



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK NEMİ VE HACİM AĞIRLIĞININ PENETRASYON DİRENCİNE ETKİSİ

Ayşe ÇETİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Aralık-2018

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOPRAK NEMİ VE HACİM AĞIRLIĞININ PENETRASYON DİRENCİNE ETKİSİ

Ayşe ÇETİN

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

Danışman: Prof. Dr. Cevdet ŞEKER

2018, 71 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Cevdet ŞEKER
Prof. Dr. Ayşen AKAY
Prof. Dr. Metin MÜJDECİ

Toprak sıkışması, büyük ölçüde mekanizasyona dayanan günümüz tarımının en önemli sorunları arasındadır. Toprak sıkışmasını yorumlamada kullanılan en önemli toprak özelliği hacim ağırlığıdır. Ancak bu özelliğin ölçümü kolay olmamakta ve bitki gelişimi ile doğrudan ilişkisi kurulamamaktadır. Toprakların bitki gelişimi ile ilgili olarak sıkışma durumunun belirlenmesi için çeşitli göstergeler önerilmiştir. Bu göstergelerin başında toprak su içeriği, hacim ağırlığı ve penetrasyon direncini açıklayan çeşitli eşitlikler geliştirilmiştir. Bu eşitliklerin herhangi bir alan için kullanılabilmesi, eşitliğin geliştirildiği toprak özellikleri ile kullanılacağı toprak özelliklerinin benzerliğine bağlıdır. Toprakların doğaları gereği çok fazla değişkenlik içermeleri nedeniyle farklı özelliklere sahip topraklar için bu modellerin hazırlanması gerekmektedir. Bu eşitlikler kullanılarak farklı zaman ve yerlerde yapılan ölçümlerin, benzer şartlar için yorumlanmaları ve kıyaslanmaları sağlanmış, aynı zamanda bitki gelişiminin sağlıklı devam edebilmesini sağlayan sınırlandırılmış su rejimi (SSR) bölgesi geliştirilmiştir.

Yapılan bu çalışmada kil içeriği yüksek, farklı nemlerde ve hacim ağırlığında sıkıştırılan bir toprağın penetrasyon direnci ölçülerek, farklı nemler ve hacim ağırlıkları için tahmin ve kıyaslamaların yapılabileceği gravimetrik ve hacimsel su içeriği ile toprak su potansiyelini dikkate alan matematiksel modeller geliştirilmiştir. Bu modellerin regresyon katsayıları 0,98- 0,99 arasında değişmiş olup, yüksek tahmin yüzdesi değerleri elde edilmiştir. Buna göre farklı dönemlerde farklı nem ve hacim ağırlıklarında penetrasyon ölçümleri yapılan kil içeriği yüksek benzer özelliklere sahip toprakların karşılaştırılmasına olanak sağlanmıştır. Ayrıca geliştirilen modeller kullanılarak bitki kök gelişiminin sınırlanmaya başladığı 2 MPa sınır değeri ile kök gelişiminin durduğu 3 MPa sınır değeri de ortam değişkenliğine göre hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Hacim ağırlığı, penetrometre direnci, toprak nemi, toprak sıkışması.

ABSTRACT

MS THESIS

Effect of Soil Moisture and Bulk Density on Penetration Resistance

Ayşe ÇETİN

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELCUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN SOIL SCIENCE AND PLANT NUTRITION
Advisor: Prof. Dr. Cevdet ŞEKER

2018, 71 Pages

Jury
Prof. Dr. Cevdet ŞEKER
Prof. Dr. Ayşen AKAY
Prof. Dr. Metin MÜJDECİ

It is seen that today's agriculture, which is based on soil compaction and large cost mechanization, is the most important problems. Soil bulk density is the most important soil property which is used in the interpretation of soil compaction. However, the measurement of this feature is not easy to be measured and its direct relationship with plant development cannot be established. Different indicators have been proposed for determining soil compaction status relating to soil plant development. Various equations explaining soil water content, bulk density and penetration resistance have been developed from the aforementioned indicators. The fact that these equations can be used for any field depends on the properties of the soil where the equation is developed and the similarity of the soil properties to be used. Due to the fact that soils vary greatly by nature, these models should be prepared for soils having different properties. By using these equations, it is ensured that the measurements made at different times and places can be interpreted and compared for similar conditions, but also the restricted water regime (SSR) region has been developed to ensure continuous plant growth and healthy.

In this study, the penetration resistance of a high clay content soil compacted at different moisture and bulk density was measured, and mathematical models for predicting and comparing gravimetric and volumetric water content for different moisture and bulk density by considering soil water potential have been developed. The regression coefficients of these models ranged from 0.98 to 0.99 and the highest estimate percentage was obtained. At different moisture and bulk density in different periods measured penetration measurements in high soil clay content and one of soil with similar properties can be compared. In addition, by using developed models, the limit value of 2 MPa, in which the root growth of the plant begin to be limited, and the limit value of 3 MPa at which the root growth stops were calculated according to the environmental variability.

Keywords: Bulk density, soil moisture, soil compaction, penetration resistance

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde ve çalışmanın yürütülüp sonuçlanması esnasında, çalışmalarıma yön veren, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam, sayın Prof. Dr. Cevdet ŞEKER' e, en içten dileklerimle şükranlarımı sunarım.

Çalışmam boyunca benden destek ve teşviklerini esirgemeyen hocalarım Arş. Gör. Dr. İlknur GÜMÜŞ' e, Öğr. Gör. Hamza NEGİŞ' e, Arş. Gör. Vildan ERCİ' ye ve ayrıca Prof. Dr. Ayşen AKAY ile Prof. Dr. Metin MÜJDECİ' ye katkılarından dolayı teşekkür ederim. Sadece bu çalışmam boyunca değil, hayatımın her anında yanımda olan, tüm öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi koruyuculuğumu üstlenen, desteklerini esirgemeyen, hayatıma yön veren babam Mehmet ÇETİN' e, annem Türkan ÇETİN' e, kardeşlerime ve desteklerini esirgemeyen arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde maddi destek sağlayan Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkür ederim.

Ayşe ÇETİN
KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **3**

3. MATERYAL VE YÖNTEM **11**

3.1. Materyal 11
3.1.1. İklim 11
3.2. Yöntem 12
3.2.1. Toprak örneklerinin alınması ve analize hazırlanması 12
3.2.2. Laboratuvar Analizleri 12
3.2.2.1. Fiziksel analizler 12
3.2.2.2 Penetrometre ölçümleri 14
3.2.2.3. Sınırlanmış su rejimi (SSR) 16
3.2.2.4. Kimyasal analizler 18
3.2.3. İstatistiki analizler 19

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **20**

4.1. Fiziksel ve Kimyasal Analiz Sonuçları 20
4.2. Proktor Testi Sonuçları 20
4.3. Penetrasyon Ölçüm Sonuçları 21
4.3.1. Hacim ağırlığının penetrasyon direncine etkisi 22
4.3.2. Toprak neminin penetrasyon direncine etkisi 28
4.3.3.Toprak sıkışmasının rutubet karakteristik eğrisine etkisi 33
4.3.3.1 Gravimetrik su içeriği ve pF arasındaki ilişki 33
4.3.3.2 Hacimsel su içeriği ve pF arasındaki ilişki 40
4.3.4. Farklı hacim ağırlıklarının sınırlandırılmış su içeriğine etkisi 48
4.3.5. Toprak sıkışmasının toprak nemi ve hacim ağırlığı ile ilişkisi 53

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **60**

KAYNAKLAR **62**

EKLER **67**

EK 1 67

EK 2 69

ÖZGEÇMİŞ 71

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

TK:	Tarla Kapasitesi
SN:	Solma Noktası
FS:	Faydalı Su
HDG:	Hava Dolu Gözenekler
Pb:	Hacim Ağırlığı
Pk:	Zerre Yoğunluğu
EC:	Elektriki İletkenlik
OM:	Organik Madde
Pw:	Gravimetrik Nem
Ɵ :	Hacimsel Nem
pF:	Toprak Nem Tansiyonu
PD:	Penetrasyon Direnci
SSR:	Sınırlandırılmış Su Rejimi
TH:	Toplam Hacim
AN:	Ağırlık Esasına Göre Nem
P:	Gözeneklilik
e:	Boşluk Oranı
Ph:	Hava Dolu Gözeneklilik
Ɵs:	Doygunluk
Mk:	Katı Kısmın Kütlesi
Vt:	Toplam Hacim
Vs:	Sıvı Hacmi
Vp:	Gözenek Hacmi

1. GİRİŞ

Günümüzde gıda güvenliği ülkelerin öncelikleri arasında her zamankinden daha fazla yer almaktadır. İnsanların yeterli ve dengeli beslenmesi, bitkisel ve hayvansal gıda üretim faaliyetlerinin uygun şartlarda yürütülmesi ile mümkün olacaktır. Bunun için ülkelerin sahip oldukları sınırlı doğal kaynakları olan topraklarını, özellikleri ve kapasitelerine uygun olarak kullanmaları zorunludur.

Toprakların sahip oldukları mahsuldarlığının devamı için, toprak bozulması anlamına gelen toprak degradasyonuna karşı önlemler alınarak üretim yapılması ile mümkün olabilecektir. Toprak bozulmaları doğrudan verim ve kaliteyi olumsuz etkilemekte ve böylece üretkenliği azaltmaktadır. Toprak degredasyonu; fiziksel bozulma, kimyasal bozulma, biyolojik bozulma ve kirlilik şeklinde görülmektedir. Fiziksel bozulmaların başında ise toprak sıkışması gelmektedir.

Toprak sıkışması; dinamik bir yük veya basınç altında toprak tanelerinin istiflenme düzeninin bozularak, birbirlerine daha yakın bir şekilde yeniden istiflenmesiyle, porozite ile boşluk oranının azalması ve toprak hacim ağırlığının artması şeklinde tanımlanmaktadır (Demiralay, 1977).

Tarımsal üretim yapılan arazilerde, alet ve makinaların kullanımının getirdiği kolaylıkla birlikte daha fazla toprak işlenebilmektir. Bu kolaylığın yanında toprağın fiziksel özelliklerinde bozulmalar meydana gelmektedir. Tarım aletlerinin dikkatsiz bir şekilde kullanımı ile birden fazla ekipmanla birlikte yapılan toprak işlemenin yanında, ek olarak agregat stabilitesi kötü, organik maddece fakir ve strüktür yapısının elverişsizliği gibi uygun olmayan toprak özellikleri ve yanlış amenajman faaliyetleri birleştiğinde kaçınılmaz olarak toprakta fiziksel bozulmalar meydana gelmektedir.

Toprağın uygun nem seviyesinde işlenmemesi ve kullanılan ekipmanların yapmış olduğu ağırlık sebebiyle toprak sıkışması artmakta ve bu da üretkenliği doğrudan etkilemektedir. Toprakların işlenebileceği en ideal seviyedeki nem miktarına sahip olduğu döneme tav dönemi denilmektedir. Toprak tavı dediğimiz dönemde toprak işlemesinin yapılması toprakların daha az sıkışmasını sağlayacaktır. Bu dönemin haricinde yapılan toprak işlemesi, topraklarda sıkışma problemini ortaya çıkartmaktadır.

Toprak sıkışmasının, toprağın fiziksel özellikleri üzerindeki etkisinde; hacim ağırlığının artması, infiltrasyon ve su tutma kapasitesini azaltması sonucu toprakta suyun yüzey akışına geçmesine ve kuraklığa neden olması, toprak porozitesi ve havalanmasının azalması toprakta verimlilik kayıplarına sebep olmaktadır. Sıkışmanın

kimyasal ve biyolojik özellikler üzerine etkisi de şunlardır; topraktaki besin elementi dinamiğini değiştirmesi, denitrifikasyonun artması, havalanmanın düşük olmasıyla mikrobiyal faaliyetlerin olumsuz etkilenmesi ve bitki köklerinin gelişemeyip bitki gelişimini doğrudan olumsuz etkilemesidir. Toprak sıkışmasının topraklarımıza verdiği zararlar ülkemizde giderek artmakta ve bu problemi önleme adına tarımsal ekipmanlar ve bununla birlikte toprakları işleyiş biçimlerimiz geliştirilmektedir.

