



**DOĞRUDAN EKİM MAKİNALARINDA FARKLI
DİSKLİ TİP GÖMÜCÜ AYAKLARIN ÇİZİ
PROFİLİ VE ÇEKİ KUVVETİ YÖNÜNDEN
KARŞILAŞTIRILMASI**

Yusuf AYDIN

**Yüksek Lisans Tezi
Tarım Makinaları Anabilim Dalı
Prof. Dr. Ahmet ÇELİK
2017
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DOĞRUDAN EKİM MAKİNALARINDA FARKLI DİSKLİ TİP
GÖMÜCÜ AYAKLARIN ÇİZİ PROFİLİ VE ÇEKİ KUVVETİ
YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI**

Yusuf AYDIN

TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2017**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

**DOĞRUDAN EKİM MAKİNALARINDA FARKLI DİSKLİ TİP GÖMÜCÜ
AYAKLARIN ÇİZİ PROFİLİ VE ÇEKİ KUVVETİ YÖNÜNDEN
KARŞILAŞTIRILMASI**

Prof. Dr. Ahmet ÇELİK danışmanlığında, Yusuf AYDIN tarafından hazırlanan bu çalışma ~~25/12/2017~~ tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Tarım Makinaları Anabilim Dalı Yüksek Lisans tezi olarak ~~oybirliği/oy çokluğu~~ (.../...) ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Yücel ERKMEN

İmza:

Üye: Prof. Dr. Ahmet ÇELİK

İmza:

Üye: Doç. Dr. Sefa ALTIKAT

İmza:

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu ~~28~~.../12.../2017. tarih ve . ~~51~~ . / . . 14 nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Cavit KAZAZ
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, Şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DOĞRUDAN EKİM MAKİNALARINDA FARKLI DİSKLİ TİP GÖMÜCÜ AYAKLARIN ÇİZİ PROFİLİ VE ÇEKİ KUVVETİ YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI

Yusuf AYDIN

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım Makinaları Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet ÇELİK

Toprak kanalı koşullarında yürütülen bu araştırmada, doğrudan hububat ekim makinalarında yaygın olarak kullanılan, tek diskli tip beş farklı gömücü ayağın, farklı toprak nem düzeyleri, toprak sıkışma seviyeleri ve iş derinliklerinde bazı toprak fiziksel özelliklerine, çizi özelliklerine ve disklere etki eden kuvvetlere olan etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Faktör olarak; beş farklı tip disk (dalgalı, düz, kertikli, konkav, yivli), iki farklı toprak nem düzeyi (%12, %18), iki farklı sıkışma seviyesi (2 MPa, 3MPa) ve iki farklı iş derinliğinin (50 mm, 75 mm) dikkate alındığı araştırma, bölünen bölünmüş parseller deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür.

Elde edilen sonuçlara göre; gömücü ayaklara etki eden düşey kuvvetler yönünden düz tip diskte en düşük, konkav tip diskte ise en yüksek düşey kuvvet tespit edilmiştir. Çeki kuvvetinde, en yüksek değer dalgalı tip diskte meydana gelirken, en düşük çeki kuvveti değeri kertikli tip diskte tespit edilmiştir. Disklere etki eden yan kuvvetlere bakıldığında ise kertikli tip diskte minimum yan kuvvet meydana gelirken, konkav tip diskte en yüksek yan kuvvet değeri ortaya çıkmıştır. Gömücü ayak geçişinden sonra çizi tabanından yapılan penetrasyon direnci ölçümlerinde; en fazla sıkışmaya 0-5 cm derinlikte yivli tip disk, 5-10 cm derinlikte kertikli tip disk ve 10-15 cm derinlikte ise konkav tip disk meydana getirmiştir. Çizi kenarından yapılan penetrasyon direnci ölçümlerinde ise 0-5 cm ölçüm derinliğinde kertikli tip disk, 5-10 cm derinlikte düz ve dalgalı tip diskler ve 10-15 cm derinlikte düz tip disk en düşük sıkışma değerine yol açmıştır. Hem çizi tabanından hem de çizi kenarından elde edilen sonuçlarda, bitki gelişimini engellemeyecek, ortalama 2 MPa altında sıkışma değerleri elde edilmiştir.

Çalışmada, düşey, yatay ve yan kuvvet gereksiniminin gevşek ve az nemli topraklarda daha az, sıkışmış ve nemli topraklarda daha fazla olduğu belirlenmiştir. Açılan çizi profilleri her ne kadar birbirine benzer olsa da batma derinliğinin 75 mm olduğu koşullarda çizi profilinin daha belirgin olduğu görülmektedir. Her bir gömücü ayağın %18 nem içeriği ve 3 MPa sıkışma seviyesinde açmış olduğu çizi profilleri, %12 nem ve 2 MPa sıkışma seviyesindeki profillere göre daha temiz ve istenilene yakın olduğu tespit edilmiştir.

2017, 63 sayfa

Anahtar Kelimeler: Doğrudan ekim, tek diskli tip gömücü ayak, toprak nem içeriği, toprak sıkışması, toprak kanalı

ABSTRACT

Master Thesis

COMPARISON OF DIFFERENT SINGLE DISC TYPE FURROW OPENERS IN NO-TILL SEEDERS WITH RESPECT TO FURROW PROFILE AND DRAFT FORCE

Yusuf AYDIN

Ataturk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Agricultural Machinery

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet ÇELİK

This study was established to determine power consumption, soil physical parameters and furrow profile of different single disc type furrow openers in different soil moisture content, soil compaction level and working depth levels. The study was conducted in soil bin conditions located in the Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering of Agricultural Faculty of Ataturk University, Erzurum, Turkey.

Five different types of disc coulters (plain, grooved, waved, concave and serrated), two soil moisture contents (12%, 18%), two soil compaction levels (2 MPa, 3 MPa) and two working depths (50 mm, 75 mm) was taken into consideration as factors. The experiment was conducted in a split-split plot design with moisture content as main factor and soil compaction as sub factor with three replications.

According to the results obtained; the lowest vertical force was detected on the flat type disk and the highest vertical force was detected on the concave type disk. The highest draft force was found on the wavy type disc, while the lowest value was found on the serrated type disc. When the side forces acting on the openers were examined, the minimum side force was found on the grooved type disc and the highest side force value appeared on the concave type disc. The highest penetration resistance measurements made from the bottom of the furrows after passing the openers was found with grooved type disc at 0-5 cm depth, a serrated type disc at 5-10 cm depth, and a concave type disc at 10-15 cm depth. The lowest penetration resistance measurements made from the edge of the furrows was obtained at 0-5 cm depth with serrated disc, at 5-10 cm depth with flat and wavy type discs and at 10-15 cm depth with flat type disc. Soil compaction results from both the bottom and the edge of furrows were found below 2 MPa which will not prevent plant growth.

In the study, it was determined that the requirement for vertical, horizontal and side forces was less in loose and wet soils compared to the compacted and dry soil conditions. It has been identified that the furrow profile is more prominent when the depth of penetration was 75 mm, even though the furrow profiles were similar to each other. The furrow profiles, which were opened at 18% soil moisture content and 3 MPa compaction level were cleaner and closer to the target profile than the one obtained at 12% moisture content and 2 MPa compaction level.

2017, 63 pages

Keywords: Direct seeding, single disc type furrow opener, soil moisture content, soil compaction, soil bin.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim süresince göstermiş oldukları destek ve katkılarından dolayı Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümüne teşekkür ederim.

Çalışmamı sağlayan, temel bilgileri edinmemde büyük emeği geçen ve çalışma disiplini bana kazandırdığı için danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet ÇELİK'e içtenlikle teşekkür ederim.

Denemelerin yürütülmesindeki katkı ve yardımlarından dolayı Sayın Arş. Gör. Dr. Mehmet Zahid MALASLI'ya teşekkür ederim.

Tüm eğitim-öğretim yaşamım süresince bana gösterdikleri sevgi, anlayış ve her türlü destekleri ile beni bugünlere getiren aileme teşekkür ederim.

Yusuf AYDIN

Aralık, 2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	17
3.1. Materyal.....	17
3.1.1. Toprak kanalı arabası	17
3.1.2. Tek diskli tip gömücü ayaklar	18
3.1.3. Kanal toprağının hazırlanması ve bu amaçla kullanılan ekipmanlar	19
3.2. Yöntem	22
3.2.1. Denemelerin düzenlenmesi ve yürütülmesi	22
3.2.2. Kanal toprağının hazırlanması.....	22
3.2.3. Toprak hacim ağırlığı, nem içeriği ve porozitenin belirlenmesi	24
3.2.4. Toprak penetrasyon direncinin belirlenmesi	26
3.2.5. Çizi özelliğinin belirlenmesi	26
3.2.5.a. Çizi derinliğinin belirlenmesi	26
3.2.5.b. Çizi profilinin belirlenmesi	27
3.2.6. Düşey (kesme), yatay (çeki) ve yan kuvvetlerin belirlenmesi	27
3.2.7. Makina ilerleme hızı kontrolü	29
3.2.8. Yük hücreleri ve hız sensöründen elde edilen verilerin bilgisayara aktarılması	29
3.2.9. İstatistiksel analiz	30
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	31
4.1. Toprak Fiziksel Özelliklerine İlişkin Sonuçlar	31
4.1.1. Toprak nem içeriği	31

4.1.2. Toprak hacim ağırlığı	32
4.1.3. Toprak penetrasyon direnci	32
4.2. Çeki, Düşey ve Yan Kuvvetler ile İlgili Sonuçlar	34
4.3. Gömücü Ayak Geçişinden Sonra Penetrasyon Direnci İle İlgili Sonuçlar	38
4.3.1. Çizi tabanı penetrasyon direnci	38
4.3.2. Çizi kenarı penetrasyon direnci	40
4.4. Çizi Profili İle İlgili Sonuçlar	42
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	55
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ	64

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

da	Dekar
g	Gram
h	Saat
ha	Hektar
K	Toprak tane yoğunluğu
kg	Kilo gram
kN	Kilo newton
kPa	Kilo paskal
kW	Kilo watt
MPa	Mega paskal
N	Newton
°	Derece
°C	Celcius
P	Önem seviyesi
s	Saniye
t	Ton
W	Toprağın kuru ağırlık esasına göre nem içeriği
W_k	Örnek toprağının fırın kuru ağırlığı
W_y	Örnek toprağının yaş ağırlığı
λ	Hız aktarma oranı

Kısaltmalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
HA	Hacim ağırlığı
k.a.	Kuru ağırlık
PO	Porozite
SD	Serbestlik derecesi
TDR	Time domain reflektometry



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Toprak kanalı ve kanal arabası	18
Şekil 3.2. Denemelerde kullanılan diskli tip gömücü ayaklar	19
Şekil 3.3. Toprağın nemlendirilmesi için kullanılan pülverizatör ve püskürtme memeleri	19
Şekil 3.4. Toprak işlemede kullanılan motorlu freze	20
Şekil 3.5. Tesviye bıçağı	20
Şekil 3.6. Toprak sıkıştırmada kullanılan merdaneler	21
Şekil 3.7. TDR 300 toprak nemi ölçme cihazı	23
Şekil 3.8. Parsellere ayrılan toprak kanalı	24
Şekil 3.9. Toprak örneği alma seti	25
Şekil 3.10. Toprak penetrometresi	26
Şekil 3.11. Çizi profilini belirlemek amacıyla kullanılan profilograf	27
Şekil 3.12. Tek diskli tip bir gömücü ayak üzerine etki eden kuvvetler	28
Şekil 3.13. Düşey (y), yatay (z) ve yan (x) kuvvetlerin ölçümünde kullanılan S tipi yük hücreleri	28
Şekil 3.14. İlerleme hızının belirlenmesinde kullanılan hız sensörü	29
Şekil 3.15. Campbell CR1000 model dataloger	30
Şekil 4.1. Toprak nem içeriği ve sıkışma düzeyine bağlı olarak düşey kuvvetin değişimi	37
Şekil 4.2. Toprak nem içeriği ve sıkışma derecesine bağlı olarak çeki kuvveti değişimi	37
Şekil 4.3. Konkav tip diskli gömücü ayağın %12 nem ve 2 MPa toprak sıkışması koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizi profili.	43
Şekil 4.4. Kertikli tip diskli gömücü ayağın %12 nem ve 2 MPa toprak sıkışması koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizi profili.	43
Şekil 4.5. Dalgalı tip diskli gömücü ayağın %12 nem ve 2 MPa toprak sıkışması koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizi profili.	44
Şekil 4.6. Yivli tip diskli gömücü ayağın %12 nem ve 2 MPa toprak sıkışması koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizi profili.	44

Şekil 4.7. Düz tip diskli gömücü ayağın %12 nem ve 2 MPa toprak sıkışması	
koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizgi profili.	45
Şekil 4.8. Konkav tip diskli gömücü ayağın %12 nem ve 3 MPa toprak sıkışması	
koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizgi profili.	46
Şekil 4.9. Kertikli tip diskli gömücü ayağın %12 nem ve 3 MPa toprak sıkışması	
koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizgi profili.	46
Şekil 4.10. Dalgalı tip diskli gömücü ayağın %12 nem ve 3 MPa toprak sıkışması	
koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizgi profili.	47
Şekil 4.11. Yivli tip diskli gömücü ayağın %12 nem ve 3 MPa toprak sıkışması	
koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizgi profili.	47
Şekil 4.12. Düz tip diskli gömücü ayağın %12 nem ve 3 MPa toprak sıkışması	
koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizgi profili.	48
Şekil 4.13. Konkav tip diskli gömücü ayağın %18 nem ve 2 MPa toprak sıkışması	
koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizgi profili.	49
Şekil 4.14. Kertikli tip diskli gömücü ayağın %18 nem ve 2 MPa toprak sıkışması	
koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizgi profili.	49
Şekil 4.15. Dalgalı tip diskli gömücü ayağın %18 nem ve 2 MPa toprak sıkışması	
koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizgi profili.	50
Şekil 4.16. Yivli tip diskli gömücü ayağın %18 nem ve 2 MPa toprak sıkışması	
koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizgi profili.	50
Şekil 4.17. Düz tip diskli gömücü ayağın %18 nem ve 2 MPa toprak sıkışması	
koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizgi profili.	51
Şekil 4.18. Konkav tip diskli gömücü ayağın %18 nem ve 3 MPa toprak sıkışması	
koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizgi profili.	52
Şekil 4.19. Kertikli tip diskli gömücü ayağın %18 nem ve 3 MPa toprak sıkışması	
koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizgi profili.	52
Şekil 4.20. Dalgalı tip diskli gömücü ayağın %18 nem ve 3 MPa toprak sıkışması	
koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizgi profili.	53
Şekil 4.21. Yivli tip diskli gömücü ayağın %18 nem ve 3 MPa toprak sıkışması	
koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizgi profili.	53
Şekil 4.22. Düz tip diskli gömücü ayağın %18 nem ve 3 MPa toprak sıkışması	
koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizgi profili.	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Araştırmada dikkate alınan parametreler.....	22
Çizelge 4.1. Kanal toprağının 0-5 ve 5-10 cm derinliklerdeki nem içeriği (%).	32
Çizelge 4.2. 0-5 cm ve 5-10 cm derinlikteki toprak hacim ağırlığı değerleri (g/cm ³)....	33
Çizelge 4.3. Farklı ölçüm derinliklerinde toprak penetrasyon direnci değerleri (MPa) .	33
Çizelge 4.4. Çeki, düşey ve yan kuvvetlere ilişkin varyans analizi önemlilik (P) değerleri	34
Çizelge 4.6. Gömücü ayak geçişinden sonra çizi tabanı penetrasyon direnci varyans analizi önemlilik (P) değerleri.	38
Çizelge 4.7. Gömücü ayak geçişinden sonra çizi tabanı penetrasyon direnci (MPa) ortalama değerleri.	39
Çizelge 4.8. Gömücü ayak geçişinden sonra çizi kenarı penetrasyon direnci varyans analizi önemlilik (P) değerleri.	41
Çizelge 4.9. Gömücü ayak geçişinden sonra çizi kenarı penetrasyon direnci (MPa) ortalama değerleri	41

1. GİRİŞ

Dünya nüfusuna paralel olarak artış gösteren ekonomik üretim zorunluluğu, tüm dünya ülkelerinde olduğu gibi Türkiye’de de tarımsal üretimde uygulanan yöntemlerin gelişerek değişmesine neden olmaktadır. Bu kapsamda, tarımsal üretimde önemli bir maliyet oluşturan toprak işleme yöntemlerinde de üretim maliyetini en aza indiren ve toprak sağlığını korumaya yönelik yöntemler ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle, geleneksel toprak işleme yöntemlerinin yerine toprak işleme aletlerinin bir kısmının ya da tamamının devre dışı bırakıldığı koruyucu toprak işleme yöntemleri dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de hızla yaygınlaşmaktadır.

Koruyucu toprak işleme; enerji sarfiyatını en aza indirerek maliyetin azaltıldığı, toprağı ve toprak için faydalı su kapasitesini koruyabilmek adına tarla yüzeyinde en az %30 oranda bitki artığı bulunması istenilen bir sistemdir.

Koruyucu toprak işleme toprağın devrilerek işlenmesi yönündeki uygulamaları devre dışı bırakmakla beraber toprak işleme yoğunluğunu ve geçiş sayısını önemli ölçüde azaltmaktadır. Koruyucu toprak işleme yönteminde; şeritsel işleme, sırtvari işleme, azaltılmış işleme, malçlı işleme ve anıza doğrudan ekim gibi farklı yöntemler yer almaktadır.

Anıza doğrudan ekim yönteminde, tarla yüzeyinde bırakılan hasat sonrası bitki artıkları üzerine, toprak işleme yapılmadan, anızlı tarla koşullarında çalışabilen, doğrudan ekim makinaları ile ekim işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemle, toprak verimliliğini artırıcı etkisi bulunan toprak aktivitelerine katkısı, su ve toprak erozyonunu önlemesi ve toprak işleme maliyetini ortadan kaldırması gibi önemli birçok avantaja sahiptir. Son yıllarda ülkemizde de bu uygulamaya olan ilgi giderek artmakta ve geleneksel yöntemle alternatif hale gelmektedir.

Doğrudan ekim uygulamalarının başladığı ilk dönemde sadece belirli iklim koşullarında toprak için faydalı olacağı düşünülüyordu. İlerleyen zamanlarda bu uygulamalar oldukça farklı toprak tipi, iklim ve coğrafik koşullarda uygulanmaya başlamıştır. Günümüzde, nadasın yaygın olduğu kurak bölgelerde, nadasın yerine bölge koşullarına uygun münavebe seçimi ve doğrudan ekim yönteminin uygulanması ile topraktaki faydalı suyun daha iyi depolanacağı ve bu sayede de verimde artış sağlanacağı düşünülmektedir (Çelik 2016).

Doğrudan ekim yöntemi önemli avantajlara sahip olmasına rağmen Türkiye’de uygulama alanları yetersiz kalmaktadır. Bu yetersizliğin başlıca nedenleri arasında; doğrudan ekim ile ilgili yürütülen araştırmalardan elde edilen sonuçların uygulamaya aktarılmaması, bu uygulamanın tanıtım faaliyetlerinin yetersiz olması ve kullanılan ekim makinaları fiyatlarının yüksek oluşu sayılabilir. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı’nın %50 hibe desteği kapsamına alınarak desteklenen doğrudan ekim makinaları sayısı 2006 yılında 637 adet iken, 2016 yılında %100’ü aşan bir artışla 1292 adete ulaşmıştır. Doğrudan ekim makinası sayısında görülen artış, bu yöntemle olan ilginin giderek arttığını göstermektedir (Anonim 2017).

Doğrudan ekim uygulamasından maksimum seviyede yararlanabilmek için; iklim özellikleri, toprak koşulları, ekim zamanı, yabancı ot kontrolü, toprak yüzeyinde bulunan anız özellikleri ile birlikte doğrudan ekim makinalarında yaygın olarak kullanılan çok çeşitli gömücü ayaklar arasından en uygun olanının seçimi büyük önem taşımaktadır.

Doğrudan ekim makinalarında yaygın olarak kullanılan tek diskli tip gömücü ayaklar farklı anız ve toprak koşullarında çalışırken; anızı çizi içerisine gömmeden ve sürüklemekten kesmesi, toprak yüzeyinde yeterli miktarda anızı bırakması ve toprakta tohum için en uygun çiziye açarak, çimlenmeye uygun bir şekilde tohum yatağını hazırlaması gerekmektedir.

Bu alışma, hububat ekiminde yaygın olarak kullanılan anıza doğrudan ekim makinalarında farklı özelliklere sahip tek diskli tip gömücü ayakların farklı toprak nem içeriği ve toprak sıkışma seviyelerinde denenmesi amacıyla yürütülmüştür. Kontrollü toprak kanalı koşullarında yrtlen denemelerde önemli bazı toprak fiziksel özellikleri, elde edilen çizi profili özellikleri ve disklere etki eden farklı yönlerdeki kuvvetler yönünden en uygun gömücü ayak tipinin belirlenmesi amaçlanmıştır.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yoğun toprak işleme, hasat sonrası tarla yüzeyindeki bitki artıklarının işleme derinliğine gömülmesine, toprağın sıkışması ve tanecik yapısının bozulmasına, toprağın organik madde kaybetmesine ve zamanla rüzgâr ve su erozyonuna neden olmaktadır. Toprak sıkışması; toprak strüktürünün değişmesine, hacim ağırlığının artmasına, hidrolik iletkenliğinin değişmesine, ısı kapasitesi ve ısı iletiminin değişmesine neden olmakta ve sonuç olarak bitki gelişimine olumsuz yönde etki etmektedir.

Sürdürülebilir toprak işlemenin amacına uygun geliştirilen ekim makinaları toprak kullanım sürecinde etkisi bulunan olumsuzlukları minimuma indirirken yeni teknolojik gelişmeler sayesinde ekonomiklik ve enerji tasarrufunu artırmaktadır. Sürdürülebilir tarım teknolojileri kullanıldığında %20-49 arasında zamandan tasarruf sağlanırken, geleneksel yöntemlerle toprak işleme ve ekim işlemlerinde 1,36 h/ha daha fazla zaman harcanmaktadır (Sarauskis *et al.* 2009).

Öncelikle, doğal kaynakların dikkatli ve yerinde kullanımının önemi koruyucu toprak işleme yöntemlerini geleneksel toprak işleme yöntemlerine göre daha avantajlı bir konuma getirmektedir. Bu uygulamanın temelinde toprak doğasının korunması ve toprağın verimliliğini arttırıcı olayların etkinliğini arttırması yatmaktadır. Bununla toprağın organik madde ve nem içeriğini koruyan, erozyonu engelleyen ve daha az makine kullanımı gerektiren bir yöntem devreye girmiş olmaktadır (Çelik 1998).

Koruyucu toprak işleme; toprak nem kaybının yanında su ve rüzgâr erozyonunu önleyebilmek için ekimden sonra, toprağın yüzeyinin en az %30 oranda ön bitki artıklarıyla örtülmesini sağlayan bir yöntemdir (Anonymous 2013). Bir araştırmada, koruyucu toprak işleme uygulamalarının toprak erozyonunu geleneksel yönteme göre %50 oranda düşürdüğü ortaya çıkmıştır (Karayel 2009).

