



T.C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

**TOKAT KAZOVA'DA SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM İÇİN TOPRAK
İŞLEME VE DOĞRUDAN EKİM SİSTEMLERİNİN TOPRAK
FİZİKSEL KALİTESİ VE EKİM KALİTESİ AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Esra Nur GÜL

Birinci Danışman: Prof. Dr. Engin ÖZGÖZ

İkinci Danışman: Dr. Nurhan MUTLU

TOKAT-2024



Bu tez çalışması;

- **100/2000 Sürdürülebilir Tarım YÖK Doktora Bursiyeri tarafından hazırlanmıştır.**
- **Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAP) tarafından 2021/97 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.**
- **Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü-Orta Karadeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğünce desteklenmiştir.**

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Engin ÖZGÖZ danışmanlığında hazırlamış olduğum “Tokat Kazova’da Sürdürülebilir Tarım İçin Toprak İşleme ve Doğrudan Ekim Sistemlerinin Toprak Fiziksel Kalitesi ve Ekim Kalitesi Açısından Değerlendirilmesi” adlı doktora tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

04/04/2024

Esra Nur GÜL

JÜRİ KABUL VE ONAY



ÖNSÖZ

Eğitimimde beni yönlendiren, akıllı ve tedbirli nasihatleri ile bana mentorluk yapan, elinden gelenden fazlasını sunan her soru ve sorunumda yanına çekinmeden gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Engin ÖZGÖZ’e, ikinci danışmanım Sayın Dr. Nurhan MUTLU’ya,

Değerli görüş ve katkılarından dolayı Sayın Prof. Dr. İrfan OĞUZ ve Prof. Dr. Ebubekir ALTUNTAŞ hocalarıma,

Tez Değerlendirme Jüri üyeleri olarak destek veren Sayın Prof. Dr. Mehmet TOPAKCI ve Sayın Prof. Dr. Sefa ALTIKAT hocalarıma,

Dualarıyla her zaman yanımda olan, umudumu kaybetmeme izin vermeyen yaşam kaynağım annem Fatma GÜL’e, destekleri ve teşviklerinden dolayı diğer yarım Zülal GÜL’e, babam Mehmet GÜL’e,

Yardımlarıyla destek olan Biyosistem Yüksek Mühendisi Merve YILDIZ ŞEN ve Ziraat Yüksek Mühendisi Emine POLAT’a,

Destek ve katkıları için Orta Karadeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğüne,

Bu tez çalışmasının yürütülmesinde, YÖK 100/2000 ‘Sürdürülebilir Tarım’ programı kapsamında 48 ay boyunca bursiyer olarak beni desteklemelerinden dolayı Yüksek Öğretim Kurumu’na teşekkür ederim.

Doktora çalışmamı annem Fatma GÜL’e atfediyorum.

Esra Nur GÜL

04/04/2024

ÖZET

DOKTORA TEZİ

TOKAT KAZOVA'DA SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM İÇİN TOPRAK İŞLEME VE DOĞRUDAN EKİM SİSTEMLERİNİN TOPRAK FİZİKSEL KALİTESİ VE EKİM KALİTESİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Esra Nur GÜL

Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Engin ÖZGÖZ

İkinci Danışman: Dr. Nurhan MUTLU

Nisan 2024, xiv + 102 sayfa

Geçit iklim kuşağında yer alan Tokat şartlarında yürütülen araştırmada, silajlık tritikale-fiğ karışımı ve ikinci ürün silajlık mısır rotasyonu uygulanmıştır. Araştırmada dört farklı toprak işleme sistemi uygulanarak silajlık tritikale-fiğ karışımı ve ikinci ürün silajlık mısır için sürdürülebilir toprak işleme sisteminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla; geleneksel toprak işleme sistemi (pulluk + diskli tırmık + kombikürüm + ekim) (M1), azaltılmış toprak işleme sistemi-1 (çizel + diskli tırmık + ekim) (M2), azaltılmış toprak işleme sistemi-2 (dik rotovatör + ekim) (M3) ve doğrudan ekim (M4) sistemleri uygulanmıştır. Toprak işleme sistemlerinin toprak fiziksel kalitesine etkisini belirlemek için toprak nem içeriği, hacim ağırlığı, penetrasyon direnci, sıkışma derecesi, agregat stabilitesi, hidrolik iletkenlik, toprak parçalanma derecesi, yüzey pürüzlülüğü, toprak su tutma eğrileri ve S-indeks değerleri belirlenmiştir. Toprak özellikleri ile ilgili ölçümler birinci ve ikinci ürün dönemlerinde toprak işleme sonrası ve hasat zamanında 0-10 cm ve 10-20 cm derinliklerde yapılmıştır. İkinci üründe ekim kalitesini belirlemek için boşluk oranı, ikizlenme oranı, kabul edilebilir bitki aralığı ve ekim derinliği kullanılmıştır. Toprak hacim ağırlığı penetrasyon direnci, sıkışma derecesi ve agregat stabilitesi değerlerinin doğrudan ekim sisteminde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Toprak işleme sistemleri yüzey pürüzlülüğünü ikinci ürün döneminde istatistiksel olarak önemli bir şekilde etkilemiştir ve M1, M2 ve M3 sistemleri arasında farklılık yoktur. Toprak işleme sistemleri S-indeks değeri kullanılarak toprağın fiziksel kalitesi yönünden değerlendirilmiştir. Her ne kadar sistemler arasında istatistiksel olarak fark olmasa da en

yüksek S-indeks değeri M2 uygulamasında, en düşük S-indeks değeri ise M1 uygulamasında belirlenmiştir. Dört sistemde de belirlenen S-indeks değerlerine göre toprağın iyi fiziksel kalite gösterdiği anlaşılmaktadır. Geleneksel toprak işleme sisteminde ekim kalitesi parametreleri diğer sistemlere göre daha iyidir. Toprak işleme sistemleri silajlık tritikale-fiğ karışımı yeşil ot verimi bakımından $M4 > M1 > M2 > M3$; silajlık mısır yeşil ot verimi bakımından $M4 > M1 > M3 > M2$ şeklinde sıralanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; alternatif toprak işleme sistemlerinde geleneksel toprak işleme sistemine göre S-indeks değerinin daha yüksek olması bu yöntemlerin uzun dönemde sürdürülebilirliğe önemli katkılar sağlayacağını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Toprak İşleme Sistemi, Toprak Fiziksel Kalitesi, S-İndeksi, Toprak Su Tutma Eğrisi, Ekim Kalitesi

ABSTRACT

DOCTORATE THESIS

EVALUATION OF SOIL TILLAGE AND DIRECT SOWING SYSTEMS IN TERMS OF SOIL PHYSICAL QUALITY AND CROP QUALITY FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE IN TOKAT KAZOVA

Esra Nur GÜL

Divisions of Horticulture

Advisor: Prof. Dr. Engin ÖZGÖZ

Second Advisor: Dr. Nurhan MUTLU

April 2024, xiv + 102 pages

In the research conducted under Tokat, located in the transition climate zone, silage triticale-vetch mixture and second crop silage corn rotation were applied. The study aimed to determine the sustainable tillage system for silage triticale-vetch mixture and silage corn using four different tillage systems. In the study, conventional tillage system (mouldboard plough + disc harrow + combination cultivation machine + sowing) (M1), reduced tillage system-1 (chisel plough + disc harrow + sowing) (M2), reduced tillage system-2 (rotary cultivators with vertical axes + sowing) (M3) and direct sowing (M4) systems were applied. To determine the effect of tillage systems on soil physical quality, soil moisture content, bulk density, penetration resistance, degree of compaction, aggregate stability, hydraulic conductivity, degree of soil fragmentation, surface roughness, soil water retention curves, and S-index values were determined. Measurements regarding soil properties were made at depths of 0-10 cm and 10-20 cm during the first and second crop periods, after tillage and harvest time. The multiples ratio and the miss ratio, acceptable plant spacing, and planting depth were used to determine sowing quality in the second crop. It was determined that bulk density, penetration resistance, compaction degree, and aggregate stability values were higher in the direct seeding system. Soil tillage systems affected surface roughness statistically significantly in the second crop period, and there was no difference between M1, M2, and M3 systems. Soil tillage systems were evaluated in terms of the physical quality of the soil using the S-index value. Although there is no statistical difference between the systems, the highest S-index value was determined in the M2 application, and the lowest S-index value was

determined in the M1 application. According to the S-index values determined in all four systems, it is understood that the soil shows good physical quality. Sowing quality parameters in the conventional tillage system are better than those of other systems. Soil tillage systems silage triticales-vetch mixture in terms of green grass yield: $M4 > M1 > M2 > M3$; silage corn is listed as $M4 > M1 > M3 > M2$ in terms of green grass yield. According to the results obtained, the fact that the S-index value is higher in alternative tillage systems than in conventional tillage systems shows that these methods will make significant contributions to sustainability in the long term.

Keywords: Soil Tillage System, Soil Physical Quality, S-Index, Soil Water Retention Curve, Sowing Quality

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ETİK SÖZLEŞME.....	i
JÜRİ KABUL VE ONAY.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ	7
2.1. Toprak İşleme Stratejisi ve Sürdürülebilirlik	7
2.2. Sürdürülebilir Tarımda Toprak Kalitesi.....	17
2.3. Ekim Kalitesi	21
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	23
3.1. Araştırma Alanı.....	23
3.2. İklim Özellikleri	24
3.3. Araştırmada Kullanılan Traktör ve Tarım Alet ve Makinaları	25
3.5. Denemelerde İncelenen Parametreler	28
3.5.1. Toprak özellikleri ile ilgili parametreler	28
3.5.2. Toprak nem içeriği, penetrasyon direnci ve toprak sıcaklığı değişiminin izlenmesi.....	34
3.5.3. Toprak su tutma verilerinin modellenmesi ve Dexter'ın fiziksel kalite indeksinin (S-indeks) hesaplanması	35
3.5.4. Ekim kalitesinin belirlenmesi.....	37
3.5.5. Verim.....	38
3.6. İstatistiksel analizler	38
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	39
4.1. Araştırma Alanı Toprak Özellikleri.....	39
4.2. Birinci Ürün Silajlık Tritikale-Fiğ Karışımı Döneminde Tohum Yatağı Fiziksel Özellikleri	40
4.3. Birinci Ürün Silajlık Tritikale-Fiğ Karışımı Hasat Dönemi Toprak Özellikleri.....	49

4.4. İkinci Ürün Silajlık Mısır Dönemi Toprak İşleme Öncesi Araştırma Alanı Özellikleri	53
4.5. İkinci Ürün Silajlık Mısır Dönemi Tohum Yatağının Fiziksel Özellikleri.....	55
4.6. İkinci Ürün Silajlık Mısır Hasat Dönemi Toprak Özellikleri	60
4.7. Tarla Kapasitesi, Solma Noktası ve Yarayışlı Su Kapasitesi	64
4.8. Toprak Nem İçeriği, Penetrasyon Direnci ve Sıcaklığının Üretim Dönemleri Boyunca Değişimi.....	65
4.8.1. Toprak nem içeriği.....	66
4.8.2. Penetrasyon direnci.....	67
4.8.3. Toprak sıcaklığı.....	69
4.9. Toprak İşleme Sistemlerinin Toprak Fiziksel Kalitesine (S-İndeks) Etkileri	70
4.10. İkinci Ürün Silajlık Mısır Ekim Kalitesinin Belirlenmesi	75
4.11. Verim.....	77
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	79
6. KAYNAKLAR	83
7. ÖZGEÇMİŞ.....	99

ÇİZELGELER LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Üst toprak nem içeriği ve hacim yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak izin verilebilir dayanım potansiyeli ve zemin basıncı (Medvedev ve Cybulko, 1995)	13
Çizelge 2.2. Börülce ve soya tarımında toprak işleme uygulamalarının nem, sıcaklık ve bitki çıkış oranı üzerindeki etkileri (Nangju ve ark., 1975).....	15
Çizelge 3.1. Vejetasyon süresine (2021-2022) ait bazı iklim verileri (MGM, 2022).....	24
Çizelge 3.2. Denemede kullanılan traktör ve tarım alet ve makinalarının teknik özellikleri*	25
Çizelge 3.3. Uygulanan kültürel işlemler	27
Çizelge 3. 4. Sıra üzeri bitki dağılım düzgünlüğü değerlendirilmesi (Aykas ve ark., 2013).....	37
Çizelge 3. 5. KEBA, ikizlenme oranları ve boşluk oranlarının değerlendirilmesi (Aykas ve ark., 2013)	37
Çizelge 4.1. Araştırma alanı topraklarının tekstür ve araştırma başlangıcı bazı fiziksel özellikleri (Afacan ve ark., 2023)	39
Çizelge 4.2. Araştırma alanı topraklarının araştırma başlangıcındaki bazı kimyasal özellikleri (Afacan ve ark., 2023)	39
Çizelge 4. 3. Birinci ürün silajlık tritikale-fiğ karışımı döneminde toprak işleme sonrasında bazı toprak fiziksel özellikleri (0-10 cm).....	42
Çizelge 4. 4. Birinci ürün silajlık tritikale-fiğ karışımı döneminde toprak işleme sonrasında bazı toprak fiziksel özellikleri (10-20 cm).....	42
Çizelge 4.5. Birinci ürün silajlık tritikale-fiğ karışımı dönemi toprak işleme sonrasında toprakların agregat stabilitesi ve hidrolik iletkenliği	46
Çizelge 4.6. Birinci ürün silajlık tritikale-fiğ karışımı hasat zamanında toprakların bazı fiziksel özellikleri (0-10 cm).....	50
Çizelge 4.7. Birinci ürün silajlık tritikale-fiğ karışımı hasat zamanında toprakların bazı fiziksel özellikleri (10-20 cm).....	50
Çizelge 4.8. Birinci ürün silajlık tritikale-fiğ karışımı hasat zamanında toprakların agregat stabilitesi ve hidrolik iletkenliği.....	53
Çizelge 4.9. İkinci ürün silajlık mısır dönemi toprak işleme öncesinde toprakların bazı kimyasal özellikleri.....	54
Çizelge 4.10. İkinci ürün silajlık mısır dönemi toprak işleme öncesinde toprakların bazı fiziksel özellikleri (0-10 cm).....	54
Çizelge 4.11. İkinci ürün silajlık mısır dönemi toprak işleme öncesinde toprakların bazı fiziksel özellikleri (10-20 cm).....	55
Çizelge 4.12. İkinci ürün silajlık mısır dönemi toprak işleme sonrasında toprakların bazı fiziksel özellikleri (0-10 cm).....	56
Çizelge 4.13. İkinci ürün silajlık mısır dönemi toprak işleme sonrasında toprakların bazı fiziksel özellikleri (10-20 cm).....	56
Çizelge 4.14. İkinci ürün silajlık mısır dönemi toprak işleme sonrasında toprakların agregat stabilitesi ve hidrolik iletkenliği.....	57
Çizelge 4.15. İkinci ürün silajlık mısır hasat döneminde toprakların bazı fiziksel özellikleri (0-10 cm)	61
Çizelge 4.16. İkinci ürün silajlık mısır hasat döneminde toprakların bazı fiziksel özellikleri (10-20 cm)	61

Çizelge 4.17. İkinci ürün silajlık mısır hasat döneminde toprakların agregat stabilitesi ve hidrolik iletkenliği.....	64
Çizelge 4.18. İkinci ürün silajlık mısır hasat zamanında belirlenen su tutma karakteristikleri değerlerine ait varyans analizi ve ortalama değerler	65
Çizelge 4.19. van Genuchten denklemi parametrelerinin ortalama değerleri (0-10 cm)	72
Çizelge 4.20. van Genuchten denklemi parametrelerinin ortalama değerleri (10-20 cm)	73
Çizelge 4.21. İkinci ürün silajlık mısır için tarla filiz çıkış, kabul edilebilir bitki aralığı, ikizlenme ve boşluk oranı değerleri	76
Çizelge 4.22. Kabul edilebilir bitki aralığı, ikizlenme ve boşluk oranlarının değerlendirilmesi	76
Çizelge 4. 23. Tritikale-fiğ karışımı ve silajlık mısır yeşil ot verim değerleri	78



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Düzleşme noktasını ve düzleşme noktasındaki teğetin eğimini ($\tan \omega$) gösteren bir toprak su tutma eğrisi örneği (Dexter, 2004a)	20
Şekil 3. 1. Araştırma alanı	23
Şekil 3.2. Denemede kullanılan alet ve makinalar (Afacan ve ark., 2023)	26
Şekil 3.3. Araştırmaya ait deneme planı	27
Şekil 3. 4. Bozulmamış toprak örneği alma seti	28
Şekil 3. 5. Dijital penetrometre	29
Şekil 3. 6. Proktor moldu ve çekici.....	30
Şekil 3. 7. Islak eleme cihazı	31
Şekil 3. 8. Titreşimli elek sallayıcı ve farklı delik çaplarına sahip elek serisi.....	32
Şekil 3.9. Araştırma alanının yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesinde kullanılan profilmetre	33
Şekil 3. 10. Seramik basınç plakaları (a) ve kum kutusu (b)	35
Şekil 4.1. Birinci ürün silajlık tritikale-fiğ karışımı dönemi toprak işleme sonrası penetrasyon direnci değerlerinin derinlikle değişimi.....	43
Şekil 4. 2. Birinci ürün silajlık tritikale-fiğ karışımı dönemi yüzey pürüzlülüğü değerleri	46
Şekil 4.3. Birinci ürün silajlık tritikale-fiğ karışımı dönemi toprak işleme sonrası toprak parçacık büyüklüğü dağılımı (0-10 cm).....	48
Şekil 4.4. Birinci ürün dönemi toprak işleme sonrası toprak parçacık büyüklüğü dağılımı (10-20 cm)	48
Şekil 4. 5. Birinci ürün silajlık tritikale-fiğ karışımı hasat zamanı penetrasyon direnci değerlerinin derinlikle değişimi	51
Şekil 4.6. İkinci ürün silajlık mısır dönemi toprak işleme sonrası penetrasyon direnci değerlerinin derinlikle değişimi	56
Şekil 4. 7. İkinci ürün silajlık mısır dönemi yüzey pürüzlülüğü değerleri	58
Şekil 4.8. İkinci ürün silajlık mısır dönemi toprak işleme sonrası toprak parçacık büyüklüğü dağılımı (0-10 cm)	59
Şekil 4.9. İkinci ürün silajlık mısır dönemi toprak işleme sonrası toprak parçacık büyüklüğü dağılımı (10-20 cm)	60
Şekil 4.10. İkinci ürün silajlık mısır hasat dönemi penetrasyon direnci değerlerinin derinlikle değişimi	62
Şekil 4.11. Toprak nem içeriğinin vejetasyon süresi boyunca değişimi (0-10 cm).....	66
Şekil 4.12. Toprak nem içeriğinin vejetasyon süresi boyunca değişimi (10-20 cm).....	67
Şekil 4.13. Toprak penetrasyon direncinin vejetasyon süresi boyunca değişimi (0-10 cm)	68
Şekil 4.14. Toprak penetrasyon direncinin vejetasyon süresi boyunca değişimi (10-20 cm)	68
Şekil 4.15. Toprak sıcaklığının vejetasyon süresi boyunca değişimi (0-10 cm)	69
Şekil 4.16. Toprak sıcaklığının vejetasyon süresi boyunca değişimi (10-20 cm)	69
Şekil 4.17. Farklı toprak işleme sistemlerine ait toprak su tutma eğrisi (0-10 cm)	71
Şekil 4.18. Farklı toprak işleme sistemlerine ait toprak su tutma eğrisi (10-20 cm)	71
Şekil 4.19. Ortalama S indeks değerleri (0-10 cm).....	74
Şekil 4.20. Ortalama S indeks değerleri (10-20 cm).....	74

Şekil 4. 21. Ayarlanan ve ölçülen ortalama ekim derinliği değerleri 77



KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
BM	: Birleşmiş Milletler
WSC	: The World Soil Charter, Dünya Toprak Beyannamesi
CWC	: Kritik Nem İçeriği
SMAF	: Toprak Amenajmanı Değerlendirme Çerçevesi
CSHA	: Cornell Toprak Sağlığı Testi
TAGEM	: Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü
A_OAÇ	: Agregatların Ortalama Ağırlıklı Çapı
KEBA	: Kabul Edilebilir Bitki Aralığı
TFÇD	: Tarla Filiz Çıkış Derecesi

1. GİRİŞ

“Tarihin akışını üç önemli devrim şekillendirdi: Yaklaşık 70 bin yıl önce başlayan Bilişsel Devrim, 12 bin yıl önce bunu hızlandıran Tarım Devrimi ve tarihi sona erdirip bambaşka bir şeyi başlatabilecek yalnızca 5 bin yıl önce başlayan Bilimsel Devrim” (Harari, 2011). Avcılık-toplayıcılıktan tarıma geçiş, insanlar için tercih edilen bir seçenek değil, aksine zorunluluktan kaynaklanmıştır. İlk insanları yeni bilgi ve deneyimlere yönlendiren ve onları yeni kaynak arayışına sevk eden nedenlerden biri de nüfus artışıdır. Bu bağlamda, doğal çevrelerini keşfedemeyen ve sınırlı bir alanda yaşamak zorunda olan ilk insanlar, artan nüfusun beslenme ihtiyaçlarını karşılamak için arayışa girmişlerdir. Bu süreçte toprağı işlemeyi keşfetmişler ve hayvanları evcilleştirmişlerdir (Heaton, 2005).

Sürdürülebilir tarım, tarımsal ekosisteme zarar vermeden veya zararı minimize ederek doğanın kendini yenilemesine olanak tanıyan tarımsal teknolojilerin kullanıldığı ve böylece doğal kaynakların korunmasını esas alan tarımsal sistemler ve uygulamalardan oluşmaktadır. Başka bir deyişle, sürdürülebilir tarım, doğal kaynakları tüketmeden ve çevreye zarar vermeden yapılan gıda üretimidir (Çeker, 2016).

Toprak kalitesi, doğal veya yönetilen ekosistemlerdeki toprağın hayvansal ve bitkisel üretimi sürdürebilme, hava ve su kalitesini artırabilme ve insan sağlığı için müsait yaşam koşullarını oluşturma kapasitesini ifade eder (Karlen ve ark., 1997; Doran, 2002). Toprağın çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini içeren veri seti, toprak kalitesi hakkında bilgi sağlayabilmektedir. Fakat toprak kalitesini belirlemede tek bir indeks veya birkaçı yeterli olmayabilir; bu nedenle, bir grup fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak özelliğinin veri seti olarak bir araya getirilmesi, daha güvenilir bir toprak kalitesi veri tabanı oluşturulmasına olanak tanımaktadır (Doran, 2002).

Toprak kalitesi değerlendirmeleri, sürdürülebilir toprak işleme sistemlerinin karşılaştırılmasına ve toprak işleme sisteminin belirlenebilmesine yardımcı olacaktır. Toprakların sürdürülebilir kullanımı üç faktöre bağlıdır. Bunlar; toprak özellikleri, ilişkili çevresel koşullar (hidroloji, iklim, vb.) ve arazi kullanımıdır. Bu faktörler, sürdürülebilir kullanımın temel prensiplerinden etkilenir ve birindeki değişiklik diğerlerinde değişikliğe yol açabilir. Bu nedenle, toprakların sürdürülebilir kullanımı dinamik bir olgu olarak

görülmektedir. Toprağın sayısal bir skalada değerlendirilmesi, toprak kaynaklarının durumunu tanımlamak için gereklidir (Hillel, 1991).

Toprak kalitesi çalışmalarının amacı, toprak kaynaklarının üzerinde etki yaratacak amenajman kararlarının, toprağın biyolojik, kimyasal ve fiziksel özelliklerine etkilerini izlemek için toprak kalitesi değerlendirmesini bir araç olarak kullanmaktır. Bu sayede toprakların geçmiş ve mevcut durumu ile potansiyelleri incelenebilmektedir (Karlen ve ark., 2008). Yoğun tarımsal faaliyetin yapıldığı alanlarda yanlış tarımsal amenajman uygulamalarının sonucunda toprak bozulması problemi ortaya çıkmaktadır. Örneğin, eğer toprak sık sık işlenirse muhtemelen toprağın stabilitesinin kötüleşmesi sonucunda organik madde içeriği azalacaktır. Benzer şekilde, nemli şartlarda ağır makine kullanımı toprağı sıkıştırarak ve toprağı havasız ve esas olarak geçirimsiz hale getirecektir. Bunlar fiziksel bozulmanın örnekleridir. **Farklı toprak amenajman uygulamalarının tarım ve çevre için etkileri nelerdir?** sorusu önemlidir. Toprak davranışlarındaki komplekslikler ve toprak tipleri arasındaki büyük farklılıklar bu sorunun cevabının tam ve yeterli olmasını engellemektedir. Bu nedenle yeni bir yaklaşıma ihtiyaç vardır (Dexter ve Czyz, 2007).

Toprak çevresi üzerine amenajman uygulamalarının etkisini değerlendirmek için amenajman uygulamalarının toprak strüktüründe meydana getirdiği değişiklikleri ölçmek gerekmektedir (Danielson ve Sutherland, 1986). Toprak strüktürü, ürün üretimini etkileyen en önemli özelliklerden biridir. Toprak strüktürü; köklerin penetre olma derinliğini, toprakta depolanabilen suyun miktarını ve hava, su ve toprak faunasının hareketini belirlemektedir (Hermavan ve Cameron, 1993; Langmaack, 1999). Ayrıca Dexter (2002), toprak fonksiyonlarının toprağın mümkün olan en geniş sınırlarda kullanımını sağlayan optimum strüktür olarak tanımlanan toprağın strüktürel kalitesine güçlü bir şekilde bağlı olduğunu ifade etmektedir (Pagliai ve ark., 2004).

Yoğun tarla-ürün üretimi tarım topraklarının fiziksel kalitesinde azalmaya neden olmaktadır. Toprağın fiziksel kalitesindeki azalma, toprak (su/rüzgâr erozyonu) ve tarımsal kimyasalların (pestisit/besin yıkanması) arazi dışına taşınması ile ilişkili olumsuz çevresel etkiler kadar ürün performansı ve/veya verimliliğinde azalmayla da ilgilidir. Yoğun bir şekilde üretim yapılan toprakların fiziksel kalitesini korumak veya iyileştirmek için uygulanan yeni stratejilerin gelişimindeki ilerlemeler toprak işleme, toprak tekstürü, ürün tipleri ve iklim arasındaki kompleks ilişkilerden dolayı zor ve yavaş olmaktadır

(Wallace ve Terry, 1998). Ayrıca, Wallace ve Terry (1998) ve Schipper ve Sparling (2000), her ne kadar tarımsal ve tarım dışı topraklardaki bitki gelişimini iyileştirmek için değişik ampirik “kılavuz” parametre değerleri önerilmiş olsa da minimum çevre bozulması ile maksimum arazi-ürün üretimi için “optimal” fiziksel toprak kalitesi parametrelerinin hala büyük ölçüde bilinmediğini belirtmişlerdir (Reynolds ve ark., 2002).

Fiziksel toprak kalitesi; “en iyi amenajman” arazi kullanım uygulamalarını geliştirilmesi ve arazi bozulmasının belirlenmesi için merkezi bir kavramdır. Bu kavram genellikle; fiziksel toprak kalitesinin “indikatörleri” olarak bir veya daha fazla toprak özelliğini tanımlamak, indikatörler için “optimal sınırları” ve/veya üst ve alt “kritik sınırları” tespit etmek, indikatör değerleri ile optimal sınırlar ve kritik sınırları karşılaştırarak toprağın fiziksel kalitesinin mevcut seviyesini belirlemek, toprağın fiziksel kalitesinin bazı önceki şartlar veya arazi kullanımıyla iyileştiği, bozulduğu veya sabit kalıp kalmadığını belirlemek amacıyla uygulanmaktadır (Arshad ve Martin, 2002; Reynolds ve ark., 2007). Arshad ve Martin (2002)’e göre indikatör değerleri optimal sınırlar içerisinde kaldığında veya en azından kritik sınırların dışında kaldığında toprağın “iyi fiziksel kalite”ye sahip olduğu söylenmektedir (Reynolds ve ark., 2008).

Toprak kalitesini korumak için uygun amenajman uygulamaları ve arazi kullanımı yürütülmelidir (Lal ve ark., 1999). Topp ve ark. (1997) ve Reynolds ve ark. (2007) fiziksel kalitenin en önemli göstergelerden bazıları toprakların depolama ve ürüne su, hava ve besin sağlama yeteneğini nicel olarak (direkt veya dolaylı) belirten; nispi tarla kapasitesi, bitki-yarayışlı su kapasitesi, hava kapasitesi, makroporozite, hacim yoğunluğu, organik karbon içeriği ve strüktürel stabilite indeksi olduğunu belirtmişlerdir. Dexter (2004a, b, c) hidrolik iletkenlik, sıkışma, toprak işleme için optimal nem içeriği, penetrasyon direnci, bitki-yarayışlı su içeriği, kök gelişimi ve toprak strüktürel stabilitesini kapsayan bir çok önemli toprak özelliği veya şartları ile ilişkili olan toprağın fiziksel/strüktürel kalitesinin indikatörü olarak “S-değerini” önermiştir (Reynolds ve ark., 2009).

Toprak kalitesini kapsayan çalışmalarda fiziksel özellikler nispeten daha az ilgi görüyorken çoğunlukla kimyasal ve biyolojik toprak özellikleri rapor edilmiştir. Her ne kadar, toprak özelliklerinin çoğu birbirine bağlı olsa da toprak şartlarını daha iyi anlamak için tüm özellikler belirlenmelidir (Dexter, 2004a). Sınırlayıcı su aralığı (LLWR) ve S-

indeks değeri fiziksel toprak kalitesini gösteren iki göstergedir (da Silva ve ark., 1994; Dexter, 2004a). Bu değerler amenajman sistemlerinin toprak strüktürü, porozite, hacim ağırlığı, penetrasyon direnci ve su tutmaya etkisini belirlemeyi sağlamaktadır. Birçok çalışmada fiziksel toprak kalitesini değerlendirmek için LLWR ve S-indeks değerinin kullanılması düşünülmüş ve toprak amenajmanının karşılaştırmalı çalışmalarında LLWR ve S-indeks değerinin potansiyelini belirlemek dikkate alınmıştır (Silva ve ark., 2011).

Calonego ve Rosolem (2011) doğrudan ekim altındaki alanlarda ürün rotasyonu ile çizelle toprak işlemeyi toprak kalitesi indikatörleri bakımından karşılaştırmışlardır. Toprak kalitesini, S- indeksi ve su tutma eğrisi kullanılarak değerlendirmişlerdir. Ürün rotasyonu ve çizelle toprak işlemenin 20 cm derinlikte S-indeksi değerini 0.035 değerinin üzerine çıkararak toprak kalitesini iyileştirdiğini belirlemişlerdir. Ancak, 3 yıl sonunda doğrudan ekim uygulanan sistemde ve çizelin kullanıldığı sistemde toprak kalitesinin benzer olduğunu, bu nedenle toprak kalitesini (S-indeks) iyileştirmek için çizelle işleme yapmanın zorunlu olmadığını ifade etmişlerdir.

Farhate ve ark. (2018) Brezilya'da şeker kamışı üretiminde farklı tekstürlerdeki iki farklı toprakta örtücü bitki ve toprak işleme sistemlerinin sınırlayıcı su aralığı ve S-indeksi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Minimum toprak işleme gibi koruyucu toprak işleme sistemlerinin örtücü bitkiyle birlikte uygulandığında daha iyi toprak fiziksel kalitesi meydana getirdiklerini ifade etmişlerdir.

Lima ve ark. (2020) Brezilya'nın Rio Grande do Sul (RS) eyaletinde, Turuçü bölgesindeki tarım alanlarında toprak fiziksel bozulmasının pek çok örneğinin görüldüğünü, bu alanların sürdürülebilir kullanımını sağlamak için toprağın strüktürel kalitesini değerlendirmeye ve iyileştirmeye yönelik stratejilerin geliştirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Bu amaçla, farklı tarımsal kullanımlar altındaki alanlarda; sınırlayıcı su aralığı ve S-indeksi'ni değerlendirmişlerdir.

Guedes ve ark. (2012) beş farklı amenajman (orman, mera ve 3 farklı toprak işleme sistemi) altındaki toprakların fiziksel kalite indekslerini hacim ağırlığı, makro ve mikro porozite ve su tutma eğrisi için değerlendirmişlerdir. Toprakların fiziksel kalitesini en iyi S indeks ile hacim ağırlığı ve toprak organik karbonu ilişkisiyle ifade edildiğini belirtmişlerdir.

Toprak su tutma eğrisinin düzleşme noktasındaki eğimi olan S-indeks, toprak fiziksel özellikleri üzerine farklı amenajman uygulamalarının etkilerini ve farklı toprakları karşılaştırmak için kullanılabilen çok önemli bir ölçek olarak kabul edilmektedir. S-indeks değeri, kil içeriği ve hacim ağırlığının artması ile düşüş eğilimi göstermekte, fakat organik madde içeriğinin artması ile yüksek değerler almaktadır. Buna ilaveten, farklı amenajman uygulamaları, toprak iyileştiricileri (organik gübreler, biyogaz atığı) ve toprak düzenleyiciler ile farklı toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamalarının kombinasyonları toprak organik maddesi ile yarayışlı su kapasitesinde artış ve hacim ağırlığında optimizasyona yol açmaktadır. Böylece toprak fiziksel kalitesinde iyileşme ve S-indeks değerinde yükselme meydana gelmektedir. S-indeksin, toprakların genel olarak değerlendirilmesi veya toprakların zamansal değerlendirilmesi için bir potansiyele sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu yüzden, S-indeks tarımsal amenajman uygulamaları ile ilgili karar vermede önemli oranda belirleyici rol oynamaktadır (Garg ve ark., 2009).

No-till ve diğer toprak işleme sistemlerinin toprağın fiziksel kalitesine etkileri geniş bir şekilde incelenmiş fakat çelişkili sonuçlar bulunmuştur (Alvarez ve Steinbach, 2009). Toprak fiziksel özellikleri üzerine toprak işleme sistemlerinin etkilerini zaman, yer ve amenajmanın belirlediği (Tangyuan ve ark., 2009; Wang ve Shao 2013; Munkholm ve ark., 2013; Derpsch ve ark., 2014) ve oldukça değişken sonuçların ortaya çıktığı bilinmektedir. Farklı bölgelerde yürütülen uzun süreli amenajman uygulamalarının toprağın fiziksel kalitesi üzerine etkilerini açıklamanın büyük önemi vardır (Ba ve ark., 2014). Kullanılan fiziksel özelliklerin değişkenliği ve hassasiyetine yüksek oranda bağlı olan toprağın strüktür kalitesi üzerine toprak işlemenin etkilerinin büyüklüğünü göz önüne almak önemlidir (Moraes ve ark., 2016).

Geçit iklim kuşağında konumlanmış olan Tokat ilinde, kışlık buğdaydan sonra ikinci ürün silajlık mısır tarımı için önemli bir tarımsal potansiyel vardır. Bu potansiyelin etkili bir şekilde kullanılması, uygulanan amenajmanların sürdürülebilir olmasına yakından bağlıdır. Bölge şartlarına uygun su kaynaklarını ve toprağı koruyan sürdürülebilir toprak işleme sistemleri belirlenmelidir. Sürdürülebilir toprak işleme sistemlerinin belirlenmesinde toprak fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri kullanılır. Bunun yanında toprak işleme sistemleri enerji tüketimi, işletmecilik ve verim açısından da değerlendirilmektedir. Değerlendirmede çok fazla parametrenin kullanılması toprak kalitesinin izlenmesini ve uygun toprak işleme sisteminin ortaya konmasını

zorlaştırmaktadır. Bunun için toprak kalitesi değerlendirmesi yapılmaktadır. Geleneksel olarak toprağın fiziksel kalitesini ifade eden fiziksel toprak özellikleri ayrı ayrı belirlenerek karşılaştırılmaktadır. Ancak, toprak ve bitki amenajman uygulamalarının toprak bozulması ve toprak kalitesine etkisini değerlendirmek ve izlemek için tek bir değer elde etmek önemlidir.

Toprakların fiziksel özellikleri, su ve besin absorpsiyonunu ve dolayısıyla optimum bitki gelişimini güçlü bir şekilde etkilediğinden dikkatli bir şekilde izlenmesi gerekir (Dexter, 2004a). Yukarıda da belirtildiği gibi toprak işleme sistemlerinin toprak özelliklerine etkileri zaman, yer ve amenajmana göre değişmektedir. Tokat Kazova'da yoğun bir şekilde uygulanan hububat ikinci ürün silajlık mısır rotasyonu için bölgenin iklim ve toprak özelliklerine uygun sürdürülebilir toprak işleme sisteminin ortaya konması önemlidir. Bu amaçla, toprak fiziksel kalitesini tek bir indeks değeri ile ifade etmek sürdürülebilirliğinin izlenmesini sağlayacaktır. Bunun yanında, son yıllarda etkili bir şekilde hissedilen kuraklık düşünüldüğünde vejetasyon süresi boyunca nem değişiminin izlenmesi ve toprak işleme sistemlerinin nem koruma yönünden değerlendirilmesi üreticilerin iklim değişikliklerine uyumu bakımından katkı sağlayacaktır. Ayrıca, oluşturulan tohum yatağının özellikleri ekim işleminin başarısını önemli bir şekilde etkilemektedir. Farklı toprak işleme sistemleri ile özellikle ikinci ürün için oluşturulan tohum yatağının özellikleri toprak parçalanma durumu ve yüzey düzgünlüğü yönünden belirlenerek ekim kalitesinin karşılaştırılması toprak işlemeyi azaltmak açısından önemli katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmada, Dexter (2004 a, b, c) tarafından geliştirilen S-indeksi değeri fiziksel toprak kalitesini değerlendirmek için kullanılmıştır. Ayrıca, ürün rotasyonu ve toprak işleme sistemine bağlı olarak üretim sezonu boyunca toprak nem içeriği ve penetrasyon direnci değerlerindeki değişim izlenmiştir. Çalışmanın temel amacı bölge için toprak fiziksel kalitesini koruyan sürdürülebilir toprak işleme yöntemini belirlemektir. Diğer taraftan toprak işlemeyi sınırlandırmak için oluşturulan tohum yatağını değerlendirmek ve ekim için uygun olup olmadığına karar vermek gerekir (Tapela, 2001). Bu nedenle, toprak işleme sistemleri ile oluşturulan tohum yatağının özelliklerine bağlı olarak özellikle geçit iklim kuşağında yer alan çalışma alanında ikinci üründe vejetasyon süresini etkin bir şekilde kullanmak bakımından ekim kalitesi de değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

2.1. Toprak İşleme Stratejisi ve Sürdürülebilirlik

2002 yılında, Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) öncülüğünde Johannesburg'da yapılan Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi ve 2005 yılında gerçekleştirilen Dünya Zirvesi, yok olan doğal ortamın korunması ve gelecek nesillerimize yaşanılabilir bir gelecek bırakılması temelinde düzenlenmiştir. Takip eden dönemde, 2012 yılında Brezilya'da gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Konferansı'nda ele alınan öncelikli konulardan biri, gıda üretiminin sürdürülebilir tarımsal uygulamalarla gerçekleştirilmesidir (United Nations, 2012).