Toprak sıkışması penetrometre cihazı ile ölçülmektedir. Penetrometre sonuçları toprak nem içeriği ile değişmektedir. Yüksek nem içeriğine sahip toprakların penetrasyon okumaları düşük, dolayısıyla düşük nem içeriğine sahip toprakların penetrasyon değerleri yüksek çıkmaktadır. Penetrometre ölçümlerinin en büyük sorunu aynı zamanda farklı toprakların sonuçlarının birbirleriyle karşılaştırılamamasıdır. Ayrıca aynı bölgede farklı zamanlarda yapılan penetrometre ölçümlerinin sonuçlarındaki farklılıklar (toprak nem içeriğindeki farklılıklardan dolayı) birbiriyle karşılaştırılamadığı için bir şey ifade etmemektedir. Bu sebeple yapılan bu çalışmanın amacı, farklı hacim ağırlıkları ve farklı nemlerde yapılan sıkıştırma işlemleri sonucu ölçülen penetrometre sonuçlarını kullanarak bir matematiksel formül elde edilmesidir. Bu formül sayesinde aynı tekstüre sahip topraklarda; farklı zamanlarda ölçülen penetrometre nem veya hacim ağırlığı değerleri baz alınıp düzeltilerek, karşılaştırılacak ve farklılığın nelerden kaynaklandığı tahmin edilecektir. Aynı zamanda toprak nemi ve hacim ağırlığı bilinen bir toprağın penetrometre ölçümü yapılmadan toprağın penetrometre gücünün tahmini yapılabilecektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

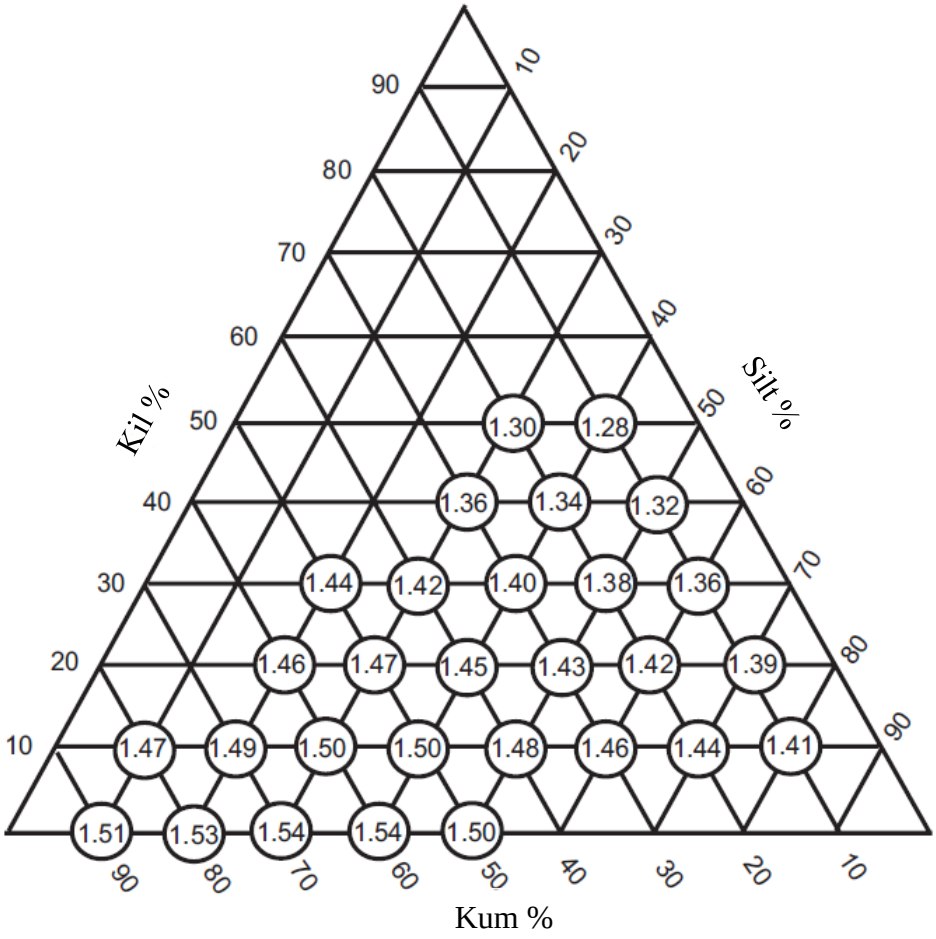
Toprak sıkışması; dinamik bir yük veya basınç altında toprak tanelerinin istiflenme düzeninin bozularak birbirlerine daha yakın bir şekilde yeniden istiflenmeleriyle, porozite ile boşluk oranının azalması ve toprak hacim ağırlığının artması şeklinde tanımlanmaktadır (Demiralay, 1977; Swan ve ark., 1987).

Toprak sıkışmasına neden olan ana nedenlerden birisi toprak işlemedir. Tarımsal üretim yapılan alanlarda meydana gelen toprak sıkışması dünya çapında git gide artarken bitki gelişimini ve çevreyi olumsuz etkilemektedir. Modern tarımda toprakları çok kısa sürede ekime hazırlamak için toprak nemi fazlayken sürülmekte ve bu yüzden daha derinlerde sıkışma etkisini göstermektedir (Van Ouwerkerk ve Soane, 1994).

Topraklar farklı özelliklere sahip olduklarından farklı derecelerde sıkışmaktadırlar. Belirli düzeylerde gerçekleşen toprak sıkışması bitkiye destek olma, bitkiyi aşırı kuraklıktan koruma ve çimlenme için gerekli olan toprakla tohumun teması için gereklidir. Toprak sıkışmasının ileri düzeyde olduğu durumlarda, bitkiler kötü havalanma ve besin elementi noksanlığını yansıtan belirtiler göstermektedirler (Petersen ve ark., 1996).

Toprak direnci penetrasyon direncinden hesaplanır. Toprak direncini organik madde, tekstür (Gerard ve ark., 1982; Gupta ve Larson, 1982; Spivey Jr ve ark., 1986), toprak nemi ve hacim ağırlığı etkilemektedir (Taylor ve Gardner, 1963; Camp ve Lund, 1968; Mirreh ve Ketcheson, 1972; Perumpral, 1987). Ayrıca, yapılan çalışmalara göre organik materyaller toprağa uygulandığında, kontrole göre penetrasyon direnci azalmıştır (Müjdeci, 2011).

Bitki gelişmesi için en uygun hacim ağırlığı değerini belirlemede, en temel unsur toprak tekstürüdür. Bazı araştırmacılar, toprak tekstürünün fonksiyonu olarak bitki büyümesine bağlı olan sınırlayıcı hacim ağırlığı değerlerini tercih etmişlerdir (Daddow ve Warrington, 1983; Jones, 1983; Pierce ve ark., 1983; USDA, 1996). Şekil 2.1’ de görüldüğü gibi tekstür üçgeninde sınırlayıcı hacim ağırlığı eşik değerleri belirlenmiştir.



Şekil 2.1: Hacim ağırlığı eşik değerleri (Petelkau, 1991)

Kritik hacim ağırlığı değeri, toprak kalitesi için bir indikatör olarak; toprağın sıkışma durumu ve bitkisel üretimin elverişliliğini belirlemek için kullanılmaktadır. Tablo 2.1' de toprak tekstürüne göre bitki gelişimini olumsuz etkileyen minimum hacim ağırlığı değerleri verilmiştir. Toprak sıkışmasının belirlenmesinde; bütün topraklar doğrudan doğruya kıyaslanabilen bir değer olarak, tek bir parametrenin ortaya çıkartılmasına ihtiyaç duyulmaktadır (Håkansson ve Lipiec, 2000).

Tablo 2.1: Bitki gelişimine engel olan minimum hacim ağırlığı değerleri(USDA, 1996)

Tekstür	Hacim ağırlığı g cm^{-3}
Çakıl, orta ve ince kum, tınlı kum	1,80
Daha ince kum, tınlı daha ince kum	1,77
Kumlu tın	1,75
Tın, kumlu killi tın	1,70
Killi tın	1,65
Kumlu kil	1,60
Silt, Siltli tın	1,55
Siltli killi tın	1,50
Siltli kil	1,45
Kil	1,40

Cassel (1982), toprak direnci ölçülürken hacim ağırlığı ve toprak neminin de penetrasyon direnci ölçümleriyle birlikte verilmesi gerektiğini önermiştir.

Toprak nemi, penetrasyon direncini önemli derecede etkilemektedir. Bu sebeple penetrasyon direnci farklı su içerikleriyle kıyaslanmalıdır. Genellikle penetrasyon direncindeki farklılıkların; toprak su içeriğindeki farklılıktan mı yoksa yapılan uygulamalardan mı kaynaklandığına karar verilmesi oldukça zordur. Topraktaki penetrasyon direnci farklılıkları, toprağın su içeriği ile örnekten örneğe ve aynı örneklerde zamandan zamana değişimleri ölçülmüş ve birçok ilişki geliştirilmiştir. Penetrasyon direnci toprak su içeriği ve hacim ağırlığı ile bağıntılı bulunmuş olup; elde edilen verilerle daha az parametre kullanılarak daha iyi deneysel ilişkiler kurulmuştur (Busscher, 1990).

Toprak sıkışması, toprak işlemede ekonomik olarak masrafları artıran ve toprak muhafazasına ilişkin ihtiyaçların karşılanıp karşılanmadığını belirten kriter olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada; özellikle 18-22 ve 28-32 cm toprak katmanlarındaki keseklilik ve yakıt tüketimi artışlarının bu katmanlardaki toprak sıkışmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir (Birkás ve ark., 1997).

Toprak sıkışmasının, bitkilerin fizyolojik özellikleri üzerine etkilerinin incelendiği çalışmada, hafif, orta ve ağır bünyeli (Tınlı kum, kumlu killi tın ve kil) topraklarda yetiştirilen ayçiçeği bitkisine farklı düzeylerde (0, 0.21, 1.98 ve 3.95 kg cm^{-2}'lik 4 farklı basınç) sıkışma uygulanmıştır. Üç hafta süre ile ayçiçeğinin fizyolojik gelişimi ve bazı özellikleri incelenmiş ve kaydedilmiştir. Yapılan çalışmada, artan sıkışma düzeyi ile birlikte tüm toprak tekstürlerin de bitki boyu ve kök uzunluğunun azaldığı görülmüştür. Bitkinin kuru kök ağırlığının tüm toprak tiplerinde 0.21 kg cm^{-2}' lik basınç uygulamasında kontrole ve 1.98 kg cm^{-2}' lik basınç uygulamasına oranla azaldığı ve bütün topraklarda 3.95 kg cm^{-2}' lik basınç uygulamasında çimlenmenin görülmediği saptanmıştır (Killi ve Kavdır, 2013).

Konya ovasında dört farklı toprak üzerinde yapılan çalışmada toprak su içeriği ile penetrasyon direnci arasındaki ilişki ortaya konarak farklı toprakların penetrasyon dirençlerinin birbirleri ile kıyaslanmalarını sağlayacak uygun modeller geliştirilmeye çalışılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, toprak su içerikleri ile penetrasyon dirençleri arasında önemli ilişkiler olduğu belirlenmiştir (Şeker, 1999).

Yapılan arazi çalışmasında, tarla trafiğinin toprak profilin de meydana getirdiği gözenek büyüklüğü dağılımı ve sıkışma durumu incelenmiştir. Su içeriği % 24.78 olan bir parselden 2900 kg ağırlığında lastik tekerlekli traktör ile bir, iki ve dört defa aynı

izden 4.5 km sa^{-1}' lik sabit hızda geçişler yapılmıştır. Traktör geçiş sayısı ile penetrasyon direnci değerleri arasındaki değişimin en fazla 0-5 cm' lik toprak derinliğinde meydana geldiği, 5-10 cm toprak derinliğinde, yüzey katmanına göre hızlı bir düşüş görüldüğü ve 10-15 cm toprak derinliğinde etkisinin ortadan kalktığı belirtilmektedir. Bununla birlikte, traktör geçişinin en fazla etkilediği toprak katmanı ilk 15 cm' lik kısım olduğu bulunmuş ve bundan sonraki derinliklerde de penetrasyon direnci değerleri arasında farklılık görülmesine rağmen, artış oranlarının düşük düzeyde olduğu ölçülmüştür. Üretim yapılan alanlarda sıkışmaya maruz kalan toprakların gevşetilmesi gerektiği ve bu gevşetilme derinliği, sıkışmanın derecesi ve derinliğine göre değişiklik gösterdiği kaydedilmiştir (Şeker ve Işıldar, 2000).

Toprağa uygulanan farklı ağırlıklarda yüklerle yapılan sıkıştırma işleminden sonra toprağın hacim ağırlığının ortalama % 5 arttığı, hava dolu boşluklar miktarının ise % 40 azaldığı saptanmıştır (Swinford ve Boevey, 1984).

Farklı nem ve basınç seviyeleri uygulanarak yapılan bir çalışmada sıkıştırma basıncı arttıkça, hacim ağırlığının ve penetrometre direncinin arttığı belirlenmiştir. Toprak sıkışmasının, toprak neminin tarla kapasitesinin % 50' si nem seviyesinde olduğu dönemlerde en yüksek olduğu ve toprak nem içeriği saturasyona yaklaştıkça toprak taneleri arasındaki kohezif kuvvetler azaldığından penetrometre iğnesinin toprağa girişine karşı direncin azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca nem içeriği hava kurusuna doğru yaklaştıkça su filmlerinin sürekliliği kaybolduğu ve agregatların birbirine yapışmadığı için penetrometre yine fazla dirençle karşılaşmaz. Toprak nem miktarı arttıkça suyun yüzey tansiyon kuvvetlerinin toprak tanecikleri arasındaki çekim kuvvetlerini kırarak toprak tanelerini birbirinden uzaklaştırarak hacim ağırlığını düşürdüğü de bilinmektedir (Karakaplan, 1982).

Proctor (1933), yaptığı çalışmalar sonucunda belli bir sıkıştırma enerjisi altında bir toprağın göstereceği sıkışma derecesinin toprak nem miktarına bağlı olarak değiştiğini ve söz konusu sıkıştırma enerjisinin toprağa kazandırabileceği maksimum sıkışmanın ancak belli bir nem miktarında elde edilebileceğini belirlemiştir.

Toprakların sıkışabilirlikleri üzerine yapılan başka bir çalışmada ise; topraklara uygulanan darbe sayısının artması ile kuru hacim ağırlığının arttığı ve maksimum hacim ağırlığını elde etmek için gerekli olan optimum nemin düştüğü bildirilmiştir. (Canbolat ve ark., 2002).