Koruyucu toprak işleminin kendi içerisinde farklı uygulamaları vardır. Bu uygulamalar; şeritler halinde toprak işleme, sırtvari (teras) işleme, malç işleme ve üzerinde en çok durulan, toprak işlemesiz tarım tekniği, doğrudan ekimdir. Doğal kaynakları korumaya yönelik olarak geliştirilen bu yöntemlerden doğrudan ekim gün geçtikçe ilgi odağı olmaktadır. Bu yöntemde, toprak işleme yapılmadan, doğrudan ekim makinası gömücü ayaklarının toprakta açmış olduğu çizilere tohumlar bırakılmak suretiyle ekim gerçekleştirilmektedir. Doğrudan ekim ile tarla geçiş sayısı azaltıldığı için ekim işleminde maliyetin düşürülmesinin yanında, toprağın yapısının bozulmasında da azalmalar olmaktadır (Tebrügge and Böhrnsen 2000; Chen *et al.* 2004; Linke 2006; Sarauskis *et al.* 2009). Toprak üst yüzeyinde önemli düzeyde organik madde birikimine sebep olan bu yöntemde, toprağa müdahale en az seviyede yapıldığından toprak mikroorganizma yoğunluğunda artış meydana gelmektedir. Bu yöntemde, toprak içi aktiviteler artacağı için bitki besin elementleri, bitkilerin daha kolay faydalanabileceği formlara girmesi kolaylaşmaktadır (Huang *et al.* 2008; Cookson *et al.* 2008).

Anıza doğrudan ekimde tohumlar, hasattan sonra herhangi bir toprak işleme yapılmadan, anızlı toprak koşullarında çalışabilen doğrudan ekim makinası gömücü ayaklarının açmış olduğu çizilere atılarak üzerleri toprak ve bitki artıklarıyla kapatılmakta ve özel baskı elemanları yardımıyla baskı işlemi uygulanmaktadır. Toprak, iklim koşulları, yabancı ot kontrolü ve makine performansı ekim başarısını etkilemektedir (Çelik 2009).

Başarılı bir doğrudan ekim işlemi için; ilk olarak anızlı tarla koşullarında kolaylıkla çalışabilecek ve bu amaçla tasarlanıp imal edilmiş özel bir ekim makinasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ekim makinalarının genellikle toprakla birbirlerini doğrudan etkiledikleri üniteleri ile ayırt edici özellikleri ortaya konulmuştur. Ekim işleminin her bir aşamasını yürüten bu üniteler, tarla yüzeyindeki anızı kesme, çizi açan gömücü ayaklar ve tohum ile toprak temasını sağlayacak baskı ünitelerinden meydana gelmektedir. İstenilen performansın elde edilebilmesi için bu ünitelerin birbirini takip edecek şekilde sıralanması gerekmekte ve amaca göre farklı kombinasyonlar ortaya çıkmaktadır (Thompkins 1985; Morrison and Allen 1987; Çelik 2009).

Doğrudan ekim makinalarında ekim sırasında toprak yüzeyindeki anızı kesen çok farklı disk tipleri vardır. Toprağı daha iyi kesebilen düz diskler aynı zamanda kolayca bilenebilir, dalgalı tip diskler kendi kendilerini bileyebilirler ve bu nedenle toprağa yapışma ihtimalleri düşüktür. Sıra üzerinde toprağı yeterince kabartmalarına rağmen dar yivli tip ve kabarık delikli tip diskler olarak kil oranı yüksek ve yapışkan toprak koşullarında sınırlı kullanıma sahiptir. Geniş yivli diskler kolay dağılabilir topraklarda istenilen çizi performansını sağlamalarının yanında bazı toprak koşullarında çiziye bırakılan tohumun üzerini kapatamayacak büyüklükte kesekler oluşturabilmektedir (Price 1999; Çelik 2009).

Toprak yüzeyi istenilen derecede sert ise diskli tip anız kesme üniteleri anızı kolaylıkla keserken, yumuşak toprakta anız toprağa gömülür. Diskli tip anız kesici ünite, nem içeriği yüksek olan anızlı tarla koşullarında anızı bükerek toprağa gömme eğilimindedir (Morrison and Allen 1987).

Doğrudan ekim makinalarında çizi açıcıların daha kolay çalışabilmesini sağlamak için sıra üzerindeki anızı temizleyen ayrı bir ünite bulunmaktadır. Sıra üzerinde 10-15 cm genişlikte anız temizleyen bu ünite, aynı zamanda toprağın kuru olan üst yüzeyini de kaldırarak gömücü ayağın alttaki nemli toprakla direk temas etmesini sağlamaktadır (Price 1999; Çelik 2009).

Doğrudan ekim makinalarının en önemli ünitesi gömücü ayaklarıdır (Seidi *et al.* 2010; Troger *et al.* 2012). Gömücü ayaklar anızlı tarla koşullarında yeterli derinlik ve genişlikte çizi açmakta ve açılan çiziye tohumları yerleştirmektedir (Chaudhuri 2001). Gömücü ayak tipleri; çalışılacak toprak çeşidi ve çalışma koşullarına göre değişiklik göstermektedir (Karayel and Özmerzi 2007; Altıkat *et al.* 2013). Azaltılmış toprak işleme ve doğrudan ekim yöntemlerinde yaygın olarak kullanılan gömücü ayak tipleri; çapa, çizel, kanatlı çizel, ters T, diskli (tek diskli, çift diskli ve üç diskli) tip ve kuyruk milinden hareketli döner disklerden oluşmaktadır (Anonymous 2013). Tek ve çift diskli tip ayaklarda toprak daha az deformasyona ve sıkışmaya maruz kaldığı için (Tajuddin and Balasubramaniam 1995), uygulamalarda daha yaygın olarak kullanılmaktadırlar

(Karayel and Sarauskis 2011). Doğrudan ekim makinalarında kullanılan gömücü ayaklardan beklenen öncelikle toprağı ve anızı iyi bir şekilde kesmesi ve yüzeyde mevcut anızı bükerek çizi içerisine itmemesidir (Thompkins 1985). Doğrudan hububat ekim makinalarında yaygın olarak kullanılan tek diskli tip gömücü ayaklar genellikle büyük çaplı, düz, dalgalı veya çentikli tipte olabilirler. Tek diskli gömücü ayakların çok farklı tipte olmasının nedeni, toprak ve anız koşullarında, toprağı batması ve anızı kesme başarısının iyi olmasıdır (Murray *et al.* 2006).

Tek diskli tip gömücü ayakların anız ve toprak üzerinde göstereceğı performans kullanılan diskin tipine, çapına, yön ve durum açlarına, disk üzerine düşen makine ağırlığına, ekim makinasının ilerleme hızına ve disk batma derinliğine bağlıdır. Hasadı yapılan bir önceki dönemden kalan kültür bitkisi sapı, yaprağı, kök kalıntıları ve yabancı ot ile diğer bitki artıkları anızı oluşturmaktadır (Çelik 2009). Tarla yüzeyinde değişik formlarda bulunabilen anız gömücü ayakların çalışmasını zorlaştırmak ile birlikte, diskin toprağı batmasına engel olabilmekte ve diğer ünitelere dolaşarak tıkanmalara yol açarak ekim makinası performansını engellemektedir (Çelik 2009).

Lisowski *et al.* (2016), toprak kanalında yürüttükleri çalışmalarında, 105, 133 ve 202 mm genişliğinde kazayağı tipindeki kültivatör uç demirlerini; farklı ilerleme hızları, iş derinlikleri ve toprak nem içeriklerinde batma açıları farklı olan esnek yaylı ve sert titreşimli yaylı ayaklarda denemişlerdir. Araştırmada, ayaklara etki eden düşey, yatay ve yan kuvvetlerle çizi kesiti alanı, toprak deformasyonu ve özgül çeki direnci değerlerini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlar; geniş uç demirlerinde düşey, yatay ve yan dirençler ile çizi kesit alanı ve toprak deformasyonu, büyük iş derinliğı ve ilerleme hızlarında birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Esnek tipteki ayakla ölçülen özgül direnç diğer ayaklara göre batma açısının fazla olmasından dolayı yaklaşık %15 daha fazla bulunmuştur. Bu ayaktaki batma açısının fazla olması, sert yaylı tip ayağı göre, toprak bozulma alanı ve çeki kuvvetinin sırasıyla %36 ve %24 daha fazla çıkmasına neden olmuştur.

Liu *et al.* (2010), toprak kanalında 325 mm genişliğinde kazayağı şeklindeki kültivatör uç demirini üç farklı ilerleme hızında yulaf anızı üzerinde denemişlerdir. 25 ve 250 mm boylarındaki anızlar hareket yönüne dik ve paralel olmak üzere iki yönde toprak yüzeyine serilerek uç demiri tarafından sürüklenme ve gömülme miktarları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, yüksek ilerleme hızı anızın daha fazla sürüklenmesi ve gömülmesine neden olmuştur. Hareket yönüne dik olarak konulan anız boyunun artırılmasıyla sürüklenen anız miktarı da %20 kadar artarken, yüksek ilerleme hızı toprak deformasyon genişliğini %40 artırmıştır.

 elik vd (2009), çalışmalarında farklı tipte gömücü ayaklara sahip doğrudan ekim makinalarının, farklı anız koşullarında çizi özelikleri ve anız dağılımına olan etkilerini karşılaştırmışlardır. Buğday anızlı tarla koşullarında y r t len bu çalışmada; diskli, dar çapa ve geniş çapa tip gömücü ayaklara sahip farklı üç anıza doğrudan ekim makinası, 12 ve 24 cm olan iki farklı anız yüksekliği ile dik ve yatık olarak iki farklı anız konumunda kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, dar çapa ve diskli tip ayaklar, geniş çapa ve  izel tip ayaklara göre çizi kesit alanında daha az toprak deformasyon alanına yol açmıştır.

Francetto *et al.* (2016), yapmış oldukları çalışmada, çapa ve çift diskli tip gömücü ayaklarla farklı ilerleme hızlarında, farklı anız kesici ünitelerin çizi kesit alanına, toprak deformasyonuna ve toprak kabarmasına olan etkilerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, çapa tipi gömücü ayak kullanımında toprak deformasyon alanı, ilerleme hızından etkilenmezken, çift diskli tip gömücü ayağın daha az toprak deformasyonuna neden olduğu saptanmıştır. Bunun yanında, çift diskli tip gömücü ayakta toprak kabarma oranı %30 iken, çapa tipi gömücü ayakta bu oran %42 olarak tespit edilmiştir.

Vamerali *et al.* (2006), anıza doğrudan ekim makinasında, özel olarak tasarladıkları bir çapa tipi gömücü ayak ile çift diskli tip gömücü ayağın tohum yatağı ile kök gelişimine etkilerini araştırdıkları çalışmada, çapa tipi gömücü ayağın, çift diskli tip gömücü ayağa göre anızı toprağa daha az karıştırdığını belirlemişlerdir. Araştırma sonucuna göre, 5 cm ekim derinliğinde, çift diskli tip gömücü ayaktaki penetrasyon direnci ve toprak hacim

ağırlığı değerleri, çapa tip gömücü ayaktaki penetrasyon direnci ve toprak hacim ağırlığı değerlerine göre daha yüksek bulunmuştur. Bununla beraber diskli tip gömücü ayak ile işlenen parsellerdeki çimlenme süreci, çapa tipi gömücü ayakla işlenen parsellere göre daha kısa sürede tamamlanmıştır.

Yao *et al.* (2009), hasattan sonra tarlada kalan mısır anızının ciddi bir problem olduğunu belirttikleri çalışmalarında, mısır anızıyla kaplı tarla koşullarında kışlık buğday ekimi için şeritsel işleme, şerit halinde kesme kombinasyonu ve tek diskli tip gömücü ayak olmak üzere üç farklı yöntemi uygulamışlardır. Araştırmada, tek diskli tip gömücü ayaklara sahip ekim makinası ile yapılan doğrudan ekimde şeritsel işleme ve şerit halinde kesme yöntemlerine göre, anız kaplama oranı daha yüksek bulunmuştur. Ancak, ağır mısır anızı koşulları için hem enerji ihtiyacı, hem de bit çıkışı yönünden şerit halinde anızı kesen gömücü ayak kombinasyonu olmuştur.

Bianchini and Magalhaes (2008), toprak kanalı koşullarında gömücü ayakların şeker kamışı anızını kesme performansını belirlemek amacıyla yapmış oldukları araştırmada, 610 mm çapında üç farklı diskli tip gömücü ayağı (düz, dalgalı ve kertikli tip) iki farklı iş derinliğinde (80 ve 100 mm) incelemişlerdir. Araştırmada, kertikli tip disk gömücü ayak düz ve dalgalı tip disk gömücü ayağa göre daha iyi performans göstermiştir. 80 mm iş derinliğinin kertikli tip disk gömücü ayak için etkin bir anız kesme derinliği olduğu tespit edilen çalışmada kertikli tip gömücü ayağın anız kesme kabiliyetinin yüksek, yuvarlanma direnci ve çeki gücü performansının daha az olduğu ortaya çıkmıştır.

Erbach and Choi (1983), çalışmalarında, düz diskli tip gömücü ayağın, geniş dalgalı ve yivli tip gömücü ayaklara göre toprağa nüfuz etmede ve yoğun anızı kesmede, daha az güç harcadığını tespit etmişlerdir. Choi and Erbach (1986), düz, dalgalı, yivli ve çentikli olmak üzere dört farklı diskli tip gömücü ayak ile mısır anızı üzerinde yapmış oldukları bir diğer çalışmada ise; disk çapı, iş derinliği, toprak direnci ve anız miktarının artışına bağlı olarak, diskler üzerine etkiyen çeki ve düşey kuvvetlerin de arttığını tespit

etmişlerdir. Çalışmada, mısır anızının kesilme oranı, toprak sıkışma düzeyi ve diskin keskinliği arttıkça artarken, anızın nem içeriği azaldıkça kesilme oranı azalmıştır.

Sarauskis *et al.* (2013), 380 mm çapında kertikli ve düz tip diskli anız kesme ünitelerinin performanslarını buğday anızlı tarla koşullarında ve %13 toprak nemi ile 0,5 MPa toprak sıkışma değerlerinde ölçülmüşlerdir. Anız kesme başarısının anız nem içeriğine bağlı olduğu, nem içeriğinin arttıkça anızın kesilme oranının azaldığı saptanan çalışmada, kertikli tip diskin düz diske göre daha fazla anız kestiği ortaya çıkmıştır. Nem içeriği %10,1 olan anızın kesilme oranı %30 iken, nem içeriğinin %22 olduğu anız koşullarında kesilme oranı %12 'ye düşmüştür.

Toprak kanalında yürütülen bir çalışmada, iki yanına baskı tekeri yerleştirilmiş düz ve kertikli disk tipi anız kesici ünitelerin; anız kesme performansları, anız kesici ünitelere gelen yatay ve düşey yükler ve güç tüketimleri belirlenmiştir. Üç farklı ilerleme hızı ve anız yoğunluğunda yürütülen çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, ilerleme hızı ve anız yoğunluğu arttıkça her iki tip gömücü ayak için de yatay (çeki) kuvvet ihtiyacı artmıştır. Kertikli tip gömücü ayak için tüm hız ve anız yoğunluklarında yatay kuvvet ihtiyacı düz tip diske göre %22 fazla çıkmıştır. Kertikli tip diskli ünite tüm anız yoğunluklarında düz tip diske göre daha fazla düşey kuvvete ihtiyaç duymasının, anızı dış şeklindeki kertiklerinin arasında tutarak sürüklemesinden kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Sonuç olarak, düz diskli tip ünitenin performansının daha iyi olmasından dolayı yoğun anız ile kaplı tarla koşullarında yapılan doğrudan ekim uygulamalarında daha çok tavsiye edilebileceği belirtilmiştir (Badegaonkar *et al.* 2014).

Doan *et al.* (2005), ön bitki anızı olarak 20 cm yükseklikten kesilen kanola, nohut ve buğday anızlı tarla koşullarında, çift diskli ve çapa tipi gömücü ayaklara sahip doğrudan ekim makinalarıyla kanola ekimi yapmışlardır. Ekim makinası gömücü ayaklarının performansının karşılaştırıldığı çalışmada, diskli tip gömücü ayağın açmış olduğu çizi derinliklerinin yapısının daha üniform olduğu ve bitki çıkışının diğer gömücü ayağa göre daha erken olduğu sonucu elde edilmiştir.

Altıkat (2011), farklı gömücü ayaklara sahip doğrudan ekim makinaları ile farklı ilerleme hızlarında yaptığı çalışmada, çapa ve kanatlı çapa tip ayaklara sahip makinalara göre tek diskli tip gömücü ayaklara sahip doğrudan ekim makinalarının, yazlık fiğ ve kışlık buğday anızlarını kesmede daha başarılı olduğunu belirlemiştir. Yapılan araştırmalarda, bu tip ayakların anız keserken tıkanmaması, tohum yatağı ve çizi duvarında daha az toprak sıkışmasına yol açması avantajlarının olduğu ortaya çıkmıştır (Baker *et al.* 2007). Ancak, tasarımı uygun olmayan diskli tip ayaklarda toprak yüzeyindeki anız kesilmeden çizi içerisine bükülerek gömülebildiğinden tohumun toprakla teması engellenmiş olmaktadır (Wilkins *et al.* 1983; Sanavi Shiri and Raoufat 2006). Bu durum tek diskli tip gömücü ayakların önemli dezavantajlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır (Baker *et al.* 2007).

Kushwaha *et al.* (1986a), toprak kanalında yapmış oldukları çalışmada, 360 mm, 460 mm ve 600 mm çaplarında tek diskli tip gömücü ayaklar kullanarak doğrudan ekimde ekim derinliği ve anız miktarına bağlı olarak anız kesme performansı ile toprak direncinden etkilenme seviyelerini belirlemişlerdir. Araştırmada ayrıca, gömücü ayakların anızlı ve anızsız koşullarda maruz kaldığı yatay ve düşey kuvvetler de saptanmıştır. Sonuç olarak, 460 mm çapındaki disk ile farklı ekim derinliği ve anız yoğunluklarında yaklaşık %100 başarı elde edilmiştir. 460 mm çaplı disk gömücü ayak ile 50 mm çalışma derinliğinde anızsız koşullarda ortalama 90 N, anızlı koşullarda ise ortalama 190 N çeki kuvveti gereksinimi olduğu belirlenmiştir. Düşey kuvvet ihtiyacı ise anızsız koşullarda 200 N, anızlı koşullarda 400 N olarak tespit edilmiştir. Anızlı ve anızsız koşullarda iş derinliği artışıyla birlikte, çeki kuvveti ile düşey kuvvet ihtiyaçlarının da arttığı belirlenmiştir.

Kushwaha *et al.* (1986b), toprak kanalında yapmış oldukları çalışmada, düz, dişli ve kertikli tip disk gömücü ayakları 1000-5000 kg/ha anız yoğunluğunda, 6,4 km/h ilerleme hızında denemişlerdir. 55 mm iş derinliği ve üç farklı toprak sıkışma seviyesinde çalışan disklerden sonuç olarak, enerji tüketimi en çok dişli tip gömücü ayakta ve 4000 kg/ha anız yoğunluğunda elde edilmiştir. Düz diskli tip gömücü ayağın anız kesme performansı %100'e yakın görülmüştür. Disk dönme hızı ve anız yoğunluğu

artışına bağlı olarak çeki kuvveti ve düşey kuvvet ihtiyacı artarken, serbest dönen disklerle göre daha az kuvvet ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Hann and Giessibl (1998), kontrollü toprak koşullarında, hareketini hidrolik bir motordan alan konkav diskli tip bir gömücü ayak ile farklı ilerleme hızlarında, farklı yön ve durum açılarında yürüttükleri çalışmada, optimum çeki direnci ile özgül direnci 0° durum açısında elde etmişlerdir. Disk geriye doğru hareketlendirildiğinde diskin iç bükey kısmında yan kuvvetler daha düşük olurken, dış bükey kısmında daha büyük yan kuvvet ortaya çıkmıştır. Çalışmada, küçük yön açılarında düşey kuvvetin önemli ölçüde azaldığı saptanmıştır.

Collins and Fowler (1996), farklı tip gömücü ayaklar ile ekim derinliğini 1 cm'den 5 cm'ye çıkarttığı araştırmalarında, ekim derinliğinin arttırılmasının özgül çeki kuvvetini arttırdığını tespit etmişlerdir. Killi toprak koşullarında kullanılan bütün gömücü ayakların ortalama özgül çeki kuvvetleri 2000 N/m iken, bu değer 3 cm ekim derinliğinde 3500 N/m ve 5 cm ekim derinliğinde 5000 N/m olmuştur. Özgül çeki kuvveti yönünden en düşük değer düşük toprak deformasyon alanına yol açan diskli tip gömücü ayaklarda elde edilmiştir.

Troger *et al.* (2012), doğrudan ekimde makinalarında kullanılan altı farklı çapa tip gömücü ayak için güç ihtiyacı ve çizi kesit alanlarını belirlemek amacıyla bir çalışma yürütmüşlerdir. Elde edilen sonuçlara göre; araştırmada kullanılan gömücü ayakların yatay kuvvet (çeki) ihtiyaçları 1034 N ile 1755 N arasında, düşey kuvvet ihtiyaçlarının ise 477 N ile 845 N arasında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir.

Turgut (2014), doğrudan ekim makinasında kullanılan çapa, çizel, çift disk ve ters T tipi gömücü ayakları, iki farklı toprak nem içeriği iki farklı anız yoğunluğu ve iki anız konumu (dik ve yatık) koşullarında gömücü ayak başına düşen anlık baskı yükünü belirlemek için denemiştir. Anızsız ve buğday anızlı tarla koşullarında yürütülen araştırmadan elde edilen sonuçlara göre; toprak kanalında %19 toprak nem seviyesinde 1507 N ile minimum baskı yükü değeri çift diskli tip gömücü ayakta elde edilmiştir.

Denemelerden elde edilen sonuçlara göre; her iki yılda da en yüksek baskı yükü değeri T tip gömücü ayakta, en düşük değer ise çift diskli tip ayakta elde edilmiştir.

Seidi *et al.* (2010), toprak kanalı koşullarında çift diskli ofset tip gömücü ayak ile ofset çift diskli ayağa iki küçük diskin uyarlandığı bir diğer gömücü ayağın performanslarını üç farklı ilerleme hızı ve iki farklı anız yoğunluğunda belirlemeye çalışmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, toprak hacim ağırlığı ve ilerleme hızı artışına bağlı olarak iki gömücü ayak tipinde de yatay kuvvet artmakta, düşey kuvvet ofset tip gömücü ayakta negatif değerler ortaya çıkarırken, uyarlanmış gömücü ayakta pozitif değerler ortaya koymuştur. Ayrıca ofset diskli tip gömücü ayak bir kısım anızı çiziyeye gömerken uyarlanmış gömücü ayağın daha temiz tohum yatağı açtığı belirlenmiştir.