Bununla birlikte, Birleşmiş Milletler (BM), 5 Aralık'ı Dünya Toprak Günü ve 2015'i Uluslararası Toprak Yılı olarak ilan etmiştir. 5 Aralık 2018'de Dünya Toprak Günü vesilesiyle, Reuters tarafından 2015 ve 2016 yıllarında Dünyanın En Etkili Bilimsel Zihinlerinden biri olarak kabul edilen Profesör Rattan Lal, sürdürülebilir toprak yönetimi ve toprak kaynaklarının korunmasına olağanüstü katkısı nedeniyle Glinka Dünya Toprak Ödülü'ne layık görülmüştür.

Dünya Toprak Beyannamesi, FAO tarafından kabul edilmiştir. Ancak, 30 yıldan daha uzun bir süre sonra, beyannamenin güncellenmesi gerektiği düşünülmüştür. Bu güncelleme, yeni toprak yönetimi sorunlarına, örneğin iklim değişikliği, kirlilik ve düzensiz kentsel yayılma gibi konulara odaklanmayı ve toprak özelliklerini toprak ekosistem fonksiyonları ve hizmetleriyle ilişkilendirmeyi amaçlamaktadır (Anonim, 2024).

Sürdürülebilir toprak yönetimi, Yenilenmiş Dünya Toprak Beyannamesi'ne göre şu şekilde tanımlanmıştır: *“Toprak tarafından sağlanan destekleyici, üretici, düzenleyici ve kültürel hizmetler, bu hizmetleri mümkün kılan toprak işlevlerine veya biyolojik çeşitliliğe önemli ölçüde zarar vermeden sürdürülebiliyor veya geliştirilebiliyorsa, toprak yönetimi sürdürülebilirdir. Bitki üretimi için kullanılan destekleyici ve üretici hizmetler ile, toprağın su kalitesi ve su mevcudiyeti ve atmosferik sera gazı bileşimi için sağladığı düzenleyici hizmetler arasındaki denge ise ayrıca özel bir değerlendirme konusudur.”* (FAO, 2019a).

Topraklar, çok çeşitli biyolojik, kimyasal ve fiziksel özelliklere sahiptir. Bu çeşitlilikten kaynaklı olarak toprak amenajman uygulamalarına karşı gösterdikleri tepki ve ekosistem hizmetleri sunma konusundaki doğal yeteneklerinin yanı sıra, bozucu etmenlere karşı dayanıklılık ve bozunmaya karşı hassasiyet açısından da büyük farklılıklar gösterirler. FAO Genel Direktörü José Graziano da Silva, insanlığın "sessiz dostu" olarak nitelendirdiği toprağa yeterince önem verilmediğini belirtmiştir. Dünya Toprak Kaynaklarının Durumu raporu, sürdürülebilir toprak amenajmanın başarısını engelleyen 10 önemli tehdidi belirlemiştir. Bu tehditler; su ve rüzgar kaynaklı toprak erozyonu, toprak geçirgenliğinin kaybı, toprak sıkışması, aşırı su doygunluğu, toprak salinizasyonu, asitlenme, toprak kirliliği, topraktaki organik karbonun kaybı, toprak besin dengesizliği ve topraktaki biyolojik çeşitliliğin kaybıdır. Bu tehditler, coğrafi bağlamlara bağlı olarak eğilim ve yoğunluk açısından değişkenlik göstermektedir ancak sürdürülebilir toprak amenajmanını sağlamak için her birinin kontrol altında tutulması gereklidir (FAO, 2019a).

Tarımsal üretimin sürdürülebilirliğinde toprak işlemenin rolü oldukça önemlidir. Lal (1991), toprak işlemenin akıllıca kullanılmasının toprakla ilgili bazı kısıtlamaların hafifletilmesinde ve bitkisel üretimin artırılmasında güçlü bir araç olabileceğini belirtirken, yanlış kullanılan toprak işlemenin toprağın bozulmasına, su ve çevre kirliliğine yol açabileceğini vurgulamaktadır.

Koruyucu toprak işleme sisteminde toprak, daha az işlenerek veya herhangi bir şekilde işleme tabi tutulmadan bırakılmaktadır. İşlemenin yapılmadığı sistemlerde, bu amaca yönelik üretilen tarımsal makineler ile bitki örtüsü üzerinde ekimler yapılmaktadır. Doğrudan ekim ile toprağa tohum ve gübre birlikte yerleştirilmektedir. Bu yöntem ile yapılan ekimle maliyet oranlarında ciddi düşüşler görülmektedir. Bahsedilen uygulamalar aslında yeni denenen uygulamalar değildir; tarihi 1962'ye kadar uzanan bu sistem özellikle ABD ve Avrupa'da senelerdir uygulanmaktadır (Coughenour ve Chamala, 2000).

Geleneksel toprak işleme sistemine kıyasla, koruyucu toprak işleme yöntemleri sayesinde toprak erozyonu ile başarılı bir şekilde mücadele edilerek erozyon önlenmektedir. Bitki artıklarının toprak örtüsü üzerinde kalması nedeniyle organik madde içeriği artar. Bu sistem, toprağın daha az parçalanmasına neden olduğundan su tutma kapasitesini artırır.

Aynı zamanda, bitki artıklarının koruyucu özelliği sayesinde güneş ve rüzgarın etkisi azaltılarak buharlaşma azalır. Koruyucu toprak işleme yöntemleriyle toprak yapısının iyileştirilmesi sağlanır. Anız artıklarının toprağın üst katmanına yerleştirilmesi ile organik madde miktarı artırılır (Aykas ve ark., 2005).

Doğal kaynağımız olan toprağın korunması ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılması gerekmektedir (İnce ve ark., 2019). Toprak işleme, üretimdeki tamamlayıcı parçalardan biridir. Toprak işleme, toprağın verimliliğindeki ani değişimleri etkilemek ve ürün gelişim prosesinin özel ihtiyaçlarına uygun olarak edafik çevreyi modifiye etmek için toprağın fiziksel manipülasyonu olarak tanımlanmaktadır. Toprak işleme toprağın biyolojik, kimyasal ve fiziksel özellikleri kadar toprak kaybını da etkileyerek toprağın edafik çevresini etkilemektedir (Garji ve ark., 2002). İnsan müdahalesi sonucunda, doğal bitki örtüsünde oluşan zarar ile gerçekleşen arazi bozunumu birçok problemi de beraberinde getirmektedir (İnce ve ark., 2019). Toprak bozunumuna etki eden faktörler; erozyon, alkalileşme, tuzlulaşma, asitleşme, organik madde içeriğinin azalması, bitki besin elementlerindeki azalış, kaymak tabakasının oluşması, sıkışma ve toprakların uzun süreli suyla doygun halde kalması gelmektedir (Wild, 1993).

Dünya genelindeki tüm topraklar ve bu toprakların sağladığı ekosistem için önemli bir tehdit, rüzgâr ve su ile oluşan **toprak erozyonudur**. Toprak erozyonu; organik ve mineral besin havuzlarının, yüzey toprak katmanlarının, toprak horizonlarının kısmen veya tamamen kaybına ve büyümeyi sınırlandıran alt toprakların üst yüzeye çıkmasına, su ve sedimentasyon kalitesinin düşmesine neden olur (FAO, 2019b). Toprak işlemenin yoğun ve sürekli hale gelmesiyle toprak erozyonuna neden olan büyük bir dezavantaj ortaya çıkmaktadır. Yarı kurak ve kurak iklim şartlarında toprağın pulluk veya diğer toprak işleme aletleriyle işlenmesi, toprağın gereğinden fazla havalandırılmasına ve dolayısıyla topraktaki oksidasyon ve nitrifikasyon olaylarının artmasına sebep olur. Bunun sonucunda topraktaki organik madde miktarı hızlı bir ivmeyle azalır, bu durum da toprağın mevcut agregat bağlarının zayıflamasına dolayısıyla su ve rüzgar erozyonuna neden olur (Çelebi ve Bal, 1976; Korucu ve ark., 1998).

20. yüzyılın ikinci yarısında dünya tarımında gerçekleşen tarımsal üretimde büyük artışlar dikkat çekicidir; tarımsal ilaçlar, gübreleme, sulama, yüksek verimli çeşitlerin

geliştirilmesi ve mekanizasyon alanlarında sıçramalar sonucunda meydana gelen üretim artışı “yeşil devrim” olarak adlandırılmıştır (Baydar, 2015).

Günümüzde devam eden yoğun toprak işlemeye bağlı olarak artan tarla trafiği nedeniyle enerji tüketiminin artması ve her yıl önemli miktarda erozyonla kaybedilen topraklarımız, toprak işlemede alternatif sistemlerin ortaya konmasını zorunlu hale getirmiştir. Yoğun toprak işleme toprağı rüzgar erozyonuna karşı açık bir tehdit haline getirmektedir (Marakoğlu ve ark., 2016). Anlaşıldığı üzere farklı toprak işleme sistemlerinin ortaya çıkmasının nedeni erozyondur.

Toprak işleme kaynaklı erozyon ile ilgili araştırmalar ilk olarak Aufrère tarafından 1929’da ortaya çıkmıştır. ABD’nin orta batısında 1930’lu yıllarda meydana gelen büyük toz fırtınalarının ardından koruyucu toprak işleme ve özellikle anıza doğrudan ekim yöntemi ön plana çıkmıştır. Amerika tarihinde en büyük kuraklığa bağlı doğal afet ve en şiddetli rüzgar erozyonu, 1930’larda meydana gelmiştir. Bu olay “Dust Bowl” olarak bilinmektedir. Büyük toz fırtınaları ile toprak, Doğu Kıyısı’ndan Atlantik Okyanusu’na kadar binlerce kilometrelik bölgede sürüklenmiştir. Toza ek olarak, kum çiftlik alanlarını örtüp kum tepelerine dönüşerek tarım için araziye elverişsiz hale getirmiştir. Yaşanan toprak erozyonu devasa iklimsel, ekonomik, sosyal, tarımsal ve çevresel sorunlara yol açmıştır (Bonnifield, 1979; Hurt, 1981; Worster, 2004; Egan, 2006).

Bu dönemde Edward H. Faulkner tarafından kaleme alınan "Plowman’s Folly" (Faulkner, 1943) adlı eserde, hassas ekosistemlerde yoğun toprak işlemenin olumsuz etkileri ele alınmıştır (Friedrich ve ark., 2012). Bu tarihten itibaren toprak işleme miktarını azaltarak toprağın korunması ilkesi giderek yaygınlaşmış ve koruyucu toprak işleme sistemlerinin temelleri atılmıştır (Hagblade ve Tembo, 2003; Friedrich ve ark., 2012).

Bu sistemde ürün artıkları veya ön bitki tarla yüzeyinde bırakılmaktadır. Koruyucu toprak işleme sisteminin temelinde tarla yüzeyinin bitki artığı ile kaplanma oranı en az %30 olmalıdır (Köller, 2003). Yüzeyde yayılmış halde ya da kökleriyle toprağı bağlı halde bulunan saman, kavuz, sap, yaprak ve anız gibi bitki parçaları bitki yüzey artığı olarak tanımlanır. Yüzey artıkları erozyonun önlenmesine yardımcı olmaktadır (Durdıyev ve Dursun, 2002; Al-Kaisi ve Hanna, 2009; Dursun, 2015).

Topraklarda fiziksel degradasyon olayına neden olan diğer önemli faktör de toprakların doğal ya da antropolojik etkiler sonucunda **toprağın sıkışması** ve fiziksel özelliklerinin

değişmesidir. Toprak sıkışması, toprak taneciklerinin sıkışarak aralarındaki boşluk hacminin azalması durumudur. Toprak taneciklerinin makro boşluklarının %10'dan daha az olması ve tanecikler arasındaki boşluk oranının %35'in altına düşmesi bitkinin gelişimini sınırlayacak sıkışıklığın oluştuğunu gösterir (Okursoy, 1992; Tekin ve Okursoy, 2001). Penetrasyon direnci ve hacim ağırlığı değerlerinde artışlar olurken (Karakaplan, 1982; Lipiec ve ark., 1992), boşluk oranı, havalanma, toplam gözeneklilik ve drenaj gözeneklerinin oransal miktarlarında azalmalar olur (Carter, 1990; Gameda ve ark., 1992; Çarman, 1994; Şeker, 1999).

Ayrıca, penetrasyon direnci değerinin 2000 kPa'dan büyük olmasının toprakta aşırı sıkışmayı betimlediği (Gupta ve ark., 1990) ve penetrasyon direnci değerinin 3000 kPa ve üstünde olmasının, kök gelişimini engelleyen sınır değer olarak kabul edildiği literatürler tarafından desteklenmektedir (Busscher ve Sojka, 1987; Hakansson ve Lipiec, 2000). Tarımsal üretimin yoğun yapıldığı işletmelerde üretim yılında tarla yüzeyi, alanının 4-5 katından da fazla tarla trafiğine maruz kalmaktadır (Koger ve ark., 1985; Abebe ve ark., 1989). Soya ve mısır gibi ürünlerde üretim yılı boyunca tarlanın %80'inin tarla trafiğine maruz kaldığı belirlenmiştir (Erbach, 1986).

Toprak sıkışması; oluşumuna neden olan etmenlere göre toprak profilinin farklı derinliklerinde veya toprak yüzeyinde oluşabilmektedir. Oluştugu yere göre kaymak tabakası, yüzey toprak sıkışması, pulluk tabanı veya derin toprak sıkışması olarak adlandırılmaktadır (Kirişçi, 1999). Yağmur damlalarının çarpma etkisi ve sulama ile toprak agregatları dağılır, strüktürel ünitelerin ortalama büyüklüğü düşer; damlalarının sıçratma etkisi, yüzey akış ve sediment birikimi neticesinde toprak parçacıkları tekrar istiflenir. Toprak yüzeyinin kurumasıyla toprak yüzeyinde sıkı istiflenmiş ince toprak parçacıklarından oluşan sert bir tabaka oluşur (Arndt, 1965). Bu tabaka ıslak şartlarda siva benzeri bir tabaka oluşturur. Kuruyarak büzülen bu tabaka kil içeriği ve toprak tekstürüne bağlı olarak çatlaklar (Lutz, 1952). Çatlama ve büzülme zayıf olduğu zaman kaymak tabakası meydana gelir (Arndt, 1965).

Trafik uygulanan alanın minimum toprak işlemede (2-3 geçiş) % 60'ı aşması muhtemeldir ve bu değer geleneksel toprak işlemede (çoklu geçişler) bir ürün döngüsü sırasında % 100'ü aşacaktır (Soane ve ark., 1982). Doğrudan ekim sistemlerinde (ekimde bir geçiş)

bile toprak alanının %30'undan fazlasının ağır makine lastikleri tarafından trafiğe maruz kaldığı tahmin edilmektedir (Tullberg, 1990).

Traktör, ekim ve hasat makinesi gibi tarımsal faaliyetlerde kullanılan araçların tekerlekleri başlıca sıkışma araçlarından biridir. Bunu, özellikle toprak nem içeriğinin uygun olmadığı şartlarda toprakların işlenmesi, hasat sonrasında tarla yüzeyindeki bitki artıkların otlatılması ve meralardaki aşırı otlatma uygulamaları takip eder (Soane ve Van Ouwerkerk, 1994). Tarla trafiğinden kaynaklanan sıkışmanın önemli bölümü ilk geçişte oluşur ve toprak nem içeriği yüksek olduğunda uygulanan toprak işleme faaliyetleri toprağın daha fazla sıkışmasına yol açar. Sıkışma; toprağın yüzeyinden başlayarak belli bir toprak profil derinliğine kadar geniş bir alanda etki gösterir (FAO, 2015).

Kontrollü trafik, toprak sıkışmasına yönelik en iyi uygulamadır ve kullanılan tüm ekipmanların uygun boyutta olmasını gerektirir. Sıkışmayı belirli zonlara sınırlamak için kalıcı tekerlek izleri oluşturulması yani, aynı izlerin kullanılması makine hareketini sınırlandırabilir (Froehlich ve McNabb, 1983). Kontrollü trafik, daha iyi kök büyümesi ve daha düşük penetrasyon direnci sağlar (Wanink ve ark., 1990; Panayiotopoulos ve ark., 1994).

Toprak su içeriği toprağın sıkışma süreçlerini etkileyen faktörlerden biridir (Soane ve Van Ouwerkerk, 1994). Bütün sıkışma seviyelerinde, penetrasyon direnci azalan toprak su potansiyeli ile artar (Lipiec ve ark., 2002). Başka bir deyişle, toprak nem içeriğinin artması, toprağın yük taşıma kapasitesini azaltır (Kondo ve Dias Junior, 1999) böylece kabul edilebilir zemin basıncını düşürür (Medvedev ve Cybulko, 1995). Toprak deformasyonu; nem içeriği, geçiş sayısı (Bakker ve Davis, 1995), toprak nem içeriği ve toprak strüktürüne göre toprak işleme zamanına bağlı olarak artmaktadır (Hakansson ve Lipiec, 2000). Bu nedenle, sıkışma en aza indirilecekse toprak işlemenin doğru toprak nem içeriğinde yapılması önemlidir (Çizelge 2.1).

Toprağın hacim ağırlığının artmasına neden olacak nem içeriğinde işlenmesi, toprak işleme uygulamalarında gerekli kurallara uyulmaması, toprak sıkışmasına ve bu süreçte işlemeye karşı direncin artmasına yol açmaktadır. Sıkışma, toprak fonksiyonlarının tamamının üzerinde olumsuz etkilere sahiptir. Bu yüzden toprak işlemenin doğru nem içeriğinde yapılması hem strüktürün muhafaza edilmesini hem de toprağın tarım alet ve makinalarına karşı oluşturacağı direncin düşürülmesini sağlayacaktır (Cengiz, 2017).

Çizelge 2.1. Üst toprak nem içeriği ve hacim yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak izin verilebilir dayanım potansiyeli ve zemin basıncı (Medvedev ve Cybulko, 1995)

Nem içeriği (%)	Hacim ağırlığı (Mg/m ³)	Toprak dayanım potansiyeli (kPa)	Zemin basıncı (kPa)
28-30	1.1	50	22
	1.2	97	45
	1.3	131	63
24-25	1.1	88	45
	1.2	109	52
	1.3	143	68
18-20	1.1	98	56
	1.2	122	64
	1.3	174	88
12-14	1.1	219	130
	1.2	290	179
	1.3	364	226

Toprak sıkışması, toprağın biyolojik, kimyasal ve fiziksel yapısını etkilediği için bitkilerin gelişiminde ve veriminde düşüslere yol açacaktır. Birçok araştırmacı, kök çapından daha küçük çaptaki gözeneklerden köklerin geçemediğini ve sıkışmış bu katmanda büyürken köklerin geçebileceği gözenekleri genişletmek amacıyla katı tanelerin yer değiştirmesi gerektiği ve bu sırada da toprak mekanik direncini aşan bir basınç oluşturduğunu belirlemişlerdir.

Kök gelişmesinin mekanik direnci ile ilgili yapılan bir çalışmada; arpa için 0.2 bar'lık basıncı köklerinin gözenekleri büyötmek için yenebildiği, kök uzamasında %50 azalma olduğu, topraktaki basıncın 0.5 bar olması halinde kök uzamasında %80 düşüş olduğu bildirilmektedir. Hava, su ve besin elementleri dengesi bozuk, kök geçirgenliği az sıkışmış toprakta, kuvvetli bir vejetatif aksam ve kök gelişimi olmadığından verim düşüktür (Munsuz, 1985).

Toprak sıcaklığı, su ve besin alımını etkileyerek (Toselli ve ark., 1999) bitki, kök ve sürgün büyümesinde oldukça önemli bir etkiye sahiptir (Weih ve ark., 1999). Toprak sıcaklığındaki artış, kök hücrelerinin metabolik aktivitesindeki artış ve lateral köklerin gelişmesi nedeniyle kök büyümesini iyileştirir (Repo ve ark., 2004). Düşük toprak sıcaklığı düşük besin konsantrasyonuna neden olur ve bu nedenle kök büyümesini azaltır (Lahti ve ark., 2002; Puhe, 2003; Balland ve Arp, 2005).

Koruyucu toprak işleme sistemlerinde toprak yüzeyinde kalan anız, gelen güneş radyasyonunun yansımısını artırarak toprak sıcaklığındaki değişim oranını azaltır (Li ve ark., 2013). Hem de toprak yüzeyi ile daha sıcak (veya daha soğuk) atmosferik hava arasında bariyer görevi görür (Chen ve ark., 2005; Moreno ve ark., 2009).

Toprak işleme sistemlerinin sağladığı toprak ısı özelliklerindeki değişiklikler toprak sıcaklığını etkiler (Ram ve ark., 2012). Toprak işleme, toprak organik maddesini, hacim ağırlığını, agregat yapısını ve nem içeriğini değiştirerek toprak ısı kapasitesini ve termal iletkenliği ve dolayısıyla termal yayılımı (termal iletkenliğin ısı kapasitesine oranı) etkilemektedir (Shukla ve ark., 2003). İşlenmiş toprak ve toprak işlenmesiz tarım karşılaştırıldığında toprağın ısı yayılımı, 5-15 cm toprak derinliğinde %20-25 daha yüksek (Johnson ve Lowery 1985) ve 5-25 cm toprak derinliğinde ise %37 daha yüksek bulunmuştur (Hay ve ark., 1978; Abu-Hamdeh, 2000).

Arshad ve Azooz (1996), kuzey batı British Columbia'daki siltli tınlı toprak üzerinde arpa ekiminden sonraki ilk üç hafta boyunca 5 cm derinlikteki ortalama günlük sıcaklığın geleneksel toprak işlemede 13.3°C olmasına karşın toprak işlenmesiz tarımda 11.2°C olduğunu rapor etmişlerdir. Bu etki, toprak işlenmesiz tarım sistemi altında daha fazla nem olduğundan dolayı hacimsel ısı kapasitesi ve termal iletkenliğin daha yüksek olmasına bağlanmıştır. 0-0.15 m toprak tabakasındaki termal iletkenlik, geleneksel toprak işlemede 0.83 W/m°C ve toprak işlenmesiz tarımda 0.89 W/m°C; hacimsel ısı kapasitesi ise geleneksel toprak işlemede 1.71 MJ/m³°C ve toprak işlenmesiz tarımda 1.98 MJ/m³°C'dir. Ekimden sonraki ilk 10 hafta için ortalama günlük ısı akışı geleneksel toprak işlemede 1.15 MJ/m²d iken toprak işlenmesiz tarımda 0.77 MJ/m²d'dir (Arshad ve Azooz, 1996). Artan nem ve düşük sıcaklıklar tohum çimlenmesi için daha iyi koşullar sağlamaktadır. Çizelge 2.2'de toprak işleme uygulamalarının nem, sıcaklık ve bitki çıkış oranı üzerindeki etkileri gösterilmektedir. Artan sıcaklıklar bitki çıkış oranını azaltırken çıkışı da geciktirir. Yüzeyde bırakılan anız, sıcaklığı düşürerek toprak sıcaklığının uygun seviyede tutulmasını sağlar (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Börülce ve soya tarımında toprak işleme uygulamalarının nem, sıcaklık ve bitki çıkış oranı üzerindeki etkileri (Nangju ve ark., 1975)

	Toprak işleme sistemleri	Maksimum toprak sıcaklığı (°C)	Toprak nem içeriği (%)	Bitki çıkışı (%)	Çıkış gün sayısı	Bitki ağırlığı (g)
Börülce	GTİ	41	11.2	89.4 ^b	4 ^b	1.32
	DE	36	14.4	97.8 ^a	3 ^a	1.60
Soya	GTİ	41	11.6	33.4 ^d	6 ^d	0.53
	DE	36	14.3	53.9 ^c	5 ^c	0.43

GTİ: Geleneksel toprak işleme, DE: Doğrudan ekim, a, b, c, d =%5 olasılıkla farklılık

Toprak agregatları, genel olarak mikro agregatlar (<250 µm) ve makro agregatlar (>250 µm) olmak üzere iki temel sınıfta incelenmektedir (Yılmaz ve ark., 2005). Tarım topraklarının yönetiminde, suyun parçalayıcı etkisine karşı toprak agregatlarının direnci oldukça önemlidir. Agregat stabilitesi ve toprak organik madde içeriği arasında kuvvetli korelasyon vardır (Tisdall ve Oades, 1982; Chaney ve Swift, 1984).

Topraklarda agregat büyüklük dağılımı ve agregat stabilitesi ölçümleri dikkate değer bir toprak kalite göstergesidir (Özdemir ve ark., 2015; Eraslan ve ark., 2016; Six ve ark., 2000). Toprağın agregatlaşmasının iyi bir şekilde olması ile su ve hava dengesi sağlanmış, köklerin rahatlıkla gelişebileceği bir ortam oluşturulur. Agregatlaşmanın iyi olması, suyun infiltrasyonunu ve toprak profili içerisindeki hareketini engelleyici etmenleri ortadan kaldırır, yüzey akışı ile meydana gelen kayıpları azaltır (Özbek ve ark., 1999). Gümüş ve ark. (2016) topraklarda agregat oluşumunu arttırmak için toprak üzerinde mekanizasyon işlemlerinin düşük seviyede tutulmasını, organik madde miktarı seviyesinin yükseltilmesini ve toprak agregat yapısını olumsuz etkileyecek her türlü uygulamayı azaltarak fiziksel verimliliğin yükseltilmesini önermişlerdir.

Tohum yatağını oluşturan **toprağın parçacıklarının boyut dağılımı** ve oluşan sıkışma sonucu meydana gelen mekanik dirençler bitki gelişiminde etkili olmaktadır. Toprak işleme uygulamaları ile oluşan farklı büyüklüklerdeki toprak parçacıklarının dağılımı, işlenen toprağın yapısını belirler. Parçacık boyut dağılımı; su tutma kapasitesi, toprak havalanması, besin elementlerinin depolanması, bitkinin çimlenmesi, kök ve gövde gelişimi gibi birçok özelliği etkilemektedir (Altıkat 2005). Bouaziz ve Bruckler (1989) toprağın parçalanma oranına etkili faktörleri; toprak tekstürü, işleme zamanındaki nem içeriği, toprak işleme aletinin tipi-özellikleri ve tarla trafiği olarak sıralamıştır.

Kusursuz bir tohum yatağı profilinde, tohumun yerleşeceği derinlikteki toprağın küçük, tohumun üstündeki toprak tabakasının ise büyük toprak parçacıklarından oluşması gerekir. Böylelikle, yağmur damlalarının darbe etkisi azalmış olur. Tohumun etrafındaki parçacıklar ise çimlenme esnasında gereksinim duyulan nemi sağlayacak küçüklükte olmalıdır. Ayrıca toprak parçacıkları havalanmayı engelleyecek kadar küçük olmamalıdır (Aslan 1999). Johnson ve Taylor (1960)'a göre ekim yapılan tabakadaki toprağın kütlelerinin %30'unun çapı 2.5 mm'den küçük sekonder agregatlar bulundurulmalıdır. Baver ve ark. (1972) ise bitki çıkışını sağlayacak en uygun toprak parçacık dağılımının %50 oranında 3.17-6.35 mm çapında olmasını tavsiye etmiştir. Brunotto (1986) ise ideal tohum-toprak-su teması için, toprak partiküllerinin, tohum çapının 1/5 ile 1/10'u büyüklüğünde olmasını önermiştir.

Toprağın sıkışma durumunu karakterize etmek için hacim ağırlığı ve toplam gözeneklilik en sık kullanılan parametrelerdir. Bununla birlikte toprak kalitesi açısından toprak özelliklerini karakterize etmek için bu parametreler yetersizdir. Hakansson (1973) ve Eriksson ve ark. (1974) "sıkışma derecesi" adını verdikleri parametreyi geliştirmişlerdir. Bu parametre toprak işleme nedeniyle bozulan toprak katmanlarındaki koşulların karakterizasyonu için tasarlanmıştır (Hakansson ve Lipiec, 2000). Sıkışma derecesi arazide ölçülen hacim ağırlığı değeri ile proktor testi ile belirlenen referans hacim ağırlığı değeri olarak kullanılan toprağın maksimum hacim ağırlığı arasındaki orandır. Proktor testinden elde edilen ana parametreler toprağın maksimum hacim ağırlığı (MAXBD), kritik nem içeriği (CWC) ve toprağın sıkışma derecesidir. Toprak MAXBD, toprağın bağıl sıkışmasını tahmin etmek için referans değeri olarak kullanılabilir (Carter, 1990; Beutler ve ark., 2005). MAXBD'ye belirli bir kritik su içeriğinde ulaşılmaktadır. Tohum yatağı hazırlığı, ekim, bitki koruma ve hasat işlemleri için traktörlerin ve diğer ağır ekipmanların tekrarlanan geçişleri, önemli düzeyde toprak sıkışmasına yol açmaktadır (Gupta ve Allmaras, 1987). Sıkışma toprak nemli olduğunda ve/veya ağır ekipmanlarla birlikte yüksek basınçlı lastikler kullanıldığında daha fazla olmaktadır (Botta ve ark., 2004; Hamza ve Anderson, 2005).

Toprakta meydana gelen **yüzey pürüzlülüğü** birkaç şekilde tanımlanmaktadır (Romkens ve Wang, 1986). Bunlar; agregat büyüklüğünden dolayı oluşan mikro kabarma değişimleri, keseklerden dolayı meydana gelen değişim, kullanılan toprak işleme aletlerine bağlı olarak meydana gelen sistematik yüzey değişimleri ve toprak yapısında

var olan değişimlerdir. Bitkisel gelişim açısından incelendiğinde, toprak işleme derinliği, organik madde içeriği ve boşluk geometrisindeki değişimlerin farklı toprak işleme yöntemleri tarafından etkilendiği bilinmektedir (Müjdecı ve ark. 2010).

Toprakta oluşan yüzey pürüzlülüğü birkaç farklı şekilde tanımlanmaktadır (Romkens ve Wang, 1986). Bunlar; kesekler nedeniyle oluşan değişim, agregat büyüklüğü nedeniyle oluşan mikro kabarma değişimleri, tercih edilen toprak işleme aletiyle ilişkili oluşan sistematik yüzey değişimleri ve toprak yapısında halihazırda var olan değişimlerdir. Bitkisel gelişim açısından incelendiğinde, organik madde içeriği, toprak işleme derinliği ve boşluk geometrisindeki değişimlerin farklı toprak işleme sistemleri ile etkilendiği bilinmektedir (Müjdecı ve ark., 2010).

2.2. Sürdürülebilir Tarımda Toprak Kalitesi

Yirminci yüzyılın ortalarında başarı sağlamış olan yeşil devrim, başta buğday ve pirinç olmak üzere yüksek verimli çeşitler getirmiştir. Daha sonra ise dünyadaki diğer birçok temel ürünleri de içine alarak genişlemiştir (Eswaran ve ark., 1997; Lal, 2009). Fakat yeşil devrimin istenmeyen sonuçlar doğurmasıyla doğal kaynakların yıkılması ve azalması yeni bir devrimi garanti etmiştir. Yoğun tarım uygulamaları toprak kalitesinin günümüzde daha popüler olmasını desteklemiştir. Küresel iklim değişikliği ya da diğer verim azaltıcı etmenler karşısında toprak kalitesinin oluşumunu teşvik eden, tarımın yoğunlaştırılmasının etkilerini izlemek giderek kabul görmektedir (Hobbs, 2007).

Sürdürülebilirliğin değerlendirilmesi ve sağlanması amacıyla dinamik toprak özelliklerine ve işlevlerine odaklanan toprak kalitesinin izlenmesi ve korunması sürdürülebilirlik için dikkate değer bir seçenektir (Karlen, 2004). Toprak kalitesi değerlendirmelerinde kullanılan göstergelerin ekosistemde oluşabilecek değişimler için erken uyarı görevi görmesi beklenir (Andrews ve ark., 2004). Toprak kalitesi göstergeleri uygulama kolaylığı için olabildiğince basit olmalı; ekosistemin bileşimi, yapısı ve işlevi hakkında esas bilgileri sağlamalı ve aynı zamanda karmaşık olan ekosistem ile bütünleşmelidir (Dale ve ark., 2008). Toprak kalitesi göstergelerinin tercihi ve bu göstergelerin toprak fonksiyonlarına etkisi, alanın iklimi, tarla içi uygulamalar, değerlendirilecek arazi kullanım şekli ve benzerleri gibi farklı faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Karlen ve ark., 2006). Toprak kalitesini farklı disiplinlerde

alışan bilim insanları farklı tanımlasa da toprak kalitesi tanılamasındaki amacın “sadece tarımsal üretim açısından biyolojik, kimyasal ve fiziksel toprak özelliklerinin iyileştirilmesi değil buna ek olarak uzun vadeli su kalitesinin korunması, toprak verimliliğinin ve dünyadaki yaşam koşullarının ideal şekilde sağlanması” olduğu dile getirilmiştir (Rosa ve Sobral, 2008).

Toprak kalitesi basit bir ifadeyle; toprağın fonksiyonlarını temel alan, toprağın dinamik ve canlı yapısını öne çıkaracak şekilde **"toprağın fonksiyonlarını yerine getirme kapasitesi"** olarak açıklanabilir (Karlen ve ark., 1997). Seybold ve ark (1998) ise dinamik toprak kalitesi kavramını ileri sürmüş ve bunu insan kullanımı ve amenajmanın toprağın fonksiyonları üzerindeki etkisiyle belirlenen toprak kalitesi olarak açıklamışlardır. Amerika Toprak Bilimi Derneği ise toprak kalitesini; *“Doğal veya amenajman ekosistemleri sınırları içerisinde bulunan belirli bir toprağın bitki ve hayvan üretimini devam ettirebilmesi, su ve havanın kalitesini koruması ve iyileştirmesi, insan sağlığı ve diğer canlıların yaşamlarını desteklemesi gibi işlevselliği”* olarak tanımlamıştır (SSSA, 1997).

Toprak kalitesi üzerine günümüzde iki esas görüş vardır. Bunlardan ilki toprağın sahip olduğu özelliklerin fonksiyonu olan kapasite (Doran ve Parkin, 1994), ikincisiye kullanıma uygunluk kavramlarıdır (Pierce ve Larson, 1993; Acton ve Gregorich, 1995). Kapasite; toprağın oluşumunu belirleyen topoğrafya, iklim, ana materyal ve vejetasyon gibi özelliklerle bağlantılı olarak oluşan kendi bünyesinde yer alan özelliklerdir. Bunlar toprak etütleri ile ölçülen ve eğim, tekstür, renk ve strüktür gibi kavramlarla belirlenen özelliklerdir. Kullanıma uygunluk ise dinamik bir kavram olup insan yönetiminden ve aktivitesinden etkilenen özelliktir. Bu kavram sıklıkla toprak sağlığı olarak da isimlendirilir (Cebel, 2011). Doran ve Zeiss (2000)’e göre toprak sağlığı, toprağın canlı bir sistem olarak işlev görmesi, ekosistem ve arazi kullanım sınırları içinde hayvan ve bitki verimliliğini devam ettirerek hava ve su kalitesini koruma kapasitesidir. Karlen ve ark. (2008)’e göre toprak kalitesinin yeterli olduğunun en önemli işareti toprağın birçok kapasitesini ve fonksiyonunu maksimum sınırlarında yerine getirebiliyor olmasıdır.

Son 20 yılda toprak kalitesi ile alakalı araştırmalar arttıkça kalite skorlarının belirlenmesi için Toprak Kalite Kartı ve Test Kiti (Ditzler ve Tugel, 2002), Arazi Kullanım Kabiliyet Sınıflandırması (Yimam, 2014), Çoklu Değişken İndikatör Kriking Metodu, Toprak

Kalite İndeks Metodu (Doran ve Parkin, 1994; 1996), Toprak Amenajmanı Değerlendirme Çerçevesi (SMAF) (Andrews ve ark., 2004), Dinamik Değişkenli Toprak Kalitesi Metodu (Larson ve Pierce, 1994) ve Cornell Toprak Sağlığı Testi (CSHA) (Gugino ve ark., 2009) gibi birçok farklı metot önerilmiştir.

Toprak kalitesi çalışmalarının öncelikle hedefi, toprak kaynaklarını etkileyebilecek amenajman kararlarının toprağın biyolojik, kimyasal ve fiziksel özelliklerine etkilerinin izlenmesini sağlayacak toprak kalitesi değerlendirmesini bir aracı olarak kullanarak, toprakların şu anki durumu ile potansiyellerini ve geçmişini incelemektir (Karlen ve ark., 2008).

Üreticiler, toprak sağlığını tanımlanabilir ve nicel özellikler ile doğrudan değer yargısıyla (sağlıksız-sağlıklı) nitelendirmişlerdir. Fakat bilim insanları toprak kalitesini seçmektedirler çünkü toprağın analitik ve nicel özellikleriyle ilgilenmekte ve bu özellikler ile farklı toprak fraksiyonları arasında sayısal bağlantıyı kurmaya çalışmaktadırlar (Romig ve ark., 1995)

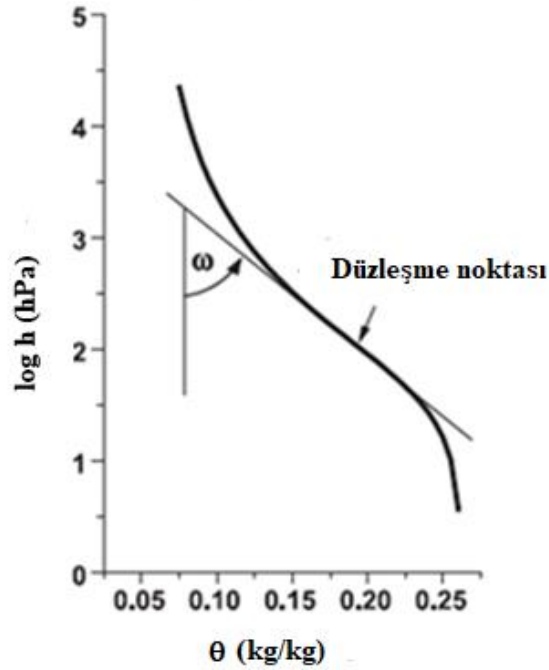
Toprağın laboratuvar ve arazide belirlenecek bazı biyolojik, kimyasal ve fiziksel özellikleri toprak kalitesi hakkında temel bilgiler verebilmektedir. Fakat yalnızca bir özellik toprak kalitesini belirlemede yetersizdir. Toprak kalitesi ile ilgili daha güvenilir yorumlar yapabilmek için bir grup biyolojik, kimyasal ve fiziksel toprak özelliği veri seti halinde hazırlanmalıdır (Öztaş, 2002).

Toprak fiziksel özellikleri hem toprak kalitesinin sürdürülebilir olması için hem de bitki büyümesi için önemli olmakla birlikte, toprak amenajmanında geleneksel, azaltılmış veya doğrudan ekim şeklinde toprak işleme sisteminin seçilmesi (Karlen ve ark., 1997), ekilecek bitki çeşidinin seçimi (Scott ve ark., 1992) ve organik madde uygulaması (Haynes, 2000; Rasse ve ark., 2000) gibi uygulamaları etkilemektedir (Dexter, 2004a).

Topp ve ark. (1997) ve Reynolds ve ark. (2007) fiziksel kalitenin en önemli göstergelerinden bazılarının toprakların depolama ve ürüne su, hava ve besin sağlama yeteneğini nicel olarak (direkt veya dolaylı) belirten; nispi tarla kapasitesi, bitki-yararışlı su kapasitesi, hava kapasitesi, makro porozite, hacim yoğunluğu, organik karbon içeriği ve strüktürel stabilite indeksi olduğunu belirtmişlerdir. Stefanoski ve ark. (2013)'e göre hacim ağırlığı, toplam gözeneklilik, agregat stabilitesi, toprağın penetrasyona karşı direnci gibi toprak özellikleri, kolay belirlenebilmeleri ve düşük maliyetli olmalarının

yanı sıra, toprak kullanımı ve yönetiminden etkilendikleri için fiziksel kalite göstergeleri olarak kullanılmıştır.

