

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

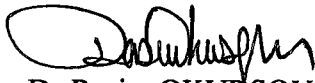
84875

LASTİK TEKERLEKLİ TRAKTÖRLERDE LASTİK BASINCININ TOPRAK
SIKIŞIKLIĞINA OLAN ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

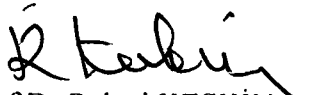
ENGİN ÖZGÖZ

DOKTORA TEZİ
TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

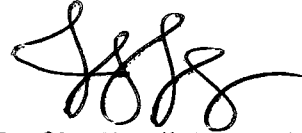
Bu tez 5 Temmuz 1999 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



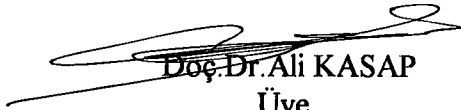
Doç.Dr. Rasim OKURSOY
Danışman



Prof.Dr. Rahmi KESKİN
Üye



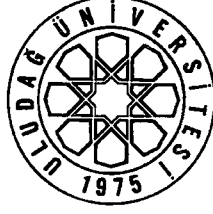
Prof.Dr. Kamil ALIBAŞ
Üye



Doç.Dr. Ali KASAP
Üye



Yrd.Doç.Dr. Ahmet DARGA
Üye



T. C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LASTİK TEKERLEKLİ TRAKTÖRLERDE LASTİK BASINCININ TOPRAK SIKIŞIKLIĞINA OLAN ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

ENGİN ÖZGÖZ

T.C. YÜKSEK ÖĞRETİM BAKANLIĞI
DOKÜMANİZASYON MERKEZİ

DOKTORA TEZİ
TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

BURSA - 1999

84825

ÖZET

Doktora Tezi

LASTİK TEKERLEKLİ TRAKTÖRLERDE LASTİK BASINCININ TOPRAK
SIKIŞIKLIĞINA OLAN ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Engin ÖZGÖZ

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Tarım Makinaları Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Rasim OKURSOY

1999, 95 Sayfa

Jüri : Doç. Dr. Rasim OKURSOY

Prof. Dr. Rahmi KESKİN

Prof. Dr. Kamil ALİBAŞ

Doç. Dr. Ali KASAP

Yard. Doç. Dr. Ahmet DARGA

Bu çalışmanın amacı; tınlı toprak şartında iki farklı nem düzeyinde (% 9 ve % 13), üç farklı tekerlek yükü (1000, 1300 ve 1600 kg), üç farklı lastik iç basıncı (0.8, 1 ve 1.5 bar), üç farklı ilerleme hızı (1, 1.3 ve 1.6 m/s)ve üç farklı geçiş sayısında (1, 3 ve 5) çalıştırılan 13.6/12-36 radyal traktör tekerleğinin toprak sıkışmasına etkisini belirlemektir. Bu amaçla; kontrollü değişkenlere bağlı olarak toprağın hacim ağırlığı, penetrasyon direnci, iz derinliği ve yüzey altındaki basınç değerleri ölçülmüştür. Denemeler toprak kanalında yürütülmüş ve bütün ölçümler 0-15 cm ve 15-30 cm derinliklerde yapılmıştır. Toprağın hacim ağırlığı değerleri; % 9 nem içeriğinde 1.203-1.435 g/cm³ ve % 13 nem içeriğinde 1.182-1.427 g/cm³ değerleri arasında değişmektedir. Toprağın penetrasyon direnci değerleri tekerlek iz merkezinde ve iz kenarında ölçülmüştür. Penetrasyon direnci % 9 nem içeriğinde tekerlek iz merkezinde 1351.63-2982.65 kPa, tekerlek iz kenarında 1022.73-2713.29 kPa ve % 13 nem içeriğinde ise sırasıyla 1129.33-3102.17 kPa ve 729.31-2745.49 kPa değerleri arasında

değişmektedir. Tekerlek iz derinliği % 9 ve % 13 nem içeriğinde sırasıyla 5.60-12.50 cm ve 12.17-15.80 cm değerleri arasında bulunmuştur. Farklı derinliklerdeki basınç değerlerini belirlemek için tekerlek izinin merkez çizgisine ve iz kenarına iki farklı derinliğe dört adet yük hücresi yerleştirilmiştir. Basınç değerleri % 9 ve % 13 nem içeriğinde tekerlek iz merkezi ve iz kenarında sırasıyla 30.39-925.80 kPa, 21.57-747.06 kPa ve 67.98- 996.08 kPa, 15.69-883.00 kPa değerleri arasında değişmektedir.

Tekerlek yükü ve lastik iç basıncındaki artış ile toprağın hacim ağırlığı, penetrasyon direnci, iz derinliği ve yüzey altındaki basınç değerleri artmıştır. İlerleme hızının bağımlı değişken olarak seçilen parametreler üzerine etkisi toprağın nem içeriğine ve ölçüm bölgesine göre değişmektedir. Tekrarlanan geçiş sayısı arttıkça toprağın hacim ağırlığı, penetrasyon direnci, iz derinliği ve 30 cm derinlikte ölçülen basınç değerleri artmış ve 15 cm derinlikte ölçülen basınç değerleri ise azalmıştır.

Anahtar Kelimeler : Toprak sıkışması, Penetrasyon Direnci, İz Derinliği, Yükleme Hücresi, Toprak Kanalı

ABSTRACT

PhD Thesis

**DETERMINATION OF THE EFFECTS OF TIRE PRESSURE OF TRACTORS ON
SOIL COMPACTION**

Engin ÖZGÖZ

Uludag University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Agricultural Machines

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Rasim OKURSOY

1999, 95 Page

Jurry : Assoc. Prof. Dr. Rasim OKURSOY

Prof. Dr. Rahmi KESKİN

Prof. Dr. Kamil ALİBAŞ

Assoc. Prof. Dr. Ali KASAP

Assist. Prof. Dr. Ahmet DARGA

The aim of this study is to determine the effects of 13.6/12-36 radial tractor rear tire working in two different moisture contents (9 % and 13 %), by three different tire loads (1000, 1300 and 1600 kgs), by three different inflation pressures (0.8, 1 and 1.5 bars), by three different forward speeds (1, 1.3 and 1.6 m/sec.) and by three different passings (1, 3 and 5) to the soil compaction in loamy soil conditions. For this reason, soil bulk density, penetration resistance, trace depth and pressure values under surface have been measured depending on controlled factors. Experiments have been carried out in soil bins and all measurement was taken at 0-15 cm and 15-30 cm depths. The soil bulk density varies between 1.203-1.435 g/cm³ for 9 % moisture content and 1.182-1.427 g/cm³ for 13 % moisture content. The penetration resistance has been measured at tire center line and tire side line. The penetration resistance was 1351.63-2982.65 kPa at the tire center for 9 % moisture content, 1022.73-2713.29 kPa at tire side line and varies from 1129.33-3102.17 kPa to 729.31-2745.49 kPa respectively for 13 % moisture

content. Trace depth was found to be 5.60-12.50 cm and 12.17-15.80 cm for 9 % and 13 % moisture contents respectively. Four load cells were placed into tire center and tire side line to determine undersurface pressure values of various depths. Undersurface pressure values of tire center line and tire side line for 9% and 13% moisture content vary from 30.39-925.80 kPa to 21.57-747.06 kPa and 67.98-996.08 kPa to 15.69-883.00 kPa respectively.

An increase in tire load and inflation pressure resulted in an increase in soil bulk density, penetration resistance, trace depth and underface pressure values. The effect of forward speed on the parameters chosen as dependent factors varies according to the moisture content and measurement area. Bulk density, penetration resistance, trace depth and undersurface pressure values of 30 cm depth was increased as the number of passing increased; whereas undersurface pressure values of 15 cm was decreased.

Keywords : Soil Compaction, Penetration Resistance, Trace Depth, Load Cell, Soil Bin

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No :
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	v
SİMGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	Viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM	22
3.1. Materyal	22
3.1.1. Deneme Yeri	22
3.1.2. Deneme Materyali Olarak Kullanılan Lastiğin Özellikleri	22
3.1.3. Araştırmada Kullanılan Deney Seti	23
3.1.4. Farklı Derinliklerdeki Basınç Değerlerinin Ölçümünde Kullanılan Elektronik Ölçüm Düzeni	25
3.1.5. Toprak Özellikleri ve Tekerlek İz Derinliğinin Ölçümünde Kullanılan Materyaller	29
3.2. Yöntem	30
3.2.1. Farklı Derinliklerdeki Basınç Değerlerinin Belirlenmesi	31
3.2.2. Toprak Özellikleri ve Tekerlek İz Derinliğinin Belirlenmesi	35
3.2.3. İlerleme Hızının Belirlenmesi	37
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	39
4.1. Toprağın Hacim Ağırlığı Değişimine İlişkin Sonuçlar	39
4.2. Toprağın Penetrasyon Direncine İlişkin Sonuçlar	49

4.3. Tekerlek İz Derinliğine İlişkin Sonuçlar	64
4.4. Tekerlek Yükünün İki Farklı Toprak Derinliğinde Yarattığı Basınç Değerlerine İlişkin Sonuçlar	70
4.5. Kontrollü Değişkenlerle Bağımlı Değişkenler Arasındaki İlişki	83
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	84
6. KAYNAKLAR	87
TEŞEKKÜR	94
ÖZGEÇMİŞ	95



SİMGELER DİZİNİ

Y1 : Tekerlek yükü (1000 kg)

Y2 : Tekerlek yükü (1300 kg)

Y3 : Tekerlek yükü (1600 kg)

Ş1 : Lastik iç basıncı (0.8 bar)

Ş2 : Lastik iç basıncı (1 bar)

Ş3 : Lastik iç basıncı (1.5 bar)

V1 : İlerleme hızı (1 m/s)

V2 : İlerleme hızı (1.3 m/s)

V3 : İlerleme hızı (1.6 m/s)

G1 : Geçiş sayısı (1 geçiş)

G2 : Geçiş sayısı (3 geçiş)

G3 : Geçiş sayısı (5 geçiş)

N1 : Toprağın nem içeriği (%)

N2 : Toprağın nem içeriği (%)

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil No :	Sayfa No :
3.1.3.1. Deney setinin genel görünüşü	23
3.1.3.2. Deney setinin şematik görünüşü	24
3.1.4.1. Sistemin blok şeması	26
3.1.4.2. Fark kuvvetlendiricisinin elektronik şeması	27
3.1.4.3. Tasarlanan baskı devre	27
3.1.5.1. Profilmetre	30
3.2.1.1. Yük hücrelerinin toprak içerisindeki pozisyonu	32
3.2.1.2. Sistemin kalibrasyon grafiği	33
3.2.2.1. Penetrometre kalibrasyon grafiği	36
4.1.1. Toprağın % 9 nem içeriğinde farklı lastik iç basıncı ve ilerleme hızlarında tekerlek yükü ve geçiş sayısının hacim ağırlığına etkisi	42
4.1.2. Toprağın % 13 nem içeriğinde farklı lastik iç basıncı ve ilerleme hızlarında tekerlek yükü ve geçiş sayısının hacim ağırlığına etkisi	43
4.1.3. Toprağın % 9 nem içeriğinde ölçülen hacim ağırlığı değerlerine göre geçiş sayılarının toplam artış içindeki oranları	48
4.1.4. Toprağın % 13 nem içeriğinde ölçülen hacim ağırlığı değerlerine göre geçiş sayılarının toplam artış içindeki oranları	49
4.2.1. Toprağın % 9 nem içeriğinde tekerlek izinin merkez çizgisinde farklı lastik iç basıncı ve ilerleme hızlarında tekerlek yükü ve geçiş sayılarının penetrasyon direncine etkisi	53
4.2.2. Toprağın % 9 nem içeriğinde tekerlek izi kenarında farklı lastik iç basıncı ve ilerleme hızlarında tekerlek yükü ve geçiş sayılarının penetrasyon direncine etkisi	54
4.2.3. Toprağın % 13 nem içeriğinde tekerlek izinin merkez çizgisinde farklı lastik iç basıncı ve ilerleme hızlarında tekerlek yükü ve geçiş sayılarının penetrasyon direncine etkisi	55

4.2.4.	Toprağın % 13 nem içeriğinde tekerlek izi kenarında farklı lastik iç basıncı ve ilerleme hızlarında tekerlek yükü ve geçiş sayılarının penetrasyon direncine etkisi	56
4.2.5.	Toprağın % 9 nem içeriğinde ölçülen penetrasyon direnci değerlerine göre geçiş sayılarının toplam artış içerisindeki oranları	63
4.2.6.	Toprağın % 13 nem içeriğinde ölçülen penetrasyon direnci değerlerine göre geçiş sayılarının toplam artış içerisindeki oranları	63
4.3.1.	Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde farklı lastik iç basıncı ve ilerleme hızlarında tekerlek yükü ve geçiş sayılarının iz derinliğine etkisi	66
4.3.2.	Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde farklı tekerlek yükü, lastik iç basıncı ve ilerleme hızlarında geçiş sayısı ile iz profilindeki değişim	67
4.4.1.	Toprağın % 9 nem içeriğinde basınç değerlerinin okuma uzaklığına göre değişimi	74
4.4.2.	Toprağın % 13 nem içeriğinde basınç değerlerinin okuma uzaklığına göre değişimi	75

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge No :

Sayfa No :

3.1.1.1.	Toprak kanalındaki sıkıştırılmamış deneme toprağının bazı fiziksel parametreleri	22
3.1.2.1.	Denemede kullanılan traktör lastiğine ilişkin yapısal özellikler	22
3.1.4.1.	Bir fark kuvvetlendiricisinin yapımında kullanılan malzemeler	28
3.1.4.2.	Besleme modülünün yapımında kullanılan malzemeler	29
3.2.1.	Denemelerde kontrollü değişken olarak seçilen parametreler	31
3.2.1.1.	ÖLÇÜM programının listesi	34
3.2.3.1.	Hareket iletim düzenindeki transmisyon oranları	38
4.1.1.	Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ölçülen hacim ağırlığı değerleri(g/cm^3)	40
4.1.2.	Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ölçülen hacim ağırlığı değerlerine ait varyans analizi sonuçları	45
4.1.3.	Toprağın %9 ve % 13 nem içeriğinde ki, hacim ağırlığı değerleri ile tekerlek yükleri arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları	45
4.1.4.	Toprağın %9 ve % 13 nem içeriğinde ki, hacim ağırlığı değerleri ile lastik iç basınçları arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları	46
4.1.5.	Toprağın %9 ve % 13 nem içeriğinde ki, hacim ağırlığı değerleri ile ilerleme hızları arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları	47
4.1.6.	Toprağın %9 ve % 13 nem içeriğinde ki, hacim ağırlığı değerleri ile geçiş sayıları arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları	47
4.2.1.	Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ölçülen penetrasyon direnci değerleri (kPa)	50
4.2.2.	Toprağın % 9 nem içeriğinde 0-15 cm ve 15-30 cm derinlikte ölçülen penetrasyon direnci değerlerine ait varyans analizi sonuçları	57
4.2.3.	Toprağın % 13 nem içeriğinde 0-15 cm ve 15-30 cm derinlikte ölçülen penetrasyon direnci değerlerine ait varyans analizi sonuçları .	58

4.2.4.	Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ki, penetrasyon direnci değerleri ile tekerlek yükleri arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları	59
4.2.5.	Toprağın %9 ve %13 nem içeriğinde ki, penetrasyon direnci değerleri ile lastik iç basınçları arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları	60
4.2.6.	Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ki, penetrasyon direnci değerleri ile ilerleme hızları arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları	61
4.2.7.	Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ki, penetrasyon direnci değerleri ile geçiş sayıları arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları	62
4.3.1.	Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ölçülen maksimum iz derinliği değerleri (cm)	64
4.3.2.	Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ölçülen iz derinliği değerlerine ait varyans analizi sonuçları	65
4.3.3.	Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ki, iz derinliği değerleri ile tekerlek yükleri arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları	68
4.3.4.	Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ki, iz derinliği değerleri ile lastik iç basınçları arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları	69
4.3.5.	Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğindeki, iz derinliği değerleri ile ilerleme hızları arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları	69
4.3.6.	Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ki, iz derinliği değerleri ile geçiş sayıları arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları	70
4.4.1.	Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ölçülen basınç değerleri (kPa)	72
4.4.2.	Toprağın % 9 nem içeriğinde ölçülen basınç değerlerine ait varyans analizi sonuçları	77
4.4.3.	Toprağın % 13 nem içeriğinde ölçülen basınç değerlerine ait varyans analizi sonuçları	77
4.4.4.	Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ki, basınç değerleri ile tekerlek yükleri arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları	79
4.4.5.	Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ki, basınç değerleri ile lastik iç basınçları arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları	80
4.4.6.	Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ki, basınç değerleri ile ilerleme hızları arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları	81

4.4.7.	Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ki, basınç değerleri ile geçiş sayıları arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları	82
4.5.1.	Regresyon analizleri	83



1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki hızlı artış beslenme problemini de beraberinde getirmiştir. Artan nüfusun beslenme ihtiyacını karşılayabilmek için yeni alanların tarıma elverişli hale getirilmesi ve birim alandan alınacak ürün miktarının artırılması gerekmektedir. Tarıma elverişli alanların sınırlı olduğu düşünüldüğünde, tarımsal ürün talebini karşılayabilmek için birim alandan daha fazla ürünün elde edilmesi zorunluluk olmuştur. Bu da tarım tekniğinde meydana gelecek gelişmeyle mümkün olacaktır.

Tarım tekniğinin ilerlemesi ve modern makinaların yaygınlaşması günümüz tarımına büyük bir iş kolaylığı ve zaman kazanımı getirmiş ve çalışma verimliliği olumlu yönde etkilenmiştir. Buna paralel olarak tarımda kullanılan tarım alet ve makinalarının sayıları ve ağırlıklarında da hızlı bir artış olmuştur. Bunun sonucunda tarla trafiği çok yoğunlaşmış ve tarım topraklarında önemli bir sorun olan toprak sıkışması ortaya çıkmıştır.

Toprak sıkışması; topraktaki gözenek oranlarının azalması veya toprak partiküllerinin sıkışması sonucu kuru yoğunluğun artması olarak tanımlanabilir (McKyes 1985). Diğer bir tanımla toprak sıkışıklığı, dış ve iç kuvvetlerin etkisiyle toprakların birbirine yakın şekilde istiflenmesi demektir.

Sıkıştırma kuvvetlerinin temel etkisi; toprak üzerindeki toprak direnci, hacim ağırlığı, porozite gibi fiziksel özelliklerin değişimine yöneliktir (Yavuzcan 1996). Toprak sıkışması; hava, su, ısı ve besin maddelerinin geçişimine ve oranlarına etkili olan toprağın fiziksel yapısını değiştirmektedir. Meteorolojik koşullar, makina yükleri ile yükün temas alanı ve şekline bağlı olarak toprakta yapısal değişiklikler oluşmaktadır (Yıldız 1997).

Toprak sıkışması birim alandan alınacak ürün miktarının önemli bir şekilde azalmasına neden olmaktadır. Toprak sıkışmasının toprak özellikleri ve ürün verimi üzerine olan etkilerini belirlemek üzere bir çok araştırma yapılmıştır. Amerika'da yapılan bir araştırma sonuçlarına göre, toprak sıkışmasının neden olduğu ürün kaybına ait zararın her yıl bir milyon dolara eşit olduğu bildirilmektedir (Kinney ve ark. 1992).

Kök geçirgenliği az olan, hava, su ve besin elementleri bilançosu bozuk olan sıkışık toprakta kuvvetli bir kök ve vejetatif aksam gelişimi sağlanamadığından bitkiden alınan ürün daima düşük olmaktadır (Bal 1985).

YATIRIM
DURUMUNUN İZLENİMLİ

Toprak sıkışması bitki gelişimi ve toprağa bırakılan tohumun çimlenmesini sınırlayan en önemli faktörlerin başında yer almaktadır. Toprak sıkışmasının bitkiler üzerine etkisinin araştırılmasında bilim adamlarının elinde iki önemli kriter bulunmaktadır. Bunlardan birincisi kök gelişimi, ikincisi ise verim değeridir(Önal 1978). Yapılan araştırmalar 80 kPa'ın üzerindeki sıkışıklık değerlerinin bitki köklerinin gelişmesini sınırlayan önemli bir faktör olduğunu ortaya koymuştur (Okursoy 1992). Toprak sıkışıklığı büyüklüğü 2 MPa'a yaklaştığında ise toprağa nüfuz eden köklerin sayıları aniden düşmekte ve gerçekte toprak 2 MPa'dan fazla sıkıştırıldığında hiçbir kökün büyümesi mümkün olmamaktadır (McKyes 1985).

Bir çok araştırmacı; köklerin, kök çapından küçük çaptaki gözeneklerden geçemeyeceğini belirtmiştir. Köklerin sıkışmış tabaka içinde büyürken geçebileceği gözenekleri genişletmek için, katı tanelerin yer değiştirmesi gerektiği ve bu işlem sırasında da toprağın mekanik direncini aşan bir basınç ortaya koyduğu saptanmıştır. Bu mekanik sıkıştırmaya ek olarak, toprak sıkışması büyük gözeneklerin sayısında azalma olması nedeniyle, toprak içindeki hava ve su hareketini de engellemektedir. Toprakta hava hareketi ve drenajın engellenmesi köklerin bir takım sorunlarla karşılaşması anlamını taşır. Kök gelişiminin mekanik direnci üzerine yapılan bir araştırmada; arpa köklerinin gözenekleri büyütme için 0.2 bar'lık bir dış basıncı yenebildiği, bu durumda kök uzamasının % 50 azaldığı, eğer topraktaki basınç 0.5 bar'a yükselirse kök uzamasının % 80 azaldığı saptanmıştır. Bazı bitki köklerinin 10 bar'lık bir dış kuvveti yenebildiğine literatürlerde rastlanmaktadır (Munsuz 1985).

Mısır üretiminde, toprağın bozulmuş hacim ağırlığının 1.13 g/cm³'e düşmesi mısır veriminin 12.3 t/ha'dan 16 t/ha'a yükselmesini sağlamıştır (McKyes 1985). Sıkışma sonucu oluşan verim azalması, şeker pancarında % 1 - 26, kışlık arpada % 45 ve kışlık buğdayda % 15 - 34 arasındadır (Bal 1985).

Bitkisel üretim sistemlerinin ana elamanlarından birisi olan toprağın verimliliği; onun fiziksel, kimyasal ve biyolojik olaylar açısından canlılığı ile yakından ilişkilidir. Toprağın fiziksel olarak canlı veya verimli olması, bitki gelişimini engellemeyecek düzeyde en uygun sertlikte bulunmasına bağlıdır. Toprağın sertliği veya sıkışıklığı ise; uygulanan tarım tekniği, ekim nöbeti vb. gibi faktörlerin yanında, kullanılan tarım

makinalarının tipi ve toprağın üzerindeki makina trafiğinin bir fonksiyonu olarak değişim göstermektedir (Say ve Işık 1996).

Yapay toprak sıkışması temel olarak nemli toprak şartlarındaki toprak işleme faaliyetleri tarafından oluşturulan faaliyetlerin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır (Yavuzcan 1996). Tarımsal üretimde artan tarla trafiği nedeniyle, toprak sıkışması önemli boyutlara ulaşmıştır. Tarımda kullanılan lastiklerin ölçüsü, işletme karakteristikleri ile toprak yapısı sıkışmayı belirleyen faktörlerdir. Tarımsal mekanizasyon faaliyetlerinin verimli bir şekilde yapılabilmesi, bu alanda kullanılan pnömatik lastiklerin dinamik yük ve iç basınç gibi işletme karakteristiklerinin, değişen toprak şartlarına göre güç üniteleriyle uyumlu seçimine bağlıdır (Çarman 1992). Tekerleğin çapı, genişliği, yapısı (radyal katlı veya çapraz katlı), iç basıncı ve konfigürasyonu (çift(dual), üçlü(tribble) vs.) toprak sıkışmasını etkilemektedir (Wood ve ark. 1991). Tekerlek performansı ve toprak sıkışmasında tekerlek ve toprak arasındaki basınç önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir (Burt ve ark. 1992). Tekerleğin temas basıncındaki artış toprak sıkışmasını da artırmaktadır.

Değişik mekanizasyon düzeylerinde yapılan tarımsal tarla işlemlerindeki toprak sıkışmasının miktarı büyük oranda traktör tekerlekleri, toplam yük, tekerlek basıncı, geçiş sayısı ve tekerlekteki patinaj gibi bir kaç faktöre bağlıdır (Barone 1990). Ortaya çıkan sıkışmanın büyüklüğü, toprağın nem içeriğine, toprak tipine, dış kuvvetlerin büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir. Sıkışma ağır topraklarda daha büyük değerlerdedir. Aynı toprakta nem içeriği arttıkça sıkışma da artmaktadır. Toprak nem içeriği arttıkça aynı değerdeki bir sıkışma için gerekli dış kuvvetlerin değeri düşmektedir (Yıldız 1997).

Özellikle traktör tarafından birkaç kez çignenen yoğun tarım alanlarındaki bütün toprak yüzeyi üzerinde makina çalışmasıyla oluşan toprak sıkışması problemi vardır. İngiltere'de yapılan bir tohum yatağı hazırlama işleminde (gübreleme, iki kez çapa, ekim ve merdaneleme dahil) tarla yüzeyinin %91'inin tekerlekler tarafından çignendiği ve buna bağlı olarak toprak sıkışıklığının arttığı belirlenmiştir (Bal 1985). Tahıllarda olduğu gibi çok sık ekilen bitkilerin tohum yataklarının hazırlanması sırasında toprak yüzeyinin % 90 kadarı traktör ile çignenmektedir. Hasat sırasında çigneme % 35 ve balyalama sırasında ise % 60'dır (Munsuz 1985). Tarım araçlarının aynı izlerden gidiş sayılarının artması ile

toprağın sıkışmasının artacağı, çalışma hızlarındaki artış ile sıkışmasının azalabileceği ortaya konmuştur (Bal 1985).

Toprak makina ilişkilerinin büyük bir kısmını toprak tekerlek ilişkileri kapsamaktadır. Sıkışmanın toprağın kuru haldeki hacim ağırlığı ve tekerlek batma direncindeki değişimler yardımıyla bulunması, toprak içindeki gerilmelerin toprağa gömülen basınç algılayıcıları ile saptanması ve batmanın ölçülmesi bize toprak deformasyonları hakkında nitel ve nicel bilgiler sağlayacaktır (Harzadın ve Güray 1985). Her türlü tarım makinaları ve traktör tekerlekleri ile toprakta deformasyona neden olmaktadır. Toprak şartlarına uygun tekerlek konfigürasyonu ve tekerlek yüklerinin belirlenmesi ile topraktaki sıkışma azalacak, aynı motor gücüyle daha fazla çeki gücü geliştirilecektir. Lastik boyutlarının ve yüklerinin toprak şartlarına bağlı olarak batmaya etkilerinin incelenmesi sonucunda çeşitli tarım alanlarında kullanılan lastiklerin yük artışlarının ve boyutlarının, toprak şartlarına bağlı olarak seçilmesi ve bu araçların tasarımlarında toprak şartlarının daha fazla bozulmasının önlenmesi için gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir (Harzadın ve Güray 1985).

Tarım traktörleri ile tarım aletlerinin tarla trafiğiyle neden olunan toprak sıkışmasının değerlendirilmesinde sıkışmanın tahmini ve ölçümüne ihtiyaç duyulmaktadır. Alet trafiğinin neden olduğu toprak gerilme dağılımının ölçülmesinde toprağa yerleştirilen yük hücreleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada; iki farklı nem düzeyinde, tınlı toprak şartında farklı dinamik yük, şişme basıncı, geçiş sayısı ve ilerleme hızlarında çalıştırılan 13.6/12-36 (6 kat) ölçülerindeki lastik tekerleğin toprakta meydana getirdiği sıkışma miktarı belirlenmiştir. Bu amaçla, tekerlek izinin altında iki farklı derinliğe yük hücreleri yerleştirilmiş ve düşey yöndeki toprak gerilmeleri ölçülmüştür. Bunun yanında; toprağın hacim ağırlığı, penetrasyon direnci ve tekerlek iz derinliği incelenmiş ve toprak sıkışıklığına etkili bu parametreler arasında var olan ilişkiler ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Perumpral ve ark. (1971) yaptıkları çalışmada, sabit ve hareketli traktör tekerleği altındaki gerilme dağılımı ve toprak deformasyonunu tahmin etmek için sonlu eleman yöntemi kullanmışlardır. Bir laboratuvar deneyi yaparak, ölçülen gerilme değerleri ile tahmin edilen değerleri karşılaştırmışlardır. Değişik yatay düzlemler üzerindeki dikey gerilme dağılımlarını ölçmek için toprak içine uzayabilir ölçü şeridi (strain gauge) tipi basınç hücreleri yerleştirmişlerdir.

Raghavan ve ark (1977), geçiş sayısı ve değişik dış basınçlara bağlı olarak farklı aletlerin tekerlek izleri altında meydana gelen nem şablonları ve toprak hacim ağırlığının ölçüm sonuçlarını vermişlerdir. Ayrıca, laboratuvar da benzer toprakların sıkışma davranışlarını belirlemişlerdir. Bu sonuçları kullanarak, killi topraklar için ifade edilen basınç uygulamaları ve nem içeriklerinde hacim ağırlığını tahmin eden bir eşitlik elde etmişlerdir.

Ayers ve Perumpral (1982) toprağın penetrasyon direncine; toprağın hacim ağırlığı, nem içeriği ve toprak tipi dahil birçok faktörün etkili olduğunu belirterek; nem içeriği, hacim ağırlığı ve toprak tipinin koni indeksine etkilerini incelemişler ve bu değişkenlere bağlı olarak amprik bir model geliştirmişlerdir. Sıkışma ve penetrasyon testlerinin sonuçlarına göre kuru yoğunluk-nem içeriği ve koni indeksi-nem içeriği ilişkilerini ortaya koymuşlardır. %50 killi - %50 kumlu toprakta; maksimum kuru yoğunluğun ($2,37 \text{ g/cm}^3$) %10 nem içeriğinde ve maksimum koni indeksinin (3300 kPa) ise %5 nem içeriğinde meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Toprağın kil oranı arttıkça maksimum sıkışmanın daha yüksek nem içeriğinde meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Araştırmacılar, koni indeksi-hacim ağırlığı-nem içeriği ilişkisini tarif eden aşağıdaki amprik modeli geliştirmişlerdir.

$$CI = (C1 \cdot DD^{C4}) / C2 + (MC - C3)^2$$

Burada;

CI : Koni indeksi (kPa)

DD : Hacim ağırlığı (g/cm^3)

MC : Nem içeriği (% kuru ağırlık)

C1, C2, C3 ve C4: Toprak tipi ve bağlı olarak tahmin edilen sabitlerdir.

Trouse (1982), dinamik yük, şişme basıncı ve % patinaj oranının toprak sıkışmasına etkilerini belirlemek için yaptığı çalışmada R-1, 8 katlı 20.8R38 tekerlek kullanmıştır. Trouse'nin çıkardığı sonuçlar şunlardır:

a- Görünüşte esnek pnömatik tekerleklerde artan yüklenmenin etkisiyle meydana gelen sıkışma tekerlek karkasındaki bükülme (bükülme) den dolayı ihmal edilebilir.

b- Koni indeksi ve hacim ağırlığı değerleri dinamik yükte 20 kN'un üzerindeki büyük artışlara göre tekerlek iç basıncındaki küçük değişimlere daha duyarlıdır.

c- Tekerleğin bükülme enerjisinin çoğu; tekerlek izindeki, çoğu zaman gevşek olan toprak bloklarının kesilme hareketinde ve tekerleğin bükülmesi veya sıkışmada harcanmaktadır.

Koger ve ark. (1984) toprak sıkışmasına toprak tipi, tekerlek boyutu, şişme basıncı ve % patinaj oranının etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada; üç farklı ölçüde tekerlek(18.4-34, 24.5-22 ve 30.5L-32) kullanarak; dinamik yük, hacim ağırlığı ve penetrasyon direnci arasındaki ilişkileri belirlemişlerdir. Dinamik yükün; hacim ağırlığı, koni indeksi ve tekerlek iz derinliğindeki artışa yardım eden önemli bir değişken olduğunu ve patinajın sıkışma üzerine dinamik yükten daha etkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Campbell ve Dickson (1984), 4 alternatif tekerleğin meydana getirdiği tekerlek iz geometrisi, koni indeksi ve toprak hacim ağırlığında meydana gelen değişimi, toprak kanalında simülasyonu yapılan tohum yatağında ölçmüşlerdir. Traktörlere uygun ön ve arka ağırlıklarla ve düşük çeki kuvvetinde radyal ve düşük basınçlı tekerleklerin diğer iki tekerleğe göre toprağı daha az sıkıştırdığını belirtmişlerdir. Tekerlek basınçlarının yarıya düşürülmesinin, toprak sıkışmasının büyüklük veya derecesi üzerine önemli bir etkisinin olmadığını ifade etmişlerdir.

Plackett (1984), tarım tekerlekleri ile düz bir rijit yüzey arasındaki zemin basıncını hesaplamıştır. Tekerlek profil yüksekliğindeki artışın; temas alanının boyutunun artmasına ve zemin basıncının azalmasına neden olduğunu belirtmiştir. İncelenen tekerleklerin tümü için kullanılan şişme basınçlarında, tam ve yarım yükte; yük ve tekerlekteki ezilme arasında doğrusal bir ilişki elde etmiştir. Şişme basıncının lastik karkasına bağlı olarak oluşan zemin basıncının iyi bir göstergesi olduğunu ifade etmiştir.

Koger ve ark. (1985), tekerlek boyutu, dinamik yük, şişme basıncı ve geçiş sayısının hacim ağırlığına olan etkisinin toprak tipiyle önemli şekilde değiştiğini saptamışlardır. Hacim ağırlığındaki en büyük değişimin testten önceki toprak şartları ve ilk geçiş arasında meydana geldiğini ve hacim ağırlığı değerlerinin yalnız tınlı kumda her geçişten sonra önemli oranda arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca, bu çalışmanın sonuçlarında, hacim ağırlığı değerlerinin tekerlek boyutunun artması ve şişme basıncının azaltılmasıyla azaldığını bulmuşlardır.

Harzadın ve Güray (1985), toprak şartlarına bağlı olarak lastik üzerindeki yükün toprağa yaptığı basıncın derinlikle değişimini incelemişlerdir. Lastiklerin altında ölçülen basınçların hangi toprak şartında olursa olsun derinlikle azaldığını belirtmektedirler. Nem oranı yüksek olan toprakta; toprak içindeki basıncın derinlikle az değiştiğini, yükün fazla önemli bir etken olmadığını tespit etmişlerdir. Bunun yanında, gevşek ve kuru toprakta; üst tabakalarda basınç çok yüksek iken derinlere inildikçe basıncın hızla azaldığını ifade etmişlerdir.

Pollock ve ark. (1986), tekerlek izi altındaki toprağın hacimsel zorlanmasını tahmin etmek için bir sonlu eleman yöntemi geliştirmişlerdir. Araştırmacılar, hesaplanma güçlüğünü azaltmak için uniform bir basınç dağılımı ile tekerlek izinin dairesel olduğunu kabul etmişlerdir. Artan yükleme yöntemi kullanarak yürüttükleri denemelerde, doğrusal olmayan analizlerin sonucunda toprak sıkışması üzerine tekerlek boyutu, toprak tipi ve geçiş sayısının etkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Nicholas ve ark. (1987), topraktaki gerilme durumunun belirlenmesinde 6 normal basıncın ölçümü için bir gerilme durumu algılayıcısı geliştirmişlerdir. Tekerlek izi altındaki gerilme verilerini toplamak için algılayıcıları sıkışmamış toprak yüzeyinden 30 cm ve 45 cm derinliğe yerleştirmişlerdir (Bailey ve ark.1988). Ölçülen gerilme verilerinden bütün gerilmelerin değerini hesaplamışlardır. İzin, gerilme yükü, ortalama gerilme ile octahedral kesme gerilmesinin oranı olarak tanımlanmış ve algılayıcı üzerinden tekerlek geçişleri için değişmediğini, nispeten sabit olduğunu belirlemişlerdir.

Bailey ve ark. (1988) toprak tipi, dinamik yük ve ölçüm derinliğinin ölçülen hacim ağırlıkları üzerine önemli bir şekilde etki ettiğini belirtmişlerdir.