Sanchez-Giron *et al.* (2005), toprak kanalı koşullarında yapmış oldukları araştırmada, farklı nem içeriği, hacim ağırlığı ve ekim derinliklerinde kama ve burun açıları farklı dar uç demiri şeklindeki gömücü ayakların, yatay ve düşey kuvvetlere olan etkilerini araştırmışlardır. Araştırmadan elde edilen sonuçlara göre, toprak nem içeriği ve hacim ağırlığının fazla olduğu bölgelerde, tüm ayaklar için çeki kuvvetinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. İş derinliğinin artması ile çeki kuvveti de artmış ve en yüksek değerler 100 mm iş derinliğinde elde edilmiştir. Gömücü ayakların çeki kuvveti değerleri incelendiğinde çizel tip gömücü ayağın en düşük çeki kuvvetine ihtiyaç duyduğu belirlenmiştir. Tüm ayak tiplerinde, toprak nem içeriği, hacim ağırlığı ve iş derinliği artışına bağlı olarak düşey kuvvet artış göstermiştir.

Ahmad *et al.* (2015), 330, 450 ve 600 mm çaplarında çift diskli tip gömücü ayakların anız kesme performanslarını ve ayaklara gelen yatay ve düşey kuvvetleri çeltik anızlı tarla koşullarında belirlemek için prototip bir doğrudan ekim makinasını, farklı ilerleme hızları ve farklı ekim derinliklerinde kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, disk çapı, ekim derinliği ve ilerleme hızının yatay ve düşey kuvvetler ile anız kesme performansına etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Cochran *et al.* (1974), toprak kanalı koşullarında, balta, çizel ve çift diskli tip gömücü ayakları farklı ekim derinliği değerlerinde, gömücü ayaklara gelen düşey kuvvetleri belirlemek amacıyla denemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre, 1,5 m/s' nin altındaki ilerleme hızlarında 305 mm çaplı çift diskli tip gömücü ayak düşey kuvvetlerden önemli derecede etkilenmiştir. Gömücü ayak iş derinliği 25 mm'den 75 mm'ye çıkartıldığında düşey kuvvetlerin %325 oranında arttığı tespit edilmiştir.

Bahri and Bansal (1992), çalışmalarında, tek diskli tip, çift diskli tip ve çapa tip gömücü ayakları iki farklı baskı tekerleği ile birlikte denemişlerdir. Farklı anız yoğunluğu koşullarında kullanılan bütün gömücü ayaklar ile uyarlanan baskı tekerlerinin doğrudan buğday ekimi sırasında yeterli performans gösterdiği saptanmıştır. Ancak, çapa tipi gömücü ayak diskli tip gömücü ayaklara göre daha geniş çizi yol açmış ve bunun sonucunda daha fazla toprak deformasyonu meydana getirmiştir.

Munir *et al.* (2012), çeltik anızlı tarla koşullarında buğday ekimi yaptıkları çalışmalarında, ters çapa tip, çapa tip ve tek diskli tip gömücü ayakların performansını üç farklı ilerleme hızında karşılaştırmışlardır. Bitki çıkış periyodu süresince en yüksek toprak nemi tek diskli tip gömücü ayakta elde edilmiştir. Aynı zamanda, diğer ayak tiplerine göre diskli tip gömücü ayak, bitki çıkış oranı, çıkış oranı indeksi ve bitki verimi yönünden en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Tola and Koeller (2005), toprak kanalı koşullarında tek diskli tip ile çapa tip gömücü ayakların toprağı gevşetme ve anızı toprağa karıştırma performanslarını, farklı toprak nem içerikleri ve sıkışma seviyelerinde, anızsız ve iki farklı anız yoğunluğu koşullarında denemişlerdir. 8 km/h ilerleme hızı ve 50 mm ekim derinliğinde yürütülen araştırma sonuçlarına göre, tek diskli tip gömücü ayağın çapa tip ayağa göre daha fazla miktarda anızı toprağa karıştırdığı belirlenmiştir. Toprak nem içeriği ve sıkışma düzeyi arttıkça her iki tip gömücü ayakta da toprağa karışan anız miktarı azalmıştır. Ancak anız kaplama oranı arttıkça iki gömücü ayak tipi için de anızın toprağa karışma oranı azalmıştır. Gömücü ayakların toprağı gevşetme etkisi bakımından, çapa tip gömücü ayağın diskli tip gömücü ayağa göre daha başarılı olduğu belirlenmiştir.

Mari *et al.* (2014), toprak kanalı koşullarında, konkav tip bir diskin, farklı ilerleme hızları, iş derinlikleri ve çeltik anızı boylarında anızın toprağa gömülme durumu ile diskin maruz kaldığı yatay, düşey ve yan kuvvetlere olan etkilerini belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmada, diske etki eden minimum ve maksimum yatay, düşey ve yan kuvvetler sırasıyla; 533 ile 1236 N, 243 ile 632 N ve 418 ile 1063 N arasında belirlenmiştir. Düşük yatay, düşey ve yan kuvvetlerin düşük ilerleme hızları ile iş derinliklerinde ortaya çıktığı belirlenmiştir.

Sawant *et al.* (2016), toprak kanalı koşullarında, dört farklı tip gömücü ayağın mısır anızını kesme performansı ve toprak deformasyonu ile toprak fiziksel özelliklerine olan etkilerini farklı ilerleme hızlarında belirlemeye çalışmışlardır. Çalışma sonucuna göre, ilerleme hızındaki artışa bağlı olarak toprak penetrasyon direnci, toprağın nem içeriği ve hacim ağırlığının azaldığı tespit edilmiştir.

Sarauski and Vaitauskiene (2014), kertikli ve çift diskli tip gömücü ayakların çeki kuvveti ihtiyacını; farklı toprak sıkışma seviyeleri, ilerleme hızları ve baskı tekerleri etkisi altında belirlemeye çalışmışlardır. Gömücü ayağa etki eden kuvvetler altı adet yük sensörü ile tespit edilmiştir. Çalışmada, 5 km/h ilerleme hızında dar diskli tip baskı tekerleği kullanıldığında ortaya çıkan çeki kuvveti ihtiyacı, baskı tekerleği kullanmadan gerekli kuvvet ile aynı bulunmuştur. Kertikli tip disk ile daha fazla çeki kuvvetine ihtiyaç duyulduğu belirlenen çalışmada, 7 km/h ilerleme hızında yatay kuvvet artarken, düşey kuvvette azalma görülmüş, ancak 9 km/h ilerleme hızında 7 km/h hızdan farklı olarak önemli bir artış görülmemiştir.

Ranta *et al.* (2008), toprak kanalında doğrudan ekim makinalarında kullanılan 14 ve 26 dalgaya sahip diskli gömücü ayaklar ile düz diskli tip gömücü ayakların yatay ve düşey güç gereksinimlerini farklı ilerleme hızlarında belirlemeye çalışmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, ilerleme hızının artmasından dolayı gömücü ayak titreşimleri de artmış ve bu durum çeki kuvvetinde de giderek artan dalgalanmaya sebep olmuştur. 26 dalgaya sahip diskli tip gömücü ayakta bu durum düz tip ve 14 dalgalı diske oranla daha stabil bir çeki kuvveti elde etmeye yol açmıştır. Çalışmada, toprak nem düzeyinin az, anız

miktarının fazla olduğu bölgelerde, disk dalga sayısının fazla olması çizi genişliğini ve toprak direncini arttırmasından dolayı, düz tip disklerin kullanılmasının daha doğru olacağı belirtilmiştir.

Aminzadeh (2014), tarafından anızsız toprak kanalı koşullarında yürütölen bir çalışmada, 460 mm çapında ve farklı yön ve durum açısı kombinasyonları altında kullanılan tek diskli tip gömücü ayağa gelen yatay, düşey ve yan kuvvetler yük sensörleri yardımı ile ölçölmüş ve bu doğrultuda disk için en uygun yön ve durum açıları belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, 7° yön ve 25° durum açısı kombinasyonunda en düşük çeki kuvveti ölçölmüşür. Sabit 0° yön açısında durum açısı değeri arttıkça çeki kuvveti ihtiyacının da arttığı tespit edilmiştir. Yan kuvvetlerin artışına disk yön açısının artışı neden olurken, durum açısının da diske gelen yan kuvvetlerin azalmasına neden olduğu tespit edilmiştir.

Toprak kanalı koşullarında yürütölen bazı çalışmalarda; Magalhaes *et al.* (2007), toprak kanalında şeker kamışı anızı üzerinde %13,4 toprak neminde; Turgut (2014), anızsız toprak kanalı koşullarında %19 nem içeriğinde; Aminzadeh (2014), toprak kanalında anızsız koşullardaki çalışmada, %13 toprak neminde; Kushwaha *et al.* (1986a), toprak kanalı koşullarında %13,6-%16,3 nem düzeyleri arasında; Kushwaha *et al.* (1986b), toprak kanalı koşullarında %15,6-19,5 nem düzeyleri aralığında çalışmalarını tamamlamışlardır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu araştırma, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan toprak kanalında yürütülmüştür. Doğrudan hububat ekim makinalarında yaygın olarak kullanılan, farklı tek diskli tip gömücü ayakların farklı toprak koşullarındaki performansını belirlemek üzere yürütülen çalışmada, bu amaçla tasarımı ve imalatı yapılan gömücü ayak ünitesi üzerine diskler kolayca değiştirilerek kullanılmıştır.

3.1.1. Toprak kanalı arabası

Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan toprak kanalı 16 m uzunluğunda, 2,5 m genişliğinde ve 0,8 m derinliğindedir. Paralel raylar üzerinde hareket eden ve sensörler ile donatılan tam donanımlı toprak kanalı arabası Şekil 3.1’de verilmiştir.

Kanal arabası, X eksenini doğrultusunda her iki yöne manuel olarak hareket ettirilebilen kızak ve Y eksenini doğrultusunda elektrik motoru yardımıyla iki yöne birden hareket ettirilebilir bir mile sahiptir. Deneme öncesi toprak hazırlığı aşamaları sırasıyla; çapa makinası ile toprak işleme, pülverizatör ile uygun nem seviyesini kazandırma, kanal arabasına monte edilerek kullanılan kembriç ve düz tip merdanelerle toprağı istenilen sıkışma seviyesine kavuşturma ve tesviye bıçağı ile de tesviye etme işlemlerinin periyodik olarak uygulanmasından oluşmuştur. Toprak kanalını temsil edecek şekilde belirlenen parsellerden alınan toprak örnekleri, hassasiyeti 0,01 g olan bir hassas terazi ile tartılmıştır.

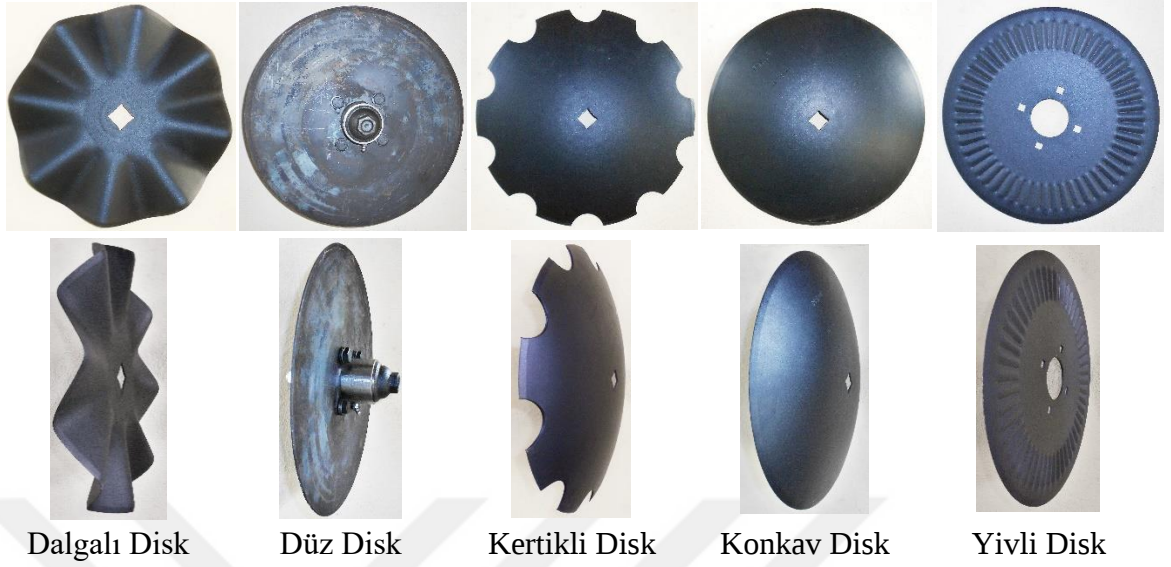


Şekil 3.1. Toprak kanalı ve kanal arabası

Kanal arabası güç ünitesi olarak 15 kW gücünde bir elektrik motorundan yararlanılmıştır. Hız kontrol ünitesiyle bağlantılı kumanda vasıtası ile hızı ayarlanan kanal arabası, üzerine monte edilmiş olan hız radarı ile denemeler süresince ilerleme hızı kontrol altında tutulmuştur. Denemelerde kullanılan diskli tip gömücü ayaklara gelen; yatay, düşey ve yan kuvvetleri belirlemek amacı ile 2 ton kapasiteli altı adet S tipi yük hücresi kullanılmıştır. Yük hücreleri ve hız radarından alınan veriler, kanal arabası üzerine monte edilmiş olan dataloger tarafından kaydedilerek bilgisayara aktarılmıştır.

3.1.2. Tek diskli tip gömücü ayaklar

Bu çalışmada, doğrudan hububat ekim makinalarında yaygın olarak kullanılan tek diskli tip beş farklı gömücü ayak kullanılmıştır. Gömücü ayaklar 460 mm çapında ve 4 mm kalınlığında çelik malzemeden yapılmıştır (Şekil 3.2). Gömücü ayaklar, özel olarak tasarımı yapılan disk bağlantı ünitesi aracılığıyla kanal arabasına bağlanmıştır.



Şekil 3.2. Denemelerde kullanılan diskli tip gömücü ayaklar

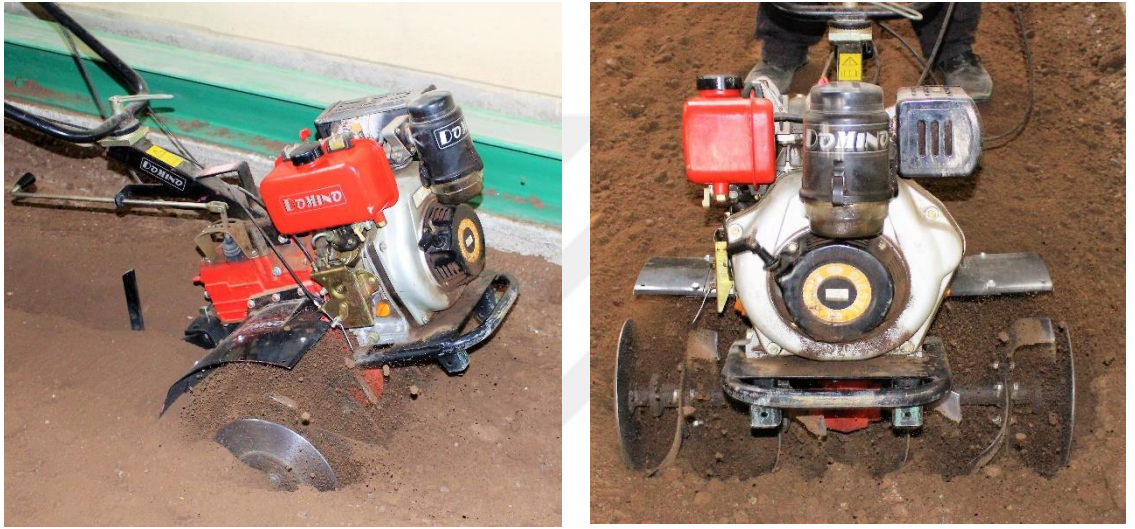
3.1.3. Kanal toprağının hazırlanması ve bu amaçla kullanılan ekipmanlar

Kanal toprağının denemelere hazırlanmasında; sulama, işleme, tesviye etme ve sıkıştırma işlemleri periyodik olarak yapılmıştır. Toprağı nemlendirmek için toprak kanalı arabası üzerine monte edilen 100 litre depo kapasiteli ve elektrik motoru ile tahrik edilen bir pülverizatör kullanılmıştır. Pülverizatöre ile itibatlı püskürtme çubuğu üzerinde 40 cm aralıklarla yerleştirilen 6 adet püskürtme memesi yardımıyla toprakta istenilen nem düzeyini elde etmek için sulama işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3).

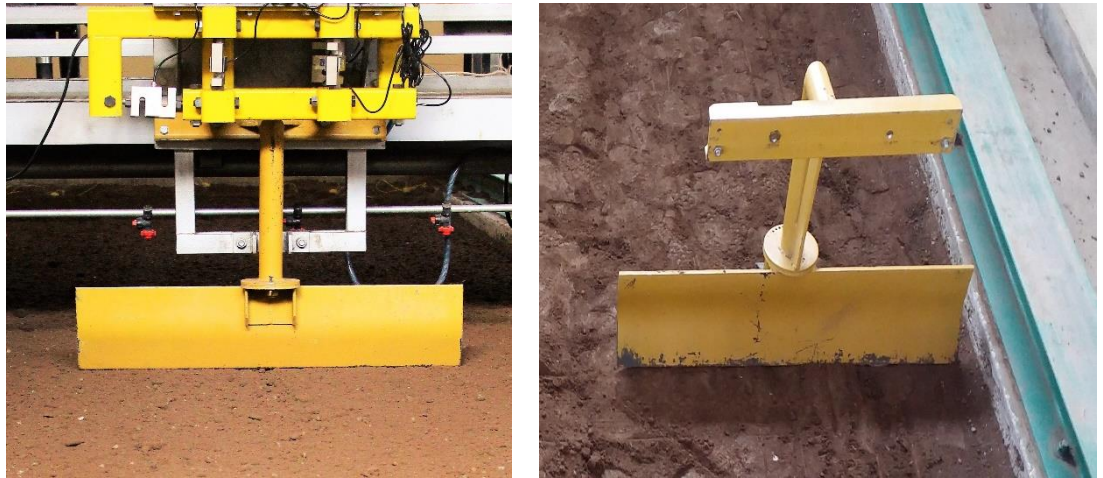


Şekil 3.3. Toprağın nemlendirilmesi için kullanılan pülverizatör ve püskürtme memeleri

Kanal toprağını işlemek için, 60 cm iş genişliğinde ve L tipi bıçaklara sahip yatay rotorlu bir motorlu freze kullanılmıştır (Şekil 3.4). İşlenen kanal toprağını tesviyesinin yapılması için toprak kanalı arabasına monte edilebilir, iş genişliği 1 m olan ve ihtiyaca göre yön açısı ayarlanabilen bir tesviye bıçağı kullanılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.4. Toprak işlemede kullanılan motorlu freze



Şekil 3.5. Tesviye bıçağı

İşlendikten sonra tesviye edilen kanal toprağının sıkışma seviyesinin istenilen düzeye getirilmesi için 60 cm iş genişliğine sahip kembriç tip bir merdane kullanılmıştır. Toprak hazırlığının ve sıkıştırma işleminin son aşaması olarak 1 m genişliğinde ve 40 cm çapında, içerisi kumla doldurulan düz bir merdane kullanılmıştır. Toprağın istenilen sıkışma düzeyine kavuşturulması için bu işlemler gerektiğinde tekerrürler halinde yapılarak, kanal toprağı denemelere hazırlanmıştır (Şekil 3.6).



a) Kembriç tip merdane



b) Düz tip merdane

Şekil 3.6. Toprak sıkıştırmada kullanılan merdaneler

3.2. Yöntem

3.2.1. Denemelerin düzenlenmesi ve yürütülmesi

Kontrollü toprak kanalı koşullarında yürütülen bu araştırmada, faktör olarak beş farklı diskli tip gömücü ayak, iki farklı toprak sıkışma seviyesi, iki farklı toprak nem düzeyi ve iki farklı ekim derinliği değerleri dikkate alınmıştır. Araştırma, bölünen bölünmüş parseller desenine göre 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Durum ve yön açısı sıfır olan disk tipi gömücü ayakların çapı için, doğrudan ekim makinalarında yaygın olarak kullanılan 460 mm çap değeri dikkate alınmıştır. Araştırmada dikkate alınan; iş derinliği, ilerleme hızı, toprak nem içeriği ve toprak sıkışma düzeyi gibi önemli bazı parametreler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Araştırmada dikkate alınan parametreler

Faktörler	Faktör seviyeleri
Disk tipleri	Dalgali disk, düz disk, kertiqli disk, konkav disk, yivli disk
Disk çapları (mm)	460
Makina ilerleme hızı (km/h)	3,6
Çalışma (ekim) derinliği (mm)	50-75
Toprak nem içeriği (% k.a.)	12-18
Toprak sıkışma düzeyi (MPa)	2-3

3.2.2. Kanal toprağının hazırlanması

Kanalda kullanılan toprak, Erzurum yöresinde yaygın olan orta bünyeli tip toprak olup 5 mm’lik eleklerle sahip bir toprak eleme ünitesiyle elenip, taşlardan ve diğer artıklardan arındırıldıktan sonra kanala doldurulmuştur. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü laboratuvarında, Bouyoucos hidrometre yöntemine göre (Demiralay 1993), yapılan tekstür analizi sonucuna göre, toprak bünye sınıfı kumlu killi tın olarak belirlenmiştir.

Kanal toprağının sıkışma ve nem düzeylerini, belirlerken doğrudan ekimin yapıldığı sonbahar ve ilkbahar dönemlerindeki toprak koşulları esas alınmıştır. Denemede dikkate alınan nem düzeyi ve sıkışma seviyesi muameleler için toprak kanalı yeniden hazırlanarak kullanılmıştır. Motorlu freze ile toprak işleme yapıldıktan sonra kanal toprağını nemlendirmek için kanal arabasına monte edilen pülverizatör, tesviye bıçağı, merdaneler, çalışmada istenilen toprak şartlarını sağlayana kadar periyodik olarak kullanılarak toprak kanalı denemelere uygun olacak şekilde hazırlanmıştır (Çelik and Raper 2012; Malaslı 2017).

Kanal toprağı denemeler için hazırlanırken öncelikle istenilen nem düzeyine getirebilmek için kanal arabasına monte edilmiş olan pülverizatör ile toprağa gerektiği miktarda su püskürtülerek toprak nemlendirilmiştir. TDR 300 tipi nem ölçme cihazı ile püskürtme sonrası toprak nem seviyesi kontrol edilmiştir (Şekil 3.7). Toprağın nemlendirme işleminden sonra toprak işlenerek sıkıştırma ve tesviye işlemleri yapılmıştır.

Kanal toprağının nem seviyesi kontrol edildikten ve istenilen düzeye ulaştığı anlaşıldıktan sonra toprak hazırlığına başlanmıştır. Toprak hazırlığı için maksimum 15 cm iş derinliğinde kullanılabilen bir motorlu freze ile toprak her hazırlama aşaması için iki kez işlenmiştir.