Dexter (2004a, b, c) hidrolik iletkenlik, sıkışma, toprak işleme için optimal nem içeriği, penetrasyon direnci, bitki-yarayışlı su içeriği, kök gelişimi ve toprak strüktürel stabilitesini kapsayan bir çok önemli toprak özelliği veya şartları ile ilişkili olan toprağın fiziksel/strüktürel kalitesinin indikatörü olarak “Toprak-Su Tutma Eğrisi'nin bükülme noktasındaki eğim olan S-indeks değerini” önermiştir (Reynolds ve ark., 2009) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Düzleşme noktasını ve düzleşme noktasındaki teğetin eğimini ($\tan \omega$) gösteren bir toprak su tutma eğrisi örneği (Dexter, 2004a)

Vizitiu ve ark. (2011), van Genuchten denkleminin toprağın su tutma özelliklerinin tahmininde, van Genuchten parametrelerinin ise toprağın hidrofiziksel indekslerinin hesaplanmasında kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Bahmani (2019), S-indeks değerlerini doğrudan ekim uygulamasında 0.066-0.082 aralığında; çizelin kullanıldığı toprak işleme sisteminde 0.069-0.076 aralığında; kulaklığı pulluğun kullanıldığı toprak işleme sisteminde ise 0.068-0.079 aralığında belirlemiştir. Toprak işlemeden etkilenen S-indeks değerlerinin tüm toprak işleme uygulamalarında 0.066'dan büyük olması toprağın

fiziksel kalitesinin iyi olduğunu göstermektedir. Azaltılmış ve toprak işlemesiz sistemleri kapsayan benzer bir çalışmada elde edilen sonuç $S > 0.035$ 'tir (Calonego ve Rosolem, 2011).

2.3. Ekim Kalitesi

Ekim işlemi, tohumları tohum yatağına yatay düzlemde uygun bir dağılımla tohumun isteğine uygun belirli bir derinliğe yerleştirme ve kapatma işlemidir (Karayel ve Özmerzi, 2005). Yüksek verimliliğin ilk ve en önemli şartı iyi bir çimlenme ve çıkış sağlamaktır. Bu sebeple ekim uygulamasında her tohum için çimlenme ve gelişim şartlarına uygun olarak toprağa bırakılması, toprak ile üstünün kapatılması ve uygun basınçla tohum-toprak temasının sağlanması gerekmektedir (Kara ve Bilgili, 2020).

Ekim işlemi zaman faktörünün oldukça etkili olduğu üretimin en önemli aşamalarından biridir. Diğer aşamalar için belirli bir zaman aralığı ve müdahale imkanı varken, ekim uygulaması gerçekleştirildikten sonra geriye dönüş olmamaktadır (Kuş, 2014). Ekim uygulamasında; ekim kalitesi, tohumların sıra üzeri teorik tohum mesafesinin belirli bir aralık içinde kalacak şekilde toprağa yerleştirilmesine doğrudan bağlantılıdır (Doğan ve ark., 2016). Ahmadi ve ark. (2008) ekim işleminin bitkisel üretim mekanizasyonunda ürün kalitesini etkileyen başlıca faktörlerden biri olduğunu belirtmişlerdir.

Ekim işleminde, ekim makinelerinin performans değerlerinin de belirlenmesi gereklidir (Yazgı ve ark., 2017). Özgöz ve ark. (2020) ekim kalitesini belirlerken istatistiksel proses kontrol yaklaşımını, Dursun ve Dursun (2000) ekim makinalarında sıra üzeri dağılım düzgünlüğünün belirlenmesinde laboratuvar ortamında yapılan yapışkan bant düzenini kullanmışlardır.

Ekim makinasının performansını belirlenmesinde tohum ya da bitki sıra aralıklarının ortalama ve standart sapması (Parish ve ark., 1991; Hollowell, 1992), boşluk ve ikizlenme oranı (Brooks ve Church, 1987) ve varyasyon katsayısı (Jasa ve Dickey, 1982; Hofman, 1988) kullanılmaktadır (Singh ve ark., 2005; Kuş, 2014).

Boşluk, iki bitki arasındaki sıra üzeri uzaklığın olması gereken (teorik) uzaklığın 1.5 katından fazla olması durumudur. 0.5 katından az ise ikizlenme olarak, 0.5-1.5 katı aralığında ise kabul edilebilir bitki aralığı olarak adlandırılmaktadır. Kabul edilebilir bitki

aralığı oranı ne kadar fazla, buna karşılık boşluk ve ikizlenme oranları ne kadar azsa toprak işleme ve ekimin sıra üzeri bitki dağılım düzgünlüğünün o kadar muazzam olduğu diğer bir ifadeyle ekim makinasının performansının iyi olduğu varsayılır (Barut, 1996). Ekim derinliği düzgünlüğünün belirlenmesi amacıyla kullanılan varyasyon katsayısı; ortalama ekim derinliğinin yüzdesi olarak belirtilen ekim derinliğinin standart sapma değeridir. Yüzde varyasyon katsayısı değerinin %30'dan az olması kabul edilebilir ekim derinliğini ifade eder (ISO, 1984). Işıldar ve Bayhan (2005), yaptıkları çalışmada ayçiçeği tarımında çizel; çizel ve kombikürüm (sabit dişli tırmık+spiral döner elemanlı tırmık kombinasyonu); çizel ve diskli tırmık uygulamalarının ekim düzgünlüğü parametreleri (boşluk oranı, ikizlenme oranı ve kabul edilebilir tohum aralığına sahip bitkilerin yüzdesi) açısından farklılık göstermediğini bildirmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Araştırma Alanı

Çalışma 2017-2021 yılları arasında Afacan ve ark. (2023) tarafından yürütülen “Farklı Toprak İşleme Yöntemlerinin Ana ve İkinci Ürün Rotasyonlarında Toprak Özellikleri, Verim ve Enerji Etkinliklerinin Karşılaştırılması” isimli TAGEM projesinin devamı olarak yapılmıştır. Doktora çalışmasında, TAGEM projesinde uygulanan toprak işleme ve ürün rotasyonları ile kültürel işlemler devam ettirilmiştir. Buna göre çalışmada aynı deneme parsellerinde birinci ürün silajlık tritikale-fiğ karışımı+ikinci ürün silajlık mısır rotasyonu uygulanmıştır.

Araştırma, Doğu Karadeniz ve Orta Anadolu bölgelerinin arasındaki geçit iklim bölgesinde yer alan Tokat-Kazova’da, Orta Karadeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü arazisinde yürütülmüştür (Şekil 3.1). Kazova, 40° 18’ kuzey enleminde, 36° 34’ doğu boylamında, Karadeniz’in 110 km güneyinde Tokat ile Turhal arasında Yeşilirmak vadisi boyunca uzanan 29 812 ha büyüklüğündedir. Ortasından Yeşilirmak geçmektedir ve rakımı 500-750 m’dir (DSİ, 1974).



Şekil 3. 1. Araştırma alanı

Çalışma, Kazova’da hakim toprak serisi olan Yeşilırmak serisinde yürütülmüştür. Eski Amerikan sınıflandırmasında alüvyal büyük toprak grubunda yer alan Yeşilırmak serisi, toprak taksonomisi (1980) esaslarına göre Entisol ordo, fluvent alt ordo, typicustifluent bir topraktır. Yeşilırmak serisi toprakları %0-2 eğimde, düz, düze yakın eğimli, Yeşilırmak’ın taşıdığı alüvyonlarla oluşmuş A ve C horizonlu çok derin topraklardır. Kireç içeriği tüm profil boyunca aşağı yukarı homojendir. Kil içeriği %36.8-42.8 aralığında değişir. pH 7.72-7.90 aralığında değişir. Baskın katyon Mg ve Ca’dur (Oğuz, 1993).

3.2. İklim Özellikleri

İlin uzun yıllar (1929 – 2023) iklim verilerine göre ortalama sıcaklık 12.5°C, maksimum sıcaklık 18.8°C, minimum sıcaklık 7.2°C, aylık toplam yağış miktarı ortalaması 435 mm, ortalama güneşlenme süresi 5.8 h’ tir (MGM, 2024). Çalışmanın yürütüldüğü vejetasyon süresine (Kasım 2021-Ekim 2022) ait iklim verileri ise Çizelge 3.1’de verilmiştir. Toplam yağış 55.1 mm ile haziran ayında maksimuma ulaşmıştır. En sıcak ay 38.8 °C ile eylül ayında, en soğuk ay -15.0 °C ile ocak ayında yaşanmıştır. Aylık en yüksek nispi nem %78.7 ile ocak ayında ölçülmüştür.

Çizelge 3.1. Vejetasyon süresine (2021-2022) ait bazı iklim verileri (MGM, 2022)

Meteorolojik Veriler	AYLAR											
	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
ATY (mm)	0.1	0.76	43.3	25.9	48.9	33.2	32.6	55.1	0.0	4.7	27.4	35.3
AOS (°C)	15.2	4.82	1.0	4.7	3.0	14.5	15.2	20.7	20.7	24.9	19.4	13.3
AMAS (°C)	24.8	10.43	15.8	19.0	22.7	32.1	35.7	35.4	34.1	38.2	38.8	30.4
AMİS (°C)	8.3	0.25	-15.0	-7.6	-7.5	-1.6	2.1	10.5	8.5	13.4	3.5	-1.1
AONN (%)	68.8	77.53	78.7	73.0	72.4	59.4	67.2	73.0	69.5	68.4	67.9	76.2

ATY: Aylık toplam yağış (mm), AOS: Aylık ortalama sıcaklık. (°C), AMAS: Aylık maksimum sıcaklık. (°C), AMİS: Aylık minimum sıcaklık. (°C), AONN: Aylık ortalama nispi nem (%)

3.3. Araştırmada Kullanılan Traktör ve Tarım Alet ve Makinaları

Denemelerde kullanılan traktör ve tarım alet ve makinelerine ait bazı teknik özellikler Çizelge 3.2’de, resimler ise Şekil 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Denemede kullanılan traktör ve tarım alet ve makinalarının teknik özellikleri*

Makine	Ünite sayısı	İş genişliği (cm)	İş derinliği (cm)	Ağırlık (kg)
Traktör (4WD, 61 BG)	-	-	-	3485
Kulaklı Pulluk	4	120	29-33	470
Çizel	7	210	45	400
Dik Rotovator	16 Bıçak	200	28	900
Diskli tırmık	18	200		930
Kombikürüm	29	300		900
Boğaz doldurma	3	228		400
Tahıl ekim makinası	15 sıralı	221	5	600
Anıza Tahıl ekim makinası	14 sıralı	210	5	1750
Pnömatik ekim makinası	4 sıralı	290	4	845
Anıza pnömatik ekim makinası	4 sıralı	210	7	1000
Santrifüj gübre dağıtma makinası	Tek Disk	1800-2000		205
Pülverizatör	Tarla Tipi	1500	-	320
Mısır silaj makinası	Tek sıra	70	-	550

*Afacan ve ark. (2023)

3.4. Deneme Planı

Çalışmada biri geleneksel olmak üzere aşağıda açıklanan dört farklı toprak işleme sistemi uygulanmıştır.

M1- Geleneksel Toprak işleme: Kulaklı pullukla 20-25 cm derinlikte işlemeden sonra 1 defa diskli tırmıkla geçilmiş (derinlik 10-15 cm) daha sonra kombikürüm ile işleme yapılarak tohum yatağı hazırlanmıştır.

M2- Azaltılmış toprak işleme-1: Çizelle 20-25 cm derinlikle işlemeden sonra 1 defa diskli tırmıkla geçilerek (derinlik 10-15 cm) tohum yatağı hazırlanmıştır.

M3- Azaltılmış toprak işleme-2: Düşey eksenli toprak frezesi (dik rotovator) ile 15-20 cm derinlikte toprak işleme yapılarak tohum yatağı hazırlığı tamamlanmıştır.

M4- Doğrudan ekim: Bu uygulamada parsellerde herhangi bir toprak işleme yapılmamıştır.



Traktör



Pulluk



Çizel



Dik Rotovator



Goble Diskli Tırmık



Kombikürüm



Ara Çapa Makinası



Tahıl Ekim Makinası



Doğrudan Tahıl Ekim Makinası



Pnömatik Ekim Makinası



Pnömatik Doğrudan Ekim Makinası



Gübre Dağıtma Makinası



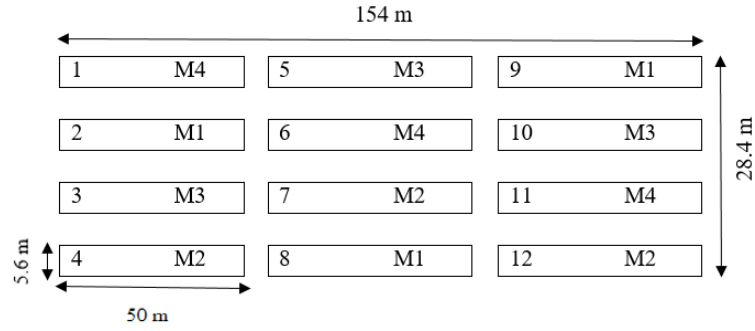
Tarla Pülverizatörü



Silaj Makinası

Şekil 3.2. Denemede kullanılan alet ve makinalar (Afacan ve ark., 2023)

Araştırma tesadüf blokları deneme desenine göre 50 m x 5.6 m boyutlarındaki parsellerde 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür (Şekil 3.3). Toprak işleme, sulama, gübreleme, bakım ve hasat işlemleri sırasında sorunlar yaşanmaması ve parsellerin zarar görmemesi için parsellerin çevresinde 2 m boşluk bırakılmıştır.



Şekil 3.3. Araştırmaya ait deneme planı

(M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim)

Araştırma alanında çalışma öncesinde yürütülen proje 2020-2021 döneminde kışlık buğday + ikinci ürün silajlık mısır rotasyonu ile tamamlanmıştır. Dört yıldır uygulanmakta olan rotasyon dikkate alınarak doktora çalışmasında birinci ürün tritikale-fiğ karışımı + ikinci ürün silajlık mısır rotasyonu uygulanmıştır. Uygulanan kültürel işlemler Çizelge 3.3'te verilmiştir. Gübre uygulamaları toprak verimlilik analizi sonuçlarına göre yapılmıştır. Ekim öncesinde ve ilkbaharda yabancı ot gözlemleri yapılmış ve buna göre doğrudan ekim parsellerinde ekim öncesinde ve tüm parsellerde ilkbaharda ilaç uygulanmıştır.

Çizelge 3.3. Uygulanan kültürel işlemler

İşlem	Silajlık Triticale-Fiğ	2. Ürün Silajlık Mısır
Toprak işleme	22.11.2021	05.07.2022
Ekim	23.11.2021 7 kg/da fiğ+7 kg/da tritikale karışım, 3-4 cm derinlik	06.07.2022 70 cm sıra arası-18 cm sıra üzeri, 5 cm derinlik
Gübre	Ekimle birlikte Taban: 13 kg/da DAP 05.04.2021 Üst: Amonyum Sülfat (%21N) 18 kg/da	Ekimle birlikte Taban: 20 kg/da DAP 10.08.2022 Üst: Nitropower (%33N) 22 kg/da
Çapa ve boğaz doldurma	---	10.08.2022 Gübreli ara çapa makinası ile üst gübre ve boğaz doldurma
İlaç	Ekim öncesi: Doğrudan ekim parsellerine 300 ml/da total herbisit atıldı.	27.07.2022 Ekim öncesi: Doğrudan ekim parsellerine 300 ml/da total herbisit atıldı. Bitki boyu 20-25 cm: Ghibli (220 g/l Dicamba + 50 g/l Nicosulfuron) Mospilan 20 SP (%20 Acetamiprid)
Sulama	1 defa	3 defa
Hasat	30.05.2022	27.10.2022

3.5. Denemelerde İncelenen Parametreler

3.5.1. Toprak özellikleri ile ilgili parametreler

Nem içeriği

Sabit hacimdeki silindirler ile alınmış bozulmamış toprak örnekleriyle (Blake ve Hartge, 1986) hacimsel olarak belirlenmiştir.

Hacim ağırlığı

Sabit hacimdeki silindirler ile alınmış bozulmamış toprak örnekleriyle Eşitlik 1 kullanılarak (Blake ve Hartge, 1986) belirlenmiştir (Şekil 3.4). Toprak nem içeriği ve hacim ağırlığını belirlemek için aynı örnekler kullanılmıştır.

$$HA = \frac{Wk}{V} \quad (1)$$

Burada; HA: Hacim ağırlığı (g/cm³)

Wk: Örnek toprağın kuru ağırlığı (g) ve

V: Örnek silindirinin hacmidir (100 cm³).



Şekil 3. 4. Bozulmamış toprak örneği alma seti

Toplam Gözeneklilik

Toprak gözeneklilik oranı belirlenen deneysel hacim ağırlığı ve toprak özgül ağırlığı değerlerinden yararlanılarak Eşitlik 2 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$P = 1 - (HA/P_k) \quad (2)$$

Burada; HA : Arazide belirlenen hacim ağırlığı (g/cm³) ve

P_k : Piknometre ile belirlenen toprak yoğunluğudur (g/cm³).

Penetrasyon direnci

Toprak penetrasyon direncini belirlemek amacıyla elle itmeli 2.5 cm aralıklarla 7 MPa ve 45 cm derinliğe kadar ölçüm yapabilen dijital penetrometre (FieldScout) kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Ölçümlerde 12.7 mm çapında konik uç kullanılmıştır (Şekil 3.5). Her ölçüm noktasında 0, 2.5, 5, 7.5 ve 10 cm derinliklerde ölçülen değerlerin ortalaması alınarak 0-10 cm derinlik ve 12.5, 15, 17.5 ve 20 cm derinliklerde ölçülen değerlerin ortalaması alınarak 10-20 cm derinlik için ortalama penetrasyon direnci değerleri elde edilmiştir.



Şekil 3. 5. Dijital penetrometre

Sıkışma derecesi

Toprak işleme uygulanan parsellerin 0-10 cm ve 10-20 cm derinliklerdeki maksimum kuru hacim ağırlığı (HAp) Standart Proktor testi (ASTM, 1982) ile belirlenmiştir. Araştırma parsellerinden 0-10 cm ve 10-20 cm derinliklerden alınan 4 mm'lik elekten geçirilmiş 24 kg ağırlığında toprak örneği 3 kg'lık alt örneklere ayrılmıştır. Farklı nem içeriklerine getirilmiş alt örneklerin her biri üç tabaka halinde 944 cm³ hacmindeki

proktor moldu içerisinde sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma işlemi 2.5 kg ağırlığındaki çekiç 30.5 cm yükseklikten 25 defa düşürülerek yapılmıştır (Şekil 3.6). Sıkıştırma işleminden sonra her bir alt örnek etüvde 105°C’de kurutularak gravimetrik nem içeriği ve hacim ağırlığı (g/cm³) belirlenmiştir. Hacim ağırlığı ve nem içeriği değerleri arasındaki ilişki kullanılarak elde edilen tahmin eşitliği ile toprak işleme parsellerinin sıkışma derecesi Eşitlik 3 kullanılarak ifade edilmiştir. Sıkışma derecesi işlenmiş alanlar için 0 – 1 aralığında değişmektedir (Tapela, 2001).

$$SD = (HA/HAp)100 \quad (3)$$

Burada, SD : sıkışma derecesi (%),

HA : Araştırma alanında ölçülen hacim ağırlığı (g/cm³) ve

Hap : Araştırma alanında HA ölçümünün yapıldığı andaki nem içeriğinde belirlenen proktor hacim ağırlığıdır (g/cm³).



Şekil 3. 6. Proktor moldu ve çekici

Agregat stabilitesi

Agregat stabilitesinin belirlenmesinde ıslak eleme metodu kullanılmıştır (Kemper ve Rosenau, 1986) (Şekil 3.7). Toprak agregatlarının boyut dağılımı Cambardella ve Elliot (1993)’ün prosedürü takip edilerek bir seri eleklerle (2.0, 1.0, 0.5, 0.25 mm) yaşı eleme ile ölçülmüştür. Bu yöntemde; 50 g ağırlığında <4.76 mm boyutundaki agregatlar 2.0, 1.0, 0.5, 0.25 mm açıklıktaki elek setinin en üstteki eleğine yerleştirilmektedir. Elekler 10

dakika suya daldırılmakta ve daha sonra dikey olarak 3 cm mesafede 2 dakikalık periyotta 50 kez hareketlendirilmektedir. Her bir eleğin üzerinde kalan agregatlar 105°C’de 24 h kurutulmakta ve tartılmaktadır. Suya dayanıklı agregaların yüzdesi 4.76-2, 2-1, 1-0.5, 0.5-0.25 ve <0.25 mm boyut aralıklarının her birinde Eşitlik 4 ve Eşitlik 5 kullanılarak belirlenmiştir (Emadi ve ark., 2008).



Şekil 3. 7. Islak eleme cihazı

$$\%WSA = \left(\frac{M_{a+s} - M_s}{M_t - M_s} \right) * 100 \quad (4)$$

Burada; WSA: agregat stabilitesi (%),

M_{a+s} : dayanıklı agregatların kütlesi + kum kütlesi (g),

M_s : sadece kum fraksiyonu kütlesi (g) ve

M_t : elenen toprağın toplam kütlesidir (g).

Kemper ve Rosenau (1986) tarafından modifiye edilen Van Bavel (1950) modeli kullanılarak suya dayanıklı agregatların ortalama ağırlıklı çapı ($A_{OAÇ}$) belirlenmiştir.

$$A_{OAÇ} = \sum X_i \cdot W_i \quad (5)$$

Burada; X_i : Her bir boyut fraksiyonunun ortalama çapı (mm) ve

W_i : Taşların ağırlığı düşüldükten sonra ilgili boyut fonksiyonundaki toplam kütlenin oranıdır.

Hidrolik iletkenlik

Sabit hacimde silindirlerle 0-10 cm ve 10-20 cm derinliklerden alınan bozulmamış örneklerde sabit yük metoduna (Klute ve Dirksen, 1986) göre belirlenmiştir.

Toprak parçalanma derecesinin belirlenmesi

Oluşturulan tohum yatağının kalitesini ifade etmek için her parselden 3'er tekerrürlü olmak üzere 0–10 cm ve 10-20 cm derinliklerden yaklaşık 5 kg ağırlığındaki toprak örnekleri kürek ile alınarak laboratuvara getirilmiştir. Örnekler laboratuvar ortamında, yaklaşık 2 ay kurutulduktan sonra elek analizi yapılmıştır (Çelik, 1998; Altıkat, 2005). Özellikleri Anonim (1974) da belirtilen 63, 32, 16, 8, 4, 2 ve 1 mm'lik delik çaplarına sahip, kare delikli elekler kullanılmıştır. Elek üzerinden geçebilecek parçacıkların kalmamasını sağlayacak ve örneklerin ufalanmasını önleyecek şekilde titreşim frekansı 50 Hz ve eleme süresi 30 s olarak belirlenmiş ve eleme yapılmıştır (Anonim, 1980) (Şekil 3. 8).



Şekil 3. 8. Titreşimli elek sallayıcı ve farklı delik çaplarına sahip elek serisi

Elde edilen tüm çap grupları kapsamlı bir değerlendirme amacı ile; <1 mm, 1-8 mm ve >8 mm olmak üzere üç grup temel alınarak analiz yapılmıştır (Çelik 1998). Ek olarak; ortalama ağırlık çapı değerleri Eşitlik 6'dan yararlanılarak belirlenmiştir (Adam ve Erbach, 1992, Demir ve ark., 1996).

$$OAÇ = \sum X_i \cdot W_i \quad (6)$$

Burada; OAÇ: Ortalama ağırlıklı çap (mm),

X_i : i'inci gruptaki ortalama elek çapı (mm) ve

W_i : i'inci elek üzerindeki örnek ağırlığı (g).

Yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesi

Parsellerin yüzey pürüzlülüğünü (düzgünsüzlüğünü) belirlemek için uzunluğu 1 m olan profil üzerine 2.5 cm aralıklarla yerleştirilen çubuklardan oluşan çubuklu profilmetre kullanılmıştır (Şekil 3.9). Çalışma yönüne dik yerleştirilen profilmetre yardımıyla 2.5 cm aralıklarla yüzey profili ölçülmüş ve Eşitlik 7 yardımıyla tarla yüzey pürüzlülüğü belirlenmiştir (Çarman, 1997).

$$R = 100 \cdot \log_{10} S \quad (7)$$

Burada; R: Alanın yüzey pürüzlülüğü (%) ve

S: Ölçülen değerin standart sapma değeridir.



Şekil 3.9. Araştırma alanının yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesinde kullanılan profilmetre

Organik madde

Richards (1954), tarafından açıklanan modifiye edilmiş Walkey–Black metodu ile belirlenmiştir (Nelson ve Sommers, 1982).

Tarla Kapasitesi

Tarla kapasitesi bozulmuş toprak örneklerinde 0.33 bar basınçta toprakta tutulan nem yüzdesidir (Jackson, 1962).

Solma Noktası

Solma noktası ise bozulmuş örneklerde 15 bar basınçta toprakta tutulan nem yüzdesidir (Jackson, 1962).

Faydalı Su Kapasitesi

Tarla kapasitesi ile solma noktası değerinin farkıdır (Klute, 1986).

3.5.2. Toprak nem içeriği, penetrasyon direnci ve toprak sıcaklığı değişiminin izlenmesi

Toprak işlemeden hasada kadar vejetasyon süresi boyunca toprak işleme yöntemlerinin 0-10 cm ve 10-20 cm derinliklerdeki toprağın nem içeriği, penetrasyon direnci ve toprak sıcaklığı değerlerindeki değişime etkisi belirlenmiştir. Bu amaçla vejetasyon süresi boyunca iklim verileri dikkate alınarak her ay günün aynı saatlerinde 3 tekrarlı olarak toprak hacimsel nem içeriği, penetrasyon direnci ve dijital toprak termometresi kullanılarak toprak sıcaklığı ölçümleri yapılmış ve sezon boyunca meydana gelen değişim belirlenmiştir.

3.5.3. Toprak su tutma verilerinin modellenmesi ve Dexter'in fiziksel kalite indeksinin (S-indeks) hesaplanması

Toprak su tutma eğrisinin belirlenmesinde düşük nem tansiyonları için (0-10-20-40-80-100 hPa = 0-10-20-40-80-100 cm) kum kutusu aleti (Eijkelkamp), yüksek nem tansiyonları (330-500-1000-2000-4000-8000-15000 hPa = 0.33-0.5-1-2-4-8-15 bar) için 1 ve 15 bar basınçlarda ölçüm yapabilen seramik basınç plakaları (SoilMoisture Equipment Corp) kullanılmıştır (Page ve ark., 1982) (Şekil 3. 9).



Şekil 3. 10. Seramik basınç plakaları (a) ve kum kutusu (b)

Toprak su tutma ve diğer toprak fiziksel özellikleri toprağın fiziksel kalitesi için önemlidir ve aynı zamanda bitkisel üretim için büyük kısıtlamalar olarak kabul edilmektedir. Toprağın su tutması üzerine çalışmalara bitkiler için yararlı suyu belirlemek amacıyla ihtiyaç vardır. Toprak su içeriği ile toprak su potansiyelini ilişkilendiren toprağın toprak su tutma karakteristikleri, su tutma özelliklerini açıklayan klasik bir metottur. Literatürde, toprak su tutma karakteristiği genellikle van Genuchten (1980) eşitliği ile Eşitlik 8'deki gibi tanımlanmaktadır (Vizitiu ve ark., 2010):

$$\theta = (\theta_s - \theta_r) \cdot [1 + (\alpha h)^n]^{-m} + \theta_r \quad (8)$$

Burada; θ : h toprak su potansiyelindeki nem içeriği (g/g),

θ_s : Doygun su içeriği (g/g),

θ_r : Kalan su içeriği (g/g),

α (h/Pa), m ve n: Şekil parametreleri ve

h: Toprak su potansiyelidir [Matrik potansiyeli katsayısına eşit (hPa)].

Bu modelde (van Genuchten eşitliği) m katsayısı, $m = 1 - 1/n$ (Muallem, 1976) olarak kullanılmaktadır. Kuruma sırasında toprak hacmindeki değişiklikler doğru bir şekilde izlenemediği için hacimsel su içeriği kullanılmamıştır. Dexter (2004a)'da, toprak fiziksel kalite çalışmalarında gravimetrik su içeriğinin (kg/kg) kullanılması önermektedir (El-Kayssi, 2021). Van Genuchten (1980) denklem parametrelerinin tahmini RETC ve Excel bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır.

Dexter (2004a, b, c), standart laboratuvar ekipmanı kullanılarak kolay ve kesin bir şekilde ölçülebilir olması amaçlanan yeni bir toprak fiziksel kalite ölçüsü olan S-indeksi'nin kullanılmasını önermiştir. S indeksi, van Genuchten (1980)'e göre belirlenen, toprağın su tutma eğrisinin düzleşme noktasındaki (inflection point) eğimi olarak tanımlanır. Gravimetrik su içeriğine (kg/kg) karşı su potansiyelinin logaritması (e tabanında) olarak çizilen eğri, düzleşme noktasında pozisyonu ($\theta_i, \ln h_i$) ve eğimi, $S = d\theta/d(\ln h)$ olmak üzere iki özelliğe sahiptir (Vizitiu ve ark., 2010).

Düzleşme noktasında su tutma eğrilerinin eğimi doğrudan grafikten ölçülebilir veya bir matematiksel yaklaşımla tahmin edilir. Daha sonra fonksiyon parametrelerine göre düzleşme noktasındaki eğim aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanır (Dexter, 2004a). Bu çalışmada, yukarıda belirtildiği gibi van Genuchten (1980) eşitliği kullanılarak belirlenen su tutma eğrisinin eğimi (S-indeks) Dexter (2004a)'ya göre Eşitlik 9 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$S = -n(\theta_s - \theta_r) \cdot \left[1 + \frac{1}{m}\right]^{-(1+m)} \quad (9)$$

Reynolds ve ark. (2009), eşitlikle belirlenen toprak fiziksel kalitesinin göstergesi olan S-indeks değerinin Dexter (2004c), Dexter ve Czyz (2007) ve Tormena ve ark. (2008) tarafından sınıflandırıldığını belirtmiştir. Buna göre hem ılıman hem de tropikal topraklar için toprağın fiziksel veya yapısal kalitesi $S \geq 0.050$ “çok iyi”, $0.035 \leq S < 0.050$ “iyi fiziksel kalite”, $0.020 \leq S < 0.035$ “zayıf fiziksel kalite” ve $S < 0.020$ “çok zayıf” veya “bozulmuş” olarak sınıflandırılmaktadır. Ayrıca, S-indeksin teorik sınırları $0 \leq S < \infty$ olsa da tarımsal topraklar $0.007 \leq S \leq 0.14$ aralığına girme eğilimindedir (Dexter ve Czyz, 2007). Araştırma alanında toprak işleme yöntemlerine göre elde edilen S-indeks değerleri bu

sınıflandırmaya göre değerlendirilerek, sürdürülebilir olan toprak işleme yöntemi belirlenmiştir.

3.5.4. Ekim kalitesinin belirlenmesi

İkinci üründe sıra üzeri tohum dağılım düzgünlüğünü saptamak için çimlenme gerçekleştikten hemen sonra sıralar üzerinden tesadüfi olarak belirlenen 10 m uzunluğundaki 3 sırada bitkiler arası uzaklıklar ölçülmüştür. Bu ölçümler ile elde edilen değerler kullanılarak, sıra üzeri bitki dağılım düzgünlüğü belirlenmiştir (Karayel ve Özmerzi, 2005).

Ölçülen sıra üzeri bitki aralığı değerleri kullanılarak Çizelge 3.4'te verilen plana göre ikizlenme, kabul edilebilir bitki aralığı ve boşluk oranı değerleri belirlenmiştir. Sıra üzeri bitki dağılım düzgünlüğü Çizelge 3.5'te görülen tek dane ekim kriterleri (Anonim, 1999) dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 3. 4. Sıra üzeri bitki dağılım düzgünlüğü değerlendirilmesi (Aykas ve ark., 2013)

Sıra üzeri bitki aralığı	Tanım
<0.5 Z/TÇD	İkizlenme
(0.5-1.5) Z/TÇD	Kabul edilebilir bitki aralığı (KEBA)
>1.5 Z/TÇD	Boşluk

Çizelge 3. 5. KEBA, ikizlenme oranları ve boşluk oranlarının değerlendirilmesi (Aykas ve ark., 2013)

KEBA (%)	İkizlenme oranı (%)	Toplam boşluk oranı (%)	Değerlendirme
>98.6	<0.7	<0.7	Çok iyi
>98.6 - ≤98.6	≥0.7 - <4.8	≥0.7 - <4.8	İyi
≥82.3 - 90.4	≥4.8 - ≤7.7	≥4.8 - ≤10	Orta
<82.3	>7.7	>10	Yetersiz

Ekim başarısının değerlendirmesinde kullanılan önemli bir parametre olan tarla filiz çıkış derecesi (TFÇD) Eşitlik 10'a göre belirlenmiştir (Önal, 2006).

$$TF\check{C}D = ((N_x - N_o)/N_i) * 100 \quad (10)$$

Burada; N_x : belirli sıra uzunluğunda tüm bitki aralıklarının toplam sayısı,

N_o : $0.5*Z$ 'den küçük aralıkların toplam sayısı ve

N_i : teorik toplam bitki sayısıdır.

Ekim derinliği bitki çıkışından sonra her parselde sökülen 20 adet fidenin kök derinlikleri ölçülerek belirlenmiştir. Ekim derinliğindeki değişim varyasyon katsayısı (%) kullanılarak değerlendirilmiştir (Aykas ve ark., 2013). Ekim derinliği dağılımında, varyasyon katsayısının sınır değeri %30 olarak alınmıştır (ISO, 1984). Ekim işleminde traktör ilerleme hızı 6.69 km/h olarak belirlenmiştir.

3.5.5. Verim

Çalışmada, uygulanan toprak işleme ve doğrudan ekim sistemlerindeki birinci ürün tritikale-fiğ karışımı ve ikinci ürün silaj mısırın yeşil ot (silaj) verimi belirlenmiştir. Tritikale-fiğ karışımının yeşil ot verimi için her parselde 3 tekrarlı olarak 1 m² alandaki bitkiler kesilerek tartılmış ve dekara yeşil ot verimi saptanmıştır. Silaj mısır verimi için araştırma alanından rasgele seçilen 6 m uzunluğunda 3 şeritteki bitkiler toprak yüzeyinin 5 cm yukarisından kesilerek tartılmış ve dekara yeşil ot verimi olarak hesaplanmıştır.

3.6. İstatistiksel analizler

İncelenen her bir parametre için elde edilen veriler kullanılarak toprak işleme sistemleri arasındaki farklılıkların önem dereceleri belirlenmiştir. Veri setleri öncelikle normal dağılım testine tabi tutulmuş ve normal dağılım göstermeyen verilere farklı transformasyonlar uygulanmıştır (Webster, 2001). Toprak işleme sistemleri için elde edilen verilerin karşılaştırılması ve benzer toprak işleme sistemlerinin belirlenmesinde varyans analizi (ANOVA) ve DUNCAN çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır. İstatistik analizler SPSS 17 bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır (SPSS, 2017).

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Araştırma Alanı Toprak Özellikleri

Araştırma alanı topraklarının tekstür ve araştırma başlangıcındaki bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Afacan ve ark. (2023) tarafından yürütülmüş olan projeden alınarak Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilmiştir. Çizelge 4.2’ye göre araştırma alanı toprakları tekstür bakımından 0-10 cm ve 10-20 cm derinliklerde killi tınılıdır ve homojendir.

Çizelge 4.1. Araştırma alanı topraklarının tekstür ve araştırma başlangıcı bazı fiziksel özellikleri (Afacan ve ark., 2023)

Toprak işleme sistemi	Derinlik (cm)	Tekstür (%)			Tekstür Sınıfı	Toprak Nemi (% v/v)	Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	Penetrasyon Direnci (MPa)
		Kum	Kil	Silt				
M1	0-10	26.76	35.76	37.48	Killi Tın	35.12±3.24	1.42±0.02	0.50±0.08
	10-20	27.15	34.65	38.20	Killi Tın	35.19±2.27	1.48±0.03	0.92±0.13
M2	0-10	26.27	35.55	38.18	Killi Tın	37.41±2.14	1.46±0.02	0.61±0.11
	10-20	26.52	35.08	38.40	Killi Tın	38.52±2.55	1.56±0.04	1.70±0.15
M3	0-10	26.06	35.31	38.63	Killi Tın	37.42±2.34	1.47±0.03	0.51±0.07
	10-20	26.68	34.65	38.67	Killi Tın	37.14±1.68	1.59±0.03	1.06±0.19
M4	0-10	26.26	36.24	37.50	Killi Tın	37.20±0.96	1.49±0.01	0.96±0.23
	10-20	26.94	33.95	39.11	Killi Tın	38.13±2.32	1.58±0.06	1.54±0.47

M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim

Çizelge 4.2. Araştırma alanı topraklarının araştırma başlangıcındaki bazı kimyasal özellikleri (Afacan ve ark., 2023)

Toprak işleme sistemi	Derinlik (cm)	Elektriksel İletkenlik (mmhos/cm)	Toplam Tuz (%)	pH	Kireç (%)	Yarayışlı P ₂ O ₅ (kg/da)	Yarayışlı K ₂ O (kg/da)	Organik madde (%)
M1	0-10	0.86	0.03	7.82	10.59	4.91	62.87	2.31
	10-20	0.81	0.03	7.80	10.98	2.54	65.66	2.37
M2	0-10	0.90	0.04	7.83	10.98	4.28	75.44	2.28
	10-20	0.85	0.03	7.82	10.59	2.18	67.79	2.19
M3	0-10	0.94	0.04	7.82	10.33	4.15	77.17	2.62
	10-20	0.85	0.03	7.81	11.50	2.52	67.49	2.23
M4	0-10	0.96	0.04	7.74	10.98	5.52	82.14	2.82
	10-20	0.91	0.04	7.71	10.72	4.52	65.59	2.48

M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim

4.2. Birinci Ürün Silajlık Triticale-Fiğ Karışımı Döneminde Tohum Yatağı Fiziksel Özellikleri

Toprak işleme sistemleri 0-10 ve 10-20 cm derinliklerde belirlenen nem içeriği değerlerini $P<0.01$ seviyesinde önemli bir şekilde etkilemektedir. Toprak işleme sonrasında en yüksek nem içeriği 0-10 ve 10-20 cm derinliklerde doğrudan ekimde (%36.80 ve %36.22) elde edilirken en düşük nem içeriği değerleri 0-10 ve 10-20 cm derinliklerde sırasıyla M3 (%27.70) ve M2 (%29.68) uygulamalarında elde edilmiştir. Nem içeriği değerlerindeki asıl farklılığın doğrudan ekimden kaynaklandığı ve diğer üç toprak işleme sisteminin istatistiksel olarak aynı grupta yer aldığı görülmüştür (Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4).

Toprak işleme sistemleri 0-10 cm ve 10-20 cm derinlikte ölçülen hacim ağırlığı değerlerini $P<0.01$ düzeyinde etkilemiştir. Toprak işleme sistemleri arasındaki farkı görebilmek için uygulanan DUNCAN çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre; 10-20 cm derinlikte geleneksel ve çizelin kullanıldığı sistemin istatistiksel olarak aynı grupta yer aldığını görülmektedir. Toprak işleme sistemleri ortalama hacim ağırlığı değerlerine göre 0-10 cm derinliklerde $M4>M1>M2>M3$ şeklinde sıralanırken 10-20 cm derinlikte $M4>M3>M1=M2$ şeklinde sıralanmıştır (Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4).