Tarla trafiğinin ve tarım aletlerinin ağırlıklarından dolayı meydana çıkan toprak altı sıkışmasının dikey dağılımı üzerine yapılan çalışmada; ağır ve hafif traktörlerle

çoklu sayıda geçiş yapılmıştır. Sonuç olarak, yüzeysel derinliklerde ağır ve hafif koşularda bir farklılık olmadığı, daha derinlerde ise önemli farklılıkların olduğu gözlenmiştir. Tekerleğin ezdiği alanda verim kaybı fazla, tekerlek dışında kalan alanda verim kaybının daha az olduğu görülmüştür (Jorajuria ve ark., 1997).

Hızı 0.4-4.0 ve 8.0 km sa^{-1} olan traktör tarafından toprak yüzeyine uygulanan basıncın toprakta dağılımının, uygulama süresine, toprak gözenekliliğine ve toprağın saturasyon durumuna bağlı olduğu belirlenmiştir. Traktör hızının arttığında uygulanan basıncın tabana doğru dikey ilerlediğini ancak bunun yatay dağılım oranının uygulanan basınç miktarı ve traktörün geçiş sayısı ile değiştiği belirtilmiştir (Burger ve ark., 1987).

Tüzüner ve Sunar (1973)' ın, yaptıkları çalışmada tarla trafiğinin hacim ağırlığı üzerine etkileri araştırılmıştır. Tarım aletlerinin kullanılmadığı kontrol parselinde 1.25g cm^{-3} olan hacim ağırlığı traktörle sürüm yapılan parsellerde %35 (1.32g cm^{-3}) ve traktörle birlikte patates ilaçlama pülverizatörü kullanılan parsellerde ise %27 (1.46 g cm^{-3}) oranında arttığı belirtilmiştir. Toprakta sıkışmanın artması ile makro gözeneklerin, hava ve su geçirgenliğinin azaldığı, bitki köklerinin derin ve geniş alanlara yayılmadığı, dolayısıyla verimin önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir.

Başka bir çalışmada; dört farklı toprağın penetrasyon direnci ile ölçülen bazı özellikler arasındaki ilişkileri ortaya koyarak, penetrasyon direncinin tahminini sağlayan regresyon denklemleri geliştirmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak penetrasyon direnci ile hacim ağırlığı ve 0.2 µm'den küçük por yüzdesi arasında önemli pozitif ilişkiler tespit edilmiştir (Şeker, 1997).

Konya-Çumra ovasında yapılan bir çalışmada dört farklı dönemde şekerpancarı arazilerinde yapılan penetrasyon ölçüm sonuçlarının istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Tarla trafiğinin topraklarda meydana getirdiği sıkışmanın bir göstergesi olan bu çalışmada; bitki gelişiminin olumsuz etkilendiği görülmüştür (Negiş, 2014).

Konya ovasında, dört farklı ürün (mısır, şeker pancarı, ayçiçeği ve buğday) yetiştirilen arazilerde, tarım makinalarının topraklar üzerindeki etkileri hasat öncesi ve hasat sonrası aşamalarda incelenmiştir. Hacim ağırlığı değerlerinin 1.21 ile 1.46 g cm^{-3} arasında değiştiği ve 0-20 ve 20-40 cm' lik penetrasyon direnci değerlerinin, hasat öncesi ölçümlerinin hasattan sonra arttığı gözlemlenmiş olup, hacim ağırlığı değerleri arasında önemli farklılıklar belirlenmiştir (Negiş ve ark., 2017).

Organik sebze yetiştiriciliği yapılan arazide, organik materyal ilavesinin ve tarla trafiğinin toprak sıkışmasına etkilerinin araştırıldığı çalışmada, organik madde artışı için iki farklı organik gübreleme yöntemi kullanılmıştır. Çiftlik gübresi (35 t ha^{-1}) ve yeşil

gübre (fiğ, *Vicia sativa L.*) ile uygulayarak tarla trafiği için de 1,3 ve 5 defa traktör geçişleri sağlanmıştır. Çalışma sonunda traktör geçiş sayısı arttıkça hacim ağırlığı ve penetrasyon direnci değerleri artmış; toplam ve makro porların hacmi azalmıştır. Geleneksel toprak işleme yöntemine göre yeşil gübreleme ve çiftlik gübresi ilavesi penetrasyon direnci ve hacim ağırlığı değerlerinde düşüş sağlamıştır (Mujdeci ve ark., 2017).

Toprakları değişik nem ve basınçta sıkıştıran Akram ve Kemper (1979), maksimum sıkışmanın nem ve basınçla değiştiğini, aynı nem ve basınçta hacim ağırlığının kumlu topraklarda killi topraklardan daha yüksek olduğunu belirtmiştir.

Kumlu tınlı ve killi tınlı topraklar karşılaştırıldıklarında; kumlu tınlı toprakların sıkışmaya karşı daha az hassas oldukları belirlenmiştir (Botta ve ark., 2006).

McKyes (1985a), yaptığı çalışmada killi topraklarda makro por ile mikro porların büyüklükleri arasındaki farklılığın daha büyük olduğunu ve yoğunluktaki küçük değişikliklerin kil üniteleri arasındaki makro porların kapanması için yeterli olduğunu tespit etmiştir. Bunun yanında kumlu topraklarda toprak parçacıkları arasındaki makro ve mikro porların hacimlerinin daha tedrici bir dağılım gösterdiğini ve bundan dolayı makro porların kapanması için daha yüksek oranlarda yoğunluk artışlarına gereksinim duyulduğunu ifade etmişlerdir.

Killi topraklar üzerine 10 ile 18 ton aks^{-1} arasındaki yüklerin uygulanmasıyla toprak şartlarında ve alt topraktaki por büyüklük dağılımındaki değişmeler incelenmiş ve ağır aks yükünün, porların por büyüklük dağılımını önemli ölçüde değiştirdiği, alttan işlemenin sıkışmayı azalttığı belirlenmiştir (Gameda ve ark., 1988).

Demiralay ve Güresinli (1979), tarafından Erzurum ovası topraklarında yapılan bir çalışmada toprakların kil, organik madde ve kireç miktarları arttıkça sıkışabilirliğin azaldığı, silt miktarının sıkışabilirliği etkilemediği ve kum miktarı arttıkça toprak sıkışabilirliğinin arttığı belirlenmiştir.

Demiralay ve Güresinli (2010), toprak nem miktarı çok düşük olduğu zaman toprak su çözeltisinin yüksek viskozitesi veya toprak taneleri arasındaki kohezyonun yüksek oluşu sebebiyle, sıkıştırma enerjisinin toprak tanelerini hareket ettirmede fazla etkili olamayacağını ve dolayısıyla düşük seviyede bir sıkışma elde edileceğini bildirmektedirler. Aynı araştırıcılar, toprak nem miktarı belirli oranda arttırıldığında sıkışma enerjisinin sağlayacağı sıkışmanın azalan oranlarda arttığını, ancak gözeneklerdeki sıkışmış toprak havası ile birlikte su miktarı daha ileri sıkışmaya müsaade etmeyecek derecede gözenek basıncı gelişince azami sıkışmanın elde

edileceğini kaydetmiştirler. Daha yüksek nem miktarlarında saturasyona doğru gidildikçe sıkışmanın azaldığı ve saturasyon durumunda sıkışmanın sıfır olduğu belirtilmiştir.

Toprak sıkışmasının diğer bir sebebi de uygun olmayan rutubet koşullarında yaptırılan otlatmadır. Bazı araştırıcılar hayvan otlatma ile üst toprağın hacim ağırlığının 1.22'den 1.43 gr cm^{-3}'e yükseldiğini, böylece olarak hava dolu gözeneklerin % 17.3' den % 7.2'ye düştüğünü ve penetrometre direncinin ise 3.2'den 19.5 bar' a yükseldiğini belirtmişlerdir (Munsuz, 1985).

Isik ve Say (1998)'in, penetrasyon direncinin toprak koşulları ile değişiminin belirlenmesi üzerine yaptıkları çalışmalarında; ana faktör olarak ele alınan üç farklılığı, toprağın işlenmiş-işlenmemiş durumu ve profil derinliğinin penetrasyon direnci üzerine etkisinin önemli olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca, toprak nem içeriğinin penetrasyon direnci üzerinde birincil derecede etkili olduğunu, artan nem içeriğinin penetrasyon direncini azalttığını saptamışlardır.

Toprak penetrasyon direncini, aynı parselde, zamandan zamana veya parselden parsele toprak su içeriğinden meydana gelen farklılıkları minimum seviyeye indirmek amacıyla yapılan çalışmada, 5 mm çaplı, düz uçlu sonda kullanılmıştır. Tınlı kum tekstürlü toprak örneğinin; penetrasyon direnci, su içeriği ve hacim ağırlığı ile ilişkili numunelerin R^2 değeri 0.86 ile 0.96 arasında değişmiştir (Busscher, 1990).

Sınırlandırılmış su rejimi(SSR), toprağın strüktür kalitesi indeksi olarak ortaya çıkmıştır. SSR, su potansiyeli, havalandırma ve penetrasyon direnci ile ilişkili olan bitki büyümesini engelleyen toprak su içeriği aralığında minimum seviyededir. Da Silva tarafından hacim ağırlığı, kil içeriği, organik karbon içeriğinden pedotransfer fonksiyonları, SSR' i tahmin etmek için geliştirmiştir. Bunun yanında bitkisel üretim için toprağın fiziksel kalitesini belirlemek amacıyla SSR' i bir araç olarak kabul etmiştir(da Silva ve Kay, 1997b).

2009 yılında Kuzeydoğu Çin' de farklı toprak işleme uygulamaları altında SSR etkinliğini gösteren bir çalışma yapılmış ve SSR' i hesaplamak için küçük makro gözeneklerin oranını kullanmışlardır. Küçük makro gözeneklerin oranındaki çeşitlilik, toprak işleme uygulamalarının SSR üzerindeki etkilerini karakterize etmeye yardımcı olduğu tespit edilmiştir (Chen ve ark., 2015).

Brezilya' da yapılan başka bir çalışmada ise, toprağın fiziki kalitesini SSR ve S indeksi kullanarak değerlendirmişlerdir. SSR, su tutma eğrisi, toprak penetrasyon direnci ve hacim ağırlığı kullanarak, alt ve üst sınırı elde etmişlerdir. İncelenen

alanlarda SSR değerinin hacim ağırlığının bir fonksiyonu olarak farklılaştığı görülmüştür. SSR ve S indeksi, toprağın fiziki kalitesinin iyi bir göstergesi olarak belirlenmiştir (Pereira ve ark., 2010).

Sıkıştırılmış hacim ağırlığı, S-indeksi ve SSR; bitki büyümesi ile ilişkili olan toprak sıkışmasını belirlemek için, indeks olarak veya toprak kalitesinin indikatörleri olarak kullanılabilirler. Ancak üç farklı göstergeyi aynı topraklar üzerinde uygulayan ve göstergelerden uyumluluk ve tutarlılık için türetilen kalite analizi değerlendirilmesinde uygulanma aşamasında çalışma eksikliği vardır (Kaufmann ve ark., 2010).

Toprak sıkışmasının, toprağın fiziksel özellikleri ve bitki büyümesi üzerindeki etkilerini belirlemek için kullanılan parametreleri gözden geçirmek için yapılan çalışmada, toprak sıkışmasının makro-porozite, su hareketi ve havalandırma ile kök gelişimi üzerine etkileri tartışılmıştır. Sıkıştırma işlemlerinden sonra tüm profillerde toprak fonksiyonunu ve kök büyümesini önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir (Lipiec ve Hatano, 2003).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Araştırma Konya ovası içerisinde yer alan Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Sarıcalar Deneme İstasyonu'ndan 0-30 cm derinlikten alınan, siltli kil tekstüre sahip toprak örneklerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Sarıcalar Deneme İstasyonu

3.1.1. İklim

Çalışma alanı yarı kurak iklim özelliklerine sahip olup yıllık yağış miktarı ortalama 322.4 mm, uzun yıllar ortalaması esas alındığında yıllık ortalama sıcaklık 11.6 °C, ortalama nispi nem %60 ve yıllık ortalama buharlaşma ise 1172.6 mm'dir (Anonim, 2017).

3.2. Yöntem

3.2.1. Toprak örneklerinin alınması ve analize hazırlanması

Bu çalışmada, bozulmuş toprak örnekleri araziden toprakçı küreği yardımıyla 0-30 cm derinlikten ve arazinin 8-10 farklı noktasından alınmıştır. Alınan örnekler laboratuvara taşınmış, gölgede hava kuru hale getirilmiş ve 4 mm' lik elekten geçirilmiştir. Daha sonra, laboratuvarda fiziksel ve kimyasal analizlerde kullanılmak üzere, hazırlanan bu topraklardan 3-4 kg örnek alınarak 2 mm' lik elekten elenmiştir. Geriye kalan 4 mm' lik elekten elenmiş toprak örnekleri ise laboratuvarda sıkışma denemesinde kullanılmak üzere saklanmıştır.

3.2.2. Laboratuvar Analizleri

3.2.2.1. Fiziksel analizler

Tekstür: Çalışmada kullanılan toprak örneğinin tekstür sınıfının belirlenmesinde Bouyoucos hidrometre yöntemi kullanılmıştır (Gee ve Bauder, 1986).