Şekil 3.7. TDR 300 toprak nemi ölçme cihazı

Motorlu freze ile işlenen toprak, kanal arabasına monte edilen tesviye bıçağı ile düzeltilerek tesviye işlemi yapılmıştır. Tesviyesi tamamlandıktan ve düzgün bir yüzeye ulaşıldıktan sonra toprak sıkışma derecesini istenilen seviyeye getirmek için kembriç tip bir merdane ile aynı yönde ve gerekli sayıda geçiş yapılarak, sıkıştırma işleminin ilk aşaması tamamlanmıştır. Sıkıştırma esnasında toprak nemi ve merdane halkalarının yapısı etkisiyle kısmen bozulan toprak yüzeyi tesviye bıçağı ile tekrar düzlenerek tesviye yapılmıştır. Düzgün bir toprak yüzeyi tekrar elde edildikten sonra toprak sıkıştırma işleminin son aşaması için düz tipte bir merdane kullanılmıştır. Düz merdane ile istenilen toprak sıkışma düzeyi elde etmek için gerektiği kadar tekrarlı geçişler yapılarak, kanal toprağı denemeler için hazır hale getirilmiştir. Denemeler için hazır hale getirilen toprak kanalı, genişliği 40 cm ve uzunluğu 200 cm olan 36 parselle ayrılmıştır (Şekil 3.8). Bu parsellerin 32 tanesi denemeler için kullanılırken, geriye kalan 4 parsel toprak nem içeriği ve sıkışma seviyesini belirlemek için gerekli örneklerin alınması ve ölçümlerinin yapılması amacıyla kullanılmıştır (Malaslı 2017). Toplam 120 muamele kombinasyonu için toprak kanalı 4 kez yeniden hazırlanarak denemeler yürütülmüştür.



Şekil 3.8. Parsellere ayrılan toprak kanalı

3.2.3. Toprak hacim ağırlığı, nem içeriği ve porozitenin belirlenmesi

Toprak hacim ağırlığı, porozite ve nem içeriğinin belirlenmesi için toprak kanalında denemelere başlamadan önce, iç çapı 5 cm olan ve 100 cm^3 hacimli örnek alma

silindirleri kullanılmıştır (Şekil 3.9). Çalışma derinliği dikkate alınarak, 0-5 ve 5-10 cm toprak derinliğinden dört tekerrür olarak alınan bozulmamış toprak örnekleri hassas terazide tartıldıktan sonra etüvde 105 °C’de 24 saat kurumaya bırakılmıştır. Etüvden alınan toprak örnekleri tartılarak kuru ağırlıkları alınmıştır. Toprak hacim ağırlığı, porozite ve nem içeriği değerleri aşağıdaki eşitlikler yardımı ile hesaplanmıştır (Çelik 1998; Altıkat 2011).

$$HA = \frac{Wk}{V}$$

$$PO = \left(1 - \frac{HA}{K}\right) \cdot 100$$

$$W = \left(\frac{Wy - Wk}{Wk}\right) \cdot 100$$

Burada; HA: Hacim ağırlığı (g/cm³), Wk: Örnek toprağının fırın kuru ağırlığı (g), V: Örnek silindirin hacmi (100 cm³), PO: Porozite (%), K: Toprak tane yoğunluğu (2,65 g/cm³), (Demiralay 1993), W: Toprağın kuru ağırlık esasına göre nem içeriği (%), Wy: Örnek toprağının yaş ağırlığı (g)’dır.



Şekil 3.9. Toprak örneği alma seti

3.2.4. Toprak penetrasyon direncinin belirlenmesi

Toprak penetrasyon direnci, toprağın düşey yönde alet ve makinalara gösterdiği direnç olarak bilinmektedir (Çelik 1998). Toprak penetrasyon direncinin belirlenmesi için uç açısı 60° olan, dijital göstergeli, Eijkelkamp marka bir toprak penetrometresi kullanılmıştır (Şekil 3.10). Gömücü ayakların geçişinden önce ve sonra olmak üzere 20 cm ölçüm derinliğine kadar yapılan ölçümlerde kN olarak okunan değerler koni alanına bölünmek suretiyle kN/cm^2 olarak kaydedilmiş ve daha sonra MPa'a dönüştürülmüştür (Çelik 1998). Gömücü ayakların geçişinden önce her parselden beşer tekerrür olarak yapılan ölçümlerde toprak sıkışma düzeyi, gömücü ayaklar geçtikten sonra yapılan ölçümlerde ise gömücü ayakların çizi bölgesinde meydana getirdikleri sıkıştırma etkileri belirlenmiştir. Bu etkileri belirlemek amacıyla 5'er cm aralıklarla çizi hattının üzerinde ve çizi merkezinden 10 cm ve kenarlara doğru 20 cm derinliğe kadar iki tekerrürlü ölçümler yapılmıştır (Malaslı 2017).



Şekil 3.10. Toprak penetrometresi

3.2.5. Çizi özelliğinin belirlenmesi

3.2.5.a. Çizi derinliğinin belirlenmesi

Toprakta dönerek çalışan işleyici organlarla işlenen toprağın alt katmanında ve diskli tip gömücü ayakların açtıkları çizi tabanlarında dalgalı bir yüzey oluşmaktadır. Toprak yüzeyindeki anız miktarı ve anızın toprak yüzeyindeki dağılma oranı bu

dalgalanmalardan etkilenirken, toprağın kesilme direnci de bu dalgalanmalardan etkilenmektedir. Denemelerde, farklı diskli tip gömücü ayakların geçişinden sonra çiziler temizlenmiş ve her parselden iki tekerrürlü olmak üzere açılan çizilerin derinlikleri kumpas ile ölçülmüştür. Elde edilen değerler, profilograf ile yapılan ölçümlerle karşılaştırılmış ve sağlama yapılmıştır.

3.2.5.b. Çizi profilinin belirlenmesi

Gömücü ayakların geçişinin hemen ardından, açılan çizi profilini belirlemek için ilerleme yönüne dik doğrultuda kullanılan çubuklu tip bir profilograftan yararlanılmıştır (Şekil 3.11). Kullanılan profilograf, 1 cm aralıklarla sıralanmış 36 adet alüminyum çubuktan oluşmuştur. Gömücü ayakların açmış olduğu çizilere dik yönde yerleştirilen profilograf ile her parselden ikişer tekerrürlü ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde elde edilen değerler grafiklere aktarılarak, çizi profilleri elde edilmiştir (Önal 1971; Jester and Klik 2005; Karayel ve Özmerzi 2006; Troger *et al.* 2012).

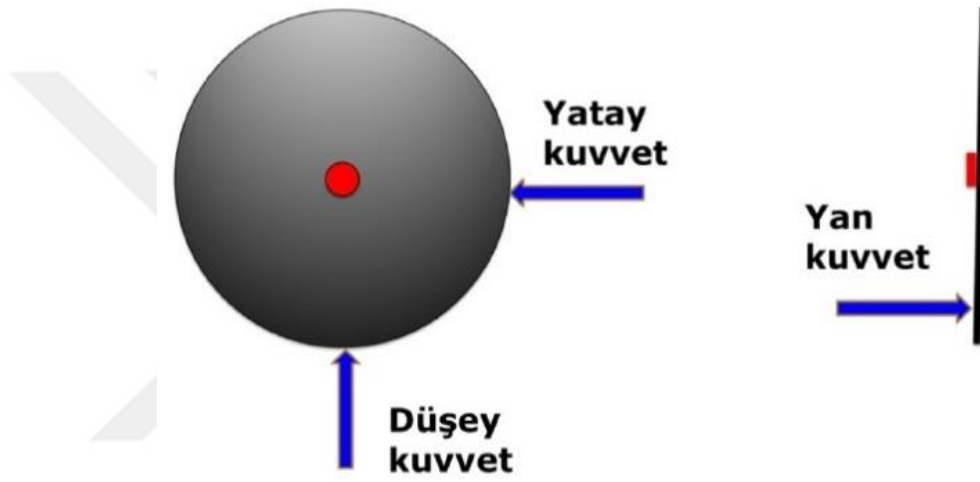


Şekil 3.11. Çizi profilini belirlemek amacıyla kullanılan profilograf

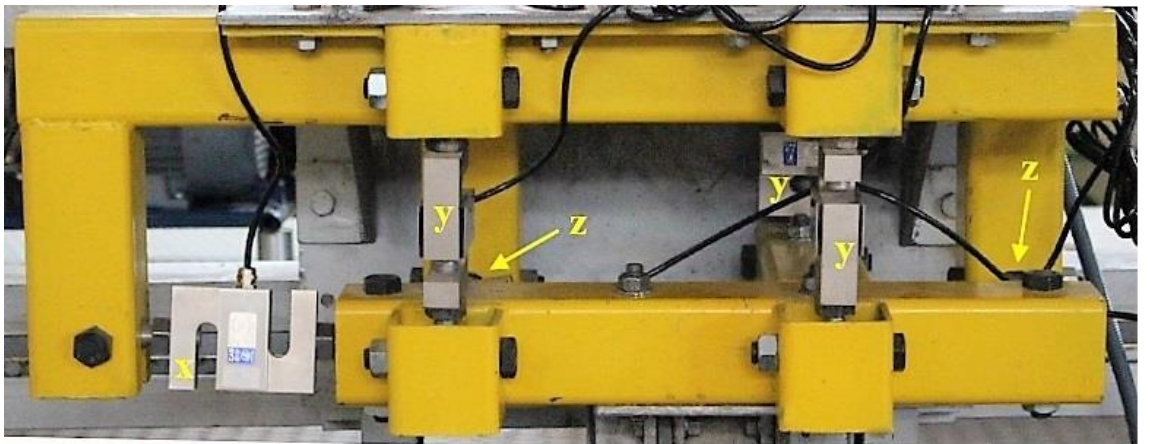
3.2.6. Düşey (kesme), yatay (çeki) ve yan kuvvetlerin belirlenmesi

Diskli tip gömücü ayaklar; düşey (kesme), yatay (çeki) ve çizi duvarına yan etki olmak üzere üç önemli kuvvetin (Şekil 3.12) etkisi altında kalmaktadır (Abu-Hamdeh and Reeder 2003; Armin 2014). Bu kuvvetlerin belirlenmesinde, 6 adet kuvvet sensörü

(loadcell) kullanılmıştır. Sensörler, gömücü ayakların bağlı olduğu payandaya özel bağlantılarla yerleştirilmiştir. Sensörlerden elde edilen sinyaller, Campbell marka, CR1000 tipi datalogerde depolanmış ve bilgisayara Excel formatında aktarılmıştır (Malaslı 2017). Tek diskli tip gömücü ayakların maruz kaldıkları kuvvetlerin belirlenmesinde, %0,02-0,03 bileşik hata oranına sahip, S tipi yük hücreleri (Şekil 3.13) kullanılmıştır (Afify *et al.* 2001; Aminzadeh 2014; Zhang 2016).



Şekil 3.12. Tek diskli tip bir gömücü ayak üzerine etki eden kuvvetler



Şekil 3.13. Düsey (y), yatay (z) ve yan (x) kuvvetlerin ölçümünde kullanılan S tipi yük hücreleri

3.2.7. Makina ilerleme hızı kontrolü

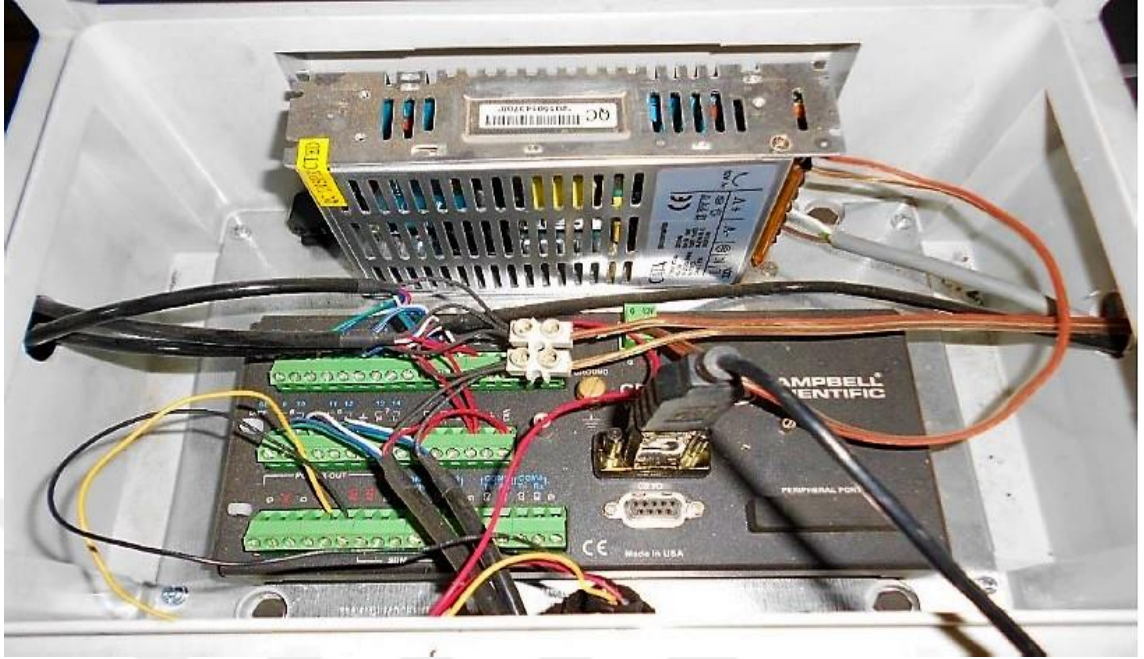
Düşey, yatay ve yan dirençlerle birlikte aynı zamanda kanal arabasının ilerleme hızı da datalogere kaydedilmiştir. Kanal arabasının ilerleme hızı Şekil 3.14'te verilen hız sensörü ile ölçülmüştür. Hız sensörü, kanal arabası tekerinin dönmesiyle birlikte ölçüm almaya başlamış ve her 50 milisaniyede alınan bir sinyal datalogere kaydedilmiştir.



Şekil 3.14. İlerleme hızının belirlenmesinde kullanılan hız sensörü

3.2.8. Yük hücreleri ve hız sensöründen elde edilen verilerin bilgisayara aktarılması

Dataloger tarafından kullanılan Loggernet 4.3. programına tanıtılmış bir bilgisayar programı, hız ve kuvvet sensörlerinden 50 milisaniyede bir aldığı sinyalleri depolamaktadır (Şekil 3.15). Bilgisayara yüklenen bu yazılım aracılığıyla depolanan veriler Excel formatında bilgisayara kaydedilmiştir.



Şekil 3.15. Campbell CR1000 model dataloger

3.2.9. İstatistiksel analiz

Denemelerden elde edilen tüm verilere varyans analizi uygulanmıştır. Analiz sonucu, faktör seviyelerine ait ortalamalar DUNCAN çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuştur. Varyans analizi sonuçlarına ilişkin grafikler ve önemli çıkan interaksiyonların grafikleri Excel ortamında hazırlanmıştır. Araştırmadan elde edilen verilerin varyans analizi ve ortalamaların karşılaştırılması için SPSS paket programından yararlanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Araştırma sonuçları, toprak kanalındaki bütün hazırlıkların tamamlanmasından sonra denemelere başlamadan önce ve denemeler yapıldıktan sonra alınan toprak örneklerinden yapılan ölçümlerden elde edilmiştir. Elde edilen bazı toprak fiziksel özellikleri, kullanılan tek diskli tip gömücü ayakların maruz kaldığı düşey, yatay ve yan kuvvetler, gömücü ayak geçişinden sonra çizi tabanı ve çizi kenarından ölçülen penetrasyon dirençleri, çizi özellikleri ilgili başlıklar halinde toplanmıştır. Varyans analizleri ve çoklu karşılaştırma testlerine tabi tutulan sonuçlar, çizelgeler ve grafikler halinde verilmiştir. Ayrıca, çalışmada kullanılan faktörlerden, çoklu karşılaştırma testine göre istatistiksel olarak önemli çıkan ikili interaksiyonlar da verilmiştir.

4.1. Toprak Fiziksel Özelliklerine İlişkin Sonuçlar

4.1.1. Toprak nem içeriği

Çalışma süresince 4 kez hazırlanan toprak kanalının her hazırlığından sonra denemelere başlamadan önce örnek parsellerinden gerekli ölçümler yapılmıştır. Kanal toprağının nem içeriğinin kontrolü amacıyla her toprak hazırlığından sonra 0-5 cm ve 5-10 cm derinliklerden yapılan ölçümlerin sonucu Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Denemelerde, Erzurum koşullarında kışlık ve yazlık buğday ekimi dönemlerindeki yaygın toprak nem içeriği değerleri göz önünde bulundurulmuştur. Bununla birlikte, hem toprak kanalında hem de tarla koşullarında yürütülen çeşitli araştırmalardan elde edilen veriler de dikkate alınarak; %12 ile %18 olmak üzere iki farklı nem düzeyi bu çalışmada hedef nem düzeyleri olarak seçilmiştir. Denemelere başlamadan önce toprak nem içeriği belirlemek üzere yapılan ölçümlerden elde edilen toprak nem içeriği değerleri, hedef olarak seçilen toprak nem içeriği değerlerine çok yakın olarak bulunmuştur (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Kanal toprağının 0-5 ve 5-10 cm derinliklerdeki nem içeriği (%).

Hedeflenen Toprak Nem İçeriği (%)	Toprak Sıkışma Seviyesi (MPa)	Ölçüm Derinliği (cm)	
		0-5	5-10
12	3	12,5	13,2
12	5	12,5	13,2
18	3	17,1	18,1
18	5	16,7	19,9

4.1.2. Toprak hacim ağırlığı

Çalışmadan elde edilen toprak nem içeriği değerleri kullanılarak, toprak hacim ağırlığı değerleri 0-5 cm ve 5-10 cm derinliklerde tespit edilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2’de verilmiştir. Denemeler için hazırlanan kanal toprağı hacim ağırlığı değerleri genel olarak 1,4 g/cm³ ile 1,7 g/cm³ arasında değişmiştir. 0-5 cm derinlikte her iki nem düzeyinde de sıkışma seviyesi 2 MPa dan 3 MPa çıktığında toprak hacim ağırlığı artış göstermiş ve buna paralel olarak 5-10 cm derinlikte de sıkışma seviyesinin artmasıyla toprak hacim ağırlığında artış olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.2). Beklendiği gibi, toprak sıkışma seviyesi artışına paralel olarak hacim ağırlığı değerleri de artmaktadır (Sutherland *et al.* 2001; Gomez *et al.* 2002; Altıkat 2011).

4.1.3. Toprak penetrasyon direnci

İşleyici organlara düşey yönde etki eden toprak direnci olarak tanımlanan toprak penetrasyon direnci, bitkinin kök gelişimi ve verimini etkileyen önemli bir faktör olarak bilinmektedir. Yapılan birçok araştırmada toprak penetrasyon direncinin 3 MPa ve daha fazla olması, bitki kök gelişimini engelleyici sınır olduğu kabul edilmektedir (Busscher and Sojka 1987; Hakansson and Lipiec 2000; Altıkat 2011). Aynı zamanda toprağın üst 5 cm’deki penetrasyon direnci değeri gömücü ayak performansı için çok önemlidir (Gupta *et al.* 1990).

Çizelge 4.2. 0-5 cm ve 5-10 cm derinlikteki toprak hacim ağırlığı değerleri (g/cm³)

Toprak Nem İçeriği (%)	Toprak Sıkışma Seviyesi (MPa)	Ölçüm Derinliği (cm)	
		0-5	5-10
12	2	1,5	1,4
12	3	1,6	1,5
18	2	1,6	1,5
18	3	1,7	1,6

Toprak penetrasyon direncini belirlemek için kanal toprağı hazırlandıktan sonra, rastgele seçilen örnek alma parsellerin her birinden beş tekerrür olacak şekilde ölçümler yapılmıştır. Buna göre, kanal toprağı sıkışma seviyesinin istenilen düzeyde olup olmadığı yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçlara göre kontrol edilmiştir. 0-5, 5-10, 10-15 ve 15-20 cm ölçüm derinliklerinden alınan ortalama toprak penetrasyon direnci değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre aynı ölçüm derinliklerinde toprak nem içeriği ve sıkışma seviyesindeki artışa paralel olarak toprak penetrasyon dirençleri de artış göstermiştir. Toprak penetrasyon direnci 0-5 cm derinlikte 1,7 ile 2,1 MPa arasında, 5-10 cm derinlikte ise 1,8 ile 2,3 MPa arasında değişiklik göstermiştir.

Çizelge 4.3. Farklı ölçüm derinliklerinde toprak penetrasyon direnci değerleri (MPa)

Toprak Nem İçeriği (%)	Toprak Sıkışma Seviyesi (MPa)	Ölçüm Derinliği (cm)			
		0-5	5-10	10-15	15-20
12	2	1,7	1,8	2,0	1,9
12	3	1,8	1,9	2,5	2,3
18	2	2,0	2,0	2,1	2,0
18	3	2,1	2,3	2,6	2,4

4.2. Çeki, Düşey ve Yan Kuvvetler ile İlgili Sonuçlar

Araştırmada, farklı toprak nem içerikleri, sıkışma seviyeleri ve çalışma derinliklerinin tek diskli tip gömücü ayaklara gelen kuvvetlere olan etkilerini belirlemek için kullanılan yük sensörlerinden anlık olarak ölçülen veriler datalogger tarafından kaydedilerek bilgisayara aktarılmış ve değerlendirmeler yapılmıştır. Elde edilen çeki, düşey ve yan kuvvetlere uygulanan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.4'te ve ortalamalara ilişkin çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Çeki, düşey ve yan kuvvetlere ilişkin varyans analizi önemlilik (P) değerleri

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Ölçülen Kuvvetler		
		Düşey Kuvvet	Çeki Kuvveti	Yan Kuvvet
Nem	1	0,000	0,000	0,706
Sıkışma	1	0,245	0,689	0,223
Derinlik	1	0,000	0,000	0,173
Ayak tipi	4	0,000	0,000	0,000
Nem*sıkışma	1	0,047	0,234	0,239
Sıkışma*derinlik	1	0,866	0,459	0,314
Derinlik*ayak tipi	4	0,018	0,000	0,000
Nem*derinlik	1	0,185	0,095	0,121
Nem*ayak tipi	4	0,021	0,000	0,000
Sıkışma*ayak tipi	4	0,820	0,438	0,703
Nem*sıkışma*derinlik	1	0,918	0,996	0,705
Sıkışma*derinlik*ayak tipi	4	0,205	0,746	0,181
Nem*sıkışma*ayak tipi	4	0,086	0,204	0,043
Nem*derinlik*ayak tipi	4	0,585	0,757	0,045
Nem*sıkışma*derinlik*ayak tipi	4	0,948	0,734	0,607

Çizelge 4.5. Çeki, düşey ve yan kuvvetlere ilişkin çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Disk Tipi	Ölçülen Kuvvetler (N)			Sıkışma Derecesi	Ölçülen Kuvvetler (N)		
	Düşey	Çeki	Yan		Düşey	Çeki	Yan
Konkav	130,0 a	122,7 a	184,5 a	2 MPa	97,3	150,2	24,4
Kertikli	96,9 ab	109,9 a	147,9 b	3 MPa	83,4	152,1	33,5
Dalgalı	127,7 a	184,7 c	155,4 c				
Yivli	70,0 b	176,9 c	155,6 c				
Düz	27,0 c	161,6 b	166,2 c				

Batma Derinliği	Ölçülen Kuvvetler (N)			Nem İçeriği	Ölçülen Kuvvetler (N)		
	Düşey	Çeki	Yan		Düşey	Çeki	Yan
50 mm	48,9	126,1	34,1	%12	22,4	132,3	27,7
75 mm	131,7	176,1	23,9	%18	158,3	169,9	30,4

Farklı diskli tip gömücü ayaklar üzerine etki eden düşey, çeki ve yan kuvvet verilerine uygulanan varyans analizi sonuçlarına göre; farklı toprak nem seviyeleri ve çalışma derinliklerinin yan kuvvet üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemsiz iken düşey kuvvet ile çeki kuvvetine olan etkisi istatistiksel olarak çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur. Gömücü ayak tipinin düşey, çeki ve yan kuvvetlere olan etkisi çok önemli ($p<0,01$) bulunurken, farklı toprak sıkışma düzeylerinin bu kuvvetlere etkisi önemsiz çıkmıştır.