Hakansson ve Lipiec (2000) hacim ağırlığı 1.60 g/cm^3 olduğunda bitki gelişiminin sınırlandığını, sınırlayıcı hacim ağırlığı değerinin toprak tekstürüne göre değiştiğini ifade etmişlerdir. Araştırma alanı topraklarının killi tınlı tekstüre sahip olduğu düşünülürse Lhotsky ve ark. (1984)'nın killi tınlı topraklar için belirttiği 1.40 g/cm^3 sınır hacim ağırlığı (Badalikova, 2010) dikkate alınmalıdır. Ayrıca Pierce ve ark. (1983) killi tınlı topraklarda ideal hacim ağırlığı değerinin $<1.40 \text{ g/cm}^3$, köklerin gelişmesini olumsuz etkileyen hacim ağırlığı değerinin 1.63 g/cm^3 ve köklerin gelişimini engelleyen hacim ağırlığı değerinin $>1.80 \text{ g/cm}^3$ olduğunu ifade etmişlerdir. Bu değerlere göre araştırmada ölçülen hacim ağırlığı değerlerinin genel olarak bitki kök gelişimini sınırlayan değerlerin altında olduğu, 0-10 cm derinlikte M4 (1.45 g/cm^3), 10-20 cm derinlikte ise M3 (1.44 g/cm^3) ve M4 (1.51 g/cm^3) uygulamalarında sınır değerlere yakın olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4).

Barut ve ark. (2010) hacim ağırlığının 0-10 cm derinlikte tüm sistemlerde arttığını, alt katmanlarda ise doğrudan ekim sisteminde artış olduğunu; Gürsoy ve Kolay (2012)

geleneksel toprak işleme sistemindeki hacim ağırlığı değerinin daha yüksek olduğunu; Kuş ve Yıldırım (2017) en düşük hacim ağırlığı değerlerinin azaltılmış toprak işleme sisteminde belirlendiğini ifade etmişlerdir. So ve ark. (2009) ise sıfır toprak işlemenin kısa sürede hacim ağırlığını değiştirmedikini fakat uzun sürede hacim ağırlığını düşürdüğünü bildirmişlerdir. Bulut (2018) en yüksek ve en düşük nem içeriği değerlerinin sırasıyla sıfır toprak işlemeli doğrudan ekim ve geleneksel toprak işleme sisteminde olduğunu bildirmiştir. Çalışmada, literatürde belirtilen sonuçlara benzer şekilde toprak nem içeriği ve hacim ağırlığının doğrudan ekim sisteminde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Toprak işleme uygulamaları toprak işlemeden hemen sonra belirlenen toprakların toplam gözeneklilik değerlerini 0-10 cm derinlikte istatistiksel olarak $P<0.05$ seviyesinde önemli bir şekilde etkilerken 10-20 cm derinlikte toplam gözeneklilik değerlerini istatistiksel olarak önemli bir şekilde etkilemediği belirlenmiştir (Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4). Yüzey derinliğinde geleneksel ve her iki azaltılmış toprak işleme uygulamaları arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık yoktur. Maksimum toplam gözeneklilik 0-10 cm derinlikte M3 uygulamasında (%56.40), minimum toplam gözeneklilik ise 10-20 cm derinlikte M4 uygulamasında (%44.51) elde edilmiştir. Bahtiyar (1996) teksele strüktürdeki toprağın porozite değerinin %24.5 ile %47.5 aralığında değiştiğini ifade etmektedir. Porozite ve hacim ağırlığı toprak işleme ile değişebilen parametrelerdir ve aralarındaki ilişki zıttır. Birinde görülen artış diğerinin azalışı anlamına gelmektedir (Ülger ve ark., 2002). Bu çalışmada da hacim ağırlığı ve toplam gözeneklilik değerleri beraber incelendiğinde aralarında zıt bir ilişki olduğu görülmektedir. Toprak işleme yöntemlerinde kullanılan makinaların toprağa yaptığı mekanik etkiye bağlı olarak doğrudan ekime göre diğer toprak işleme sistemlerinde işleme derinliğinde toprak daha fazla gevşetilmiştir.

Toprak penetrasyon direnci değerleri 0-10 ve 10-20 cm derinliklerde toprak işleme sistemlerinden $P<0.01$ düzeyinde önemli bir şekilde etkilenmiştir. Ortalama toprak penetrasyon direnci değerleri incelendiğinde 0-10 cm derinlikte en yüksek değerin M4 (1.16 MPa) ve en küçük değerin M2 (0.44 MPa) sisteminde elde edildiği ve M1, M2 ve M3 sistemlerinin istatistiksel olarak aynı grupta yer aldığı belirlenmiştir. İkinci ölçüm derinliği (10-20 cm) için benzer değerlendirme yapıldığında maksimum değerin M3 (1.70 MPa) ve minimum değerin M1=M2 (0.81 MPa) yöntemlerinde elde edildiği görülmüştür.

Özellikle azaltılmış toprak işleme-2 sisteminde kullanılan dikey frezenin işleme derinliğinin yüzeysel olması 10-20 cm derinlikte penetrasyon direncinin daha yüksek olmasına neden olmuştur. Buna göre; 10-20 cm derinlikte istatistiksel olarak geleneksel toprak işleme ile azaltılmış toprak işleme-1 aynı grupta yer alırken azaltılmış toprak işleme-2 ile doğrudan ekim yöntemi aynı grupta yer almışlardır (Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4).

Çizelge 4. 3. Birinci ürün silajlık tritikale-fiğ karışımı döneminde toprak işleme sonrasında bazı toprak fiziksel özellikleri (0-10 cm)

TİS	Toprak Nemi (% v/v)	Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	Toplam Gözeneklilik (%)	Penetrasyon Direnci (MPa)	Sıkışma Derecesi (%)
M1	30.05±3.38b	1.30±0.10b	53.13±3.29a	0.56±0.20b	0.84±0.05ab
M2	28.62±4.20b	1.25±0.15bc	53.91±7.19a	0.44±0.29b	0.81±0.09b
M3	27.70±2.67b	1.19±0.07d	56.40±2.06a	0.54±0.17b	0.77±0.01b
M4	36.80±2.18a	1.45±0.09a	43.10±2.97b	1.16±0.17a	0.94±0.04a
F değeri	12.00**	9.60**	5.45*	6.91**	5.40*

TİS: Toprak işleme sistemi, M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim. ** P<0.01 seviyesinde önemli, * P<0.05 seviyesinde önemli, Sütunlarda aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak farklılık yoktur.

Çizelge 4. 4. Birinci ürün silajlık tritikale-fiğ karışımı döneminde toprak işleme sonrasında bazı toprak fiziksel özellikleri (10-20 cm)

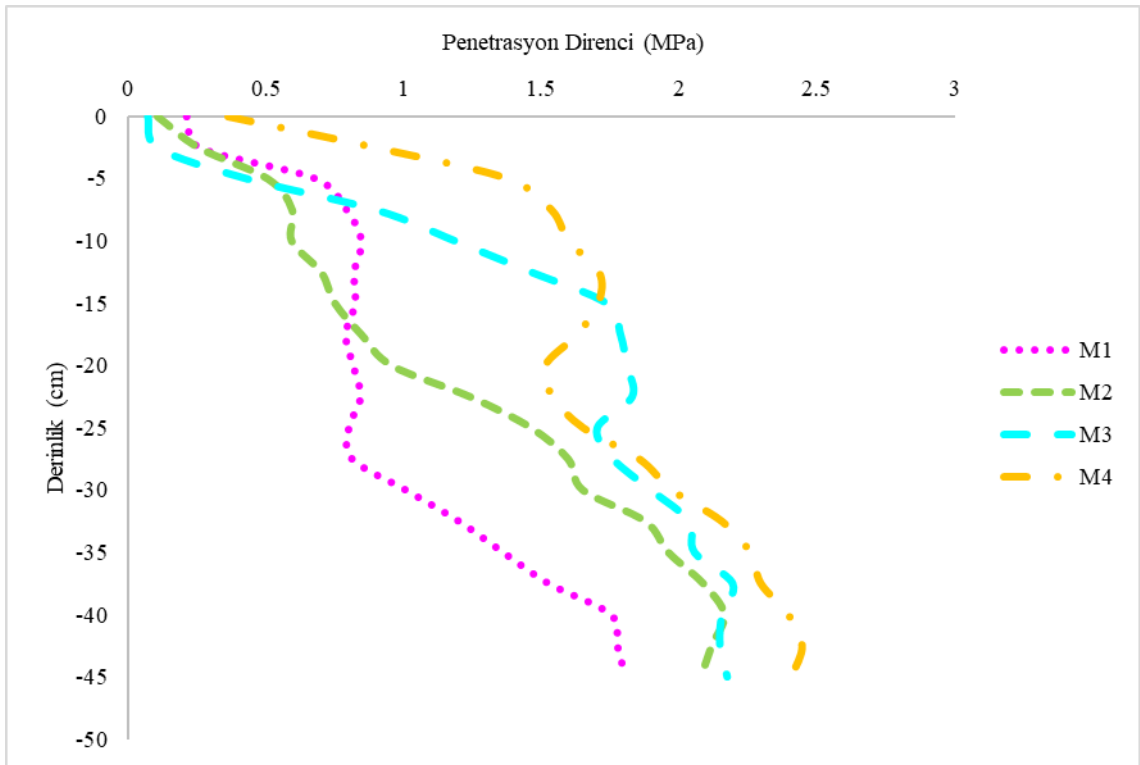
TİS	Toprak Nemi (% v/v)	Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	Toplam Gözeneklilik (%)	Penetrasyon Direnci (MPa)	Sıkışma Derecesi (%)
M1	30.66±3.35b	1.33±0.09b	51.58±4.84	0.81±0.13b	0.84±0.06
M2	29.68±3.20b	1.33±0.12b	50.44±4.80	0.81±0.43b	0.84±0.05
M3	32.22±2.25b	1.44±0.06a	46.91±0.92	1.70±0.18a	0.91±0.03
M4	36.22±2.34a	1.51±0.10a	44.51±5.58	1.64±0.23a	0.96±0.05
F değeri	7.75**	7.72**	1.61 ^{öd}	10.10**	3.89 ^{öd}

TİS: Toprak işleme sistemi, M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim. ** P<0.01 seviyesinde önemli, öd: Önemsiz değer, Sütunlarda aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak farklılık yoktur.

Penetrasyon direncinin derinlikle değişimini gösteren Şekil 4.1 incelendiğinde, araştırma alanında aynı parsellerde Afacan ve ark. (2023) tarafından yürütülmüş olan projede dahil olmak üzere her yıl iki ürün rotasyonunda 9 kez uygulanan toprak işleme sistemlerinde taban taşı gibi sıkışık tabakaların oluşmadığı anlaşılmaktadır. Toprak işleme sistemlerinde kullanılan makinaların işleme derinliğine bağlı olarak yüzeysel derinlikte M1, M2 ve M3 yöntemlerinde penetrasyon direncinin derinlikle değişiminin benzer

olduğu, yaklaşık 10 cm derinlikten sonra M3 ile M4 uygulamalarındaki değişimin benzer ve diğer sistemlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

Gürsoy ve Kolay (2012), toprağın 0-10 cm ve 10-20 cm derinliklerindeki toprak penetrasyon direncinin doğrudan ekim sisteminde; 20-30 cm derinlikteyse geleneksel toprak işleme sisteminde daha yüksek olarak belirlemiştir. Küçükaltbay ve Akbolat (2015) 0-20 cm toprak derinliğinde maksimum penetrasyon direnci değerini doğrudan ekim yönteminde belirlemiştir.



Şekil 4.1. Birinci ürün silajlık tritikale-fiğ karışımı dönemi toprak işleme sonrası penetrasyon direnci değerlerinin derinlikle değişimi

(M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim)

Bitkilerde kök gelişimini engelleyen sınırlayıcı penetrasyon direnci değerinin; Hakansson ve Lipiec (2000) 3 MPa, Vepraskas ve Waggar (1989) ve Tapela ve Colvin (1998) 3.5 MPa olduğunu, Ehlers ve ark. (1983) ise bu değer toprak işleme sistemlerine göre değişeceğini ve geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulanan topraklarda sırasıyla 3.6 MPa ve 5 MPa olarak kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Bengough ve ark. (2005) ise sürekli kök kanalları ve çatlakların olmadığı topraklarda kritik değeri 2 MPa olarak kabul etmektedirler. Ancak Sa ve ark. (2014); farklı toprak işleme sistemleri için

2 MPa değerinin kök gelişimini sınırlandıran değer olarak kabul edilemeyeceğini, kil içeriği yüksek olan topraklarda geleneksel toprak işleme sistemi uygulandığında 2 MPa, izelle işleme yapıldığında 3 MPa ve doğrudan ekim sistemi uygulandığında 3.5 MPa değerinin kullanılması gerektiğini bildirmişlerdir (elik ve ark., 2019).

Araştırmada belirlenen toprak penetrasyon direnci değerleri genel olarak bitki kök gelişimi için kabul edilen sınır değerlerinden daha düşüktür. Ancak toprak işleme derinliğinde kritik değer olarak ifade edilen 2 MPa’a yakın ve işleme derinliğinin altında ise kritik değerden daha yüksektir.

Toprak işleme sistemlerinin sıkışma derecesi değerleri yzerindeki etkisi 0-10 cm derinlikte istatistiksel olarak çok önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Toprak işleme sistemleri sıkışma derecesi bakımından $M4>M1>M2>M3$ şeklinde sıralanmaktadır. Her ne kadar geleneksel ve her iki azaltılmış toprak işleme sistemleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmasa da dikey frezenin kullanıldığı sistemde toprağın daha gevşek olduğu görülmektedir. Alt derinlikte ise sistemlerin toprakların sıkışma derecesi yzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (izelge 4.3 ve izelge 4.4).

Suya dayanıklı agregaların yüzdesi 4.76-2, 2-1, 1-0.5, 0.5-0.25 ve <0.25 mm boyut aralıklarının her birinde belirlenmiştir. Farklı toprak işleme sistemlerinin toprağın agregat stabilitesi ve agregatların ortalama ağırlıklı çap değerleri yzerindeki etkileri izelge 4.5’te verilmiştir. Toprak işleme sistemlerinin agregat stabilitesi ve agregatların ortalama ağırlıklı çap değerleri yzerindeki etkisi 0-10 ve 10-20 cm derinliklerde istatistiksel olarak çok önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Yzeyssel derinlikte geleneksel, azaltılmış-2 ve doğrudan ekim sisteminin agregat stabilitesine etkisi istatistiksel olarak benzerdir ve %76.55- %85.25 aralığında değişmiştir. En yüksek değer %85.25 ile doğrudan ekim sisteminde elde edilirken, en düşük değer ise M2 sisteminde elde edilmiştir. Agregat stabilitesine paralel olarak maksimum ortalama ağırlıklı çap değerleri 0-10 ve 10-20 cm derinliklerde M4 uygulamasında belirlenmiştir. İkinci lm derinliğinde ise toprak işleme aletinin etkisinin olmadığı M3 ile M4 ve M1 ile M2 sistemleri istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Bu derinlikte azaltılmış toprak işleme-2 ve doğrudan ekim uygulamaları altında agregat stabilitesi daha yüksektir (izelge 4.5).

Toprak işlemeyle etkilenen toprak kalitesi ile ilgili önemli toprak özelliklerinden bir tanesi de agregat stabilitesidir (Altıkat ve elik, 2009). Topraklarda agregatların

dayanıklılığı ve agregat büyüklük dağılımı toprak kalitesine ait bir göstergedir (Six ve ark., 2000). Çimlenme ve köklerin gelişimi için önemli bir faktör olarak kabul edilmektedir (Braunack ve Dexter, 1989, Freitas ve ark., 1999). Agregatlaşmanın artması ile hava ve su dengesi sağlanır ve infiltrasyon artar (Özbek ve ark., 1999). Yoğun geleneksel toprak işleme sisteminde; bitki artıkları fiziksel olarak parçalanır ve toprağa karışırken toprağın agregat yapısı bozulur, sıcaklık ve havalanma artar (Resck ve ark., 1999). Doğrudan ekimde toprakların sınırlı veya hiç işlenmemesinden kaynaklı bozunmaya dayanım artmıştır. McVay (2006), alternatif sistemlerinde geleneksel toprak işleme sistemine kıyasla agregat stabilitesinde bir değişiklik meydana geldiğini gözlemlemiştir. Yoğun toprak işleme sistemleri stabil makro agregatların (>250 mm) stabilitesini azaltır, bu da toplam toprak organik maddesinin azalmasıyla ilişkilidir (Tisdall ve Oades, 1980). Toprak işleme ve bitki rotasyonunun toprak agregasyonu ve organik madde üzerine olan etkisini araştıran Madari ve ark. (2005) doğrudan ekimin yapıldığı alanlarda agregatların büyüklük dağılımı ve organik karbon içeriğini geleneksel işlemeye göre daha yüksek belirlemişlerdir.

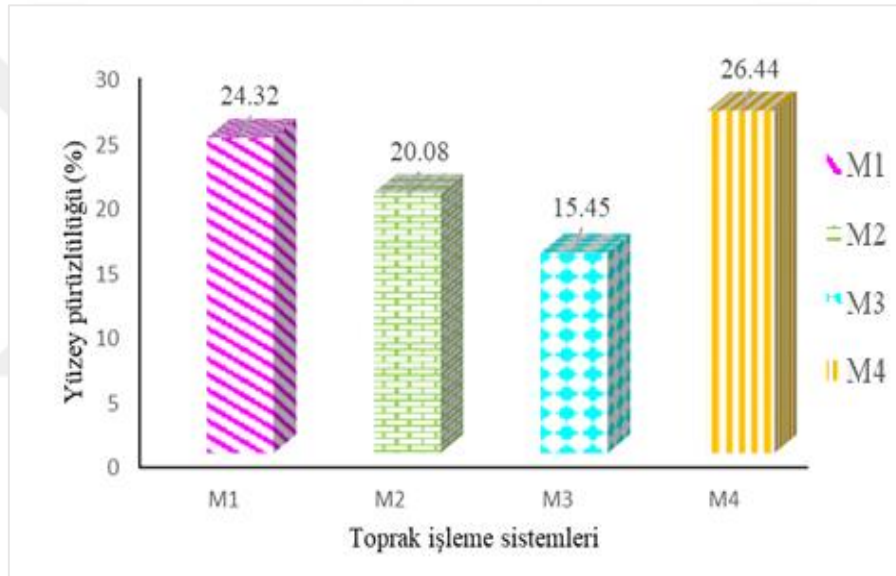
Her iki ölçüm derinliğinde de toprak işleme uygulamalarının toprakların hidrolik iletkenlikleri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Toprak işleme sistemleri toprakların hidrolik iletkenlikleri bakımından 0-10 cm derinlikte $M3 > M2 > M1 > M4$ ve 10-20 cm derinlikte $M1 > M2 > M3 > M4$ şeklinde sıralanmıştır (Çizelge 4.5).

Uzun dönemli toprak işleme çalışmalarının genelinde, doğrudan ekim uygulamalarında infiltrasyon değerlerinin geleneksel işleme sistemine göre daha yüksek olduğu saptanmıştır (Golabi ve ark., 1995). Neden olarak toprak işlemez sistemlerde makro gözeneklerin sayısının daha fazla olması ve yağmur damlasının geleneksel toprak işleme sisteminin toprağın yüzeyinde oluşturduğu geçirimsiz tabakanın oluşumu gösterilmektedir (Edwards ve ark., 1988). Aksine Cresswell ve ark. (1993), tın ve killi tın tekstüre sahip iki toprakta geleneksel işleme uygulamalarına göre doğrudan ekimde daha düşük hidrolik iletkenlik elde edildiğini ifade etmişlerdir. Bu çalışmada da sistemler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık yoktur fakat hidrolik iletkenliğin minimum değerleri doğrudan ekim parsellerinde belirlenmiştir (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Birinci ürün silajlık tritikale-fiğ karışımı dönemi toprak işleme sonrasında toprakların agregat stabilitesi ve hidrolik iletkenliği

TİS	0-10 cm			10-20 cm		
	Agregat Stabilitesi (%)	Agregatların ortalama ağırlıklı çapı (mm)	Hidrolik İletkenlik (cm/h)	Agregat Stabilitesi (%)	Agregatların ortalama ağırlıklı çapı (mm)	Hidrolik İletkenlik (cm/h)
M1	84.44±2.13a	1.58±0.13c	37.16±29.93	81.68±2.72b	1.58±0.16c	27.88±25.75
M2	76.55±4.80b	1.41±0.41d	46.16±28.60	82.31±3.68b	1.92±0.16bc	27.31±8.73
M3	83.49±3.27a	1.87±0.59ab	46.74±23.08	87.01±3.30a	2.29±0.55a	16.77±9.88
M4	85.25±4.22a	2.24±0.58a	27.89±22.10	87.18±2.59a	2.25±0.36ab	12.73±15.41
F değeri	10.23**	5.52**	0.68 ^{öd}	8.07**	7.99**	1.21 ^{öd}

TİS: Toprak işleme sistemi, M1: Geleneksel toprak işleme. M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim. ** P<0.01 seviyesinde önemli, ^{öd}: Önemsiz değer, Sütunlarda aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak farklılık yoktur.



Şekil 4. 2. Birinci ürün silajlık tritikale-fiğ karışımı dönemi yüzey pürüzlülüğü değerleri (M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim)

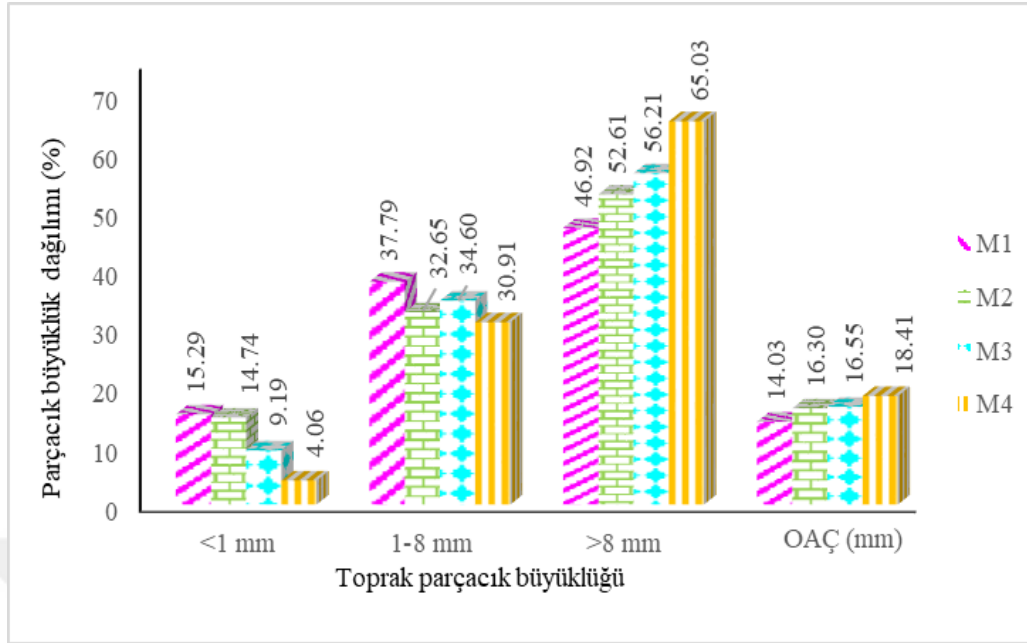
Tohum yatağı hazırlığında önemli parametrelerden biri de yüzey pürüzlülüğüdür. Toprak işleme sistemlerinin yüzey pürüzlülüğü değerlerine etkisinin belirlenmesi için yapılan varyans analizinde, toprak işleme sistemlerinin toprağın yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Şekil 4.2). En yüksek yüzey pürüzlülüğü M4 (%26.44) uygulamasında en düşük yüzey pürüzlülüğü ise dik rotavatörün kullanıldığı M3 (%15.45) uygulamasında belirlenmiştir. Kuş ve Yıldırım (2017) geleneksel toprak işleme ve azaltılmış toprak işleme sistemlerinde belirlenen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin istatistiksel açıdan aralarında fark olduğunu ve geleneksel toprak işlemede elde edilen pürüzlülük oranlarının daha yüksek değerlerde olduğunu bildirmişlerdir. Altıkat

ve ark. (2006), yatay ve düşey milli rototillerin toprak pürüzlülüğü ve toprak sıkışmasına karşı daha başarılı olduğunu bildirmişlerdir.

Optimum tohum yatağı; tohumun etrafında ve altında daha ince ve bastırılmış, tohumun üstünde ise daha kaba ve batırılmamış toprağın bulunması gerektiği şeklinde tanımlanmaktadır (Keçecioğlu ve Gülsoylu, 2002). Tarım tekniği ve ekimin başarılı bir şekilde yapılması açısından hazırlanan tohum yatağında ortalama çapı 10 mm civarında olan toprak parçacıklarının daha fazla bulunması istenmektedir (Gökçebay, 1986). Araştırmada genelleyici bir değerlendirme yapabilmek amacıyla; >8 mm, 1-8 mm ve <1 mm olmak üzere üç grup temel alınmıştır (Çelik, 1998) (Şekil 4.2 ve Şekil 4.3). Buna göre; 0-10 cm ve 10-20 cm derinliklerde tüm toprak işleme yöntemlerinde 8 mm'den büyük parçacıkların daha fazla, 1 mm'den küçük parçacıkların ise daha az olduğu görülmüştür. Toprak işleme sistemleri 0-10 cm derinlikte <1 mm, 1-8 mm ve >8 mm olan parçacıkların oranına göre sırasıyla $M1>M2>M3>M4$, $M1>M3>M2>M4$ ve $M4>M3>M2>M1$ şeklinde sıralanırken, 10-20 cm derinlik için $M1>M2>M3>M4$, $M1>M2>M3>M4$ ve $M4>M3>M2>M1$ şeklinde sıralanmıştır.

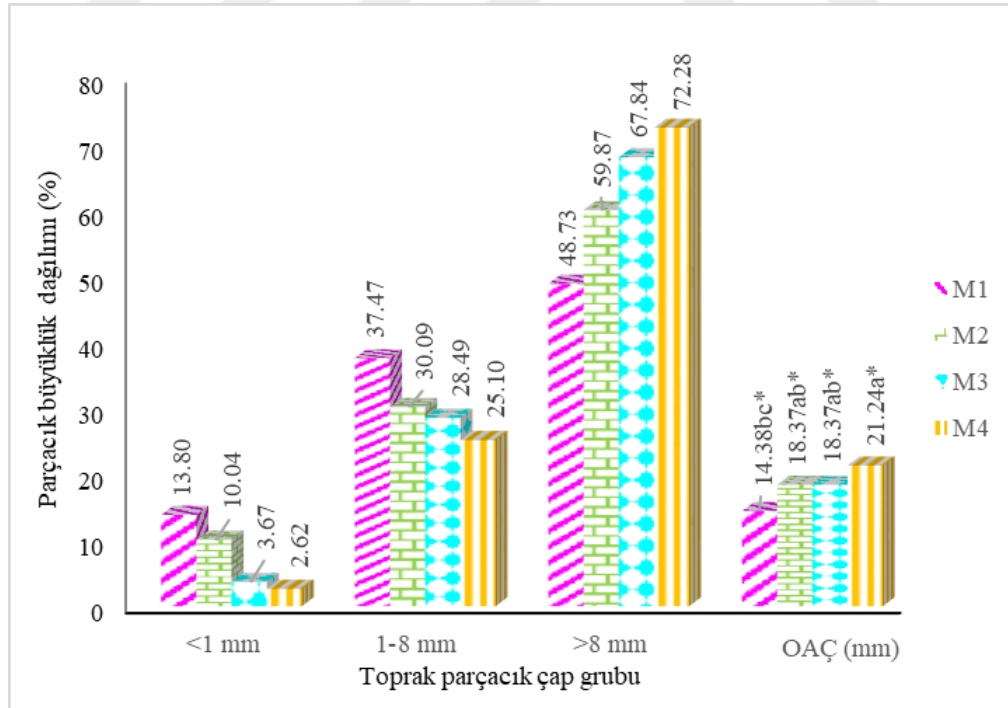
Toprak işleme sistemlerinin toprak parçacık büyüklüğü dağılımı ağırlık ortalama çap değerlerinde 0-10 cm derinlikte uygulamalar arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark görülmezken, 10-20 cm derinlikte uygulamalar arasındaki farklılığın istatistiksel açıdan $P<0.05$ seviyesinde önemli olduğu görülmüştür. Ortalama ağırlık çap değerleri 0-10 cm derinlikte 14.03 mm - 18.41 mm ve 10-20 cm derinlikte ise 14.38 mm - 21.24 mm aralığında değişmektedir. Doğrudan ekim sisteminin uyguladığı parsellerde beklendiği gibi ortalama ağırlıklı çap değerleri daha büyüktür (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4).

Toprak parçacık boyutu dağılımı topraktaki suyun hareketi ve toprak erozyonu açısından büyük önem taşımaktadır (Hu ve ark., 2011) ve %50 oranında 3.17–6.35 mm çap boyutundaki parçacıklardan oluşmalıdır (Baver ve ark., 1972). Toprağın parçalanması; toprak nem içeriğine, tekstüre, organik madde içeriğine ve toprak işleme aletinin tipi ve özelliğine bağlı olarak değişmektedir. Genel olarak optimum tohum yatağını elde edebilmek için sırasıyla kulaklı pulluk, kültivatör ve döner tırmıkların yer aldığı kombine toprak işleme aletlerinin kullanılması tavsiye edilmektedir (Gökçebay, 1986).



Şekil 4.3. Birinci ürün silajlık tritikale-fiğ karışımı dönemi toprak işleme sonrası toprak parçacık büyüklüğü dağılımı (0-10 cm)

(M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim)



Şekil 4.4. Birinci ürün dönemi toprak işleme sonrası toprak parçacık büyüklüğü dağılımı (10-20 cm)

(M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim)

Araştırmada da bitki gelişimine elverişli olan parçacıkların M1 sisteminde diğer yöntemlere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu sonucun toprağın ortalama ağırlıklı çapını da etkilediği görülmektedir. Ortalama ağırlıklı çap değerlerinin M4 sisteminde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ortalama ağırlıklı çap değeri, 8 mm'den büyük çapta agregat oranlarının daha yüksek olması sebebiyle diğer yöntemlere oranla daha yüksek bulunmuştur. Kuş ve Yıldırım (2017) azaltılmış toprak işleme sisteminde çapı 8 mm'den düşük agregat oranının daha yüksek olduğunu belirtmiştir. Bozkurt ve Akbolat (2016) rototiller gibi yatay ve düşey milli makinaların, toprağı parçalama etkisine ilişkin bulunan ortalama çap değerlerinin 14.6-16.5 mm arasında değiştiğini söylemişlerdir.

4.3. Birinci Ürün Silajlık Triticale-Fiğ Karışımı Hasat Dönemi Toprak Özellikleri

Toprak işleme sistemlerinin birinci ürün dönemi hasat zamanında ilk derinlikte (0-10 cm) belirlenen nem içeriği değerlerini istatistiksel olarak önemli şekilde etkilemediği gözlenirken ikinci derinlikte (10-20 cm) nem içeriği değerlerini $P<0.01$ seviyesinde önemli bir şekilde etkilemiştir. Toprak işleme sistemlerinin istatistiksel açıdan önemli bir etkisinin olduğu ikinci derinlikte M3 ile M4 ve M1 ile M2 sistemleri istatistiksel olarak aynı grupta yer almaktadır (Çizelge 4.6 ve 4.7). Doğrudan ekim sisteminde toprakların özellikle makro porozite içeriğinde artış görülmesi, toprak içerisinde daha fazla suyun depolanabilmesi için imkan sağlamaktadır. 0-10 ve 10-20 cm derinlikte de toprak nem içeriğinin doğrudan ekim uygulamasında en yüksek olması ve sonuçların toprak işleme sonrasında elde edilen sonuçlarla paralellik göstermesi iklim değişikliğine adaptasyon ve sürdürülebilirlik açısından önemlidir.

Toprak işleme sistemlerinin hasat zamanında hacim ağırlığı ve toplam gözeneklilik değerlerini 0-10 cm ve 10-20 cm derinlikte istatistiksel olarak önemli bir şekilde etkilemediği belirlenmiştir. Toprak işleme sistemleri ortalama hacim ağırlığı değerlerine göre, 0-10 cm derinliklerde $M4>M1>M2>M3$ şeklinde sıralanırken 10-20 cm derinlikte $M3>M4>M2>M1$ şeklinde sıralanmıştır (Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7). Bu değerlere göre araştırmada ölçülen hacim ağırlığı değerlerinin genel olarak bitki kök gelişimini sınırlayan değerlerin altında olduğu, 0-10 cm derinlikte M4 ve 10-20 cm derinlikte M3 ve M4 uygulamalarında sınır değerlere yakın olduğu belirlenmiştir. Bu durum, zamanında

ve kurallara uygun farklı toprak işleme uygulamalarının ova topraklarında toprakta sıkışmaya yol açmadan sürdürülebilir üretimi sağlayabileceğini göstermiştir.

Varyans analizi sonucuna göre; toprak işleme sistemlerinin toprak penetrasyon direnci değerlerini 0-10 cm derinlikte $P<0.01$ düzeyinde önemli bir şekilde etkilediği belirlenirken 10-20 cm derinlikte $P<0.05$ düzeyinde önemli bir şekilde etkilediği gözlemlenmiştir. Ortalama toprak penetrasyon direnci değerleri incelendiğinde 0-10 cm derinlikte en yüksek değerin M4 (1.70 MPa) ve en küçük değerin M1 (0.53 MPa) sisteminde elde edildiği ve M1 ile M2 ve M3 ile M4 sistemlerinin istatistiksel olarak aynı grupta yer aldığı belirlenmiştir (Çizelge 4.6). İkinci ölçüm derinliği (10-20 cm) için benzer değerlendirme yapıldığında en yüksek değerin M4 (2.69 MPa) ve en düşük değerin M1 (1.33 MPa) sistemlerinde elde edildiği görülmüştür (Çizelge 4.7). Araştırmada belirlenen toprak penetrasyon direnci değerleri genel olarak bitki kök gelişimi için kabul edilen sınır değerlerinden daha düşüktür.

Çizelge 4.6. Birinci ürün silajlık tritikale-fiğ karışımı hasat zamanında toprakların bazı fiziksel özellikleri (0-10 cm)

TİS	Toprak Nemi (% v/v)	Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	Toplam Gözeneklilik (%)	Penetrasyon Direnci (MPa)	Sıkışma Derecesi (%)
M1	26.86±2.04	1.36±0.09	51.03±5.51	0.53±0.11b	0.88±0.06
M2	22.37±1.82	1.30±0.15	51.77±7.96	0.88±0.31b	0.85±0.10
M3	26.44±5.31	1.22±0.03	55.27±1.70	1.63±0.26a	0.79±0.02
M4	30.19±2.44	1.40±0.18	45.24±7.03	1.70±0.57a	0.91±0.12
F değeri	2.96 ^{öd}	1.10 ^{öd}	1.42 ^{öd}	8.08**	1.04 ^{öd}

TİS: Toprak işleme sistemi, M1: Geleneksel toprak işleme. M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim. ** $P<0.01$ seviyesinde önemli, öd: Önemsiz değer, Sütunlarda aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak farklılık yoktur.

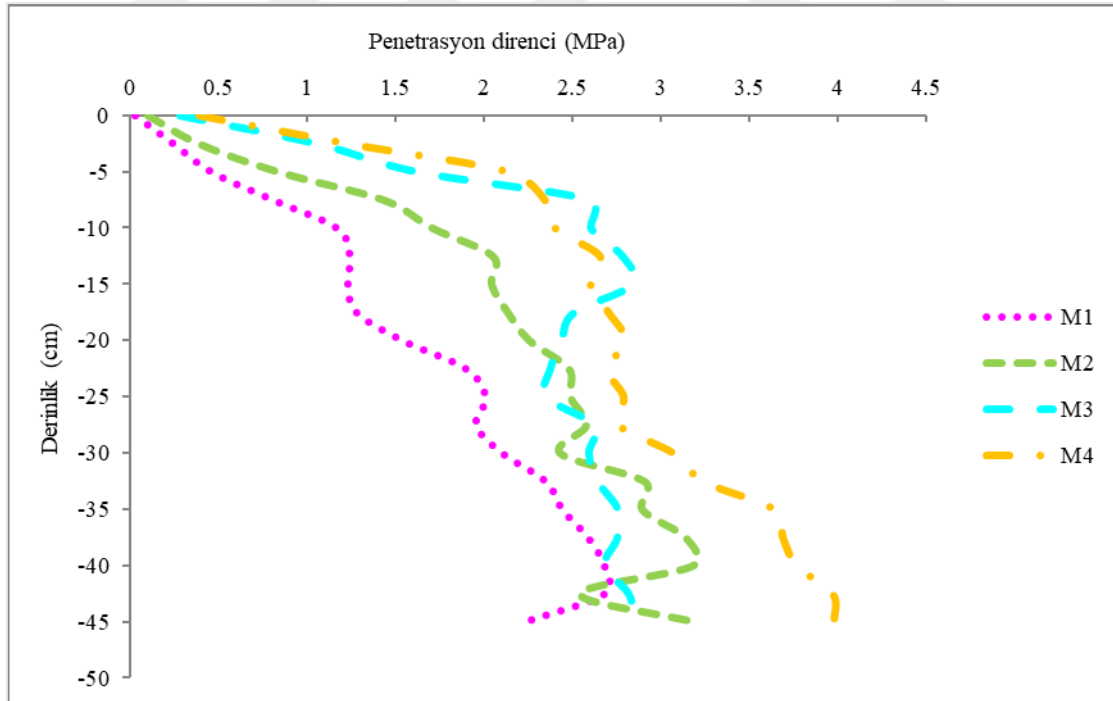
Çizelge 4.7. Birinci ürün silajlık tritikale-fiğ karışımı hasat zamanında toprakların bazı fiziksel özellikleri (10-20 cm)

TİS	Toprak Nemi (% v/v)	Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	Toplam Gözeneklilik (%)	Penetrasyon Direnci (MPa)	Sıkışma Derecesi (%)
M1	19.37±0.88b	1.29±0.07	52.81±4.81	1.33±0.15b	0.82±0.05
M2	20.64±2.00b	1.40±0.06	47.56±4.63	2.12±0.15ab	0.89±0.04
M3	23.00±0.49a	1.44±0.04	46.82±0.97	2.64±0.93a	0.91±0.03
M4	23.46±0.82a	1.43±0.05	47.70±0.70	2.69±0.38a	0.90±0.03
F değeri	7.96**	3.98 ^{öd}	1.98 ^{öd}	4.61*	3.87 ^{öd}

TİS: Toprak işleme sistemi, M1: Geleneksel toprak işleme. M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim. ** $P<0.01$ seviyesinde önemli, * $P<0.05$ seviyesinde önemli, öd: Önemsiz değer, Sütunlarda aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak farklılık yoktur.

Gözübüyük ve ark. (2017) doğrudan ekimde hacim ağırlığı (sulu koşullarda 1.29-1.40, kuru koşullarda 1.30–1.32 g cm⁻³), nem içeriği ve penetrasyon direnci en yüksek ve porozitenin en düşük, geleneksel toprak işleme sisteminde ise penetrasyon direnci en düşük değerde olduğunu belirtmişlerdir. Marakoğlu ve Çarman (2008), çalışmalarında en yüksek penetrasyon direncini doğrudan ekimde en düşük penetrasyon direncini ise geleneksel toprak işleme sisteminde belirlemişlerdir.