Tarla Kapasitesi: Toprak örneğinin tarla kapasitesinin belirlenmesinde basınç tablası kullanılarak, 33 kPa basınçta toprakta tutulan nem yüzdesi olarak belirlenmiştir (Cassel ve Nielsen, 1986).

Solma Noktası: Toprak örneğinin solma noktasının belirlenmesinde basınç tablası aleti kullanılarak, 1500 kPa basınçta toprakta tutulan nem yüzdesi olarak ölçülmüştür (Cassel ve Nielsen, 1986).

Faydalı Su Kapasitesi: Tarla kapasitesi değerinden solma noktası değeri çıkarılarak hesaplanmıştır (Cassel ve Nielsen, 1986).

Hacim Ağırlığı: Bozulmamış örneklerde silindir metoduna göre belirlenmiştir (Black ve ark., 1965).

Özgül ağırlık: Piknometre yöntemi ile yapılmıştır (Blake ve Hartge, 1986).

Likit Limit: Toprak örnekleri 0.42 mm' lik elekten geçirilerek elde edilen numunede likit limit penetrometresi cihazında ölçüm yapılmıştır (TSE, 1987).

Plastik Limit: Nemli toprak örneğinin, 3 mm çapında çubuklar haline getirilirken dağılmaya başladığı noktadaki nem içeriği hesaplanarak bulunmuştur (Mertdoğan, 1982).

Rutubet Karakteristik Eğrisi: Rutubet karakteristik eğrisinin belirlenmesinde, düşük nem tansiyonlarının (0-10-31-63-100 cm) (<10 kPa) belirlenmesinde kum kutusu aleti, yüksek nem tansiyonlarının (0.33-0.5-0.7-1.2-15 bar) belirlenmesinde 100 kPa ve 1500 kPa basınçlarda ölçüm yapılabilen seramik tablalar kullanılmıştır (Page ve ark., 1982).

Proktor Testi: Çalışmada kullanılan toprak örneğinin maksimum kuru yoğunluğu (hacim ağırlığı) ve buna tekabül eden optimum nem içeriğinin belirlenmesi için Standart Proktor testi yapılmıştır. Bu amaçla 4mm' den elenmiş toprak örnekleri 3 kg'lık altı adet alt örneğe ayrılmış, bu örneklere başlangıç örneği % 18, takip eden örneklerde ise artan oranlarda yaklaşık % 2 daha fazla nem içerecek şekilde hesaplanarak saf su uygulanmış, iyice karıştırılmış, ağzı kapalı plastik torbada 24 saat homojen nem dağılımının oluşması için beklenmiş ve sonra standart Proktor testi yapılmıştır. Bunun için 950 cm^3'lük molt, 2.48kg ağırlığında sıkıştırma çekici, 30.5 cm yükseklikten 25 defa düşürülerek birinci katmanın sıkıştırılması sağlanmıştır. Bu işlem farklı nemlerdeki tüm topraklar için ayrı ayrı yapılmıştır. İşlem sonunda örneklerin toplam hacimleri (TH) ve ağırlık esasına göre nem içerikleri (AN) belirlenmiştir. Buradan toprak örneğinin zerre yoğunluğu (*Pk*) değeri de kullanılarak toprak örneğimizin sıkışmaya bağlı olarak değişen temel özellikleri belirlenmiştir. Bu özellikler şunlardır; hacim ağırlığı (*Pb*; eşitlik 1), gözenekliliği (*p*; eşitlik 2), boşluk oranı (*e*; eşitlik 3), hava dolu gözenekliliği (*Ph*; eşitlik 4) ve doygunluktur (*Θs*; eşitlik 5) (Mertdoğan, 1982). Proktor testinde kullanılan hesaplamalar aşağıda belirtilmiştir:

$$Pb = Mk / Vt \quad (1)$$

$$p = 1 - Pk / Pb \quad (2)$$

$$e = p / 1-p \quad (3)$$

$$Ph = Vh / Vt \quad (4)$$

$$\Theta s = Vs / Vp \quad (5)$$

Buradaki *Mk*; katı kısmın kütlesi (g), *Vt*; toplam hacim (cm^3), *Vs*; sıvı hacmi, *Vp*; gözenek hacmi anlamına gelmektedir. Yapılan Proktor testi sonucu elde edilen veriler ve hesaplamalar Tablo 3.1' de verilmiştir.

Tablo3.1: Proktor testi sonuçları

Örnek No	1	2	3	4	5	6
Yaş tartım, g	5610	5710	5755	5905	5880	5820
Molt darası, g	4130	4125	4090	4185	4150	4130
Yaş toprak, g	1480	1585	1665	1720	1730	1690
Molt hacmi, cm^{-3}	945	945	945	945	945	945
Yaş Pb, g cm^{-3}	1.57	1.68	1.76	1.82	1.83	1.79
Nem, %	16.29	18.79	21.25	24.41	27.53	30.54
Kuru Pb, g cm^{-3}	1.35	1.41	1.45	1.46	1.44	1.37
p, %	49.2	46.7	45.2	44.8	45.8	48.3
e	0.97	0.88	0.82	0.81	0.85	0.93
Saturasyon	0.45	0.57	0.68	0.80	0.86	0.87

*FKT değeri sırasıyla: 1- 1273, 2- 1334, 3- 1373, 4-1383, 5- 1357, 6- 1295, g‘dır.

*Pk:2.65 g cm^{-3}

Yapılan bu test sonucu değerlendirilerek, sıkıştırma denemesinde çalışılacak olan nem ve hacim ağırlığı aralıkları belirlenmiştir.

3.2.2.2 Penetrometre ölçümleri

Proktor testi sonucuna göre 4mm’ lik elekten elenmiş olan (toplam 250 kg ağırlığında) toprak örneklerine yaklaşık olarak %18, %20, %22, %24, %26 ve %28 nemlere gelecek şekilde su ilave edilerek ıslatılmış (Şekil 3.2) ve nemin homojen dağılması için kapalı kaplar içerisinde buzdolabında 48 saat bekletilmiştir. Sonra nemlendirilen örnekler hacim ağırlıkları 1.05, 1.15, 1.25, 1.35 ve 1.45 g cm^{-3} olacak şekilde 100 cm^3 ‘lük silindirin içerisinde toprak örnekleri 5 eşit parçaya bölünerek, 5 katmanlı olarak sıkıştırılmıştır (Şekil 3.3). Nem stabilitesinin daha iyi sağlanabilmesi için sıkıştırılan örnekler en az 1 hafta boyunca buzdolabında bekletilmiştir. Daha sonra penetrasyon ölçümleri yapılmıştır.

Penetrasyon direnç ölçümleri Çekme-Koparma-Mukavemet Cihazı modifiye edilerek yapılmıştır. Penetrasyon ölçümlerinin hassas yapılabilmesi için cihaza özel bir uç yaptırılmıştır (Şekil 3.4). 100 cm^3’lük silindirlerde hazırlanan örneklerin penetrasyon dirençleri 5 paralelli olarak 30^o yarım açılı, 0.251 cm^2 yüzey alanına sahip konik uç kullanılarak yapılmış olup, okuma 4 mm derinlikte 1.6 mm sn^{-1} ilerleme hızında uygulanan toplam basıncın kaydedilmesi ile belirlenmiştir.

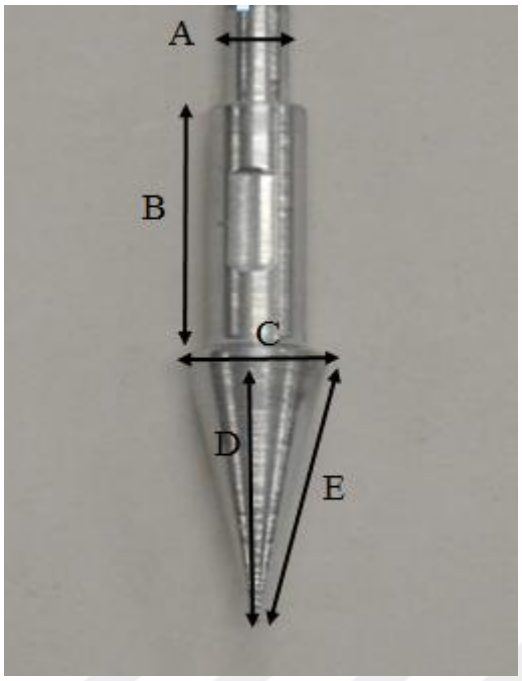


Şekil 3.2: Toprak örneklerinin nemlendirilme aşamaları



Şekil 3.3: Toprak örneklerinin sıkıştırılma aşamaları

Çekme-Koparma cihazında okuma sonrası elde edilen okuma değerleri, konik ucun yüzey alanına bölünerek kg cm^{-2} olarak penetrasyon değerleri elde edilmiştir (Eşitlik 6).



Şekil 3.4: Özel yaptırılan konik uçlu metal çubuk

Yüzey alanı: лrE= 0.251cm^2

$$Penetrasyon\ Direnci = \frac{Okuma\ değeri}{0.251}$$ Eşitlik 6

Sonuç kg cm^{-2} olarak elde edilmiş olup 10' a bölünerek MPa' a çevrilmiştir.

Tablo 3.2: Penetrometre için yapılan özel ucun boyutları

Kalınlık(A)	Uzunluk (B)	C Çap	Yarıçap (r)	Konik uç uzunluğu (D)	Yan Yüzey uzunluğu(E)	Konik uç açısı
3.50 mm	60 mm	4.00 mm	2.00 mm	3.46 mm	4 mm	60^o

3.2.2.3. Sınırlanmış su rejimi (SSR)

Bitki büyümesi, topraktaki dinamik özelliklerin (havalandırma gözenekliliği, köklerin penetrasyon direnci ve toprak su içeriği, vs.) bozulmasıyla olumsuz etkilenir. Bu dinamik özelliklerin tek bir değişken ile etkileşimi Da Silva ve ark. (1994) tarafından tanımlanmıştır. Bitki gelişimi için toprağın strüktür kalitesinin bir indeksi olarak sınırlanmış su rejimi (SSR) konusu ortaya konulmuştur (Silva ve ark., 1994).

Araştırıcılar, literatürde ki verilere dayanarak, toprak havalandırması, yarayışlı su ve mekanik bir direnç karşısında bitkilerin büyümesi ile ilgili olarak sınırlar belirlemişlerdir (da Silva ve Kay, 1997a).

Sınırlandırılmış su içeriğinin kök büyümesi üzerindeki etkisi için üst sınırı ve alt sınırı şu şekilde belirlenmiştir. Üst sınırı, toplam gözenek hacminin tarla kapasitesindeki

toprak su içeriği hacmi farkına dayanan ve bu farkın %10'dan büyük olması durumunda sınırlanmanın olmadığı, %10'dan küçük olması durumunda havalanma yetersizliği nedeniyle kök gelişiminin sınırlandığı bölge SSR'nin üst sınırı olarak tanımlanmıştır. Alt sınırı ise solma noktasındaki toprak su içeriği ve kök gelişiminin sınırlanmaya başladığı 2 MPa toprak penetrasyon direnci değerleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Burada 2 MPa toprak penetrasyon direncinin oluştuğu toprak su içeriğinin solma noktasından daha düşük olması durumunda, kök gelişimi için bir sınırlamanın olmadığı, 2 MPa toprak penetrasyon direncinin oluştuğu toprak su içeriğinin solma noktası su içeriğine eşit veya daha yüksek olması durumunda ise kök gelişiminin sınırlandığı SSR alt sınırı olarak tanımlanmıştır (Silva ve ark., 1994; da Silva ve Kay, 1997a).

Toprakta yeterli miktarda ki havalandırma gözenekliliği ve toprak penetrasyon direncinin (PD) sebep olduğu toprak yüzeyindeki su içeriği, TK ve SN' deki toprak su içeriğine göre toprak hacim ağırlığından (Pb) daha fazla etkilenir. Böylece SSR' nin mevcut suya göre toprak strüktürü değişimlerine daha duyarlı olduğu görülmektedir (Silva ve ark., 1994; Betz ve ark., 1998; Tormena ve ark., 1998; Zou ve ark., 2000). Dolayısıyla, bitki büyümesinin sınırlandırılmasını önlemek için toprak suyu içeriği toprak sıkıştırma durumuna göre değişir (Silva ve ark., 1994).