Djordje (1988), laboratuvar şartlarında, değişik dinamik yükte killi ve kumlu tınlı toprakta 6 tip traktör tekerleğinin toprak sıkışmasına etkilerini test etmiştir. Tekerlek iç

basıncındaki artış ile tekerlek izindeki toprağın hacim ağırlığının önemli bir şekilde arttığını ifade etmiştir.

Burt ve ark. (1989), pnömatisik traktör tekerleğinin toprak tekerlek ara yüzeyindeki normal gerilmeler üzerine, tekerlek dinamik yükünün etkilerini araştırmışlardır. Toprak tekerlek ara yüzeyindeki normal gerilmeleri, 18.4 R-38 ölçülerindeki tekerleğin toprağa temas eden yüzeyi üzerine Burt ve ark. (1987) tarafından tanımlanan 5 adet algılayıcı yerleştirilerek ölçmüşlerdir. 4 dinamik yük (5.9-11.7-17.6 ve 23.4 kN), 2 toprak tipi, hazırlanan 2 toprak şartı (gevşek ve sert), 110 kPa şişme basıncı ve %18,5 patinaj düzeyinde yürütülen denemeler sonunda, gevşek toprak üzerinde dinamik yükün artması ile normal gerilmelerin arttığını ifade etmişlerdir. Sert toprakta ise, tekerleğin dış yanı yakınındaki normal gerilmelerin dinamik yük ile arttığını fakat, tekerlek merkezi yakınındaki normal gerilmelerin azaldığını ortaya koymuşlardır.

Makin (1989), tek(single) ve çift(dual) traktör arka tekerlekleri altındaki toprak sıkışmasını belirlemeye çalışmıştır. Bu amaçla, sıkıştırılan toprağın hacim ağırlığı ve koni indeksini ölçmüştür. Aynı yükte, tek tekerleklere göre çift arka tekerleklerin sıkıştırdığı toprağın hacim ağırlığının daha büyük olduğunu belirtmektedir.

Schwanghart (1989), toprak kanalında, yüzeysel ve derin işlenmiş toprak üzerinde yaptığı çalışmada küçük traktör tekerleği (6.50-20 AS) altındaki hacim ağırlığı ve tekerlek batmasını ölçmüştür. 0.88 m çapında ve 0,2 m genişlikteki tekerleğin 5370 N dikey yükteki çökmesinin 18 cm , 1140 N yükte ise 10 cm olduğunu, hacim ağırlığı 1 g/cm³ olan gevşek toprağın sıkıştırma sonucundaki hacim ağırlığının 1,3 g/cm³ ve 1,5 g/cm³ olduğunu belirtmiştir. Sıkışmanın 30 cm ve 40 cm derinlikte meydana geldiğini ifade etmiştir.

Barone (1990), pnömatisik tekerleklerin neden olduğu toprak sıkışmasını değerlendirmek amacıyla bir deneysel çalışma yapmıştır. Yük, patinaj ve geçiş sayısının (1, 2 ve 4 geçiş) farklı derinliklerde ki sıkışma derecelerine etkisini belirlemek için %83 kum, %15 kil ve %2 siltli toprakta çapı 1,20 m olan tekerlekle çalışmışlardır. Tekerleğin ilk geçişinden sonra meydana gelen sıkışmanın çok yüksek olduğunu, sıkışmanın tekrarlanan geçişler ve çekme kuvveti ile arttığını belirtmiştir.

Johnson ve Burt (1990), toprak yüzeyi üzerinden tekerlekle yük geçirilmesi ile toprağın bir noktasındaki gerilmeleri tahmin etmek için bir yöntem geliştirmişlerdir.

Wood ve ark. (1991), derin toprak işleme ve kulaklı pullukla yapılan iki farklı toprak işleme işlemi ile hazırlanan siltli tınlı bir toprağın, 3 tekerlek konfigürasyonu (tek 18.4 R42 radyal, çift 18.4 R42 radyal ve tek 16x43.00-25 yüksek basınçlı) ve 6,4 t aks yüküyle oluşturulan sıkışmaya tepkisini incelemişlerdir. Pullukla sürülen toprak üzerinde yüksek basınçlıya göre 18.4 R42 tek ve çift tekerleklerin etkilerin daha derin olduğunu, bununla beraber 6,4 ton aks yükünün sıkışmaya etkilerinin incelenen şartlar için toprağın fiziksel özelliklerinde aşırı bir değişim meydana getirmediğini ifade etmişlerdir. 18.4 R42 tekerleklerin derin işlenen toprakta 50 mm'den çok derinliklerde toprağın fiziksel özelliklerine etkili olmadığını ortaya koymuşlardır.

Bicki ve Siemens (1991), mısır ve soya fasulyesinin yetiştirilmesi ve verimi üzerine; a) toprak yüzeyinin tümünde tekerlek trafiği, b) alternatif sıralar üzerinde tekerlek trafiği ve c) ekstra tekerlek trafiğinin olmadığı üç uygulamanın tekerlek trafiğiyle oluşturduğu toprak sıkışmasının etkilerini karşılaştırmışlardır. Sıkıştırma uygulamasını, arka tekerlekleri 8,5 Mg ve ön tekerlekleri 2,1 Mg yük taşıyan traktörle yapmışlardır. Traktör üzerinde 152 kPa hava ile şişirilmiş 16.9x38 çapraz katlı tek tekerlekler vardır. Penetrasyon direncinin toprak nem içeriğindeki farklılaşmadan dolayı yıldan yıla değiştiğini ve mısır ve soya fasulyesi verimleri arasında 4 yıllık değerlendirme sonucunda önemli bir farkın olmadığını belirtmişlerdir. Verimdeki yıllara göre farklılığının toprak nemi ve hava şartlarından kaynaklandığını kabul etmişlerdir.

Erbach ve ark (1991), yaptıkları çalışmada taşıt yüküne maruz kalan toprağın sıkışmasını ölçmek için bir algılayıcı tanımlamışlardır. Algılayıcıların 4 tanesini tekerlek izinin merkez çizgisi boyunca, diğer ikisini de eksenden kaçık olarak farklı derinliklere yerleştirmişlerdir. Toprak zorlanmasının ön aksa göre arka aksta daha büyük olduğunu ve arka aks için maksimum zorlanmanın 150 mm ile 300 mm derinliklerdeki algılayıcıların üzerinde meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Tekerlekler tarafından meydana getirilen bozulmanın yaklaşık olarak 410 mm genişliğinde ve 67 mm derinliğinde olduğunu ölçmüşlerdir. Ayrıca, hacim ağırlığındaki değişimin 75, 150, 225, 300 ve 450 mm derinlikler için sırasıyla %10, %15, %15, %14 ve %0 olduğunu bulmuşlardır. Araştırmacılar, tanımlanan algılayıcıların diğer ölçüm tekniklerine göre daha az toprak bozulmasına neden olduğunu ve tarım toprağının içine kolayca yerleştirilebildiğini belirtmişlerdir.

Schwanghart (1991), geniş terra, zayıf profilli araç tekerleği ve 2 tip traktör tekerleği altındaki toprak sıkışmasını toprak kanalındaki gevşek toprak şartında ölçmüştür. Modern traktör tekerlekleriyle oluşan sıkışmanın terra ve araç tekerleklerine göre 25 cm ile 40 cm derinliklerde, %13 daha az olduğunu ifade etmiştir.

Warner ve ark. (1991), patinajın toprak yapısına etkisini incelemişlerdir. Patinajın sıfır olduğu durumda, tekerlekteki yükün killi toprağa göre löslü toprakta hacim ağırlığını daha çok artırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca; patinaja bağlı olarak hacim ağırlığında meydana gelen artışın, killi toprakta %25 ve löslü toprakta ise %10 patinajda maksimuma ulaştığını ifade etmişlerdir.

Okhitin ve ark. (1991), tarla şartlarında traktör tekerleği altındaki toprağın dikey deformasyonuna tekerlek geçişinin etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla toprak profili içine algılayıcılar yerleştirmişlerdir. Dikey toprak deformasyonunun tekerlek geçişi ile arttığını, en yüksek deformasyon değerlerinin 15-25 cm derinlikte meydana geldiğini ve derinlik arttıkça deformasyonun azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca, çok yüksek nem içeriklerinde tekerlek basıncı uygulandığı zaman topraktaki deformasyonun arttığını ve maksimum deformasyon derinliğinin büyüdüğünü açıklamışlardır.

Rusanov (1991), tekerlek trafiğinin; toprağın fiziksel özellikleri, toprak işleme direnci ve farklı ürünlerin verimleri üzerine etkisini belirlemek için uzun süreli denemeler yapmıştır. Sonuçta; modern ağır toprak işleme ve hasat aletlerinin toprağın işleme direncinin artmasına ve toprak yapısı ve verimliliğinin bozulmasına neden olduğunu göstermiştir. Tekerlek geçiş sayısı ve tekerlek basıncının büyüklüğüne bağlı olarak ürün verimlerinde değişimler olduğunu belirtmektedir.

Domzal ve Hodora (1991) yaptıkları çalışmada; birincil ve ikincil toprak işleme gibi tarla işlemleri süresince traktörler ve diğer tarım makinaları tarafından sıkıştırılan toprakların fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Traktör tekerleğinin toprağın hacim ağırlığını artırdığını ve genellikle büyük parçaların hacminde değişiklikler meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Burt ve ark. (1992), tekerlek ve toprak arasındaki temas basıncını belirleyen birkaç yöntem arasında karşılaştırma yapmışlardır. Tekerleğin yüzeyi üzerindeki basınç değerlerini, yüzey alanı üzerindeki normal ve teğetsel gerilmeleri hisseden algılayıcılar kullanarak ölçmüşlerdir. Denemeleri 4 dinamik yük düzeyi 15.9-11.7-17.6 ve 23.4 kN),

110 kPa şişme basıncı, 1.5 m/s ilerleme hızı ve %15 patinajda sabit şartlarda yürütmüşlerdir. Sıkıştırılmış topraklar üzerindeki denemelerde; tekerlek toprak yüzeyinde ölçülen pik basınçların, temas alanındaki dinamik yüklere bölünerek hesaplanan basınçlara ve ölçülerek belirlenen esas basınçlara göre çok daha büyük olduğunu ifade etmişlerdir. Sıkıştırılmamış topraklardaki pik basınçların ise hemen-hemen şişme basıncına denk olduğunu belirtmişlerdir.

Kinney ve ark. (1992), tek, çift ve çelik paletli tekerleklere sahip tarım traktörleri altındaki toprak zorlanmasını ölçmek için bir algılayıcı (Erbach ve ark.1991) kullanmışlardır. Ölçüm için; çekici aletin izinin merkez çizgisi boyunca 200 mm aralıklarla toprak yüzeyinden 100, 150, 200 ve 300 mm derinliklere 4 adet algılayıcı yerleştirmişlerdir. Toprak gerilmesini, algılayıcıların toprak içine yerleştirildiği zamanki ilk uzunluğunu algılayıcı uzunluğundaki değişime bölerek tayin etmişlerdir. Her parselde; toprak zorlanması, hacim ağırlığı, nem içeriği, koni penetrasyon direnci ve çekici alet basınç alanı ölçümleri yapmışlardır. Araştırmacılar; tek arka tekerlekli traktör için 100 ile 245 mm derinlikteki toprak gerilmelerinin önemli derecede büyük olduğunu ve toprak gerilmesindeki farklılığa toprak derinliğindeki azalma ile traktörlerdeki tekerlek sistemlerinin neden olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca; toprak zorlanmasındaki artışların toprak hacim ağırlığı ve toprak penetrasyon direncinin artmasına neden olduğunu ifade etmişlerdir.

Çarman (1992), tarımda kullanılan bazı lastiklerin farklı dinamik yüklerde ve iç basınçlardaki temas yüzey alanlarını belirlemiştir. Ayrıca, toprağın yüzeyi ve 30 cm derinliğindeki potansiyel sıkıştırma indekslerini hesaplamıştır. Denemeye aldığı lastiklerin ortalama temas basıncı değerlerinin 0.86...2.69 kg/cm² arasında değiştiğini belirtmiştir. Lastik yükündeki artışa bağlı olarak ortalama temas basıncındaki artışın %116-150 arasında olmasına karşın; işletme karakteristiklerindeki ve profil yüksekliklerindeki değişim nedeniyle ortalama temas basınçlarındaki değişimin büyük olduğunu ifade etmiştir. Sonuç olarak; değişen lastik yükü ve iç basıncın ortalama temas basıncı üzerindeki etkisinin önemli olduğunu ve potansiyel sıkıştırma indeksi değerlerinin yüzeyden derinlere gidildikçe önemli miktarda azaldığını not etmiştir.

Bailey ve ark. (1992), 18.4R-38 R-1 radyal traktör tekerleği altındaki toprak gerilmelerini; iki toprak ve yoğunluk profilinde, 5 farklı dinamik yük ve şişme basıncı

kombinasyonunda ölçmüşlerdir. Bu amaçla; traktör tekerleğinin izinin merkez çizgisi altında iki derinliğe algılayıcı yerleştirmişlerdir. Tekerlek üzerindeki dinamik yükün her iki toprak ve profildeki gerilmelere önemli oranda etkili olduğunu, şişme basıncının ise yalnız kumlu tınlı toprakta etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Marsilli ve Servadio (1992), tarım topraklarında tarım makinalarının oluşturduğu toprak sıkışmasının, kullanılan tekerleğin tipi, genişliği, şişme basıncı ve geçiş sayısı ile etkilendiğini belirtmiştir. Farklı tipte iki tekerlek ile bir traktör ekipmanının tekrarlanan geçişinin toprak üzerinde meydana gelen sıkışmaya etkilerini ölçmek için bir deneme yürütmüşlerdir. Denemede, düşük basınçta çalıştırılan standart radyal ve ekstra genişlikte iki tekerlekle aynı alan üzerinde farklı sayıda geçiş (1-3-5) yapılmıştır. Sıkışmaya olan etkileri, tekerlek izinde ve normal parselde farklı derinliklerde penetrometre testleri yaparak birleştirmişlerdir. Özellikle yüksek nem içeriğine sahip topraklarda ekstra geniş tekerleklerin kullanımıyla standart radyal tekerleklere göre toprağın dinamik penetrasyon direncinde önemli bir azalmanın görüldüğünü ifade etmişlerdir.

Salokhe ve Ninh (1992), tarım traktörlerinin pnömatik tekerleri altındaki toprak sıkışmasının boyutsal analizini yapmışlardır. Analizler için toprak sıkışmasına etkili olan değişik parametreleri (tekerlek boyutu, tekerleğin iç basıncı, aks yükü, tekerlek geçiş sayısı ve farklı toprak şartları) göz önüne almışlardır. Killi toprağın hacim ağırlığındaki değişime dayanarak sıkışmanın miktarını belirlemişlerdir.

Ruhling (1992), yaptığı çalışmada kuru toprağa sahip üzüm bağının temizlenmesinde 15 cm derinlikte rotatillerle işlemeden sonra toprak yapısının korunması için çalışmıştır. Denemelerde paletli traktör ve terra ve düşük basınçlı tekerleklerle donatılmış boş ağırlığı 1560 kg olan dar izli traktör kullanmıştır. Tekerlek basıncı, tekerlek tipi, toprak nem içeriği ve çok yönlü geçişin etkisini belirlemiş ve toprak sıkışmasının önlenmesi için dikkat edilecek sonuçları sunmuştur.

Ababe ve ark. (1992), traktör ilerleme hızının toprak sıkışmasına etkilerini belirlemeye çalışmışlardır. Farklı traktör ilerleme hızlarında ki sıkışmanın dağılımı ve yoğunluğunu; tekerlek iz profili, koni penetrasyon direnci ve hacim ağırlığını ölçerek belirlemişlerdir. Traktörün hızının 0,5'den 4,5 m/s'ye çıkmasıyla, genellikle toprağın sıkışma indeksinde %15, penetrasyon direncinde %70 ve yüzeydeki çökmede %24'lük bir azalma olduğunu ifade etmişlerdir.

Erbach ve Knoll (1992), alet yükü ve temas basıncının toprak sıkışmasını nasıl etkilediğini belirlemek için tarla denemesi yapmışlardır. Şişme basıncının artmasıyla hacim ağırlığının arttığını ve yükün artmasıyla da şişme basıncının etkisinin de arttığını belirtmişlerdir.

Kramer (1992) killi tınlı toprakta; tekerlekler, tekerlek yükleri ve tekerlek şişme basıncının 4 kombinasyonunu kullanarak tarım makinalarının neden olduğu sıkışmayı incelemiştir. Zemin basıncının yüksek yüklerle arttığını ama, zemin basıncının geniş tekerlekler kullanılarak azaltılabileceğini ve aşırı yüklerde zemin basıncını koruyabilmek için tekerlek basıncında büyük bir artış yapmanın gerekli olduğunu belirtmiştir.

Way ve ark. (1993), tekerlek profil yüksekliğinin toprakta meydana getirilen basınca etkisini incelemiştir. Profil yükseklikleri yeni tekerlek profil yüksekliğinin % 31 ve %55'i olan iki benzer tekerlek ve 18.4R-38 radyal katlı R-1 yeni traktör tekerleğinin toprak tekerlek ara yüzeyindeki normal basınçları ölçmüşlerdir. Her bir tekerleği 110 kPa şişme basıncı, 25 kN dinamik yük ve %10 patinajda çalıştırmışlardır. Denemeleri; kumlu tınlı ve killi tınlı toprakta uniform sıkışmamış toprak profili ve sert tabakalı toprak profilinde yapmışlardır. Ölçümler için tekerleklerin izi altına (3 adet) ve profil üzerine (3 adet) toplam 6 adet basınç algılayıcısı yerleştirmişlerdir. En küçük ortalama basıncın kumlu tınlı toprağın üniform profilinde, %31 profil yüksekliğindeki tekerlek altında (64-98 kPa) meydana geldiğini, en büyük ortalama basıncın ise (3-217 kPa) killi tınlı toprakta, yeni profil yüksekliğine sahip tekerlek altında meydana geldiğini bulmuşlardır. Genellikle, izin dış kenarında lif üzerine yerleştirilen algılayıcılarla diğer algılayıcılara göre daha yüksek basınçların ölçüldüğünü, profil yüzeyi üzerindeki toprak tekerlek ara yüzey basınçlarının profil yüksekliğindeki artış kadar arttığını ifade etmişlerdir.

Steward and Vyn (1994), siltli tınlı toprakta, yüksek aks yüküyle yapılan farklı seviyelerdeki trafik uygulaması (parsel yüzeyinin %0, %25 ve %100'ü üzerinde 12 tonluk dingil ağırlığı ile yapılan trafik) ile değişik toprak işleme sistemlerinin (sıfır toprak işleme, sonbaharda kulaklı pulluk ve sonbaharda çizel); toprağın hacim ağırlığı, penetrasyon direnci ve mısır verimi üzerine etkilerini belirlemeye çalışmışlardır. Yükleme sonucunda; hacim ağırlığında meydana gelen farklılıkların 5-10 cm derinlik aralığında, 3 toprak işleme sistemi içinde önemli olduğunu belirtmişlerdir. 0-10 cm derinlik aralığında yüklemenden

dolayı penetrasyon direncinde meydana gelen farklılıkların genellikle yalnız sıfır toprak işleme sisteminde önemli olduğunu, ama 12-22 cm derinlikte penetrasyon direncindeki farklılıkların tüm toprak işleme sistemleri içinde çoğu kez önemli olduğunu ve yüklenmeyle maksimum 35 cm derinliğe kadar penetrasyon direncinde önemli bir artış meydana geldiğini ifade etmişlerdir.

Blundan ve ark. (1994), Batı Avustralya'da yaptıkları çalışmada, buğday yetiştirilen alanlardaki kumlu topraklarda oluşturulan normal gerilmeleri 4 farklı derinliğe (150, 300, 400 ve 500 mm) elektronik basınç hücreleri yerleştirerek ölçmüşlerdir. Ayrıca, trafik uygulamasından önce ve sonra bu derinliklerdeki koni penetrasyon direnci ve hacim ağırlığını da ölçmüşlerdir.

Alakuku ve Elonen (1994), yüksek aks yüklü aletlerin neden olduğu alt toprak sıkışmasını incelemişlerdir. Killi tın/ağır killi ve organik topraklar üzerindeki denemelerde, trafik; tandem aksı üzerine 10 veya 16 Mg yüklenmiş traktör tekerlekleri ile uygulanmıştır. Trafik denemelerinden sonra pulluk derinliğinden aşağıda oluşan toprak sıkışmasının 6 yıl durduğunu belirlemişlerdir.

Çarman (1994), yaptığı çalışmada traktör ilerleme hızı ile tekerlek yükünün toprak sıkışmasına etkilerini incelemiştir. Denemelerde, her bir arka tekerleği üzerinde 7,27 ile 13,50 kN arasında değişen dinamik yük bulunan ve ilerleme hızı 0,78 ile 2,5 m/s arasında değişen 2 WD traktörün arka tekerlek izi altındaki sıkışma değişkenlerini bir tarla denemesi yaparak ölçmüştür. Toprak sıkışmasını belirlemek için koni indeksi, hacim ağırlığı, kesme gerilmesi ve tekerlek batma miktarını ölçmüştür. Sonuçta, verilen ilerleme hızında tekerlek yükü arttığında koni indeksi, hacim ağırlığı, kesme gerilmesi ve batmanın arttığını belirtmiştir. Tekerlek yükünün ilerleme hızına göre; koni indeksi, hacim ağırlığı, kesme gerilmesi ve batmayı daha kuvvetli bir şekilde etkilediğini ifade etmiştir.

Block ve ark. (1994) toprak kanalında kumlu tınlı ve killi tınlı toprakta iki farklı toprak durumunda yürüttükleri denemelerde 137 cm çapında ve 30 cm genişliğinde rijit bir tekerlek altındaki gerilmeleri ölçmüşlerdir. Gerilmeleri, 5.8-11.6 kN'luk iki dinamik yük ve % 10 - %18.5'luk iki patinaj düzeyinde, 3 farklı bölgeye yerleştirdikleri algılayıcılarla ölçmüşlerdir. Araştırmacılar; rijit tekerlek izi altında ölçülen toprağın gerilme durumuna; toprak tipi, toprakta oluşturulan sert tabakanın durumu, tekerleğin dinamik yükü, tekerlekteki patinaj ve algılayıcı bölgesinin etkisini incelemişlerdir.

Meydana gelen toprak gerilmeleri üzerine; toprak tipinin önemli bir etkisi olduğunu, dinamik yükün meydana gelen gerilmeler üzerine etkili olduğunu ve toprak gerilmelerinin ölçüm bölgesine göre değiştiğini belirtmişlerdir. Genel olarak; tekerleğin merkez çizgisinde yüzeysel bölgedeki gerilmelerin derin bölgedeki gerilmelere göre daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir.

Göknur ve Yavuzcan (1995), çalışmalarında koni indeksinin toprağın nem içeriğine ve hacim ağırlığına bağlılığının belirlenmesini amaçlamışlardır. Orta ağır toprak koşulunda yaptıkları ölçümlerden elde ettikleri koni indeksi değerlerini, teorik olarak buldukları koni indeksi değerleriyle karşılaştırmışlar ve koni indeksi, nem içeriği, hacim ağırlığı arasındaki ilişkiyi aşağıdaki eşitlikle ifade etmişlerdir.

$$CI= 10,90-3,30 \ln MC+0,0232 \rho$$

Burada;

CI : Koni indeksi (MPa)

MC : Nem içeriği (%)

ρ : Hacim ağırlığı (kN/m^3)'dır.

Adam ve Erbach (1995), yaptıkları çalışmada; toprak sıkışması derinliği ile tekerlek batma derinliğinin ilişkisini araştırmışlardır. İlişkiyi doğrulamak için laboratuvar ve tarla denemeleri yürütmüşlerdir. Laboratuvarda toprağa 25, 50, 100 ve 150 kPa'lık gerilmeler uygulamışlardır. Tarla testlerinde ise farklı yüklerde ve tekerlek şişme basınçlarındaki bir traktör kullanmışlardır. Uygulanan gerilmeye meydana gelen önemli sıkışmanın derinliğini belirlemek için hacim ağırlığındaki değişimleri kullanmışlardır. Araştırmacılar, sıkışma derinliği ve batma derinliği ile ilgili olarak aşağıdaki amprik eşitliği bulmuşlardır.

$$Y=b.x.m$$

Burada;

Y : Sıkışma derinliği

x : Batma derinliği

b ve m: Regresyon sabitleridir.

Way ve ark (1995), yeni tekerlek profil yüksekliğinin %31 ve %55 profil yüksekliğine sahip iki tekerlek ve yeni bir 18,4R-38 ölçülerindeki traktör tekerleğinin profil yüksekliklerinin toprak gerilmeleri ve hacim ağırlığına etkilerini incelemişlerdir. Denemelerde 110 kPa şişme basıncı, 25 kN dinamik yük ve %10 patinajda çalışmışlardır. Gerilmeler, kumlu tın ve killi tınlı toprakta ki sert tabaka toprak profili ve uniform toprak profilinde 3 farklı derinliğe yerleştirilen gerilme durumu algılayıcıları ile ölçmüşlerdir. Yeni tekerleğin, killi tının sert profili ve kumlu tının uniform profilinde hacim ağırlığında büyük bir artış meydana getirdiğini, %55 profil yüksekliği olan tekerleğin sert profil ile kumlu tında, yeni ve %31'lik tekerleğe göre önemli oranda büyük bir hacim ağırlığı artışı meydana getirdiğini belirtmişlerdir.

Raper ve ark. (1995), şişme basıncı ve dinamik yükün, toprak deformasyonu ve toprak tekerlek ara yüzey gerilmelerine etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla, 41 ve 124 kPa şişme basıncında ve 13,1 kN ve 25,3 kN dinamik yükte 18,4R-38 traktör tekerleği kullanmışlardır. İz alanındaki deformasyon ve iz genişliği ölçümlerini profilmetre ile yapmışlardır. İz derinliği, temas uzunluğu ve temas alanı üzerine dinamik yük ve şişme basıncının etkilerini bulmuşlardır. Aynı zamanda; iz alanındaki deformasyona dinamik yükün etkili olduğunu belirlemişlerdir. Şişme basıncı ve dinamik yük arttığında toprak tekerlek ara yüzey gerilmelerinin düzeylerindeki artışı da belirtmişlerdir.

Öğüt (1995), toprak sıkışmasının traktörün ilerleme hızı, geçiş sayısı, ekipman ve traktör ağırlığı, lastik ölçüleri, lastik yapısı ve şişirme basıncı ile birlikte toprağın bünyesi ve neminin de bu olayda etkili olduğunu belirtmiş ve toprak sıkışmasının azaltılması açısından alınabilecek tedbirleri aşağıdaki gibi sıralamıştır: Bunlar;

- ıslak zeminlerden mümkün olduğunca kaçınılması,
- derin iz oluşturmaktan kaçınılması,
- geçiş sayısının azaltılması,
- mümkün olduğunca düşük lastik şişirme basıncının kullanılması,
- traktörün muharrik tekerleklerine ikiz yada kafes tekerlek takılması,
- patinajın kontrol edilmesi,
- yüksek hızlarda çalışılması,
- traktör ekipmanlarının gereğinden daha ağır yapılmaması,
- tekerlek üzerindeki yük dağılımının dengeli olmasıdır.

Birkas ve ark. (1996), Macaristan'da yaptıkları çalışmada, topraktaki sıkışmanın yeri ve şekli, ilk toprak sıkışması ve toprak su içeriğinin birincil toprak işlemenin niteliği üzerine etkileri ve birincil toprak işlemenin enerji gereksinimi üzerine ilk toprak sıkışmasının etkisini incelemişlerdir. Toprak sıkışmasının çoğunlukla 18-22, 22-26, 28-32 cm ve 40 cm'den daha derin toprak tabakalarında meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Orta bünyeli topraklarda, toprak nem içeriği ve toprak sıkışmasının toprak işleme kalitesini etkileyen esas faktörlerden birisi olduğunu, nem içeriği sabit kabul edildiğinde ve toprak sıkışması arttığında kesek oluşumunun artmakta olduğunu ve toprak sıkışmasının uygulanacak toprak işleme yöntemini belirlediğini belirtmişlerdir. Ayrıca; kesek oluşumunu ve yakıt tüketimini en fazla 18-22 cm ve 28-32 cm toprak derinliğinde meydana gelen toprak sıkışmasının artırdığını ortaya koymuşlardır. Sonuç olarak; toprağın kültürel karakterizasyonunda sıkışmanın çok önemli bir faktör olduğunu, kültivasyon yöntemlerinin toprak şartları ve fiziksel özellikleriyle uygun toprak suyu oranı belirlenerek yapılması gerektiğini, sıkışmış toprak şartlarındaki birincil toprak işlemeyle keseklenme arttığını ve toprağın fiziksel durumunun toprak işlemenin enerji tüketimini etkilediğini belirtmişlerdir.

Çarman (1996), tarla koşullarında; farklı tekerlek yüklerinde, lastik basınçlarında ve farklı toprak işleme uygulamalarında tekerlek temas alanı ve toprak sıkışması ölçümlerini vermiştir. Basınç-yoğunluk, basınç-penetrasyon oranı veya basınç-çökme gibi belirli ilişkilerin verilmesiyle toprak sıkışmasının yaklaşık olarak hesaplanabileceğini belirtmiştir. Denemeler sonucunda, tekerlek yükünün ve lastik hava basıncının artmasıyla hacim ağırlığının, penetrasyon direncinin ve yüzey batmasının arttığını, temas alanının ise azaldığını ifade etmiştir. Ölçülen toprak sıkışması değerlerini dokunma basıncıyla ilgili olarak yapılan matematiksel model sonuçlarıyla karşılaştırmıştır.

Say ve Işık (1996), killi-tın ve killi bünyeli toprakların işlenmiş ve işlenmemiş durumlarında, toprak penetrasyon direncinin; toprak nemi, hacimsel kütle, profil derinliği ve penetrometre konisi taban alanına bağlı olarak değişimlerinin belirlenmesi ve uygun matematiksel modellerin oluşturulmasını amaçlamışlardır. Sonuçta; deneme koşullarındaki bünye faktörünün penetrasyon direnci üzerine etkisinin önemsiz olduğunu bulmuşlardır. Ana faktör olarak ele aldıkları uç farklılığı, toprak durumu ve profil derinliğinin penetrosyon direnci üzerine istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olduğunu

belirlemişlerdir. Ayrıca; nem içeriğinin penetrasyon direnci üzerinde birincil derecede etkili olduğunu, penetrasyon direnci-hacimsel kütle ilişkisinin sabit nem içeriklerinde değerlendirilmesi sonucu hacimsel kültedeki artışın penetrasyon direncini doğrusal olarak artırdığını saptamışlardır.

Barut ve ark. (1996), yaptıkları çalışmada, orta bünyeli topraklarda pamuk tarımında alışlagelmiş tohum yatağı hazırlama yöntemlerinin toprağa olan fiziksel etkilerini belirlemeye çalışmışlardır. Toprak işleme öncesi ve toprak işleme sonrası toprağın penetrasyon direnci, hacim ağırlığı, porozitesi ve nem içeriği gibi fiziksel özellikleri saptamışlardır. Toprak derinliğine bağlı olarak penetrasyon direncini, toprak işleme öncesi 1,36-3,89 MPa, toprak işleme sonrası ise 0,27-4,36 MPa olarak belirlemişlerdir. Toprak örnekleri 0,10 cm ve 15-26 cm'lik toprak derinliklerine göre alınmış ve işleme öncesi nem içeriğini % 6.27 - % 17.8, poroziteyi % 45.4 - % 44.4 ve hacim ağırlığını 1.45-1.47 g/cm³ arasında, işleme sonrası ise nem içeriğini %14.6 - % 17.3, poroziteyi % 50.7 - % 47 ve hacim ağırlığını 1.31-1.41 g/cm³ arasında bulmuşlardır.

Way ve ark. (1996), yaptıkları çalışmada 580/70 R38 ve 650/75 R32 traktör tekerlekleriyle, 2 farklı toprakta, iki dinamik yük ve şişme basıncında çalışmışlardır. Tekerleklerin merkez çizgisi ve kenarında toprak gerilmeleri ve tekerlek iz derinliklerini ölçmüşlerdir. İki tekerlek için, genellikle toprak gerilmeleri ve iz derinliklerinin önemli oranda farklı olmadığını, toprak gerilmeleri ve iz derinliklerinin sabit dinamik yükte şişme basıncındaki artma ile ve sabit şişme basıncında dinamik yükteki artma ile arttığını belirtmişlerdir.

Alakuku (1996 a), killi ve organik topraklarda yaptıkları tarla denemelerinde, toprağın toplam porozitesi ve por büyüklüğü dağılımı üzerine yüksek aks yüklü trafiğin kısa süreli etkilerini incelemiştir. Çalışmada; parsel alanının tümü tekerlek izi ile kapatılacak şekilde ağır akslı alet ile bir geçiş, aynı yönde tekrarlanan 4 geçiş ve deneysel trafik olmaksızın yapılan kontrol muameleleri uygulanmıştır. Killi toprakta ağır yükün, makroporozite (Çap>30 µm) gibi toplam poroziteye de azalttığını, organik toprakta ise ağır yüklemeyle 0,2-0,5 m'de makroporozitenin azaldığını, mikroporozitenin (<30 µm) arttığını belirtmiştir. Organik toprakta sıkışmanın toplam poroziteye olan etkilerinin görülmediğini, 3 yıl için yıllık 0,2 m derinlikte pullukla işleme, kesme, derin gevşetme ve

donmaya rağmen kilin sıkışmasının 0,1 m'den aşağıda sürekli olduğunu ifade etmiştir. Aynı şekilde, organik toprağın alt katmanında ağır yüklemekten sonra en azından 3 yıllık bir süre için por büyüklüğü dağılımındaki farklılıkların sürekli olduğunu göstermiştir.

Alakuku (1996 b), yaptığı çalışmada yüksek aks yüklü trafiğin toprak yapısı üzerindeki uzun süreli etkilerini incelemiştir. Topraklar ağır traktör-trayler kombinasyonu ile 1 ve 4 geçişle sıkıştırılmıştır. Yüklemekten sonraki 9 yılda, toprak penetrasyon direnci, doymuş hidrolik iletkenlik, makroporozite, silindirik bioporların alanı ve sayısını ölçmüş ve toprakların görünebilir yapısını incelemiştir. Killi toprağın 0,3-0,5 m ve organik toprağın 0,28-0,4 m'lik tabakasında kontrol parseline göre 4 geçişle sıkıştırılan parsellerdeki penetrometre direncinin % 22-26 daha büyük ve toprak yapısının daha ağır olduğunu, bütün 0,4-0,55 m toprak tabakasında 4 geçişle yapılan yüklemenin doymuş hidrolik iletkenliği % 68 - % 98'e ve makroporoziteyi % 37 - % 70'e düşürdüğünü belirtmiştir.

Diserens ve Anken (1996) toprağın ağırlığa olan tepkisini araştırmışlardır. Araştırmacılar bu amaçla, traktörle çekilen 2 tip pancar hasat makinası kullanmışlardır. Toprak özelliklerine, sefer sayısı, taşınan yük ve tekerlek geçişlerinin etkilerini de göz önünde bulundurmışlardır. Nemli şartlara rağmen, iyi yapılu kumlu topraklarda yalnız üst tabakada sıkışmanın meydana gelmekte olduğunu, sıkışmanın alt topraklar üzerindeki etkilerinin zararsız olduğunu ifade etmişlerdir.

Marsili ve Servadio (1996), lastik veya metal tekerlekli traktörlerin tarım toprakları üzerindeki tekrarlanan geçişlerinin sıkışmaya etkilerini incelemek için tarla denemeleri yapmışlardır. Traktörlerin 1, 3 veya 4 geçişiyle meydana gelen sıkışmanın miktarını belirlemek için koni penetrometre kullanmışlardır. Metal tekerleklerin sıkışmada azalmaya neden olduğunu ve kauçuk tekerleğe göre metal tekerleklerin toprak üzerinde daha üniform bir basınç dağılımı sağladığını belirtmişlerdir.