Araştırma alanı toprakları için hazırlanan hasat zamanındaki toprak penetrasyon direncinin derinlikle değişimini gösteren grafik Şekil 4.5'te verilmiştir. Penetrasyon direncinin derinlikle değişimi incelendiğinde, genel olarak penetrasyon direncinin geleneksel yöntemde daha düşük olduğu, dikey frezenin kullanıldığı parsellerde işleme derinliğinin hemen altında sınır değerlere oldukça yakın olduğu ve doğrudan ekim parsellerinde ise genel olarak diğer sistemlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Toprak işleme sistemlerinin sıkışma derecesi değerleri üzerindeki etkisi 0-10 ve 10-20 cm derinliklerde istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ve değerler 0-1 arasında (Tapela, 2001) değişmiştir.



Şekil 4. 5. Birinci ürün silajlık tritikale-fiğ karışımı hasat zamanı penetrasyon direnci değerlerinin derinlikle değişimi

(M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim)

Hakansson ve Lipiec (2000)'de görüldüğü üzere Hakansson (1990) ve Lipiec ve Hakansson (2000) bitki gelişimi ile ilgili olarak sınır sıkışma derecesinin kritik sınırının %87 olduğunu belirtmişlerdir (Naderi-Boldaji ve Keller, 2016). Birinci ürün döneminde toprak işleme sonrasında elde edilen sıkışma derecesinin 0-10 cm derinlikte M4 ve 10-20 cm derinlikte ise M3 ile M4 sistemlerinde belirtilen kritik değerin üzerinde olduğu görülmektedir (Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4). Hasat zamanında ise 0-10 cm derinlikte M1 ile M4, 10-20 cm derinlikte ise M2, M3, M4 sistemlerinde sıkışma derecesi kritik değerin üzerindedir (Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7).

Toprak işleme sistemlerinin agregat stabilitesi ve agregatların ortalama ağırlık çap değerleri üzerindeki etkisi 0-10 ve 10-20 cm derinliklerde hasat zamanında istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0.01$). İlk derinlikte (0-10 cm) agregat stabilitesi değerleri %73.88 (M2) - %84.04 (M4) aralığında değişmiştir ve M1, M2, M3 sistemleri arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık yoktur. 10-20 cm derinlikte en yüksek ve en düşük agregat stabilitesi değeri sırasıyla M4 (%87.15) ve M1 (%78.17) uygulamalarında elde edilmiştir. M4 ve M3 uygulamalarının agregat stabilitesi üzerine etkisi istatistiksel olarak benzerdir. Agregat stabilitesine paralel olarak en yüksek ortalama ağırlık çap değerleri 0-10 ve 10-20 cm derinliklerde sırasıyla M4 ve M3 uygulamasında belirlenmiştir. Agregatların ortalama ağırlıklı çap değerleri, 10-20 cm derinlikte M2, M3 ve M4 uygulamalarından istatistiksel olarak benzer şekilde etkilenirken maksimum ve minimum değerler sırasıyla M3 ve M1 uygulamalarında belirlenmiştir. Liu ve ark. (2021), sürekli geleneksel kulaklı pullukla işleme, dipkazan ile derin işleme/kulaklı pullukla işleme/subsoiler ile işleme (ST) ve doğrudan ekim/dipkazan ile işleme/doğrudan ekim (NT) yöntemlerini uygulamışlardır. Araştırmacılar agregat yapısı da dahil olmak üzere birkaç toprak fiziksel özelliğini karşılaştırmış ve NT ve ST yöntemlerinin yeni ıslah edilmiş tarım alanlarında toprak kalitesi ve ürün verimi üzerinde olumlu etkiler gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Çizelge 4.8. Birinci ürün silajlık tritikale-fığ karışımı hasat zamanında toprakların agregat stabilitesi ve hidrolik iletkenliği

TİS	0-10 cm			10-20 cm		
	Agregat Stabilitesi (%)	Agregatların ortalama ağırlıklı çapı (mm)	Hidrolik İletkenlik (cm/h)	Agregat Stabilitesi (%)	Agregatların ortalama ağırlıklı çapı (mm)	Hidrolik İletkenlik (cm/h)
M1	77.70±2.09b	1.58±0.24b	24.00±6.11	78.17±2.48c	1.42±0.15b	38.49±38.80
M2	73.88±6.06b	1.31±0.33b	13.22±10.09	82.99±3.34b	2.15±0.54a	4.50±0.73
M3	75.61±4.64b	1.55±0.50b	21.77±9.04	86.72±2.80a	2.34±0.67a	6.14±6.19
M4	84.04±3.84a	2.17±0.43a	5.98±2.99	87.15±2.90a	2.10±0.29a	5.64±5.08
F değeri	8.94**	7.95**	3.57 ^{öd}	18.16**	6.67**	2.92 ^{öd}

TİS: Toprak işleme sistemi, M1: Geleneksel toprak işleme. M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim. ** P<0.01 seviyesinde önemli, öd: Önemsiz değer, Sütunlarda aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak farklılık yoktur.

Hidrolik iletkenlik değerleri dikkate alındığında hasat zamanında 0-10 ve 10-20 cm derinliklerde uygulamaların istatistiksel olarak önemli bir etkisi yoktur. Maksimum hidrolik iletkenlik değeri 0-10 ve 10-20 cm derinlikler için M1 uygulamasında elde edilirken en düşük değerler M4 uygulamasında elde edilmiştir. Barut ve ark. (2010) hidrolik iletkenlik değerlerinin azaltılmış ve geleneksel toprak işleme sistemlerinde üst toprak katmanlarında artış gösterirken alt toprak katmanları ve doğrudan ekimde azalma gösterdiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada da derinlikle beraber hidrolik iletkenlik değerleri de azalma eğilimindedir.

4.4. İkinci Ürün Silajlık Mısır Dönemi Toprak İşleme Öncesi Araştırma Alanı Özellikleri

İkinci ürün olarak ekilen silajlık mısır tarımında, toprak işleme öncesinde deneme alanının özellikleri varyans analizi ve istatistiksel olarak önemli olması durumunda varyasyon kaynakları arasındaki farklılık DUNCAN çoklu karşılaştırma testi ile değerlendirilmiştir. Araştırma alanı topraklarının bazı kimyasal özellikleri Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. İkinci ürün silajlık mısır dönemi toprak işleme öncesinde toprakların bazı kimyasal özellikleri

Toprak işleme sistemi	Derinlik (cm)	Elektriksel İletkenlik (mmhos/cm)	Toplam Tuz (%)	pH	Kireç (%)	Yarayışlı P2O5 (kg/da)	Yarayışlı K2O (kg/da)	Organik madde (%)
M1	0-10	1.14	0.04	7.69	10.85	4.88	73.36	2.02
	10-20	1.13	0.04	7.70	10.59	4.44	75.48	2.05
M2	0-10	0.95	0.04	7.87	10.98	5.20	80.36	2.24
	10-20	1.05	0.04	7.77	10.85	4.02	67.48	2.06
M3	0-10	0.85	0.03	7.90	10.59	5.57	83.20	2.32
	10-20	1.04	0.04	7.89	11.11	6.09	68.45	2.06
M4	0-10	0.86	0.04	7.84	10.98	8.64	91.51	2.60
	10-20	0.81	0.03	7.81	10.98	1.87	66.52	2.11

TİS: Toprak işleme sistemi, M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim

Araştırma alanı topraklarının fiziksel özelliklerinin farklı toprak işleme sistemlerine göre değişimleri 0-10 cm derinlikte toprak nemi ($P<0.05$), hacim ağırlığı ($P<0.05$), penetrasyon direnci ($P<0.05$), toplam gözeneklilik ($P<0.05$) için istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. 10-20 cm derinlikte ise penetrasyon direnci ($P<0.05$) istatistiksel olarak önemli farklılık göstermiştir. İlk derinlik için maksimum toprak nemi (%32.56), hacim ağırlığı (1.32 g/cm^3), penetrasyon direnci (1.90 MPa) değerleri doğrudan ekim yapılan parsellerde belirlenmiştir. 10-20 cm derinlikte ise nem içeriği, hacim ağırlığı, toplam gözeneklilik ve penetrasyon direncinin en yüksek ve en düşük değerleri sırasıyla M1-M3, M4-M1, M1-M2 ve M4-M1 uygulamalarında elde edilmiştir (Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11).

Çizelge 4.10. İkinci ürün silajlık mısır dönemi toprak işleme öncesinde toprakların bazı fiziksel özellikleri (0-10 cm)

TİS	Toprak Nemi (% v/v)	Hacim Ağırlığı (g/cm^3)	Toplam Gözeneklilik (%)	Penetrasyon Direnci (MPa)
M1	26.74±2.07b	1.08±0.04b	61.15±1.19a	0.88±0.11b
M2	27.23±4.02b	1.11±0.08b	59.20±3.08a	1.32±0.48ab
M3	24.93±2.16b	1.12±0.14b	58.90±6.39a	1.06±0.19b
M4	32.56±2.63a	1.32±0.04a	48.17±1.77b	1.90±0.38a
F değeri	4.04*	5.16*	1.22*	6.78*

TİS: Toprak işleme sistemi, M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim. * $P<0.05$ seviyesinde önemli, Sütunlarda aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak farklılık yoktur.

Çizelge 4.11. İkinci ürün silajlık mısır dönemi toprak işleme öncesinde toprakların bazı fiziksel özellikleri (10-20 cm)

TİS	Toprak Nemi (% v/v)	Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	Toplam Gözeneklilik (%)	Penetrasyon Direnci (MPa)
M1	28.98±2.70	1.11±0.03	59.62±3.10	1.17±0.13b
M2	25.42±4.29	1.32±0.13	50.54±7.10	1.66±0.44ab
M3	22.17±2.07	1.12±0.24	58.80±8.59	1.56±0.38b
M4	23.47±3.10	1.33±0.15	51.12±4.45	2.19±0.14a
F değeri	2.67 ^{öd}	1.91 ^{öd}	1.84 ^{öd}	5.67*

TİS: Toprak işleme sistemi, M1: Geleneksel toprak işleme. M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim. * P<0.05 seviyesinde önemli, öd: Önemsiz değer, Sütunlarda aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak farklılık yoktur.

4.5. İkinci Ürün Silajlık Mısır Dönemi Tohum Yatağının Fiziksel Özellikleri

Araştırma alanı topraklarının 0-10 cm derinlikte toprak nemi (P<0.01), hacim ağırlığı (P<0.01), toplam gözeneklilik (P<0.01), 10-20 cm derinlikte ise hacim ağırlığı (P<0.01) değerleri toprak işleme sistemlerinden istatistiksel olarak önemli bir şekilde etkilenmektedir (Çizelge 4.12 ve 4.13).

Yüzeysel derinlikte M1 ve M2 uygulamaları nem içeriği bakımından istatistiksel olarak aynı grupta yer alırken 0-10 ve 10-20 cm derinliklerde en yüksek nem içeriği değerleri M4 uygulamasında elde edilmiştir (Çizelge 4.12 ve 4.13).

Hacim ağırlığı değerleri incelendiğinde 0-10 ve 10-20 cm derinlikte de M3 ve M4 uygulamaları istatistiksel olarak aynı grupta yer alırken bu uygulamalarda hacim ağırlığı değerleri 0-10 cm ve 10-20 cm derinlikler için sırasıyla 1.49 g/cm³ - 1.57 g/cm³ ve 1.58 g/cm³ - 1.61 g/cm³ değerlerini almıştır. Bu değerlerin, killi tınlı topraklarda köklerin gelişmesini olumsuz etkileyen hacim ağırlığı olan 1.63 g/cm³ değerine (Pierce ve ark., 1983) oldukça yakın olduğu görülmektedir. Hacim ağırlığı değerlerine göre toplam gözeneklilik değerlerinin değiştiği ve hacim ağırlığının yüksek olduğu durumlarda toplam gözenekliliğin düşük, hacim ağırlığının düşük olduğu durumlarda ise toplam gözenekliliğin yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.12 ve 4.13).

İkinci ürün toprak işleme sonrası penetrasyon direncinin derinlikle değişimi incelendiğinde yüzeysel derinlikte toprak işleme sistemlerinde değişimin benzer olduğu, 10 cm ile 20 cm aralığında tüm sistemlerde önce arttığı ve daha sonra azaldığı ve diğer sistemlerden farklı olarak M2’de artışın daha yüksek olduğu görülmüştür. Doğrudan ekim uygulamasında 10-20 cm aralığında penetrasyon direnci hafif bir düşüş göstermiş ve daha sonra diğer sistemlerden ayrılarak yüksek bir artış eğilimi göstermiştir (Şekil 4.6).

Çizelge 4.12. İkinci ürün silajlık mısır dönemi toprak işleme sonrasında toprakların bazı fiziksel özellikleri (0-10 cm)

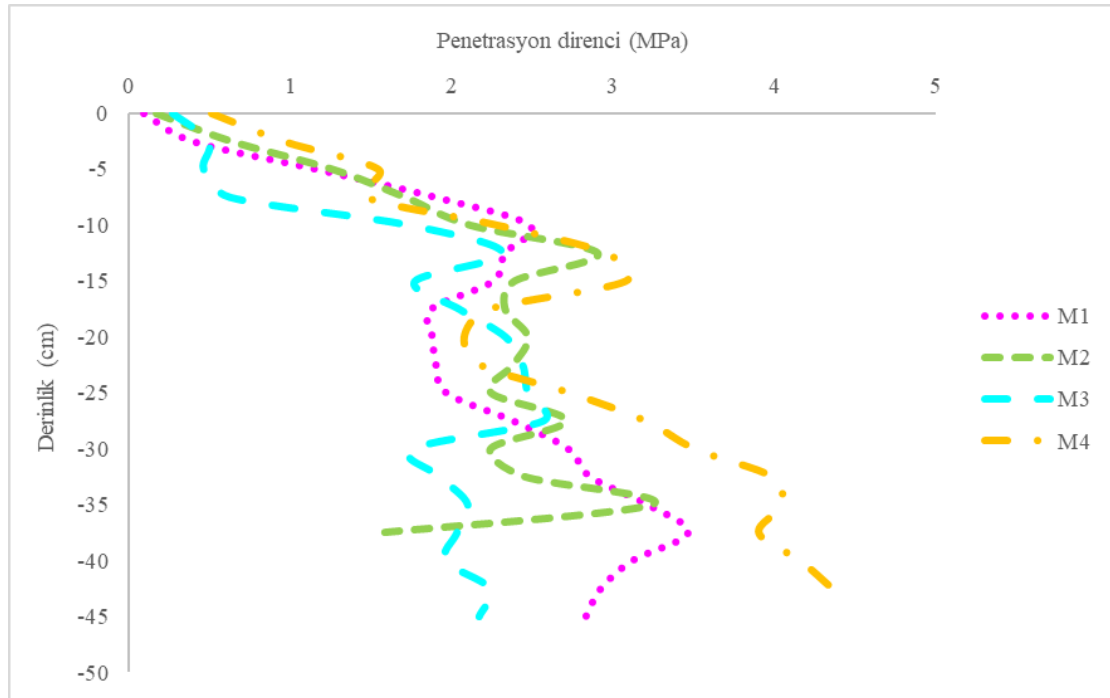
TİS	Toprak Nemi (% v/v)	Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	Toplam Gözeneklilik (%)	Penetrasyon Direnci (MPa)	Sıkışma Derecesi (%)
M1	21.75±2.35c	1.34±0.08b	51.57±1.28a	1.21±0.59	0.87±0.03b
M2	20.63±2.54c	1.21±0.12c	55.37±1.86a	1.18±0.63	0.79±0.05c
M3	25.07±1.55b	1.49±0.09a	45.31±2.54b	0.72±0.26	0.97±0.01a
M4	28.51±2.62a	1.57±0.11a	38.37±3.47c	1.43±0.26	1.01±0.04a
F değeri	21.45**	23.55**	28.30**	0.97 ^{öd}	21.67**

TİS: Toprak işleme sistemi, M1: Geleneksel toprak işleme. M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim. ** P<0.01 seviyesinde önemli, öd: Önemsiz değer, Sütunlarda aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak farklılık yoktur.

Çizelge 4.13. İkinci ürün silajlık mısır dönemi toprak işleme sonrasında toprakların bazı fiziksel özellikleri (10-20 cm)

TİS	Toprak Nemi (% v/v)	Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	Toplam Gözeneklilik (%)	Penetrasyon Direnci (MPa)	Sıkışma Derecesi (%)
M1	22.06±3.66	1.35±0.09b	51.12±0.27	2.08±0.82	0.85±0.04c
M2	23.63±3.49	1.41±0.17b	46.98±8.69	2.52±1.12	0.89±0.11bc
M3	23.59±4.26	1.58±0.07a	41.73±1.41	2.12±0.38	1±0.04ab
M4	26.48±1.17	1.61±0.05a	40.76±1.75	2.51±0.59	1.02±0.02a
F değeri	2.46 ^{öd}	12.45**	3.47 ^{öd}	0.28 ^{öd}	5.26*

TİS: Toprak işleme sistemi, M1: Geleneksel toprak işleme. M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim. ** P<0.01 seviyesinde önemli, * P<0.05 seviyesinde önemli, öd: Önemsiz değer, Sütunlarda aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak farklılık yoktur.



Şekil 4.6. İkinci ürün silajlık mısır dönemi toprak işleme sonrası penetrasyon direnci değerlerinin derinlikle değişimi

(M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim)

Toprak işleme sistemlerinin sıkışma derecesi değerleri üzerindeki etkisi 0-10 cm derinlikte istatistiksel olarak çok önemli ($P<0.01$), alt derinlikte ise $P<0.05$ seviyesinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Yüzeysel derinlikte çizelin kullanıldığı sistemde toprak daha gevşek olmuş ve dikey frezenin kullanıldığı sistemle doğrudan ekim arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılığın olmadığı belirlenmiştir. 10-20 cm derinlikte ise toprak işleme sistemleri arasındaki farklılığın azaldığı ve genel olarak sıkışma derecesinin 0-10 ve 10-20 cm derinliklerde işlenen alanlar için Tapela (2001) tarafından belirtilen 0-1 aralığında olduğu görülmektedir.

Toprak işleme sistemlerinin agregat stabilitesi, agregatların ortalama ağırlıklı çapı ve hidrolik iletkenlik değerlerine etkilerini belirlemek için 0-10 cm ve 10-20 cm derinliklerde ölçümler yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarına toprak işleme istemlerinin etkilerini görmek için varyans analizi ile DUNCAN çoklu karşılaştırma testi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.14. İkinci ürün silajlık mısır dönemi toprak işleme sonrasında toprakların agregat stabilitesi ve hidrolik iletkenliği

TİS	0-10 cm			10-20 cm		
	Agregat Stabilitesi (%)	Agregatların ortalama ağırlıklı çapı (mm)	Hidrolik İletkenlik (cm/h)	Agregat Stabilitesi (%)	Agregatların ortalama ağırlıklı çapı (mm)	Hidrolik İletkenlik (cm/h)
M1	69.73±4.98	1.36±0.16	40.50±32.41b	72.56±2.57a	1.22±0.14b	30.89±21.09a
M2	68.47±3.16	1.24±0.26	64.28±38.19a	68.57±4.41a	1.40±0.21ab	27.89±26.10a
M3	67.05±5.89	1.30±0.26	42.13±21.63b	62.87±4.03b	1.27±0.19b	24.24±33.46a
M4	69.13±7.17	1.47±0.24	2.92±0.94c	72.01±8.15a	1.55±0.27a	2.05±0.58b
F değeri	0.39 ^{öd}	1.50 ^{öd}	23.50**	6.57**	4.42*	8.25**

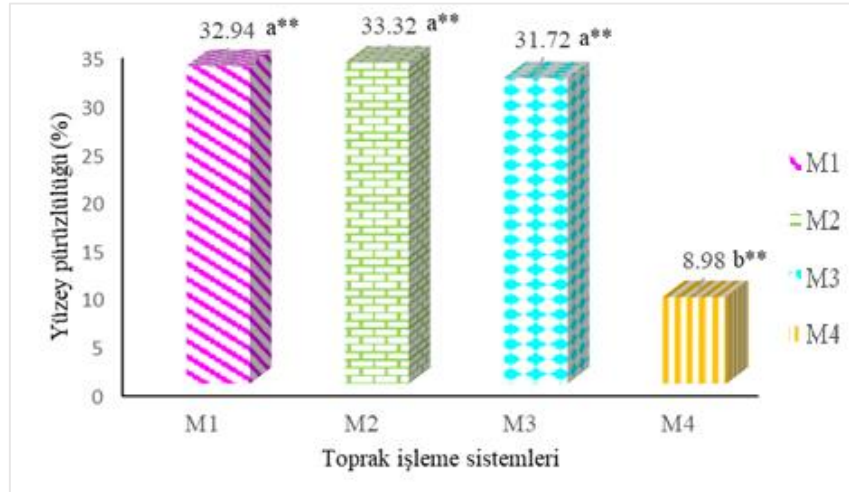
TİS: Toprak işleme sistemi, M1: Geleneksel toprak işleme. M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim. ** $P<0.01$ seviyesinde önemli, * $P<0.05$ seviyesinde önemli, öd: Önemsiz değer, Sütunlarda aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak farklılık yoktur.

İlk ölçüm derinliğinde agregat stabilitesi ve agregatların ortalama ağırlıklı çapı değerlerine toprak işleme sistemlerinin istatistiksel olarak önemli bir etkisi olmamıştır. Fark görülmemesine rağmen en düşük agregat stabilitesi değeri parçalama etkisi en yüksek olan frezenin kullanıldığı M3 yönteminde elde edilmiştir. 10-20 cm derinlikte ise toprak işleme sistemlerinin etkisi $P<0.01$ seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir. Bu derinlikte M1, M2 ve M4 sistemleri istatistiksel olarak aynı grupta yer almışlar ve en düşük agregat stabilitesi değeri M3 uygulamasında elde edilmiştir. 0-10 ve 10-20 cm derinliklerde azaltılmış-1 ve doğrudan ekim uygulamalarında yüksek agregat stabilitesi değerlerinin elde ediliyor olması, geleneksel toprak işlemeye alternatif olmaları açısından

dikkate değerdir (Çizelge 4.14). Beare ve ark. (1994)'a göre toprağı parçalayarak karıştırılmasını sağlayan geleneksel toprak işleme sistemleri ile karşılaştırıldığında, doğrudan ekim uygulamalarında suya dayanıklı agregat fraksiyonunun arttığı ve oluşan agregatların daha iri olduğu belirtilmiştir.

Toprak işleme sonrasında toprak hidrolik iletkenlik değerlerini toprak işleme sistemleri her iki derinlikte de istatistiksel olarak $P<0.01$ seviyesinde önemli bir şekilde etkilemiştir. Üst toprakta en yüksek ve en düşük hidrolik iletkenlik değerleri sırasıyla M2 ve M4 toprak işleme sistemlerinde elde edilmiş, M1 ve M3 toprak işleme sistemleri istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. 10-20 cm derinlikte ise maksimum ve minimum hidrolik iletkenlik değerleri sırası ile M1 ve M4 sistemlerinde elde edilmiş ve sistemler arasındaki istatistiksel farklılığın M4 uygulamasından kaynaklandığı belirlenmiştir.

Ekim işleminin kalitesine etki eden faktörler arasında yer alan toprak yüzey pürüzlülüğü değerleri incelendiğinde, toprak işleme sistemlerinin istatistiksel olarak $P<0.01$ seviyesinde etkili olduğu görülmektedir. M1, M2 ve M3 uygulamalarında elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılığın olmadığı ve en düzgün toprak yüzeyinin M4 uygulamasında elde edildiği belirlenmiştir (Şekil 4.7).



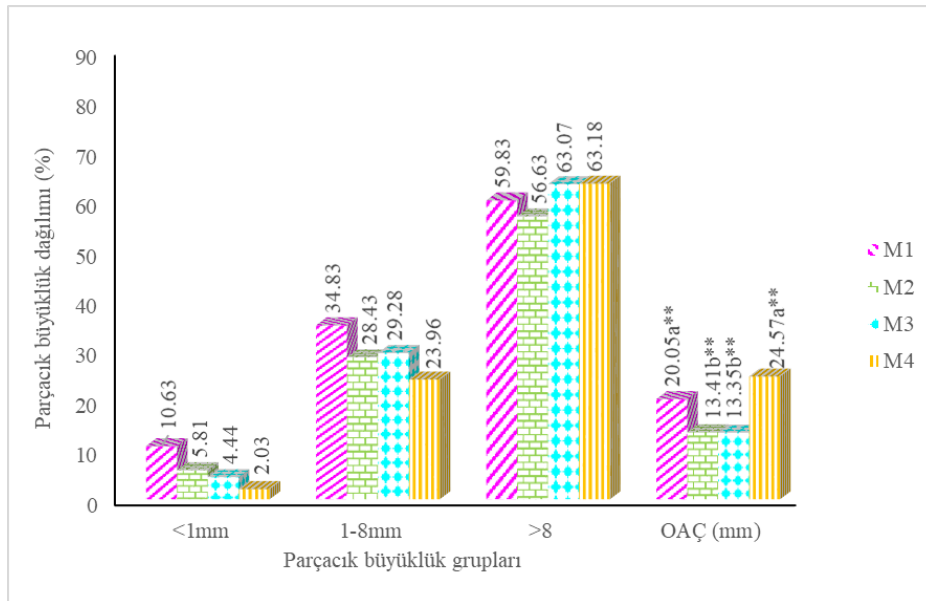
Şekil 4. 7. İkinci ürün silajlık mısır dönemi yüzey pürüzlülüğü değerleri

(M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim)

Birinci ürün döneminde mısır anızı üzerinde yapılan ölçümde M4 uygulamasında pürüzlülük diğer sistemlerde elde edilene göre daha yüksek olurken (Şekil 4.2) ikinci ürün döneminde tritikale-fiğ karışımı anızı üzerinde yüzey pürüzlülüğünün M4 uygulamasında

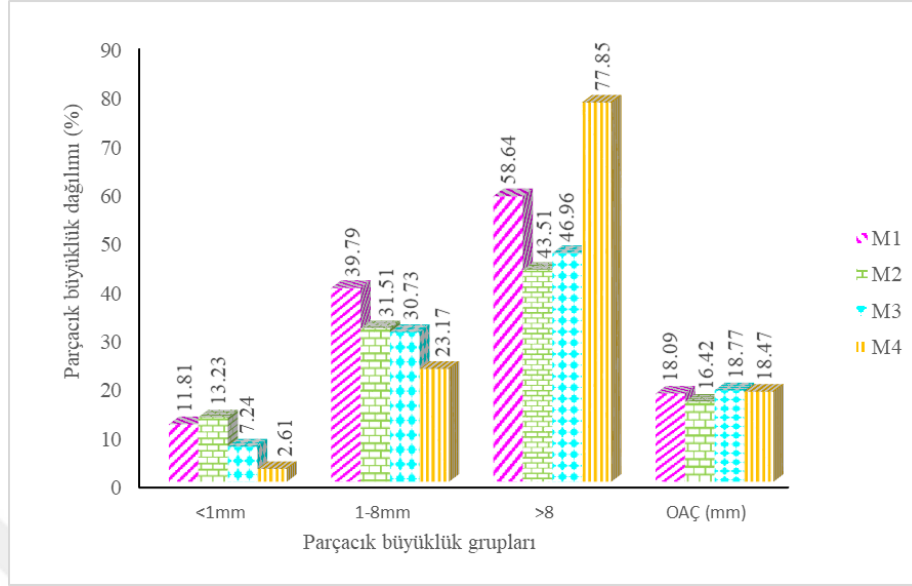
en düşük olması (Şekil 4.7) ürüne bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünde meydana gelen değişimi göstermektedir.

Toprak işleme sistemlerinin toprak parçalanma derecesine etkisi Şekil 4.8 ve 4.9’da verilmiştir. Buna göre; tüm toprak işleme sistemlerinde 0-10 cm ve 10-20 cm toprak derinlikleri için 8 mm’den büyük parçacıklar daha fazla ve 1 mm’den küçük parçacıklar ise daha az olmuştur. Toprak işleme sistemleri 0-10 cm derinlik için, <1 mm, 1-8 mm ve >8 mm olan parçacıkların oranına göre sırasıyla M1>M2>M3>M4, M1>M3>M2>M4 ve M4>M3>M1>M2 şeklinde sıralanmıştır. Aynı durum, 10-20 cm derinlik için M2>M1>M3>M4, M1>M2>M3>M4 ve M4>M1>M3>M2 şeklinde olmuştur. Toprak işleme sistemlerinin 0-10 cm derinlikte, ortalama ağırlık çap değerleri için uygulamalar arasındaki farklılık istatistiksel açıdan $P<0.01$ seviyesinde önemli olmuştur. Ancak, 10-20 cm derinlik için uygulamalar arasındaki farklılık istatistiksel açıdan önemsiz olmuştur. Ortalama ağırlık çap değerleri 0-10 cm derinlikte 13.35 mm- 24.57 mm ve 10-20 cm derinlikte ise 16.42 mm – 18.77 mm aralığında değişmiştir. Doğrudan ekim yönteminin uygulandığı parsellerde beklendiği gibi ortalama ağırlıklı çap değerleri daha büyük olmuştur. Nitekim Lal ve ark. (1994) azaltılmış toprak işleme uygulamalarında toprak agregasyonunun geleneksel toprak işlemeye göre daha iyi olduğunu; Çarman (1997) minimum ortalama ağırlıklı çap ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin yatay milli frezede belirlendiğini bildirmiştir.



Şekil 4.8. İkinci ürün silajlık mısır dönemi toprak işleme sonrası toprak parçacık büyüklüğü dağılımı (0-10 cm)

(M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim)



Şekil 4.9. İkinci ürün silajlık mısır dönemi toprak işleme sonrası toprak parçacık büyüklüğü dağılımı (10-20 cm)

(M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim)

4.6. İkinci Ürün Silajlık Mısır Hasat Dönemi Toprak Özellikleri

Toprak işleme sistemleri ilk derinlikte (0-10 cm) nem içeriği değerlerini istatistiksel olarak önemli şekilde etkilemediği gözlenirken ikinci derinlikte (10-20 cm) $P < 0.05$ seviyesinde önemli bir şekilde etkilemektedir. Toprak işleme sistemleri arasındaki farklılığı görmek için yapılan DUNCAN testi sonuçları 10-20 cm derinlikte M2, M3 ve M4 sistemlerinin istatistiksel olarak aynı grupta yer aldığını göstermiştir. Toprak işleme yöntemleri ortalama toprak nemi değerlerine göre 0-10 cm derinliklerde $M2 > M4 > M1 > M3$ şeklinde sıralanırken 10-20 cm derinlikte $M2 > M4 > M3 > M1$ şeklinde sıralanmıştır (Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16).

Toprak işleme sistemleri toprak hacim ağırlığı değerlerini 0-10 cm ve 10-20 cm derinliklerde istatistiksel olarak $P < 0.01$ seviyesinde önemli bir şekilde etkilemiştir. Farklı toprak işleme sistemlerine ait hacim ağırlığı değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık, 0-10 cm derinlikte M4 ve 10-20 cm derinlikte ise M1 sisteminden kaynaklanmış ve diğer toprak işleme sistemleri istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Ortalama hacim ağırlığı değerlerine göre toprak işleme sistemleri 0-10 cm derinlikte $M4 > M3 > M1 = M2$ şeklinde sıralanırken 10-20 cm derinlikte $M4 = M3 > M2 > M1$ şeklinde

sıralanmıştır. Hacim ağırlığı değerleri 0-10 cm ve 10-20 cm derinliklerde sırasıyla 1.41 g/cm³ – 1.57 g/cm³ ve 1.37 g/cm³ – 1.58 g/cm³ değerleri arasında değişmiştir. Bu değerler ikinci ürün döneminde belirlenen hacim ağırlığı değerlerinin, birinci ürün dönemine göre daha yüksek olduğunu göstermektedir (Çizelge 4.15 ve 4.16).

Toprak işleme sistemlerinin toplam gözeneklilik üzerine istatistiksel olarak önemli bir etkisi olmamıştır. Dönemsel toplam gözeneklilik değerleri %50'den daha düşük olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.15 ve 4.16). Önal (1995), araştırmasında makro porların yüzdesinin %10'un altına düşmesi sonucunda bitki kök gelişiminin azaldığını, optimum toplam gözeneklilik miktarının ise %50 seviyesinde olduğunu bildirmiştir.

Çizelge 4.15. İkinci ürün silajlık mısır hasat döneminde toprakların bazı fiziksel özellikleri (0-10 cm)

TİS	Toprak Nemi (% v/v)	Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	Toplam Gözeneklilik (%)	Penetrasyon Direnci (MPa)	Sıkışma Derecesi (%)
M1	30.87±5.94	1.41±0.10b	49.04±6.00	0.51±0.10b	0.92±0.06
M2	34.06±8.13	1.41±0.13b	47.93±7.89	0.49±0.16b	0.91±0.09
M3	30.56±2.41	1.47±0.07b	46.17±1.17	1.23±0.53a	0.95±0.02
M4	33.92±3.70	1.57±0.03a	38.63±1.74	1.49±0.17a	1.02±0.02
F değeri	1.07 ^{öd}	6.23**	2.58 ^{öd}	8.13**	2.15 ^{öd}

TİS: Toprak işleme sistemi, M1: Geleneksel toprak işleme. M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim. ** P<0.01 seviyesinde önemli, öd: Önemsiz değer, Sütunlarda aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak farklılık yoktur.

Çizelge 4.16. İkinci ürün silajlık mısır hasat döneminde toprakların bazı fiziksel özellikleri (10-20 cm)

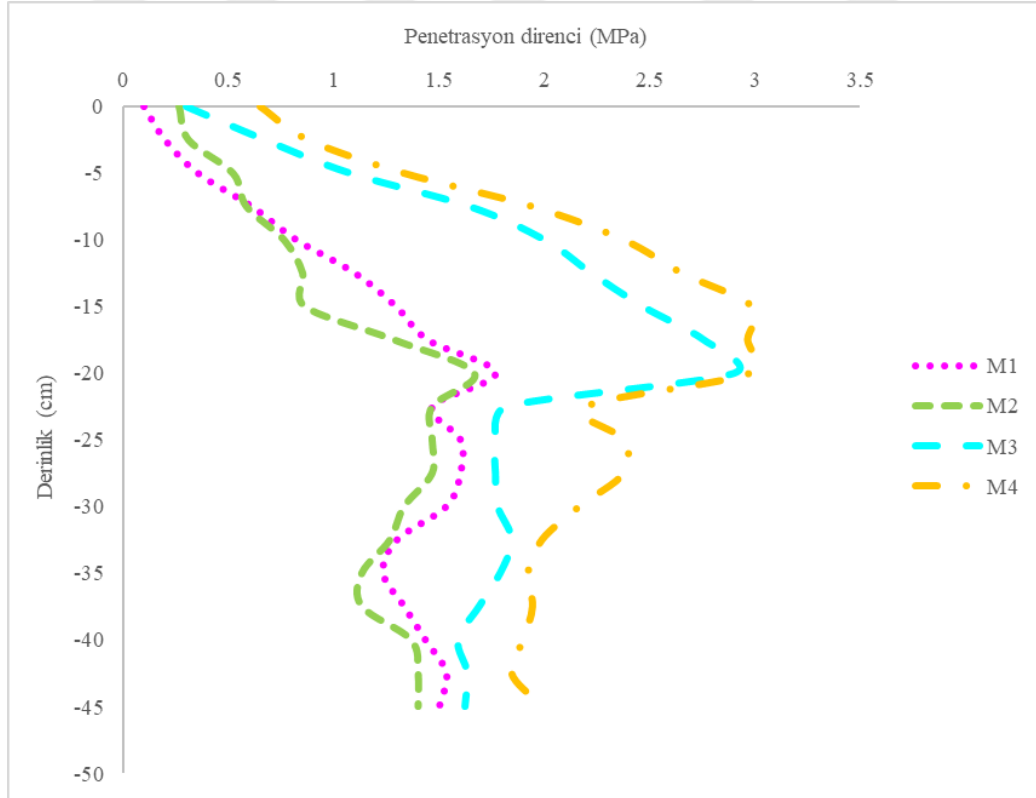
TİS	Toprak Nemi (% v/v)	Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	Toplam Gözeneklilik (%)	Penetrasyon Direnci (MPa)	Sıkışma Derecesi (%)
M1	26.38±4.24b	1.37±0.09b	50.02±4.56	1.40±0.55b	0.87±0.04b
M2	33.33±7.04a	1.51±0.09a	43.77±3.78	1.17±0.33b	0.95±0.06a
M3	31.24±1.60a	1.58±0.05a	41.66±2.52	2.59±0.99a	1.00±0.03a
M4	31.64±4.27a	1.58±0.07a	42.03±2.48	2.90±0.09a	1.00±0.03a
F değeri	3.63*	13.85**	3.80 ^{öd}	6.25*	6.81*

TİS: Toprak işleme sistemi, M1: Geleneksel toprak işleme. M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim. ** P<0.01 seviyesinde önemli, * P<0.05 seviyesinde önemli, öd: Önemsiz değer, Sütunlarda aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak farklılık yoktur.

Penetrasyon direnci toprak işleme sistemlerinden istatistiksel olarak 0-10 cm ve 10-20 cm derinliklerde sırasıyla P<0.1 ve P<0.05 seviyesinde önemli bir şekilde etkilenmiştir. 0-10 ve 10-20 cm derinliklerde düşük değerlerin elde edildiği M1 ile M2 ve yüksek değerlerin elde edildiği M3 ile M4 uygulamaları istatistiksel olarak aynı grupta yer

almıştır. En yüksek penetrasyon direnci M4 uygulamasında 0-10 cm derinlikte 1.49 MPa ve 10-20 cm derinlikte 2.90 MPa olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.15 ve 4.16). Özellikle 10-20 cm derinlikte ölçülen penetrasyon direnci değerleri Hakansson ve Lipiec (2000) tarafından bitki kök gelişimi açısından sınır değer olarak kabul edilen 3 MPa değerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Ancak doğrudan ekim uygulamalarında Ehlers ve ark. (1983) tarafından ifade edilen 5 MPa değerinin altındadır.

Araştırma alanı toprakları için hazırlanan toprak penetrasyon direncinin derinlikle değişimini gösteren grafik Şekil 4.10'da verilmiştir. Penetrasyon direncinin derinlikle değişimi incelendiğinde, genel olarak geleneksel toprak işleme sistemiyle azaltılmış toprak işleme-1 sisteminde ve azaltılmış toprak işleme-2 sistemiyle de doğrudan ekim sisteminde penetrasyon direncinin derinlikle değişiminin oldukça benzer olduğu görülmektedir. Penetrasyon direncinin 20 cm derinliğe kadar ele alınan tüm toprak işleme yöntemlerinde arttığı ve bu derinlikten sonra azaldığı, meydana gelen artış ve azalışın azaltılmış toprak işleme-2 ve doğrudan ekim uygulamasında daha fazla olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.10. İkinci ürün silajlık mısır hasat dönemi penetrasyon direnci değerlerinin derinlikle değişimi

(M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim)

Toprak işleme sistemlerinin sıkışma derecesi değerleri üzerindeki etkisi 0-10 cm derinlikte istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Alt derinlikte ise toprak işleme sistemleri toprakların sıkışma derecesini $P<0.05$ seviyesinde istatistiksel olarak önemli bir şekilde etkilemektedir. Bu derinlikte toprakların sıkışma derecesi bakımından sıralaması $M3=M4>M2>M1$ şeklindedir. M2, M3 ve M4 uygulamaları istatistiksel olarak aynı grupta yer almaktadır (Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16). İkinci ürün toprak işleme sonrası (Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13) ve hasat zamanında (Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16) 0-10 cm ve 10-20 cm derinliklerde elde edilen sıkışma derecesi değerleri bitki gelişimi açısından kritik sınır olarak belirtilen %87 (Hakansson, 1990; Hakansson ve Lipiec, 2000; Lipiec ve Hakansson, 2000) değerinin üzerindedir. Naderi-Boldaji ve Keller (2016) yaptıkları çalışmalarında sıkışma derecesini %83.6 olarak belirlemişler ve kritik sınır değerden az da olsa düşük olduğunu ifade etmişlerdir.