Wu ve ark. (2003)'e göre **SSR**' yi hesaplamak için, θ_{TK} ,θ_{HDG}, θ_{SN} ve θ_{PD} değerleri kullanılarak elde edilen dört tane olasılık şu şekilde belirlemiştir (Şekil3.5);

1- ($\theta_{HDG} \geq \theta_{TK}$) ve ($\theta_{PD} \leq \theta_{SN}$) ise **SSR= θ_{TK} - θ_{SN}** (Toprağın normal yarayışlı su miktarı)

2- ($\theta_{HDG} \geq \theta_{TK}$) ve ($\theta_{PD} \geq \theta_{SN}$) ise **SSR = θ_{TK} - θ_{PD}** (Penetrasyon direnici kök gelişimini sınırlandırır)

3- ($\theta_{HDG} \leq \theta_{TK}$) ve ($\theta_{PD} \leq \theta_{SN}$) ise **SSR = θ_{HDG} - θ_{SN}** (Havalandırma zayıf)

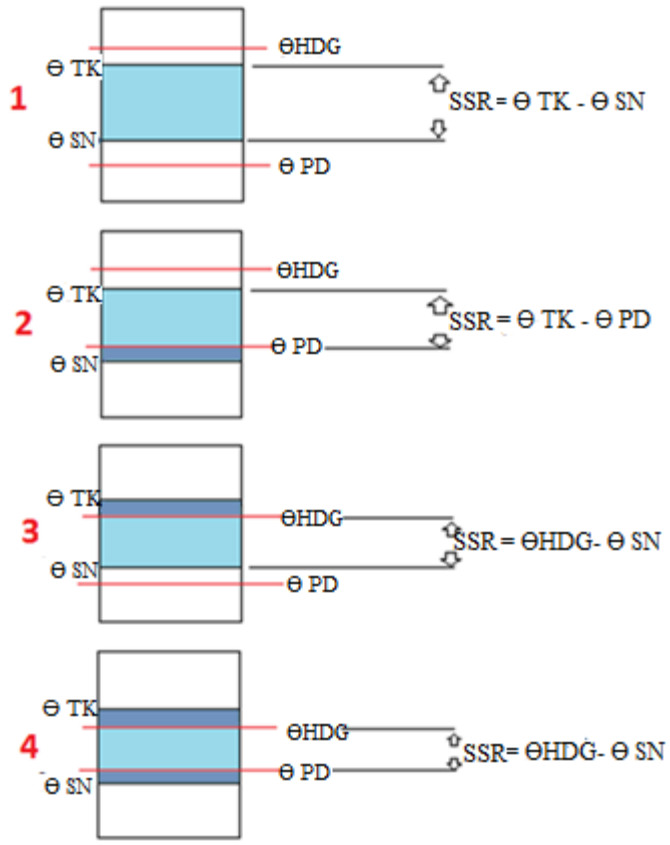
4- ($\theta_{HDG} \leq \theta_{TK}$) ve ($\theta_{PD} \geq \theta_{SN}$) ise **SSR =θ_{HDG} - θ_{PD}** (Hem havalandırma zayıf hem de penetrasyon direnici yüksek olduğu için bitki gelişimi çok sınırlanır.)

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

Θ_{TK} : Tarla kapasitesi ($m^3.m^{-3}$)

Θ_{SN} : Solma noktası ($m^3.m^{-3}$)

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



Şekil 3.5: Sınırlandırılmış su rejimi fonksiyonlarının hesaplanması için kullanılan formüller (Wu ve ark., 2003).

3.2.2.4. Kimyasal analizler

pH: 1:1' lik toprak-su karışımında cam elektrodlu pH metre kullanılarak belirlendi (McLean, 1982).

Elektriki İletkenlik (EC): 1:1' lik toprak-su karışımında iletkenlik aleti kullanılarak belirlendi (Rhoades, 1982).

Organik madde: Organik maddenin oksidasyonu esasına dayanan ''Smith- Weldon'' yöntemi ile belirlendi (Nelson ve Sommers, 1982).

Kalsiyum karbonat: Toprak örneklerinin kireç içeriği "Scheibler Kalsimetresi" ile hacimsel olarak belirlendi (Nelson, 1982).

3.2.3. İstatistiki analizler

Elde edilen veriler kullanılarak Curve Expert 1.3 programı yardımı ile üç boyutlu grafikler elde edilerek matematiksel bir model elde edilmiştir. Varyans analizi sonucunda önemli çıkan faktörler Tukey çoklu karşılaştırma testi ile değerlendirilmiştir. İstatistiksel değerlendirilmeler MİNİTAB (sür. 10.5) paket programı kullanılarak yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Fiziksel ve Kimyasal Analiz Sonuçları

0-30 cm derinlikten alınan toprak örneklerinin fiziksel analiz sonuçları Çizelge 4.1' de verilmiştir. Buna göre örneğin kil içeriği % 45.00, silt içeriği % 41.00, kum içeriği % 14.00 olarak tespit edilmiş olup tekstür sınıfı siltli kil olarak belirlenmiştir. Ağırlık esasına göre TK % 34.27, SN % 18.38, FS % 15.89 olarak tespit edilmiş, likit limit ve plastik limit değerleri sırasıyla % 43.34 ve % 28.95 olarak bulunmuştur.

Çalışma topraklarında yapılan kimyasal analizlerin sonuçları Çizelge 4.1' de sunulmuştur. Buna göre 1:1 oranında toprak:su karışımından elde edilen pH değeri 7.91 olup hafif alkalin ve EC değeri 1115 µS/cm olup tuzsuz sınıfta yer almaktadır. Organik madde miktarı % 2.01 olarak belirlenmiş olup, organik maddece fakir ve kireç içeriği % 12 olarak ölçülmüş olup, orta kireçli sınıfta çıkmıştır (Ülgen ve Yurtsever, 1974).

Çizelge 4.1: Fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

Fiziksel ve kimyasal özellikler		Sonuçlar
Tekstür	% Kil	45.00
	% Silt	41.00
	% Kum	14.00
Tekstür Sınıfı		Siltli kil
Tarla Kapasitesi (%)		34.27
Solma Noktası (%)		18.38
Faydalı Su Kapasitesi (%)		15.89
Likit Limit (%)		43.34
Plastik Limit (%)		28.95
Zerre Yoğunluğu (g cm^{-3})		2.65
pH (1-1 toprak-su karışımı)		7.91
EC (1-1 toprak-su karışımı, µS/ cm)		1115
Organik madde (%)		2.01
Kireç (%)		12.00

4.2. Proktor Testi Sonuçları

Toprak örneğinin öncelikle maksimum sıkıştırılabileceği optimum nem içeriğini belirlemek için yapmış olduğumuz Proktor testi sonucunda elde edilen sonuçlar Grafik 4.2' de verilmiştir. Sonuçlara göre; maksimum kuru ağırlığa karşılık gelen optimum nem değeri % 23.74 olarak, maksimum kuru hacim ağırlığı ise 1.46 g cm^{-3} olarak regresyon denkleminden türev alınarak belirlenmiştir (Eşitlik 7).

Eşitlik 7; $Y = -0.0021x\text{^}2 + 0.0997x + 0.2787$

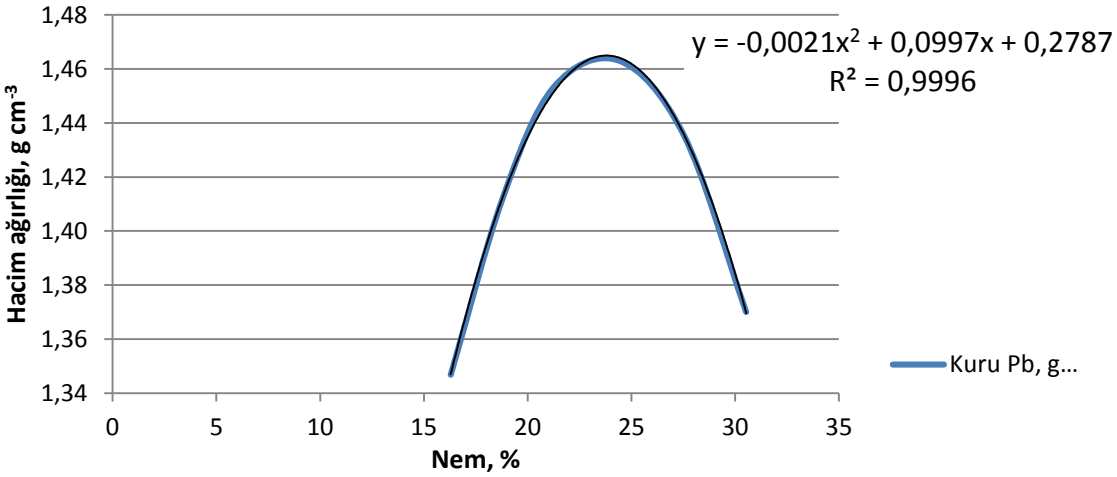
$$0 = 2(-0.0021x) + 0.0997$$

$$0 = -0.0042x + 0.0997$$

$$0.0042x = 0.0997$$

$$X = 0.0997/0.0042$$

$$X = 23.738$$



Grafik 4.2: Proktor testi sonuç grafiği

4.3. Penetrasyon Ölçüm Sonuçları

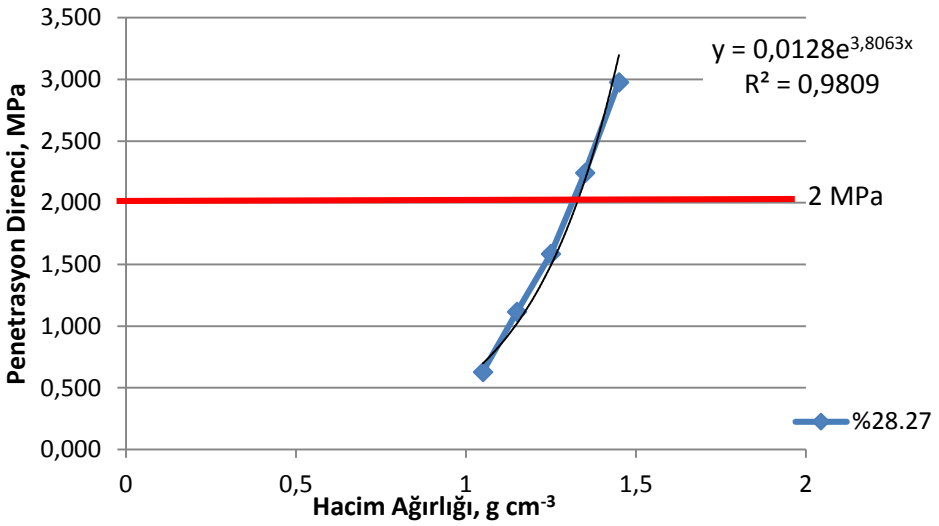
Proktor testi sonucuna göre 4mm' lik elekten elenmiş, yaklaşık olarak % 18, % 20, % 22, % 24, % 26 ve %28 nemlere gelecek şekilde su ilave edilerek ıslatılıp belli bir süre bekletilen örnekler, 1.05, 1.15, 1.25, 1.35 ve 1.45 g cm^{-3} hacim ağırlıklarında, 100 cm^{3}' lük silindirin içerisinde her biri 5 paralelli olarak penetrasyon ölçümleri yapılmıştır.

4.3.1. Hacim ağırlığının penetrasyon direncine etkisi

Ağırlık esasına göre % 28.27 nem içeren ve farklı hacim ağırlığı seviyelerinde sıkıştırılan toprak örneklerinin PD değerleri Tablo 4.1' de verilmiştir. Toprak örneklerinin PD değerleri hacim ağırlığı değerlerindeki artışa bağlı olarak artış göstermiştir. En düşük PD değeri 0.629 MPa ile 1.05 g cm^{-3} hacim ağırlığında ölçülürken en yüksek PD değeri 1.45 g cm^{-3} hacim ağırlığı değerinde 2.977 MPa ölçülmüştür. PD ile hacim ağırlığı değişimi arasında önemli (R^2=0,98; p<0.000) pozitif üssel bir ilişki belirlenmiştir (Grafik 4.1). Ağırlık esasına göre %28.27 nem içeren siltli kil tekstüre sahip bir toprakta kök gelişiminin olumsuz etkilenmeye başladığı 2 MPa sınırına 1.32 g cm^{-3} hacim ağırlığı değerinde ulaşılmıştır. Proktor testi ile belirlenen maksimum hacim ağırlığı (1.46 g cm^{-3}) değerine yakın sıkıştırmanın uygulandığı en yüksek hacim ağırlığı seviyelerinde (1.45 ve 1.35 g cm^{-3}) 2 MPa sınır değeri aşılmış, sırasıyla; 2.997 MPa ve 2.243 MPa penetrasyon dirençleri ölçülmüştür.