Çarman ve Doğan (1997), laboratuvar koşullarında toprak sıkışması üzerine, temas basıncı ve yükleme süresinin etkisini araştırmışlardır. 5 farklı temas basıncı (4; 6; 8; 10; 12 N/cm²) ve 4 farklı yükleme süresinde (1; 3; 5; 7s) yürüttükleri denemelere göre; toprağın 0-10 cm derinliğindeki kalıcı basınç değerleri 3,88-11,86 N/cm², 10-20 cm derinliğindeki kalıcı basınç değerleri 3,64-11,42 N/cm², penetrasyon direnci 54,63-162,7 N/cm² ve kesilme direncinin 1,56-4,14 N/cm² arasında değiştiğini saptamışlardır. Değişen

temas basıncı ve yükleme süresinin farklı derinliklerdeki kalıcı basınç, penetrasyon ve kesilme direnci değerleri üzerindeki etkisinin önemli olduğunu ve yüzeyden derinlere gidildikçe kalıcı basınç değerlerinin azaldığını ifade etmişlerdir.

Yıldız (1997), 7.00-18 ölçülerinde radyal muharrik traktör lastiğinin toprak sıkışmasına etkisini belirlemek için toprak kanalında bir çalışma yürütmüştür. Toprağın nem içeriği (8.8 ± 0.5 ve 18.2 ± 0.5), lastik profil yüksekliği (14.2 mm ve 24.2 mm), tekerlek yükü (2500 kN, 5000 kN ve 7500 kN) ve geçiş sayısının (1,3 ve 5); toprağın hacim ağırlığı, penetrasyon direnci, kesme gerilmesi, iz derinliği ve kalıcı basınç değerleri üzerine etkisini inceleyerek toprak sıkışmasındaki temel verileri ortaya koymaya çalışmıştır. Kalıcı basınç değerlerini elde etmek için hidrolik yastık kullanmıştır. Denemeye alınan kontrollü değişkenlere bağlı olarak toprağın hacim ağırlığı 1.19 – 1.88 g/cm³, kesme gerilmesi 0.92 - 5.28 N/cm², iz derinliği 56.6 - 127 mm, penetrasyon direnci 71 - 423.34 N/cm² ve kalıcı basınç değerlerinin 0.05 - 0.8 N/cm² arasında değiştiğini belirtmiştir. Toprağın hacim ağırlığı, kesme gerilmesi, iz derinliği, penetrasyon direnci ve yüzey altındaki kalıcı basınç değerlerinin tekerlek yükü, geçiş sayısı ve nem içeriğinin artması ve tekerlek profil yüksekliğinin azalmasıyla arttığını ifade etmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Deneme Yeri

Traktör arka tekerleğinin farklı dinamik yük, lastik iç basıncı, ilerleme hızı ve geçiş sayılarında çalıştırılmasıyla oluşan toprak sıkışmasının yapısını incelemek için denemeler yapılmıştır. Denemeler GOP.Ü. Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü Araştırma ve Uygulama Atölyesinde kapalı alanda bulunan toprak kanalında yürütülmüştür. Toprak kanalı 18 000 x 3 000 x 1 500 mm ölçülerindedir. Toprak kanalında, özellikleri Çizelge 3.1.1.1.'de verilen uniform yapıdaki sıkıştırılmamış tınlı toprak bulunmaktadır.

Çizelge 3.1.1.1. Toprak Kanalındaki Sıkıştırılmamış Deneme Toprağının Bazı Fiziksel Parametreleri

Tekstür			Tekstür Sınıfı	Derinlik(cm)	Hacim Ağırlığı(g/cm ³)		Koni İndeksi(kPa)	
Kil	Silt	Kum			% 9 Nem	% 13 Nem	% 9 Nem	% 13 Nem
18	34	48	Tınlı	0-15	1.117	1.104	315.93	231.71
				15-30	1.215	1.152	652.78	280.63

3.1.2. Deneme Materyali Olarak Kullanılan Lastiğin Özellikleri

Araştırmada 13.6/12-36 (6 kat) radyal eski bir muharrrik traktör lastiği kullanılmıştır. Lastiğe ait yapısal özellikler Çizelge 3.1.2.1. de verilmiştir.

Çizelge 3.1.2.1. Denemede Kullanılan Traktör Lastiğine İlişkin Yapısal Özellikler

Lastik Ölçüsü	Teorik lastik çapı (mm)	Kat Sayısı (Adet)	Profil Yüksekliği(mm)	Tavsiye Edilen	
				Max. Yük (kg)	Max. Şişme Basıncı (bar)
13.6/12-36	1 500	6	15	1615	1.58

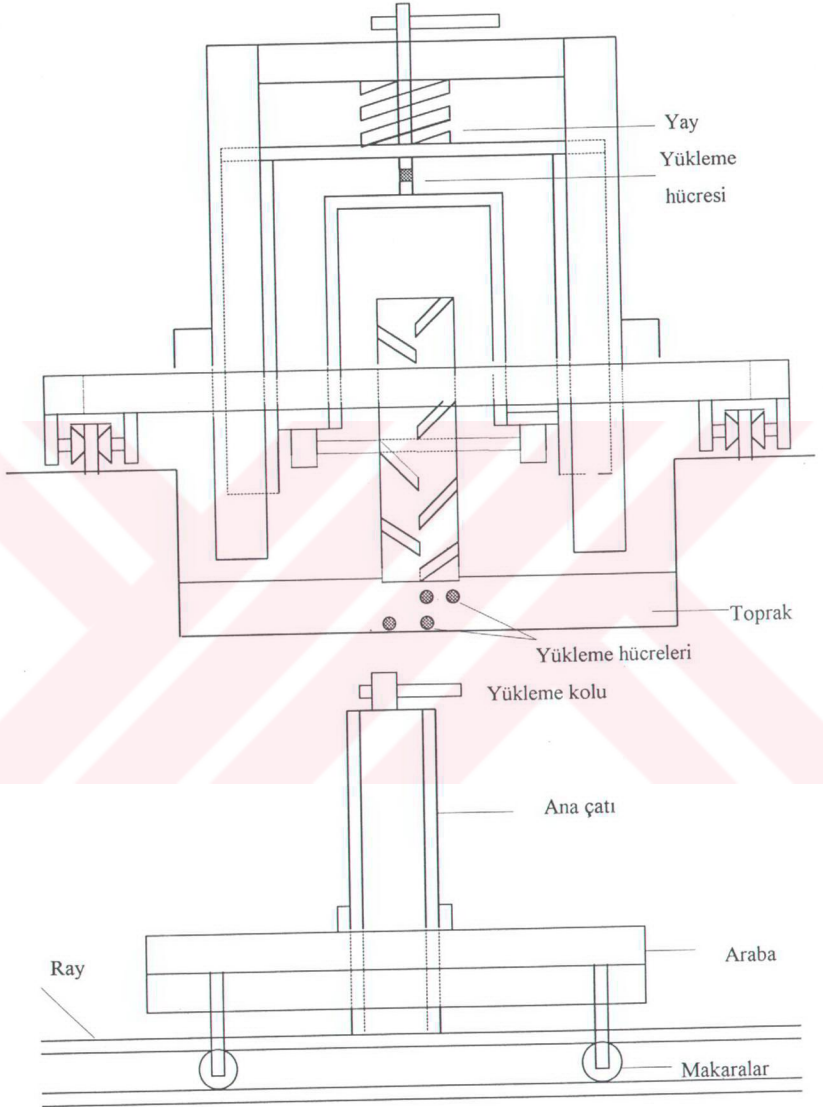
3.1.3. Araştırmada Kullanılan Deney Seti

Toprak kanalının üzerinde, değişik yük ve ilerleme hız kademelerine ayarlanabilen elektrik motorundan hareketli bir test arabası bulunmaktadır. Genel ve şematik görünüşü sırasıyla Şekil 3.1.3.1. ve Şekil 3.1.3.2.'de verilen deney setinde, test arabası 100x100 mm'lik kare profil malzemelerin kaynakla birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Test arabasının taşınması için kanalın her iki yanına 14'lük I profil demirinden yapılmış raylar yerleştirilmiştir. Araba; raylar içerisinde çalışan konik kesitli ve içlerine birer adet rulman yerleştirilmiş 8 adet topun üzerinde taşınmaktadır.



Şekil 3.1.3.1. Deney setinin genel görünüşü

Deneme materyali olarak kullanılan tekerleğin yüklenmesi amacıyla test arabasına yükleme düzeni monte edilmiştir. Yükleme düzeni, ana çatı ve yükleme çatısından oluşmaktadır. Ana çatı ve yükleme çatısı 6 mm kalınlığındaki sac malzemenin preste U şeklinde basılmasıyla oluşturulmuştur. İki adet U profilin üst noktalarında 100x100 mm'lik kare profilin kaynakla bağlanmasıyla oluşturulan ana çatı test arabasına civatalı olarak bağlanmıştır. Yükleme çatısı ana çatı içerisinde aşağı-yukarı hareket edebilmektedir. Tekerlek, yükleme çatısının alt noktalarına yataklandırılan mil üzerine flanşla bağlanmıştır.



Şekil 3.1.3.2. Deney Setinin Şematik Görünüşü

Araştırmada kullanılan tekerleğin yüklenmesi için sonsuz vidadan oluşan yükleme kolu ile uygulanan yük, yükleme çatısı ile tekerleğe iletilmektedir. Uygulanan yükün miktarını belirlemek amacıyla tekerlek aksının bağlandığı eleman ile yay bastırıldığı eleman arasına yüklem hücresi yerleştirilmiştir. Sistemde kullanılan yay tekerlek üzerindeki yükün sürekli ve aynı değerde kalmasını sağlamaktadır (Şekil 3.1.3.2.).

Deney setinin değişik hız kademelerinde çalıştırılabilmesi amacı ile kuvvet kaynağı olarak, gücü 7.5 kW ve devir sayısı 2880 d/d olan elektrik motoru kullanılmıştır. Elektrik motorundan ikili kayış kasnakla alınan hareket birinci redüktöre iletilmektedir. Birinci redüktörden alınan hareket bir mil yardımıyla ikinci redüktöre ve buradan da zincir-dişli yardımıyla tekerlek aksına iletilmektedir. Deney setinin geri dönüşü bir kutup değiştirici şalter yardımıyla, elektrik motorunun dönme yönü değiştirilerek sağlanmaktadır.

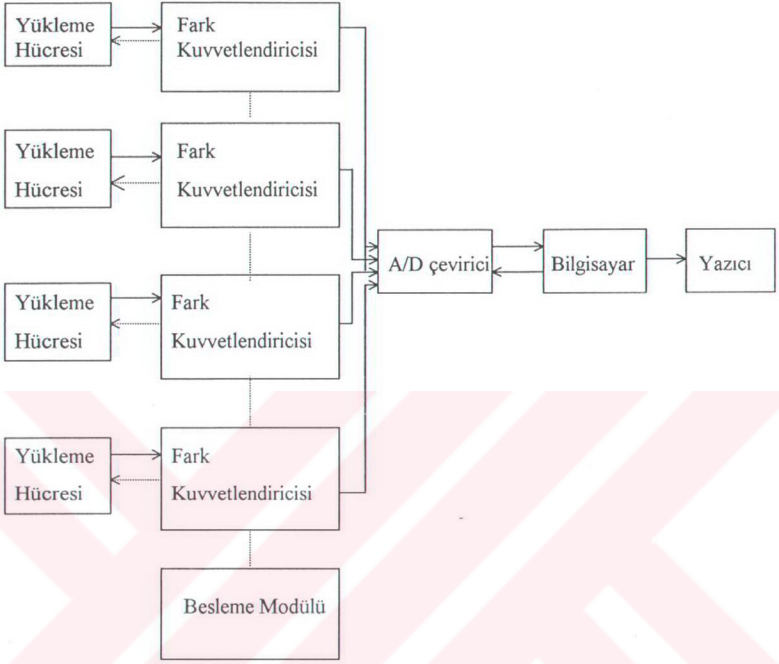
3.1.4. Farklı Derinliklerdeki Basınç Değerlerinin Ölçümünde Kullanılan Elektronik Ölçüm Düzeni

Traktör arka tekerleklerinin toprağa yaptığı basıncı algılamak ve bu basıncı yazılı doküman haline getirmek için hazırlanan düzenek altı kısımdan oluşmaktadır. Bunlar;

1. Yükleme hücresi,
2. Fark kuvvetlendiricisi,
3. Analog dijital çevirici,
4. Besleme modülü,
5. Bilgisayar - yazıcı ve
6. Program'dır.

Blok şeması Şekil 3.1.4.1.'de verilen sistemde fark kuvvetlendiricisi, analog dijital çevirici ve besleme modülü bir bilgisayar kasasına monte edilmiş; yüklem hücreleri ise Şekil 3.2.1.1.'de verilen özel bir düzenek yardımı ile istenilen derinliklerde toprak içerisine yerleştirilmiştir.

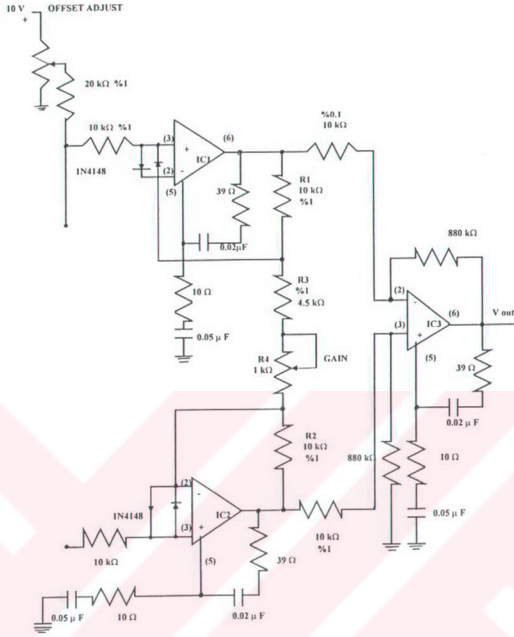
Sistemde, dört adet 500 kg kapasiteli (toprak içerisine yerleştirilen) ve bir adet 2000 kg kapasiteli (uygulanan yükü ölçmede kullanılan) olmak üzere toplam beş adet ESİT marka yüklem hücresi kullanılmıştır.



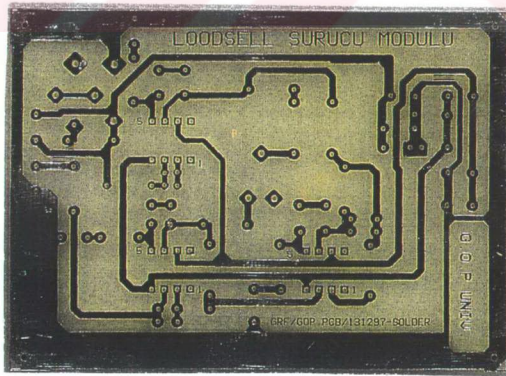
Şekil 3.1.4.1. Sistemin blok şeması

Fark kuvvetlendiricileri yüklem hücrelerinden gelen basınç uygulanmadığı andaki 5 voltu ve basınç uygulandığı andaki fark voltajını algılayıp, hatasız olarak yükseltip, bir sonraki birime aktarabilmek için yüksek giriş empedanslı operasyonel amplifikatörlerden oluşmaktadır.

Bir fark kuvvetlendiricisinin Şekil 3.1.4.2.'de görülen elektronik şeması elektronik devre tasarım programı ile baskı devre çalışması yapılarak kart haline getirilmiş ve dört kanal için dört adet devre yapılmıştır. Tasarlanan baskı devre Şekil 3.1.4.3.'de verilmiştir. Dört devrede aynı besleme modülünden +10 volt , + 15 volt ve -15 volt'luk kaynaklar ile beslenmiştir.



3.1.4.2. Fark kuvvetlendiricisinin elektronik şeması



Şekil 3.1.4.3. Tasarlanan baskı devre

Elektronik şema uygulanırken kullanılan malzemelerde toleranslar çok küçük olduğundan özel üretilmiş malzemeler temin edilmiştir.

Her bir fark kuvvetlendiricisinin yapımında Çizelge 3.1.4.1'de verilen malzemeler kullanılmıştır

Çizelge 3.1.4.1. Bir Fark Kuvvetlendiricisinin Yapımında Kullanılan Malzemeler

Miktar(adet)	Malzemenin Adı
1	1k Ω trimpot
1	100 k Ω çok turlu trimpot
3	10 k Ω direnç
3	39 k Ω direnç
1	4.5 k Ω direnç
6	10 k Ω direnç
1	20 k Ω direnç
2	680 k Ω direnç
3	0.02 NF kondansatör
3	0.05 NF kondansatör
4	1N4148 diyot
3	8'li entegre soketi
3	LM 741 entegre
1	yükleme hücresi giriş konnektörü
1	baskı devre

Dört fark kuvvetlendiricisi ve besleme modülü bir PC kasasına monte edilerek mekanik mukavemet sağlanmıştır. Kasanın arka kısmına, yükleme hücresi girişleri ve fark kuvvetlendiricilerinin analog çıkışlarını bilgisayara iletmek için bir konnektör monte edilmiştir. Yapılan enerji bağlantısı ile bilgisayar açıldıktan sonra bu modüllere enerji gelmektedir. Bu özellikle, analog dijital çevirici kartın daha sağlıklı çalışması sağlanmıştır.

Analog bilginin dijitale çevrilip bilgisayarda işlenebilmesi için 16 kanal kapasiteli doğrudan bilgisayar slotuna takılabilen analog dijital çevirici kart kullanılmıştır.

Kartın geniş teknik seçenekleri vardır ve bunlar gerek donanımla gerekse yazılımla ihtiyaca göre kurulmuştur. Karta, değerlerin ulaşabilmesi için 25 pinli bir konnektör kullanılmıştır.

Besleme modülü; yükleme hücrelerine gelen +10 voltu, fark kuvvetlendiricileri besleyen -15 voltu ve +15 voltu üreten devredir. Enerji girişi 220 volt alternatif akımdır. Köprü diyot ve kondansatörler yardımı ile -18 volt ve + 18 volta çevrilir.

Besleme modülü diğer devrelere parazit ve enterferans oluşturmaması için metal kutuya yerleştirilmiş ve metal muhafaza topraklanmıştır. Besleme modülünün yapımında kullanılan malzemeler Çizelge 3.1.4.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.1.4.2. Besleme Modülünün Yapımında Kullanılan Malzemeler

Miktar(Adet)	Malzemenin Adı
1	Açma kapama anahtarı
1	220volt giriş 2x15 volt çıkışlı transformatör
1	B 40 C2200 köprü diyot
2	4700 NF 40 volt kondansatör
6	100 nF kondansatör
3	100 NF kondansatör
1	7810 regülatör
1	7815 regülatör
1	7915 regülatör
1	Soğutucu plaka
1	Metal kutu

Sistemde kullanılan bilgisayar Wearnes 486Dx66'dır. Analog dijital çevirici kart PCI slota takılmıştır. Yazıcı olarak Star lc 20 marka 80 kolonluk nokta vuruşlu yazıcı kullanılmıştır.

3.1.5. Toprak Özellikleri ve Tekerlek İz Derinliğinin Ölçümünde Kullanılan Materyaller

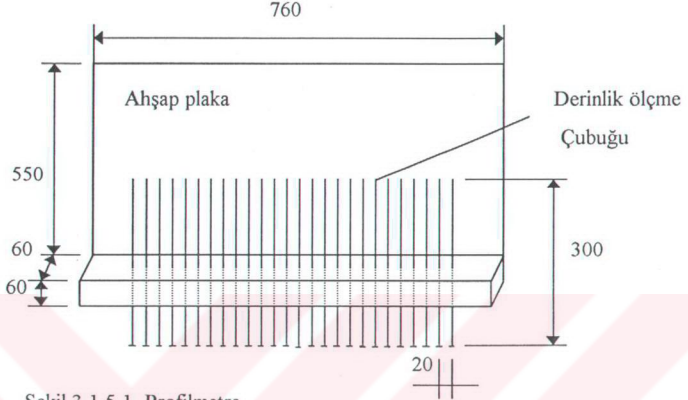
Tekerlek geçişinden önceki ve sonraki toprağın nem içeriği ve hacim ağırlığını belirlemek amacıyla 100 cm³ hacminde silindirler ve çakma aparatı kullanılmıştır. Örneklerin tartılmasında Cas marka ve 0.5 g hassasiyette hassas terazi ve örneklerin kurutulmasında ise 105°C ye ayarlanabilen etüvden yararlanılmıştır.

Toprağın penetrasyon direncinin ölçülmesinde ELE marka itmeli tip penetrometre kullanılmıştır. Şekil 3.2.2.1'de görülen standart koni penetrometresi; tutamak, kadran gösterge, sürme mili ve 30° tepe açılı standart tip konik uç dan ibarettir.

Tekerleğin oluşturduğu iz derinliği Şekil 3.1.5.1.'de görülen profilmetre kullanılarak ölçülmüştür. Profilmetre 1 m uzunluğunda 60 x 60 mm ölçülerindeki ahşap profil üzerine 20 mm aralıklarla açılmış delikler içerisinde kayabilir şekilde yerleştirilmiş

27 adet metal çubuk ve ahşap profile düşey olarak bağlanan 760 x 550 x 3 mm ölçülerindeki bir ahşap plakadan oluşmaktadır.

İlerleme hızının ölçülmesinde ise standart bir kronometre kullanılmıştır.



Şekil 3.1.5.1. Profilmetre

3.2. Yöntem

Denemelerde 13.6/12-36 (6 kat) ölçülerindeki muharrir lastiğin; toprağın penetrasyon direncine, hacim ağırlığına, lastiğin iz derinliğine, tekerlek izinin farklı derinliklerdeki basınca; tekerlek yükü, lastik şişme basıncı, geçiş sayısı ve ilerleme hızının etkisini belirlemek için ölçme ve değerlendirmeler yapılmıştır.

Ölçmeler sırasında kontrollü değişken olarak seçilen parametrelerin (lastik yükü, lastik iç basıncı, geçiş sayısı, ilerleme hızı ve toprak nemi) sabit kalması sağlanmıştır. Ölçümlere başlamadan önce, toprağın nem içeriği, hacim ağırlığı ve penetrasyon direnci belirlenmiş ve her deneme kombinasyonundan sonra lastik tarafından sıkıştırılan toprak tabakası gevşetilerek ilk duruma getirilmiştir. Toprağın gevşetilmesinde ilk önce tek akslı traktör tarafından çalıştırılan 25 cm iş derinliğine sahip bir çizelle toprak gevşetilmiş ve daha sonra da tekerlek izinden toprak frezesi geçirilmiştir. Denemeler laboratuvar koşulunda kapalı alanda bulunan toprak kanalında yürütülmüştür. Yapılan bir çok çalışmada belirtildiği gibi ölçümler toprağın 0-30 cm'lik derinliğinde yapılmıştır (Bicki ve Siemens 1991; Wood ve ark. 1991; Çarman 1992; Yıldız 1997).

Denemelerde kontrollü değişken olarak seçilen parametreler Çizelge 3.2.1'de verilmiştir. Her deneme kombinasyonunda; elektronik ölçüm düzeni ile tekerlek izinin farklı bölgelerine iki ayrı derinlikte yerleştirilen yüklem hücreleriyle bu noktalardaki basınç değerleri, toprağın hacim ağırlığı, penetrasyon direnci ve oluşan iz derinliği ölçülerek denemeye alınan lastiğin toprak sıkışması üzerindeki etkileri laboratuvar koşullarında belirlenmiştir. Elde edilen değerler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla istatistiksel analizler yapılmış ve varyans analiz sonuçlarının önemli çıktığı durumlarda çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Varyans analizlerinin yapımında MSTAT, regresyon analizlerinin yapımında SPSS, hesaplamaların yapımında ve grafiklerin çiziminde ise EXCEL paket programlarından yararlanılmıştır.

Çizelge 3.2.1. Denemelerde Kontrollü Değişken Olarak Seçilen Parametreler

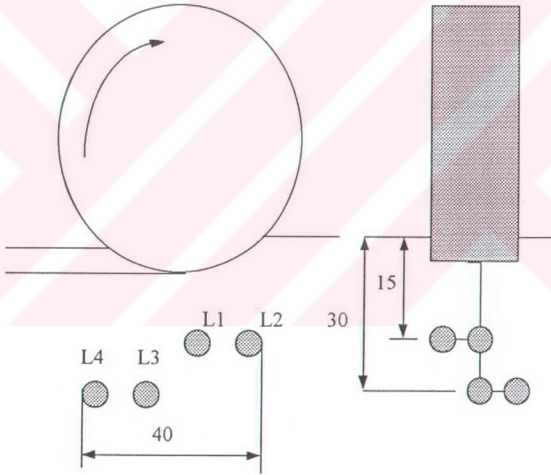
Lastik Yükü	1000 kg	(Y ₁)
	1300 kg	(Y ₂)
	1600 kg	(Y ₃)
Lastik İç Basıncı	0.8 bar	(Ş ₁)
	1 bar	(Ş ₂)
	1.5 bar	(Ş ₃)
Geçiş Sayısı	1 Geçiş	(G ₁)
	3 Geçiş	(G ₂)
	5 Geçiş	(G ₃)
İlerleme Hızı	1 m/s	(V ₁)
	1.3 m/s	(V ₂)
	1.6 m/s	(V ₃)
Toprak Nemi	% 9	(N ₁)
	% 13	(N ₂)

3.2.1. Farklı Derinliklerdeki Basınç Değerlerinin Belirlenmesi

Toprak yüzeyi altındaki basınç değerlerinin belirlenmesi amacıyla, tekerlek izinin merkez çizgisinde ve kenar çizgisinde 0-15 cm ve 15-30 cm derinliklere 4 adet yüklem hücresi yerleştirilmiştir (Şekil 3.2.1.1). Yüklem hücrelerinin yanal kuvvetlerden etkilenmesini önlemek için metal muhafaza yapılmıştır.

Tekerlek üzerine uygulanan yükü ölçmede kullanılan 2000 kg kapasiteli yüklem hücresi ile toprak içerisine yerleştirilen 500 kg kapasiteli yüklem hücreleri, tek yönlü

basınç algılayan ve iç yapısında bu basınçla değeri değışen köprü tipi bağlantı bulunan bir elemandır. Basınç uygulanmadığı zaman köprü dirençler dengededir ve çıkışına eşit omajlı bir çıktı vermektedir. Basınç uygulandığında basınca bağılı olarak köprü dirençlerin dengesi kontrollü olarak değışmektedir. Yükleme hücrelerinin enerji girişine 10 voltluk bir doğru akım kaynağı bağlanarak köprü uçlarındaki analog bir farka dönüştürülmüştür. Basınç uygulanmadığı zaman çıkış uçlarında sabit olarak 5'er volt tespit edilmiştir. Basınç uygulandığında, bu 5 voltlarda basınca bağılı olarak bir fark voltajı oluşmakta ve bu voltaj bir kablo ile fark kuvvetlendiricisi girişine ulaştırılmaktadır. Yükleme hücrelerinden gelen sinyaller fark kuvvetlendiricisinde 0 ile 10 volt arasında değışen bir analog değere dönüştürülmektedir.



Şekil 3.2.1.1. Yükleme Hücrelerinin Toprak İçerisindeki Pozisyonu

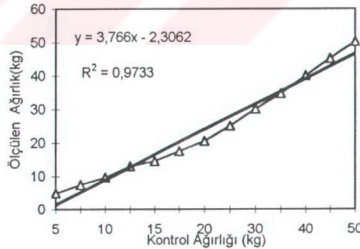
Geçiş yapmadan önce bütün kontrollü değışkenler sabitlenmiştir. Her deneme kombinasyonunda tekerlek üzerine yüklenen yük ölçülmüş daha sonra geçiş yapılmıştır. Yük ölçümü yapmak için; PC, fark kuvvetlendiricisi ve 2000 kg'lık yükleme hücresinin bağlantısı yapılmış ve PC çalıştırılmıştır. Sisteme enerji verildikten sonra fark

kuvvetlendiricisinde voltmetre yardımıyla ayar yapılarak yükleme hücresinden gelen sinyaller sıfırlanmıştır. Bu işlem tamamlandıktan sonra DCS (Data Acquisition System) adlı program çalıştırılarak yük uygulanmaya başlanmış ve uygulanan yük miktarı monitörden izlenerek istenilen yük miktarı ayarlanmıştır.

Farklı derinliklerdeki basınç değerlerini ölçmek için sisteme 4 farklı noktaya yerleştirilen 4 adet 500 kg kapasiteli yükleme hücreleri bağlanmış ve PC çalıştırılmıştır. Yükleme işlemi olduğu gibi 4 kanalda da voltmetre ile sıfırlama işlemi yapılmıştır.

Daha sonra, yükleme hücrelerinden gelen bilgilerle başlayan değer aktarımlarını sonuca bağlayan qbasic programlama dilinde yazılmış olan ÖLÇÜM adlı program çalıştırılmıştır. Saniyedeki okuma sayısını yüksek tutmak amacı ile program kısa tutulmuş ve değerler okuma anında ekrana yazdırılmamış, okuma bittikten sonra yazıcıdan çıktı alınmıştır. Tam metni Çizelge 3.2.1.1.'de verilmiş olan programla saniyede yaklaşık olarak 75 değer okunabilmektedir.

Sistemin kalibrasyonunu yapmak için program çalıştırılarak yükleme hücrelerinin üzerine ağırlıkları bilinen kütleler konulmuştur. Kontrol ağırlıkları ile, sistemle ölçülen ağırlık değerlerinden hareketle hazırlanan kalibrasyon grafiği Şekil 3.2.1.2.'de verilmiştir. Burada hesaplanan doğrusal ilişkiye ait regresyon denkleminin korelasyon katsayısı (r^2) 0.97 olarak bulunmuştur.



Şekil 3.2.1.2. Sistemin kalibrasyon grafiği

Çizelge 3.2.1.1. ÖLÇÜM programının listesi

DECLARE SUB dataal (dosya\$, kanal%, BA, ma)

```

TYPE tip
  d AS INTEGER
  s AS INTEGER
  c AS INTEGER
END TYPE
DIM SHARED dosyatipi AS tip
CLS
INPUT "dosya adını girin"; dosya$
' INPUT "kanal sayısı <0..?>"; BA
kanal % = 3
' INPUT "port adresi <368>"; BA
BA = 368
' INPUT "Maksimum Agirlik"; ma
ma = 500
PRINT "<b> ile okuma basliyor <t> ile; okuma; sonu;
etiket : B$ = INKEY$: IF B$ = "" THEN GOTO etiket
IF B$ <> "b" AND B$ <> "B" THEN BEEP : GOTO etiket
PRINT "okuma basliyor"
dataal dosya$, kanal%, BA, ma
END

```

SUB dataal (dosya\$, kanal%, BA, ma)

DIM sayac AS LONG

sayac = -1

OPEN dosya\$ + ".sde" FOR OUTPUT AS #3

PRINT #3, " saniye 0 1 2 3"

sifirla = TIMER

label :

sayac = sayac + 1, 0

channel% = sayac MOD (kanal% + 1)

OUT BA, channel%

OUT BA + 1, 0

FOR i% = 1 TO 6: A = INP (BA + 12) : NEXT i%

FOR i% = 1 TO 6: A = INP (BA + 8) : NEXT i%

c = INP (BA + 3)

HB = (c / 16 - INT (c / 16)) * 16

LB = INP (BA + 2)

ad = HB * 256 + LB

IF channel% = 0 THEN PRINT #3, USING "#####.#####"; (TIMER - sifirla);

PRINT #3, USING "#####.##"; aad * (ma / 4095);

IF channel% = 3 THEN PRINT #3, ""

AS = INKEY\$

IF A\$ <> "t" AND A\$ <> "T" THEN GOTO label

CLOSE #1, #3

END SUB

Programla okuma yapabilmek için gerekli işlemler yapıldıktan sonra test arabası hareket ettirilmiştir. Test arabası yükleme hücrelerine yaklaşık 2 m uzaklıkta iken okuma başlatılmış ve test arabası yükleme hücrelerini 2 m geçtikten sonra okuma işlemi sonlandırılmıştır. Elde edilen rakamlar daha sonra yazıcıdan alınmıştır. Bu işlemler her geçişte tekrarlanmıştır.

3.2.2. Toprak Özellikleri ve Tekerlek İz Derinliğinin Belirlenmesi

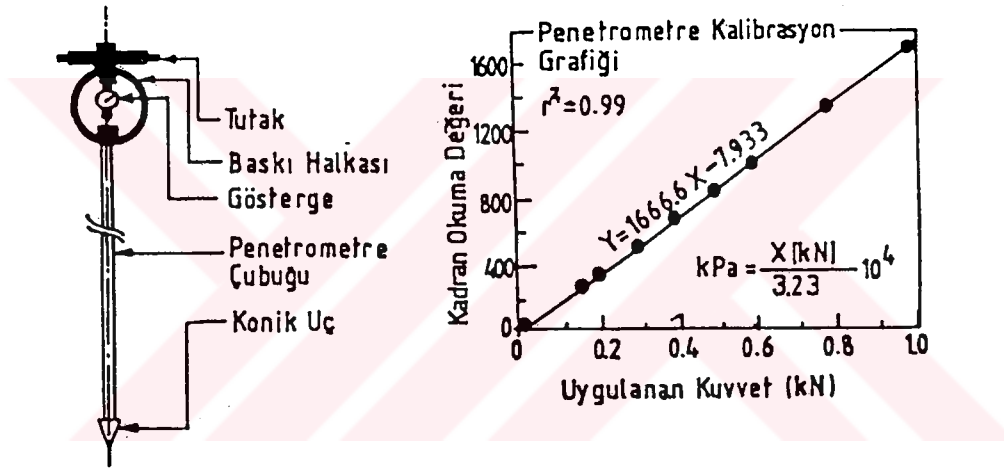
Toprağın nem içeriği gravimetrik yöntemle göre belirlenmiştir. Nem içeriğinin belirlenmesi için 0-15 cm ve 15-30 cm derinliklerden 3 ayrı bölgeden örnek alma kapları ile alınan toprak örnekleri hassas terazide tartılmıştır. Toprak örnekleri 105°C'ye ayarlı etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulduktan sonra tekrar tartılarak yaş ağırlığa göre nem oranı % olarak belirlenmiştir (Özkan 1985).

Hacim ağırlığının belirlenmesi için her işlem sonrası 0-15 cm ve 15-30 cm derinlikten ve 3 ayrı bölgeden bozulmamış toprak örnekleri alınmıştır. Bozulmamış toprak örneklerinin alınmasında, hacmi 100 cm³ olan prinç malzemeden yapılmış iki yüzeyi açık çakma silindirleri kullanılmıştır. Alınan tüm örnekler hassas terazide tartılarak yaş ağırlıkları bulunmuş ve 105°C'ye ayarlı etüvde 24 h bekletildikten sonra tekrar tartılarak örneklerin kuru ağırlıkları bulunarak, hacim ağırlığı hesaplanmıştır (Özkan 1985).

Toprak sıkışıklığı; toprağın yapısına, yoğunluğuna, nem ve organik madde içeriğine bağlı olarak değişen bir parametre olup penetrometre ile ölçülmektedir. Yapılan araştırmalar, penetrometre ile toprak sıkışıklığı ölçümlerinde 'statik penetrometre ölçümleri' olarak tanımlanan yöntemlerin tarım toprakları için daha uygun olduğunu gösterdiğinden, bu yöntem toprak sıkışıklığını ölçmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Statik penetrometre ölçümlerinde esas, standart ölçülere sahip bir koniğin toprak yüzeyinden başlayarak toprağı standart bir hızda delmesinin sağlanması olup, delme anında koniğe uygulanan kuvvetin, koniğin taban alanına oranlanması ile bulunan değerlerin 'toprağın penetrasyon direnci' veya 'koni indeksi' olarak tanımlanmasıdır (Barut ve ark. 1996).

Penetrasyon direnci değerlerinin duyarlı ve yanlışsız saptanması, kullanılacak penetrometrenin kalibrasyonunun eksiksiz yapılmasına bağlıdır. Penetrometrenin üreticisinin yaptırdığı laboratuvar çalışmalarına ait teknik datadan hareketle hazırlanan kalibrasyon grafiği Şekil 3.2.2.1.'de verilmiştir. Burada hesaplanan doğrusal ilişkiye ait regresyon denkleminin korelasyon katsayısı (r^2) 0.99 olarak hesaplanmıştır (Barut ve ark. 1995).

Penetrometre ölçümlerinin ikinci aşaması, ölçüm yapılacak bölgenin belirlenmesidir. Penetrometre ölçümleri her deneme kombinasyonundan önce ve sonra test şeridinin uzunluğu üzerinde 1.5 m aralıkla 6 ayrı noktadan toprağın 0-30 cm derinliğinde yapılmıştır. Ölçümler sırasında, koni penetrometre ile ilgili olarak ASAE standardında verilen kurallara uyulmuştur.