Toprak işleme sistemlerinin agregat stabilitesi, agregatların ortalama ağırlıklı çapı ve hidrolik iletkenlik değerlerine etkilerini belirlemek için varyans analizi ve DUNCAN çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır. Toprak işleme sistemlerinin 0-10 cm ve 10-20 cm derinliklerde agregat stabilitesi değerleri üzerine istatistiksel olarak etkisi bulunmamıştır. Agregat stabilitesi değerleri 0-10 cm derinlikte %76.85 (M1) - %81.30 (M3) ve 10-20 cm derinlikte ise %75.11 (M2) - %77.40 (M4) değerleri arasında değişmiştir. Toprak işleme sistemleri, agregatların ortalama ağırlık çap değerlerini ölçüm derinliklerinde istatistiksel olarak $P<0.01$ seviyesinde önemli bir şekilde etkilemiştir. Ortalama ağırlıklı çap değerleri bakımından toprak işleme sistemleri 0-10 cm derinlikte istatistiksel olarak farklı gruplarda yer alırken 10-20 cm derinlikte M2 ve M3 sistemleri arasında farklılık yoktur. 0-10 ve 10-20 cm derinliklerde en yüksek ağırlıklı ortalama çap değeri M4 ve en düşük değer ise M1 uygulamasında elde edilmiştir. Toprak agregatlarının parçalanmasına ve organik maddenin mineralizasyonuna toprak işleme uygulamalarının yoğunluğu etkilidir (Rasmussen ve ark., 1998). Bu yüzden, geleneksel tarımda toprağı karıştıran ve agregatların parçalanmasına yol açan geleneksel yöntemlere alternatif olarak doğrudan ekim veya azaltılmış toprak işleme yöntemlerinin kullanımı agregatlaşmanın sürekli hale gelmesini sağlayacaktır (Lichter ve ark., 2008).

Toprak işleme sistemleri 0-10 cm ve 10-20 cm derinliklerde hidrolik iletkenliği istatistiksel olarak $P<0.01$ seviyesinde önemli bir şekilde etkilemiştir. Hidrolik iletkenlik değerleri bakımından 0-10 ve 10-20 cm derinlikte de M3 ve M4 sistemleri arasında

istatistiksel olarak önemli bir farklılık yoktur ve toprak işleme sistemleri M1>M2>M3>M4 şeklinde sıralanmıştır. Moret ve Arrue (2007), uzun dönemli yaptıkları araştırmada doğrudan ekimde elde ettikleri hidrolik iletkenlik değerlerinin, geleneksel ve azaltılmış işlemeye göre önemli oranda daha düşük bulunduğunu bildirmişlerdir. Chan ve Heenan (1993) ve McGarry ve ark. (2000), işlenmiş (doğrudan ekim) topraklarda işlenen topraklara oranla daha yüksek hidrolik iletkenlik saptamışlardır.

Çizelge 4.17. İkinci ürün silajlık mısır hasat döneminde toprakların agregat stabilitesi ve hidrolik iletkenliği

TİS	0-10 cm			10-20 cm		
	Agregat Stabilitesi (%)	Agregatların ortalama ağırlıklı çapı (mm)	Hidrolik İletkenlik (cm/h)	Agregat Stabilitesi (%)	Agregatların ortalama ağırlıklı çapı (mm)	Hidrolik İletkenlik (cm/h)
M1	76.85±6.55	1.27±0.28c	29.47±6.49a	76.87±8.05	1.10±0.12c	13.03±2.99a
M2	78.42±7.50	1.38±0.42bc	11.35±4.21b	75.11±7.16	1.47±0.23b	5.37±2.19b
M3	81.30±6.62	1.65±0.35b	4.38±4.36c	75.42±7.65	1.58±0.40b	1.34±0.82c
M4	79.05±4.41	2.09±0.38a	1.32±0.11c	77.40±9.72	1.88±0.37a	0.70±0.06c
F değeri	0.76 ^{öd}	9.14**	72.65**	0.16 ^{öd}	10.23**	80.44**

TİS: Toprak işleme sistemi, M1: Geleneksel toprak işleme. M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim. ** P<0.01 seviyesinde önemli, öd: Önemsiz değer, Sütunlarda aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak farklılık yoktur.

4.7. Tarla Kapasitesi, Solma Noktası ve Yarayışlı Su Kapasitesi

Çalışmada ikinci ürün hasat döneminde belirlenen tarla kapasitesi, solma noktası ve yarayışlı su kapasitesine ait ortalama ve standart sapma değerleri ile istatistik analiz sonuçları Çizelge 4.18’de verilmiştir.

Uygulanan toprak işleme ve doğrudan ekim sistemlerinde 0-10 ve 10-20 cm derinliklerde tarla kapasitesi, solma noktası nem içeriği ve yarayışlı su kapasitesi için istatistiksel olarak önemli bir farklılık görülmemiştir. Tarla kapasitesi nem içeriği değeri 0-10 cm ve 10-20 cm derinlikte sırasıyla %34.11 (M2) –%36.80 (M3) ve %33.92 (M2) –%36.44 (M3) ve solma noktası nem içeriği değerleri ise %17.65 (M4) –%18.09 (M3) ve %17.32 (M2) –%18.08 (M1) değerleri arasında değişmektedir. Benzer şekilde yarayışlı su kapasitesi değerleri incelendiğinde 0-10 cm ve 10-20 cm derinliklerde en yüksek ve en düşük değerleri sırasıyla %16.13 (M1) –%18.91 (M4) ve %16.03 (M1) –%18.51 (M3) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18. İkinci ürün silajlık mısır hasat zamanında belirlenen su tutma karakteristikleri değerlerine ait varyans analizi ve ortalama değerler

TİS	0-10 cm			10-20 cm		
	Tarla kapasitesi nem içeriği (% g/g)	Solma noktası nem içeriği (% g/g)	Yarayışlı su kapasitesi (% g/g)	Tarla kapasitesi nem içeriği (% g/g)	Solma noktası nem içeriği (% g/g)	Yarayışlı su kapasitesi (% g/g)
M1	34.20±3.53	18.07±0.82	16.13±3.71	34.11±2.97	18.08±0.95	16.03±2.82
M2	34.11±2.91	17.91±1.26	16.21±2.44	33.92±2.76	17.32±0.92	16.61±2.71
M3	36.80±4.16	18.09±0.81	18.71±4.05	36.44±3.55	17.93±0.37	18.51±3.52
M4	36.56±3.62	17.65±1.38	18.91±4.09	34.47±3.32	17.58±1.54	16.89±3.85
F değeri	1.50 ^{öd}	0.31 ^{öd}	1.59 ^{öd}	1.21 ^{öd}	1.01 ^{öd}	0.96 ^{öd}

TİS: Toprak işleme sistemi, M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim. öd: Önemsiz değer.

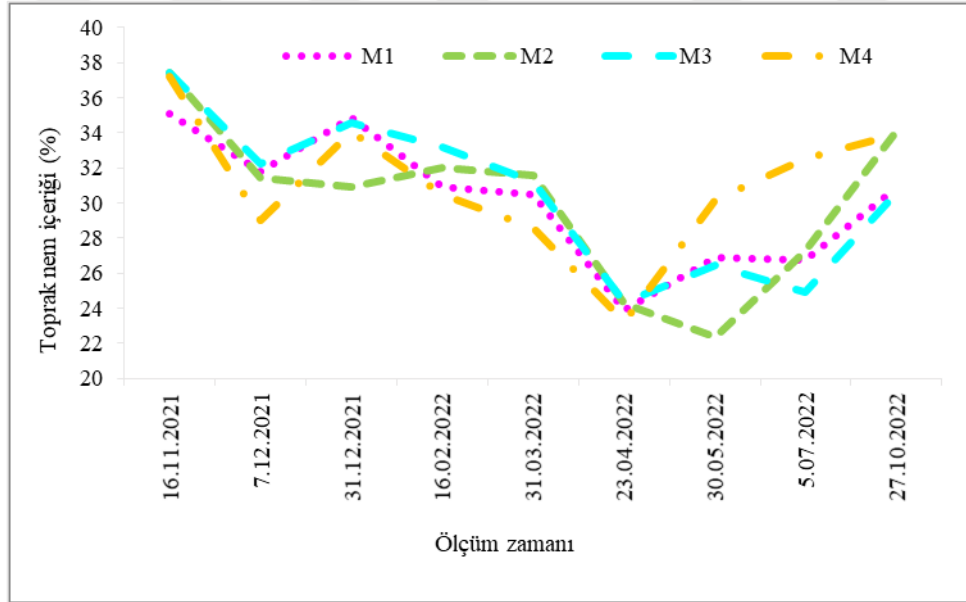
Tarla kapasitesinde (0.33 bar) tutulan su miktarı büyük ölçüde toprağın strüktürü ile ilişkiliyken solma noktasında (15 bar) tutulan su miktarı toprağın tekstürü ile ilgilidir (Hillel, 2004). Toprak işleme amenajmanlarının toprağın tekstürünü değiştirmesi beklenmemektedir. Ancak toprak strüktürü dinamik bir özelliktir ve toprak işleme ile önemli ölçüde değişmektedir. Topraktaki yarayışlı su miktarının ifadesi olan yarayışlı su indikatörü (YSİ) ise agregat büyüklük dağılımı, hacim ağırlığı, tarla kapasitesi, gözeneklilik ve fiziksel toprak kalitesinin diğer bileşenleri tarafından etkilenmektedir. Arazi kullanımındaki artış süreç içerisinde toprak fiziksel özellikleri üzerinde dikkate değer değişikliklere yol açmaktadır. Bu değişiklikler; suyun depolamasını, teminini ve bitkisel üretimi etkilemektedir (Bünemann ark., 2018). Xu ve Mermoud (2001)'a göre toprağın yoğun şekilde geleneksel olarak işlenmesi neticesinde su tutma kapasitesinde dikkate değer düşüşler meydana gelmektedir. Benzer olarak geleneksel toprak işleme uygulanan alanda koruyucu toprak işleme uygulamalarına adaptasyon sağlandığında bitkiye yarayışlı su içeriğinde artışlar olduğu gözlemlenmiştir (McGarry ve ark., 2000). Duiker ve Lal (1999) ise toprak su tutma karakteristiklerinin toprak işleme sistemleri tarafından etkilenmediğini ifade etmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatürde yer alan sonuçlarla da benzerlik göstermektedir.

4.8. Toprak Nem İçeriği, Penetrasyon Direnci ve Sıcaklığının Üretim Dönemleri Boyunca Değişimi

Dönem boyunca toprak nem içeriği, penetrasyon direnci ve toprak sıcaklığının izlenmesi amacıyla 06.11.2021 tarihinde birinci ürün toprak işleme öncesi başlayan ölçümler 27.10.2022 tarihinde ikinci ürün hasadı ile tamamlanmıştır. Toplam 9 ölçüm yapılmıştır. Ölçümlere dönem boyunca her ölçüm gününde saat 12.00'da başlanmıştır.

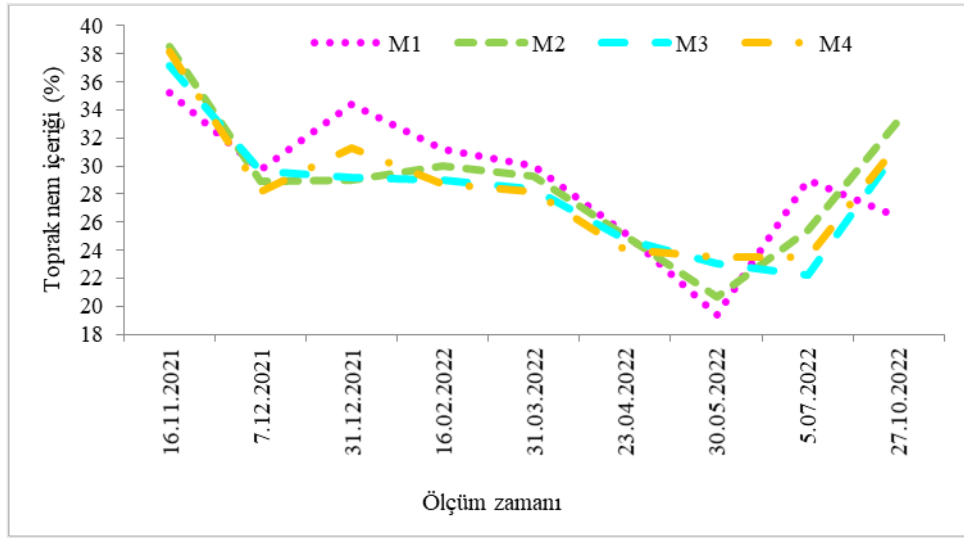
4.8.1. Toprak nem içeriği

Farklı toprak işleme sistemlerinin dönem boyunca toprak nem içeriği üzerindeki etkileri Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de verilmiştir. Yüzeysel derinlikte ilk üç ölçüm zamanında M1, M3 ve M4 sistemleri benzer değişim göstermektedir. Üçüncü ölçüm zamanında M1, M3 ve M4 sistemlerinde nem içeriği artarken M2 uygulamasında azalmıştır. Şubat ayında yapılan ölçümde M1 ve M4 sistemlerinde nem içeriğinin azaldığı, M2 sisteminde ise yükseldiği görülmektedir. Nisan ayında yapılan ölçümde toprak işleme sistemleri arasındaki farklılığın kaybolduğu ve bu tarihten itibaren hava sıcaklığındaki artışla beraber M1, M2 ve M3 sistemlerinde toprak nem kaybının yüksek olduğu, doğrudan ekim uygulamasında ise nem korumanın diğer yöntemlere göre daha iyi olduğu görülmektedir (Şekil 4.11). Toprak nem içeriği değerlerinin 10-20 cm derinlikteki değişimi incelendiğinde M1, M2 ve M4 sistemlerindeki değişimin 0-10 cm derinliktekine benzer olduğu görülmektedir. Yüzeysel derinlikten farklı olarak M3 uygulamasında üçüncü ölçüm zamanında nem içeriği azalmıştır.



Şekil 4.11. Toprak nem içeriğinin vejetasyon süresi boyunca değişimi (0-10 cm)

(M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim)

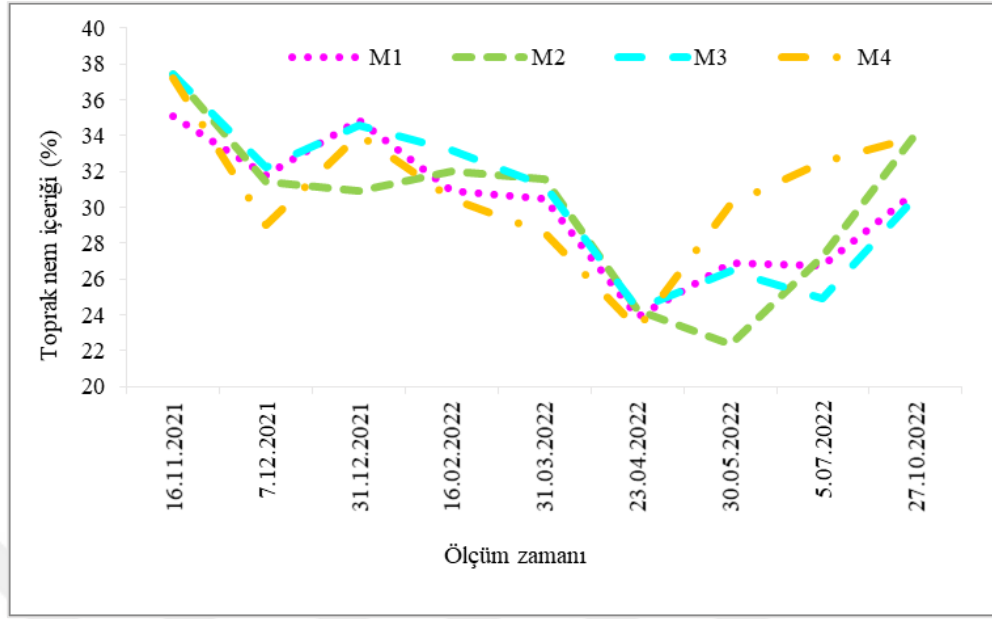


Şekil 4.12. Toprak nem içeriğinin vejetasyon süresi boyunca değişimi (10-20 cm)
(M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim)

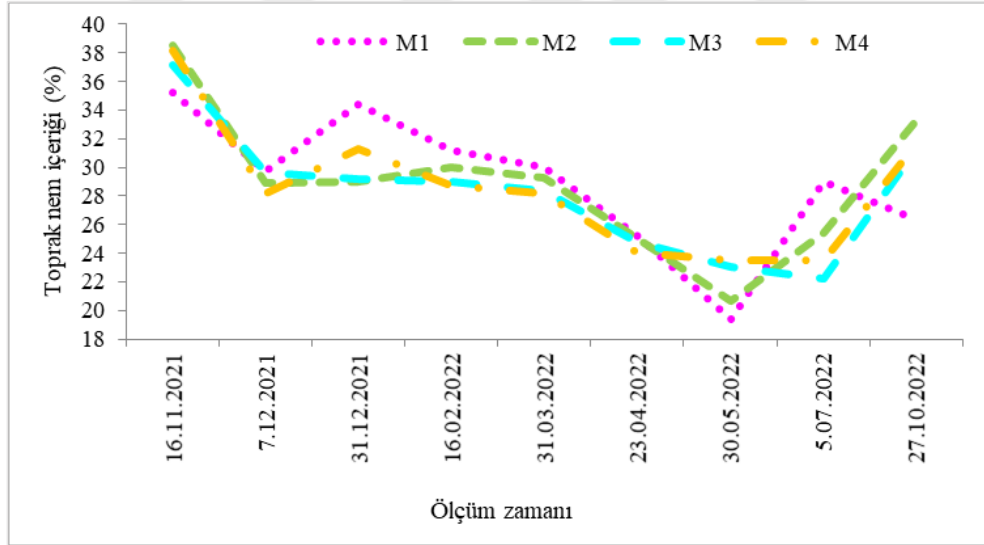
4.8.2. Penetrasyon direnci

Farklı toprak işleme sistemlerinin dönem boyunca penetrasyon direnci üzerindeki etkileri Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te verilmiştir. Yüzeysel derinlikte üçüncü ölçüm zamanında nem içeriğindeki artışa da paralel olarak penetrasyon direnci azalmış ve sonraki ölçüm zamanlarda artış eğilimi göstermiştir. Genel olarak M4 uygulamasında daha yüksek penetrasyon direnci değerleri ölçülmüştür (Şekil 4.13).

Toprak penetrasyon direncinin 10-20 cm derinlikteki değişimi incelendiğinde genel olarak daha yüksek değerlerin M3 ile M4 ve daha düşük değerlerin M1 ile M2 sistemlerinde elde edildiği ve değişimin bu sistemlerde benzer olduğu görülmektedir. Yüzeysel derinlikte olduğu gibi ikinci ölçümde tüm sistemlerde penetrasyon direnci önce düşmüş ve sonrasında artış eğilimi göstermiştir. Farklı olarak M2 uygulamasında son iki ölçüm zamanında penetrasyon direnci değerlerinde azalma olmuştur (Şekil 4.14).



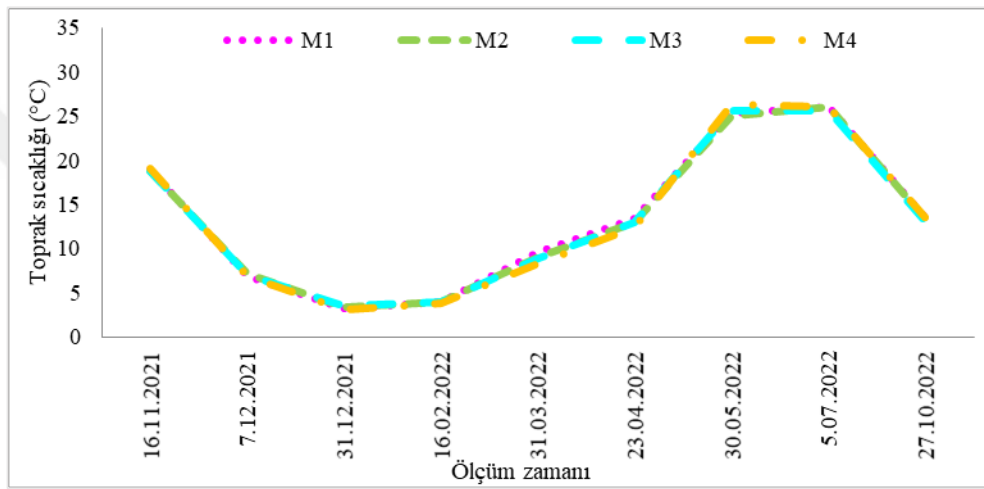
Şekil 4.13. Toprak penetrasyon direncinin vejetasyon süresi boyunca değişimi (0-10 cm)
(M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim)



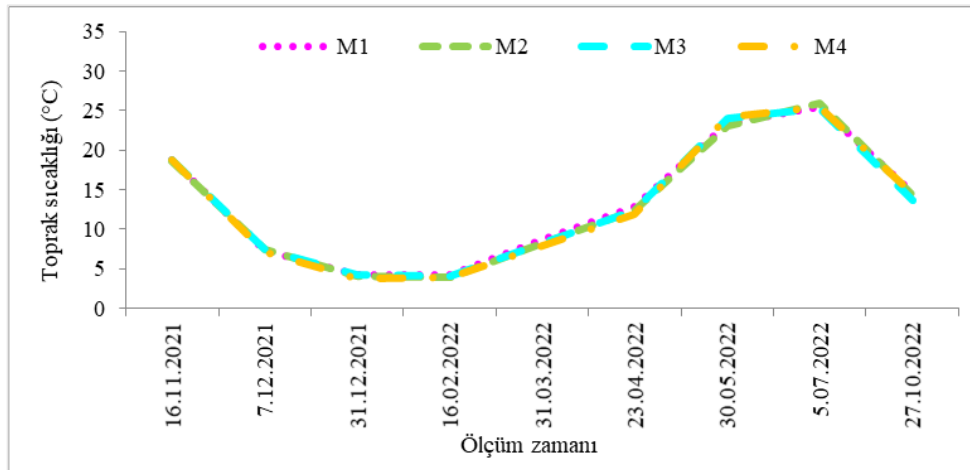
Şekil 4.14. Toprak penetrasyon direncinin vejetasyon süresi boyunca değişimi (10-20 cm)
(M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim)

4.8.3. Toprak sıcaklığı

Farklı toprak işleme yöntemlerinde dönem boyunca dijital termometre ile ölçülen toprak sıcaklığı değerlerindeki değişim her iki ölçüm derinliğinde de oldukça benzerdir. Toprak nem içeriğinin yükseldiği ve penetrasyon direncinin düştüğü ikinci ve üçüncü ölçüm zamanlarında toprak sıcaklık değeri de azalmış ve ikinci ürün hasadından önceki son iki ölçüm zamanına kadar artış eğilimi göstermiştir (Şekil 4.15 ve Şekil 4.16).



Şekil 4.15. Toprak sıcaklığının vejetasyon süresi boyunca değişimi (0-10 cm)
(M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim)



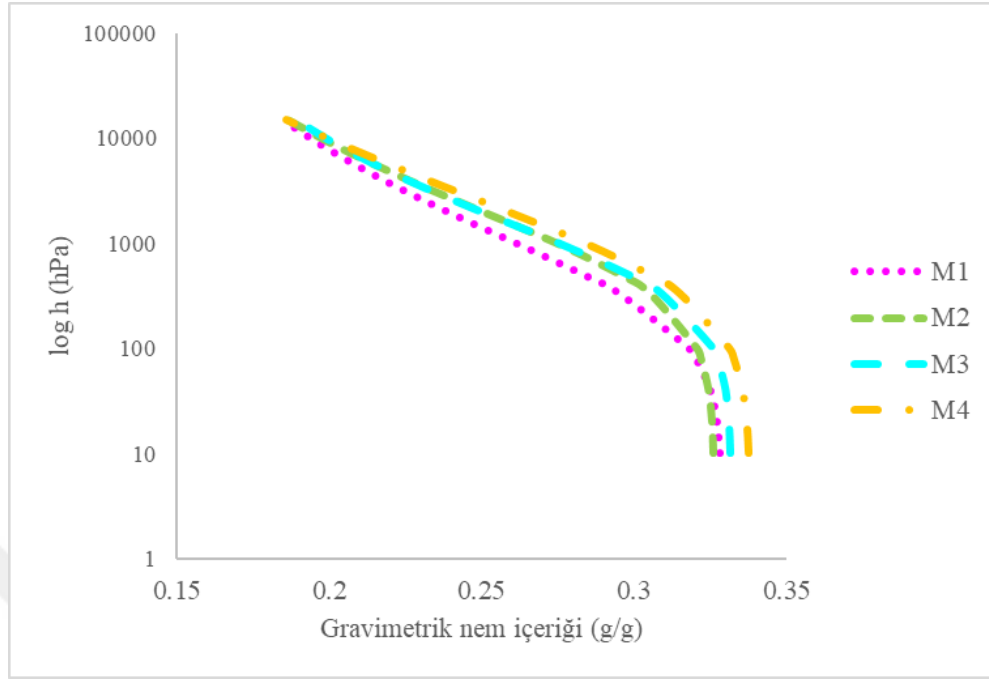
Şekil 4.16. Toprak sıcaklığının vejetasyon süresi boyunca değişimi (10-20 cm)
(M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim)

4.9. Toprak İşleme Sistemlerinin Toprak Fiziksel Kalitesine (S-İndeks) Etkileri

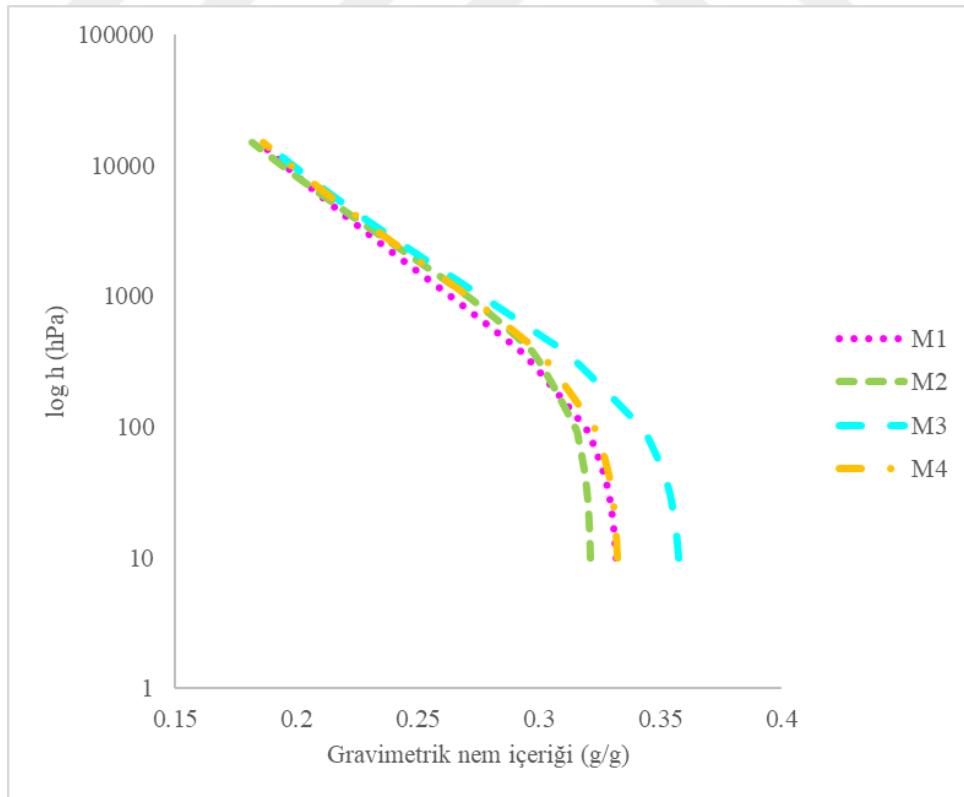
Farklı toprak işleme sistemlerine ait toprak su tutma eğrileri Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de, van Genuchten denklemi ve Dexter’ın fiziksel kalite indeksinin (S-indeks) parametrelerinin ortalama değerleri ise Çizelge 4.19, Çizelge 4.20, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de verilmiştir.

Toprak işleme sistemleri su tutma eğrilerini 0-10 ve 10-20 cm derinliklerde etkilemektedir. Her iki toprak derinliğinde de yüksek matrik potansiyellerde toprak işleme sistemleri tutulan nem içeriği bakımından birbirine benzerdir. Nem potansiyeli düştükçe toprak işleme sistemleri tutulan nem içeriği değerleri bakımından birbirinden farklılaşmaktadır. Bu farklılaşma 10-20 cm derinlikte daha belirgindir. Düşük nem potansiyellerinde (log 100 hPa ve log 10 hPa) geleneksel toprak işleme ve azaltılmış toprak işleme-1 eğrileri hemen hemen çakışmıştır. Yüzeysel derinlikte en düşük nem değeri geleneksel toprak işleme sisteminde en yüksek nem içeriğinin ise doğrudan ekim uygulamasında tutulduğu görülmektedir. Toprak su tutma eğrileri 10-20 cm derinlikte log 1000 hPa matrik potansiyel değerinden sonra matrik potansiyel düştükçe toprak işleme sistemlerinden etkilenmektedir. Özellikle azaltılmış toprak işleme-2 sisteminde farklılaşmanın daha belirgin olduğu, M1 ve M4 sisteminin ise benzer olduğu görülmektedir. Bu derinlikte düşük matrik potansiyellerde M2 sisteminde tutulan nem en düşük, M3 sisteminde tutulan nem ise en yüksektir (Şekil 4.17 ve Şekil 4.18).

Vizitu ve ark. (2010) geleneksel toprak işleme sistemi, azaltılmış toprak işleme sistemi ve doğrudan ekim sistemini karşılaştırdıkları çalışmalarında toprak işleme sistemlerinin Rogów siltli tınlı topraklarında su tutma eğrilerinin şeklini önemli bir şekilde değiştirmediğini, tüm toprak işleme sistemlerindeki su tutma eğrisi şekillerinin benzer olduğunu, Żeliszawki kumlu tınlı topraklarındaki su tutma eğrilerinin şeklindeki farklılıkların ise asıl olarak bu lokasyonda bulunan toprak tekstüründeki değişkenlikten dolayı meydana geldiğini belirtmişlerdir.



Şekil 4.17. Farklı toprak işleme sistemlerine ait toprak su tutma eğrisi (0-10 cm)
(M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim)



Şekil 4.18. Farklı toprak işleme sistemlerine ait toprak su tutma eğrisi (10-20 cm)
(M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim)

Dexter ve Bird (2001) ve Dexter (2004b) optimum bir nem içeriğinde (θ_{opt}) toprak işlemenin etkisinin optimum olduğu yani toprak işleme sonucunda kesek oluşumunun en az ve küçük agregat oranının en fazla olduğunu ifade etmişlerdir. Dexter ve Bird (2001) optimum nem içeriğini su tutma eğrisinin düzleşme noktasındaki nem içeriği olarak tanımlamışlardır (Keller ve ark., 2007). Çalışma alanında optimum nem içeriği değerlerine göre toprak işleme sistemleri 0-10 cm derinlikte $M3 > M2 > M1 > M4$ ve 10-20 cm derinlikte $M1 > M4 > M3 > M2$ şeklinde sıralanmıştır (Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20).

Vizitu ve ark. (2010) hem kil ve hem de silt fraksiyonlarının daha fazla olduğu toprak profillerinin genelde doymuş durumda daha büyük nem içeriğine (θ_s) sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca, genel olarak, alt topraklarla karşılaştırıldığında üst toprak tabakalarının doymuş durumda daha yüksek su içeriği değerlerine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada doymuş durumdaki nem içeriği (θ_s) değeri 0-10 cm derinlikte kil içeriğinin yüksek (Çizelge 4.1) olduğu M4 parselinde yüksek, 10-20 cm derinlikte de kil içeriğinin düşük (Çizelge 4.1) olduğu M4 parselinde daha düşüktür. Ancak 0-10 cm ve 10-20 cm derinlikler karşılaştırıldığında sadece doğrudan ekim uygulamasında yüzeysel derinlikte doymuş nem içeriği alt derinlikte elde edilen değere göre daha yüksektir (Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20). “n” katsayısı gözenek büyüklük dağılımını ve α parametresi de su tutma eğrisinin şeklini etkilemektedir (Magalhães ve ark., 2018). Çalışmada 0-10 cm derinlikte M2 (1.390) ve 10-20 cm derinlikte M1 (1.376) sistemlerinde “n” katsayısı en yüksektir (Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20), yani bu uygulamalarda su tutma potansiyelinin daha yüksek (Magalhães ve ark., 2018) olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.19. van Genuchten denklemi parametrelerinin ortalama değerleri (0-10 cm)

TİS	α	θ_s	θ_r	n	m	θ_{opt}
M1	0.006	0.330	0.090	1.303	0.221	0.192
M2	0.002	0.326	0.098	1.390	0.268	0.194
M3	0.002	0.333	0.114	1.318	0.240	0.205
M4	0.003	0.338	0.027	1.204	0.167	0.161

TİS: Toprak işleme sistemi, M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim, α , n, m: Şekil parametreleri, θ_s : Doymuş su içeriği (g/g), θ_r : Kalan su içeriği (g/g), θ_{opt} : Optimum nem içeriği (g/g).

Çizelge 4.20. van Genuchten denklemi parametrelerinin ortalama değerleri (10-20 cm)

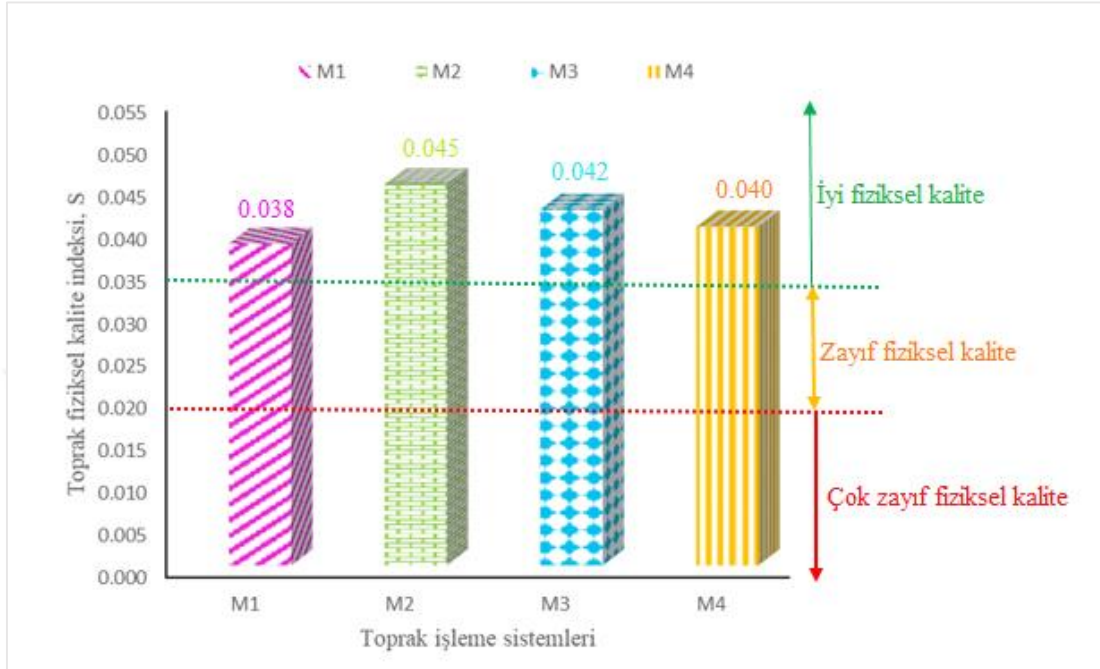
TİS	α	θ_s	θ_r	n	m	θ_{opt}
M1	0.012	0.338	0.058	1.376	0.227	0.180
M2	0.017	0.330	0.000	1.146	0.126	0.144
M3	0.021	0.339	0.000	1.127	0.112	0.149
M4	0.004	0.319	0.049	1.248	0.188	0.165

TİS: Toprak işleme sistemi, M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim, α , n, m: Şekil parametreleri, θ_s : Doygun su içeriği (g/g), θ_r : Kalan su içeriği (g/g), θ_{opt} : Optimum nem içeriği (g/g).

Şekil 4.19 incelendiğinde ilk derinlik için; M2 uygulamasının diğer uygulamalara göre daha yüksek S-indeks değerine sahip olduğu görülmektedir. Her ne kadar sistemler arasında istatistiksel olarak fark olmasa da en yüksek S-indeks değeri M2 uygulamasında en düşük S-indeks değeri ise M1 uygulamasında belirlenmiştir. Dört sistemde de belirlenen S-indeks değerlerine göre toprağın iyi fiziksel kalite gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu, toprak işleme sistemlerinin toprağın fiziksel özelliklerini önemli ölçüde etkilemediği anlamına gelmektedir. İkinci derinlikte de sistemlerin S-indeks değerleri üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. S-indeks değerleri $M1 > M4 > M2 > M3$ olarak sıralanmıştır. M2 ve M3 uygulamalarında topraklar zayıf fiziksel kalite gösterirken M1 ve M4 uygulamalarındaki topraklar iyi fiziksel kalite göstermektedir (Şekil 4.20).