Tablo 4.1: Hacim ağırlığı ve penetrasyon direnci değerleri (0.2827 g g^{-1} su içeriğinde)

Hacim ağırlığı (g cm^{-3})	Penetrasyon Direnci (MPa)
1.05	0.629
1.15	1.117
1.25	1.586
1.35	2.243
1.45	2.977

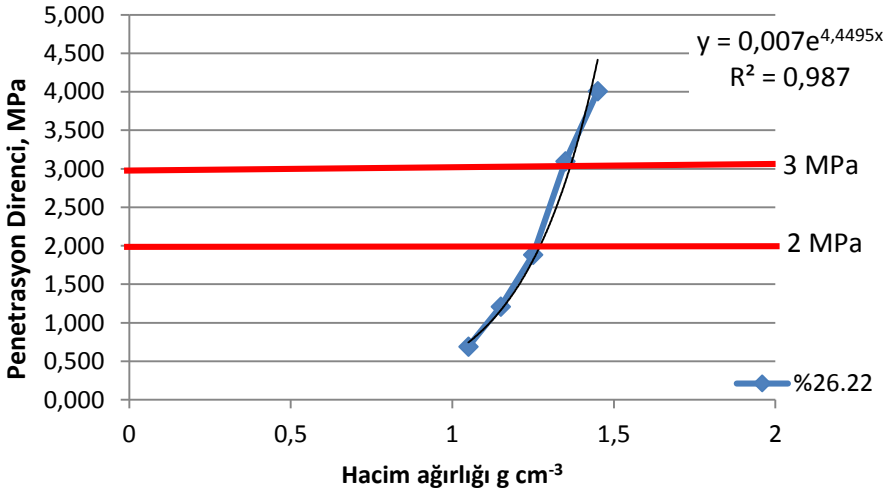


Grafik 4.1: Hacim ağırlığına bağlı penetrasyon direncinin değişimi (0.2827 g g^{-1} su içeriğinde)

Ağırlık esasına göre % 26.22 nem içeren ve farklı hacim ağırlığı seviyelerinde sıkıştırılan toprak örneklerinin PD değerleri Tablo 4.2' de verilmiştir. Toprak örneklerinin PD değerleri hacim ağırlığı değerleri ile benzer şekilde artış göstermiş, penetrasyon direnci ile hacim ağırlığı değişimi arasında önemli (R^2=0.987; p<0.000) pozitif üssel bir ilişki belirlenmiştir (Grafik 4.2). Ağırlık esasına göre %26.22 nem içeren siltli kil tekstüre sahip bir toprakta kök gelişiminin olumsuz etkilenmeye başlandığı 2 MPa sınırına (McKyes, 1985a) 1.27 g cm^{-3} hacim ağırlığı değerinde ulaşılmış ayrıca kök gelişiminin durduğu 3 MPa değerine ise 1.36 g cm^{-3} hacim ağırlığı değerinde ulaşılmıştır. Proktor testi ile belirlenen maksimum hacim ağırlığı (1.46 g cm^{-3}) değerine yakın sıkıştırmanın uygulandığı en yüksek hacim ağırlığı seviyelerinde (1.45 g cm^{-3} ve 1.35 g cm^{-3}) penetrasyon direnci değeri kök gelişiminin etkilenmeye başladığı 2 MPa sınırının çok üstünde, kök gelişiminin durduğu 3 MPa sınırını geçmiş(Gugino ve ark., 2009) ve sırasıyla; 3.100 MPa ve 4.007 MPa penetrasyon dirençleri ölçülmüştür. Diğer sıkıştırma seviyelerinde (1.05–1.15 ve 1.25 g cm^{-3} hacim ağırlıklarında) ise penetrasyon direnci değerleri kök gelişiminin etkilenmeye başladığı 2 MPa sınırının altında kalmıştır.

Tablo 4.2: Hacim ağırlığı ve penetrasyon direnci değerleri (0.2622 g g^{-1} su içeriğinde)

Hacim ağırlığı (g cm^{-3})	Penetrasyon Direnci (MPa)
1.05	0.693
1.15	1.211
1.25	1.886
1.35	3.100
1.45	4.007

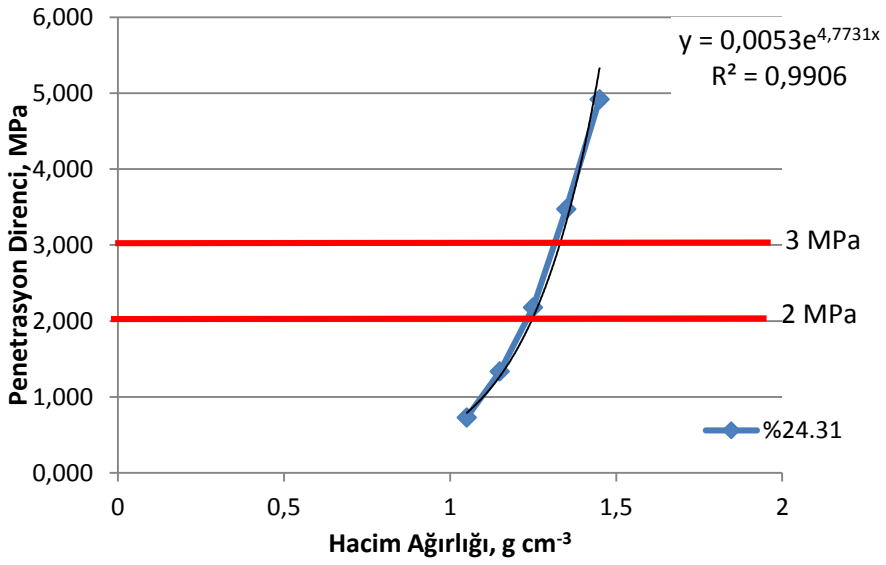


Grafik 4.2: Hacim ağırlığına bağlı penetrasyon direncinin değişimi (0.2622 g g^{-1} su içeriğinde)

Ağırlık esasına göre % 24.31 nem içeren ve farklı hacim ağırlığı seviyelerinde sıkıştırılan toprak örneklerinin PD değerleri Tablo 4.3' de verilmiştir. Toprak örneklerinin PD ile hacim ağırlığı değerleri ile benzer şekilde artış göstermiştir. PD ile hacim ağırlığı değişimi arasında önemli (R^2=0.99; p<0.000), pozitif üssel bir ilişki belirlenmiştir (Grafik 4.3). Ağırlık esasına göre %24.31 nem içeren siltli kil tekstüre sahip bir toprakta kök gelişiminin olumsuz etkilenmeye başladığı 2 MPa sınırına (McKyes, 1985a) 1.24 g cm^{-3} hacim ağırlığında ulaşılmış ayrıca kök gelişiminin durduğu 3 MPa değerine(Gugino ve ark., 2009) ise 1.32 g cm^{-3} hacim ağırlığında değerinde ulaşılmıştır. Proktor testi ile belirlenen maksimum hacim ağırlığı (1.46 g cm^{-3}) değerine yakın sıkıştırmanın uygulandığı en yüksek hacim ağırlığı seviyelerinde (1.45 ve 1.35 g cm^{-3}) PD değeri kök gelişiminin durduğu 3 MPa sınırını aşmış sırasıyla; 3.475 MPa ve 4.918 MPa penetrasyon dirençleri ölçülmüştür. 1.25 g cm^{-3} hacim ağırlığında ise kök gelişiminin etkilenmeye başladığı 2 MPa sınırını aşmış, 2.182 MPa PD ölçülmüştür. Diğer sıkıştırma seviyelerinde (1.05 ve 1.15 g cm^{-3} hacim ağırlıklarında) ise PD değerleri kök gelişiminin etkilenmeye başlandığı 2 MPa sınırının altında çıkmıştır.

Tablo 4.3: Hacim ağırlığı ve penetrasyon direnci değerleri (0.2431 g g^{-1} su içeriği)

Hacim ağırlığı (g cm^{-3})	Penetrasyon Direnci (MPa)
1.05	0.729
1.15	1.337
1.25	2.182
1.35	3.475
1.45	4.918

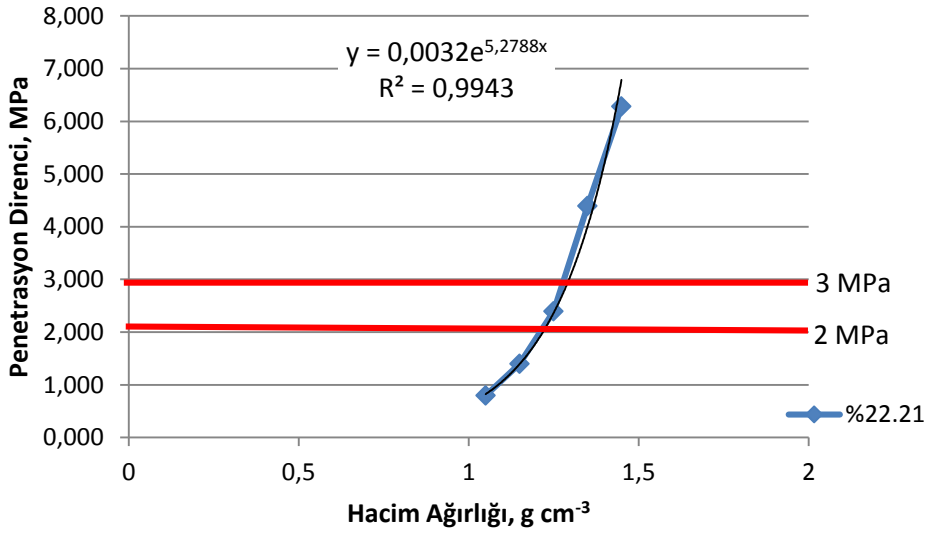


Grafik 4.3: Hacim ağırlığına bağlı penetrasyon direncinin değişimi (0.2431 g g^{-1} su içeriği)

Ağırlık esasına göre % 22.21 nem içeren ve farklı hacim ağırlığı seviyelerinde sıkıştırılan toprak örneklerinin PD değerleri Tablo 4.4' de verilmiştir. Toprak örneklerinin PD ile hacim ağırlığı değerleri ile benzer şekilde artış göstermiştir. PD ile hacim ağırlığı değişimi arasında önemli (R^2=0.994; p<0.000), pozitif üssel bir ilişki belirlenmiştir (Grafik 4.4). Ağırlık esasına göre %22.21 nem içeren siltli kil tekstüre sahip bir toprakta kök gelişiminin olumsuz etkilemeye başladığı 2 MPa sınırına 1.22 g cm^{-3} hacim ağırlığı değerinde ulaşılmış ayrıca kök gelişiminin durduğu 3 MPa sınırına ise 1.29 g cm^{-3} hacim ağırlığı değerinde ulaşılmıştır. Proktor testi ile belirlenen maksimum hacim ağırlığı (1.46 g cm^{-3}) değerine yakın sıkıştırmanın uygulandığı en yüksek hacim ağırlığı seviyelerinde (1.45 ve 1.35 g cm^{-3}) PD değeri kök gelişiminin durduğu 3 MPa sınırını aşmış, sırasıyla 6.282 ve 4.396 MPa PD ölçülmüştür. Ayrıca 1.25 g cm^{-3} seviyesinde sıkıştırılan örnekte ise kök gelişiminin etkilenmeye başladığı 2 MPa sınırını aşmış, 2.396 MPa penetrasyon direnci ölçülmüştür. Diğer sıkıştırma seviyelerinde (1.05 ve 1.15 g cm^{-3} hacim ağırlıklarında) ise PD değerleri kök gelişiminin etkilenmeye başlandığı 2 MPa sınırının altında çıkmıştır.

Tablo 4.4: Hacim ağırlığı ve penetrasyon direnci değerleri (0.2221 g g^{-1} su içeriğinde)

Hacim ağırlığı (g cm^{-3})	Penetrasyon Direnci (MPa)
1.05	0.796
1.15	1.396
1.25	2.396
1.35	4.396
1.45	6.282

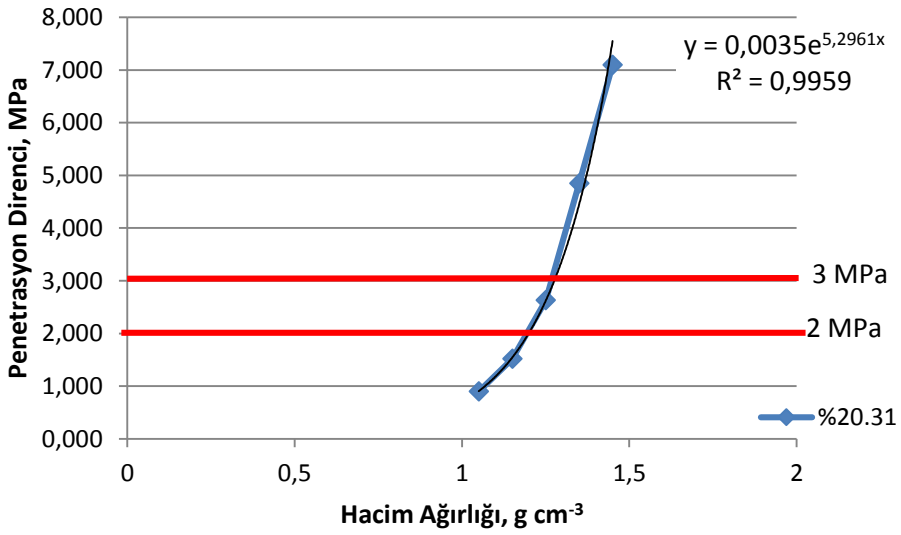


Grafik 4.4: Hacim ağırlığına bağlı penetrasyon direncinin değişimi (0.2221 g g^{-1} su içeriğinde)

Ağırlık esasına göre % 20.31 nem içeren ve farklı hacim ağırlığı seviyelerinde sıkıştırılan toprak örneklerinin PD değerleri Tablo 4.5' de verilmiştir. Toprak örneklerinin PD ile hacim ağırlığı değerleri ile benzer şekilde artış göstermiştir. PD ile hacim ağırlığı değişimi arasında önemli (R^2=0.995; p<0.000), pozitif üssel bir ilişki belirlenmiştir (Grafik 4.5). Ağırlık esasına göre % 20.31 nem içeren siltli kil tekstüre sahip bir toprakta kök gelişiminin olumsuz etkilenmeye başladığı 2 MPa sınırına 1.20 g cm^{-3} hacim ağırlığı değerinde ulaşılmış ayrıca kök gelişiminin durduğu 3 MPa sınırına ise 1.27 g cm^{-3} hacim ağırlığı değerinde ulaşılmıştır. Proktor testi ile belirlenen maksimum hacim ağırlığı (1.46 g cm^{-3}) değerine yakın sıkıştırmanın uygulandığı en yüksek hacim ağırlığı seviyelerinde (1.45 ve 1.35 g cm^{-3}) PD değeri kök gelişiminin durduğu 3 MPa sınırını aşmış, sırasıyla 7.096 ve 4.845 MPa PD ölçülmüştür. Ayrıca 1.25 g cm^{-3} seviyesinde sıkıştırılan örnekte ise kök gelişiminin etkilenmeye başladığı 2 MPa sınırını aşmış, 2.628 MPa PD ölçülmüştür. Diğer sıkıştırma seviyelerinde (1.05 ve 1.15 g cm^{-3} hacim ağırlıklarında) ise PD değerleri kök gelişiminin etkilenmeye başlandığı 2 MPa sınırının altında çıkmıştır.