Şekil 3.2.2.1. Penetrometre kalibrasyon grafiği

Tekerlek geçişinden sonra meydana gelen iz derinliğinin ölçülmesinde test şeridinin uzunluğu üzerinde eşit aralıklarla 3 ayrı noktaya profilmetre konularak, profilmetre çubuklarının dikey olarak yaptıkları serbest hareket sonrası meydana gelen iz profilinin şekli çizilmiş ve maksimum iz derinliği değerleri okunmuştur. Maksimum iz derinliği değeri 3 tekrarın ortalaması olarak verilmiştir (Koger ve ark. 1984; Burt ve ark. 1992).

3.2.3. İlerleme Hızının Belirlenmesi

Test arabasının teorik ilerleme hızının belirlenmesi için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$V = (2\pi Rn)/60$$

Burada;

V : Teorik ilerleme hızı (m/s)

R : Lastik yarıçapı (m)

n : Tekerlek devri (d/d)

Denemeler üç değişik hız kademesinde yürütülmüştür. Her ilerleme hızı için farklı çapta kasnaklar kullanılmıştır. Transmisyon oranları aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır. Hareket iletim düzenindeki transmisyon oranları Çizelge 3.2.3.1.'de verilmiştir.

$$\dot{I}_k = D_1/D_2$$

$$\dot{I}_{R2} = n_3/n_4$$

$$\dot{I}_z = Z_5/Z_4$$

$$\dot{I}_t = n_1/n_5$$

Burada;

\dot{I}_k = Kayış-kasnak transmisyon oranı

\dot{I}_{R2} = İkinci redüktörün transmisyon oranı

\dot{I}_z = Zincir-dişli transmisyon oranı

\dot{I}_t = Toplam transmisyon oranı

D_1 = Elektrik motoru çıkış milindeki kasnak çapı (mm)

D_2 = Birinci redüktör giriş milindeki kasnak çapı (mm)

n_1 = Elektrik motoru devir sayısı (min^{-1})

n_3 = Birinci redüktör çıkış devir sayısı (min^{-1})

n_4 = İkinci redüktör çıkış devir sayısı (min^{-1})

n_5 = Tekerlek aksı devir sayısı (min^{-1})

Z_4 = İkinci redüktör çıkış milindeki dişlinin diş sayısı (adet)

Z_5 = Tekerlek aksındaki dişlinin diş sayısı (adet)

Çizelge 3.2.3.1. Hareket İletim Düzenindeki Transmisyon Oranları

	Teorik İlerleme Hızı		
	V1	V2	V3
Kayış - Kasnak	3.18	2.27	1.82
Birinci redüktör	6	6	6
İkinci redüktör	4	4	4
Zincir - Dişli	2.71	2.71	2.71
Toplam Transmisyon	206.83	147.64	118.37

Gerçek ilerleme hızının belirlenmesi için toprak kanalında 15 m aralıkla yerleştirilen iki jalon arasındaki mesafenin araba tarafından alınması için geçen süre kronometre ile üç tekrarlı olarak ölçülmüştür. Bu uzaklığa ve geçen süreye göre gerçek ilerleme hızı saptanmıştır. Saptanan gerçek ilerleme hızları $V1 = 1 \text{ m/s}$, $V2 = 1.3 \text{ m/s}$ ve $V3 = 1.6 \text{ m/s}$ 'dir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

İki farklı nem seviyesi ($N_1 = \% 9$ ve $N_2 = \% 13$), üç farklı tekerlek yükü ($Y_1=1000$ kg, $Y_2=1300$ kg ve $Y_3=1600$ kg), üç farklı lastik iç basıncı ($\$1=0.8$ bar, $\$2=1$ bar ve $\$3=1.5$ bar), üç farklı ilerleme hızı ($V_1=1$ m/s, $V_2=1.3$ m/s ve $V_3=1.6$ m/s) ve üç farklı geçiş sayısında ($G_1=1$, $G_2=3$ ve $G_3=5$ geçiş); toprağın farklı derinliklerindeki (0-15 cm ve 15-30 cm) basınç değerleri, toprağın penetrasyon direnci, tekerlek iz derinliği ve hacim ağırlığı değerleri ölçülmüştür. Her deneme kombinasyonunda kontrollü değişken olarak seçilen parametreler sabit tutulmuştur. Elde edilen veriler üzerine varyans analizleri, LSD testleri ve regresyon analizleri uygulanarak parametreler arasındaki ilişkiler belirlenmiştir.

4.1. Toprağın Hacim Ağırlığı Değişimine İlişkin Sonuçlar

Kontrollü değişken olarak seçilen parametrelere bağlı olarak toprağın hacim ağırlığındaki değişimi belirlemek için ölçümlere başlamadan önce sıkıştırılmamış deneme toprağının hacim ağırlığı ölçülmüştür (Çizelge 3.1.1.1.). Her deneme kombinasyonundan sonra gevşetilen toprağın hacim ağırlığı değerleri ölçülerek kontrol değerleri sabit tutulmaya çalışılmıştır. Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde yürütülen denemeler sonucunda elde edilen hacim ağırlığı değerleri Çizelge 4.1.1'de verilmiştir.

Hacim ağırlığının % 9 nem içeriğinde 1.203 g/cm³ ile 1.435 g/cm³, % 13 nem içeriğinde 1.182 g/cm³ ile 1.427 g/cm³ değerleri arasında değiştiği saptanmıştır (Çizelge 4.1.1). Toprağın % 9 nem içeriğinde, 0-15 cm ölçüm derinliğinde; en küçük hacim ağırlığı $Y_3\$3V_1G_1$ kombinasyonunda (1.203 g/cm³), en büyük hacim ağırlığı ise $Y_3\$1V_3G_3$ kombinasyonunda (1.385 g/cm³) elde edilmiştir. Aynı nem içeriğinde 15-30 cm derinlik bölgesinde en küçük ve en büyük hacim ağırlığı değerleri sırasıyla; $Y_2\$1V_1G_1$ (1.273 g/cm³) ve $Y_2\$3V_1G_3$ kombinasyonunda (1.435 g/cm³) meydana gelmiştir (Çizelge 4.1.1.). Kontrol değerlerine göre 0-15 cm derinlikte hacim ağırlığında %7.70 - %24, 15-30 cm derinlikte ise % 4.77 - %18.11 oranları arasında artış olmuştur.

Çizelge 4.1.1. Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ölçülen hacim ağırlığı değerleri (g/cm³)

Deneme Kombinasyonu	% 9 Nem		% 13 Nem	
	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
Y1Ş1V1G1	1.242	1.317	—	1.315
G2	1.265	1.352	1.283	1.276
G3	1.220	1.315	1.258	1.297
Y1Ş1V2G1	1.220	1.318	1.190	1.238
G2	1.238	1.325	1.285	1.273
G3	1.323	1.367	1.292	1.330
Y1Ş1V3G1	1.262	1.317	1.182	1.275
G2	1.305	1.338	1.275	1.372
G3	1.322	1.377	1.322	1.340
Y1Ş2V1G1	1.240	1.308	1.228	1.268
G2	1.253	1.348	1.220	1.300
G3	1.353	1.378	1.325	1.303
Y1Ş2V2G1	1.247	1.295	1.243	1.313
G2	1.253	1.325	1.292	1.303
G3	1.328	1.388	1.348	1.313
Y1Ş2V3G1	1.312	1.295	1.213	1.265
G2	1.327	1.363	1.220	1.338
G3	1.368	1.395	1.305	1.312
Y1Ş3V1G1	1.212	1.327	1.195	1.233
G2	1.270	1.303	1.273	1.270
G3	1.325	1.310	1.313	1.335
Y1Ş3V2G1	1.267	1.328	1.242	1.250
G2	1.288	1.352	1.285	1.287
G3	1.350	1.373	1.338	1.343
Y1Ş3V3G1	1.317	1.337	1.193	1.322
G2	1.355	1.390	1.307	1.417
G3	1.338	1.395	1.320	1.400
Y2Ş1V1G1	—	1.273	1.192	1.288
G2	—	1.337	1.300	1.350
G3	1.285	1.322	1.315	1.343
Y2Ş1V2G1	1.303	1.322	1.230	1.255
G2	1.323	1.345	1.270	1.350
G3	1.378	1.385	1.332	1.383
Y2Ş1V3G1	1.317	1.330	1.210	1.317
G2	1.342	1.350	1.265	1.360
G3	1.355	1.392	1.315	1.363
Y2Ş2V1G1	1.207	1.338	—	1.267
G2	1.250	1.325	1.218	1.303
G3	1.218	1.398	1.215	1.352
Y2Ş2V2G1	1.262	1.313	1.307	1.313
G2	1.345	1.357	1.287	1.330
G3	1.352	1.380	1.355	1.408
Y2Ş2V3G1	1.320	1.355	1.232	1.258
G2	1.333	1.372	1.280	1.340
G3	1.380	1.367	1.288	1.352
Y2Ş3V1G1	1.233	1.350	—	1.283
G2	1.318	1.405	1.275	1.282
G3	1.320	1.435	1.215	1.308
Y2Ş3V2G1	1.278	1.332	1.265	1.307
G2	1.323	1.382	1.310	1.305
G3	1.382	1.387	1.340	1.341
Y2Ş3V3G1	1.297	1.333	1.243	1.325
G2	1.333	1.403	1.295	1.410
G3	1.360	1.392	1.320	1.405

Çizelge 4.1.1. (Devam) Toprağın % 9 ve % 13 Nem İçeriğinde Ölçülen Hacim Ağırlığı Değerleri (g/cm^3)

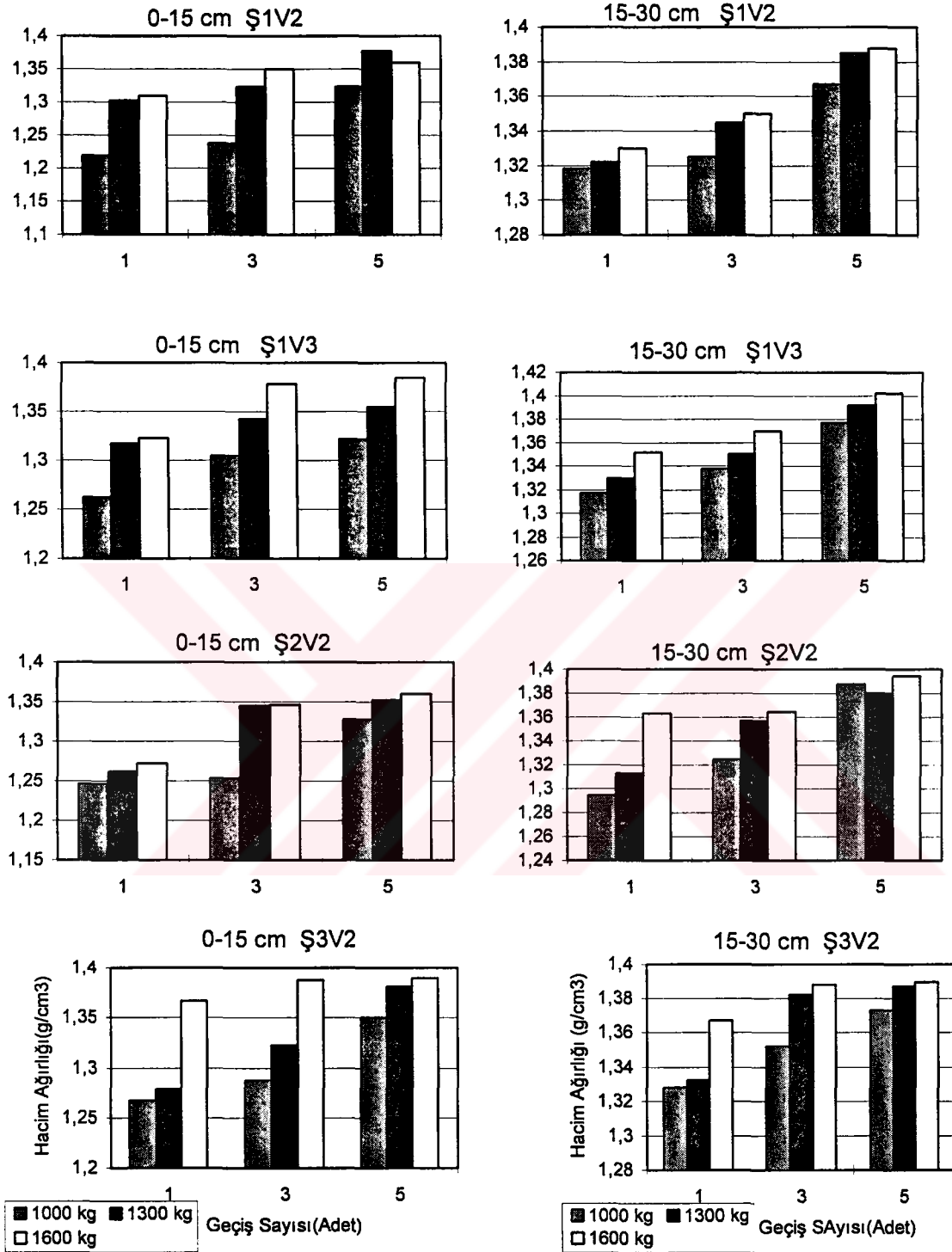
Deneme Kombinasyonu	% 9 Nem		% 13 Nem	
	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
Y3Ş1V1G1	1.263	1.343	1.197	1.270
G2	1.270	1.383	1.267	1.358
G3	1.237	1.352	1.338	1.363
Y3Ş1V2G1	1.310	1.330	1.205	1.258
G2	1.350	1.350	1.420	1.407
G3	1.360	1.388	1.347	1.365
Y3Ş1V3G1	1.323	1.352	1.232	1.330
G2	1.378	1.370	1.267	1.317
G3	1.385	1.402	1.333	1.360
Y3Ş2V1G1	—	1.385	1.233	1.302
G2	1.272	1.283	1.267	1.387
G3	1.277	1.345	1.317	1.337
Y3Ş2V2G1	1.272	1.363	1.272	1.328
G2	1.347	1.365	1.386	1.260
G3	1.360	1.395	1.313	1.347
Y3Ş2V3G1	1.303	1.357	1.208	1.353
G2	1.348	1.383	1.295	1.375
G3	1.385	1.415	1.305	1.323
Y3Ş3V1G1	1.203	1.357	1.195	1.302
G2	1.305	1.342	1.250	1.327
G3	1.298	1.383	1.242	1.303
Y3Ş3V2G1	1.302	1.367	1.243	1.293
G2	1.337	1.388	1.318	1.337
G3	1.363	1.390	1.325	1.332
Y3Ş3V3G1	1.307	1.358	1.318	1.423
G2	1.340	1.422	1.325	1.427
G3	1.340	1.398	1.395	1.393

Y : Tekerlek yükü, Ş : Lastik iç basıncı, V : İlerleme hızı, G: Geçiş sayısı

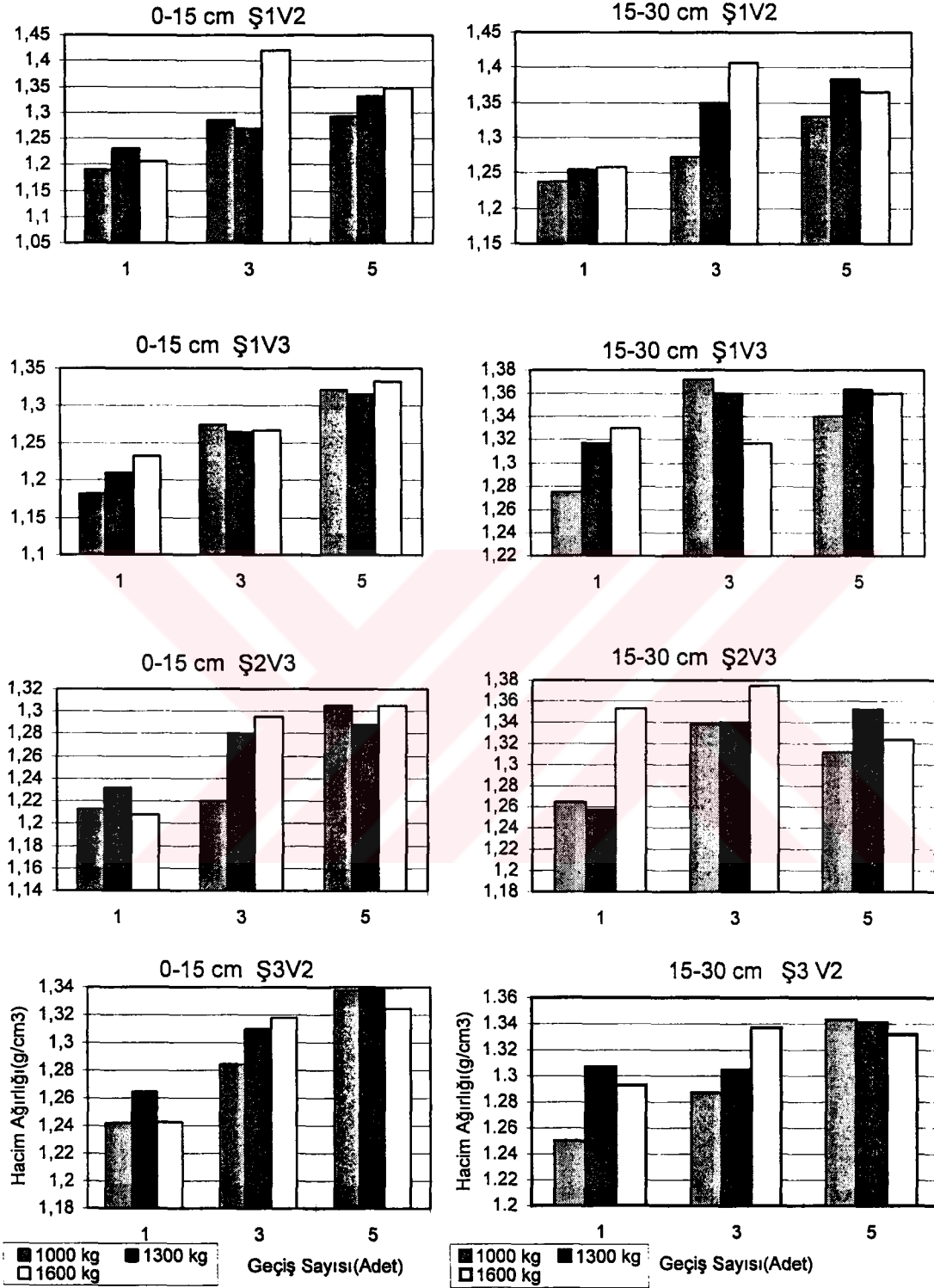
Toprağın % 13 nem içeriğinde 0-15 cm ölçüm derinliğinde hacim ağırlığının en küçük değeri Y1Ş1V3G1 kombinasyonunda ($1.182 g/cm^3$), en büyük değeri ise Y3Ş1V2G2 kombinasyonunda ($1.420 g/cm^3$) elde edilmiştir. Hacim ağırlığının 15-30 cm ölçüm derinliğindeki en küçük ve en büyük değerlerinin ise sırasıyla; Y1Ş3V1G1 ($1.233 g/cm^3$) ve Y3Ş3V3G2 ($1.427 g/cm^3$) kombinasyonlarında meydana geldiği belirlenmiştir(Çizelge 4.1.1.). Kontrol değerlerine göre hacim ağırlığı değerlerinde 0-15 cm derinlikte %7.07 - %28.62 ve 15 -30 cm ölçüm derinliğinde ise %7.03 - %23.87 artış olduğu saptanmıştır.

Kontrol değerlerine göre yapılan karşılaştırmada % 13 nem içeriğinde ölçülen hacim ağırlığı değerlerindeki değişimin daha yüksek olduğu görülmüştür.

Kontrollü değişken olarak seçilen parametrelerin toprağın hacim ağırlığına etkilerini istatistiksel olarak saptayabilmek için tesadüf bloklarında 4 faktörlü faktöryel deneme desenine göre varyans analizi yapılmıştır. İstatistiksel analizler yapılırken; % 9



Şekil 4.1.1. Toprağın % 9 nem içeriğinde farklı lastik iç basıncı ve ilerleme hızlarında tekerlek yükü ve geçiş sayısının hacim ağırlığına etkisi



Şekil 4.1.2. Toprağın % 13 nem içeriğinde farklı lastik iç basıncı ve ilerleme hızlarında tekerlek yükü ve geçiş sayısının hacim ağırlığına etkisi

ve % 13 nem içeriğinde 0-15 cm derinlikte, verilerin elde edilemediği kombinasyonlar dikkate alınmamıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.1.2'de görüldüğü gibi % 9 nem içeriğinde yapılan denemelerde 0-15 cm derinlikte ölçülen hacim ağırlığı değerleri üzerine tekerlek yükü, ilerleme hızı, geçiş sayısı, $YxŞ$, YxV ve $ŞxVxG$ interaksiyonunun $p<0.01$ düzeyinde önemli bir etkisinin olduğu belirlenmiştir. $ŞxG$, VxG ve $YxŞxV$ interaksiyonları ise $p<0.05$ düzeyinde etkilidir. Aynı nem içeriğinde 15-30 cm derinlikte elde edilen hacim ağırlığı değerlerine ait varyans analizi sonuçları incelendiğinde ise; tekerlek yükü, ilerleme hızı ve geçiş sayısının $p<0.01$ düzeyinde, lastik iç basıncının ise $p<0.05$ düzeyinde etkili olduğu görülmektedir (Çizelge 4.1.2).

Toprağın % 13 nem içeriğinde, 0-15 cm ölçüm derinliğinde; tekerlek yükü, ilerleme hızı ve geçiş sayısının hacim ağırlığına etkisinin $p<0.01$ seviyesinde önemli olduğu görülmektedir. Toprağın % 13 nem içeriğinde ve 15-30 cm derinlikte ise; tekerlek yükü, ilerleme hızı ve geçiş sayısının ayrı ayrı ve ilerleme hızı ile geçiş sayısının birlikte, $p<0.01$ düzeyinde etkili olduğu saptanmıştır. Lastik iç basıncının yalnız % 9 nem içeriğinde, 15-30 cm derinlikte ölçülen hacim ağırlığı değerleri üzerine $p<0.05$ düzeyinde etkili olduğu anlaşılmıştır (Çizelge 4.1.2).

Her iki nem düzeyi ve ölçüm derinliği için yapılan varyans analizi sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenen varyasyon kaynaklarının hacim ağırlığı değerlerindeki değişime etkileri farklı olmaktadır. Bu farklılığı tespit etmek için istatistiksel olarak önemli olan varyasyon kaynaklarına LSD testi uygulanmıştır. LSD testine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.1.3 ... 4.1.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.1.3'de her iki nem ve ölçüm derinliğinde, hacim ağırlığına önemli bir etkisi olan tekerlek yüklerine uygulanan LSD testi sonuçları verilmiştir. Görüldüğü gibi; tekerlek yükünün artması ile hacim ağırlığı değerleri de artmakta ve en büyük hacim ağırlığı değerleri, 1600 kg tekerlek yükünde meydana gelmektedir. Kontrol değerleri ile karşılaştırıldığında; toprağın % 9 nem içeriğinde, 0-15 cm ölçüm derinliğinde, 1600 kg tekerlek yükünde, hacim ağırlığı % 18.17 oranında artarken, 15-30 cm derinlikte % 12.76 oranında artmıştır. Toprağın % 13 nem içeriğindeki artış oranları ise 0-15 cm için % 17.75, 15-30 cm derinlik için % 16.32'dir.

Çizelge 4.1.2. Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ölçülen hacim ağırlığı değerlerine ait varyans analizi sonuçları

VARYASYON KAYNAKLARI	S.D.	% 9 Nem		% 13 Nem	
		0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
Tekerlek yükü (Y)	2	10.99**	6.62**	6.13**	7.67**
Lastik İç Basıncı (Ş)	2	1.61	3.68*	1.68	1.59
İlerleme Hızı(V)	2	38.70**	5.88**	7.76**	16.72**
Geçiş Sayısı(G)	2	37.45**	20.0**	36.72**	20.64**
YxŞ İnteraksiyonu	4	5.25**	1.06	0.24	0.30
YxV İnteraksiyonu	4	4.12**	0.51	0.34	0.61
ŞxV İnteraksiyonu	4	1.50	0.07	1.85	6.06**
YxG İnteraksiyonu	4	2.18	1.05	1.36	0.92
ŞxG İnteraksiyonu	4	3.46*	0.66	1.10	0.70
VxG İnteraksiyonu	4	2.60*	1.35	0.79	1.25
YxŞxV İnteraksiyonu	8	2.16*	1.58	1.25	0.75
YxŞxG İnteraksiyonu	8	0.76	0.77	0.52	0.98
YxVxD İnteraksiyonu	8	1.06	0.78	0.97	9.41
ŞxVxG İnteraksiyonu	8	2.73**	1.36	0.89	1.50
YxŞxVxG İnteraksiyonu	16		0.31		0.79
Hata		103	160	103	160

Çizelge 4.1.3. Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ki, hacim ağırlığı değerleri ile tekerlek yükleri arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları

Tekerlek yükü	% 9 Nem İçeriği				% 13 Nem İçeriği			
	0-15 cm	% Artış	15-30 cm	% Artış	0-15 cm	% Artış	15-30 cm	% Artış
Y1	1.29 b	15.49	1.34 b	10.29	1.27 b	15.04	1.31 b	13.71
Y2	1.31 ab	17.28	1.36 ab	11.93	1.28 ab	15.94	1.33 ab	15.45
Y3	1.32 a	18.17	1.37 a	13.76	1.30 a	17.75	1.34 a	16.32

Tekerlek yükünün hacim ağırlığını etkileyen önemli bir parametre olduğunu Koger ve ark. 1984, 1985, Harzadın ve Güray 1985, Bal 1985, Bailey ve ark. 1988, Çarman 1996 ve Yıldız 1997, yaptıkları çalışmalar sonucunda ifade etmişlerdir.

Varyans analizi sonuçlarına göre; lastik iç basıncının % 9 nem içeriğinde 0-15 cm ve % 13 nem içeriğinde 0-15 ve 15-30 cm derinliklerde, hacim ağırlığı üzerine istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmadığı saptanmıştır. Lastik iç basıncının, sadece % 9 nem içeriğinde ve 15-30 cm derinlikte, $p < 0.05$ düzeyinde etkili olduğu görülmüştür(Çizelge 4.1.4).

Lastik iç basıncına uygulanan LSD testi sonuçlarından % 9 nem içeriğinde 15-30 cm derinlikte lastik iç basıncındaki artma ile hacim ağırlığının arttığı ve en büyük ortalama hacim ağırlığı değerinin Ş3'de elde edildiği görülmüştür. Lastik iç basıncının,

istatistiksel olarak önemli durumlarda da en büyük ortalama hacim ağırlığı değerlerinin Ş3’de meydana geldiği saptanmıştır(Çizelge 4.1.4).

Çizelge 4.1.4. Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ki, hacim ağırlığı değerleri ile lastik iç basınçları arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları

Lastik iç basıncı	% 9 Nem İçeriği				% 13 Nem İçeriği			
	0-15 cm	% Artış	15-30 cm	% Artış	0-15 cm	% Artış	15-30 cm	% Artış
Ş1	1.30	16.38	1.35 b	11.11	1.28	15.94	1.32	14.58
Ş2	1.30	16.38	1.36 ab	11.93	1.28	15.94	1.32	14.58
Ş3	1.31	17.28	1.37 a	12.76	1.29	16.85	1.33	15.45

Lastik iç basıncının hacim ağırlığına etkisini incelemek üzere yapılan bir çok çalışmada farklı sonuçlar elde edilmiştir. Erbach ve Knoll (1992), Djordje (1988), Çarman (1996), lastik iç basıncının hacim ağırlığına etkili olduğunu belirtmişlerdir. Bailey ve ark. (1988), yaptıkları çalışmada lastik iç basıncının hacim ağırlığına önemli bir etkisinin olmadığını; Koger ve ark. (1984) ise lastik iç basıncının etkisinin toprak tipiyle değiştiği sonucuna varmışlardır. Ayrıca; Koger ve ark. (1985), yaptıkları çalışmada 25 analiz kombinasyonunun % 75’inde yüksek seviyeli lastik iç basıncının hacim ağırlığını önemli oranda artırdığını, kombinasyonların % 25’in de ise lastik iç basıncından dolayı hacim ağırlığında önemli bir değişimin olmadığını ifade etmişlerdir.

Varyans analizi sonuçlarına göre; ilerleme hızının, her iki nem içeriğinde de $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu saptanmıştır. Varyans analizi tablosunda, F testine göre ilerleme hızlarının hacim ağırlığı üzerindeki etkileri farklı olmaktadır. Bu farklılığı belirlemek için uygulanan LSD testi sonuçları Çizelge 4.1.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.1.5 incelendiğinde; ilerleme hızı arttıkça, hacim ağırlığı değerlerinin de arttığı ve en büyük hacim ağırlığının 1.6 m/s ilerleme hızında meydana geldiği görülmektedir. Ortalama hacim ağırlığı; % 9 nem içeriğinde, 0-15 cm derinlikte, 1 m/s ilerleme hızında % 12.80 oranında artmakta iken, 15-30 cm derinlikte % 10.29 oranında artış olmaktadır. İlerleme hızının en yüksek olduğu durumda ise; 0-15 cm ve 15-30 cm ölçüm derinliğinde sırasıyla; % 19.96 ve % 12.76 oranında artış olmuştur.

Çizelge 4.1.5. Toprağın % 9 ve %13 nem içeriğinde ki, hacim ağırlığı değerleri ile ilerleme hızları arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları

İlerleme hızı	% 9 Nem İçeriği				% 13 Nem İçeriği			
	0-15 cm	% Artış	15-30 cm	% Artış	0-15 cm	% Artış	15-30 cm	% Artış
V1	1.26 c	12.80	1.34 b	10.29	1.28 b	15.94	1.31 b	13.72
V2	1.31 b	17.28	1.36 ab	11.93	1.28 b	15.94	1.32 b	14.58
V3	1.34 a	19.96	1.37 a	12.76	1.30 a	17.75	1.35 a	17.19

Toprağın % 13 nem içeriğinde her iki derinlikte de en yüksek ortalama hacim ağırlığı 1.6 m/s ilerleme hızında meydana gelmiştir(Çizelge 4.1.4). Aynı nem içeriğinde; 0-15 cm ölçüm derinliğinde 1.3 m/s ilerleme hızında, hacim ağırlığında % 15.94 artış olurken, 15-30 cm derinlikte % 14.58 oranında artış olmuştur. İlerleme hızının en yüksek olduğu durumda; 0-15 cm ve 15-30 cm derinlikte hacim ağırlığında sırasıyla, % 17.75 ve % 17.19 oranında artış olmuştur.

Elde ettiğimiz sonuçlar Pınar ve Sessiz 1998, Barut ve ark 1999 tarafından desteklenmektedir.

Toprağın % 9 ve %13 nem içeriğinde ve 0-15 cm ile 15-30. cm derinliklerde yürütülen denemeler sonucunda elde edilen veriler üzerine uygulanan varyans analizleri, geçiş sayısının her koşul için $p < 0.01$ seviyesinde önemli bir faktör olduğunu göstermiştir. Geçiş sayılarının hacim ağırlığı üzerindeki etkilerini görebilmek için yapılan LSD testi sonuçları Çizelge 4.1.6'da verilmiştir.

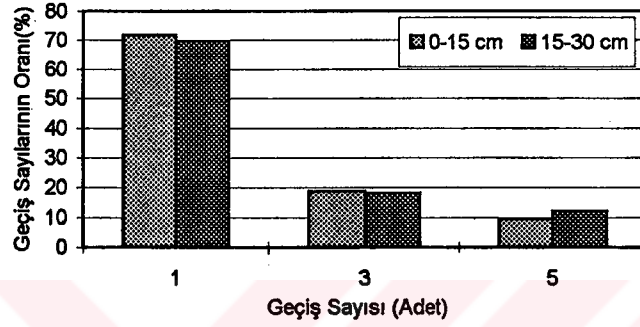
Her iki nem içeriğinde de hacim ağırlığı değerlerinin, geçiş sayısı ile arttığı ve en büyük değer beşinci geçiş sonrasında meydana geldiği Çizelge 4.1.6'da görülmektedir.

Çizelge 4.1.6. Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ki, hacim ağırlığı değerleri ile geçiş sayıları arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları

Geçiş sayısı	% 9 Nem İçeriği				% 13 Nem İçeriği			
	0-15 cm	% Artış	15-30 cm	% Artış	0-15 cm	% Artış	15-30 cm	% Artış
G1	1.27 c	13.70	1.33 c	9.47	1.23 c	11.41	1.30 b	12.85
G2	1.31 b	17.28	1.36 b	11.93	1.29 b	16.85	1.34 a	16.32
G3	1.33 a	19.07	1.38 a	13.58	1.32 a	19.57	1.34 a	16.32

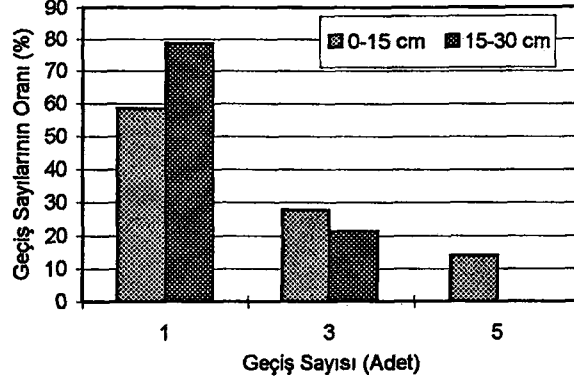
Toprağın % 9 nem içeriğinde 0-15 cm ölçüm derinliğinde, kontrol değerleri ile karşılaştırıldığında; hacim ağırlığındaki artış oranı, birinci geçiş sonunda % 13.7, üçüncü geçiş sonunda % 17.28 ve beşinci geçiş sonunda ise % 19.07 olarak belirlenmiştir.

Birinci, üçüncü ve beşinci geçiş sonrası hacim ağırlığı değerlerindeki artış oranı, 15-30 cm derinlikte sırasıyla; % 9.47, % 11.93 ve % 13.58'dir(Çizelge 4.1.6). Şekil 4.1.3'de görüldüğü gibi, geçiş sayılarının toplam artış içindeki oranları 0-15 cm ölçüm derinliği için birinci geçişte % 71.84, üçüncü geçişte % 18.77 ve beşinci geçişte % 9.39'dur. 15-30 cm ölçüm derinliğinde ise, bu oranların sırasıyla % 69.73, % 18.11 ve % 12.15 olduğu saptanmıştır. Bu oranlar, ilk geçişten sonra hacim ağırlığında çok yüksek bir artışın meydana geldiğini ve tekrarlanan her geçişten sonra hacim ağırlığında azalan oranlarda bir artışın olduğunu göstermiştir.



Şekil 4.1.3. Toprağın % 9 nem içeriğinde ölçülen hacim ağırlığı değerlerine göre geçiş sayılarının toplam artış içindeki oranları

Toprağın % 13 nem içeriğinde ve 0-15 cm derinlikte geçiş sayılarının hacim ağırlığı üzerindeki etkileri farklı olmakta ve en büyük hacim ağırlığı değeri beşinci geçiş sonrasında meydana gelmektedir. Ancak; 15-30 cm derinlikte üçüncü ve beşinci geçişlerin hacim ağırlığına etkileri aynıdır (Çizelge 4.1.6). Bu nem içeriğinde, 0-15 cm ölçüm derinliğinde; birinci, üçüncü ve beşinci geçiş sonrasında hacim ağırlığında sırasıyla % 11.41, % 16.85 ve % 19.57 oranında artış olurken, 15-30 cm ölçüm derinliğinde ölçülen hacim ağırlığında, birinci geçiş sonrasında % 12.85, üçüncü ve beşinci geçiş sonrasında % 16.32 oranında artış olduğu saptanmıştır. Şekil 4.1.4'de görüldüğü gibi; %13 nem içeriğinde, 0-15 cm derinlik için % 58.3 ve 15-30 cm ölçüm derinliği için de % 78.73 oranı ile birinci geçişlerin toplam artış içerisindeki oranları, üçüncü ve beşinci geçişlere göre daha yüksektir.



Şekil 4.1.4. Toprağın % 13 nem içeriğinde ölçülen hacim ağırlığı değerlerine göre geçiş sayılarının toplam artış içindeki oranları

Bir çok araştırmacı; geçiş sayısının artmasıyla, hacim ağırlığının da arttığını ve hacim ağırlığındaki en büyük değişimin birinci geçişten sonra meydana geldiğini belirtmişlerdir (Koger ve ark. 1985, Dizienia ve ark. 1990, Gee-Clough ve ark. 1990, Yıldız 1997).