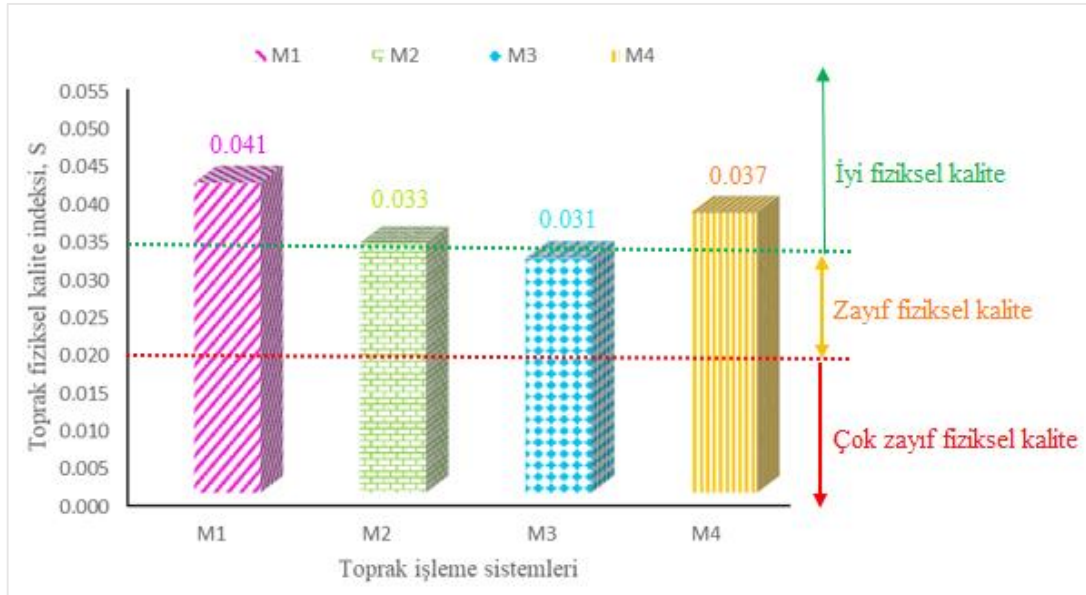
Czyz ve Dexter (2009) geleneksel toprak işleme, azaltılmış toprak işleme ve doğrudan ekim sistemlerinin fiziksel toprak özelliklerini önemli bir şekilde etkilediğini ve altı yılın sonunda azaltılmış toprak işleme ve doğrudan ekim parsellerinde toprak stabilitesinde bazı iyileşmelerin görüldüğünü ifade etmişlerdir. Farhate ve ark. (2018) minimum toprak işleme gibi koruyucu amenajman sistemlerinin örtücü bitkiyle birlikte uygulandığında daha iyi toprak fiziksel kalitesi meydana getirdiklerini ifade etmişlerdir. Calonego ve Rosolem (2011) ürün rotasyonu ve çizelle toprak işlemenin 20 cm derinlikte S-indeks değerini 0.035'in üzerinde çıkararak toprak kalitesini iyileştirdiğini fakat 3 yılın sonunda doğrudan ekim altındaki ile çizelle işleme altındaki toprak kalitesinin benzer olduğunu ifade etmişlerdir. Bahmani (2019) S-indeks değerinin doğrudan ekim alanlarıyla karşılaştırıldığında geleneksel toprak işleme ve çizelin kullanıldığı azaltılmış toprak işlemede azaldığını, sonuç olarak doğrudan ekimin toprak fiziksel kalitesini iyileştirdiğini belirtmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlara benzer şekilde Wereszczaka ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada pullukla işleme derinliğinin tüm katmanlarında (0-10 cm, 10-20 cm

ve 20-30 cm) S-indeks değerinin doğrudan ekime (0-10 cm derinlikte 0.035 seviyesinde, 10-20 cm ve 20-30 cm derinliklerde ise <0.035) göre geleneksel toprak işleme sisteminde (tüm derinliklerde >0.040) daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir.



Şekil 4.19. Ortalama S indeksi değerleri (0-10 cm)

(M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim)



Şekil 4.20. Ortalama S indeksi değerleri (10-20 cm)

(M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim)

Toprak sıkışma derecesi ve S-indeks değeri arasında güçlü bir ilişki vardır ve bunun çeşitli sonuçları olmaktadır. Bu ilişki sıkışma derecesi ile 1/S-indeks değerini toprak sıkışıklığının, S-indeks değerinin ise toprak fiziksel kalitesinin önemli bir göstergesi olduğunu göstermektedir (Naderi-Boldaji ve Keller, 2016). 1/S-indeks değeri arttıkça sıkışma derecesi azalmaktadır (Dexter ve ark., 2007). Birinci ve ikinci ürün toprak işleme sonrası ve hasat zamanlarında belirlenen sıkışma derecesi değerleri ve 1/S-indeks değerleri karşılaştırıldığında sıkışma derecesinin en yüksek olduğu doğrudan ekim uygulamalarında 1/S-indeks değerlerinin en düşük olduğu görülmektedir.

4.10. İkinci Ürün Silajlık Mısır Ekim Kalitesinin Belirlenmesi

Sıra üzeri tohum dağılım düzgünlüğünü belirlemek amacıyla, çimlenmeden sonra, her parselde tesadüfi olarak belirlenen 10 m uzunluğundaki 3 sırada bitkiler arası uzaklık değerlendirilmiştir. Sıra üzeri bitki dağılım düzgünlüğü; ikizlenme, boşluk oranları ve kabul edilebilir bitki aralığının değerlendirilmesi Çizelge 3.4 ve 3.5'e göre yapılmıştır. Silajlık mısır için ikizlenme, boşluk oranları ve kabul edilebilir bitki aralığı değerleri ve değerlendirilme sonuçları Çizelge 4.21 ve 4.22'de verilmiştir.

Tarla filiz çıkış derecesinde uygulanan dört farklı sistem için istatistiksel olarak önemli bir farklılık görülmemiştir. Tarla filiz çıkış derecesinin en düşük ve en yüksek değerleri sırasıyla M4 (%64.53) ve M1 (%76.53) sistemlerinde elde edilmiştir (Çizelge 4.21). Çarman ve ark. (2009) hububat ve baklagil tarımında koruyucu toprak işleme sistemi ve doğrudan ekim yöntemi konulu çalışmasında Konuklar Tarım İşletmesinde yaptıkları denemelerinde buğdayın tarla filiz çıkış derecesinin %62.80 (doğrudan ekim) ile %78.53 (geleneksel toprak işleme yöntemi) ve Polatlı Tarım İşletmesinde yaptıkları çalışmalarında ise %61.07 (doğrudan ekim) ile %76.53 (geleneksel toprak işleme yöntemi) arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Gözübüyük (2016) ise Erzurum'da yürüttüğü çalışmasında buğdayın tarla filiz çıkış derecesinin %80 (geleneksel toprak işleme yöntemi) ile %93 (doğrudan ekim) arasında değiştiğini ifade etmiştir.

Toprak işleme sistemleri kabul edilebilir bitki aralığı ile ikizlenme oranı değerlerini $P < 0.01$ ve boşluk oranı değerlerini $P < 0.05$ seviyesinde istatistiksel olarak önemli bir şekilde etkilemiştir. Kabul edilebilir bitki aralığı, ikizlenme ve boşluk oranları değerleri bakımından M1, M2 ve M3 toprak işleme sistemleri arasında istatistiksel olarak önemli

bir farklılık görülmemektedir (Çizelge 4.21). Kabul edilebilir bitki aralığı bakımından M1 ve M3 sistemleri orta, M2 ve M4 sistemleri ise yetersizdir. Toprak işleme sistemleri ikizlenme oranı bakımından değerlendirildiğinde M1 sisteminin iyi, M3 sisteminin orta ve M2 ile M4 sisteminin yetersiz olduğu görülmüştür. Ekim kalitesinin bir diğer göstergesi olan boşluk oranı değerlerine göre M1 ile M2 sistemlerinin orta ve M3 ile M4 sistemlerinin ise yetersiz olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.22). Bu sonuçlar ekim işlemi ile ilgili önlemler alınması gerektiğini göstermektedir. Buehring ve ark. (2002), sıra arası mesafeyi uygun değerden daha aşağıya çekince tohumların birbirleri ile rekabete girdiğini yani ikizlenme yaşandığını, mesafeyi yukarıya çekince sıra aralarında oluşan boşluk oranı nedeniyle yabancı bitki sayısının arttığını bildirmişlerdir.

Çizelge 4.21. İkinci ürün silajlık mısır için tarla filiz çıkış, kabul edilebilir bitki aralığı, ikizlenme ve boşluk oranı değerleri

TİS	Tarla Filiz Çıkış Derecesi (%)	Kabul Edilebilir Bitki Aralığı (%)	İkizlenme Oranı (%)	Boşluk Oranı (%)
M1	76.53±4.22	88.24±6.84a	3.09±2.91b	8.67±4.56b
M2	68.09±9.16	80.77±8.50a	9.30±5.54b	9.92±3.71b
M3	69.16±10.30	83.62±7.17a	6.09±4.96b	10.29±3.28b
M4	64.53±8.51	63.88±12.22b	17.34±8.28a	15.16±4.73a
F değeri	2.04 ^{öd}	9.19**	7.34**	3.17*

TİS: Toprak işleme sistemi, M1: Geleneksel toprak işleme. M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim. ** P<0.01 seviyesinde önemli, * P<0.05 seviyesinde önemli, öd: Önemsiz değer, Sütunlarda aynı harfle gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak farklılık yoktur.

Çizelge 4.22. Kabul edilebilir bitki aralığı, ikizlenme ve boşluk oranlarının değerlendirilmesi

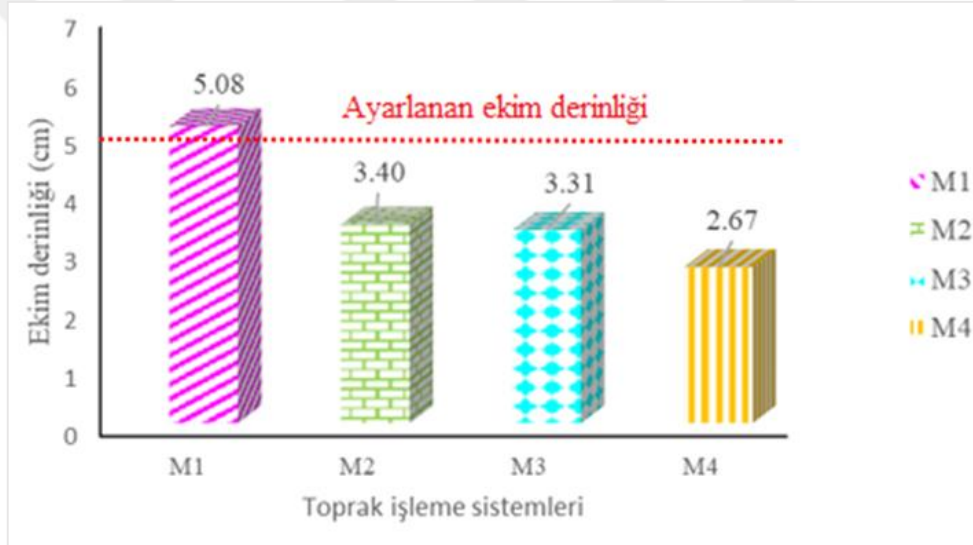
TİS	Kabul Edilebilir Bitki Aralığı (%)	İkizlenme Oranı (%)	Boşluk Oranı (%)
M1	Orta	İyi	Orta
M2	Yetersiz	Yetersiz	Orta
M3	Orta	Orta	Yetersiz
M4	Yetersiz	Yetersiz	Yetersiz

TİS: Toprak işleme sistemi, M1: Geleneksel toprak işleme. M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim.

Ölçülen ekim derinliği değerleri için uygulamalar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık gözlenmemektedir. Ölçülen ekim derinliği değerleri M1, M2, M3 ve M4 uygulamaları için sırasıyla; 5.08 cm, 3.40 cm, 3.31 cm ve 2.67 cm olarak belirlenmiştir (Şekil 4.21). Araştırma parsellerinde ölçülen ortalama ekim derinliği değerleri ile ekim öncesinde makine üzerinde ayarlanan ekim derinliği değerleri karşılaştırıldığına

gerçekleşen ekim derinliğinin daha düşük olduğu görülmektedir. Yalnızca ölçülen değerin ayarlanan değere yakın olduğu sistem geleneksel toprak işleme sistemidir.

Varyasyon katsayısı değerleri M1, M2, M3 ve M4 uygulamaları için sırasıyla; %35.89, %25.64, %36.42 ve %34.03 olarak belirlenmiştir. Değişimi gözlemleyebilmek için varyasyon katsayısı değerlerine bakıldığında M1, M3 ve M4 sistemlerine ait varyasyon katsayısı değerleri referans değer olarak kabul gören %30 değerinden (ISO, 1984) daha yüksektir. Varyasyon katsayılarına göre, en iyi tohum dağılımı M2 (%25.64) sisteminde elde edilmiştir. Karayel ve Özmerzi (2001), düşey düzlemdeki tohum dağılımının ekim derinliği ile ilişkili olduğunu bildirmişlerdir.



Şekil 4. 21. Ayarlanan ve ölçülen ortalama ekim derinliği değerleri

(M1: Geleneksel toprak işleme, M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim)

4.11. Verim

Toprak işleme sistemlerinin silajlık tritikale-fiğ karışımı ve silajlık mısır yeşil ot verimine etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi, toprak işleme sistemlerinin verim üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğunu göstermiştir (Çizelge 4.23). Toprak işleme sistemleri silajlık tritikale-fiğ karışımı yeşil ot verimi bakımından M4>M1>M2>M3; silajlık mısır yeşil ot verimi bakımından M4>M1>M3>M2 şeklinde sıralanmıştır.

Çizelge 4. 23. Tritikale-fiğ karışımı ve silajlık mısır yeşil ot verim değerleri

TİS	Tritikale-fiğ verim (kg/da)	Mısır verim (kg/da)
M1	2280±428.63	9625±2112.76
M2	2234±344.52	8944±1968.73
M3	2156±187.76	9430±1429.42
M4	2748±692.83	9811±1555.19
F değeri	2.67 ^{öd}	0.38 ^{öd}

TİS: Toprak işleme sistemi, M1: Geleneksel toprak işleme. M2: Azaltılmış toprak işleme-1, M3: Azaltılmış toprak işleme-2, M4: Doğrudan ekim. öd: Önemsiz değer.

Benzer şekilde, Zeren ve ark. (1993) ve Yalçın ve ark. (1997) diğer sistemlere nazaran anıza doğrudan ekim yapılan sistemde verimin arttığını belirtmişlerdir. Stipešević ve ark. (2019), çalışmalarında sudan otunun verim değerlerini ilk yıl geleneksel toprak işleme sisteminde ikinci yıl ise diskli tırmık kullandıkları azaltılmış toprak işleme sisteminde yüksek belirlemişlerdir. Yalcin ve Cakir (2006), maksimum verimin derin toprak işleme (subsoiler) (iki kez) + doğrudan ekim makinesi sisteminde (ilk yıl 726 kg/da ve ikinci yılda 616 kg/da) belirlendiğini ifade etmişlerdir. Tokat'ta ikinci ürün silaj mısır verimi üzerine toprak işleme sistemlerinin (Y1: kulaklı pulluk+diskli tırmık+ekim, Y2: freze+ekim, Y3: Çizel+diskli tırmık+ekim, Y4: Doğrudan ekim) etkisinin değerlendirildiği bir çalışmada tarla filiz çıkış derecesi ve yeşil ot verimi açısından toprak işleme sistemlerinin Y1>Y2>Y3>Y4 olarak sıralandığı ve toprak işleme sistemleri arasında oluşan farklılığın geleneksel toprak işleme sisteminden kaynaklandığı ve temelde diğer sistemler arasında önemli bir farklılığın olmaması ile beraber frezenin (Y3) kullanıldığı sistemin öne çıktığı belirtilmiştir (Özgöz ve ark., 2010).

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Sürdürülebilir tarım içerisinde toprak ve su kaynaklarının korunması önemli bir yer tutmaktadır. Uygulanacak toprak işleme sisteminin tespitinde toprak kaynakları üzerinde olumlu etkiler oluşturarak verimliliği artıracak bir yaklaşım benimsenmelidir. Sürdürülebilir toprak işleme, tarımsal üretimi sürdürülebilir bir şekilde artırmayı ve toprak kaynaklarını gelecek nesillere aktarmayı hedefler. Bu yaklaşım, çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan sürdürülebilir tarımın temel taşlarından birini oluşturur. Toprağın fiziksel kalitesi, bitki büyümesi için kritik öneme sahiptir ve tarımsal üretimde verimliliği etkiler. Bu nedenle, toprak fiziksel kalitesinin korunması ve iyileştirilmesi, sürdürülebilir tarımın temel unsurlarından biridir. Bu amaçla araştırmada, Dexter (2004 a, b, c) tarafından geliştirilen S-indeks değeri fiziksel toprak kalitesini değerlendirmek için kullanılmıştır. Ayrıca, ürün rotasyonu ve toprak işleme sistemine bağlı olarak üretim sezonu boyunca toprak nem içeriği ve penetrasyon direnci değerlerindeki değişim izlenmiştir. Çalışmanın temel amacı bölge için toprak fiziksel kalitesini koruyan sürdürülebilir toprak işleme yöntemini belirlemektir. Diğer taraftan toprak işleme sistemleri ile oluşturulan tohum yatağının özelliklerine bağlı olarak özellikle geçit iklim kuşağında yer alan çalışma alanında ikinci üründe vejetasyon süresini etkin bir şekilde kullanmak bakımından ekim kalitesi de değerlendirilmiştir.

Çalışmada toprak işleme ve doğrudan ekim sistemlerinin toprağın fiziksel kalitesine etkisini belirlemek için birinci ürün tiritikale-fiğ karışımı ve ikinci ürün silajlık mısır dönemlerinde toprak işleme sonrası ve hasat dönemlerinde 0-10 cm ve 10-20 cm derinliklerde örneklemeler yapılmıştır. Yapılan örneklemelerle toprak nem içeriği, hacim ağırlığı, toplam gözeneklilik, penetrasyon direnci, sıkışma derecesi, agregat stabilitesi, hidrolik iletkenlik, toprak parçalanma derecesi, yüzey pürüzlülüğü, toprak su tutma eğrileri ve S-indeks değerleri belirlenmiştir.

Toprak hacimsel nem içeriğinin birinci ve ikinci ürün dönemlerini kapsayan (Kasım 2021-Ekim 2022) değişimi Nisan ayında yapılan ölçümde toprak işleme sistemleri arasındaki farklılığın kaybolduğunu ve bu tarihten itibaren hava sıcaklığındaki artışla beraber geleneksel ve azaltılmış toprak işleme sistemlerinde toprak nem kaybının yüksek olduğunu, doğrudan ekim uygulamasında ise nem korumanın diğer yöntemlere göre daha iyi olduğunu göstermiştir.

Uygulamaların toprak hacim ağırlığı üzerine birinci ve ikinci ürün dönemlerinde yapılan ölçümlerde istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olduğu belirlenmiştir. Birinci ürün döneminde toprak işleme sonrasında hacim ağırlığı değerleri Pierce ve ark. (1983) tarafından killi tınlı topraklar için ifade edilen bitki kök gelişimini sınırlayan değerin (1.63 g/cm^3) altındadır. Genel olarak ikinci ürün döneminde ve doğrudan ekim parsellerinde ölçülen hacim ağırlığı değerlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu değerler toprak sıkışması problemi yaşanmaması için tarla trafiği ve toprak işleme zamanındaki nem içeriğine dikkat edilmesi gerektiğini göstermektedir.

Deneme alanı topraklarının penetrasyon direnci değeri toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamalarından istatistiksel olarak önemli bir şekilde etkilenmektedir. Penetrasyon direnci değerlerinin dönemsel değişimi penetrasyon direncinin toprak nem içeriğindeki değişimden etkilendiğini, 0-10 cm derinlikte doğrudan ekim, 10-20 cm derinlikte ise dik rotovatorün kullanıldığı azaltılmış toprak işleme-2 sisteminde daha yüksek olduğunu göstermiştir. İkinci ürün mısır hasat dönemine yaklaşıldığında nem içeriğindeki azalmaya da bağlı olarak penetrasyon direnci kritik değer olarak kabul edilen 2 MPa'dan yüksek, 3 MPa sınır değerine ise yakındır. Standart proktor testi ile belirlenen deneme alanı topraklarının maksimum hacim ağırlığı değeri kullanılarak hesaplanan sıkışma derecesi değerlerinin genel olarak bitki gelişimi açısından sınır değer olarak kabul edilen %87 (Hakansson, 1990; Hakansson ve Lipiec, 2000; Lipiec ve Hakansson, 2000) değerinden yüksek olması alandaki sıkışma potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Islak eleme yöntemi ile belirlenen agregat stabilitesi değerleri üzerine birinci ürün döneminde toprak işleme sistemlerinin etkisi istatistiksel olarak önemliyken ikinci ürün döneminde önemli bir etkisinin (toprak işleme sonrası 10-20 cm derinlik hariç) olmadığı belirlenmiştir. Genel olarak doğrudan ekim uygulanan parsellerde agregat stabilitesi değerleri daha yüksektir.

Toprak işleme ve doğrudan ekim sistemleri birinci ürün toprak işleme sonrası ve hasat zamanında toprağın hidrolik iletkenliğini istatistiksel olarak önemli bir şekilde etkilemezken ikinci ürün döneminde istatistiksel olarak önemli bir şekilde etkilemiştir. Doğrudan ekim uygulaması altında hidrolik iletkenlik değerleri diğer toprak işleme sistemlerine göre daha yüksektir.

Toprak işleme sistemleri yüzey pürüzlülüğünü ikinci ürün döneminde istatistiksel olarak önemli bir şekilde etkilemiştir ve M1, M2 ve M3 sistemleri arasında farklılık yoktur. İkinci ürün döneminde tritikale-fiğ karışımı anızı üzerinde doğrudan ekim uygulamasında yüzey pürüzlülüğünün daha düşük olması ürüne bağlı değişimden kaynaklanmaktadır. Kuru eleme yöntemiyle belirlenen toprak parçalanma derecesi değerleri birinci ve ikinci ürün dönemlerinde toprak işleme sistemlerinde kullanılan makinalarında etkisine bağlı olarak parçalanmanın geleneksel toprak işlemede daha fazla, doğrudan ekimde ise daha az olduğunu göstermiştir.

Toprak fiziksel kalitesini tek bir değerle ifade etmek için kullanılan S-indeks değerini belirlemek için hazırlanan su tutma eğrileri 0-10 cm ve 10-20 cm derinliklerde yüksek nem potansiyellerinde tutulan nem içeriği bakımından toprak işleme sistemlerinin benzer olduğunu, düşük nem potansiyellerinde ise farklılaştığını göstermiştir. Uygulanan toprak işleme ve doğrudan ekim sistemlerinin S-indeks değeri üzerine istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Toprak işleme ve doğrudan ekim sistemleri S-indeks değerlerine göre 0-10 cm ve 10-20 cm derinlikler için sırasıyla $M2>M3>M4>M1$ ve $M1>M4>M2>M3$ şeklinde sıralanmıştır. S-indeks değeri >0.35 olduğunda toprakların iyi fiziksel kalite gösterdiği kabul edilmektedir. Buna göre; 0-10 cm derinlikte tüm uygulamalarda fiziksel toprak kalitesinin iyi olduğunu anlaşılmaktadır. 10-20 cm derinlikte ise azaltılmış toprak işleme sistemlerinde fiziksel kalitenin zayıf, geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamalarında iyi olduğu belirlenmiştir.

Ekim kalitesi; kabul edilebilir bitki aralığı, ikizlenme oranı, boşluk oranı ve ekim derinliği kullanılarak değerlendirilmiştir. Geleneksel toprak işleme sisteminde ekim kalitesi parametrelerinin diğer sistemlere göre daha iyi olduğu belirlenmiştir.

Toprak işleme ve doğrudan ekim sistemlerinin birinci ürün silajlık tritikale-fiğ karışımı ve ikinci ürün silajlık mısır yeşil ot verimi üzerine istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Toprak işleme ve doğrudan ekim sistemleri silajlık tritikale-fiğ karışımı yeşil ot verimi bakımından $M4>M1>M2>M3$; silajlık mısır yeşil ot verimi bakımından $M4>M1>M3>M2$ şeklinde sıralanmıştır. Bu sonuç, alternatif toprak işleme ve doğrudan ekim sistemlerinin uygulanabilirliği açısından önemlidir.

Çalışma alanında Afacan ve ark. (2023) tarafından 2017-2018 döneminden itibaren dört yıl süresince buğday+ikinci ürün silajlık mısır ve silajlık tritikale-fiğ+ikinci ürün silajlık

mısır rotasyonunun uygulandığı bir proje yürütülmüştür. Doktora çalışması bu projedeki ürün rotasyonu ve toprak işleme sistemleri değiştirilmeden gerçekleştirilmiştir. Buna göre; deneme parsellerinde birinci ve ikinci ürün olmak üzere 5 yıl boyunca aynı toprak işleme ve doğrudan ekim sistemleri uygulanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre; toprak işleme ve doğrudan ekim sistemlerinin uygulandığı toprakların toprak fiziksel kalitesi bakımından izlenebilir olması sürdürülebilirlik açısından dikkate değerdir. Uygulanan sistemlerin S-indeks değeri üzerine istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmamasının yanında toprakların genel olarak iyi fiziksel kalite göstermesi, alternatif toprak işleme sistemlerinin uygulanabilirliğini ve uzun dönemde sürdürülebilirliğine önemli katkılar sağlayacağını göstermektedir.

6. KAYNAKLAR

- Abebe, A.T., Tanaka, T. ve Yamazaki, M., 1989. Soil compaction by multiple passes of a rigid wheel for optimization of traffic, *Journal of Terramechanics*, 26, 139-148.
- Abu-Hamdeh, N.H., 2000. Effect of tillage treatments on soil thermal conductivity for some Jordanian clay loam and loam soils. *Soil and Tillage Research*, 56, 145-151.
- Acton, D.F. ve Gregorich, L.J., 1995. Understanding soil health. p. 5-10. In: D.F. Acton and L.J. Gregorich, (eds.), *The Health of our Soils: Toward Sustainable Agriculture in Canada*. Centre for Land and Biological Resources Research, Research Branch, Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, Ont.
- Adam, K.M. ve Erbach, D.C., 1992. Secondary tillage toll effect on soil aggregation. *Transactions of the ASAE*, 35 (6), 1771-1776.
- Afacan, H., Başaran, B., Bal, M., Altıntaş, G., Yıldız, E., Mutlu, N., Taşlıoğlu, H.B., Eren, H. ve Özgöz, E., 2023. Farklı toprak işleme yöntemlerinin ana ve ikinci ürün rotasyonlarında toprak özellikleri, verim ve enerji etkinliklerinin karşılaştırılması. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Orta Karadeniz Geçit İklim Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Enstitü Yayın No: 340-214/T107, Proje Sonuç Raporu, Tokat.
- Ahmadi, E., Ghassemzadeh, H.R., Moghaddam, M. ve Kim, K., 2008. Development of a precision seed drill for oilseed rape. *Turk J. Agric. For*, 32, 451-458.
- Al-Kaisi, M. ve Hanna, M., 2009. Residue management & cultural practices. resources conservation practices, PM 1901a, University Extension, Iowa State University, Iowa.
- Altıkat, S., 2005. Farklı Toprak Parçalama Ve Ekim Sırasında Sıkıştırma Düzeylerinin Buğdayda Tarla Filizi Çıkışına Olan Etkileri Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Erzurum.
- Altıkat, S., Çelik, A. ve Turgut, N., 2006. Yazlık buğdayda farklı tohum yatağı parçalama ve sıra üzeri sıkıştırma düzeylerinin bitki çıkışı, gelişimi ve verime olan etkileri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 37(2),197-205.
- Altıkat, S. ve Çelik, A., 2009. Toprak işleme sistemlerinin önemli bazı toprak kalite kriterlerine olan etkileri. *Alinteri*, 16 (B)-2009 33-41.
- Alvarez, R. ve Steinbach, H.S., 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil and Tillage Research*, 104(1), 1-15.
- Andrews, S.S., Karlen, D.L. ve Cambardella, C.A., 2004. The soil management assessment framework. *Soil Science Society of America Journal*, 68(6), 1945-1962.
- Anonim, 1974. Standard test method for particle size analysis of soil. American Society for Testing and Materials. Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia.
- Anonim, 1980. Elek analizi genel kuralları TS 3479. Türk Standartları Enstitüsü
- Anonim, 1999. Tarımsal Mekanizasyon Araçları Deney İlke ve Metodları. T.C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Anonim, 2024. Arazi Kaynakları Sürdürülebilir Toprak Yönetimi. https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/122300/mod_resource/content/0/Konu4.3.Toprak.pdf (29.02.2024).
- Arndt, W., 1965. The nature of the mechanical impedance to seedlings by soil surface seals. *Aust. j. Son Res.*, 3, 45-54.

- Arshad, M.A.ve Azooz, R.H., 1996. Tillage effects on soil thermal properties in semi-arid cold region. *Soil Science Society of America Journal*, 60, 561-567.
- Arshad, M.A. ve Martin, S., 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 88, 153-160.
- Aslan, N., 1999. Agregat Büyüklük Dağılımının Toprağın Bazı Fiziksel Özellikleri Ve Bitki Kök Gelişimi Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı, Erzurum.
- ASTM, 1982. Standard test methods for moisture relations using a 5.5 lb (2.5 kg) hammer and 12 inch (304.8 mm) drop. In: *ASTM Standards in Building Codes*. Philadelphia, 836- 842.
- ASTM, 2010. Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Aykas, E., Yalçın, H. ve Çakır, E., 2005. Koruyucu toprak işleme yöntemleri ve doğrudan ekim. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 42(3),195-205.
- Aykas, E., Yalçın, H. ve Yazgı, A., 2013. Balta tipi gömücü ayağa sahip tek dane ekim makinalarının farklı bölgelerde mısır ekiminde ekim performansının karşılaştırılması. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science)*, 9(1), 67-72.
- Ba, L.T., Van, K.L., van Elsacker, S. ve Cornelis, W.M., 2014. Effect of cropping system on physical properties of clay soil under intensive rice cultivation. *Land Degradation & Development*, 27(4), 973-982.
- Badalikova, B. 2010. Chapter 2. Influence of soil tillage on soil compaction. *Soil Engineering*. Deduosis, A.P., Bartzanas, T. (Ed). pp:19-30.
- Bahmani, O., 2019. Evaluation of the short-term effect of tillage practices on soil hydro-physical properties. *Polish Journal of Soil Science*, 52(1), 43-57.
- Bakker, D.M. ve Davis, R.J., 1995. Soil deformation observations in a Vertisol under field traffic. *Australian Journal of Soil Research*, 33, 817-832.
- Balland, V. ve Arp, P.A., 2005. Modeling soil thermal conductivities over a wide range of conditions. *Journal Of Environmental Engineering and Science*, 4(6), 549-558.
- Barut, Z. B., 1996. Farklı tohumların ekiminde kullanılan düşey plakalı, hava emişli hassas ekici düzenin uygun çalışma koşullarının saptanması. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Barut, Z.B., Çelik, İ. ve Turgut, M.M., 2010. Buğday tarımında farklı toprak işleme sistemlerinin toprağın bazı fiziksel özelliklerine etkisi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science)*, 6(4), 237-246.
- Baver, L.D., Gardner, W.H. ve Gardner, W.R., 1972. *Soil physics*. John Wiley and Sons, Inc., Newyork
- Baydar, H., 2015. Bitki ıslahında genetiğin yeri ve önemi “yeni yeşil devrimlere, yeni norman borlauglara ihtiyacımız var”. https://www.researchgate.net/publication/306098334_YENI_YESIL_DEVRIMLERE_YENI_NORMAN_BORLAUG_LARA_IHTIYACIMIZ_VAR#fullTextFileContent.
- Beare, M.H., Hendrix, P.F. ve Coleman, D.C., 1994. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional and no-tillage. *Soil Science Society of America Journal*, 58, 777-786.
- Bengough, A.G., Bransby, M.F., Hans, J., McKenna, S.J., Roberts, T.J. ve Valentine, T.A., 2005. Root Responses to Soil Physical Conditions; Growth Dynamics From field to Cell. *Journal of Experimental Botany*, 57(2), 437-447.

- Beutler, A.N., Centurion, J.F., Roque, C.G. ve Ferraz, M.V., 2005. Optimal relative bulk density for soybean yield in Oxisols. *Revista Brasileira de Ci4ncia do Solo*, 29, 843-849.
- Blake, G.R. ve Hartge, K.H., 1986. Bulk Density. In: Klute A ed. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. 2nd ed. Agronomy Monograph, No. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. pp. 363-375.
- Bonnifield, P., 1979. *The Dust Bowl: Men, Dirt, and Depression*. University of New Mexico Press, Albuquerque.
- Botta, G.F., Jorajuria, D., Balbuena, R. ve Rosatto, H., 2004. Mechanical and cropping behaviour of direct drilled soil under different traffic intensities: Effect on soybean (*Glycine max* L.) yields. *Soil and Tillage Research*, 78, 53-58.
- Bouaziz, A. ve Bruckler, L., 1989. Modeling wheat seedling growth and emergence: I. Seedling growth affected by soil water potential. *Soil Science Society of America Journal*, 53, 1832-1838.
- Bozkurt, Y. E. ve Akbolat D., 2016. Toprak frezesi ilerleme hzının topraktan karbondioksit emisyonu ¼zerine etkisi. *S¼leyman Demirel ¼niversitesi Ziraat Fak¼ltesi Dergisi*, 11(2), 61-69.
- Braunack, M.V. ve Dexter, A.R., 1989. Soil aggregation in the seedbed: a review. II. Effect of aggregate sizes on plant growth *Soil and Tillage Research*, 14, 281-298.
- Brooks, D. ve Church, B., 1987. Drill performance assessment: a changed approach. *British Sugar Beet Review*, 55(4), 50-51.
- Brunotto, J. 1986. Einzelkom Saat von R¼ben - Anforderungen und Vergleichende Untersuchungen van Druckrollen. 41. Jahg. *Landtechnik*, 128 - 136.
- Buehring, N.W., Harrison, M.P. ve Dobbs, R.R., 2002. Corn Response to Twin and Narrow Rows with Selected Seeding Rates. *Annual Report*, 43-49.
- Bulut, B., 2018. İkinci ¼r¼n Mısırdan Sonra Buğdayın Sıfır Toprak İşleme Yöntemiyle ¼retimi ¼zerine Bir Araştırma. (Y¼ksek Lisans Tezi) Harran ¼niversitesi Fen Bilimleri Enstit¼s¼ Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Şanlıurfa.
- Busscher, W.J. ve Sojka, R.E., 1987. Enhancement of subsoiling effect on soil strength by conservational tillage. *Transactions of the ASAE*, 30(4), 888-892.
- B¼nemann, E.K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., de Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Lampurlanes, J. ve Cantero-Martinez, C., 2006. Hydraulic conductivity, residue cover and soil surface roughness under different tillage systems in semiarid conditions. *Soil and Tillage Research*, 85(1-2), 13-26.
- Calonego, J.C. ve Rosolem, C.A., 2011. Soil water retention and S index after crop rotation and chiseling. *Revista Brasileira de Ci4ncia do Solo*, 35, 1927-1937.
- Cambardella, C.A. ve Elliott, E.T., 1993. Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions. *Geoderma*, 56(1-4), 449-457.
- Carter, M.R., 1990. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loam. *Canadian Journal of Soil Science*, 70, 425-433.
- Cebel, N., 2011. Toprak kalitesinin korunması ve geliştirilmesi. *Bilim ve Aklın Aydınlığında*, 134, 34-38.
- Cengiz, S., 2017. Toprak İşlemede Kıvam Limitleri Ve Maksimum Toprak Suyu İçeriğinin Tahmini. (Y¼ksek Lisans Tezi) Atat¼rk ¼niversitesi Fen Bilimleri Enstit¼s¼, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı Toprak Bilimi Bilim Dalı, Erzurum.

- Chan, K.Y. ve Heenan, D.P., 1993. Surface hydraulic properties of a red earth under continuous cropping with different management practices. *Australian Journal of Soil Research*, 31, 13-24.
- Chaney, K. ve Swift, R.S., 1984. The influence of organic matter on aggregate stability in some british soils. *European Journal of Soil Science*, 35, 223-230.
- Chen, S.Y., Zhang, X.Y., Pei, D. ve Sun, H.Y., 2005. Effects of corn straw mulching on soil temperature and soil evaporation of winter wheat field. *T. CSAE* ,21(10), 171-173.
- Coughenour, C.M. ve Chamala, S., 2000. *Conservation Tillage and Cropping Innovation, Constructing the New Culture of Agriculture*, Iowa State University Press, USA.
- Cresswell, H.P., Painter, D.J. ve Cameron, K.C., 1993. Tillage and water content effects on surface soil hydraulic properties and shortwave albedo. *Soil Science Society of America Journal*, 57, 816-824.
- Czyz, E.A. ve Dexter, A.R., 2009. Effect of traditional, reduced and zero-tillage for winter wheat on soil physical properties. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science)*, 5(3), 275-282.
- Çarman, K., 1994. Tractor forward velocity and tine load effects on soil strength. *Journal of Terramechanics*, 31, 11-20.
- Çarman, K., 1997. Effect of different tillage systems on soil properties and wheat yield in Middle Anatolia. *Soil and Tillage Research*, 40, 201-207.
- Çarman, K., Demir, F., Gücan, A., Topal, A., Soylu, S., Marakoğlu, T. ve Akgün, N., 2009. Hububat ve Baklagil Tarımında Koruyucu Toprak İşleme ve Doğrudan Ekim Uygulamaları. TÜBİTAK Projesi Sonuç Raporu, Proje No: TOVAG 105 O 492.
- Çelebi, H.ve Bal, H., 1976. Orta Anadolu şartlarında toprak işleme ve ekim metotlarının toprak ve su muhafaza bakımından önemi. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/34778>.
- Çelik, A., 1998. Toprak frezesinde değişik tip bıçakların toprağa olan etkilerinin ve güç tüketimlerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Erzurum.
- Çelik, İ., Günal, H., Acar, M., Acir, N., Barut, Z. ve Budak, M., 2019. Strategic tillage may sustain the benefits of long-term no-till a vertisol under mediterranean climate. *Soil and Tillage Research*, 185, 17-28.
- Çeker, A., 2016. Sürdürülebilir tarım ve Türkiye açısından bir değerlendirme. *International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic Volume 11/2 Winter*, 809-836.
- Çetin, M., Akbaş, T. ve Şimşek, E., 2009. Farklı toprak işleme alet ve makinalarının toprağın penetrasyon, direncine etkilerinin belirlenmesi. 25.Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, 1-3 Ekim 2009, Isparta.
- Dale, V.H., Peacock, A.D., Garten, C.T., Sobek, E. ve Wolfe, A.K., 2008. Selecting indicators of soil, microbial, and plant conditions to understand ecological changes in Georgia pine forest. *Ecological Indicators*, 8, 818-827.
- Danielson, R.E. ve Sutherland, P.L., 1986. Porosity. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis*, Part 1, second ed. Am. Soc. Agron. Publ, Madison, WI, pp. 443-460.
- da Silva, A.P., Kay, B.D. ve Perfect, E., 1994. Characterization of the least limiting water range of soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58, 1775-1781.
- Demir, F., Konak, M., Doğan, H. ve Haciseferoğulları, H., 1996. Izgara kulaklı pulluk ile geleneksel kulaklı pulluğun iş kalitesi, güç tüketimi ve toprağın fiziksel özelliklerine etkisi. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(11), 161-170.