Tablo 4.5: Hacim ağırlığı ve penetrasyon direnci değerleri (0.2031 g g^{-1} su içeriği)

Hacim ağırlığı (g cm^{-3})	Penertasyon Direnci (MPa)
1.05	0.898
1.15	1.516
1.25	2.628
1.35	4.845
1.45	7.096

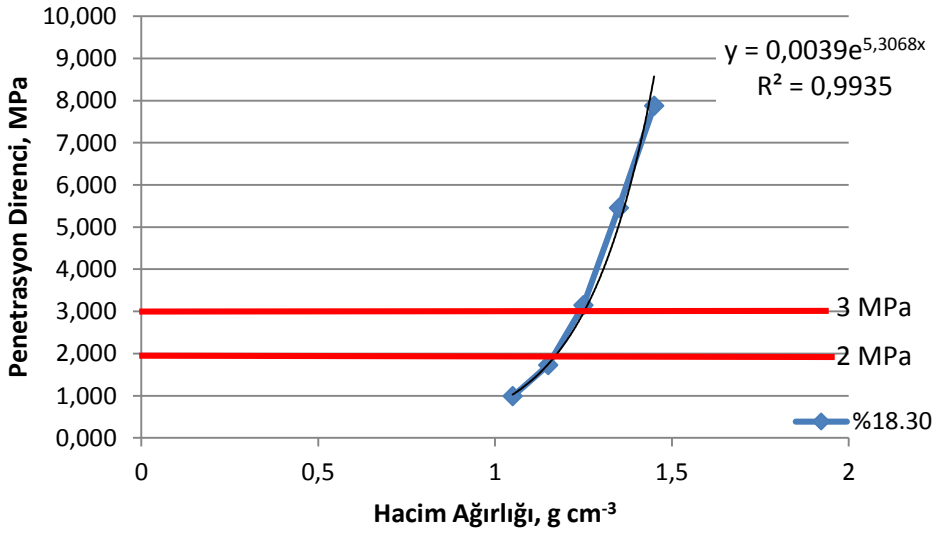


Grafik 4.5: Hacim ağırlığına bağlı penetrasyon direncinin değişimi (0.2031 g g^{-1} su içeriğinde)

Ağırlık esasına göre % 18.30 nem içeren ve farklı hacim ağırlığı seviyelerinde sıkıştırılan toprak örneklerinin PD değerleri Tablo 4.6'da verilmiştir. Toprak örneklerinin PD değeri, hacim ağırlığı değerleri ile benzer şekilde artış göstermiş, PD ile hacim ağırlığı değişimi arasında önemli (R^2=0.993; p<0.000), pozitif üssel bir ilişki belirlenmiştir (Grafik 4.6). Ağırlık esasına göre %18.30 nem içeren siltli kil tekstüre sahip bir toprakta kök gelişiminin olumsuz etkilenmeye başladığı 2 MPa sınırına 1.17 g cm^{-3} hacim ağırlığı değerinde ulaşılmış ayrıca kök gelişiminin durduğu 3 MPa sınırına ise 1.25 g cm^{-3} hacim ağırlığı değerinde ulaşılmıştır. Proktor testi ile belirlenen maksimum hacim ağırlığı (1.46 g cm^{-3}) değerine yakın sıkıştırmanın uygulandığı en yüksek hacim ağırlığı seviyelerinde (1.45-1.35 ve 1.25 g cm^{-3}) PD değeri kök gelişiminin durduğu 3 MPa sınırını aşmış, sırasıyla 7.879. 5.457 ve 3.146 MPa PD ölçülmüştür. Diğer sıkıştırma seviyelerinde (1.05 ve 1.15 g cm^{-3} hacim ağırlıklarında) ise PD değerleri kök gelişiminin etkilenmeye başlandığı 2 MPa sınırının altında çıkmıştır.

Tablo 4.6: Hacim ağırlığı ve penetrasyon direnci değerleri (0.1830 g g^{-1} su içeriğinde)

Hacim ağırlığı (g cm^{-3})	Penetrasyon Direnci (MPa)
1.05	0.987
1.15	1.724
1.25	3.146
1.35	5.457
1.45	7.879



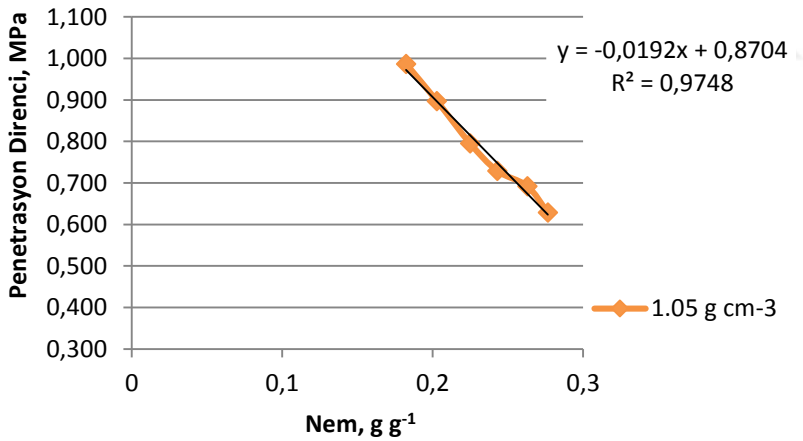
Grafik 4.6: Hacim ağırlığına bağlı penetrasyon direncinin değişimi (0.1830 g g^{-1} su içeriğinde)

4.3.2. Toprak neminin penetrasyon direncine etkisi

Farklı nemlerde, hacim ağırlığı 1.05 g cm^{-3} olacak şekilde sıkıştırılan toprak örneklerinin toprak nemine bağlı PD değerleri Tablo 4.7' de verilmiştir. Toprak örneklerinin nem içerikleri arttıkça PD değerleri düşmüştür. PD ile nem içeriği arasında önemli (R^2=0.974; p<0.000), negatif lineer bir ilişki belirlenmiştir (Grafik 4.7). Hacim ağırlığı 1.05 g cm^{-3} olacak şekilde sıkıştırılan toprak örneklerinin penetrasyon direnci değerleri, ölçüm yapılan tüm nem içeriklerinde (% 18.23, % 20.27, % 22.48, % 24.28, % 26.28 ve % 27.65), kök gelişiminin etkilenmeye başladığı 2 MPa sınırının altında çıkmıştır.

Tablo 4.7: Nem içeriği ve penetrasyon direnci değerleri (Pb: 1.05 g cm^{-3})

Nem İçeriği (g g^{-1})	Penetrasyon Direnci (MPa)
0.2765	0.629
0.2628	0.693
0.2428	0.729
0.2248	0.796
0.2027	0.898
0.1823	0.987

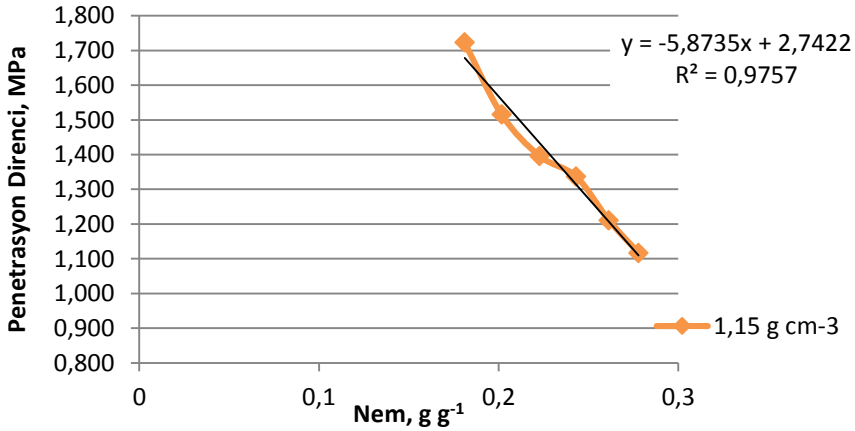


Grafik 4.7: Nem içeriğine bağlı penetrasyon direncinin değişimi (Pb: 1.05 g cm^{-3})

Farklı nemlerde, hacim ağırlığı 1.15 g cm^{-3} olacak şekilde sıkıştırılan toprak örneklerinin, toprak nemine bağlı PD değerleri Tablo 4.8' de verilmiştir. PD ile nem içeriği arasında önemli (R^2=0.975; p<0.000) negatif lineer bir ilişki belirlenmiştir (Grafik 4.8). Hacim ağırlığı 1.15 g cm^{-3} olacak şekilde sıkıştırılan toprak örneklerinin PD değerleri, ölçüm yapılan tüm nem içeriklerinde (% 18.11, % 20.17, % 22.28, % 24.31, % 26.13 ve % 27.79) 1.05 g cm^{-3} hacim ağırlığına göre artmakla birlikte, kök gelişiminin etkilenmeye başladığı 2 MPa sınırının altında çıkmıştır.

Tablo 4.8: Nem içeriği ve penetrasyon direnci değerleri (Pb: 1.15 g cm^{-3})

Nem İçeriği (g g^{-1})	Penetrasyon Direnci (MPa)
0.2779	1.117
0.2613	1.211
0.2431	1.337
0.2228	1.396
0.2017	1.516
0.1811	1.724

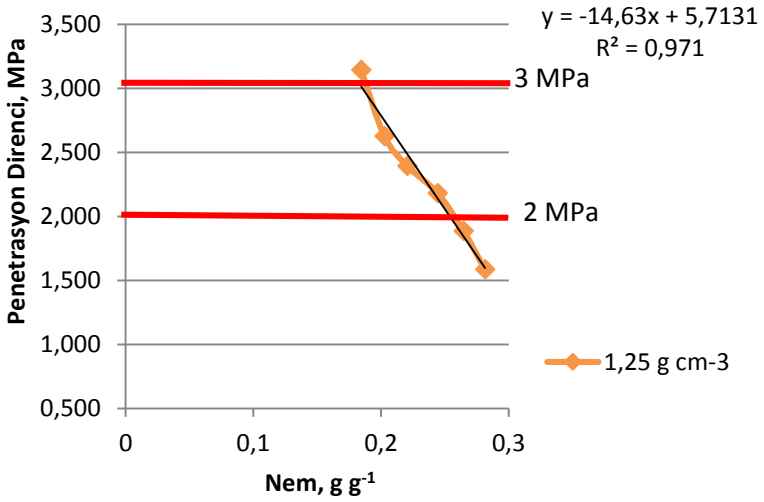


Grafik 4.8: Nem içeriğine bağlı penetrasyon direncinin değişimi (Pb: 1.15 g cm^{-3})

Farklı nemlerde, hacim ağırlığı 1.25 g cm^{-3} olacak şekilde sıkıştırılan toprak örneklerinin, toprak nemine bağlı PD değerleri Tablo 4.9' de verilmiştir. PD ile nem içeriği arasında önemli (R^2=0.971; p<0.000) negatif lineer bir ilişki belirlenmiştir (Grafik 4.9). Hacim ağırlığı 1.25 g cm^{-3} olacak şekilde sıkıştırılan toprak örneklerinin % 25.38 nem değerinin altındaki nemlerde kök gelişiminin olumsuz etkilendiği 2 MPa sınır değeri ulaşılmış ayrıca kök gelişiminin durduğu 3 MPa sınır değerine ise % 18.54 nem değerinin altındaki değerlerde olduğu belirlenmiştir. PD değerleri, ölçüm yapılan tüm nem içeriklerinde (% 18.44, % 20.27, % 22.04, % 24.43, % 26.47 ve % 28.14), % 20.27 ve % 22.04 nemlerde kök gelişiminin etkilenmeye başladığı 2 MPa sınırının aşmış ve sırasıyla 2.628. 2.396 MPA olarak ölçülmüştür. Ayrıca % 18.44 nem değerinde kök gelişiminin durduğu 3MPa değerinin üstünde, 3.146 MPa olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.9: Nem içeriği ve penetrasyon direnci değerleri (Pb=1,25 g cm^{-3})

Nem İçeriği (g g^{-1})	Penetrasyon Direnci (MPa)
0.2814	1.587
0.2647	1.887
0.2443	2.183
0.2204	2.396
0.2027	2.628
0.1844	3.146