4.2. Toprağın Penetrasyon Direncine İlişkin Sonuçlar

Toprağın % 9 ve %13'lük iki farklı nem düzeyi ve iki farklı ölçüm derinliğinde (0-15 cm ve 15-30 cm); tekerlek yükü, lastik iç basıncı, ilerleme hızı ve geçiş sayısının; tekerlek izinde oluşan penetrasyon direncindeki değişime etkileri incelenmiştir. Penetrasyon direnci değerleri, tekerlek izinin merkez çizgisinde ve kenarında yapılan ölçümler sonucu belirlenmiştir. Her deneme kombinasyonu öncesinde penetrometre okumaları yapılarak kontrol değerleri tespit edilmiştir (Çizelge 3.1.1.1).

Yapılan ölçümlerle elde edilen penetrasyon direnci değerleri Şekil 3.2.2.1'de verilen eşitlik kullanılarak kalibre edilmiştir. Toprağın her iki nem içeriği için kalibre edilen penetrasyon direnci değerleri Çizelge 4.2.1'de verilmiştir.

Yapılan ölçümler sonucunda, kontrollü değişkenlere bağlı olarak penetrasyon direncinin; % 9 nem içeriğinde, 1022.73 kPa ile 2982.65 kPa, % 13 nem içeriğinde ise 729.31 kPa ile 3102.17 kPa değerleri arasında değiştiği saptanmıştır (Çizelge 4.2.1).

Çizelge 4.2.1. Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ölçülen penetrasyon direnci değerleri (kPa)

Deneme Kombinasyonu	% 9 Nem				% 13 Nem			
	İz Merkezi		İz Kenarı		İz Merkezi		İz Kenarı	
	15 cm	30 cm	15 cm	30 cm	15 cm	30 cm	15 cm	30 cm
Y1Ş1V1G1	1807.38	2348.74	1430.27	2336.19	1751.65	1905.83	986.91	1441.42
G2	2305.85	2767.78	1446.37	2497.81	2551.68	2681.71	1786.93	2235.87
G3	2441.46	2881.72	1485.38	2494.71	2627.84	2721.96	1917.60	2223.49
Y1Ş1V2G1	1572.07	2304.61	1136.76	1897.78	1354.10	1813.57	952.85	1397.45
G2	2107.70	2577.07	1227.78	1760.31	2376.44	2546.72	1635.85	1949.86
G3	2549.20	2731.25	1656.90	2243.31	2592.55	2792.55	1913.26	2053.21
Y1Ş1V3G1	1374.54	2268.69	1209.21	1871.77	1129.33	1629.04	729.31	1155.96
G2	2221.63	2422.88	1539.87	2057.54	2491.61	2583.88	1526.87	1740.50
G3	2466.85	2585.74	1926.27	2390.06	2734.97	2792.55	1852.58	2325.04
Y1Ş2V1G1	1437.70	1985.71	1056.40	1720.68	1476.71	1965.89	1014.15	1409.84
G2	1988.81	2452.60	1611.08	2152.28	2629.70	2739.92	1860.63	2208.63
G3	2416.07	2633.41	1640.19	2307.08	2645.18	2804.94	2080.45	2325.66
Y1Ş2V2G1	1465.57	1920.93	1232.12	1815.43	1660.00	2052.59	1259.99	1500.24
G2	2053.83	2375.44	1492.19	2004.29	2624.75	2738.06	1889.73	2300.27
G3	2303.99	2468.08	1559.07	2081.69	2638.99	2858.81	1998.10	2339.90
Y1Ş2V3G1	1519.44	2282.32	1059.98	1752.88	1411.26	1946.70	953.47	1385.69
G2	2282.32	2488.62	1727.49	2092.83	2544.24	2661.28	1760.93	2031.53
G3	2515.14	2722.58	1881.06	2165.90	2573.35	2881.72	2104.60	2345.48
Y1Ş3V1G1	1599.94	2413.78	1148.52	2175.81	2005.52	2180.76	1196.20	1632.76
G2	1982.00	2264.36	1877.35	2426.60	2564.06	2860.05	1835.24	2106.41
G3	2412.97	2668.09	1916.98	2645.18	2695.34	2890.39	2345.47	2192.95
Y1Ş3V2G1	1482.28	2218.54	1077.93	1782.61	1387.55	1728.12	1335.53	1461.23
G2	2418.54	2675.52	1364.63	1986.95	2634.65	2759.11	1684.15	1842.67
G3	2563.25	2726.92	1940.51	2302.75	2702.15	2894.16	2131.85	2156.00
Y1Ş3V3G1	1351.63	2256.93	1022.73	1819.14	1236.45	1583.22	888.45	1420.98
G2	2552.92	2791.31	1666.81	2334.33	2611.12	2736.20	1681.06	1959.70
G3	2614.22	2798.75	1988.80	2384.49	2767.78	2869.96	2203.68	2436.50
Y2Ş1V1G1	1717.59	2629.70	1198.06	2070.54	1753.50	1961.56	1011.06	1611.70
G2	2517.0	2852.62	1600.55	2439.60	2599.36	2728.77	1776.11	2279.84
G3	2561.58	2909.59	1622.85	2572.73	2717.63	2825.37	1923.79	2150.42
Y2Ş1V2G1	1845.76	2493.47	1227.78	2095.93	1484.76	1932.46	1004.25	1575.17
G2	2433.98	2710.81	1908.94	2478.61	2646.42	2827.85	1790.03	1980.13
G3	2625.98	2769.02	2013.58	2507.10	2754.78	2893.49	1954.13	2126.27
Y2Ş1V3G1	1677.34	2346.72	1229.64	1960.32	1416.64	1938.03	850.06	1255.65
G2	2470.56	2676.76	1960.94	2420.40	2557.87	2720.11	1629.04	1855.06
G3	2476.18	2751.07	1881.68	2668.09	2704.62	2869.34	2002.43	2364.05
Y2Ş2V1G1	1528.10	1768.98	1060.41	1782.60	1731.83	2080.45	1085.98	1484.76
G2	2281.70	2668.71	1578.88	2134.94	2713.30	2791.94	1873.01	2263.74
G3	2434.03	2687.00	1845.15	2294.32	2730.01	2853.23	2204.40	2451.37
Y2Ş2V2G1	1461.23	2277.36	1132.42	1869.92	1916.98	2054.44	1396.83	1609.23
G2	2073.66	2584.50	1532.44	2377.68	2678.00	2954.17	2302.13	2460.03
G3	2434.65	2759.11	1774.56	2198.72	2733.11	2956.65	2113.99	2430.31
Y2Ş2V3G1	1522.53	2369.63	1155.96	2122.56	1484.76	1581.98	924.99	1330.57
G2	2324.43	2608.65	1876.11	2314.51	2709.58	2900.30	1794.99	2078.59
G3	2648.90	2801.84	1889.11	2333.09	2732.49	2941.17	1967.75	2328.24
Y2Ş3V1G1	1742.36	2408.64	1209.21	2077.97	2012.95	2543.01	1285.99	1861.25
G2	2346.10	2519.48	1983.86	2437.12	2611.74	2907.11	2162.19	2326.28
G3	2702.15	2982.65	2131.23	2464.99	2758.50	2936.21	2440.22	2622.27
Y2Ş3V2G1	1741.12	2194.39	1243.27	1846.39	1582.60	1775.79	1333.67	1502.96
G2	2622.27	2764.69	1817.28	2245.04	2666.85	2801.84	1971.47	2208.63
G3	2614.84	2700.29	2045.15	2366.48	2746.73	3026.00	2350.43	2541.15
Y2Ş3V3G1	1456.90	2705.86	1176.39	1968.99	1703.96	1959.70	976.38	1549.16
G2	2567.78	2728.78	1907.69	2599.35	2795.65	2954.79	2223.49	2642.75
G3	2705.24	2902.15	2302.75	2658.80	2817.94	2910.82	2538.05	2710.82

Çizelge 4.2.1. (Devam). Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ölçülen penetrasyon direnci değerleri (kPa)

Deneme Kombinasyonu	% 9 Nem				% 13 Nem			
	İz Merkezi		İz Kenarı		İz Merkezi		İz Kenarı	
	15 cm	30 cm	15 cm	30 cm	15 cm	30 cm	15 cm	30 cm
Y3Ş1V1G1	2308.94	2849.52	1809.85	2321.95	1792.51	2108.32	1064.93	1627.18
G2	2526.91	2891.63	2090.36	2621.03	2661.28	2853.85	1877.97	2318.85
G3	2570.87	2899.68	2895.35	2689.77	2737.44	2875.53	1972.71	2286.03
Y3Ş1V2G1	1761.55	2393.78	1310.76	2131.23	1580.74	1984.47	1033.35	1658.86
G2	2552.91	2705.24	1904.59	2500.28	2653.23	2826.62	1984.47	1996.85
G3	2577.06	2733.11	2020.39	2613.50	2792.55	2881.72	2060.01	2304.61
Y3Ş1V3G1	1959.09	2614.22	1337.38	2002.43	1448.85	1836.48	856.87	1281.66
G2	2521.34	2736.82	1910.79	2496.57	2566.54	2627.22	1659.38	2120.70
G3	2530.62	2866.24	2190.05	2713.29	2673.19	2851.38	1998.71	2362.81
Y3Ş2V1G1	1752.26	2253.83	1303.95	1812.33	2011.10	2351.05	1181.96	1667.43
G2	2496.57	2730.63	1684.77	2274.27	2728.15	2887.29	2080.45	2388.20
G3	2507.71	2713.91	1908.97	2455.70	2749.83	2884.82	2277.69	2491.00
Y3Ş2V2G1	1912.02	2378.91	1240.17	1877.35	2253.83	2611.94	2013.48	1816.03
G2	2538.05	2783.89	1868.68	2344.86	2828.47	2985.13	2378.92	2470.56
G3	2664.99	2934.97	1819.16	2466.22	2831.57	3052.63	2417.31	2644.69
Y3Ş2V3G1	1890.97	2466.84	1218.50	2164.05	1596.22	2135.56	1055.64	1607.37
G2	2433.40	2635.89	1940.51	2423.50	2622.89	2783.26	1903.35	2353.53
G3	2729.39	2917.64	2044.25	2544.87	2694.72	2861.91	2312.66	2559.11
Y3Ş3V1G1	1813.57	2398.73	1453.80	2254.45	2155.38	2521.96	1405.50	1969.61
G2	2517.62	2733.73	2019.15	2439.60	2648.90	2946.50	2094.69	2353.88
G3	2738.06	2871.81	2180.76	2504.61	2765.31	2905.87	1919.45	2186.34
Y3Ş3V2G1	1868.06	2473.65	1465.57	2148.56	1840.19	1971.47	1414.17	1553.49
G2	2609.88	2757.88	1975.80	2536.19	2704.62	2971.51	2013.33	2255.69
G3	2639.61	2821.87	2162.19	2572.11	2728.77	3017.33	2335.67	2577.68
Y3Ş3V3G1	2221.01	2704.01	1483.52	2386.96	2356.00	2689.77	1463.08	2206.77
G2	2546.71	2715.15	1983.76	2476.75	2845.18	3002.47	2434.05	2699.67
G3	2718.25	2894.72	2322.57	2621.65	2964.70	3102.17	2544.87	2745.49

Y : Tekerlek yükü, Ş : Lastik iç basıncı, V : İlerleme hızı, G : Geçiş sayısı

Toprağın % 9 nem içeriğinde 0-15 cm ölçüm derinliğinde ve tekerlek izinin merkez çizgisinde; en küçük penetrasyon direnci değeri Y1Ş3V3G1 kombinasyonunda (1351.63 kPa), en büyük penetrasyon direnci değeri ise Y3Ş3V1 kombinasyonunda tekrarlanan beş geçiş sonrasında (2738.06 kPa) elde edilmiştir. Tekerlek izinin merkez çizgisinde 15-30 cm derinlikte, en küçük ve en büyük penetrasyon direnci sırasıyla, Y2Ş2V1G1 (1768.98 kPa) ve Y2Ş3V1G3 (2982.65 kPa) kombinasyonlarında elde edilmiştir. Toprağın % 9 nem içeriğinde, tekerlek izinin kenarında, 0-15 cm derinlikte yapılan ölçümler sonucunda; penetrasyon direncinin en küçük değeri Y1Ş3V3G1 kombinasyonunda (1022.73 kPa), en büyük değeri ise Y3Ş1V1 kombinasyonunda beşinci geçiş sonrasında (2895.35 kPa) ölçülmüştür. Tekerlek izinin kenarında, 15-30 cm derinlikte, en küçük ve en büyük penetrasyon direnci değerleri sırasıyla Y1Ş2V1G1 (1720.68 kPa) ve Y3Ş1V3G3 kombinasyonlarında (2713.29 kPa) ölçülmüştür (Çizelge 4.2.1.).

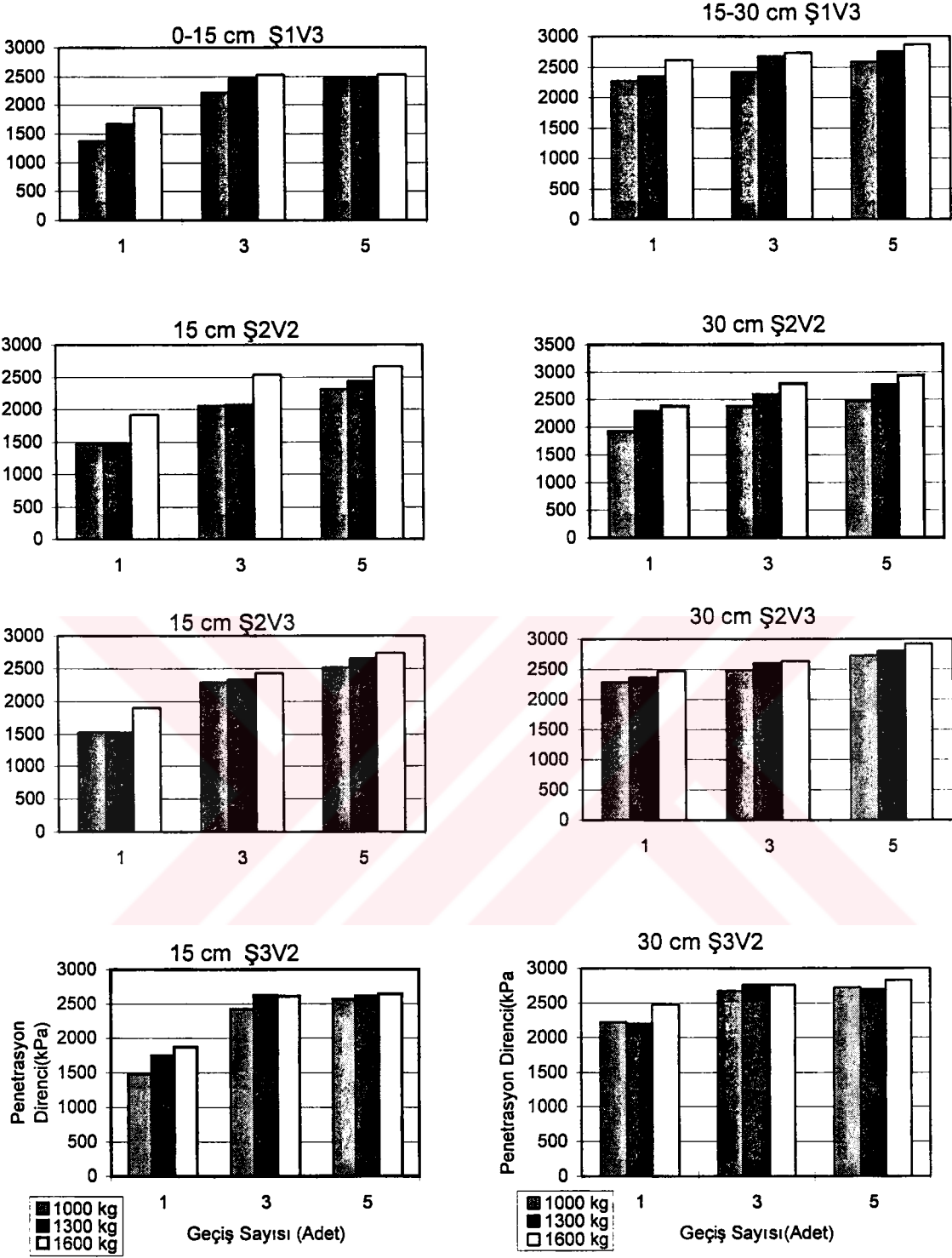
Kontrol değerlerine göre; % 9 nem içeriğinde tekerlek izinin merkez çizgisinde 0-15 cm ölçüm derinliğinde, penetrasyon direncinde % 327.83 - % 766.67 oranında artış olurken tekerlek izinin kenarında, % 223.72 - % 816.45 oranında artış olmuştur. Tekerlek izinin merkez çizgisinde ve kenarında 15-30 cm ölçüm derinliğinde ise, sırasıyla %170.99 - % 356.92 ve % 163.59 - % 315.65 oranında artış olduğu saptanmıştır.

Toprağın % 13 nem içeriğinde, 0-15 cm ölçüm derinliğinde ve tekerlek izinin merkez çizgisinde; en küçük penetrasyon direnci değeri, Y1Ş1V3G1 kombinasyonunda (1129.33 kPa) ve en büyük penetrasyon direnci ise Y3Ş3V3 kombinasyonunda yapılan beş geçiş sonrasında (2964.70 kPa) ölçülmüştür. Ölçüm derinliğinin 15-30 cm olduğu durumda ise; en küçük ve en büyük penetrasyon direnci değerleri sırasıyla; Y2Ş2V3G1 (1581.98 kPa) ve Y3Ş3V3G3 kombinasyonlarında (3102.17 kPa) elde edilmiştir. Toprağın % 13 nem içeriğinde, tekerlek izinin kenarında ve 0-15 cm derinlikte; en küçük penetrasyon direnci, Y1Ş1V3G1 kombinasyonunda (729.31 kPa) ve en büyük penetrasyon direnci değeri ise; Y3Ş3V3 kombinasyonunda yapılan beş geçiş sonrasında (2544.87 kPa) ölçülmüştür. Aynı nem içeriğinde; tekerlek izinin kenarında 15-30 cm derinlikte, penetrasyon direncinin en küçük ve en büyük değerlerinin sırasıyla; Y1Ş1V3G1 (1155.96 kPa) ve Y3Ş3V3G3 kombinasyonlarında (2745.49 kPa) meydana geldiği saptanmıştır.

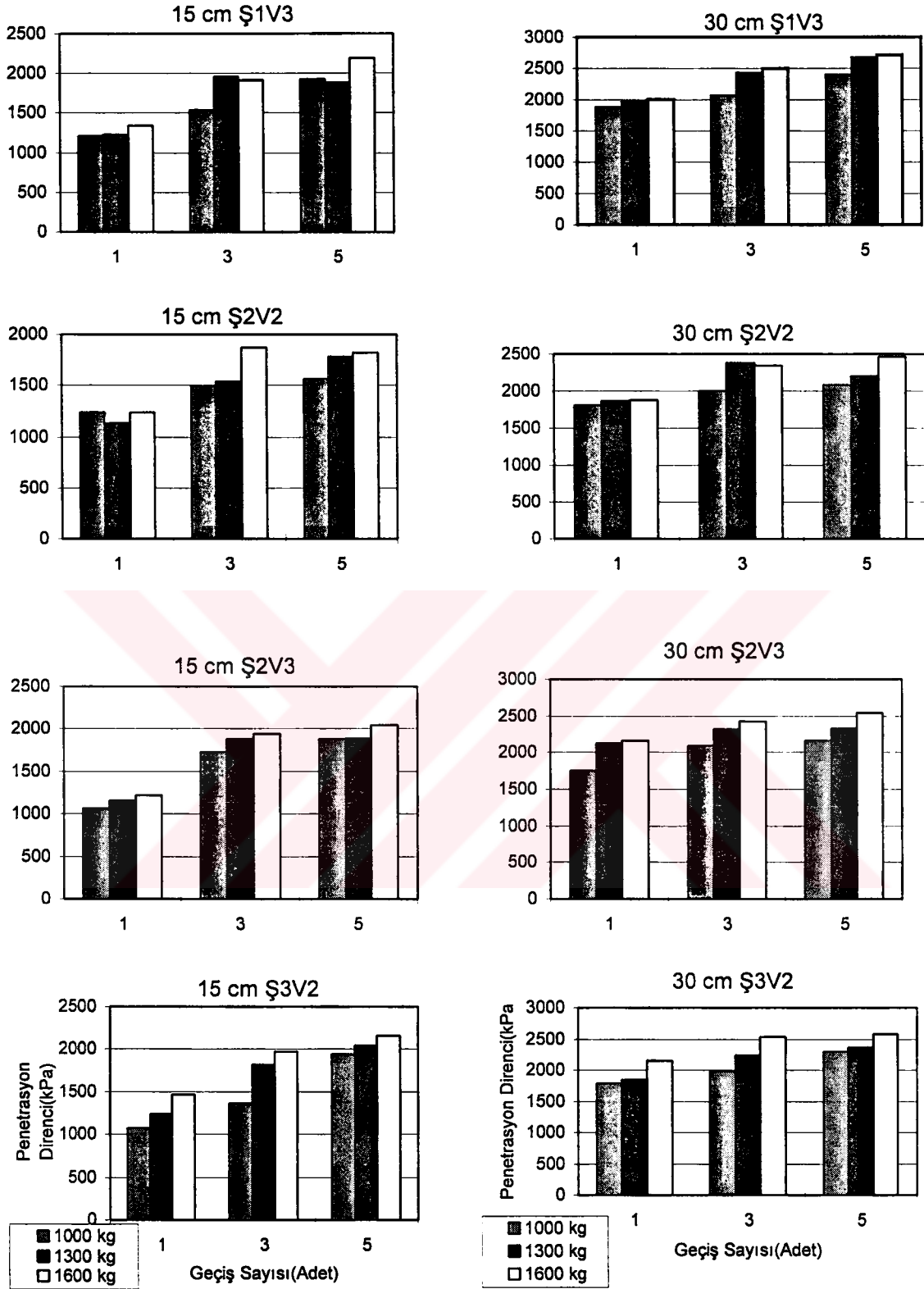
Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde tekerlek iz merkezi ve iz kenarında; farklı lastik iç basıncı ve ilerleme hızlarında, tekerlek yükü ve geçiş sayısının penetrasyon direncine etkisini gösteren örnek grafikler Şekil 4.3.1..... 4.3.4'de verilmiştir.

Kontrol değerlerine göre; toprağın % 13 nem içeriğinde, 0-15 cm ölçüm derinliğinde, tekerlek izinin merkez çizgisinde, penetrasyon direncinde, % 387.39 - % 1179.49, tekerlek izinin kenarında ise % 214.75 - % 998.30 oranında artış olmuştur. Tekerlek izinin merkez çizgisinde ve kenarında, 15-30 cm derinlikte ise sırasıyla; % 463.72 - % 1005.43 ve % 311.92 - % 878.33 oranında artış olduğu saptanmıştır.

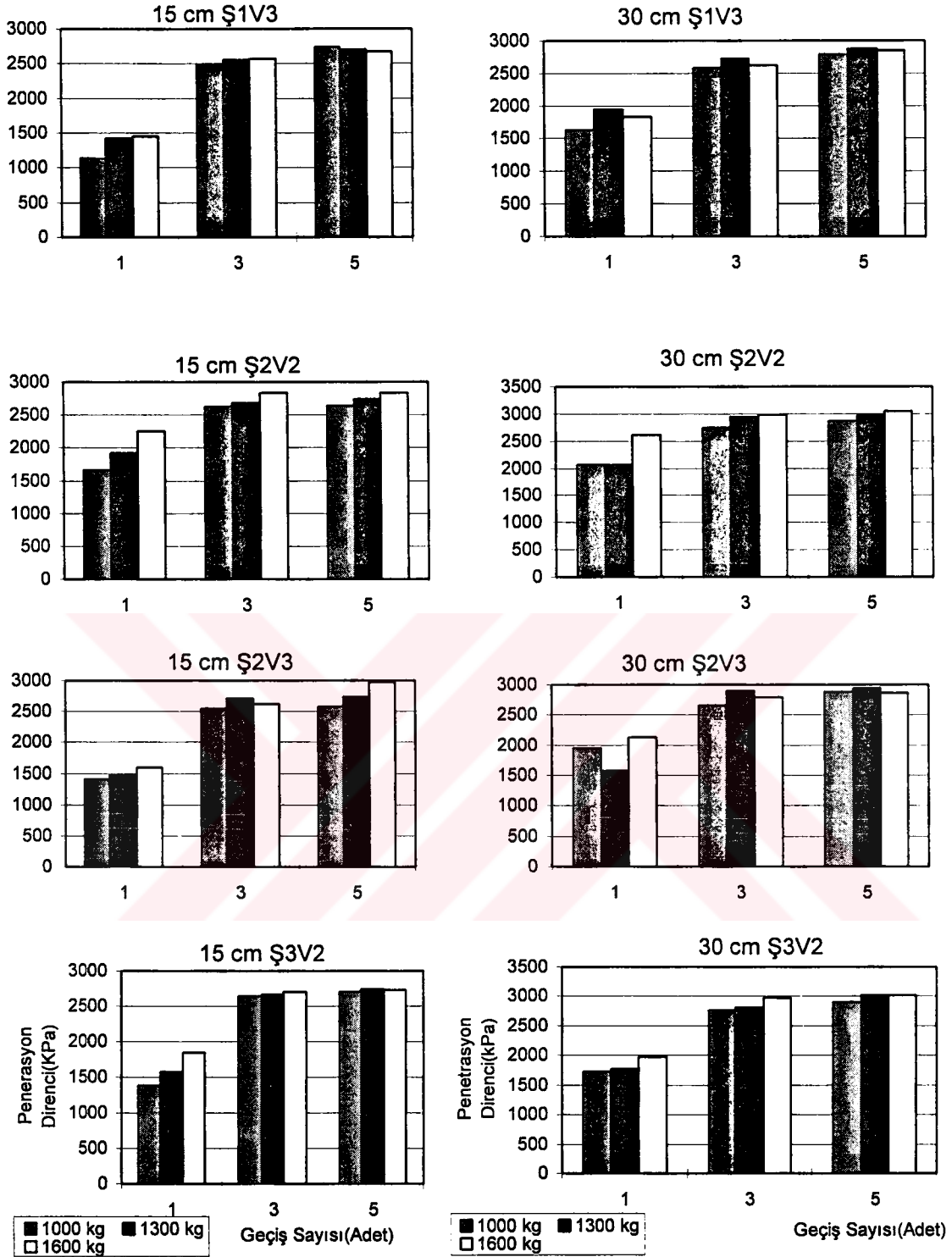
Kontrollü değişken olarak seçilen parametrelerin, penetrasyon direncine etkilerini istatistiksel olarak saptayabilmek için tesadüf bloklarında 4 faktörlü faktöryel deneme desenine göre varyans analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2.2 ve Çizelge 4.2.3'de verilmiştir.



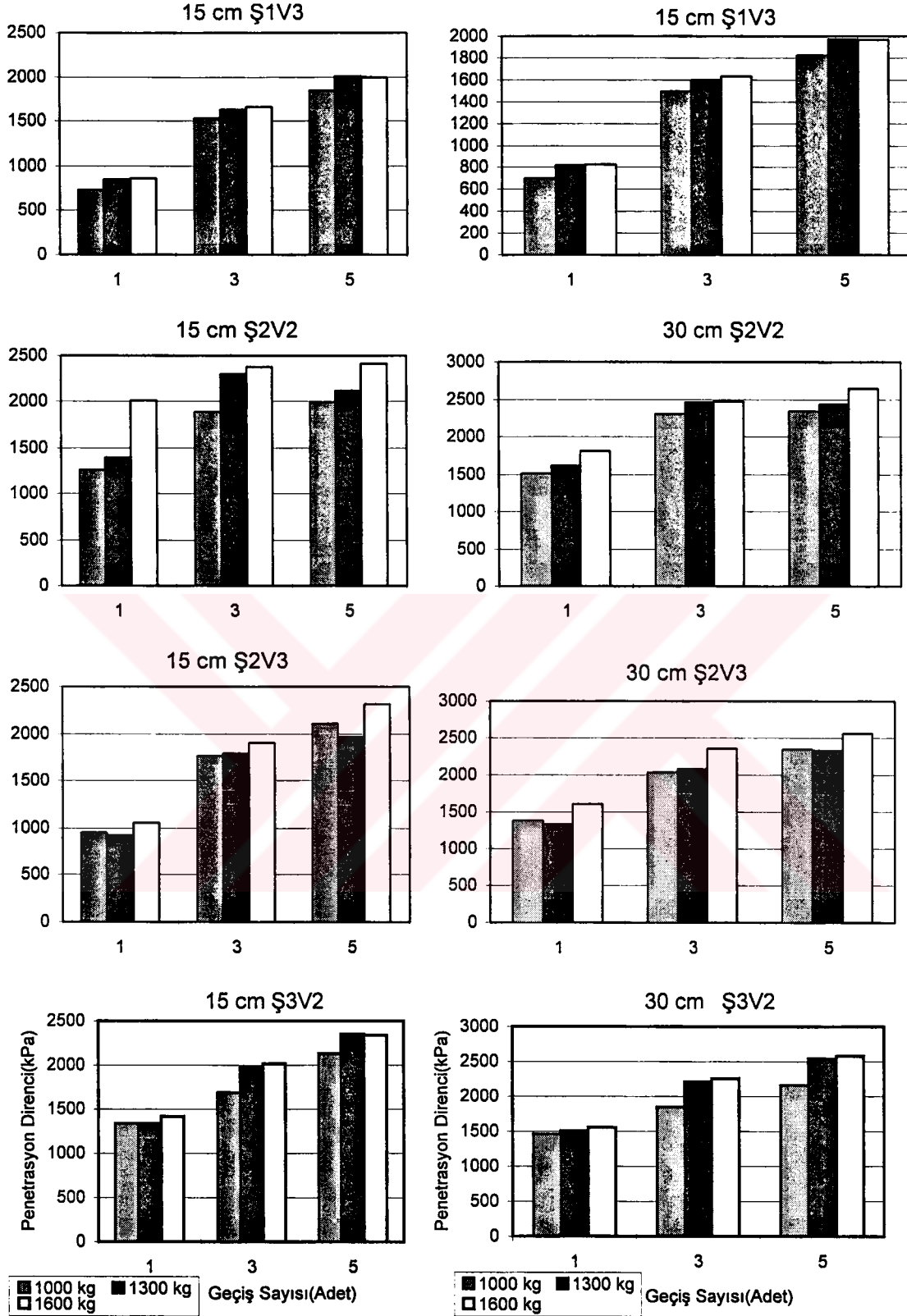
Şekil 4.2.1. Toprağın % 9 nem içeriğinde tekerlek izinin merkez çizgisinde farklı lastik iç basıncı ve ilerleme hızlarında tekerlek yükü ve geçiş sayılarının penetrasyon direncine etkisi



Şekil 4.2.2. Toprağın % 9 nem içeriğinde tekerlek izi kenarında farklı lastik iç basıncı ve ilerleme hızlarında tekerlek yükü ve geçiş sayılarının penetrasyon direncine etkisi



Şekil 4.2.3. Toprağın % 13 nem içeriğinde tekerlek izinin merkez çizgisinde farklı lastik iç basıncı ve ilerleme hızlarında tekerlek yükü ve geçiş sayılarının penetrasyon direncine etkisi



Şekil 4.2.4. Toprağın % 13 nem içeriğinde tekerlek izi kenarında farklı lastik iç basıncı ve ilerleme hızlarında tekerlek yükü ve geçiş sayılarının penetrasyon direncine etkisi

Toprağın % 9 nem içeriğinde, tekerlek izinin merkez çizgisinde, 0-15 cm ve 15-30 cm derinliklerde; tekerlek yükü, lastik iç basıncı ve geçiş sayısı; penetrasyon direnci üzerine $p < 0.01$ düzeyinde etkili olurken, ilerleme hızının önemli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Tekerlek izinin kenarında ölçülen penetrasyon direnci değerlerine ise; tekerlek yükü, lastik iç basıncı, ilerleme hızı ve geçiş sayısının $p < 0.01$ seviyesinde önemli olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.2.2).

Toprağın % 13 nem içeriğinde tekerlek izinin merkez çizgisinde 0-15 cm derinlikte; tekerlek yükü, lastik iç basıncı, ilerleme hızı ve geçiş sayısı $p < 0.01$ düzeyinde önemlidir. Tekerlek izinin merkez çizgisinde ve 15-30 cm derinlikte ise; tekerlek yükü, lastik iç basıncı ve geçiş sayısı penetrasyon direnci değerleri üzerine $p < 0.01$ düzeyinde ve ilerleme hızı $p < 0.05$ düzeyinde önemlidir. Tekerlek izinin kenarında 0-15 cm derinlikte ölçülen penetrasyon direnci değerleri üzerine; tekerlek yükü, lastik iç basıncı, ilerleme hızı ve geçiş sayısı istatistiksel olarak $p < 0.01$ seviyesinde etkili olmaktadır. Tekerlek izinin kenarında ve 15-30 cm ölçüm derinliğinde ise; tekerlek yükü, lastik iç basıncı ve geçiş sayısının $p < 0.01$ düzeyinde etkili olduğu bulunmuştur. Kontrollü değişken olarak seçilen parametrelerden ilerleme hızının 15-30 cm derinlikte önemli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir (Çizelge 4.2.3).

Çizelge 4.2.2. Toprağın % 9 nem içeriğinde 0-15 cm ve 15-30 cm derinlikte ölçülen penetrasyon direnci değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynakları	S.D.	Tekerlek izi merkez çizgisi		Tekerlek izinin kenarı	
		0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
Tekerlek yükü (Y)	2	50.18 **	28.40 **	67.21 **	22.09 **
Lastik İç Basıncı (Ş)	2	10.75 **	15.62 **	18.07 **	14.14 **
İlerleme Hızı(V)	2	0.69	2.73	6.16 **	5.85 **
Geçiş Sayısı(G)	2	464.21 **	111.63 **	314.09 **	73.42 **
YxŞ İnteraksiyonu	4	1.07	0.74	4.78 **	0.27
YxV İnteraksiyonu	4	0.20	0.07	3.66 **	4.16 **
ŞxV İnteraksiyonu	4	3.50 **	8.15 **	1.57	2.71 *
YxG İnteraksiyonu	4	4.85 **	0.93	2.68 *	0.85
ŞxG İnteraksiyonu	4	2.27	3.17 *	3.68 **	0.30
VxG İnteraksiyonu	4	1.87	1.63	2.53 *	0.15
YxŞxV İnteraksiyonu	8	1.35	1.84	4.62 **	0.58
YxŞxG İnteraksiyonu	8	0.45	0.24	2.39 *	0.89
YxVxD İnteraksiyonu	8	1.74	0.70	1.98	0.52
ŞxVxG İnteraksiyonu	8	1.27	2.05 *	1.40	0.99
YxŞxVxG İnteraksiyonu	16	1.16	1.34	0.84	0.25
Hata	160				

Çizelge 4.2.3. Toprağın % 13 nem içeriğinde 0-15 cm ve 15-30 cm derinlikte ölçülen penetrasyon direnci değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynakları	S.D.	Tekerlek izi merkez çizgisi		Tekerlek izinin Kenarı	
		0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
Tekerlek yükü (Y)	2	27.77 **	23.94 **	26.74 **	23.80 **
Lastik İç Basıncı (Ş)	2	14.67 **	14.58 **	53.72 **	19.62 **
İlerleme Hızı(V)	2	5.67 **	3.86 *	10.11 **	1.18
Geçiş Sayısı(G)	2	791.50 **	451.17 **	558.11 **	270.84 **
YxŞ İnteraksiyonu	4	1.00	1.53	2.65 *	2.66 *
YxV İnteraksiyonu	4	0.80	0.24	2.49 *	1.29
ŞxV İnteraksiyonu	4	6.09 **	4.53 **	6.89 **	7.25
YxG İnteraksiyonu	4	5.45 **	4.44 **	1.93	0.71
ŞxG İnteraksiyonu	4	3.40 **	0.67	0.77	1.04 *
VxG İnteraksiyonu	4	7.64 **	4.72 **	5.88 **	3.41 **
YxŞxV İnteraksiyonu	8	1.91	1.95	2.63 **	0.61
YxŞxG İnteraksiyonu	8	0.90	1.40	1.36	0.80
YxVxD İnteraksiyonu	8	0.51	0.81	0.34	0.70
ŞxVxG İnteraksiyonu	8	2.69 **	2.30 *	2.12 *	1.85
YxŞxVxD İnteraksiyonu	16	0.81	0.75	0.73	0.46
Hata	160				

Varyans analizi sonuçlarına göre, istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenen varyasyon kaynaklarının penetrasyon dirençlerindeki değişime etkileri farklı olmaktadır. Bu farklılığı tespit etmek için bu varyasyon kaynaklarına LSD testi uygulanmıştır.