- Derpsch, R., Franzluebbers, A.J., Duiker, S.W., Reicosky, D.C., Koeller, K., Friedrich, T., Sturny, W.G., Sá, J.C.M. ve Weiss, K., 2014. Why do we need to standardize no-tillage research? *Soil and Tillage Research*, 137, 16-22.
- Dexter, A.R., 2002. Soil structure: the key to soil function. *Adv. GeoEcology*, 35, 57-69.
- Dexter, A.R., 2004a. Soil physical quality. *Soil and Tillage Research*, 79, 129-130.
- Dexter, A.R., 2004b. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, 120, 201-214.
- Dexter, A.R., 2004c. Soil physical quality: Part II. Friability, tillage, tilth and hard-setting. *Geoderma*, 120, 215-225.
- Dexter, A.R., Bird, N.R.A., 2001. Methods for predicting the optimum and the range of water contents for tillage based on the water retention curve. *Soil and Tillage Research*, 57, 203-212.
- Dexter, A.R. ve Czyz, E.A., 2007. Applications of S-theory in the study of soil physical degradation and its consequences. *Land Degradation and Development* 18, 369-381.
- Ditzler, C.A. ve Tugel, A.J., 2002. Soil quality field tools, *Agronomy Journal*, 94 (1), 33-38.
- Doğan, Ş., Değirmencioğlu, A., Özarslan, C. ve Alayunt, F.N., Tek dane ekici düzen performansının optimizasyonuna yeni bir yaklaşım: akıllı vakum diski. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science)*, 12 (4), 273-284.
- Doran, J.W. ve Parkin, T.B., 1994. Defining ve assessing soil quality. Ed: Doran, J.W., Coleman, D.C., and Bezdicek, D.F. *Defining soil quality for a sustainable environment*, 35. USA: Soil Science Society of America, 3-21.
- Doran, J.W. ve Parkin, T.B., 1996. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set, *Methods for assessing soil quality/editors*, John W. Doran and Alice J. Jones; editorial committee, Richard P. Dick...[et al.]; editor-in-chief SSSA, Jerry M. Bigham; managing editor, David M. Kral; associate editor, Marian K. Viney.
- Doran, J.W. ve Zeiss, M.R., 2000. Soil health and sustainability: Managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15(1), 3-11.
- Doran, J.W., 2002. Soil health and global sustainability: translating science into practice. *Agric. Ecosys. Environ.*, 88, 119-127.
- DSİ, 1974. Yukarı Yeşilirmak Projesi, Kazova Ovası Detaylı Arazi Tasarruf ve Drenaj Raporu, Etüt Raporları No: 17-790, Cilt:2, Ankara.
- Duiker, S.W. ve Lal, R., 1999. Crop residue and tillage effects on carbon sequestration in a Luvisol in central Ohio. *Soil and Tillage Research*, 52, 73-81.
- Durdiyev, D. ve Dursun, E., 2002. Sap parçalama ve farklı toprak işleme yöntemlerinin mısır saplarının toprağa karışmasına etkilerinin belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 8(1), 79-87.
- Dursun, İ., 2015. Toprak İşleme Alet ve Makinaları. Ankara Üniv. Zir. Fak., Yayın No: 1618, Ders Kitabı: 570, Ankara Üniv. Basımevi, 584 s., Ankara.
- Dursun, İ.G. ve Dursun, E., 2000. Ekim makinası sıra üzeri tohum dağılımının görüntü işleme yöntemi ile belirlenmesi. *Tarım Bilimler Dergisi*, 6(4), 21-28.
- Edwards, W.M., Norton, L.D., Redmond, C.E., 1988. Characterizing macropores that affect infiltration into nontilled soil. *Soil Science Society of America Journal*, 52, 483-487.
- Egan, T., 2006. *The Worst Hard Time: The Untold Story of Those Who Survived The Great American Dust Bowl*. Houghton Mifflin Company, Boston.

- Ehlers, W., Kopke, V., Hesse, F. ve Bohm, W., 1983. Penetration Resistance and growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil and Tillage Research*, 3, 261-275.
- El-Kayssi, A.W., 2021. Use of water retention data and soil physical quality index S to quantify hard-setting and degree of soil compactness indices of gypsiferous soils. *Soil and Tillage Research*, 206, 104805.
- Emadi, M., Emadi, M., Baghernejad, M., Fathi, H. ve Saffari, M., 2008. Effect of land use change on selected soil physical and chemical properties in North Highlands of Iran. *Journal of Applied Sciences*, 8(3), 496-502.
- Eraslan, S., İmamoğlu, A., Coşkun, A., Saygın, F. ve Dengiz, O., 2016. İnebolu Havzası topraklarının erozyon duyarlılıklarını belirlenmesinde agregat ve strüktür stabilite durumları, arazi örtüsü ile olan ilişkileri. *Uluslararası Coğrafya Sempozyumu*, 13-14 Ekim, TÜCAUM, 779-794. Ankara.
- Erbach, D., 1986. Farm Equipment and Soil Compaction, ASAE Paper No. 860730.
- Eriksson, J., Haëkansson, I. ve Danfors, B., 1974. The effect of soil compaction on soil structure and crop yields. Swedish Institute of Agricultural Engineering, Uppsala, Report 354, 82 pp. (in Swedish; Transl., Aase, J.K., U.S.D.A.-A.R.S., Washington, DC, USA).
- Eswaran, H., Almaraz, R., van den Berg, E. ve Reich, P., 1997, An assessment of the soil resources of Africa in relation to productivity, *Geoderma*, 77(1), 1-18.
- FAO, 2015. Status of the World's Soil Resources, <http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf> (10.05.2020).
- FAO, 2019a. Sürdürülebilir Toprak Yönetimi Gönüllü Kılavuz İlkeleri <http://www.fao.org/3/i6874tr/I6874TR.pdf>.
- FAO, 2019b. Soil erosion the greatest challenge for sustainable soil management.
- Farhate, C.V.V., Souza, Z.M., Guimarães Jr., W.S., Sousa, A.C.M., Campos, M.C.C. ve Carvalho, J.L.N., 2018. Soil physical quality in sugarcane field under cover crop and different soil tillage systems. *Journal of Agricultural Science*, 10(11), 489-500.
- Faulkner, E.H., 1943. Plowman's folly. Michael Joseph, London.
- Freitas P.L., Zobel R.W. ve Snyder V.A., 1999. Corn root growth in soil columns with artificially constructed aggregates. *Crop Science*, 39 (3), 725-730.
- Friedrich, T., Derpsch, R., Kassam, A.H., 2012. Global overview of the spread of conservation agriculture. *Field Actions Science Reports*, 6, 1-7.
- Froehlich, H.A. ve McNabb, D.H., 1983. Minimizing soil compaction in Pacific Northwest forests. *Proc. of Sixth North American Forest Soils Conference*, 159-192.
- Gameda, S., Raghavan, G.S.V. ve McKyes, E., 1992. relationship between soil structure and compactibility, International Summer Meeting, Charlotte, North Carolina.
- Garg, R.N., Mazumdar, S.P., Chattaraj, S., Chakraborty, D., Singh, R., Kumari, M., Saha, B., Trivedi, S.M., Kaur, R., Kamble, K.H. ve Singh, R.K., 2009. Assessment of soil physical conditions: evaluation of a single value index. *Journal of Agricultural Physics*, 9, 9-19.
- Garji, P.R., Arora, V.K. ve Prihar, S.S., 2002. Tillage For Sustainable Cropping. Food Products Press, an imprint of The Haworth Press, Inc., 10 Alice Street, Binghamton, New York, 13904- 1580.
- Golabi, M.H., Radcliffe, D.E., Hargrove, W.L. ve Tollner, E.W., 1995. Macropore effects in conventional tillage and no-tillage soils. *Journal of Soil and Water Conservation*, 50, 205-210.

- Gökçebay, B., 1986. Tarım Makinaları I. Ankara Üniversitesi. Ziraat Fakültesi Yayınları: 979, Ders Kitabı. 289, 395 s., Ankara.
- Gözübüyük, Z., 2016. Erzurum Yöresinde Nadası Kaldırmaya Yönelik Değişik Toprak İşleme-Ekim Yöntemlerinin Bazı İşletme Parametreleri ve Enerji Kullanım Etkinliği, (Doktora Tezi), Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Byosistem Mühendisliği Anabilim Dalı 132 s, Tokat.
- Gözübüyük, Z., Öztaş, T., Çelik, A., Yıldız, T. ve Adıgüzel, M.C., 2017. Farklı toprak işleme ve ekim yöntemlerinin toprağın bazı fiziksel özellikleri üzerine etkisi. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi, 5(2), 48-54.
- Guedes, E.M.S., Fernandes, A.R., de Lima, H.V., Serra, A.P., Costa, J.R. ve da Silva Guedes, R., 2012. Impacts of different management systems on the physical quality of an amazonian oxisol. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 36,1269-1277.
- Gugino, B.K., Abawi, G.S., Idowu, O.J., Schindelbeck, R.R., Smith, L.L., Thies, J.E., Wolfe, D.W. ve Van Es, H.M., 2009, Cornell soil health assessment training manual, Cornell University College of Agriculture and Life Sciences, p. 1-55.
- Gupta, S.C. ve Allmaras, R.R., 1987. Models to assess the susceptibility of soil with excessive compaction. Advances in Soil Science, 6, 65-100.
- Gupta, S.C., Hadas, A., Voorhees, W.B., Wolf, D., Larson, W.E. ve Sharma, P.P., 1990. Development of guides on the susceptibility of Soils to excessive compaction. University of Minnesota BARD Report, St Paul.
- Gümüş, I., Şeker, C., Negiş, H., Özaytekin, H.H., Karaarslan, E. ve Çetin, Ü., 2016. Buğday ekili alanlarda agregat stabilitesine etki eden faktörlerin belirlenmesi, Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi TARGİD Özel Sayı, 236-242.
- Gürsoy, S. ve Kolay, B. 2012. Buğday hasadı sonrası farklı toprak işleme yöntemlerinin toprağın bazı fiziksel özelliklerine ve mercimeğin çıkış oranına etkisi. Selçuk Tarım Ve Gıda Bilimleri Dergisi, 26(3), 50-56.
- Haggblade, S. ve Tembo, G., 2003. Conservation farming in Zambia EPTD. Discussion Paper No. 108, International Food Policy Research Institute, Washington.
- Hakansson, I., 1990. A method for characterising the state of compactness of the plough layer. Soil and Tillage Research, 16, 105-120.
- Hakansson, I., 1973. The sensitivity of different crops to soil compaction. In: Sixth International Conference on Soil Tillage, Wageningen, The Netherlands, 24±29 September 1973. Summaries, pp. 14:1-4.
- Hakansson, I. ve Lipiec, J., 2000. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. Soil and Tillage Research, 53, 71-85.
- Hamza, M.A. ve Anderson, W.K., 2005. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. Soil and Tillage Research, 82, 121-145.
- Harari, Y.N., 2012. Hayvanlardan Tanrılara-Sapiens. Kolektif Kitap, 411, İstanbul, Türkiye.
- Hay, R.K.M., Holmes, J.C. ve Hunter, E.A., 1978. The effects of tillage, direct drilling and nitrogen fertiliser on soil temperature under a barley crop. Journal of Soil Science, 29, 174-183.
- Haynes, R.J., 2000. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. Soil Biology and Biochemistry, 32, 211-219.
- Heaton, H., 2005. Avrupa İktisat Tarihi, Çev.: M. A. Kılıçbay ve O. Aydoğuş, Paragraf Yayınevi, Ankara, 653s.

- Hermavan, B. ve Cameron, K.C., 1993. Structural changes in a silt loam under long-term conventional or minimum tillage. *Soil and Tillage Research*, 26, 139-150.
- Hillel, D., 1991. *Out of the Earth: Civilization and the life of the soil*. University of California Press, Los Angeles.
- Hillel, D., 2004. *Introduction to environmental soil physics*. Massachusetts, United States: Elsevier Science.
- Hobbs, P.R., 2007, Conservation agriculture: what is it and why is it important for future sustainable food production? Department Crops and Soil Sciences, Cornell University Ithaca NY 14850 USA, 145 (2), 127.
- Hofman, V., 1988. Maximum yields need accurate planting. *The Sunflower*, 14(1), 10-11.
- Hollowell, W., 1992. Drill performance assessments. *British Sugar Beet Review*, 50(3), 13-15.
- Hu, H., Tian, F. ve Hu, H., 2011. Soil particle size distribution and its relationship with soil water and salt under mulched drip irrigation in Xinjiang of China. *Science China Technological Sciences*, 54(6), 1568-1574.
- Hurt, R.D., 1981. *The Dust Bowl: An Agricultural and Social History*. Nelson-Hall, Chicago.
- ISO, 1984. *Sowing Equipment – Test Methods. Part I: Single Seed Drills*, 7256/1.
- İşıldar, A.A. ve Bayhan, K., 2005. Kuruda ayçiçeği tarımında farklı toprak işleme yöntemlerinin tohum yatağı özellikleri ve çıkış üzerine etkileri. *S.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(36), 120-124.
- İnce, K., Çelik, S. ve Erpul, G., 2019. Türkiye’de rüzgâr erozyonu toprak duyarlılık değişkenlerinin ulusal ölçekte belirlenmesi ve haritalanması. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 56(1), 109-120.
- Jackson, M.L., 1962. *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall Inc. Eng.Cliffs. N. I., USA.
- Jasa, P.J. ve Dickey, E.C., 1982. Tillage factors affecting corn seed spacing. *Transactions of the ASAE*, 25(6), 1516-1519.
- Johnson, W.H. ve Taylor, G.S., 1960. Tillage treatment for corn on clay soils. *Transactions of the ASAE*, 3(2), 4-7.
- Johnson, M.D. ve Lowery, B., 1985. Effect of three conservation tillage practices on soil temperature and thermal properties. *Soil Science Society of America Journal*, 49, 1547-1552.
- Kara, O. ve Bilgili, M.E., 2020. Doğrudan Ekimde Farklı Sıkıştırma Basıncının Toprak Fiziksel Özellikleri ve Bitki Gelişimine Etkisi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 16(3), 1-11.
- Karakaplan, S., 1982. Değişik Nem ve Basıncıta Sıkıştırmanın Toprakların Hacim Ağırlığı Penetrasyon ve Permabilite Değerlerine Etkileri, Atatürk Üniversitesi Basımevi, Erzurum.
- Karayel, D. ve Özmerzi, A., 2005. Hassas ekimde gömücü ayakların tohum dağılımına etkisi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18 (1), 139-150.
- Karlen, D.L., 2004. Soil quality as an indicator of sustainable tillage practices. *Soil and Tillage Research* 78:129-130 (Editorial).
- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran J.W., Cline, R.G., Harris, R.F. ve Schuman, G.E. 1997. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal*, 61, 4-10.

- Karlen, D.L., Hurley, E.G., Andrews, S.S., Cambardella, C.A., Meek, D.W., Duffy, M.D. ve Mallarino, A.P., 2006. Crop rotation effects on soil quality at three northern corn/soybean belt locations. *Agronomy Journal*, 98, 484-495.
- Karlen, D.L., Tomer, M.D., Neppel, J. ve Cambardella, C.A., 2008. A preliminary watershed scale soil quality assessment in north central Iowa, USA. *Soil and Tillage Research*, (99), 291-299.
- Keçecioğlu, G. ve Gülsoylu, E., 2002. Toprak İşleme Makinaları. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 545, 265 s, İzmir.
- Keller, T., Arvidsson, J. ve Dexter, A.R., 2007. Soil structures produced by tillage as affected by soil water content and the physical quality of soil. *Soil and Tillage Research*, 92, 45-52.
- Kemper, W.D. ve Koch, E.J., 1966. Aggregate Stability of Soils from Western United States and Canada. U.S. Dept. Agriculture Tech. Bull No. 1355.
- Kemper, W. D. ve Rosenau, R.C., 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Klute A. (ed), *Methods of soil analysis, part 1*. Agron. Monog. 9. ASA, Madison, WI.
- Kirişçi, V., 1999. Pulluk tabanı ve dipkazan kullanımı. *Cine Tarım Dergisi*, 17, 18-20.
- Klute, A., 1986, Water Retention: Laboratory Methods, In: *Methods of Soil Analysis Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, Klute, A. (Ed.). ASA and SSSA, Madison, WI., ISBN: 0-89118-088-5, pp: 635-662.
- Klute, A. ve Dirksen, C., 1986. Hydraulic Conductivity and Diffusivity. In: *Methods of Soil Analysis Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, Klute, A. (Ed.). ASA and SSSA, Madison, WI., ISBN: 0-89118-088-5, pp: 687-734.
- Koger, J.L., Brut, E.C. ve Trowse, A.C., 1985. Multiple Pass Effects of Skidder Tires on Soil Compaction, *Transaction ASAE*, 28, 11-16.
- Kondo, M.K. ve Dias Junior, M.S., 1999. Soil compressibility of three latosols as a function of moisture and use. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 23, 211-218.
- Korucu, T., Kirişçi, V. ve Görücü S., 1998. Korumalı toprak işleme ve Türkiye'deki uygulamaları. *Tarımsal Mekanizasyon 18. Ulusal Kongresi Bildiriler CD'si*, s.321-333, Tekirdağ.
- Köller, K., 2003. Conservation tillage-technical, ecological and economic aspects. *Koruyucu Toprak İşleme ve Doğrudan Ekim Çalıştayı Bildiriler Kitabı*, ISBN 975-483-601-9. İzmir.
- Kuş, 2014. Pnömatik hassas ekim makinalarında tohum düşme yüksekliği ve ilerleme hızının geleneksel ve azaltılmış toprak işleme şartlarında ekim kalitesine etkilerinin belirlenmesi. *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Doktora Tezi*.
- Kuş, E. ve Yıldırım, Y., 2017. Geleneksel ve azaltılmış toprak işleme şartlarına bağlı olarak bazı toprak özelliklerinin belirlenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(4), 51-61.
- Küçükaltbay, M. ve Akbolat, D., 2015. Nohut yetiştiriciliğinde farklı toprak işleme ve ekim yöntemlerinin incelenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 10(2), 1-10.
- Lahti, M., Aphalo, P.J., Finer, L., Lehto, T., Leinonen, I., Mannerkoski, H. ve Ryyppö, A., 2002. Soil temperature, gas exchange and nitrogen status of 5-year-old Norway spruce seedlings. *Tree Physiology*, 22, 1311-1316.
- Lal, R., 1991. Tillage and agricultural sustainability. *Soil and Tillage Research*, 20, 133-140.

- Lal R, Mahboubi, A.A. ve Fausey, N.R., 1994. Long-term tillage and rotation effects on properties of a central Ohio soil. *Soil Science Society of America Journal*, 58, 517-522.
- Lal, R., Mokma, D. ve Lowery, B., 1999. Relation between soil quality and erosion, In: Lal, R. (ed.). *Soil Quality and Soil Erosion*. Soil and Water Conservation Society and CRC Press, Boca Raton. pp. 39-56.
- Lal, R., 2009, Soils and Food Sufficiency: A Review, In: *Sustainable Agriculture*, Eds: Lichtfouse, E., Navarrete, M., Debaeke, P., Véronique, S. ve Alberola, C., Dordrecht: Springer Netherlands, p. 25-49.
- Langmaack, M., 1999. Earthworm communities in arable land influenced by tillage, compaction, and soil. *Z. Ökol. Natursch*, 8, 11-21.
- Larson, W.E. ve Pierce, F.J., 1994. The dynamics of soil quality as a measure to sustainable management. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Special Publication No. 35, Madison, WI, USA, pp. 37-51.
- Leifheit, E.F., Veresoglou, S.D., Lehmann, A., Morris, E.K. ve Rillig, M.C., 2014. Multiple factors influence the role of arbuscular mycorrhizal fungi in soil aggregation - a meta-analysis. *Plant and Soil*, 374(1), 523-537.
- Lhotsky, J., Vachal, J. ve Ehrlich, J., 1984. Soustava Opatrenik Zurodnovani Zhutnelych Pud. Metodika Pro Zavadeni Vysledku Vyzkumu Do Zemedelske Praxec 14-38 s. in: Badalikova, B., 2010. Chapter 2. Influence of Soil Tillage on Soil Compaction. *Soil Engineering*. Deduosis, A.P., Bartzanas, T. (Eds). P:19-30.
- Li, R., Hou, X., Jia, Z., Han, Q., Ren, X. ve Yang, B., 2013. Effects on soil temperature, moisture, and corn yield of cultivation with ridge and furrow mulching in the rainfed area of the Loess Plateau, China. *Agricultural Water Management*, 116, 101-109.
- Lichter, K., Govaerts, B., Six, J., Sayre, K.D., Deckers, J. ve Dendooven, L., 2008. Aggregation and C and N contents of soil organic matter fractions in the permanent raised-bed planting system in the Highlands of Central Mexico. *Plant Soil*, 305, 237-252.
- Lima, C.L.R., Dupont, P.B., Pillon, C.N. ve Miola, E.C.C., 2020. Least limiting water range, S-index and compressibility of a Udalf under different management system. *Scientia Agricola*, 77(1), e20170224.
- Lipiec, J., Szustak, A. ve Tarkiewicz, S., 1992. Soil compaction responses of soil physical properties and crop growth. *Zeszyty Problemowe Postepow Nauk Rolniczych*, 398, 113-117.
- Lipiec, J. ve Håkansson, I., 2000. Influences of degree of compactness and matric water tension on some important plant growth factors. *Soil and Tillage Research*, 53, 87-94.
- Lipiec, J., Ferrero, A., Giovanetti, V., Nosalewicz, A. ve Turski, M., 2002. Response of structure to simulated trampling of woodland soil. *Advances in Geocology*, 35, 133-140.
- Liu, Z., Cao, S., Sun, Z., Wang, H., Qu, S., Lei, N., He, J. ve Dong, Q., 2021. Tillage effects on soil properties and crop yield after land reclamation. *Scientific Reports*, 11, 4611.
- Lutz, J.F., 1952. Soil physical conditions and plant growth. *Agron. Mono.* 2

- Madari, B., Machado, P.L.O.A., Torres, E., Andrade, A.G. ve Valencia, L.I.O., 2005. No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, 80, 185-200.
- Magalhães, W.A., Freddi, O.S., Wruck, F.J., Petter, F.A. ve Tavanti, R.F.R., 2018. soil water retention curve and S index as soil physical quality indicators for integrated production systems. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, 38(1), 64-73.
- Marakoğlu, T. ve Çarman, K., 2008. Buğday üretiminde azaltılmış toprak işleme ve direk ekim uygulamaları. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(46), 73-76.
- Marakoğlu, T., Çarman, K. ve Gür, K., 2016. Alternatif toprak işleme uygulamalarının rüzgar erozyonuna etkisi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33 (3), 69-79.
- McGarry, D., Bridge, B.J. ve Radford, B.J., 2000. Contrasting soil physical properties after zero and traditional tillage of an alluvial soil in the semi-arid subtropics. *Soil and Tillage Research*, 53, 105-115.
- McVay, K.A., 2006. Soil physical conditions in conservation tillage systems. Kansas State Univ.-Research and Extensions. , In: www.agecon.okstate.edu/isct/labranza/mcvay/soilphys.doc.
- Medvedev, V.V. ve Cybulko, W.G., 1995. Soil criteria for assessing the maximum permissible ground pressure of agricultural vehicles on Chernozem soils. *Soil and Tillage Research*, 36, 153-164.
- MGM, 2022. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü Verileri.
- MGM, 2024. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü Verileri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=TOKAT>
- Moraes, M.H., Gomar, P.E., Benez, S.H. ve Barilli, J. 2002. Effects of long-term management systems on soil quality. 12th International Soil Conservation Organization (ISCO) Conference, Volume II, 187-192, May 26-31, 2002, Beijing.
- Moreno, M.M., Moreno, A. ve Mancebo, I., 2009. Comparison of diferent mulch materials in a tomato (*Solanum lycopersicum* L.) crop. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7(2), 454-464.
- Moret, D. ve Arrue, J.L., 2007. Dynamics of soil hydraulic properties during fallow as affected by tillage. *Soil and Tillage Research*, 96, 103-113.
- Mualem, Y., 1976, A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media, *Water Resources Research*, 12, 513-522.
- Munkholm, L.J., Heck, R.J. ve Deen, B., 2013. Long-term rotation and tillage effects on soil structure and crop yield. *Soil and Tillage Research*, 127, 85-91.
- Munsuz, N., 1985. Toprak Mekaniği ve Teknolojisi. Ankara Üni. Ziraat Fak. Yayınları: 922 Ders Kitabı: 260, Ankara.
- Müjdeci, M., Kara, B. ve Işıldar, A.A., 2010. The Effects of Different Soil Tillage Methods on Soil Water Dynamic. *Scientific Research and Essays*, 5(21), 3345-3350.
- Naderi-Boldaji, M. ve Keller, T., 2016. Degree of soil compactness is highly correlated with the soil physical quality index S. *Soil and Tillage Research*, 159, 41-46.
- Nangju, D., Wien, H.C. ve Singh, T.P., 1975. Some factors affecting soybean viability and emergence in the lowland tropics. *Proc. Soybean Research Conference*, Urbana, 3-8 August 1975.

- 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. 2nd Edition. Agronomy no:9. 539-579, 1159 p, Madison, Wisconsin, USA.
- Oğuz, İ., 1993. Köy Hizmetleri Tokat Araştırma Enstitüsü Arazisinin Toprak, Etüt Haritalaması ve Sınıflandırılması, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Tokat.
- Okursoy, R., 1992. Applications of Singularity Functions for Designing Farm Machinery Shafts. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 9, 63-68.
- Önal, İ., 1995. Ekim Bakım ve Gübreleme Makinaları. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 490, s.52-65, İzmir.
- Önal, İ., 2006. Ekim-Bakım-Gübreleme Makinaları. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı, Yayın No: 490, İzmir.
- Özbek, H, Kaya, Z., Gök, M. ve Kaptan, H. 1999. Toprak Bilimi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitapları Yayınları, 73: A-16, 574-575, Adana
- Özdemir, N., Öztürk, E., Kop Durmuş, Ö.T. ve Ekberli, İ. 2015. Effects of organic and inorganic amendments on soil erodibility. Eurasian Journal of Soil Science, 4(4), 266-271.
- Özgöz, E., Önen, H. ve Günel, H., 2010. Geçit iklim kuşağında ikinci ürün silajlık mısır tarımında gerekli termal zamanın uzatılmasına yönelik olarak farklı toprak işleme yöntemlerinin karşılaştırılması. TÜBİTAK Projesi Sonuç Raporu, Proje No: TOVAG 107O124, s: 153.
- Özgöz, E., Altuntaş, E. ve Kasap, A., 2020. Tokat-Kazova’da mısır yetiştiriciliğinde ekim kalitesinin değerlendirilmesinde istatistiksel proses kontrol yaklaşımı. Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(12), 2664-2676.
- Öztaş, T., 2002 Assessment of Soil Quality. In: International Conference on Sustainable Land Use and Management, 10-13 June 2002, Çanakkale, 484-485.
- Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R., Baker, D., Ellis, R. ve Rhoades, J., 1982, Methods of soil analysis. eds, 631.41 MET 9-2 1982. CIMMYT.
- Pagliai, M., Vignozzi, N. ve Pellegrini, S., 2004. Soil structure and the effect of management practices. Soil and Tillage Research, 79, 131-143.
- Panayiotopoulos, K.P., Papadopoulou, C.P. ve Hatjioannidou, A., 1994. Compaction and penetration resistance of an Alfisol and Entisol and their influence on root growth of maize seedlings. Soil and Tillage Research, 31, 323-337.
- Parish, R.L., Bergeron, P.E. ve Bracy, R.P., 1991. Comparison of vacuum and belt seeders for vegetable planting. Applied Engineering in Agriculture, 7(5), 537- 540.
- Pierce, F.J., Larson, W.E., Dowdy, R.H. ve Graham, W.A.P., 1983. Productivity of soils: Assessing long-term changes due to erosion. Journal of Soil and Water Conservation, 38(1), 39-44.
- Pierce, F.J. ve Larson, W.E., 1993. Developing criteria to evaluate sustainable land management. p. 7-14. In: J. M. Kimble (ed), Proceedings of the Eighth International Soil Management Workshop: Utilization of Soil survey Information for Sustainable Land Use, May 3, 1993. USDA Soil Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- Puhe, J., 2003. Growth and development of the root system of Norway spruce (picea abies) in forest stands—a review. Forest Ecology and Management, 175(1-3), 253-273.

- Ram, H., Singh, Y.S., Timsina, J. ve Humphreys, E., 2012. Agronomic and economic evaluation of permanent raised beds, no tillage and straw mulching for an irrigated corn-wheat system in northwest India. *Experimental Agriculture*, 48(1), 21-38.
- Rasmussen, P.E., Albrecht, S.L. ve Smiley, R.W., 1998. Soil C and N changes under tillage and cropping systems in semi-arid Pacific Northwest agriculture. *Soil Tillage and Research*, 47, 197-205.
- Rasse, D.P., Smucker, A.J.M. ve Santos, D., 2000. alfalfa root and shoot mulching effects on soil hydraulic properties and aggregation. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 725-731.
- Repo, T.I., Leinonen, A.R. ve Finer, L., 2004. The effect of soil temperature on bud phenology, chlorophyll fluorescence, carbohydrate content and cold hardiness of Norway spruce seedlings. *Physio Plant*, 121, 93-100.
- Resck, D.V.S., Vasconcellos, C.A., Vilela, L. ve Macedo, M.C.M., 1999. Impact of conversion of Brazilian Cerrados to cropland and pasture land on soil carbon pool and dynamics. In: Lal, R., Kimble, J.M., Stewart, B.A. (Eds.), *Global Climate Change and Tropical Ecosystems*. Adv. Soil Sci. CRC Press, Boca Raton, FL, (1999). Pp: 169-196.
- Reynolds, W.D., Bowman, B.T., Drury, C.F., Tan, C.S. ve Lu, X., 2002. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma*, 110, 131-146.
- Reynolds, W.D., Drury, C.F., Yang, X.M., Fox, C.A., Tan, C.S. ve Zhang, T.Q., 2007. Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam soil. *Soil and Tillage Research*, 96, 316-330.
- Reynolds, W.D., Drury, C.F., Yang, X.M., Tan, C.S., 2008. Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. *Geoderma*, 146, 466-474.
- Reynolds, W.D., Drury, C.F., Tan, C.S., Fox, C.A. ve Yang, X.M., 2009. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. *Geoderma*, 152, 252-263.
- Richards, L.A., 1954. Tuzlu ve Sodyumlu Toprakları Teşhis ve Islahları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 220, Yardımcı Ders Kitabı: 73, Çeviri Necmi Sönmez, Mustafa Ayyıldız, 1964, Ankara.
- Romig, D.E., Garlynd, M.J., Haris, R.F. ve McSweeney, K., 1995. How farmers assess soil health and quality. *Journal of Soil and Water Conservation*, 50, 229-236.
- Romkens, M.J.M. ve Wang, J.Y., 1986. Effect of tillage on surface roughness. *Transactions of ASAE*, 29(2), 429-433.
- Rosa, D.D.L. ve Sobral, R., 2008. Soil quality and methods for its assessment. In *Land use and soil resources* (pp. 167-200). Springer, Dordrecht.
- Sa, J.C.M., Tivet, F., Lal, R., Briedis, C., Hartman, D.C., dos Santos, J.Z. ve dos Santos, J.B. 2014. Long-term tillage systems impact on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. *Soil and Tillage Research*, 136, 38-50.
- Schipper, L.A. ve Sparling, G.P., 2000. Performance of soil condition indicators across taxonomic groups and land uses. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 300-311.
- Scott, D.H., Jardine, D.J., McMullen, M.P. ve Palm E.W., 1992. Disease management. p.75-82. In *Conservation tillage systems and management: crop residue*

- management with no-till, ridge-till, mulch-till. 1st ed. MWPS-45. MidWest Plan Service. Ames, Iowa.
- Seybold, C.A., Mausbach, M.J., Karlen, D.L. ve Rogers, H.H., 1998. Quantification of soil quality. Soil processes and the carbon cycle. CRC Press, Boca Raton, FL. Quantification of soil quality, 387-404.
- Shukla, M.K., Lal, R. ve Ebinger, M., 2003. Tillage effects on physical and hydrological properties of a Typic Agriaquoll in central Ohio. Soil Science, 168(11), 802-811.
- Silva, G.L., Lima, H.V., Campanha, M.M., Gilkes, R.J. ve Oliveria, T.S., 2011. Soil physical quality of Luvisols under agroforestry, natural vegetation and conventional crop management systems in the Brazilian semi-arid region. Geoderma, 167-168, 61-70.
- Singh, R.C., Singh, G. ve Saraswat, D.C., 2005. Optimizing of design and operational parameters of pneumatic seed metering device for planting cottonseeds. Biosystem Engineering, 92 (4), 429 – 438.
- Six, J., Elliot, E.T. ve Paustian, K., 2000. Soil structure and soil organic matter: a normalized stability index and the effect of mineralogy. Soil Science Society of America Journal, 64, 1042-1049.
- So, H.B., Grabski, A. ve Desborough, P., 2009. The impact of 14 years of conventional and no-till cultivation on the physical properties and crop yields of a loam silt at Grafton NSW, Australia. Soil and Tillage Research, 104(1), 180-184.
- Soane, B.D., Dickson, J.W. ve Campbell, D.J., 1982. Compaction by agricultural vehicles: a review. III. Incidence and control of compaction in crop production. Soil and Tillage Research, 2, 3-36.
- Soane, B.D. ve Van Ouwerkerk, C. (Eds.), 1994. Soil Compaction in Crop Production, Developments in Agricultural Engineering Series, vol. 11. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands, pp. 662.
- SPSS, 2017. "SPSS for Windows". Student Version. Release 10.0.9 SPSS Inc IL USA.
- SSSA, (Soil Science Society of America), 1997. Glossary of soil science terms. SSSA, Madison, WI.
- Stefanoski, D.C., Santos, G.G., Marchão, R.L., Petter, F.A. ve Pacheco, L.P., 2013. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 17, 1301-1309.
- Stipešević, B., Brozović, B., Jug, D., Jug, I., Vukadinović, V. ve Đurđević, B., 2019. Effects of tillage method and fertilizer type on the yield of Sudan grass (*Sorghum bicolor* L.). Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 43, 378-387.
- Şeker, C., 1999. Penetrasyon Direnci ile Bazı Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler, Turkish J. of Agriculture and Forestry, 23(Ek Sayı 3), 583-588.
- Tangyuan, N., Bin, H., Nianyuan, J., Shenzhong, T. ve Zengjia, L., 2009. Effects of conservation tillage on soil porosity in maize–wheat cropping system. Plant Soil Environ., 55, 327-333.
- Tapela, M., 2001. Tillage effects on seedbed physical properties. PhD Thesis. Iowa State University, Ames, Iowa.
- Tapela, M. ve Colvin, T.S., 2002. Quantifying seedbed condition using soil physical properties. Soil and Tillage Research, 64, 203-210.
- Tekin, Y. ve Okursoy, R., 2001. Development a Hydraulic Driven Soil Penetrometer for Measuring Soil Compaction in Field Conditions. International Conference on Sustainable Soil Management for Environmental Protection-Soil Physical aspects, 2-7 July, Frieze, Italy.

- Tisdall, J.M. ve Oades, J.M., 1980. The effect of crop rotation on aggregation in a red-brown earth. *Aust. J. Soil Res.*, 18, 423-433.
- Tisdall, J.M. ve Oades, J.M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *European Journal of Soil Science*, 33, 141-163.
- Topp, G.C., Reynolds, W.D., Cook, F.J., Kirby, J.M. ve Carter, M.R., 1997. Physical attributes of soil quality. In: Gregorich, E.G., Carter, M.R. (Eds.), *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health*. In: *Developments in Soil Science*, vol. 25. Elsevier, New York, NY, pp. 21-58.
- Tormena, C.A., da Silva, A.P., Imhoff, S.D.C. ve Dexter, A.R., 2008. Quantification of the soil physical quality of a tropical oxisol using the S index. *Sci. Agric. Piracicaba, Braz.*, 65, 56-60.
- Toselli, M., Flore, J.A., Marogoni, B. ve Masia, A., 1999. Effects of root-zone temperature on nitrogen accumulation by non-breeding apple trees. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 74, 118-124.
- Tullberg, J.N., 1990. Hunter, M.N., Paull, C.J., Smith, G.D. (Eds.), *Proceedings of Queensland Department of Primary Industries Soil Compaction Workshop*. Toowoomba, Australia, Why control field traffic 28, 13-25.
- United Nations (UN), 2012. Report of the United Nations Conference on Sustainable Development, Rio de Janeiro, Brazil, 20-22 June 2012, New York.
- Ülger, P., Güzel, E., Kayışoğlu, B., Eker, B., Akdemir, B., Pınar, Y., Bayhan, Y. ve Sağlam C., 2002. Tarım Makinaları İlkeleri. T.Ü. Ziraat Fakültesi Ders Kitabı, No: 29. Fakülteler Matbaası, 2. Baskı İstanbul. 435 s.
- Van Bavel, C.H.M., 1950. Mean-weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. *Soil Science Society of America, Proceedings*, 14, 20-23.
- van Genuchten, M.T., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, *Soil Science Society of America Journal*, 44, 892-898.
- Vepraskas, M.J. ve Waggar, M.G., 1989. Cone index values diagnostics of where subsoiling can increase corn root growth. *Soil Science Society of America Journal*, 53, 1499-1505.
- Vizitu, O., Czyz, E. ve Dexter, A., 2010. *Soil Physical Quality-Theory and Applications for Arable Soils*. Editura SITECH, Craiova, ISBN: 978-606-11-0844-2.
- Wallace, A. ve Terry, R.E., 1998. Soil conditioners, soil quality and soil sustainability. In: Wallace, A., Terry, R.E. (Eds.), *Handbook of Soil Conditioners*. Marcel Dekker, New York, NY, pp. 1 – 41.
- Wang, Y.Q. ve Shao, M.A., 2013. Spatial variability of soil physical properties in a region of the Loess Plateau of PR China subject to wind and water erosion. *Land Degrad. Dev.* 24, 296-304.
- Wanink, F., Alblas, J., Werf, H.M.G. van der, Akker J. van den, 1990. Forage maize yields are affected by traffic. *Landbouwmecanisatie*, 41, 28-29.
- Webster, R., 2001. Statistics to Support Soil Research and Their Presentation. *European Journal of Soil Science*, 52, 331-340.
- Weih, M. ve Karlsson, P.S., 1999. The nitrogen economy of mountain birch seedlings: implication for winter survival. *Journal of Ecology*, 87, 211-219.
- Wereszczaka, J., Niedzwiecki, J., Golebiowski, B. ve Puzynski, S., 2009. The Effect of 15 years of direct drilling Application: Part I – S Index and Carbon Sequestration. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science)*, 5(3), 247-252.

- Wild, A., 1993. *Soils and the Environment: An Introduction*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Worster, D., 2004. *Dust Bowl: The Southern Plains in the 1930s*, 25th Anniversary ed. Oxford University Press, New York.
- Xu, D. ve Mermoud, A., 2001. Topsoil properties as affected by tillage practices in North China. *Soil and Tillage Research*, 60, 11-19.
- Yalcin, H. ve Cakir, E., 2006. Tillage effects and energy efficiencies of subsoiling and direct seeding in light soil on yield of second crop corn for silage in Western Turkey. *Soil and Tillage Research*, 90, 250-255.
- Yalçın, H., Demir, V., Yürdem, H. ve Sungur, N., 1997. Buğday tarımında azaltılmış toprak işleme yöntemlerinin karşılaştırılması üzerine bir araştırma. *Tarımsal Mekanizasyon 17. Ulusal Kongresi, Bildiriler Kitabı*, Tokat, 1, 415-423.
- Yazgı, A., Yalçın, H., Aykas, E. ve Tozan M. 2017. Baltalı ve diskli gömücü ayağa sahip tek dane ekim makinalarının sırta ekim performanslarının karşılaştırılması. *Tarım Bilimleri Dergisi (Journal of Agricultural Science)*, 23, 195-207.
- Yılmaz, E., Alagöz, Z. ve Öktüren, F., 2005. Toprakta agregat oluşumu ve stabilitesi. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(36), 78-86.
- Yimam, Y.T., 2014, *Two-way interactions between bioenergy cropping systems and water resources*, Oklahoma State University.
- Zeren, Y., Işık, A. ve Özgüven, Ö.F., 1993. Gap Bölgesinde İkinci Ürün Tane Mısır Yetiştirilmede Farklı Toprak İşleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *5. Uluslararası Mekanizasyon ve Enerji Kongresi*, İzmir, 43-54.

7. ÖZGEÇMİŞ