İnteraksiyonlar incelendiğinde; derinlik*ayak tipi interaksiyonunun çeki kuvveti ve yan kuvvet üzerine etkisi çok önemli ($p<0,01$), nem*ayak tipi interaksiyonunun düşey kuvvet üzerine etkileri önemli, çeki ve yan kuvvet üzerine etkileri ise çok önemli bulunmuştur ($p<0,01$). Nem*sıkışma ikili interaksiyonunun düşey kuvvet üzerine etkisi ve nem*sıkışma*ayak tipi ve nem*derinlik*ayak tipi üçlü interaksiyonlarının yan kuvvete etkisi önemli ($p<0,05$) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.4).

Çalışmada faktör olarak kullanılan parametrelerin çeki, düşey ve yan kuvvetlere olan etkilerine ilişkin varyans analizinden elde edilen ortalamalara DUNCAN çoklu karşılaştırma testleri uygulanmış, elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'te verilmiştir. Çizelge 4.5 incelendiğinde; toprak sıkışma seviyesinin artmasıyla düşey kuvvette azalma

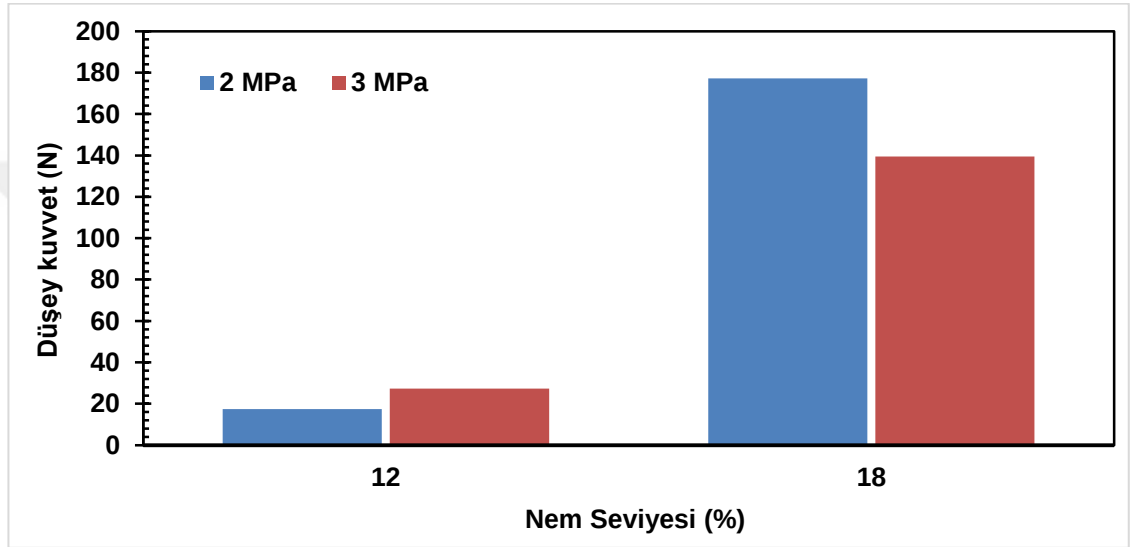
meydana gelirken, çeki ve yan kuvvetlerde artış meydana gelmiştir. 2 MPa toprak sıkışma düzeyinde diske gelen yan kuvvet 24,4 N olurken, 3 MPa sıkışma düzeyinde bu değer 33,5 N'a çıkmıştır. Toprak sıkışma düzeyinin artması diske etki eden düşey kuvveti %16,6 azaltırken, çeki kuvvetini %1,3 ve yan kuvveti ise %37,2 oranında artırmıştır (Çizelge 4.5).

Çalışma derinliğinin artması yan kuvvette azalma meydana getirirken, çeki kuvvetinde %39'luk, düşey kuvvette ise 48,9'den 131,7 N'a çıkarak %173 oranında önemli bir artışa sebep olmuştur (Çizelge 4.5). Bu durum, gömücü ayakların çalışma derinliği arttıkça, daha fazla toprak ile karşılaşması ve bu derinlikte çizi açabilmesi için daha fazla enerji ihtiyacına gerek duyması şeklinde açıklanabilir. Collins and Fowler (1996), tarafından çeşitli gömücü ayaklar ile yapılan bir araştırmada destekler nitelikte olup, ekim derinliğinin 1 cm'den 5 cm'ye arttırılmasının özgül çeki kuvvetini arttırdığı bildirilmiştir.

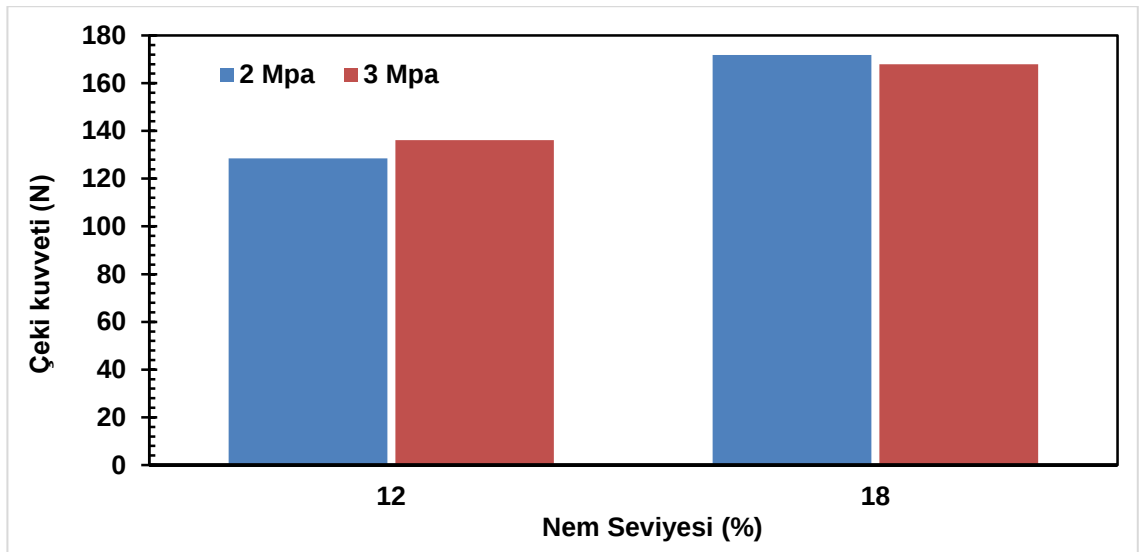
Toprak nem içeriğinin artması gömücü ayaklara etki eden düşey kuvveti 22,4 N' dan 158,3 N'a çıkararak, yaklaşık 7 kat artmasına yol açmıştır. Toprak nem düzeyinin %12'den %18'e çıkması çeki kuvvetinin %1,3 oranında, yan kuvvetin ise %10,2 oranında artmasına sebep olmuştur (Çizelge 4.5). Benzer bir çalışmada, yön ve durum açısı olmaksızın 460 mm çapındaki ayak tipi için 50 mm çalışma derinliğinde gerekli çeki kuvvetinin anızsız koşullarda yaklaşık 90 N, anızlı koşullarda ise 190 N civarında olduğu saptanmıştır. Aynı çalışmada, düşey kuvvet ihtiyacının ise anızsız koşullarda 200 N ve anızlı koşullarda 400 N olduğunu belirlemişlerdir (Kushwaha *et al.* 1986a).

Gömücü ayaklara gelen düşey kuvvetin değişimine etki eden ve istatistiksel olarak önemli bulunan nem*sıkışma intreraksiyonuna göre elde edilen değerlerin değişimi Şekil 4.1'de verilmiştir. Şekilde, toprak nem içeriği ve sıkışma düzeyinin artışına bağlı olarak düşey kuvvet ihtiyacının arttığı görülmektedir. Buna göre, %12 toprak nem içeriği ve 2 MPa toprak sıkışma düzeyi için kuvvet 17,4 N olarak elde edilirken, nem düzeyinin %18'e çıkmasıyla düşey kuvvet yaklaşık 10 kat artarak 177,1 N olmuştur.

%12 toprak nemi ve 3 MPa toprak sıkışma düzeyinde düşey kuvvet 27,4 N' a yükselmiştir. Sonuç olarak, %12 nem içeriğinde, toprak sıkışma seviyesinin 2 MPa'dan 3 MPa'a çıkması düşey kuvveti çok fazla etkilemezken, nem ile birlikte sıkışmanın artması düşey kuvvetin artmasına yol açmıştır (Şekil 4.1). Toprak nemi ve sıkışma derecesinin çeki kuvvetine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Şekil 4.2).



Şekil 4.1. Toprak nem içeriği ve sıkışma düzeyine bağlı olarak düşey kuvvetin değişimi



Şekil 4.2. Toprak nem içeriği ve sıkışma derecesine bağlı olarak çeki kuvveti değişimi

4.3. Gömücü Ayak Geçişinden Sonra Penetrasyon Direnci İle İlgili Sonuçlar

4.3.1. Çizi tabanı penetrasyon direnci

Araştırmada gömücü ayak geçişinden sonra, üzerinde durulan faktörlerin çizi tabanı ile çizi duvarının sıkışmasına etkilerini belirlemek için çizi içerisinden ve çizi kenarından 15 cm derinliğe kadar penetrasyon direnci ölçümleri yapılmıştır. Çizi tabanı penetrasyon direnci ölçümlerine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 4.6'da ve ortalamalara ilişkin sonuçlar Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Gömücü ayak geçişinden sonra çizi tabanı penetrasyon direnci varyans analizi önemlilik (P) değerleri.

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Ölçüm Derinliği (cm)		
		0-5	5-10	10-15
Nem	1	0,000	0,358	0,000
Sıkışma	1	0,756	0,433	0,131
Derinlik	1	0,030	0,277	0,385
Ayak tipi	4	0,107	0,001	0,000
Nem*sıkışma	1	0,080	0,599	0,002
Sıkışma*derinlik	1	0,810	0,756	0,607
Derinlik*ayak tipi	4	0,908	0,612	0,340
Nem*derinlik	1	0,334	0,407	0,941
Nem*ayak tipi	4	0,140	0,352	0,033
Sıkışma*ayak tipi	4	0,714	0,613	0,703
Nem*sıkışma*derinlik	1	0,472	0,923	0,363
Sıkışma*derinlik*ayak tipi	4	0,940	0,844	0,571
Nem*sıkışma*ayak tipi	4	0,885	0,565	0,823
Nem*derinlik*ayak tipi	4	0,631	0,964	0,859
Nem*sıkışma*derinlik*ayak tipi	4	0,814	0,986	0,276

Çizelge 4.7. Gömücü ayak geçişinden sonra çizi tabanı penetrasyon direnci (MPa) ortalama değerleri.

Disk Tipi	Ölçüm Derinliği (cm)			Sıkışma Derecesi	Ölçüm Derinliği (cm)		
	0-5	5-10	10-15		0-5	5-10	10-15
Konkav	1,14	1,39	1,68	2 MPa	1,28	1,50	1,39
Kertikli	1,48	2,21	1,51	3 MPa	1,31	1,61	1,51
Dalgalı	1,25	1,43	1,29				
Yivli	1,47	1,53	1,15				
Düz	1,19	1,21	1,60				

Batma Derinliği	Ölçüm Derinliği (cm)			Nem Seviyesi	Ölçüm Derinliği (cm)		
	0-5	5-10	10-15		0-5	5-10	10-15
50 mm	1,19	1,47	1,41	%12	1,12	1,62	1,61
75 mm	1,40	1,63	1,48	%18	1,47	1,49	1,29

Elde edilen sonuçlara göre, 0-5 cm derinlikte çizi tabanı penetrasyon direnci üzerinde toprak nem içeriğinin istatistiksel olarak çok önemli ($p<0,01$) ve çalışma derinliğinin ise önemli ($p<0,05$) olduğu saptanmıştır. 5-10 cm derinlikte gömücü ayak tipi önemli, 10-15 cm derinlikte ise nem ve ayak tipi çok önemli ($p<0,01$) bulunurken, nem*sıkışma ve nem*ayak tipi interaksiyonları ise istatistiksel olarak çok önemli bulunmuştur ($p<0,05$) (Çizelge 4.6).

0-5 cm ölçüm derinliğinde kullanılan konkav tip gömücü ayakta çizi tabanı penetrasyon direnci en düşük (1,14 MPa) çıkarken, kertikli ve yivli tip ayaklarda en yüksek (1,5 MPa) sıkışma değerleri elde edilmiştir. 5-10 cm ölçüm derinliğinde en yüksek (2,2 MPa) penetrasyon direnci kertikli tip ayakta meydana gelirken, en düşük değer (1,2 MPa) düz diskli tip gömücü ayakta elde edilmiştir. 10-15 cm ölçüm derinliğinde konkav ve düz tip disk en fazla (1,7 MPa, 1,6 MPa) toprak sıkışmasına sebep olurken, yivli tip disk en düşük (1,2 MPa) sıkışmayı meydana getirmiştir (Çizelge 4.7).

Beklendiği gibi, 2 MPa toprak sıkışma seviyesinde yapılan denemelerde çizi tabanı penetrasyon direnci değerleri, 3 MPa sıkışma seviyesinde yapılan denemelerde alınan değerlerden daha düşük olduğu görülmüştür. Denemelerde, toprak sıkışma derecesi 2 MPa'dan 3 MPa'a çıkartıldığında 0-5 cm ölçüm derinliğinde çizi tabanı penetrasyon direnci %2,3, 5-10 cm ölçüm derinliğinde %7,3 ve 10-15 cm ölçüm derinliğinde ise %8,6 artış göstermiştir. 50 mm ve 75 mm çalışma derinliklerinde yapılan denemelerde elde edilen verilere bakıldığında disk batma derinliğinin artışı çizi tabanı penetrasyon dirençlerini; 0-5 cm ölçüm derinliğinde %17,6, 5-10 cm ölçüm derinliğinde %10,9 ve 10-15 cm ölçüm derinliğinde ise %5 oranlarında artırdığı tespit edilmiştir.

%18 toprak nem içeriğinde yapılan denemelerden elde edilen çizi tabanı penetrasyon direnci değerleri %12 nem seviyesinde alınan değerlerden; 0-5 cm ölçüm derinliğinde %31,2 artışa, 5-10 cm ölçüm derinliğinde %8,7 azalmaya ve 10-15 cm ölçüm derinliğinde ise %24,8 artışa neden olmuştur (Çizelge 4.7). Altıkat (2011), tek diskli tip gömücü ayaklara sahip makine ile yazlık fiğde yaptığı çalışmada 0-5 cm derinlikte sıra üzeri penetrasyon direncini ortalama 1,21 MPa olarak tespit etmiştir.

4.3.2. Çizi kenarı penetrasyon direnci

Gömücü ayak geçişinden sonra açılan çizilerin her iki kenarından yapılan penetrasyon direnci ölçümlerine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 4.8'de, ortalamalara ilişkin çoklu karşılaştırma testi sonuçları ise Çizelge 4.9'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, 0-5, 5-10 ve 10-15 cm'den oluşan üç farklı ölçüm derinliğinde de farklı tip gömücü ayak disk tiplerinin çizi kenarı penetrasyon direncine olan etkisi istatistiksel olarak çok önemli bulunmuştur. Ancak, sonuçlar incelendiğinde 0-5 cm ölçüm derinliğinde nem içeriği ve ayak tipi faktörleri çok önemli ($p<0,01$), nem*ayak tipi ve nem*sıkışma*ayak tipi interaksiyonları önemli bulunmuştur ($p<0,05$). 5-10 cm ölçüm derinliğinde sadece nem faktörü çok önemli ($p<0,01$), 10-15 cm ölçüm derinliğinde ise gömücü ayak tipi istatistiksel olarak önemli çıkmıştır (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Gömücü ayak geçişinden sonra çizi kenarı penetrasyon direnci varyans analizi önemlilik (P) değerleri.

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Ölçüm Derinliği (cm)		
		0-5	5-10	10-15
Nem	1	0,000	0,000	0,025
Sıkışma	1	0,141	0,439	0,510
Derinlik	1	0,074	0,325	0,327
Ayak tipi	4	0,000	0,006	0,001
Nem*sıkışma	1	0,007	0,588	0,302
Sıkışma*derinlik	1	0,575	0,786	0,696
Derinlik*ayak tipi	4	0,383	0,539	0,650
Nem*derinlik	1	0,659	0,549	0,510
Nem*ayak tipi	4	0,002	0,336	0,755
Sıkışma*ayak tipi	4	0,306	0,570	0,997
Nem*sıkışma*derinlik	1	0,689	0,588	0,777
Sıkışma*derinlik*ayak tipi	4	0,841	0,909	0,640
Nem*sıkışma*ayak tipi	4	0,004	0,353	0,663
Nem*derinlik*ayak tipi	4	0,336	0,666	0,613
Nem*sıkışma*derinlik*ayak tipi	4	0,268	0,928	0,579

Çizelge 4.9. Gömücü ayak geçişinden sonra çizi kenarı penetrasyon direnci (MPa) ortalama değerleri.

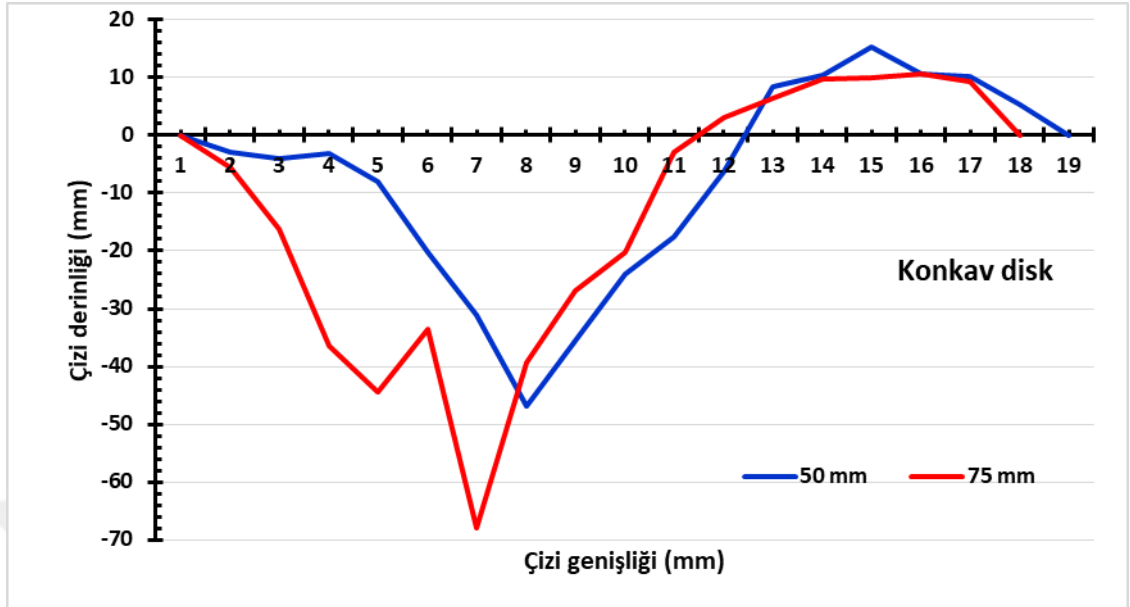
Disk Tipi	Ölçülen Kuvvetler (N)			Sıkışma Derecesi	Ölçülen Kuvvetler (N)		
	0-5	5-10	10-15		0-5	5-10	10-15
Konkav	1,10	1,48	1,92	2 MPa	1,33	1,62	1,98
Kertikli	1,35	1,84	2,44	3 MPa	1,27	1,55	1,90
Dalgalı	1,34	1,45	1,84				
Yivli	1,42	1,74	1,94				
Düz	1,29	1,42	1,58				

Batma Derinliği	Ölçülen Kuvvetler (N)			Nem Seviyesi	Ölçülen Kuvvetler (N)		
	0-5	5-10	10-15		0-5	5-10	10-15
50 mm	1,34	1,63	2,00	%12	0,99	1,36	2,08
75 mm	1,26	1,54	1,88	%18	1,61	1,81	1,80

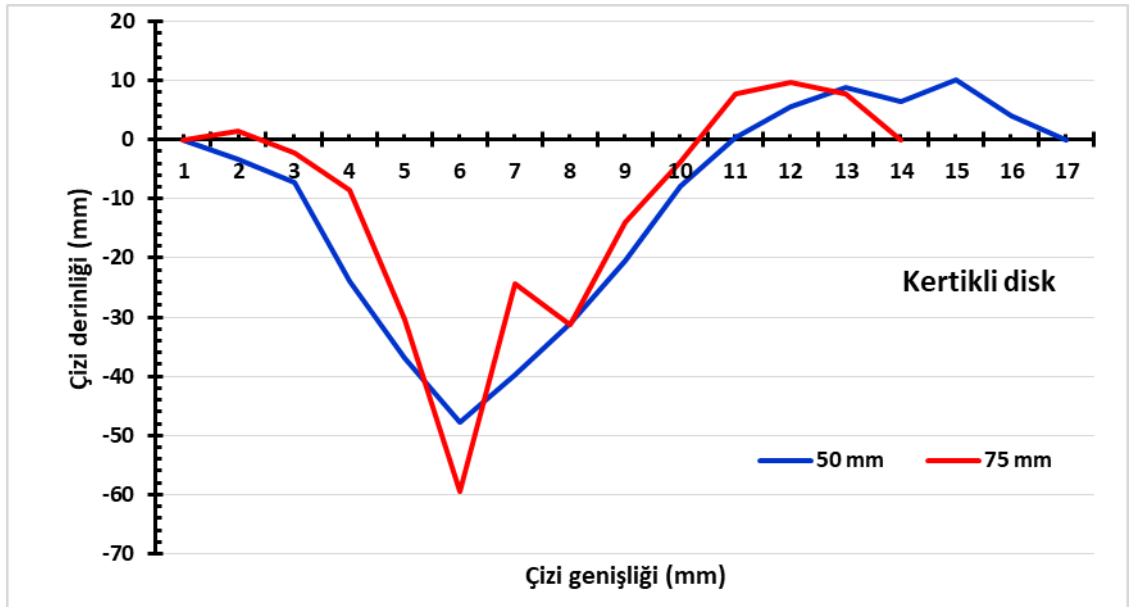
Çizi kenarı penetrasyon direnci ortalama değerleri incelendiğinde; 0-5 cm ölçüm derinliğinde en düşük penetrasyon direnci 1,10 MPa ile konkav tip diskte ortaya çıkarken, en yüksek penetrasyon direncine 1,42 MPa ile yivli tip disk neden olmuştur. 5-10 cm ölçüm derinliğinde en düşük değer 1,42 MPa ile düz diskte elde edilirken, kertikli tip disk 1,84 MPa ile 1,3 kat daha fazla dirence yol açmıştır. 10-15 cm ölçüm derinliğinde ise maksimum toprak penetrasyon direnci 2,44 MPa ile kertikli tip disk geçişinden sonra elde edilirken, en düşük değere ise 1,58 MPa ile düz tip yol açmıştır (Çizelge 4.9). Toprak sıkışma derecesinin 2 MPa'dan 3 MPa'a çıkması beklenenin aksine; 0-5 cm ölçüm derinliğinde %4,7, 5-10 cm ölçüm derinliğinde %4,5 ve 10-15 cm ölçüm derinliğinde %4,2 düşüş göstermiştir (Çizelge 4.9). Disk batma derinliğinin 50 mm'den 75 mm'ye çıkması, çizi kenarı penetrasyon direncini düşürmüştür (Çizelge 4.9). Toprak nem içeriği %12'den %18'e çıkmasıyla gömücü ayakların toprağa batması zorlaştığı için tüm ölçüm derinliklerinde penetrasyon direncinde önemli artışlar meydana gelmiştir (Çizelge 4.9).