Toprağın % 9 nem içeriğinde ve tekerlek iz merkezinde; tekerlek yüküne bağlı olarak penetrasyon direncinin en büyük ortalama değeri, her iki derinlikte de 1600 kg tekerlek yükünde elde edilmiştir. Tekerlek iz merkezinde ve 0-15 cm derinlikte, kontrol değerleriyle karşılaştırıldığında; 1000 kg tekerlek yükünde penetrasyon direncindeki artış % 554.24 iken 1600 kg tekerlek yükünde %649.20 oranında artış olmuştur. Tekerlek iz merkezinde ve 15-30 cm ölçüm derinliğinde ise; en büyük artış oranının 1600 kg tekerlek yükünde % 313.49 oranında olduğu saptanmıştır. Tekerlek izi kenarında 0-15 cm ve 15-30 derinliklerde iz merkez çizgisine benzer şekilde, kontrol değerlerine göre en büyük artış 1600 kg tekerlek yükünde sırasıyla % 480.83 ve % 265.36'dır (Çizelge 4.2.4).

Toprağın % 13 nem içeriğinde her iki ölçüm derinliği ve ölçüm bölgesinde de benzer sonuçlar elde edilmiş ve tekerlek yükündeki artış ile penetrasyon dirençleri de artmış ve en büyük penetrasyon direnci değeri, 1600 kg tekerlek yükünde elde edilmiştir. Kontrol değerleri ile karşılaştırıldığında; tekerlek iz merkezinde 0-15 cm derinlikte 1600 kg tekerlek yükünde penetrasyon direncinde % 958.67 oranında, iz kenarında ise % 695.32 oranında artış olmuştur. İz merkezinde ve iz kenarında 15-30 cm derinlikte; 1600

kg tekerlek yükünde ise sırasıyla; % 857.21 ve % 672.13 oranında artış olduğu saptanmıştır(Çizelge 4.2.4)

Çizelge 4.2.4. Toprağın % 9 ve %13 nem içeriğinde ki, penetrasyon direnci değerleri ile tekerlek yükleri arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları

Nem	Tekerlek Yükü	Tekerlek İz Merkezi				Tekerlek İz Kenarı			
		0-15 cm	% Artış	15-30 cm	% Artış	0-15 cm	% Artış	15-30cm	% Artış
% 9	Y1	2066.94 c	554.24	2482.68 c	280.32	1493.43 c	372.71	2129.64 c	226.24
	Y2	2204.96 b	597.93	2613.46 b	300.36	1640.96 b	419.41	2270.66 b	247.84
	Y3	2366.94 a	649.20	2699.20 a	313.49	1835.02 a	480.83	2384.97 a	265.36
% 13	Y1	2237.74 c	865.75	2467.40 c	779.24	1612.07 c	595.73	1910.34 c	580.73
	Y2	2361.58 b	919.32	2578.76 b	818.92	1736.55 b	649.45	2059.31 b	633.82
	Y3	2453.04 a	958.67	2686.23 a	857.21	1842.84 a	695.32	2166.82 a	672.13

Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriklerinde; tekerlek iz merkezinde 0-15 cm ve 15-30 cm derinliklerde ölçülen değerlerde, tekerlek izi kenarında ölçülen değerlere göre daha büyük bir artış olmaktadır. Buna göre; her iki ölçüm derinliğinde de tekerlek yükü, tekerlek iz kenarına göre iz merkezinde toprağın daha fazla sıkışmasına neden olmaktadır. Ayrıca; her iki ölçüm bölgesinde de 15-30 cm derinlikte ölçülen ortalama penetrasyon direnci değerleri daha büyük olmasına rağmen, 0-15 cm derinlikte yükün artmasıyla ortalama penetrasyon direnci değerlerinde meydana gelen % artış oranı daha yüksektir.

Bir çok araştırmacı; yaptıkları çalışmalar sonucunda, yükün penetrasyon direncine etkili olan önemli bir değişken olduğunu ve yükteki artış ile penetrasyon direncinin de arttığını belirterek benzer sonuçlar elde etmişlerdir (Koger ve ark.1984, 1985, Çarman 1996, Yıldız 1997, Pınar ve Sessiz 1998).

Her iki nem içeriği için verilen varyans analiz tablosunda F testine göre lastik iç basınçlarının penetrasyon direncine etkileri farklı olmaktadır. Bu farklılığı belirlemek için yapılan LSD testi sonuçları Çizelge 4.2.5’de verilmiştir.

Penetrasyon direncinin en büyük değeri; toprağın % 9 nem içeriğinde, 0-15 cm derinlikte tekerlek iz merkezinde ve iz kenarında, 1.5 bar lastik iç basıncında, 15-30 cm derinlikte ise, 0.8 bar lastik iç basıncında elde edilmiştir (Çizelge 4.2.5). Ortalama değerler üzerine yapılan LSD testi sonuçlarından en küçük penetrasyon direncinin; her iki ölçüm derinliği ve ölçüm bölgesinde de 1 bar lastik iç basıncında meydana geldiği ve 0.8 bar ile 1.5 bar lastik iç basınçlarının benzer şekilde etki ettiği saptanmıştır. Tekerlek iz

merkezinde, 0-15 cm derinlikte, 1.5 bar lastik iç basıncında; penetrasyon direncinde % 616.86 oranında ve tekerlek iz kenarında, % 449.44 oranında artış olmuştur. Tekerlek iz merkezinde, 15-30 cm derinlikte, 0.8 bar lastik iç basıncında; penetrasyon direnci kontrol değerlerine göre % 306.91, 1 bar lastik iç basıncında, % 283.90 ve 1.5 bar lastik iç basıncında ise, % 303.36 oranında artmaktadır. Tekerlek iz kenarında, 15-30 cm derinlikte; 0.8 bar lastik iç basıncında, % 256.61 oranında artış olurken, artış oranı 1 bar lastik iç basıncında % 228.43 olmuş ve 1.5 bar lastik iç basıncında ise, % 254.40 oranında gerçekleşmiştir (Çizelge 4.2.5).

Toprağın % 13 nem içeriğinde, tekerlek iz merkezinde, 0-15 cm ve 15-30 cm derinliklerde; penetrasyon direnci, lastik iç basıncındaki artışa bağlı olarak artmaktadır. Kontrol değeri ile karşılaştırıldığında; penetrasyon direnci, iz merkezinde 0-15 cm derinlikte ve 1.5 bar lastik iç basıncında, % 943.93 oranında artarken, 15-30 cm ölçüm derinliğinde, % 842.94 oranında artmıştır. Penetrasyon direnci; tekerlek iz kenarında, 0-15 cm ve 15-30 cm ölçüm derinliklerinde de lastik iç basıncında ki artışa bağlı olarak artmakta ve 1.5 bar lastik iç basıncında en büyük değere ulaşmaktadır. Tekerlek iz kenarında, 0-15 cm derinlikte; penetrasyon direncinin en büyük olduğu 1.5 bar lastik iç basıncında artış oranı % 702.57 iken, 15-30 cm derinlikte % 661.83'dür (Çizelge 4.2.5).

Elde edilen sonuçlar; Koger ve ark. 1985, Bailey ve ark. 1992, Ögüt 1995, Çarman 1996 ve Yavuzcan 1996 tarafından bildirilen sonuçlarla uyusmaktadır.

Çizelge 4.2.5. Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ki, penetrasyon direnci değerleri ile lastik iç basınçları arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları

Nem	Lastik İç Basıncı	Tekerlek İz Merkezi				Tekerlek İz Kenarı			
		0-15 cm	% Artış	15-30 cm	% Artış	0-15 cm	% Artış	15-30cm	% Artış
% 9	Ş1	2240.07 a	609.04	2656.24 a	306.91	1673.05 a	429.56	2327.88 a	256.61
	Ş2	2133.98 b	575.46	2506.04 b	283.90	1560.50 b	393.64	2143.91 b	228.43
	Ş3	2264.79 a	616.86	2633.06 a	303.36	1735.86 a	449.44	2313.48 a	254.40
% 13	Ş1	2264.89 b	877.47	2481.87 b	784.39	1546.35 b	567.36	1914.02 b	582.04
	Ş2	2368.56 a	922.21	2604.36 a	828.04	1785.47 a	670.56	2084.52 a	642.80
	Ş3	2418.91 a	943.94	2646.16 a	842.94	1859.64 a	702.57	2137.93 a	661.83

Toprağın % 9 nem içeriğinde, tekerlek iz merkezinde; ilerleme hızının penetrasyon direncine olan etkisi, derinlikle değişmekte ve her iki derinlikte de önemli bir etkisi olmamaktadır. Kontrol değerlerine göre; tekerlek iz merkezinde, 0-15 cm derinlikte, 1 m/s ilerleme hızında, penetrasyon direncinde % 596.01, 1.6 m/s ilerleme

hızında ise, % 606.90 oranında artış olduğu saptanmıştır. Penetrasyon direncindeki en büyük artış oranı ise; iz merkezinde, 15-30 cm derinlikte, 1.6 m/s ilerleme hızında elde edilmiştir. Toprağın %9 nem içeriğinde, tekerlek iz kenarında; her iki derinlikte de, ilerleme hızının en küçük değeri, 1 m/s ilerleme hızında meydana gelmiştir. Penetrasyon direncinin en büyük değeri ise; 0-15 cm derinlikte, 1.6 m/s ilerleme hızında, 15-30 cm derinlikte de 1 m/s ilerleme hızında elde edilmiştir (Çizelge 4.2.6).

Toprağın % 13 nem içeriğinde, her iki ölçüm bölgesinde, 0-15 cm derinlikte; ilerleme hızının, penetrasyon direncine $p<0.01$ seviyesinde, iz merkezinde, 15-30 cm derinlikte $p<0.05$ seviyesinde önemli bir etkisi olmaktadır. Yalnız; tekerlek iz kenarında, 15-30 cm derinlikte, ilerleme hızının önemli bir etkisi bulunamamıştır. Her iki ölçüm bölgesi ve ölçüm derinliğinde, ilerleme hızının istatistiksel olarak önemli olduğu durumlarda; en küçük penetrasyon direnci değerleri en yüksek hız kademesi olarak seçilen 1.6 m/s ilerleme hızında elde edilmiştir. İlerleme hızının önemli bir etkisinin olmadığı durumda (tekerlek iz kenarında 15-30 cm derinlik) ise en küçük ortalama penetrasyon direnci değeri 1.3 m/s ilerleme hızında meydana gelmiştir. Toprağın % 13 nem içeriğinde tekerlek ilerleme hızı arttıkça, penetrasyon direnci değerlerinin düştüğü belirlenmiştir(Çizelge 4.2.6).

Çizelge 4.2.6. Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ki, penetrasyon direnci değerleri ile ilerleme hızları arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları

Nem	İlerleme Hızı	Tekerlek İz Merkezi				Tekerlek İz Kenarı			
		0-15 cm	% Artış	15-30 cm	% Artış	0-15 cm	% Artış	15-30cm	% Artış
% 9	V1	2202.05	597.01	2599.19	298.17	1673.69 a	429.77	2311.33 a	254.07
	V2	2203.48	597.46	2564.27	292.82	1598.17 b	405.86	2187.08 b	235.04
	V3	2233.31	606.90	2631.88	303.18	1697.55 a	437.32	2286.86 ab	250.33
% 13	V1	2400.98 a	936.20	2619.05 a	833.28	1728.21 ab	645.85	2078.41	640.62
	V2	2347.98 ab	913.33	2581.82 ab	820.01	1802.63 a	677.97	2026.45	622.11
	V3	2303.40 b	894.09	2531.52 b	802.08	1660.62 b	616.68	2031.61	623.95

Toprağın % 9 nem içeriğinde elde edilen sonuçlar Pınar ve Sessiz 1998, Barut ve ark. 1999 ve % 13 nem içeriğinde elde edilen sonuçlar da Ababe ve ark. 1992 ve Ögüt 1995 tarafından desteklenmektedir.

Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde, 0-15 cm ve 15-30 cm derinliklerde yürütülen denemeler sonucunda elde edilen veriler üzerine uygulanan varyans analizleri, geçiş sayısının her koşul için $p<0.01$ seviyesinde önemli bir faktör olduğunu göstermiştir.

Geçiş sayılarının, penetrasyon direnci üzerindeki etkilerini görebilmek için yapılan LSD testi sonuçları Çizelge 4.2.7'de verilmiştir.

Toprağın % 9 nem içeriğinde, her iki ölçüm bölgesi ve her iki derinlikte, geçiş sayılarının artmasıyla ortalama penetrasyon direnci değerlerinin önemli bir şekilde arttığı saptanmıştır. Kontrol değerleri ile karşılaştırıldığında ortalama penetrasyon direncinin; tekerlek iz merkezinde, 0-15 cm derinlikte, birinci geçiş ile % 436.82, üçüncü geçiş ile % 653.74 ve beşinci geçiş ile % 710.81 oranında arttığı belirlenmiştir. Tekerlek iz kenarında, 0-15 cm derinlikte; en büyük ortalama penetrasyon direnci, beşinci geçiş sonunda elde edilmiş ve penetrasyon direncinde kontrol değerine göre % 521.86 oranında artış olduğu saptanmıştır. Yine; tekerlek iz merkezinde ve tekerlek iz kenarında, 15-30 cm derinlikte; kontrol değerlerine göre, penetrasyon direncindeki en büyük artışın beşinci geçişten sonra sırasıyla % 326.24 ve % 275.96 oranında olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.2.7).

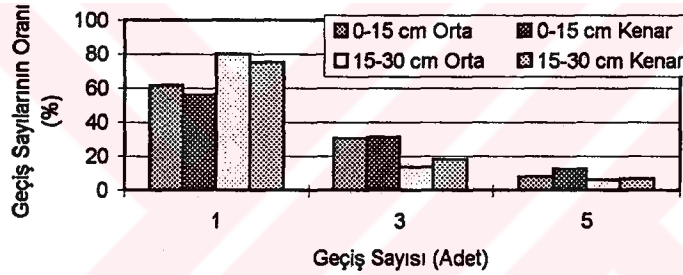
Toprağın % 13 nem içeriğinde, tekerlek iz merkezinde, 0-15 cm derinlikte; geçiş sayısına bağlı olarak en büyük ortalama penetrasyon direnci, beşinci geçişte elde edilmiş ve beşinci geçişte kontrol değerlerine göre % 1076.63 oranında artış olduğu saptanmıştır. Kontrol değerlerine göre; tekerlek iz kenarında, 0-15 cm derinlikte, birinci geçiş sonrasında ortalama penetrasyon direncindeki artış oranı % 390.32 olurken, geçiş sayısındaki artış ile penetrasyon direncinde artmış ve beşinci geçiş sonrasında penetrasyon direncindeki artış oranı % 825.24'ye ulaşmıştır. Tekerlek iz merkezi ve tekerlek izi kenarında, 15-30 cm derinlikte de geçiş sayısı ile ortalama penetrasyon direnci değerleri artmış ve beşinci geçiş sonunda sırasıyla % 931.44 ve % 748.37 oranında artış olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.2.7).

Çizelge 4.2.7. Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ki, penetrasyon direnci değerleri ile geçiş sayıları arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları

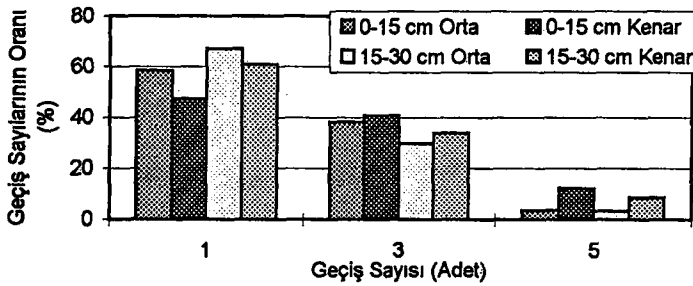
Nem	Geçiş Sayısı	Tekerlek İz Merkezi				Tekerlek İz Kenarı			
		0-15 cm	% Artış	15-30 cm	% Artış	0-15 cm	% Artış	15-30cm	% Artış
% 9	G1	1695.96 c	436.82	2360.31 c	261.58	1245.58 c	294.26	2002.47 c	206.76
	G2	2381.28 b	653.74	2652.65 b	306.36	1759.21 b	456.84	2328.64 b	256.73
	G3	2561.60 a	710.81	2782.38 a	326.24	1964.63 a	521.86	2454.16 a	275.96
% 13	G1	1686.50 c	627.85	2031.27 c	632.82	1136.11 c	390.32	1554.64 c	453.98
	G2	2639.49 b	1039.14	2806.58 b	900.1	1911.46 b	724.94	2201.05 b	684.32
	G3	2726.37 a	1076.63	2894.54 a	931.44	2143.88 a	825.24	2380.77 a	748.37

Toprağın % 9 nem içeriğinde, tekerlek iz merkezinde, 0-15 cm derinlikte; geçiş sayılarının toplam artış içindeki, birinci geçiş sayısının oranı % 61.45 ve 15-30 cm derinlikte % 80.18 olarak saptanmıştır. Tekerlek iz kenarında ise; 0-15 cm ve 15-30 cm derinlik için birinci geçiş sayısının toplam artış içindeki oranının sırasıyla % 56.39 ve % 74.92 olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.2.5). Bu oranlar ilk geçişten sonra penetrasyon direncinde çok yüksek bir artışın meydana geldiğini ve tekrarlanan her geçişten sonra penetrasyon direncinde de azalan oranlar da bir artışın olduğunu göstermiştir.

Toprağın % 13 nem içeriğinde, geçiş sayısına bağlı olarak toplam artış içerisindeki birinci geçiş sayısının oranı; tekerlek iz merkezinde, 0-15 cm derinlikte, % 58.32, 15-30 cm derinlik de % 66.97 ve tekerlek iz kenarında, 0-15 cm derinlik için % 47.30, 15-30 cm derinlik için de % 60.66'dır. Bu oranlar; birinci geçişten sonra toprağın büyük oranda sıkıştırıldığını ve tekrarlanan geçişler ile sıkışma oranının azalan oranlarda arttığını göstermiştir(Şekil 4.2.6).



Şekil 4.2.5. Toprağın % 9 nem içeriğinde ölçülen penetrasyon direnci değerlerine göre geçiş sayılarının toplam artış içerisindeki oranları



Şekil 4.2.6. Toprağın % 13 nem içeriğinde ölçülen penetrasyon direnci değerlerine göre geçiş sayılarının toplam artış içerisindeki oranları

Bir çok araştırmacı, geçiş sayısındaki artışlarla penetrasyon direncinin de arttığını belirterek, elde ettiğimiz sonuçlara benzer sonuçlar sunmuşlardır (Barone 1990, Gee-Clough ve ark. 1990, Yıldız 1997, Pınar ve Sessiz 1998).

4.3. Tekerlek İz Derinliğine İlişkin Sonuçlar

Kontrollü değişken olarak seçilen parametrelerin tekerlek iz derinliğine etkileri incelenmiştir. Kontrollü değişkenlere bağlı olarak tekrarlanan geçişler sonrasında oluşan tekerlek izleri üzerinde profilmetre ile yapılan ölçümler sonucunda elde edilen maksimum iz derinliği değerleri Çizelge 4.3.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.3.1. Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ölçülen maksimum iz derinliği değerleri (cm)

Deneme Kombinasyonu	% 9 Nem	% 13 Nem	Deneme Kombinasyonu	% 9 Nem	% 13 Nem
G2	6.13	12.43	G2	10.93	14.50
G3	6.40	13.58	G3	11.57	14.53
Y1Ş1V2G1	9.93	12.17	Y2Ş3V1G1	8.37	14.27
G2	10.1	12.60	G2	9.20	14.33
G3	10.3	13.13	G3	9.47	14.63
Y1Ş1V3G1	9.37	13.27	Y2Ş3V2G1	9.83	13.47
G2	10.33	13.13	G2	10.33	13.90
G3	10.86	13.27	G3	10.50	14.07
Y1Ş2V1G1	7.70	13.60	Y2Ş3V3G1	10.23	15.70
G2	8.07	13.70	G2	10.73	15.63
G3	8.13	13.53	G3	10.96	15.80
Y1Ş2V2G1	8.60	12.43	Y3Ş1V1G1	7.00	14.50
G2	8.87	13.33	G2	7.27	14.70
G3	9.43	14.00	G3	7.67	14.93
Y1Ş2V3G1	10.07	13.33	Y3Ş1V2G1	11.03	13.83
G2	10.33	13.90	G2	11.10	14.10
G3	10.70	14.27	G3	11.33	14.43
Y1Ş3V1G1	7.67	13.90	Y3Ş1V3G1	10.97	13.50
G2	8.13	13.93	G2	11.03	13.40
G3	8.23	14.17	G3	11.23	13.23
Y1Ş3V2G1	8.93	12.73	Y3Ş2V1G1	9.33	13.90
G2	9.60	13.20	G2	9.67	14.17
G3	9.83	13.27	G3	10.10	14.37
Y1Ş3V3G1	9.90	14.73	Y3Ş2V2G1	9.53	13.87
G2	10.40	14.73	G2	9.93	14.10
G3	10.57	15.13	G3	10.13	14.77
Y2Ş1V1G1	6.40	14.00	Y3Ş2V3G1	10.60	14.43
G2	6.60	14.33	G2	11.10	13.83
G3	6.77	14.43	G3	10.83	13.53
Y2Ş1V2G1	10.43	13.33	Y31Ş3V1G1	9.20	14.50
G2	10.57	13.46	G2	9.43	14.70
G3	11.03	14.20	G3	9.50	14.80
Y2Ş1V3G1	10.70	13.87	Y3Ş3V2G1	11.53	13.93
G2	10.93	13.73	G2	12.20	14.70
G3	11.03	13.57	G3	12.50	14.37
Y2Ş2V1G1	9.23	13.77	Y3Ş3V3G1	10.90	—
G2	9.53	13.83	G2	10.93	—
G3	9.83	13.60	G3	10.97	—
Y2Ş2V2G1	9.73	13.53			
G2	9.80	13.67			
G3	9.90	14.43			

Y = Tekerlek yükü, Ş = Lastik iç basıncı, V = İlerleme hızı, G = Geçiş sayısı

İz derinliğinin; toprağın % 9 nem içeriğinde, 5.6 - 12.50 cm ve % 13 nem içeriğinde ise 12.17 - 15.8 cm arasında değiştiği saptanmıştır(Çizelge 4.3.1). Her iki nem içeriğinde yapılan ölçümler sonucu; tekerlek iz derinliğine, farklı ilerleme hızı ve lastik iç basınçlarında, tekerlek yükü ve geçiş sayısının etkisini gösteren örnek grafikler Şekil 4.3.1’de verilmiştir. İz profili şeklinin; farklı tekerlek yükü, lastik iç basıncı ve ilerleme hızlarında, geçiş sayısı ile değişimini gösteren örnek grafikler ise Şekil 4.3.2’ de verilmiştir.

Toprağın % 9 nem içeriğinde; en küçük iz derinliğinin, Y1V1Ş1G1 kombinasyonunda (5.6 cm) ve en büyük iz derinliğinin ise, Y3Ş3V2G3 kombinasyonunda (12.50 cm) meydana geldiği belirlenmiştir (Çizelge 4.3.1).

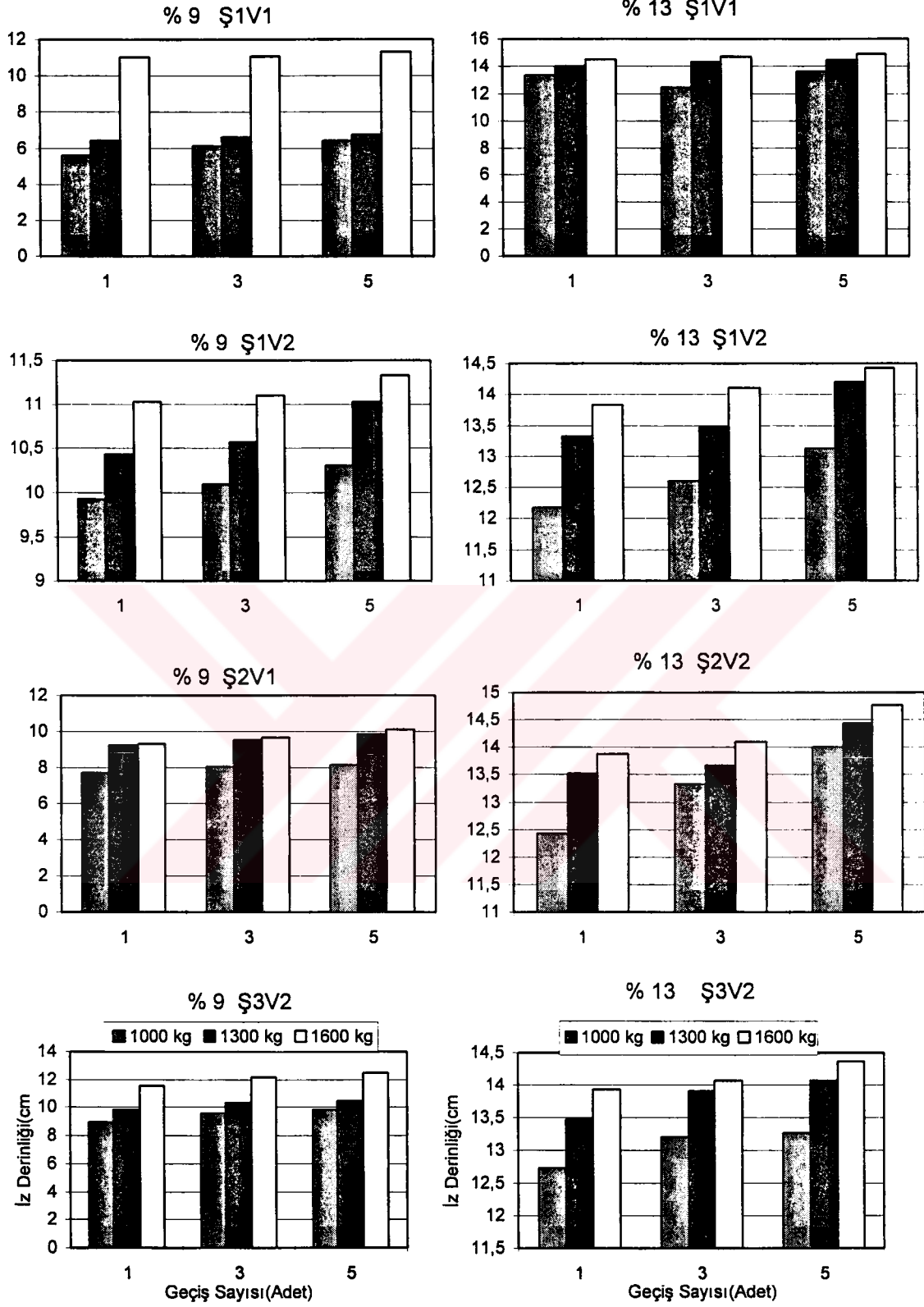
Toprağın % 13 nem içeriğinde ise; en küçük iz derinliği değerinin Y1Ş1V2G1 kombinasyonunda (12.17 cm) ve en büyük iz derinliği değerinin de Y2Ş3V3G3 kombinasyonunda (15.8 cm) meydana geldiği saptanmıştır (Çizelge 4.3.1.).

Kontrollü değişken olarak seçilen parametrelerin, iz derinliğine etkilerini saptayabilmek için tesadüf bloklarında 4 faktörlü faktöryel deneme desenine göre varyans analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3.2’de verilmiştir.

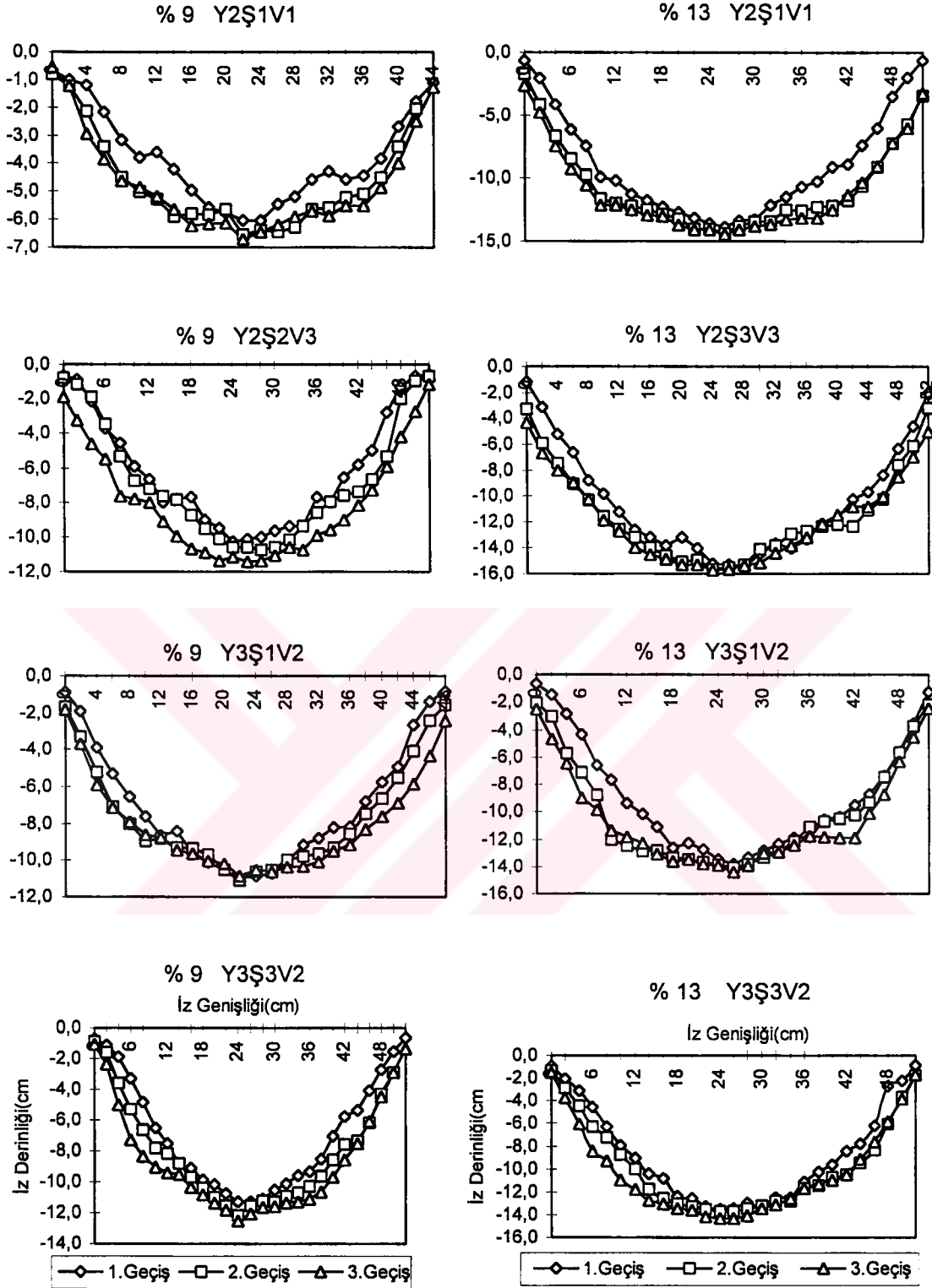
Denemelerin yürütüldüğü her iki nem içeriğinde de; tekerlek yükü, lastik iç basıncı, ilerleme hızı ve geçiş sayısı iz derinliği üzerine istatistiksel olarak önemli bir şekilde etkili olmaktadır (Çizelge 4.3.2).

Çizelge 4.3.2. Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ölçülen iz derinliği değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynakları	S.D.	% 9 nem içeriği	% 13 nem içeriği
Tekerlek yükü(Y)	2	56.30 **	26.93**
Lastik İç Basıncı(Ş)	2	17.70 **	21.92**
İlerleme Hızı(V)	2	270.64 **	19.90**
Geçiş Sayısı(G)	2	14.11 **	6.73**
YxŞ İteraksiyonu	4	2.40	1.26
YxV İteraksiyonu	4	3.31 *	5.64**
ŞxV İteraksiyonu	4	44.62 **	12.05 **
YxG İteraksiyonu	4	0.25	0.81
ŞxG İteraksiyonu	4	0.14	0.11
VxG İteraksiyonu	4	0.02	3.18*
YxŞxV İteraksiyonu	8	2.04 *	
YxŞxG İteraksiyonu	8	0.17	
YxVxG İteraksiyonu	8	0.24	
ŞxVxG İteraksiyonu	8	0.14	
YxŞxVxG İteraksiyonu	16	0.21	
Hata	160		



Şekil 4.3.1. Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde farklı lastik iç basıncı ve ilerleme hızlarında tekerlek yükü ve geçiş sayılarının iz derinliğine etkisi



Şekil 4.3.2. Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde farklı tekerlek yükü, lastik iç basıncı ve ilerleme hızlarında geçiş sayısı ile iz profilindeki değişim

Varyans analizi sonuçlarına göre; önemli olan varyasyon kaynaklarının, iz derinliği değişimine etkileri farklı olmaktadır. Bu farklılığı tespit etmek için varyasyon kaynaklarına LSD testi uygulanmıştır.

İz derinliğinin; toprağın % 9 nem içeriğinde, tekerlek yüküne bağlı olarak arttığı ve en büyük ortalama iz derinliğinin, 1600 kg tekerlek yükünde meydana geldiği belirlenmiştir. En küçük tekerlek yükünde ortalama iz derinliği 9.5 cm ölçülmüş, tekerlek yükünün 1300 kg'a çıkartılmasıyla, iz derinliğinde % 8.5 ve yükün 1600 kg olduğu durumda ise, iz derinliğinde % 13.37 oranında artış olduğu saptanmıştır(Çizelge 4.3.3).

İz derinliğinin; toprağın % 13 nem içeriğinde de, tekerlek yüküne bağlı olarak arttığı ve Y2 ile Y3 yükleri arasında önemli bir farkın olmadığı saptanmıştır. Bu nem içeriğinde; ortalama en küçük iz derinliği, 1000 kg tekerlek yükünde elde edilirken en büyük iz derinliği 1300 kg tekerlek yükünde elde edilmiştir. Tekerlek yükünün en küçük olduğu duruma göre yükte % 30 oranında artış olduğunda iz derinliği % 4.57 oranında ve yükte % 60 oranında artış olduğunda iz derinliği % 4.35 oranında artmıştır (Çizelge 4.3.3.).

Çizelge 4.3.3. Toprağın% 9 ve % 13 nem içeriğinde ki, iz derinliği değerleri ile tekerlek yükleri arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları

Tekerlek yükü	% 9 nem içeriği	% 13 nem içeriği
Y1	9.05 c	13.57 b
Y2	9.82 b	14.19 a
Y3	10.26 a	14.16 a

Tekerlek yükündeki artma ile iz derinliğinin arttığı sonucu, Koger ve ark. 1985, Burt ve ark. 1992 ve Yıldız 1997 tarafından da desteklenmektedir.

Toprağın % 9 nem içeriğinde lastik iç basıncının artışına bağlı olarak iz derinliği değerleri de artmıştır. İz derinliğine, lastik iç basıncının etkisinin $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu bulunmuştur. Ortalama iz derinliği değeri, 0.8 bar lastik iç basıncında 9.34 cm olarak elde edilmiş ve 1 bar ile 1.5 bar lastik iç basınçlarının iz derinliği üzerine etkilerinin benzer olduğu saptanmıştır. İz derinliğinde; Ş1'de ölçülene göre, Ş2'de % 4.71 ve Ş3'de ise % 7.07 oranında artış olmuştur. Lastik iç basıncının; 1 bar'dan 1.5

bar'a yükseltilmesiyle, iz derinliğinde % 2.25 oranında düşük bir artışın olduğu belirlenmiştir. (Çizelge 4.3.4).

Toprağın % 13 nem içeriğinde de; lastik iç basıncının artması, tekerlek iz derinliğinin artmasına neden olmaktadır. Lastik iç basıncına bağlı olarak; en küçük ortalama iz derinliği 0.8 bar, en büyük ortalama iz derinliği ise 1.5 bar lastik iç basıncında elde edilmiştir. Lastik iç basıncı % 87.5 oranında artırıldığında tekerlek iz derinliği % 4.68 oranında artmıştır(Çizelge 4.3.4).