4.4. Çizi Profili İle İlgili Sonuçlar

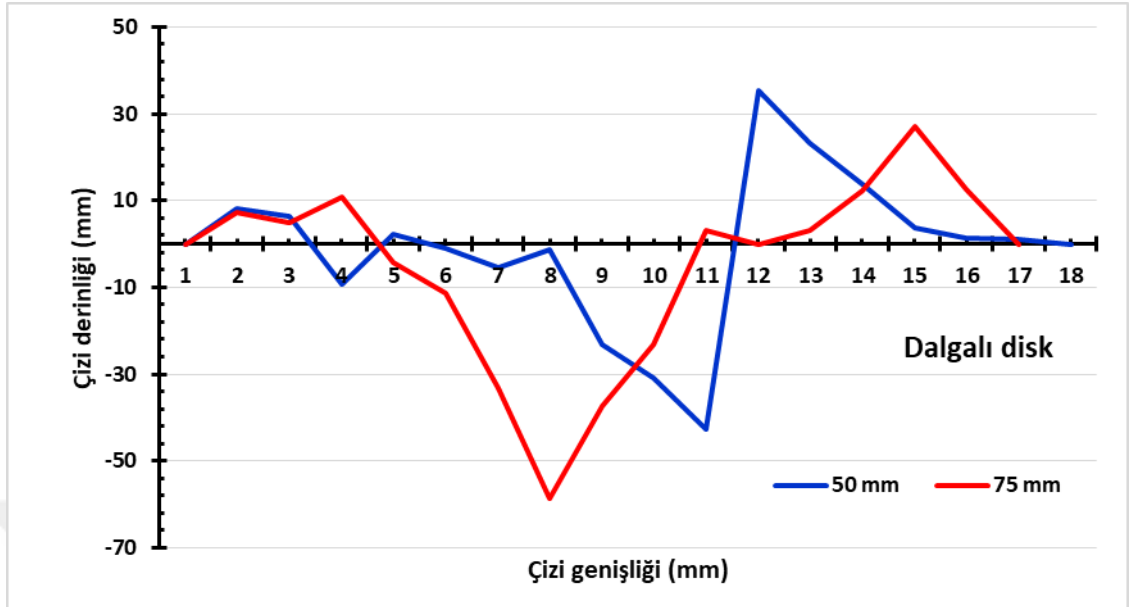
Farklı diskli tip gömücü ayakların %12 toprak nem içeriği, 2 MPa toprak sıkışma düzeyi ve 50 mm ile 75 mm disk batma derinliği koşullarında çizi profili ve toprak kabarmasına olan etkileri Şekil 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7' de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, konkav ve kertikli tip diskler çizi profili açısından daha geniş çizi açarken (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4), dalgalı, yivli ve düz tip diskli gömücü ayaklar daha dar çiziler ortaya çıkarmıştır (Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7). Minimum çizi genişliğini dalgalı tip gömücü ayak açarken (Şekil 4.5) maksimum çizi genişliğini konkav (Şekil 4.3) disk vermiştir. Konkav, kertikli ve dalgalı tip gömücü ayaklar daha fazla toprak kabarmasına yol açarken, yivli ve düz disklerde toprak kabarma miktarı daha az bulunmuştur. Tüm gömücü ayaklar ile ideal çizi derinliğine yakın değerlere ulaşılmıştır. 75 mm batma derinliğine göre çizi profilinin değişimi incelendiğinde, 50 mm batma derinliğinin aksine genellikle birbirine yakın çizi profilleri ortaya çıkmıştır. Konkav ve kertikli tip gömücü ayakların açtığı çizi genişliği daha büyük olurken, yivli ve düz tip disklerin daha dar çizi açtıkları tespit edilmiştir (Şekil 4.3 – 4.7).



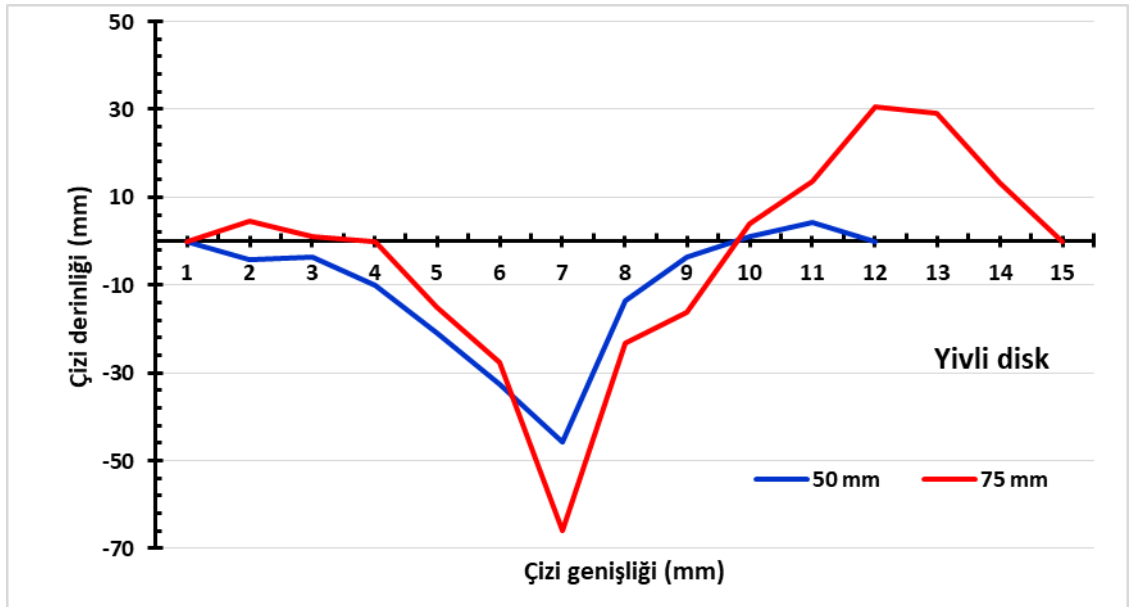
Şekil 4.3. Konkav tip diskli gömücü ayağın %12 nem ve 2 MPa toprak sıkışması koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizi profili.



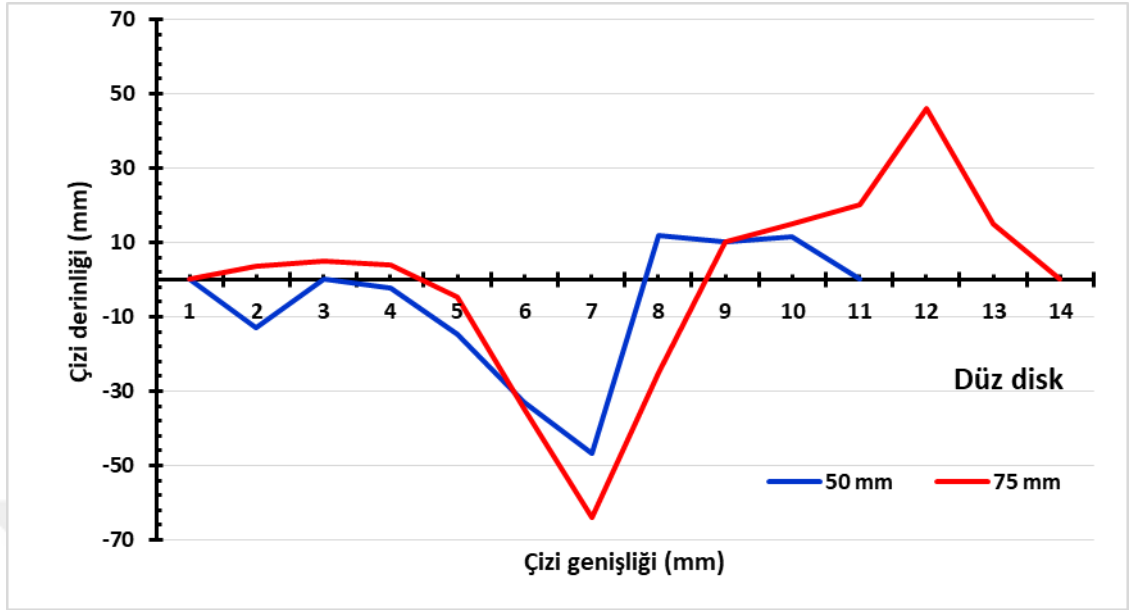
Şekil 4.4. Kertikli tip diskli gömücü ayağın %12 nem ve 2 MPa toprak sıkışması koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizi profili.



Şekil 4.5. Dalgali tip diskli gömücü ayağın %12 nem ve 2 MPa toprak sıkışması koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizi profili.



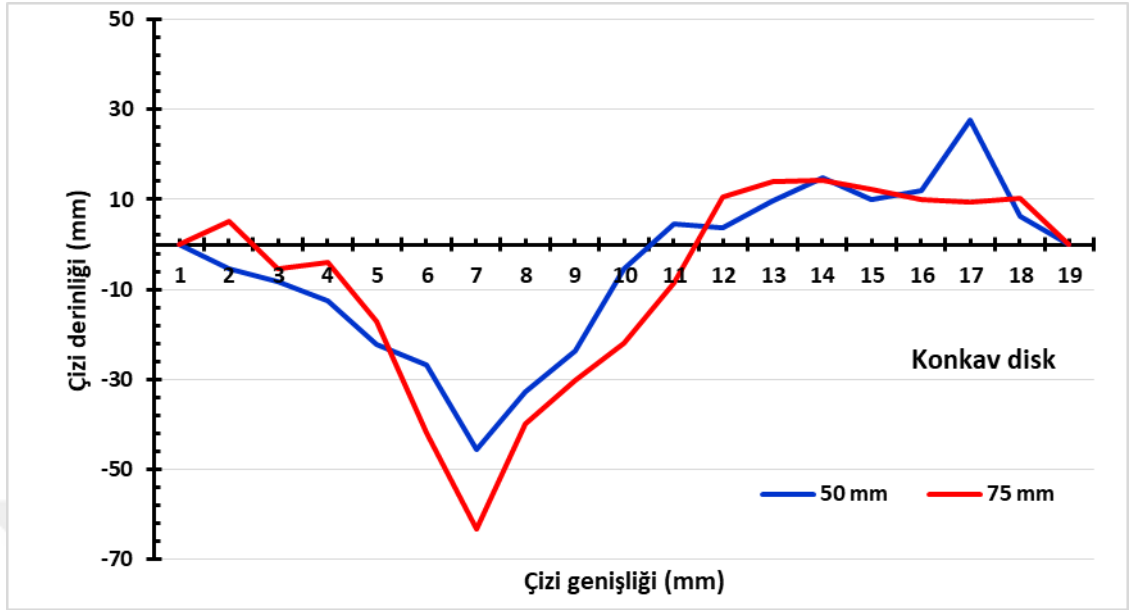
Şekil 4.6. Yivli tip diskli gömücü ayağın %12 nem ve 2 MPa toprak sıkışması koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizi profili.



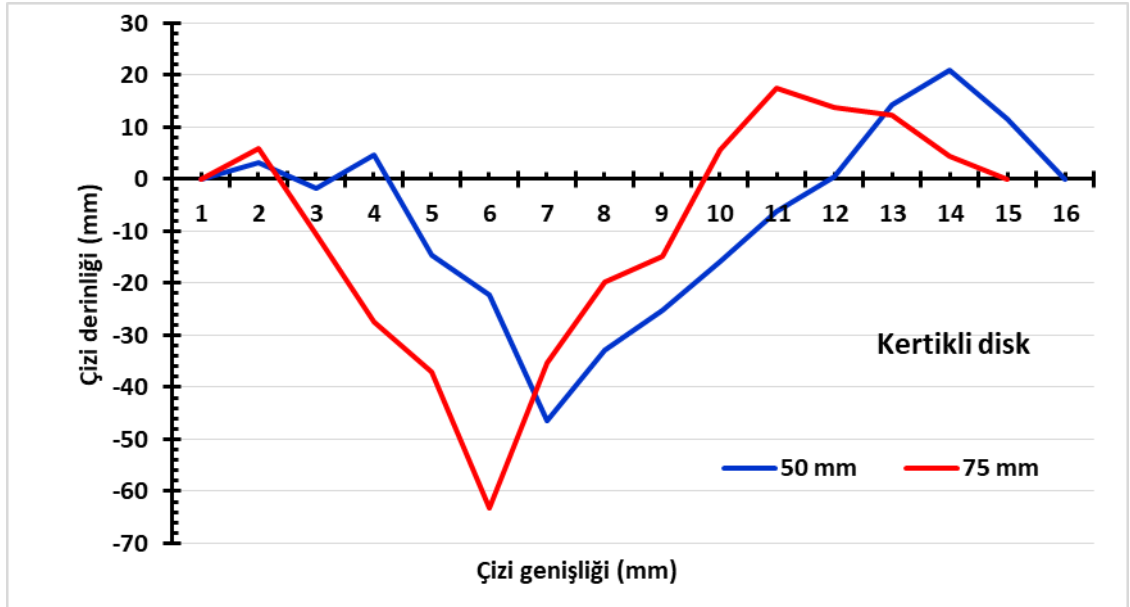
Şekil 4.7. Düz tip diskli gömücü ayağın %12 nem ve 2 MPa toprak sıkışması koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizi profili.

%12 toprak nem içeriği ve 3 MPa sıkışma seviyesi koşullarında farklı disk tipleri ile elde edilen toprak kabarması ile çizi profilleri çalışma derinliklerine göre Şekil 4.8 – 4.12’ de verilmiştir. 50 mm çalışma derinliğinde disklerin açmış olduğu çizi genişliği ve çizi derinliği incelendiğinde konkav ve kerklikli tip diskte maksimum çizi genişliği elde edilirken (Şekil 4.8 ve Şekil 4.9), yivli ve düz tip disklerin açmış olduğu çizilerin ise daha dar olduğu görülmektedir (Şekil 4.11 ve Şekil 4.12).

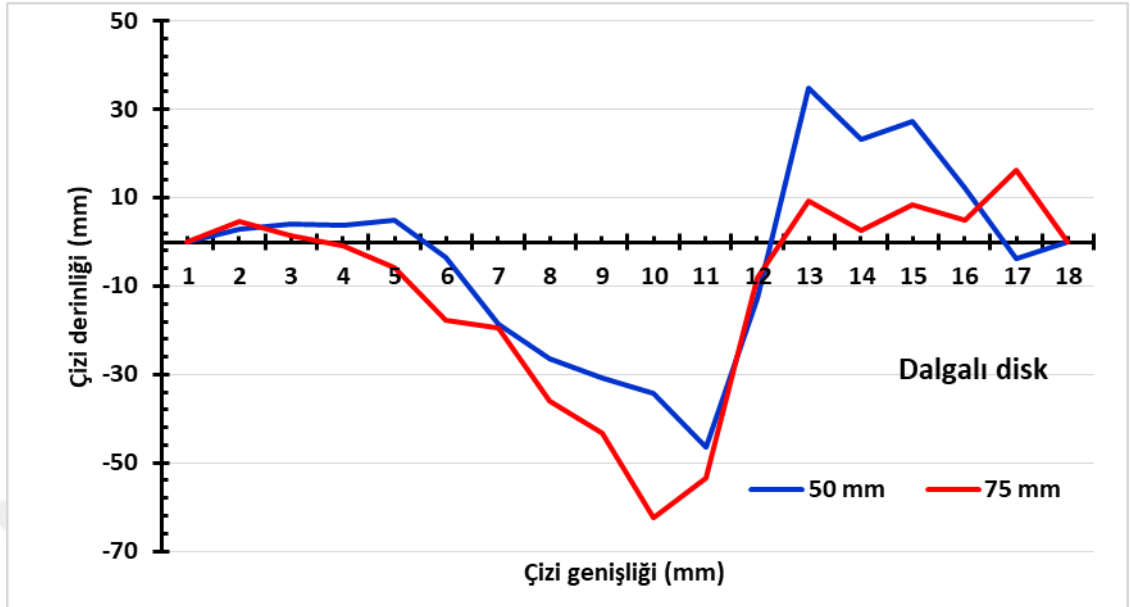
Çizi profilleri incelendiğinde 3 MPa toprak sıkışma düzeyi ve %12 toprak nem seviyesinde gömücü ayakların istenilen derinliğe yakın çizi açıkları belirlenmiştir (Şekil 4.8 – 4.12). Bütün diskli tip gömücü ayaklar ile istenilen çizi derinliğine yakın değerler elde edilirken, çizi bölgesinde üst bölgede yığılarak biriken ve gevşetilen toprak olarak dikkate alınan toprak bozulma miktarı konkav, kerklikli ve dalgalı tip disklerde daha yüksek çıkmıştır. Disk tiplerine göre toprak bozulma miktarları Şekil 4.8 – 4.12’ de verilmiştir.



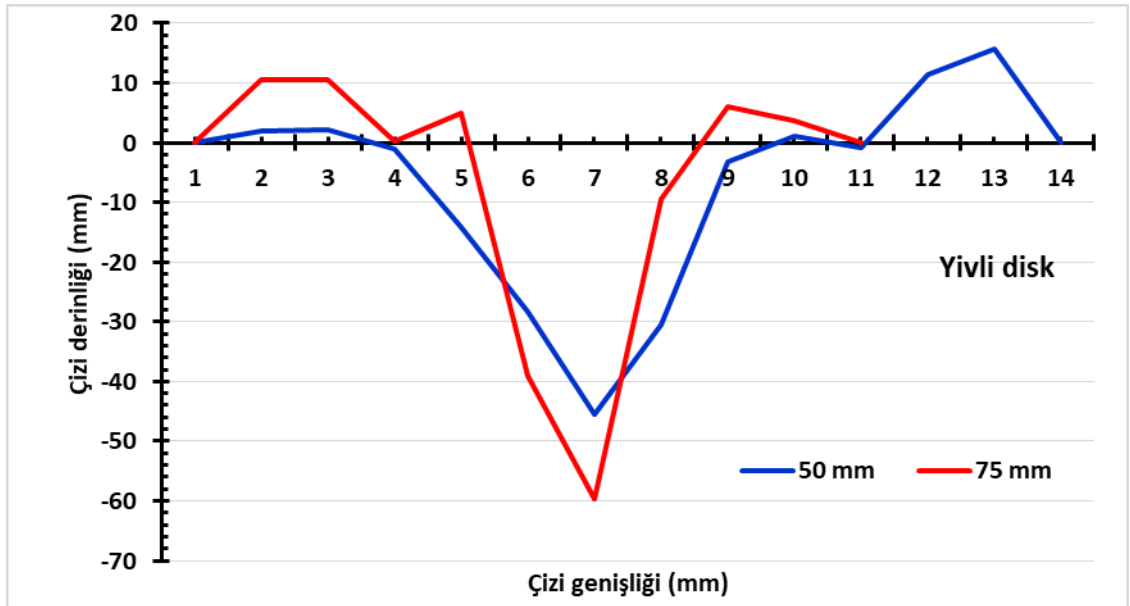
Şekil 4.8. Konkav tip diskli gömücü ayağın %12 nem ve 3 MPa toprak sıkışması koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizi profili.



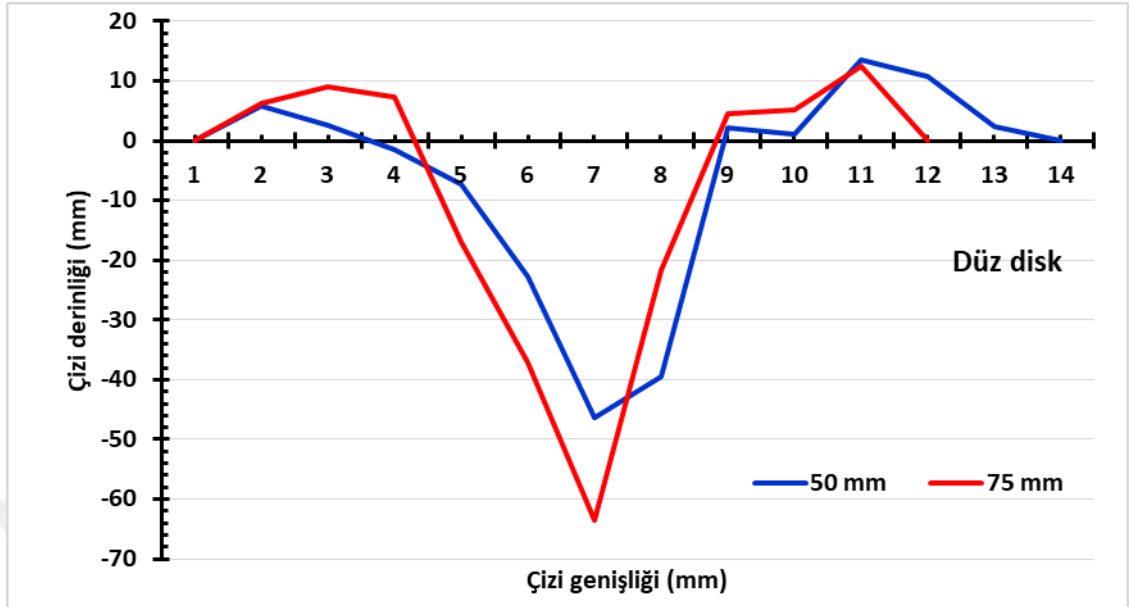
Şekil 4.9. Kertikli tip diskli gömücü ayağın %12 nem ve 3 MPa toprak sıkışması koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizi profili.



Şekil 4.10. Dalgali tip diskli gömücü ayağın %12 nem ve 3 MPa toprak sıkışması koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizi profili.



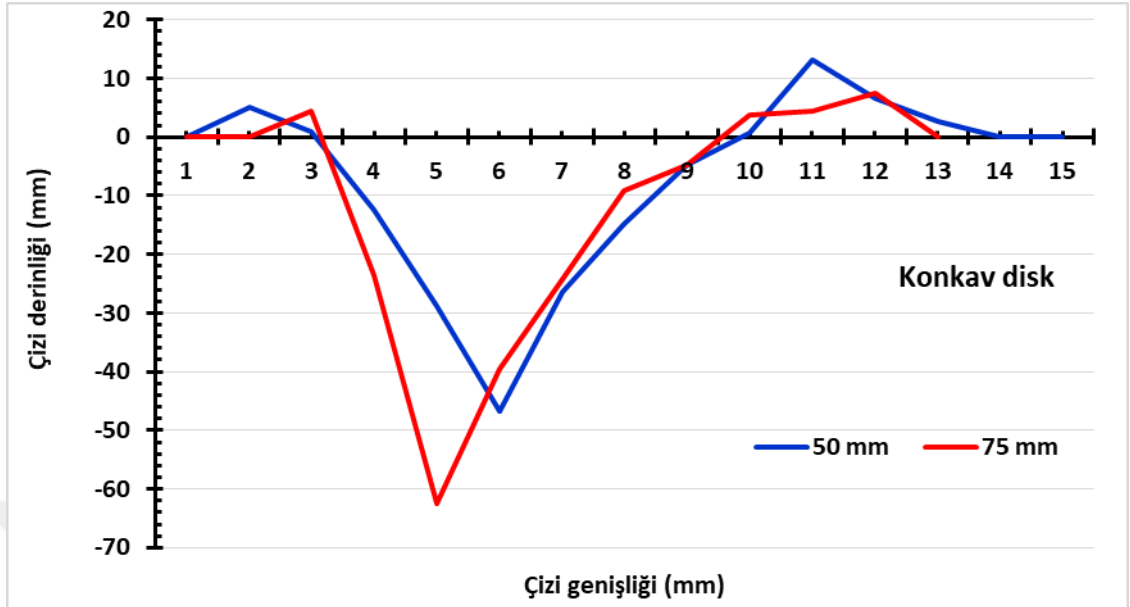
Şekil 4.11. Yivli tip diskli gömücü ayağın %12 nem ve 3 MPa toprak sıkışması koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizi profili.



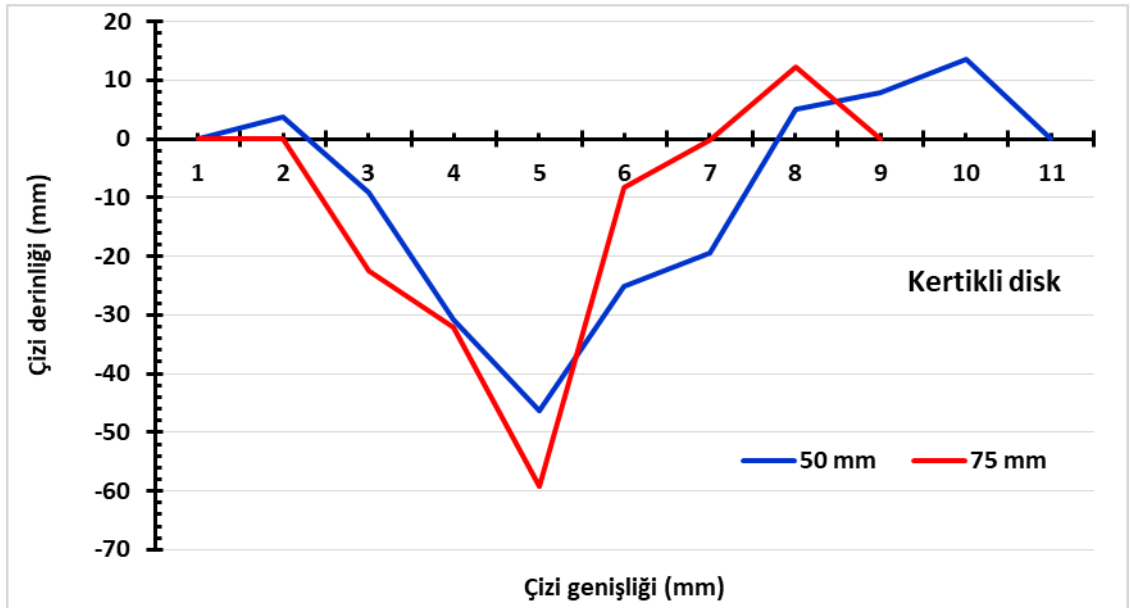
Şekil 4.12. Düz tip diskli gömücü ayağın %12 nem ve 3 MPa toprak sıkışması koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizi profili.

Gömücü ayakların %18 toprak nem içeriği ile 2 MPa toprak sıkışma düzeyi koşullarında, 50 mm ve 75 mm çalışma derinliklerinde çizi profili ve toprak kabarmasına olan etkileri Şekil 4.13 – 4.17’ de verilmiştir. Elde edilen çizi profillerine göre, konkav, kerklikli ve dalgalı tip gömücü ayaklar daha geniş bir çizi açarken, yivli ve düz tip diskli gömücü ayaklar daha dar çiziler açmıştır. Minimum çizi genişliği düz tip gömücü ayakta, maksimum çizi genişliği ise konkav tip diskte elde edilmiştir (Şekil 4.13, Şekil 4.17). Konkav, kerklikli ve dalgalı tip gömücü ayaklar daha fazla toprak kabarmasına yol açarken, yivli ve düz diskli tip gömücü ayaklar aynı düzeyde toprak kabarması meydana getirmemiştir.

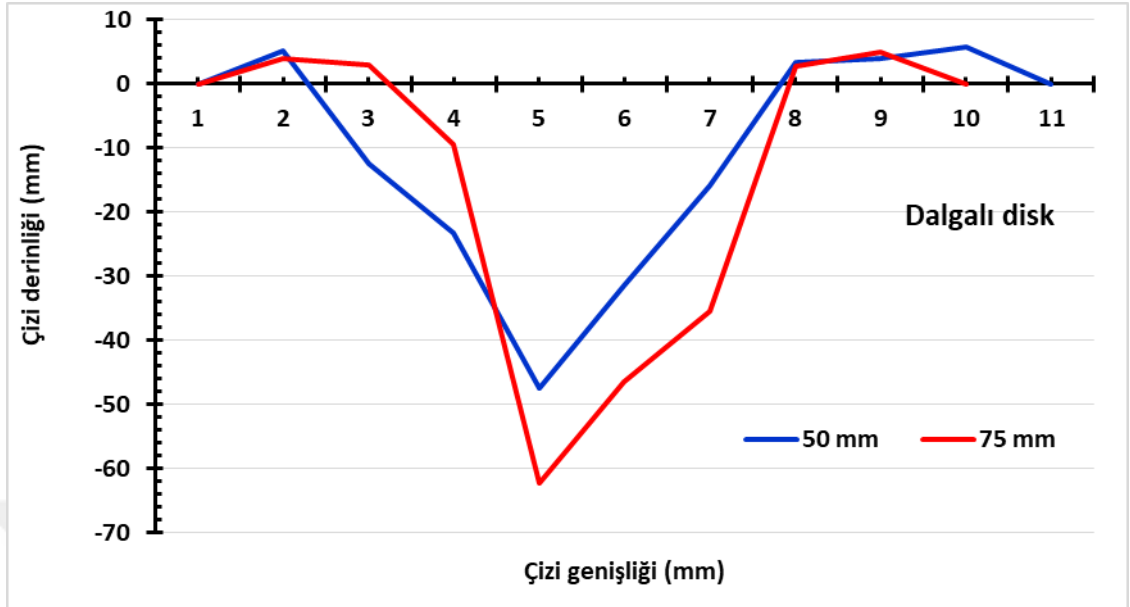
%18 toprak nem içeriği ve 2 MPa toprak sıkışma düzeyinde de tüm gömücü ayaklar ile ideal çizi derinliğine yakın değerlere ulaşılmıştır. 75 mm çalışma derinliğine göre çizi profilinin değişimi incelendiğinde 50 mm çalışma derinliğinin aksine, genellikle birbirine yakın çizi profilleri elde edilmiştir. Konkav ve kerklikli tip gömücü ayakların açtığı çizi genişliği daha büyük olurken yivli ve düz tip disklerin açtığı çizi genişlikleri daha dar olmuştur (Şekil 4.13 – 4.17).



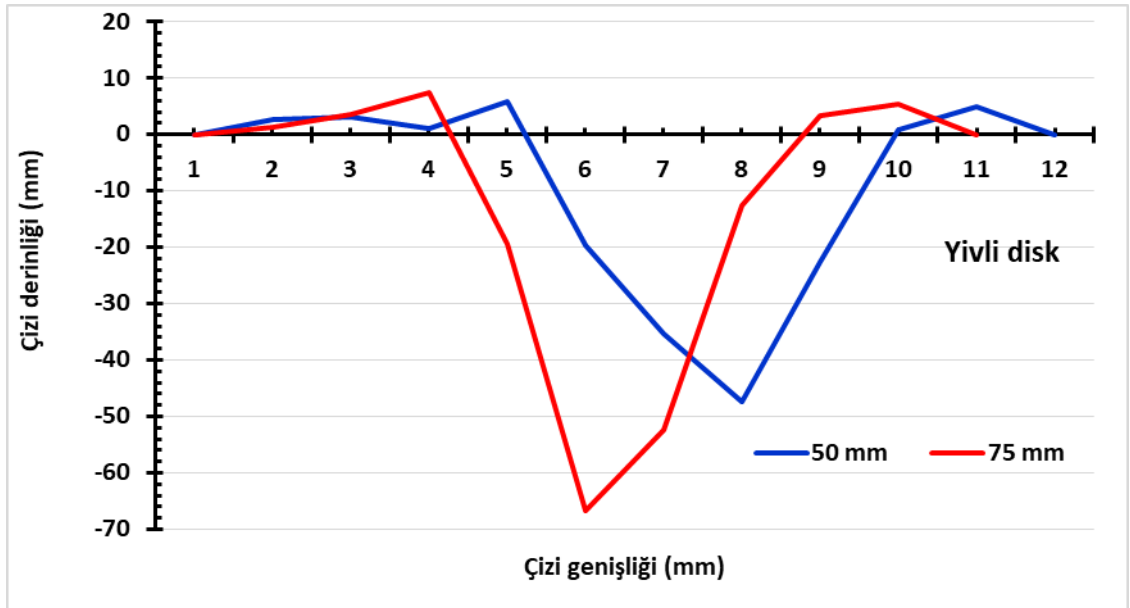
Şekil 4.13. Konkav tip diskli gömücü ayağın %18 nem ve 2 MPa toprak sıkışması koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizi profili.



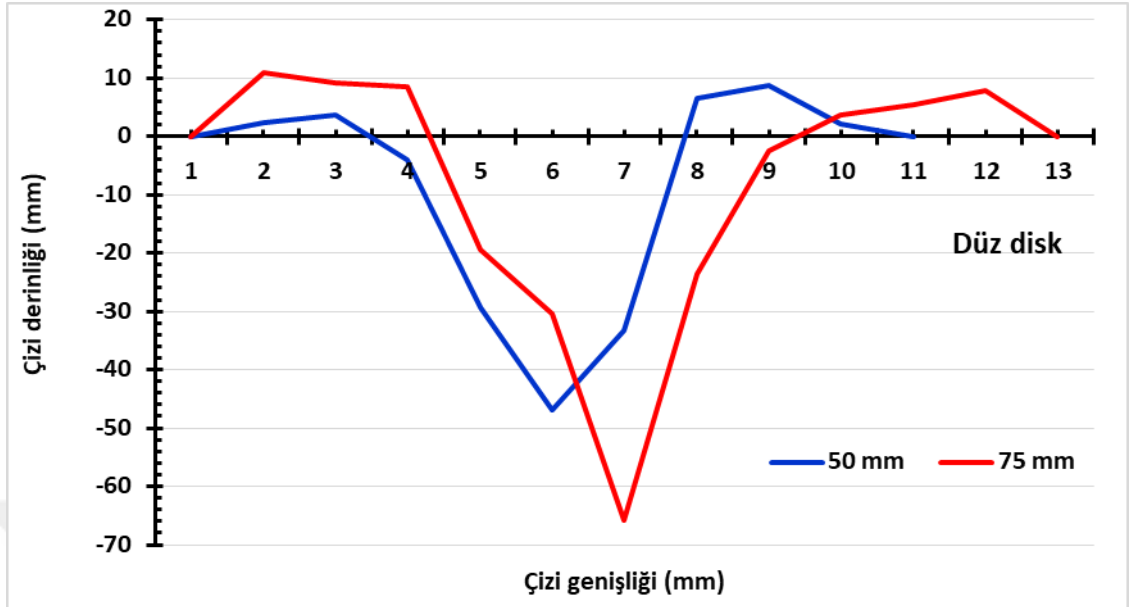
Şekil 4.14. Kertikli tip diskli gömücü ayağın %18 nem ve 2 MPa toprak sıkışması koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizi profili.



Şekil 4.15. Dalgali tip diskli gömücü ayağın %18 nem ve 2 MPa toprak sıkışması koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizi profili.

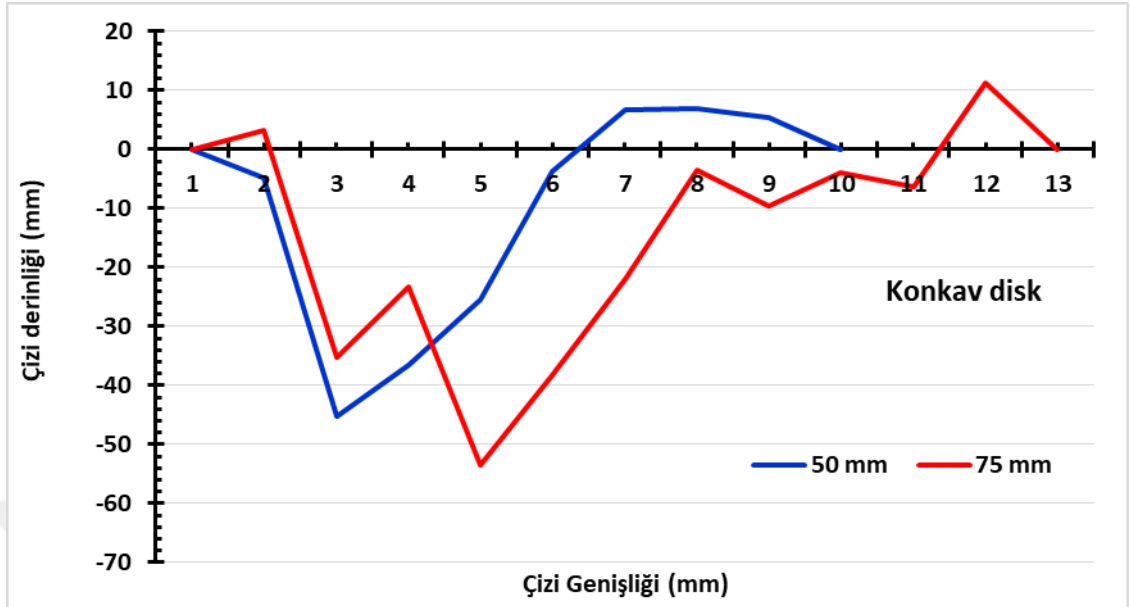


Şekil 4.16. Yivli tip diskli gömücü ayağın %18 nem ve 2 MPa toprak sıkışması koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizi profili.

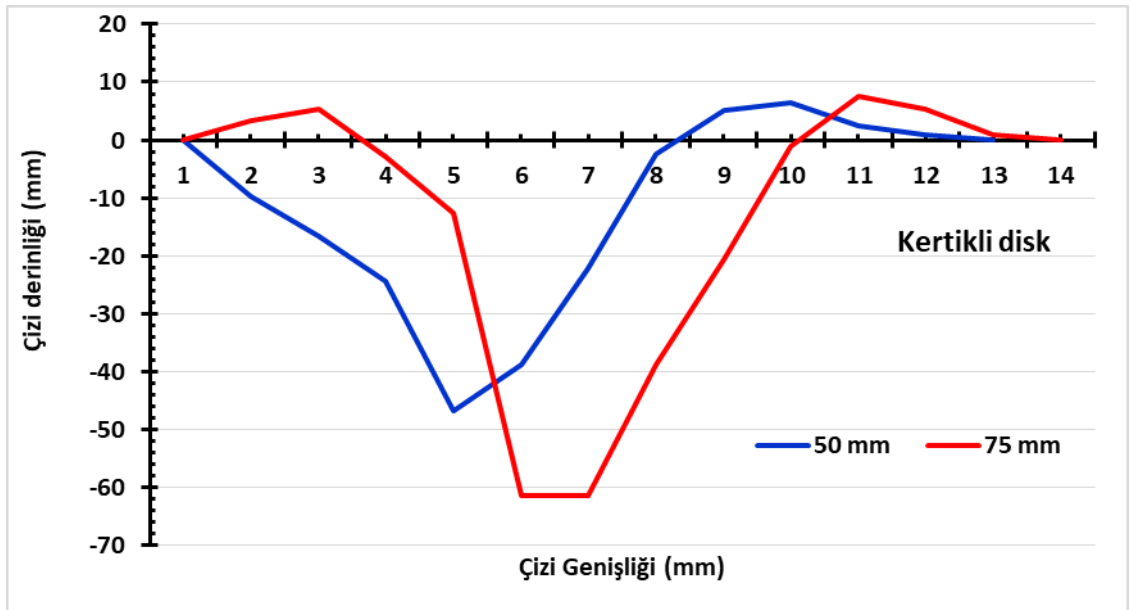


Şekil 4.17. Düz tip diskli gömücü ayağın %18 nem ve 2 MPa toprak sıkışması koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizi profili.

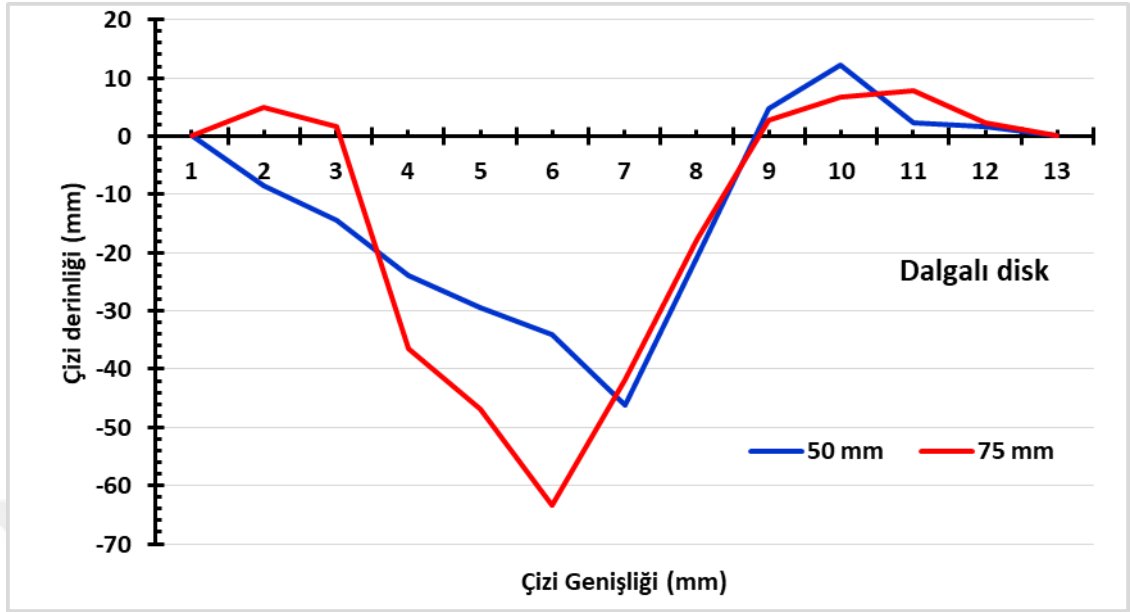
Gömücü ayakların %18 toprak nem içeriği ve 3 MPa toprak sıkışma derecesi koşullarında, çizi profili ve toprak kabarmasına olan etkileri 50 mm ve 75 mm disk çalışma derinliklerine göre Şekil 4.18 – 4.22’ de verilmiştir. Gömücü ayakların çizi profili ve toprak kabarmasına etkileri ayrı ayrı incelendiğinde; 50 mm çalışma derinliğinde disklerin açmış olduğu çizi genişliği konkav ve kertikli disklerde maksimum olurken, yivli ve düz tip disklerin açmış olduğu çizilerin daha dar olduğu görülmektedir. 3 MPa toprak sıkışma düzeyinde ve %18 toprak nem seviyesinde gömücü ayaklarla istenilen çizi derinliği değerlerine ulaşılmıştır. Disk tipine bağlı olarak çizi profili derinliği, çizi profili genişliği ve toprak kabarma miktarı değişmiştir (Şekil 4.18 – 4.22). Disk tiplerine göre istenilen çizi derinliğine yaklaşık değerler elde edilirken, toprak bozulması konkav, kertikli ve dalgalı tip disklerde daha fazla olmuştur. 75 mm çalışma derinliğine göre çizi profilinin değişimi incelendiğinde, 50 mm batma derinliğinin aksine genellikle birbirine yakın çizi profilleri elde edilmiştir. Konkav ve kertikli tip gömücü ayakların açtığı çizi genişliği daha büyük olurken, yivli ve düz tip disklerin açtığı çiziler daha dar olmuştur (Şekil 4.18 – 4.22).



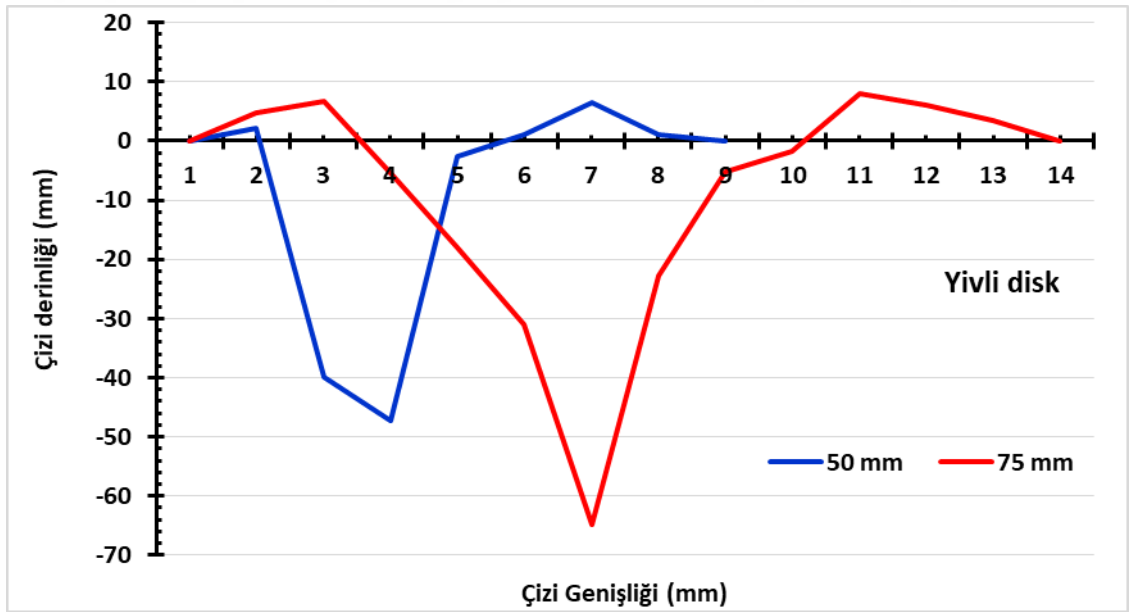
Şekil 4.18. Konkav tip diskli gömücü ayağın %18 nem ve 3 MPa toprak sıkışması koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizi profili.