Çizelge 4.3.4. Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ki, iz derinliği değerleri ile lastik iç basınçları arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları

Lastik İç Basıncı	% 9 nem içeriği	% 13 nem İçeriği
Ş1	9.34 b	13.68 a
Ş2	9.78 a	13.94 ab
Ş3	10.0 a	14.32 a

Koger ve ark. 1984, 1985 ve Way ve ark. 1996, yaptıkları çalışmalar sonucunda lastik iç basıncındaki artma ile tekerlek iz derinliğinin arttığını ifade etmişlerdir.

Varyans analizi sonuçlarına göre, ilerleme hızının iz derinliği üzerine etkisi $p < 0.01$ düzeyinde önemlidir. İlerleme hızı üzerine uygulanan LSD testi sonuçları; % 9 nem içeriğinde, ilerleme hızı arttıkça, iz derinliğinin arttığını göstermiştir. Buna göre; en küçük ortalama iz derinliği, 1 m/s ilerleme hızında 8.17 cm olarak elde edilmiş ve ilerleme hızının % 60 oranında artmasıyla, iz derinliğinde % 30.84 oranında artış olduğu bulunmuştur(Çizelge 4.3.5).

Toprağın % 13 nem içeriğinde ise, ilerleme hızına bağlı olarak iz derinliğinin en küçük değeri 1.3 m/s ilerleme hızında elde edilmiştir. İlerleme hızının; % 30 oranında artırılmasıyla iz derinliğinde % 3.67 oranında azalma olmuştur. En küçük ve en büyük ilerleme hızlarında ölçülen ortalama iz derinliği değerleri arasında önemli bir farkın olmadığı saptanmıştır(Çizelge 4.3.5).

Çizelge 4.3.5. Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ki, iz derinliği değerleri ile ilerleme hızları arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları

İlerleme Hızı	% 9 nem içeriği	% 13 nem İçeriği
V1	8.17 c	14.13 a
V2	10.26 b	13.63 b
V3	10.69 a	14.16 a

Geçiş sayısı iz derinliğine etkili olan önemli bir faktördür. Geçiş sayıları üzerine uygulanan LSD testi sonuçlarından, tekrarlanan geçiş sayıları ile iz derinliğinin arttığı saptanmıştır. Toprağın % 9 nem içeriğinde; geçiş sayısına bağlı olarak, ortalama iz derinliğinin en küçük değeri 9.83 cm, en büyük değeri ise 9.99 cm olarak bulunmuştur. İz derinliğinde; birinci geçiş ile üçüncü geçiş arasında iz derinliğinde % 3.94 ve üçüncü geçiş ile beşinci geçiş arasında ise % 2.46 oranında artış olmaktadır. Tekrarlanan geçişlerle, iz derinliğinde ki artış oranı düşmektedir(Çizelge 4.3.6).

Toprağın % 13 nem içeriğinde de geçiş sayısına bağlı olarak tekerlek iz derinliği de artmaktadır. Birinci geçiş sonrasında, ortalama iz derinliği 13.79 cm olurken, tekrarlanan beş geçiş sonrasında iz derinliği 14.18 cm olmuştur. Birinci geçiş ile üçüncü geçiş arasında, iz derinliğinde % 1.02 oranında, üçüncü geçiş ile beşinci geçiş arasında ise % 1.79 oranında artış meydana gelmiştir(Çizelge 4.3.5).

Toprağın % 13 nem içeriğinde ölçülen iz derinliği değerleri % 9 nem içeriğine göre daha yüksektir. Fakat, % 9 nem içeriğinde tekrarlanan geçişlerle iz derinliğinde meydana gelen artış oranı daha yüksektir.

Çizelge 4.3.6. Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ki, iz derinliği değerleri ile geçiş sayıları arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları

Geçiş Sayısı	% 9 nem içeriği	% 13 nem içeriği
G1	9.38 b	13.79
G2	9.75 a	13.93
G3	9.99 a	14.18

Koger ve ark.1985 ve Yıldız 1997; yaptıkları çalışmalarda benzer sonuçlar elde etmişler ve tekrarlanan geçişlerle iz derinliğinin arttığını ifade etmişlerdir.

4.4. Tekerlek Yükünün İki Farklı Toprak Derinliğinde Yarattığı Basınç Değerlerine İlişkin Sonuçlar

Toprak yüzeyi altındaki basınç değerlerinin; farklı tekerlek yükü(Y1 = 1000 kg, Y2 = 1300 kg ve Y3 = 1600 kg),lastik iç basıncı (Ş1 = 0.8 bar, Ş2 = 1 bar ve Ş3 = 1.5 bar), ilerleme hızı (V1 = 1 m/s, V2 = 1.3 m/s ve V3 =1.6 m/s) ve geçiş sayısıyla (G1= 1, G2 = 3 v3 G3 = 5 geçiş) değişimi incelenmiştir. Bu amaçla; tekerlek iz merkezi ve iz

kenar çizgisinde, 15 cm ve 30 cm derinliklere 4 adet yükleme hücresi yerleştirilmiştir(Şekil 3.2.1.1). Tekerlek iz merkezinde ve 15 cm derinlikteki yükleme hücresi, 1. yükleme hücresi(L1); 30 cm derinlikteki yükleme hücresi, 3. Yükleme hücresi (L3); tekerlek iz kenarında 15 cm derinlikteki yükleme hücresi, 2. yükleme hücresi (L2) ve 30 cm derinlikteki yükleme hücresi, 4. yükleme hücresi (L4) olarak adlandırılmıştır.

Yapılan ölçümlerle elde edilen basınç değerleri, Şekil 3.2.1.2'de verilen eşitlik kullanılarak kalibre edilmiştir. Toprağın her iki nem içeriği için kalibre edilmiş basınç değerleri Çizelge 4.4.1'de verilmiştir.

Toprağın % 9 nem içeriğinde, farklı derinliklerde ki basınç değerlerinin, tekerlek iz merkezinde 30.39 kPa ile 925.80 kPa, tekerlek iz kenarında ise 21.57 kPa ile 747.06 kPa arasında değiştiği saptanmıştır. Bu değişim miktarı, % 13 nem içeriğinde, iz merkezinde 67.98 kPa ile 996.08 kPa ve iz kenarında 15.69 kPa ile 883 kPa değerleri arasında olmuştur. Her iki nem içeriğinde de; bazı kombinasyonlarda, birinci yükleme hücresine(L1), yükleme hücresinin kapasitesinin üzerinde yük geldiği anlaşılmıştır. Bu kombinasyonlarda; L1'de ölçülen basınç değerleri dikkate alınmamıştır(Çizelge 4.4.1).

Toprağın % 9 nem içeriğinde; dört ölçüm bölgesinde de, en küçük basınç değerleri Y1Ş1V1G3 kombinasyonunda elde edilmiştir. L1, L2, L3 ve L4'de ölçülen en küçük basınç değerleri sırasıyla; 130.72 kPa, 110.13 kPa, 30.39 kPa ve 21.57 kPa'dır. En büyük basınç değerleri ise; L1'de, Y3Ş3V2G2 (925.80 kPa), L2'de Y1Ş2V1G1 (747.06 kPa), L3'de Y2Ş2V3G2 (585.95 kPa) ve L4'de Y3Ş2V2G3 (328.76 kPa) kombinasyonunda ölçülmüştür (Çizelge 4.4.1.).

Toprağın % 9 nem içeriğinde ölçülen basınç değerlerinin, yükleme hücresinin okuma uzaklığına göre değişimini gösteren grafikler Şekil 4.4.1 ve 4.4.2'de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde, toprak altındaki en büyük basınç değerlerinin sırasıyla; tekerlek iz merkezinde 15 cm derinlikte, tekerlek iz kenarında 15 cm derinlikte, tekerlek iz merkezinde 30 cm ve tekerlek iz kenarında 30 cm derinlikte meydana geldiği görülmektedir. Erbach ve ark. 1991, Block ve ark. 1994 ve Way ve ark. 1996; tekerlek iz kenarına göre iz merkezine yerleştirdikleri ölçücülerde okunan basınç değerlerinin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Çizelge 4.4.1. Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ölçülen basınç değerleri (kPa)

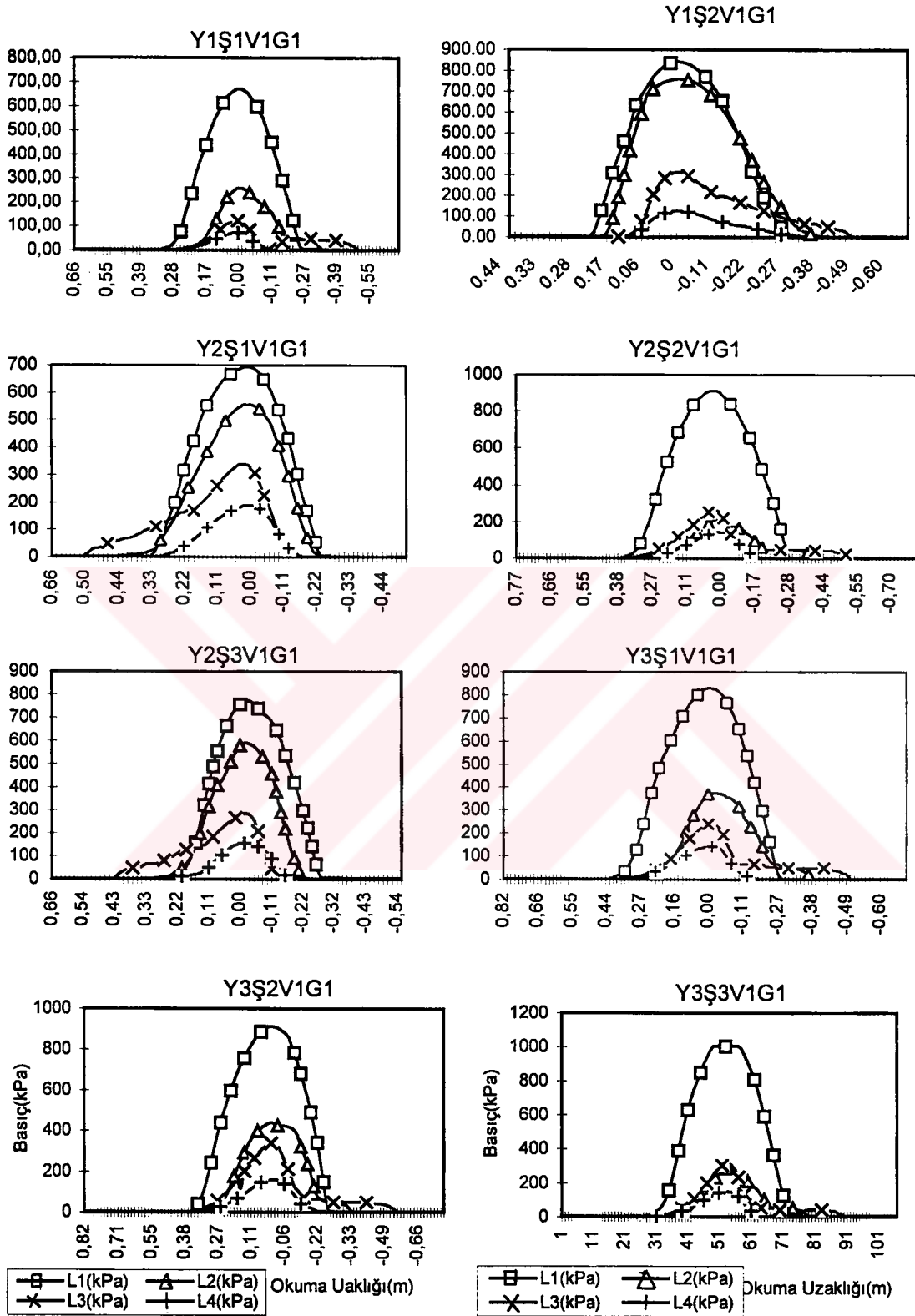
Deneme Kombinasyonu	% 9 Nem				% 13 Nem			
	Tekerlek İz		Merkezi		Tekerlek İz		Kenarı	
	15 cm	30 cm	15 cm	30 cm	15 cm	30 cm	15 cm	30 cm
Y1Ş1V1G1	668.30	120.59	256.53	70.92	852.61	265.69	282.35	63.40
G2	465.69	83.33	319.61	63.07	457.84	350.00	427.78	114.06
G3	130.72	30.39	110.31	21.57	517.00	373.86	118.63	147.71
Y1Ş1V2G1	851.63	195.43	269.93	94.45	828.43	233.66	322.22	64.38
G2	568.30	263.40	484.62	162.09	517.65	273.20	528.10	116.67
G3	481.04	293.79	439.87	195.10	373.53	274.84	536.28	127.45
Y1Ş1V3G1	840.20	250.65	449.35	80.72	583.33	122.55	465.36	21.24
G2	587.58	303.27	280.72	144.44	343.79	232.02	420.59	51.31
G3	385.30	426.14	426.14	159.81	266.17	273.20	370.26	83.33
Y1Ş2V1G1	389.87	308.50	747.06	124.18	866.02	230.72	658.79	33.33
G2	528.10	576.14	576.14	110.79	587.25	337.25	590.85	90.85
G3	328.10	576.47	576.47	142.48	390.53	354.90	334.31	112.43
Y1Ş2V2G1	838.56	383.66	350.52	81.04	-----	255.88	424.51	57.19
G2	583.00	194.77	194.77	101.96	497.71	349.67	620.59	118.30
G3	475.16	183.98	183.98	116.67	636.27	362.09	567.98	133.98
Y1Ş2V3G1	-----	145.75	145.75	93.47	861.44	214.71	685.90	28.10
G2	813.73	537.58	537.58	192.48	608.82	278.76	577.44	49.67
G3	600.00	460.13	460.13	190.20	446.73	309.15	427.88	81.37
Y1Ş3V1G1	811.11	285.29	285.29	74.84	-----	277.12	502.94	47.71
G2	578.43	219.28	206.86	124.51	777.45	417.32	563.73	106.21
G3	476.47	259.80	206.54	151.31	663.71	408.17	370.59	126.80
Y1Ş3V2G1	-----	143.47	388.24	74.84	-----	254.25	679.41	86.27
G2	871.57	329.74	565.36	223.86	987.91	311.11	568.96	167.32
G3	746.08	380.39	615.03	255.23	824.18	336.60	685.30	226.80
Y1Ş3V3G1	-----	236.93	128.76	100.98	-----	231.70	847.06	37.25
G2	847.39	467.97	255.88	220.59	593.47	360.79	564.38	62.09
G3	617.97	488.56	320.91	203.59	588.89	280.07	634.64	97.71
Y2Ş1V1G1	691.18	335.62	554.57	187.58	944.12	376.14	341.83	84.96
G2	541.18	331.70	362.42	195.43	383.00	427.45	397.06	165.04
G3	516.02	335.29	274.84	210.13	389.87	432.02	121.90	191.51
Y2Ş1V2G1	892.49	171.24	456.53	59.47	939.54	255.23	323.53	52.29
G2	758.82	352.62	503.92	212.09	579.08	353.92	518.96	139.22
G3	686.93	364.70	389.54	249.02	397.71	335.95	488.89	141.51
Y2Ş1V3G1	862.42	459.15	359.48	112.42	641.51	134.31	599.67	15.69
G2	544.45	432.68	575.49	161.11	295.43	229.74	492.49	49.35
G3	400.00	433.34	544.12	177.78	202.94	265.36	474.84	79.74
Y2Ş2V1G1	911.11	256.86	209.80	141.83	796.08	188.24	640.53	28.43
G2	708.49	231.37	569.93	167.32	486.60	331.37	563.08	79.08
G3	669.94	243.14	549.54	192.49	320.26	342.18	254.90	100.00
Y2Ş2V2G1	-----	323.20	218.96	107.51	-----	276.14	555.88	52.29
G2	689.54	327.12	632.68	185.95	769.28	339.87	640.85	136.60
G3	607.19	350.33	640.85	223.53	688.30	346.73	537.58	176.14
Y2Ş2V3G1	-----	539.87	374.84	190.53	932.33	200.98	570.59	169.28
G2	591.50	585.95	521.24	315.69	685.95	67.98	526.47	294.45
G3	437.58	529.09	245.10	315.36	538.89	309.48	456.21	109.15
Y2Ş3V1G1	768.63	281.04	585.95	153.92	-----	449.35	620.92	88.24
G2	652.61	262.42	471.57	140.20	702.94	515.36	580.06	130.38
G3	652.61	245.75	269.94	99.35	475.49	479.74	170.26	269.61
Y2Ş3V2G1	-----	467.32	679.74	138.89	-----	255.23	573.53	65.69
G2	739.87	508.50	712.42	205.88	-----	558.82	755.23	170.92
G3	630.39	541.83	593.14	238.24	854.58	518.95	653.92	196.41

Çizelge 4.4.1.(Devam) Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ölçülen basınç değerleri
(kPa)

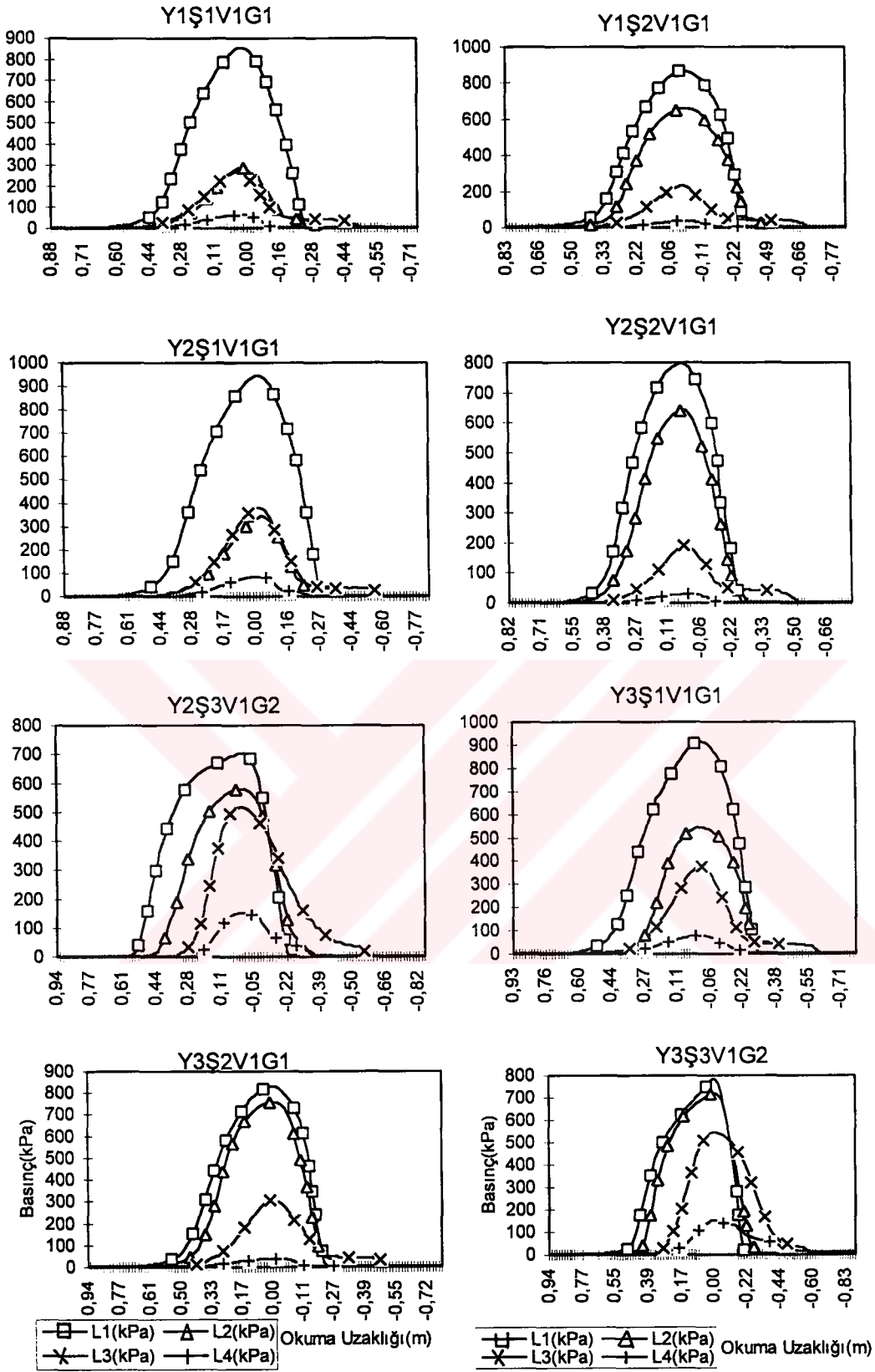
Deneme Kombinasyonu	% 9 Nem				% 13 Nem			
	Tekerlek İz		Kenarı		Tekerlekiz		Kenarı	
	15 cm	30 cm	15 cm	30 cm	15 cm	30 cm	15 cm	30 cm
Y2Ş3V3G1	-----	312.09	215.03	94.45	-----	159.15	850.65	19.61
G2	-----	479.41	243.79	170.26	692.81	290.20	883.00	48.37
G3	846.41	338.89	680.06	183.98	424.84	339.54	527.88	99.35
Y3Ş1V1G1	828.76	238.24	372.55	142.81	914.05	371.57	543.47	78.10
G2	524.51	312.42	355.55	157.19	517.65	424.18	468.30	135.94
G3	451.96	256.21	179.41	148.37	419.94	427.12	515.04	152.94
Y3Ş1V2G1	-----	319.28	612.12	84.97	996.08	298.69	302.61	64.38
G2	617.98	530.39	462.09	245.75	533.00	433.33	421.57	139.55
G3	477.75	500.32	359.80	262.75	398.04	402.61	294.12	160.13
Y3Ş1V3G1	917.32	419.28	281.04	109.47	895.43	242.16	485.95	49.02
G2	509.15	514.71	431.05	186.93	470.92	283.00	454.90	71.24
G3	471.57	500.98	391.83	221.90	417.32	291.83	400.00	88.24
Y3Ş2V1G1	911.11	337.26	436.60	160.78	830.72	307.19	755.23	37.58
G2	749.67	313.73	706.54	251.63	530.39	421.57	551.96	94.77
G3	547.39	354.57	308.49	232.02	249.67	434.31	329.08	123.20
Y3Ş2V2G1	-----	467.97	494.12	199.35	-----	248.04	461.76	42.81
G2	585.62	419.94	370.59	227.12	795.75	453.59	603.60	140.20
G3	519.28	516.34	446.73	328.76	621.90	430.72	409.80	157.19
Y3Ş2V3G1	-----	574.18	160.13	103.27	962.09	199.02	827.45	23.86
G2	707.19	545.75	361.76	200.33	551.31	286.28	647.06	62.42
G3	523.53	479.74	570.59	233.33	365.04	319.94	513.73	110.13
Y3Ş3V1G1	-----	308.82	279.08	147.71	-----	371.51	879.74	96.08
G2	722.23	314.71	583.33	232.02	780.39	543.79	717.65	151.31
G3	607.84	373.86	511.11	286.27	588.57	424.84	416.67	150.98
Y3Ş3V2G1	-----	372.55	451.31	125.82	-----	333.33	366.01	71.57
G2	925.80	441.83	691.18	222.22	-----	414.05	708.82	178.10
G3	734.31	426.14	664.05	250.98	758.17	400.98	698.38	184.31
Y3Ş3V3G1	-----	540.53	482.68	181.70	-----	283.66	650.33	25.49
G2	758.49	567.97	643.14	232.68	-----	373.20	572.88	56.86
G3	547.06	535.95	624.51	275.49	-----	361.11	541.83	101.31

Y : Tekerlek Yüktü, Ş : Lastik İç Basıncı, V : İlerleme Hızı, G: Geçiş Sayısı

Tekerlek, yükleme hücrelerine belirli bir uzaklıkta iken yükleme hücrelerinde basınç değeri okunmaya başlanmakta, tekerlek yükleme hücrelerine yaklaştıkça ölçülen basınç değeri artmakta ve tekerlek yükleme hücrelerinin tam üzerine geldiğinde en yüksek basınç değeri okunmaktadır. Tekerlek yükleme hücrelerinden uzaklaştıkça ölçülen basınç değeri düşmekte ve belirli bir uzaklıktan sonra ölçülen basınç değeri sıfır olmaktadır. Şekil 4.4.1 ... 4.4.2'de görüldüğü gibi; pozitif okuma uzaklığı değerleri, tekerleğin yükleme hücrelerine gelmeden önceki uzaklığını, negatif yükleme hücreleri değerleri ise tekerleğin yükleme hücrelerini geçtikten sonraki okuma uzaklıklarını ifade etmektedir.



Şekil 4.4.1. Toprağın % 9 nem içeriğinde basınç değerlerinin okuma uzaklığına göre değişimi



Şekil 4.4.2. Toprağın % 13 nem içeriğinde basınç değerlerinin okuma uzaklığına göre değişimi

Toprağın % 13 nem içeriğinde, tekerlek iz merkezinde 15 cm derinlikte, en küçük basınç değeri Y2Ş1V3G3 kombinasyonunda (202.84 kPa); tekerlek iz kenarında 15 cm derinlikte, Y1Ş1V1G3 kombinasyonunda (118.63 kPa); tekerlek iz merkezinde 30 cm derinlikte, Y2Ş2V3G2 kombinasyonunda (67.98 kPa) ve tekerlek iz kenarında 30 cm derinlikte de, Y2Ş1V3G1 kombinasyonunda (15.69 kPa) ölçülmüştür. En büyük basınç değerleri ise, L1, L2, L3 ve L4'de sırasıyla; Y3Ş1V2G1 (996.08 kPa), Y2Ş3V3G2 (883 kPa), Y2Ş3V2G2 (538.95 kPa) ve Y2Ş2V3G2 (294.45 kPa) kombinasyonlarında ölçülmüştür(Çizelge 4.4.1). Toprak altındaki en yüksek basınç değerleri; % 9 nem içeriğinde olduğu gibi sırasıyla; tekerlek iz merkezinde 15 cm derinlikte, tekerlek iz kenarında 15 cm derinlikte, tekerlek iz merkezinde 30 cm ve iz kenarında 30 cm derinlikte ölçülmüştür. Aynı derinlikte yapılan ölçümlerde tekerlek iz merkezinde daha yüksek basınç oluşmaktadır.

Toprağın % 9 nem içeriğinde, tekerlek izi merkezinde, 15 cm ve 30 cm derinliklerde ölçülen; en yüksek basınç değerleri arasında, % 58, tekerlek iz kenarında ise % 127.24 oranında değişim olmaktadır. Bu oranlar; % 13 nem içeriğinde sırasıyla % 78.24 ve % 200'dür. Tekerlek izi merkez çizgisinde, 15 cm derinlikte ölçülen basınç değerleri; % 13 nem içeriğinde, % 9 nem içeriğine göre % 7.59, tekerlek iz kenarında 15 cm derinlikte % 18.20 oranında daha yüksek olduğu bulunmuştur. Tekerlek izi merkezinde ve iz kenarında, 30 cm derinlikte ise, % 13 nem içeriğine göre, % 9 nem içeriğinde ölçülen basınç değerleri sırasıyla; % 4.85 ve % 11.65 oranında daha yüksektir. Toprağın % 9 nem içeriğinde, 15 cm derinlikte, tekerlek iz merkezinde ölçülen, en yüksek basınç değeri, iz kenarına göre % 23.93 ve 30 cm derinlikte ise % 78.23 oranında daha yüksektir. Toprağın % 13 nem içeriğinde bu oranlar sırasıyla % 12.8 ve %89.78'dir.

Kontrollü değişken olarak seçilen parametrelerin, basınça etkilerini istatistiksel olarak saptayabilmek için tesadüf bloklarında 4 faktörlü faktöryel deneme desenine göre varyans analizi yapılmıştır(Çizelge 4.4.2 ve Çizelge 4.4.3).

Toprağın % 9 nem içeriğinde, bütün ölçüm noktalarında; tekerlek yükü, lastik iç basıncı, ilerleme hızı ve geçiş sayısının ölçülen basınç değerleri üzerine $p < 0.01$ düzeyinde önemli bir etkisinin olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.4.2.). Toprağın % 13 nem içeriğinde de, L2, L3 ve L4'de ölçülen basınç değerlerine; tekerlek yükü, lastik iç basıncı, ilerleme hızı ve

geçiş sayısının $p < 0.01$ düzeyinde, L1'de ise lastik iç basıncı, ilerleme hızı ve geçiş sayısının $p < 0.01$ düzeyinde etkili olduğu belirlenmiştir. Yalnız; L1'de tekerlek yükünün önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür (Çizelge 4.4.3).

Çizelge 4.4.2. Toprağın % 9 nem içeriğinde ölçülen basınç değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynakları	S.D.	tekerlek izi		Tekerlek izinin kenarı	
		15 cm	30 cm	15 cm	30 cm
Tekerlek yükü (Y)	2	7.084 **	402.61 **	443.88**	1639.22 **
Lastik İç Basıncı (Ş)	2	76.253 **	283.29 **	176.27 **	345.20 **
İlerleme Hızı(V)	2	35.95 **	729.21 **	295.77 **	321.04 **
Geçiş Sayısı(G)	2	229.28 **	92.58 **	288.48 **	2684.16 **
YxŞ İnteraksiyonu	4	6.58 **	118.70 **	173.46 **	212.78 **
YxV İnteraksiyonu	4	23.56 **	138.99 **	32.81 **	106.76 **
ŞxV İnteraksiyonu	4	18.96 **	110.03 **	484.73 **	84.75 **
YxG İnteraksiyonu	4	13.06 **	4.91 **	19.03 **	45.19 **
ŞxG İnteraksiyonu	4	1.69	31.07 **	120.44 **	11.22 **
VxG İnteraksiyonu	4	4.29 **	70.14 **	229.42 **	292.59 **
YxŞxV İnteraksiyonu	8		234.78 **	166.89 **	269.65 **
YxŞxG İnteraksiyonu	8		15.90 **	80.15 **	55.29 **
YxVxD İnteraksiyonu	8		53.56 **	45.01 **	20.38 **
ŞxVxG İnteraksiyonu	8		31.42 **	31.53 **	61.29 **
YxŞxVxG İnteraksiyonu	16		16.53 **	167.16 **	30.29 **
Hata	160				

Çizelge 4.4.3. Toprağın % 13 nem içeriğinde ölçülen basınç değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynakları	S.D.	tekerlek izi		Tekerlek izinin kenarı	
		15 cm	30 cm	15 cm	30 cm
Tekerlek yükü (Y)	2	2.25	76.28 **	7.40 **	235.18 **
Lastik İç Basıncı (Ş)	2	127.46 **	85.75 **	454.12 **	110.34 **
İlerleme Hızı(V)	2	71.13 **	273.60 **	116.73 **	974.86 **
Geçiş Sayısı(G)	2	348.44 **	227.47 **	216.29 **	2515.21 **
YxŞ İnteraksiyonu	4		20.02 **	4.19 **	68.57 **
YxV İnteraksiyonu	4		17.41 **	73.18 **	57.27 **
ŞxV İnteraksiyonu	4		11.77 **	7.27 **	400.27 **
YxG İnteraksiyonu	4		2.91 **	9.21 **	14.26 **
ŞxG İnteraksiyonu	4		8.05 **	20.59 **	53.01 **
VxG İnteraksiyonu	4		5.80 **	155.15 **	107.59 **
YxŞxV İnteraksiyonu	8		4.84 **	24.86 **	181.86 **
YxŞxG İnteraksiyonu	8		4.47 **	12.41 **	48.32 **
YxVxD İnteraksiyonu	8		5.38 **	9.52 **	45.85 **
ŞxVxG İnteraksiyonu	8		3.85 **	5.60 **	23.42 **
YxŞxVxG İnteraksiyonu	16		4.65 **	9.70 **	35.48 **
Hata	160				

Tekerlek yükü, lastik iç basıncı, ilerleme hızı ve geçiş sayısının basınç değerleri üzerine etkileri farklı olmaktadır. Bu farklılığı belirlemek için bu parametreler üzerine LSD testi uygulanmıştır.

Toprağın % 9 nem içeriğinde, tekerlek iz merkezinde, 15 cm derinlikte (L1) ölçülen basınç değerleri üzerine etkili olan tekerlek yükleri arasında önemli bir fark bulunamamıştır. L1'de; en küçük ortalama basınç değeri 1000 kg tekerlek yükünde, en büyük ortalama basınç değeri ise 1300 kg tekerlek yükünde elde edilmiştir. Tekerlek yükünün, 1000 kg'dan 1300 kg'a yükseltilmesiyle basınç değerleri % 8.11 oranında artmıştır. Tekerlek yükünün, 1000 kg'dan 1600 kg'a yükseltilmesiyle de artış oranı % 4.37 olmuştur. Tekerlek iz kenarında, 15 cm derinlikte (L2) ölçülen basınç değerleri üzerine Y3 ile Y2'nin benzer şekilde etkili olduğu ve en yüksek ortalama basınç değerinin Y2'de meydana geldiği saptanmıştır. L2'de; tekerlek yükünün 1000 kg'dan 1300 kg'a yükseltilmesiyle ortalama basınç değerleri % 27.12 ve tekerlek yükünün 1600 kg'a yükseltilmesiyle de % 25.04 oranında artmıştır. Tekerlek iz merkezinde ve iz kenarında, 30 cm derinlikte (L3 ve L4) ölçülen basınca, her üç tekerlek yükü de farklı şekillerde etki etmekte ve tekerlek yükü arttıkça basınç değerleri de artmaktadır. Tekerlek iz merkezinde, 30 cm derinlikte, yükün 1000 kg'dan 1300 kg'a yükseltilmesiyle ortalama basınç değerleri % 16.97 ve yükün 1600 kg'a yükseltilmesiyle de % 33.78 oranında artmıştır. İz kenarında 30 cm derinlikte ise sırasıyla, % 35.11 ve % 52.49 oranında artmıştır. Bu oranlar; % 9 nem içeriğinde, her iki ölçüm bölgesi içinde 15 cm derinlikte ölçülen basınç değerlerinin 30 cm derinlikte ölçülen basınca göre daha yüksek olduğunu ve 15 cm derinlikte yükün artırılmasıyla daha düşük oranlarda değişim olduğunu göstermektedir(Çizelge 4.4.4).

Toprağın % 9 nem içeriğinde olduğu gibi % 13 nem içeriğinde de; tekerlek iz merkezinde, 15 cm derinlikte ölçülen basınç değerlerine etkili olan tekerlek yükleri arasında önemli bir fark bulunamamıştır. Bu ölçüm noktasında, en küçük ortalama basınç değeri Y1'de ve en büyük ortalama basınç değeri de Y3'de meydana gelmiş ve Y1 ile Y3'de ölçülen ortalama basınç değerleri arasındaki farkın % 2.30 olduğu saptanmıştır. Tekerlek iz kenarında, 15 cm derinlikte, en büyük ortalama basınç değeri 1600 kg tekerlek yükünde elde edilmiş ve yükün, 1000 kg'dan 1300 kg ve 1600 kg'a yükseltilmesiyle ortalama basınç değerleri sırasıyla % 2.49 ve % 5.18 oranında artmıştır.

Tekerlek iz merkezinde, 30 cm derinlikte, yükün artırılmasıyla ortalama basınç değerleri de artmış ve 1600 kg tekerlek yükünde ortalama basınç değeri en yüksek olmuştur. Bu noktada; Y1 ile Y3'de ölçülen ortalama basınç değerleri arasında % 22.74 oranında bir farkın olduğu belirlenmiştir. Tekerlek iz kenarında, 30 cm derinlikte ise, en büyük basınç değeri 1300 kg tekerlek yükünde elde edilmiş ve yükün 1000 kg'dan 1300 kg'a yükseltilmesiyle ortalama basınç değeri % 28.55 oranında artmıştır(Çizelge 4.4.4).

Çizelge 4.4.4. Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ki, basınç değerleri ile tekerlek yükleri arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları

Nem	Tekerlek Yüğü	Tekerlek iz merkezi		Tekerlek iz kenarı	
		15 cm	30 cm	15 cm	30 cm
% 9	Y1	622.26	317.92 c	362.30 b	132.41 c
	Y2	672.70	371.87 b	460.57 a	178.90 b
	Y3	649.43	425.32 a	453.01 a	201.91 a
% 13	Y1	586.30	295.16 c	511.91 b	90.85 c
	Y2	596.43	325.19 b	524.66 ab	116.79 a
	Y3	599.83	362.29 a	538.44 a	101.77 b

Bir çok araştırmacı; dinamik yükün artırılmasıyla gerilmelerin arttığını belirtmişlerdir (Burt ve ark. 1989, Bailey ve ark. 1992, Block ve ark. 1994, Raper ve ark. 1995).