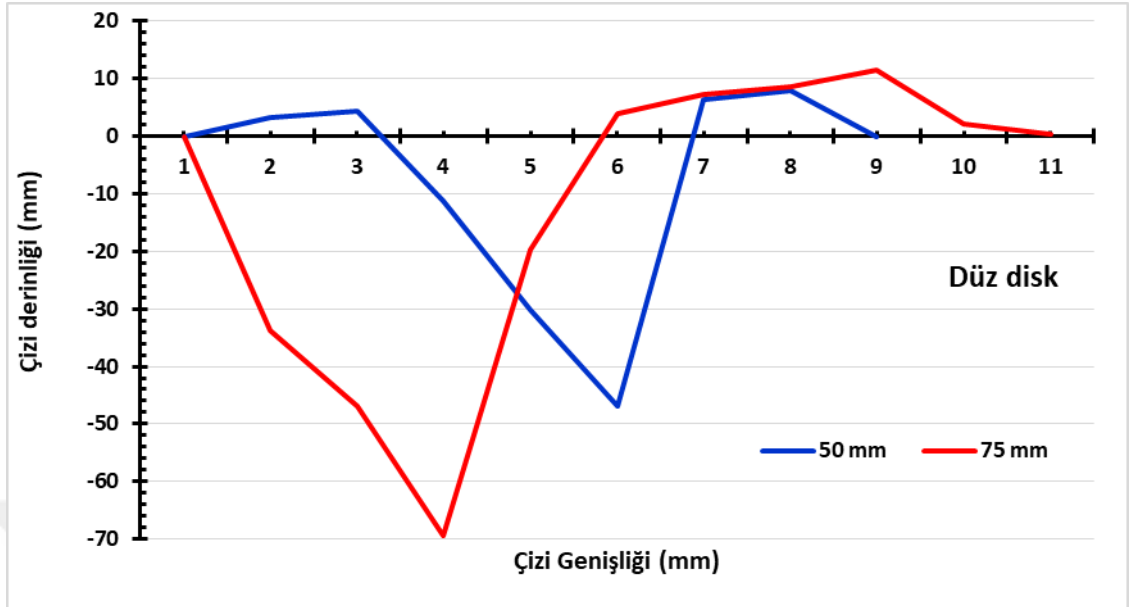
Şekil 4.19. Kertikli tip diskli gömücü ayağın %18 nem ve 3 MPa toprak sıkışması koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizi profili.



Şekil 4.20. Dalgali tip diskli gömücü ayağın %18 nem ve 3 MPa toprak sıkışması koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizi profili.



Şekil 4.21. Yivli tip diskli gömücü ayağın %18 nem ve 3 MPa toprak sıkışması koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizi profili.



Şekil 4.22. Düz tip diskli gömücü ayağın %18 nem ve 3 MPa toprak sıkışması koşullarında, 50 mm ve 75 mm batma derinliğindeki çizi profili.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Kontrollü toprak kanalı koşullarında yürütülen bu çalışmada faktör olarak, doğrudan ekim makinalarında yaygın olarak kullanılan 460 mm çapında beş farklı tek diskli tip gömücü ayak; %12 ve %18 olmak üzere iki toprak nem içeriği, 2 MPa ve 3 MPa olmak üzere iki toprak sıkışma düzeyi ve 50 mm ve 75 mm olmak üzere iki çalışma derinliği dikkate alınmıştır.

Araştırmada, farklı toprak nem içeriği ve toprak sıkışma derecelerinden gömücü ayaklara etki eden düşey, çeki ve yan kuvvetler altı adet loadcell yardımıyla ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar bilgisayara aktarılmıştır. Ayrıca çalışmada; çizi tabanı ve çizi kenarı penetrasyon direnci değerleri ile çizi profili özellikleri incelenmiştir.

Disk üzerine etki eden düşey kuvvetler incelendiğinde; 27,0 N ile en düşük düşey kuvvet düz tip diskte, 130,0 N ile en yüksek düşey kuvvet konkav tip diskte elde edilmiştir. Çeki kuvveti değerlerinde, en yüksek değer 184,7 N ile dalgalı tip diskte meydana gelirken, en düşük çeki kuvveti 109,9 N ile kertikli tip diskte ortaya çıkmıştır. Yan kuvvetler ile ilgili sonuçlarda; 147,9 N ile kertikli tip diskte minimum yan kuvvet meydana gelirken, 184,5 N ile konkav tip diskte en yüksek yan kuvvet değeri ortaya çıkmıştır.

Gömücü ayak geçişinden sonra 0-5, 5-10 ve 10-15 cm derinliklerde çizi tabanından yapılan penetrasyon direnci ölçümlerinde; 0-5 cm derinlikte, en fazla sıkışmayı yivli tip disk meydana getirirken, yivli tip diski sırasıyla; kertikli, dalgalı, düz ve konkav tip diskler takip etmektedir. 5-10 cm derinlikte, en fazla toprak sıkışmasını kertikli tip disk meydana getirirken, bu gömücü ayağı sırayla, dalgalı, yivli, konkav ve düz tip diskler takip etmiştir. 10-15 cm derinlikte ise en fazla toprak sıkışmasına konkav tip disk yol açarken, konkav tip gömücü ayağı, kertikli, dalgalı ve yivli diskli gömücü ayaklar takip etmiştir.

Çizi kenarından yapılan penetrasyon direnci ölçümlerinde; çizi tabanına göre daha yüksek ortalama değerler elde edilmiştir. 0-5 cm ölçüm derinliğinde, kertikli tip disk ile çizi tabanı penetrasyon direnci en yüksek çıkarken, düz tip diskte en düşük sıkışma değeri elde edilmiştir. 5-10 cm ölçüm derinliğinde kertikli ve yivli tip diskler çizi duvarında sıkışmayı artırırken, buna karşın düz ve dalgalı tip diskler daha düşük toprak sıkışmasına yol açmıştır. 10-15 cm derinlikte düz tip disk sıkışma oranını en az seviyede tutarken kertikli tip diskte maksimum sıkışmaya ortaya çıkmıştır. Hem çizi tabanından, hem de çizi kenarından elde edilen penetrasyon direnci değerlerinde, bitki gelişimini engellemeyecek düzeyde, genellikle 2 MPa' nın altında sıkışma değerleri elde edilmiştir.

Kuvvet ölçümleri ile ilgili elde edilen sonuçlara göre, düşey, yatay ve yan kuvvetlerin gereksinimi beklendiği gibi gevşek ve az nemli topraklarda daha az olurken, sıkışmış ve nemli topraklarda daha fazla olmuştur. Açılan çiziler her ne kadar birbirine benzer olsa da batma derinliğinin 75 mm olduğu koşullarda çizi profilinin daha belirgin olduğu görülmektedir. Her gömücü ayağın toprak kanalı koşullarında %18 nem ve 3 MPa sıkışma seviyesinde açmış olduğu çizi profili, %12 nem ve 2 MPa sıkışma seviyesindeki profillere göre daha temiz ve istenilene yakın çıkmıştır.

Bu araştırmada üzerinde durulan faktörlerin farklı yoğunluk ve boydaki anız üzerindeki etkisi belirlenememiştir. Bazı nedenlerden dolayı belirlenemeyen bu etki önemli bir eksiklik olarak görülmektedir. Bu nedenle, bu araştırmanın devamı olarak gömücü ayakların anızlı koşullardaki performansı üzerinde durulacaktır.

Toprak kanalı koşullarında elde edilen bu sonuçların farklı tarla koşullarında yürütülecek araştırmalardan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılması ve gömücü ayakların bu koşullardaki performansını etkileyen parametrelerin ortaya çıkarılmasında yarar vardır.

Araştırmadan ortaya çıkan sonuçlara göre, doğrudan ekim makinalarında kullanılan diskli tip gömücü ayakların seçiminde toprak koşullarının çok önemli olduğu ortaya

çıkılmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda nemli ve sert topraklarda düz diskli tip gömücü ayaklar, nem seviyesi düşük ve yumuşak topraklarda ise konkav diskli tip gömücü ayakların kullanılması çizi profili ve güç tüketim performansı açısından önerilebilir. Ayrıca, tek diskli tip gömücü ayağa sahip doğrudan ekim makinası imalatı yapan firmaların, toprağın nem ve sıkışma durumu ile iş derinliği gibi önemli çalışma parametrelerini göz ardı etmemeleri ve değişik tarla koşullarını göz önünde bulundurarak, tasarım ve imalat yapmaları gerekmektedir.



KAYNAKLAR

- Abu-Hamdeh, N.H. and Reeder, R.C., 2003. A nonlinear 3D finite element analysis of the soil forces acting on a disk plow. *Soil and Tillage Research*, 74(2), 115-124.
- Afify, M.T., Kushwaha, R.L. and Gerein, M.A., 2001. Effect of combined disc angles on soil forces of coulter discs. *ASAE Annual International Meeting*, California.
- Ahmad, F., Weimin, D., Qishuo, D., Hussain, M. and Jabran, K., 2015. Forces and straw cutting performance of double disc furrow opener in no-till paddy soil. *Plos One*, 10(3), e0119648. doi:10.1371/journal.pone.0119648.
- Altıkat, S., 2011. Doğrudan Ekim Makinalarında Farklı Gömücü Ayak ve İlerleme Hızlarının; Toprak Fiziksel Özellikleri, Güç ve Yakıt Tüketimi, Anız Dağılımı ve Ekim Performansı ile Bitki Çıkışına Etkileri. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Erzurum.
- Altıkat, S., Çelik, A. and Gözübüyük, Z. 2013. Effects of various no-till seeders and stubble conditions on sowing performance and seed emergence of common vetch. *Soil and Tillage Research*, 126(1), 72-77.
- Aminzadeh, R., 2014. Modified Design of a Precision Planter for a Robotic Assistant Farmer. MS Thesis, The Department of Mechanical Engineering, University of Saskatchewan, Saskatoon.
- Anonim, 2017. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Tarım Alet ve Makina Sayıları, <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=134&locale=tr> (1.11.2017)
- Anonymous, 2013. ASABE Standard S477.1: Terminology for Soil-Engaging Components for Conservation-Tillage Planters, Drills and Seeders. ASABE, St. Joseph, MI.
- Armin, A., 2014. Mechanics of Soil-Blade Interaction. PhD Thesis, The Department of Mechanical Engineering, University of Saskatchewan, Saskatoon.
- Badegaonkar, U.R., Kamble, A.K. and Thakare, S.H., 2014. Performance evaluation of straw cutting mechanism under no-till crop residue conditions in the soil bin. *Research Journal*, 38(1), 47-52.
- Badegaonkar, U.R., Kamble, A.K. and Thakare, S.H., 2014. Performance evaluation of straw cutting mechanism under no-till crop residue conditions in the soil bin. *Research Journal*, 38(1), 47-52.
- Bahri, A. and Bansal, R.K., 1992. Evaluation of different combinations of openers and press wheels for no-till seeding. *Hommes Terre & Eaux*, 22(86), 55-66.
- Baker, C.J., Saxton, K.E., Ritchie, W.R., Chamen, W.C.T., Reicosky, D.C., Ribeiro, W.R., Justice, S.E. and Hobbs, P.R., 2007. No-Tillage Seeding in Conservation Agriculture. Second Edition, Oxfordshire: FAO, CABI, Rome.
- Bianchini, A. and Magalhaes, P.S.G., 2008. Evaluation of coulters for cutting sugarcane residue in a soil bin. *Biosystems Engineering*, 100(3), 370–375.

- Busscher, W.J. and Sojka, R.E., 1987. Enhancement of subsoiling effect on soil strength by conservation tillage. *Transactions of the ASAE*, 30(4), 888-892.
- Chaudhuri, D., 2001. Performance evaluation of various types of furrow openers on seed drills-a review. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 79(2), 125-137.
- Chen, Y., Tessier, S. and Irvine, B., 2004. Drill and crop performances as affected by different drill configurations for no-till seeding. *Soil and Tillage Research*, 77(2), 147-155.
- Choi, C.H. and Erbach, D.C., 1986. Corn stalk residue shearing by rolling coulters. *Transactions of the ASAE* 29(6), 1530-1535.
- Cochran, B.J., Porterfield, J.G. and Batchelder, D.G., 1974. Vertical forces on furrow openers and depth control devices. *Transactions of the ASAE*, 17(3), 443-446.
- Collins, B.A. and Fowler, D.B., 1996. Effect of soil characteristics, seeding depth, operating speed, and opener design on draft force during direct seeding. *Soil and Tillage Research*, 39(3), 199-211.
- Cookson, W.R., Murphy, D.V. and Roper, M.M., 2008. Characterizing the relationships between soil organic matter components and microbial function and composition along a tillage disturbance gradient. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(3), 763-777.
- Çelik, A. and Raper, R.L., 2012. Design and evaluation of ground-driven rotary subsoilers. *Soil and Tillage Research*, 124(7), 203-210.
- 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, A., 2009. Anıza doğrudan ekim makinalarının performansına etkili faktörler. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 40(2), 101-108.
- Çelik, A., 2016. Türkiye’de koruyucu toprak işleme ve doğrudan ekimin benimsenmesi ve yaygınlaştırılması için atılması gereken adımlar. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 12(4), 243-253.
- Çelik, A., Altıkat, S. ve Turgut, N., 2009. Farklı tip anıza doğrudan ekim makinalarının değişik anız koşullarında, çizi özellikleri ve anız dağılımı yönünden karşılaştırılması. 25. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, Isparta.
- Demiralay, İ., 1993. Toprak Fiziksel Analizleri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:143, 130 s, Erzurum.
- Doan, V., Chen, Y. and Irvine, B., 2005. Effect of residue type on the performance of no-till seeder openers. *Canadian Biosystems Engineering*, 47(2), 29-35.
- Erbach, D.C. and Choi, C.H., 1983. Shearing of plant residue by a rolling coulters. *ASAE Paper No 83-1020*, ASAE, St Joseph C. H., MI 49085.
- Francetto, T.R., Alonço, A.D.S., Brandelero, C., Machado, O.D.D.C., Veit, A.A. and Carpes, D.P., 2016. Disturbance of Ultisol soil based on interactions between

- furrow openers and coulters for the no-tillage system. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 14(3), e0208.
- Gomez, A., Powers, R.F., Singer, M.J. and Horwath, W.R., 2002. Soil compaction effects on growth of young ponderosa pine following litter removal in California's Sierra Nevada. *Soil Science Society of America Journal*, 66(4), 1334-1343.
- Gupta, S.C., Hadas, A., Voorhees, W.B., Wolf, D., Larson, W.E. and Sharma, P.P., 1990. Development of Guides on Susceptibility of Soil to Excessive Compaction. University of Minnesota BARD Report, St Paul.
- Hakansson, I. and Lipiec, J., 2000. A review of usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. *Soil and Tillage Research*, 53(2), 71-85.
- Hann, M.J. and Giessibl, J., 1998. Force measurements on driven disks. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 69 (2), 149-157.
- Huang, G.B., Zhang, R.Z., Li, G.D., Li, L.L., Chan, K.Y., Heenan, D.P., Chen, W., Unkovich, M.J., Robertson, M.J., Cullis, B.R. and Bellotti, W.D., 2008. Productivity and sustainability of a spring wheat-field pea rotation in a semiarid environment under conventional and conservation tillage systems. *Field Crops Research*, 107(1), 43-55.
- Jester, W. and Klik, A., 2005. Soil surface roughness measurement-methods, applicability and surface representation. *Catena*, 64(2), 174-192.
- Karayel, D. ve Özmerzi, A., 2006. Gömücü ayakların çizgi kesit alanı ve toprak kabarmasına etkisi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(2), 279-287.
- Karayel, D. and Özmerzi, A., 2007. Comparison of vertical and lateral seed distribution of furrow openers using a new criterion. *Soil and Tillage Research*, 95(4), 69-75.
- Karayel, D., 2009. Performance of a modified precision vacuum seeder for no-till sowing of maize and soybean. *Soil and Tillage Research*, 104(3), 121-125.
- Karayel, D. and Sarauskis, E., 2011. Effect of downforce on the performance of no-till disc furrow openers for clay-loam and loamy soils. *Agricultural Engineering*, 43(3), 16-24.
- Kushwaha, R.L., Vaishnav, A.S. and Zoerb, G.C., 1986a. Soil bin evaluation of disc coulters under no-till crop residue conditions. *Transactions of the ASAE* 29(1), 40-44.
- Kushwaha, R.L., Vaishnav, A.S. and Zoerb, G.C., 1986b. Performance of powered-disc coulters under no-till crop residue in soil bin. *Canadian Agricultural Engineering*, 28(2), 85-90.
- Linke, C., 2006. Development of no-till systems. *Landtechnik (Agricultural Engineering)*, 61: 312-313.

- Lisowski, A., Klonowski, J., Green, O., Świętochowski, A., Sypula, M., Strużyk, A., Nowakowski, T., Chlebowski, J., Kaminski, J., Kostyra, K., Mieszkalski, L., Lauryn, D. and Margielski, J., 2016. Duckfoot tools connected with flexible and stiff tines: Three components of resistances and soil disturbance. *Soil and Tillage Research*, 158: 76-90.
- Liu, J., Chen, Y. and Kushwaha, R.L., 2010. Effect of tillage speed and straw length on soil and straw movement by a sweep. *Soil and Tillage Research*, 109(3), 9-17.
- Magalhaes, P.S.G., Bianchini, A. and Braunbeck, O.A., 2007. Simulated and experimental analyses of a toothed rolling coulter for cutting crop residues. *Biosystems Engineering*, 96(2), 193-200.
- Malaslı, M.Z., 2017. Doğrudan Ekim Makinalarında Tek Diskli Tip Gömücü Ayak Açılarının Farklı Anız Koşullarındaki Performansı Üzerine Bir Araştırma. Doktora Tezi (Yayınlanmamış), Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Erzurum.
- Mari, I.A., Chandio, F.A., Changying, J., Arslan, C., Sattar, A., Tagar, A.A. and Huimin, F., 2014. Performance and evaluation of disc tillage tool forces acting on straw incorporation soil. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 51(4), 855-860.
- Morrison, J.E. and Allen, R.R., 1987. Planter and drill requirements for soils with surface residues. *Southern Region No-Till Conference Proceedings*, College Station, Texas, USA.
- Munir, M. A., Iqbal, M. and Miran, S., 2012. Evaluation of three seed furrow openers mounted on a zone disk tiller drill for residue management, soil physical properties and crop parameters. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 49(3), 349-355.
- Murray, J.R., Tullberg, J.N. and Basnet, B.B., 2006. Planters and their Components; types, attributes, functional requirements, classification and description. Australian Centre for International Agricultural Research Publication, No: 121, 178 p, Canberra, Australia.
- Önal, İ., 1971. Pamuk Ekiminde Mekanik Esaslar ve Ekim Organları Üzerinde Bir Araştırma. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ziraat Alet ve Makinaları Kürsüsü, İzmir.
- Price, T., 1999. What should my no-till planter look like. <http://www.nt.gov.au/d/Content/File/p/Pasture/311.pdf> (21.06.2016).
- Ranta, O., Koller, K., Ros, V. and Marian, O., 2008. Study regarding the forces that occurs in a no-till technology process in relation with geometrical parameters of the coulter discs. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture*, 65(1), 223-228.

- Sanavi Shiri, N. and Raoufat, M.H., 2006. Comparative performance of four planter furrow opener and row cleaner arrangements in a conservation tillage corn production system. *Iran Agricultural Research*, 24(2), 53-66.
- Sanchez-Giron, V., Ramirez, J.J., Litago, J.J. and Hernanz, J.L., 2005. Effect of soil compaction and water content on the resulting forces acting on three seed drill furrow openers. *Soil and Tillage Research*, 81(1), 25-37.
- Sarauskis, E. and Vaitauskiene, K., 2014. Research of mechanical traction characteristics of direct sowing equipment. *Mechanics*, 20(5), 506-511.
- Sarauskis, E., Vaiciukevicius, E., Romaneckas, K., Sakalauskas, A. and Baranauskaite, R., 2009. Economic and energetic evaluation of sustainable tillage and cereal sowing technologies in Lithuania. *The Fourth International Scientific Conference (Rural Development 2009), Proceedings*, 4(1), 280-285.
- Sarauskis, E., Masilionyte, L., Romaneckas, K., Kriauciuniene, Z. and Jasinskas, A., 2013. The effect of the disc coulters forms and speed ratios on cutting of crop residues in no-tillage system. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19: 620-624.
- Sawant, C., Kumar, A., Mani, I. and Singh, J.K., (2016). Soil bin studies on the selection of furrow opener for conservation agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation*, 15(2), 107-112.
- Seidi, E., Abdollahpour, S.H., Javadi, A. and Moghaddam, M., 2010. Effects of novel disk-type furrow opener used in no-tillage system on micro environment of seed. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 5(1), 1-6.
- Sutherland, R.A., Busen, J.O., Plondke, D.L., Evans, B.M. and Ziegler, A.D., 2001. Hydrophysical degradation associated with hiking-trailuse: A case study of Hawai'i'loa ridge trail, O'ahu, Hawai'i. *Land Degradation and Development*, 12, 71-86.
- Tajuddin, A. and Balasubramaniam, M., 1995. Comparative performance of different types of furrow openers. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America (AMA)*, 26(2), 18-20
- Tebrügge, F. and Böhrnsen, A., 2000. Direct drilling: Opinions of farmers and experts in the EU and Nebraska. *Landtechnik (Agricultural Engineering)*, 55(1), 17-19.
- Thompkins, F.D., 1985. Equipment for no-tillage crop production. *Southern Region No-Till Conference*, University of Georgia.
- Tola, E.M.H. and Koeller, K., 2005. Special distribution of the no-till opener induce seed row incorporated crop residue and soil loosening. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America (AMA)*, 36(1), 66-70.
- Troger, H.C.H., Reis, A.V., Machado, A.L.T. and Machado, R.L.T., 2012. Analyzing the efforts in furrow openers used in low power planters. *Engenharia Agricola Jaboticabal*, 32(6), 1133-1143.

- Turgut, M., 2014. Doğrudan Ekim Makinalarında Çizi Açıcı Ayak Tipleri İçin Anlık Bası Yüklerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Adana.
- Vamerali, T., Bertocco, M. and Sartori, L., 2006. Effects of a new wide-sweep opener for no-till planter on seed zone properties and root establishment in maize (*Zea mays* L.): A comparison with double-disk opener. *Soil and Tillage Research*, 89(2), 196–209.
- Wilkins, D.E., Muilenburg, G.A., Allmaras, R.R. and Johnson, C.E., 1983. Grain-drill opener effects on wheat emergence. *Transaction of the ASAE*, 26(3), 651-655.
- Yao, Z., Li, H., Gao, H., Wang, X. and He, J., 2009. Crop performance as affected by three opening configurations for no-till seeder in annual double cropping regions of northern China. *Australian Journal of Soil Research*, 47(8), 839-847.
- Zhang, Y., 2016. On the Mechanics of Disc-Soil-Planter Interaction. MS Thesis, The Department of Mechanical Engineering, University of Saskatchewan, Saskatoon.

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Sivas'ta doğdu. İlk, orta öğrenimini Sivas'ta tamamladı. 2007 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nden 2013 yılında mezun oldu. 2015 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır.