Lastik iç basınçlarının basınç değerleri üzerindeki etkilerini saptamak üzere yapılan LSD testi sonuçları Çizelge 4.4.5'de verilmiştir.

Toprağın % 9 nem içeriğinde, tekerlek iz merkezinde ve iz kenarında, 15 cm derinlikte yapılan ölçümlerde, lastik iç basıncının artmasıyla ortalama basınç değerlerinin arttığı ve en büyük basıncın 1.5 bar lastik iç basıncında elde edildiği saptanmıştır. Tekerlek iz merkezinde 15 cm derinlikte, lastik iç basıncının 0.8 bar'dan 1 bar'a yükseltilmesiyle ortalama basınç değeri % 7.43 ve 1.5 bar'a yükseltilmesiyle % 18.86 oranında artmakta iken, tekerlek iz kenarında bu oranların sırasıyla % 10.35 ve % 17.63 olduğu tespit edilmiştir. Tekerlek iz merkezi ve iz kenarında, 30 cm derinlikte, lastik iç basınçları benzer şekilde etkili olmaktadır. Bu ölçüm noktalarında, en büyük ortalama basınç değeri Ş3'de meydana gelmektedir. İz merkezinde 30 cm derinlikte, lastik iç basıncı 0.8 bar'dan 1 bar'a yükseltildiğinde ortalama basınç değerinin % 27.65, 1.5 bar'a yükseltildiğinde ise % 15.45 ve tekerlek iz kenarında ise sırasıyla % 19.75 ve % 16.82 oranında arttığı belirlenmiştir (Çizelge 4.4.5).

Toprağın %13 nem içeriğinde, her iki ölçüm bölgesinde, 15 cm derinlikte lastik iç basıncının yükseltilmesiyle ortalama basınç değerleri de yükselmiştir. Tekerlek iz merkezinde 15 cm derinlikte, lastik iç basıncının 0.8 bar'dan 1.5 bar'a yükseltilmesiyle ortalama basınç değeri % 24.25, tekerlek iz kenarında ise % 49.59 oranında artmıştır. Tekerlek iz merkezinde ve iz kenarında, 30 cm derinlikte, 0.8 bar ile 1 bar lastik iç basınçlarında önemli bir farkın olmadığı ve en büyük ortalama basınç değerinin 1.5 bar lastik iç basıncında elde edildiği saptanmıştır. Ortalama basınç değeri; lastik iç basıncı 0.8 bar'dan 1.5 bar'a çıkartıldığında, iz merkezinde, 30 cm derinlikte, % 18.68 ve iz kenarında %15.64 oranında artmıştır (Çizelge 4.4.5).

Çizelge 4.4.5. Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ki, basınç değerleri ile lastik iç basınçları arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları

Nem	Lastik iç Basıncı	Tekerlek iz merkezi		Tekerlek iz kenarı	
		15 cm	30 cm	15 cm	30 cm
% 9	Ş1	599.34 b	325.01 c	389.01 c	152.49 c
	Ş2	643.90 ab	414.89 a	429.29 b	182.60 a
	Ş3	712.38 a	375.22 b	457.59 a	178.14 b
% 13	Ş1	558.39 b	310.51 b	411.73 c	98.09 b
	Ş2	633.31 ab	303.61 b	547.36 b	97.88 b
	Ş3	693.81 a	368.52 a	615.92 a	113.43 a

Raper ve ark. 1995 ve Way ve ark. 1996; elde ettiğimiz sonuçlara benzer şekilde, lastik iç basıncının artmasıyla toprak gerilmelerinin de arttığını belirtmişlerdir.

İlerleme hızının basınç değerleri üzerindeki etkilerini saptamak için yapılan LSD testi sonuçları Çizelge 4.4.6'de verilmiştir.

Toprağın % 9 nem içeriğinde yapılan ölçümlerde, tekerlek iz merkezinde 15 cm derinlikte ilerleme hızları arasında önemli bir farklılık bulunamamıştır. İz kenarında 15 cm derinlikte, en büyük ortalama basınç değeri 1.3 m/s ilerleme hızında meydana gelirken, en küçük ortalama basınç değerinin 1.6 m/s ilerleme hızında meydana geldiği saptanmıştır. İz kenarında 15 cm derinlikte en küçük ve en büyük ortalama basınç değerleri arasındaki fark % 20.17 olarak hesaplanmıştır. Tekerlek iz merkezi ve iz kenarında, 30 cm derinlikte, en küçük ortalama basınç değerleri 1 m/s ilerleme hızında elde edilmiştir. İz merkezinde 30 cm derinlikte, ilerleme hızının 1 m/s'den 1.6 m/s'ye çıkartılmasıyla ortalama basınç değeri % 47.16 ve iz kenarında % 17.48 oranında artmıştır (Çizelge 4.4.6).

Toprağın %13 nem içeriğinde; tekerlek iz merkezinde 15 cm derinlikte, en küçük basınç değeri 1.6 m/s ilerleme hızında elde edilmiş ve ilerleme hızının 1m/s'den 1.3 m/s'ye yükseltilmesiyle ortalama basınç değeri % 15.25 oranında artmıştır. İlerleme hızının 1.3 m/s'den 1.6 m/s'ye yükseltilmesiyle de ortalama basınç değerinde % 23.34 oranında bir düşüş olduğu gözlenmiştir. İz kenarında 15 cm derinlikte, ilerleme hızının 1 m/s'den 1.6 m/s'ye yükseltilmesiyle de ortalama basınç değeri % 22.31 oranında artmıştır. Tekerlek iz merkezinde 30 cm derinlikte en büyük basınç değeri 1 m/s ilerleme hızında elde edilmiştir. İz kenarında 30 cm derinlikte ise en büyük basınç değerinin 1.3 m/s ilerleme hızında meydana geldiği saptanmıştır. İz kenarında 30 cm derinlikte, en küçük ortalama basınç değeri ile en büyük ortalama basınç değeri arasında % 48.19 oranında, iz kenarında ise % 69.61 oranında bir fark olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.4.6).

Çizelge 4.4.6. Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ki, basınç değerleri ile ilerleme hızları arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları

Nem	İlerleme Hızı	Tekerlek iz merkezi		Tekerlek iz kenarı	
		15 cm	30 cm	15 cm	30 cm
% 9	V1	626.23	304.86 c	402.44 b	152.99 b
	V2	680.05	361.86 b	476.74 a	180.50 a
	V3	640.44	448.63 a	396.71 b	179.74 a
% 13	V1	601.76 ab	380.88 a	471.01 c	111.14 b
	V2	693.53 a	344.72 b	527.72 b	124.73 a
	V3	562.27 b	257.03 c	576.08 a	73.54 c

Varyans analizi sonuçlarına göre toprağın her iki nem içeriğinde de basınç değerleri üzerine $p < 0.01$ düzeyinde etkili olduğu belirlenen geçiş sayılarının ayrı ayrı etkilerini tespit etmek için yapılan LSD testi sonuçları Çizelge 4.4.7'de verilmiştir.

Toprağın % 9 nem içeriğinde, tekerlek iz merkezinde 15 cm derinlikte; tekrarlanan geçişlerle toprak altında ölçülen basınç değerleri düşmüş ve en küçük ortalama basınç değerinin beşinci geçiş sonrasında meydana geldiği belirlenmiştir. İz merkezinde 15 cm derinlikte tekrarlanan beş geçiş sonrasında ortalama basınç değeri % 55.06 oranında azalmıştır. İz kenarında 15 cm derinlikte; en büyük basınç değeri, üçüncü geçiş sonrasında elde edilmiş ve en küçük basınç değeri ile en büyük basınç değeri arasında % 23.18 oranında bir değişim meydana gelmiştir. İz merkezinde 30 cm derinlikte; en küçük basınç, değeri birinci geçiş sonrasında ölçülmüş ve üçüncü geçişle

beşinci geçiş arasında önemli bir farkın olmadığı saptanmıştır. İz kenarında 30 cm derinlikte ise en küçük basınç değeri birinci geçiş, en büyük basınç değeri de beşinci geçiş sonrasında ölçülmüştür. İz merkezinde ve iz kenarında 30 cm derinlikte, birinci ve beşinci geçişler sonucunda meydana gelen ortalama basınç değerleri arasında sırasıyla % 12.92 ve % 73.05 oranında değişim olmuştur (Çizelge 4.4.7).

Toprağın % 13 nem içeriğinde de % 9 nem içeriğinde elde edilen sonuçlara benzer sonuçlar elde edilmiştir. Yalnız; tekerlek iz kenarında 15 cm derinlikte % 9 nem içeriğine göre geçiş sayılarının etkisinin farklı olduğu belirlenmiştir. Tekerlek iz kenarında 15 cm derinlikte en küçük ortalama basınç değeri beşinci geçiş sonrasında meydana gelmiştir. Tekerlek iz merkezinde ve iz kenarında 15 cm, iz merkezinde ve iz kenarında 30 cm derinliklerde ölçülen, en küçük ve en büyük ortalama basınç değerleri arasında sırasıyla %73.94, %28.69, %39.80 ve %147.94 oranında değişim olduğu saptanmıştır(Çizelge 4.4.7).

Çizelge 4.4.7. Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde ki, basınç değerleri ile geçiş sayıları arasındaki ilişkiye ait LSD testi sonuçları

Nem	Geçiş Sayısı	Tekerlek iz merkezi		Tekerlek iz kenarı	
		15 cm	30 cm	15 cm	30 cm
% 9	G1	830.91 a	341.98 b	379.47 c	119.12 c
	G2	660.87 b	386.99 a	467.42 a	187.17 b
	G3	535.86 c	386.15 a	428.99 b	206.14 a
% 13	G1	856.25 a	260.60 b	563.63 a	55.71 c
	G2	597.77 b	357.70 a	569.12 a	115.57 b
	G3	492.27 c	364.33 a	442.25 b	138.13 a

LSD testi sonuçlarına göre; derinliğe bağlı olarak toprak altındaki basınç değerlerine, tekrarlanan geçişlerin etkisinin farklı olduğu belirlenmiştir. Genel olarak, her iki nem içeriğinde de tekerlek iz merkezinde ve iz kenarında 15 cm derinliklerde tekrarlanan geçişlerle ortalama basınç değerlerinin azaldığı, 30 cm derinlikte ise arttığı belirlenmiştir. Pollock ve ark 1986, yaptıkları çalışmada ilk tekerlek yüklemesi süresince volümetrik zorlanmanın büyük bir kısmının ilk geçişten sonra meydana geldiğini, ilave yüklemelerin toprağın sertleşmesinden dolayı zorlanmada küçük artışlar meydana getirdiğini belirtmişlerdir.

4.5. Kontrollü Değişkenlerle Bağımlı Değişkenler Arasındaki İlişki

Toprağın nem içeriği, tekerlek yükü, lastik iç basıncı, ilerleme hızı ve geçiş sayısı ile toprağın hacim ağırlığı, penetrasyon direnci, iz derinliği ve yüzey altındaki basınç değerleri arasındaki ilişkiyi ortaya koyabilmek için yapılan regresyon analizleri sonucunda elde edilen tahmin eşitlikleri Çizelge 4.5.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.5.1. Regresyon analizleri

Bağımlı Değişkenler	Derinlik (cm)	Regresyon Denklemi	R ²
Hacim	0-15	HA=1.171-0.027N+0.013Y+0.007Ş+0.024V+0.037G	0.57
Ağırlığı	15-30	HA=1.266-0.031N+0.015Y+0.004Ş+0.017V+0.024G	0.53
Penetrasyon	0-15 ^x	PD=766.59+144.40N+128.83Y+59.07Ş-16.58V+476.38G	0.77
	15-30 ^x	PD=1668.39+15.18N+108.84Y+53.25Ş+13.79V+321.42G	0.64
Direnci	0-15 ^{xx}	PD=245.10+85.56N+142.15Y+93Ş-10.01V+432.60G	0.75
	15-30 ^{xx}	PD=1509.90-221.63N+127.95Y+62.91Ş-17.18V+310.19G	0.68
İz derinliği		ID=1.875+4.35N+0.51Y+0.28Ş+0.68V+0.25G	0.87
Yüzey	0-15 ^x	BAS=774.26-12.25N+25.23Y+82.58Ş+13.33V-166.94G	0.52
	15-30 ^x	BAS=158.44-36.19N+47.69Y+23.03Ş+8.99V+41.03G	0.26
Altındaki Basınç	0-15 ^{xx}	BAS=107.20+107.09N+30.65Y+65.36Ş+24.97V-19.73G	0.24
	15-30 ^{xx}	BAS=103.50-67.12N+20.10Y+7.39Ş-2.71V+42.16G	0.54

^x : Tekerlek iz merkezi, ^{xx} : Tekerlek iz kenarı, N : Nem içeriği, Y : Tekerlek yükü,

Ş : Lastik iç basıncı, V : İlerleme Hızı, G : Geçiş sayısı, HA : Hacim ağırlığı,

PD : Penetrasyon direnci, ID : İz derinliği, BAS : Yüzey altındaki basınç değeri

Regresyon denklemleri incelendiğinde kontrollü değişken olarak seçilen parametrelerin bağımlı değişkenler üzerindeki olumlu ve olumsuz etkileri görülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tarım tekniğinin ilerlemesi ve modern makinaların yaygınlaşması günümüz tarımına büyük bir iş kolaylığı ve zaman tasarrufu sağlamış ve verimliliğin olumlu yönde etkilenmesinin yanında tarımsal üretimde tarla trafiğinin artmasına neden olmuştur. Tarla trafiğindeki artış tarım toprakları için önemli bir sorun olan toprak sıkışmasını önemli boyutlara ulaştırmıştır. Tarımda kullanılan lastiklerin ölçüsü, yapısı, konfigürasyonu, yük, lastik iç basıncı, geçiş sayısı, patinaj ve ilerleme hızı gibi bir kaç faktör toprak sıkışmasını etkilemektedir.

Tınlı toprakta iki farklı nem içeriğinde yapılan bu çalışmada tekerlek yükü, lastik iç basıncı, ilerleme hızı ve geçiş sayısının toprağın hacim ağırlığı, penetrasyon direnci, iz derinliği ve farklı derinliklerdeki basınç değerleri ölçülerek toprak sıkışmasındaki değişimler incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır.

Hacim ağırlığı değerleri, her iki nem içeriğinde de; tekerlek yükü, ilerleme hızı ve geçiş sayısından önemli oranda ($p < 0.01$) etkilenmektedir. Lastik iç basıncı, % 9 nem içeriğinde ve 15-30 cm derinlikte hacim ağırlığını $p < 0.05$ düzeyinde etkilerken, diğer durumlarda önemli bir etkisi olmamıştır. Tekerlek yükü, lastik iç basıncı, ilerleme hızı ve geçiş sayısındaki artış hacim ağırlığı değerlerini de artırmaktadır. Her iki nem içeriğinde de, ilk geçişten sonra hacim ağırlığında çok yüksek bir artışın meydana geldiği ve tekrarlanan her geçişten sonra hacim ağırlığında azalan oranlarda bir artışın olduğu görülmüştür.

Penetrasyon direnci değerleri tekerlek yükü, lastik iç basıncı ve geçiş sayısındaki artışla artmaktadır. Toprağın % 9 nem içeriğinde tekerlek iz merkezinde ilerleme hızının penetrasyon direncine etkisi derinlikle değişmekte ve 0-15 cm derinlikte önemli bir etkisi olmazken 15-30 cm derinlikte $p < 0.05$ seviyesinde bir etkisi olmaktadır. Tekerlek iz kenarında ise en küçük ve en büyük ilerleme hızlarında ölçülen penetrasyon direnci değerleri arasında önemli bir farklılık olmamaktadır. % 13 nem içeriğinde her iki ölçüm bölgesinde 0-15 cm derinlikte ilerleme hızının penetrasyon direncine $p < 0.01$ seviyesinde, 15-30 cm derinlikte ise $p < 0.05$ seviyesinde önemli bir etkisi olmaktadır. Yalnız; iz kenarında 15-30 cm derinlikte ilerleme hızının önemli bir etkisi bulunamamıştır. Hacim

ağırlığı değerlerinde olduğu gibi; penetrasyon direncinde de ilk geçişten sonra çok yüksek bir artışın meydana geldiği ve tekrarlanan her geçişten sonra penetrasyon direncinde azalan oranlarda bir artış olduğu belirlenmiştir. Tekerlek iz merkezinde ve iz kenarında yapılan ölçümler penetrasyon direncinin iz merkezinde daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde yapılan ölçümler sonucunda iz derinliğinin tekerlek yükü, lastik iç basıncı, ilerleme hızı ve geçiş sayısındaki artışa bağlı olarak arttığı saptanmıştır.

Tekerlek izinde iki farklı derinlikte ve iki farklı bölgeye yerleştirilen dört adet yükleme hücresi ile basınç değerleri ölçülmüştür. Toprak altındaki en büyük basınç değerleri sırasıyla tekerlek iz merkezinde 15 cm derinlikte, tekerlek iz kenarında 15 cm derinlikte, tekerlek iz merkezinde 30 cm derinlikte ve tekerlek iz kenarında 30 cm derinlikte meydana gelmiştir. Tekerlek yükleme hücresine belirli bir uzaklıkta iken yükleme hücresi basınç değerlerini algılamaya başlamış, tekerlek yükleme hücresine yaklaştıkça ölçülen basınç değeri artmış ve tekerlek yükleme hücresinin tam üzerine geldiğinde maksimum basınç değeri okunmuştur. Tekerlek yükleme hücresinden uzaklaştıkça ölçülen basınç değeri de düşmekte ve belirli bir uzaklıktan sonra sıfır olmaktadır. Basınç değerlerinin tekerlek yükü ve lastik iç basıncındaki artışla arttığı, ilerleme hızının belirli bir etkisinin olmadığı ve geçiş sayısı arttıkça tekerlek iz merkezinde ve iz kenarında 15 cm derinlikte ölçülen basınç değerlerinin düştüğü ve 30 cm derinlikteki basınç değerlerinin ise arttığı saptanmıştır. Yüzeye yakın derinliklerdeki basınç değerlerinin geçiş sayısı ile düşmesinin, toplam sıkışmanın büyük bir kısmının ilk geçişten sonra meydana gelmesinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Toprağın farklı derinliklerinde yaratılan basıncın algılanmasında kullanılan sistemin laboratuvar koşullarında kullanıma uygun olduğu gözlenmiştir.

Yapılan bu değerlendirmeler sonucunda tarım topraklarında uygun bir çalışmanın yapılabilmesi için aşağıdaki öneriler çıkarılmıştır.

1. Toprağın % 9 ve % 13 nem içeriğinde yapılan ölçümlerde kontrollü değişken olarak seçilen parametrelerin; % 13 nem içeriğinde toprağın hacim ağırlığı, penetrasyon direnci, iz derinliği ve basınç değerlerine etkisi daha yüksektir. Bu nedenle; tarım

makinaları ile tarımsal alanlarda yapılan işlemlerin mümkün olan en uygun nem içeriğinde yapılması gerekmektedir.

2. Tekerlek yükündeki artışlar her iki derinlikte de (0-15 cm ve 15-30 cm) hacim ağırlığı, penetrasyon direnci, iz derinliği ve yüzey altındaki basınç değerlerinin artmasına neden olmaktadır. Tarım makinalarının ağırlığının azaltılması toprak sıkışmasının azaltılmasına yardımcı olacaktır.

3. Lastik iç basıncındaki artış tekerleğin temas alanı ve esnekliğini azalttığından toprak sıkışmasının artmasına neden olmaktadır. Lastik iç basıncı lastiğin yapısına zarar vermeyecek en düşük değerde olmalıdır.

4. Tekrarlanan geçişler toprağın hacim ağırlığı, penetrasyon direnci, iz derinliği ve yüzey altındaki basınç değerlerini artırmaktadır. Tarımsal alanlarda tekrarlanan geçişlerin azaltılması toprak sıkışmasının zararlı boyutlara ulaşmasını engelleyecektir.



6. KAYNAKLAR

- ABABE, A. T.; YAMAZAKI, M.; OIDA, A.; NAKASHIMA, H.; 1992. Effects Of Forward Velocity Of Tractor On Transient Soil Compaction. Journal Of The Japanese Society Of Agricultural Machinery, 54:3, 25-30.
- ADAM, K.M., ERBACH, D.C., 1995. Relationship Of Tire Sinkage Depth To Depth of Soil Compaction. Transaction Of The ASAE, 38:4, 1011-1016.
- ALAKUKU, L., ELONEN, P., 1994. Finnish Experiments On Subsoil Compaction By Vehicles With High Load. Soil And Tillage Research, 29:2-3, 151-155.
- ALAKUKU, L., 1996 (a). Persistence Of Soil Compaction Due To High Axle Load Traffic . I. Short-Term Effects On The Properties Of Clay And Organic Soil. Soil And Tillage Research, 37:4, 211-212.
- ALAKUKU, L., 1996 (b). Persistence Of Soil Compaction Due To High Axle Load Traffic. II. Long - Term Effects On The Properties Of Fine - Textured And Organic Soil. Soil And Tillage Research, 37:4, 223-238.
- AYERS, P. D., PERUMPRAL, J.V., 1982. Moisture And Density Effects On Cone Index. Transaction Of The ASAE. 25(5): 1169-1172.
- BAILEY, A. C., NICHOLS, T. A., JOHNSON, C. E., 1988. Soil Stress State Determination Under Wheel Loads. Transaction Of The ASAE. 31(5): 1309-1314.
- BAILEY, A.C., RAPER, R.L., BURT, E.C., JOHNSON, C.E., WAY, T. R., 1992. Soil Stresses Under Tires With Low Inflation Pressure. Transaction Of The ASAE, Paper No. 92-1581.
- BAL, H., 1985. Toprak Sıkışması, Sorunları ve Çözüm Yolları. Tarımsal Mekanizasyon 9. Ulusal Kongresi, 20-22 Mayıs 1985, Bildiriler Kitabı, Adana, s. 131-138.
- BARONE, L., 1990. Wheel Traffic Effect On soil Compaction. 4. Uluslararası Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresi, 1 - 4 Ekim 1990, Bildiriler Kitabı, Adana, s.159-165.
- BARUT, Z. B., OKURSOY, R., ÖZMERZİ, A., 1995. Sera topraklarının İşlenmesinde Toprak İşleme Kriterleri. Tarımsal Mekanizasyon 16. Ulusal Kongresi, 5-7 Eylül 1995, Bildiriler Kitabı, Bursa, s. 521,528.

- BARUT, Z.B., OKURSOY, R., ÖZMERZİ, A., 1996. Physical Effects Of Cotton Seed Bed Preparation On Silty Sand. 6. Uluslararası Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresi, 2-6 Ekim 1996, Bildiriler Kitabı, Ankara, s. 455-461.
- BARUT, Z.B., OKURSOY, R., ÖZMERZİ, A., 1999. Physical Effects Of Tractor Traffic On Silty Sand. 7th International Congress On Agricultural Machanisation And Energy. 26-27 May 1999, Adana, Turkey, pp. 215-219.
- BICKI, T.J., SIEMENS, J.C., 1991. Crop Response To Wheel Traffic Soil Compaction. Transaction Of The ASAE, 34(3): 909-913.
- BIRKAS, M., NYARAI, F., SZALAI, T., FENYVES, T., 1996. Effects Of Soil Water Content And Compaction On The Energy Requirement Of Tillage. 6. Uluslararası Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresi, 2-6 Eylül 1996, Bildiriler Kitabı, Ankara, s. 424- 432.
- BLOCK, W. A., JOHNSON, C. E., BAILEY, A. C., BURT, E. C., RAPER, R.L., 1994. Soil Stress Measurement Under Rigid Wheel Loading. Transaction Of The ASAE, 37(6): 1753-1756.
- BLUNDEN, B. G., Mc BRIDGE, R. A., DANIEL, H., BLACKWELL, P. S., 1994. Compaction Of And Earthy Sand By Rubber Tracked And Tyred Vehicles. Australian Journal Of Soil Research, 32:5, 1095-1108.
- BURT, E. C., WOOD, R. K., BAILEY, A. C., 1989. Effects Of Dynamic Load On Normal Soil-Tire Interface Stresses. Transaction Of The ASAE. 32 (6): 1843-1846.
- BURT, E. C., WOOD, R. K., BAILEY, .C., 1992. Some Comparions Of Average To Peak Soil-Tire Contact Pressures. Yransaction of The ASAE. 35(2): 401-404.
- CHAMPBELL, D.J., DICKSON, J.W., 1984. Effect Of Four Alternative Front Tyres On Seedbed Compaction By A Tractor Fitted With A Rear Wheel Designed To Minimize Compaction. J. Agric. Engng. Res. Vol.29, 83-91.
- ÇARMAN, K., 1992. Tarımda Kullanılan Lastiklerin Potansiyel Sıkıştırma İndekslerinin Belirlenmesi. Tarımsal Mekanizasyon 14. Ulusal Kongresi, 14-16 Ekim 1992, Bildiriler Kitabı, Samsun, s. 494-502.
- ÇARMAN, K., 1994. Tractor Forward Velocity And Tite Load Effects On Soil Compaction. Journal Of Terramechanics. 31:1, 11-20.

- ÇARMAN, K., 1996. Prediction Of Penetration Resistance Sinkage And Bulk Density In Soil - Tire Introduction. 6. Uluslararası Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresi, 2-6 Ekim 1996, Bildiriler Kitabı, Ankara, s. 417-423.
- ÇARMAN, K., DOĞAN, H., 1997. Farklı Temas Basıncı Ve Yükleme Süresinin Toprağın Mekanik Özelliklerine Etkisi. Tarımsal Mekanizasyon 17. Ulusal Kongresi, 17-19 Eylül 1997, Bildiriler Kitabı, Cilt:1, Tokat, s: 348-356.
- DISERENS, E., ANKEN, T., 1996. How Does the Soil React To Weight? Technique Agricole, 58:1, 7-10.
- DJORDJE, M. R., 1988. Influence Of Tire Inflation Pressure On Soil Bulk Density. Physical Properties Of Agricultural Materials And Products Proceedings Of The 3rd International Conference August 19-23, 1985, Prague, Czechoslovakia, 867-872.
- DOMZAL, H., HODARA, J., 1991. Physical Properties Of Three Soils Compacted By Machine Wheels During Field Operations. Soil And Tillage Research. 19: 2-3, 227-236.
- DZENIA, S., SOSNOWSKI, A., HOFFMAN, KAKOL, I., 1990. Effect Of Soil And Crops Pressure By Tractor Wheels On Physical Properties Of Soil, Weediness And Yields Of Barley And Wheat Part I Changes In Some Soil Physical Properties. Roczniki Nauk Polniczych Seria A Produkcja Roslina. 107: 4, 21-29.
- ERBACH, D.L., KINNEY, G.R., WILCOX, A.P., ABABDA, A.E., 1991. Strain Gage To Measure Soil Compaction. Transaction of The ASAE, 334(6): 2345-2348.
- ERBACH, D. C., KNOLL, K. K., 1992. Inflation Pressure effect On Soil Compaction. Paper- American Society Of Agricultural Engineers. No.92-1582.
- GEE - CLOUGH, D., SALOKHE, V. M., JAVID, M., 1990. The Effect Of Soil Compaction On Maize Yield In Heavy Clay Soil. Proceedings Of The International Agricultural Engineering Conference And Exhibition, Bangkok, Thailand, 3-6 December, 389-395.
- GÖKNUR, İ., YAVUZCAN, H. G., 1995. Orta Ağır Toprak Koşulunda Koni İndeksi, Nem ve Hacim Ağırlığı Arası İlişkiler. Tarımsal Mekanizasyon 16. Ulusal Kongresi, 5-7 Eylül 1995, Bildiriler Kitabı, Bursa, s. 370-377.

- HARZADIN, T., GÜRAY, U., 1985. Tarımda Kullanılan Lastiklerin Toprağın Deformasyonuna Etkileri. Tarımsal Mekanizasyon 9. Ulusal Kongresi, Bildiriler Kitabı, Adana, s. 122-130.
- JOHNSON, C. E., BURT, E. C., 1990. A Method Of Predicting Soil Stress State Under Tires. Transaction Of The ASAE, 33 (3): 713-717.
- KINNEY, G.R., ERBACH, D.C., BERN, C.J., 1992. Soil Strain Under Three Tractor Configurations. Transaction Of The ASAE, 35(4): 1135-1139.
- KOGER, J. L., TROUSE JR, A. C., BURT, E. C., IFF, R.H., BAILEY, A.C. 1984. Skidder Tire Size vs. Soil Compaction In Soil Bins. Transaction Of The ASAE. 27(3): 665-669.
- KOGER, J.L., BURT, E.C., TROUSE Jr., A.C., 1985. Multiple Pass Effects Of Skidder Tires On Soil Compaction. Transaction Of The ASAE. 28(1):11-16.
- KRAMER, E., 1992. Soil Cobserving Techniques. KTBL-Schrift. No.353.
- MAKIN, A., 1989. Soil Compaction Under Single And Dual Rear Tractor Tyres. Agricultural Engineering Australia. 18: 1 And 2, 3-8.
- MARSILLI, A., SERVADIO, P., 1992. Tests Of Agricultural Soil Compaction Using Two Different Types Of Tyres. Rivista di Ingegneria Agraria, 23:4, 193-199.
- MARSILLI, A., SERVADIO, P., 1996. Compaction Effects Of Rubber Or Metal-Traced Tractor Passes On Agricultural Soils. Soil And Tillage Research, 37:1, 37-45.
- Mc KYES, E., 1985. Soil Cutting And Tillage. Development In Agricultural Engineering. 7.
- MUNSUZ, N., 1985. Toprak Mekanığı ve Teknolojisi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları : 922, Ders Kitabı : 260, Ankara.
- NICHOLS, T.A., BVAILEY, A.C., JOHNSON, C.E., GRISSO, R. D., 1987. A Stress State Transducer For Soil. Transaction Of The ASAE. 30(5): 1237-1241.
- OKHITIN, A.A., LIPIEC, J., TARKIEWICZ, S., SUDAKOV, A.V., 1991. Deformation Of Silty Loam Soil Under The Tractor tyre. Soil And Tillage Research, 19:2-3, 187-195.
- OKURSOY, R., 1992. Toprağın Kompaksiyon Modeli. Tarımsal Mekanizasyon 14. Ulusal Kongresi, 14-16 Ekim 1992, Bildiriler Kitabı, Samsun, s. 564-573.

- ÖĞÜT, H., 1995. Tarım Traktörleri. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No:23, Konya, 188 s.
- ÖNAL, İ., 1978. Tarım Topraklarında Sıkışma Sorunu. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, İzmir, 15/3, (1-27).
- ÖZKAN, İ., 1985. Toprak Fiziki. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları : 946, Ders Kitabı : 270, Ankara.
- PERUMPRAL, J. V., LILJEDAHLAND, J. B., PERLOFF, W. H., 1971. The Finite Element Method For Preciding Stress Distribution And Soil Deformation Under A Tractive Device. Transaction Of The ASAE. 1184-1188.
- PINAR, Y., A. SESSİZ, 1998. Toprak Sıkışmasına Etkili Bazı Faktörler Üzerine Bir Araştırma. Tarımsal Mekanizasyon 18. Ulusal Kongresi, Tekirdağ, s.310-316.
- PLACKETT, C. W., 1984. The Ground Pressure Of Some Agricultural Tyres Of Low Load And Zero Sinkage. J. Agric. Engng. Res. Vol(29): 156-166.
- POLLOCK, D., PERUMPRAL, J. V., KUPPUSAMY, T., 1986. Finite Element Analysis Of Multipass Effect Of Vehicles On Soil Compaction. Transaction Of The ASAE. 29(1): 45-50.
- RAGHAVAN, G.S.V., McKYES, E., BEAULIEU, B., 1977. Prediction Of Clay Soil Compaction. Journal Of Terramechanics. Vol.14, No.1, pp.31-38.
- RAPER, R. L., BAILEY, A. C., BURT, E. C., WAY, T. R., LIBERATI, P., 1995. Inflation Pressure And Dynamic Load Effects On Soil Deformation And Soil-Tire Interface Stresses. Transaction Of The ASAE, 38:3, 685-689.
- RUHLING, W., 1990. Concenytration In Vineyards Through The Use Of Machinery. RosenGazon Truff. 21:3, 55-59.
- RUHLING, W., 1992. Soil Compaction Due To Tractor Use. Gemuse. 28:2, 61-64.
- RUSANOV, V. A., 1991. Effects Of Wheel And Track Traffic On The Soil And On Crop Growth And Yield. Soil And Tillage Research, 19:2-3, 131-143.
- SALOKHE, V. M., NINH, N. T., 1992. A Dimensional Analysis Of Soil Compaction Under Pneumatic Tyres In Clay Soil. International Agricultural Engineering Conference Proceedings Of A Conference Held In Bangkok, Thailand On 7-10 December 1992, Vol:1, 295-302.

- SAY, S. M., IŞIK, A., 1996. Penetrasyon Direncinin Toprak Koşulları İle Değişiminin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. 6. Uluslararası Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresi, 2-6 Ekim 1996, Bildiriler Kitabı, Ankara, s. 433-444.
- SCHWANGHART, H., 1989. Soil Compaction Under A Rolling Tire. Praceedings Of The 4th European Conference Of The International Society For Terrain Vehicle Systems, Wageningen, Netherlands, 21-23 March 1989, 179-186.
- SCHWANGHART, H., 1991. Soil Pressure And Compaction Under Agricultural Tires. Proceedings, 5th European Conference Of The International Society For Terrain Vehicle Systems, Held In Budapest, Hungary, 4-6 September 1991. 163-170.
- SMITH, D.L.O., DICHSON, J.W., 1990. Contribution Of Vehicles Weight And Ground Oressure To Soil Compaction. Journal Of Agricultural Engineering Research, 46:1, 13-29.
- STEWART, T. G. A., VYN, T. J., 1994. Influence Of High Axle Loads And Tillage Systems On Soil Properties And Grain Corn Yield. Soil And Tillage Research, 39:2-3, 229-235.
- TROUSE, A. C., 1982. Effects Of Tires On Recently Tilled Soils. Paper Presented At The 9th Conference Of The International Soil Tillage Research Organization Yugoslavia, 8 p.
- WARNER, D., PARIS, P., RUDIGER, A., 1991. The Effect Of Wheel Slip On Soil Structure. Mitteilungen Der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft. 66.1, 249-253.
- WAY, T.R., BURT, E. C., BAILEY, A.C., RAPER, R.L., 1993. Tire Lug Height Effect On Soil-Tire Interface Pressures. ASAE Paper No: 93-1513.
- WAY, T. R., BAILEY, A.C., RAPER, R.L., BURT. E.C., 1995. Tire Lug Height Effect On Soil Stresses And Bulk Density. Transaction Of The ASAE, 38:3, 669-674.
- WAY, T. R., KISHIMOTO, T., BURT, E. C., 1996. Tractor Tire Aspect Ratio Effects On Soil Stresses And Rut Depts. ASAE Paper No: 96-1097.

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim ve tez alıŐmalarım sũresince beni yœnlendiren danışman hocam sayın Doç. Dr. Rasim OKURSOY'a teŐekkũrlerimi sunarım. Sũrekli olarak bilgilerinden yararlandığım baŐta hocam sayın Prof. Dr. Kamil ALİBAŞ olmak üzere bœlũm hocalarıma, deney setinin hazırlanması ve denemelerin yũrũtũlmesinde yardımlarını esirgemeyen hocam sayın Doç. Dr. Ali KASAP'a, Doç. Dr. Ő. Faruk TAŐER'e, diğer hocalarıma ve mesai arkadaşlarıma teŐekkũrlerimi sunarım. Ayrıca; elektronik dũzenin hazırlanmasında yardımlarını gœrdũđũm sayın Murat CAN'a teŐekkũrlerimi sunarım.



ÖZGEÇMİŞ

1968 yılında Niksar-Tokat'ta doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Niksar'da tamamladı. 1987 yılında Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümünü kazandı. 1991 yılında mezun oldu. 1992'de Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Programını kazandı ve Tokat Ziraat Fakültesine Araştırma Görevlisi olarak girdi. 1994 yılında Yüksek Lisans eğitimini tamamladı. 1995 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı'nda Doktora Programına başladı. Halen, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