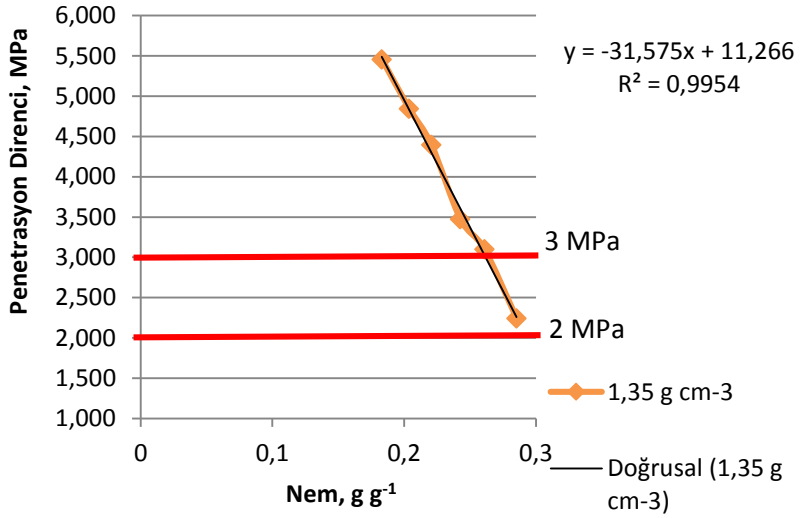


Grafik 4.9: Nem içeriğine bağlı penetrasyon direncinin değişimi (Pb: 1.25 g cm^{-3})

Farklı nemlerde, hacim ağırlığı 1.35 g cm^{-3} olacak şekilde sıkıştırılan toprak örneklerinin, toprak nemine bağlı PD değerleri Tablo 4.10' de verilmiştir. PD ile nem içeriği arasında önemli (R^2=0.995; p<0.000) negatif lineer bir ilişki belirlenmiştir (Grafik 4.10). Hacim ağırlığı 1.35 g cm^{-3} olacak şekilde sıkıştırılan toprak örneklerinin % 29.35 nem değerinin altındaki nemlerde kök gelişiminin olumsuz etkilendiği 2 MPa sınır değeri ulaşılmış ayrıca kök gelişiminin durduğu 3 MPa sınır değerine ise % 26.18 nem değerinin altındaki değerlerde olduğu belirlenmiştir. PD değerleri, % 28.53 nemde kök gelişiminin etkilenmeye başladığı 2 MPa sınırının üzerinde çıkmış olup 2.243 MPa olarak ölçülmüştür. Diğer % 18.30, % 20.37, % 22.06, % 24.26 ve % 26.09 nem içeriklerinde ise kök gelişiminin durduğu 3 MPa değerinin üzerinde çıkmış olup sırasıyla 5.457, 4.845, 4.396, 3.475 ve 3.100 MPa olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.10: Nem içeriği ve penetrasyon direnci değerleri (Pb:1.35 g cm^{-3})

Nem İçeriği (g g^{-1})	Penetrasyon Direnci (MPa)
0.2853	2.243
0.2609	3.100
0.2426	3.475
0.2206	4.396
0.2037	4.845
0.1830	5.457

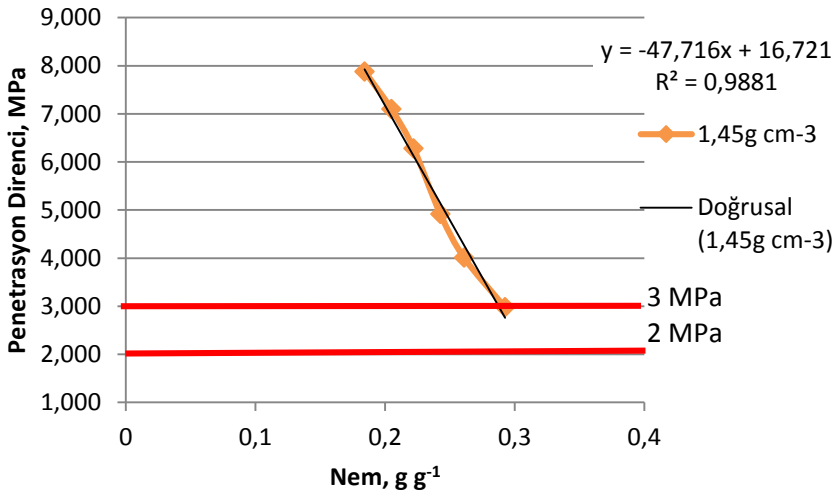


Grafik 4.10: Nem içeriğine bağlı penetrasyon direncinin değişimi (Pb: 1.35 g cm^{-3})

Farklı nemlerde, hacim ağırlığı 1.45 g cm^{-3} olacak şekilde sıkıştırılan toprak örneklerinin, toprak nemine bağlı PD değerleri Tablo 4.11' de verilmiştir. PD ile nem içeriği arasında önemli (R^2=0.988; p<0.000) negatif lineer bir ilişki belirlenmiştir (Grafik 4.11). Hacim ağırlığı 1.45 g cm^{-3} olacak şekilde sıkıştırılan toprak örneklerinin % 30.84 nem değerinin altındaki nemlerde kök gelişiminin olumsuz etkilendiği 2 MPa sınır değeri ulaşılmış ayrıca kök gelişiminin durduğu 3 MPa sınır değerine ise % 28.75 nem değerinin altındaki değerlerde olduğu belirlenmiştir. PD değerleri, % 29.26 nem değerinde kök gelişiminin durduğu 3 MPa değerine yaklaşmıştır ve kök gelişiminin sınırlandırıldığı 2 MPa değerini aşmış olup, 2.977 MPa olarak ölçülmüştür. Diğer tüm nem değerlerinde, % 18.43, % 20.49, % 22.20, % 24.27 ve % 26.11 nem içeriklerinde kök gelişiminin durduğu 3 MPa sınır değerinin üzerinde, sırasıyla 7.879, 7.096, 6.282, 4.918 ve 4.007 MPa olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.11: Nem içeriği ve penetrasyon direnci değerleri (Pb:1.45 g cm^{-3})

Nem İçeriği (g g^{-1})	Penetrasyon Direnci (MPa)
29.26	2.977
26.11	4.007
24.27	4.918
22.20	6.282
20.49	7.096
18.43	7.879



Grafik 4.11: Nem içeriğine bağlı penetrasyon direncinin değişimi (Pb: 1.45 g cm^{-3})

4.3.3.Toprak sıkışmasının rutubet karakteristik eğrisine etkisi

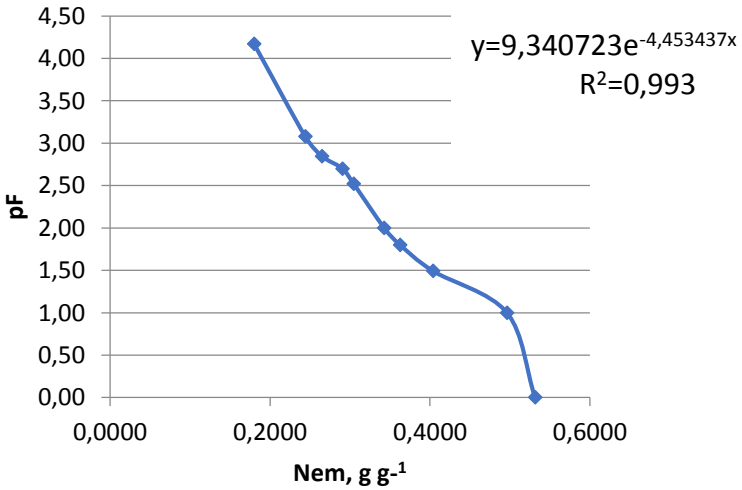
4.3.3.1 Gravimetrik su içeriği ve pF arasındaki ilişki

Hacim ağırlığı 1.05 g cm^{-3} olan toprak örneğinin, gravimetrik su içeriği kullanılarak hesaplanan pF eğrisi Grafik 4.12' de gösterilmiştir. Sıkıştırma uygulanan örneklerin nem içerikleri ve bunlara karşılık gelen pF değerleri 4.13 ve 2.65 arasında değişiklik göstermiştir (Tablo 4.12). Toprak örneği 0.1830 g g^{-1} nem içeriği 4.13 pF' lik tansiyon oluştururken 0.2827 g g^{-1} nem içeriği 2.65 pF' lik tansiyon oluşturmuştur. Solma noktası ile tarla kapasitesine yakın bir nem içeriği aralığında sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Elde edilen modelden hesaplanarak, tarla kapasitesindeki nem değerinde (0.3427 g g^{-1} nemde) 2.03 pF tansiyon oluşturulduğu belirlenmiştir.

Hacim ağırlığı 1.05 g cm^{-3} olan örneklerin pF ile gravimetrik nem içerikleri arasındaki ilişki Grafik 4.12' te verilmiştir, aralarında önemli (R^2=0.993; p<0.000) exponansiyel bir ilişki belirlenmiştir.

Tablo 4.12: 1.05 g cm^{-3} hacim ağırlığında hesaplanan pF değerleri

Nem (g g^{-1})	pF
0.1830	4.13
0.2031	3.78
0.2221	3.47
0.2431	3.16
0.2622	2.91
0.2827	2.65



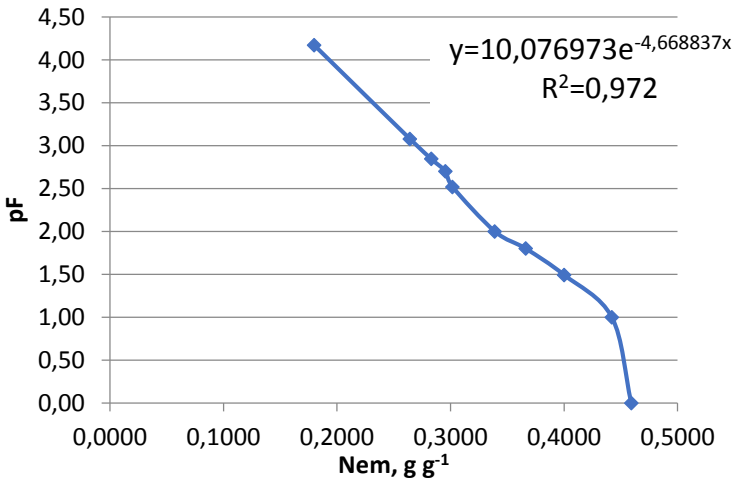
Grafik 4.12: 1.05 g cm^{-3} hacim ağırlığına sahip örneğin rutubet karakteristik eğrisi

Hacim ağırlığı 1.15 g cm^{-3} olan toprak örneğinin, gravimetrik su içeriği kullanılarak hesaplanan pF eğrisi Grafik 4.13' de gösterilmiştir. Sıkıştırma uygulanan örneklerin nem içerikleri ve bunlara karşılık gelen pF değerleri 4.29 ve 2.69 arasında değişiklik göstermiştir (Tablo 4.13). Toprak örneği 0.1830 g g^{-1} nem içeriği 4.29 pF' lik tansiyon oluştururken 0.2827 g g^{-1} nem içeriği 2.69 pF' lik tansiyon oluşturmuştur. Solma noktası ile tarla kapasitesine yakın bir nem içeriği aralığında bir tansiyon değerinde sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Elde edilen modelden hesaplanarak, tarla kapasitesindeki nem değerinde (0.3427 g g^{-1} nemde) 2.03 pF tansiyon oluşturulduğu belirlenmiştir.

Hacim ağırlığı 1.15 g cm^{-3} olan örneklerin pF ile Gravimetrik nem içerikleri arasındaki ilişki Grafik 4.13' te verilmiştir, aralarında önemli (R^2=0.972; p<0.000) exponansiyel bir ilişki belirlenmiştir.

Tablo 4.13: 1.15 g cm^{-3} hacim ağırlığında hesaplanan pF değerleri

Nem (g g^{-1})	pF
0.1830	4.29
0.2031	3.90
0.2221	3.57
0.2431	3.24
0.2622	2.96
0.2827	2.69



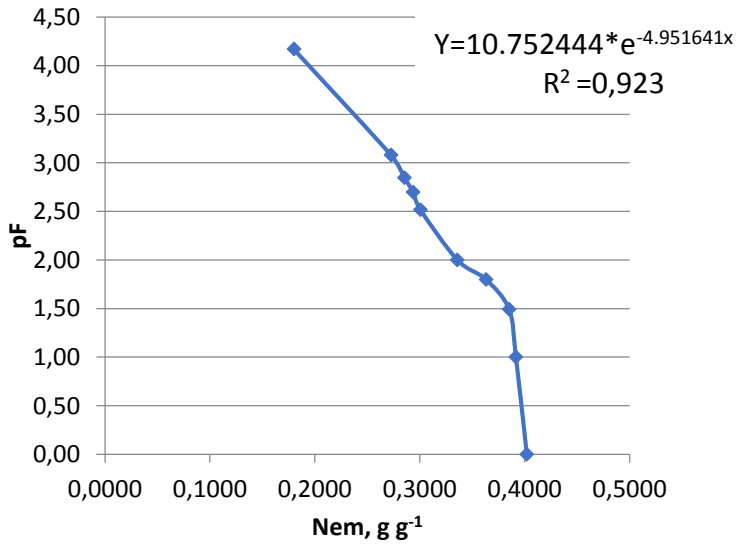
Grafik 4.13: 1.15 g cm^{-3} hacim ağırlığına sahip örneğin rutubet karakteristik eğrisi

Hacim ağırlığı 1.25 g cm^{-3} olan toprak örneğinin, gravimetrik su içeriği kullanılarak hesaplanan pF eğrisi Grafik 4.14' de gösterilmiştir. Sıkıştırma uygulanan örneklerin nem içerikleri ve bunlara karşılık gelen pF değerleri 4.34 ve 2.65 arasında değişiklik göstermiştir (Tablo 4.14). Toprak örneği 0.1830 g g^{-1} nem içeriği 4.34 pF' lik tansiyon oluştururken 0.2827 g g^{-1} nem içeriği 2.65 pF' lik tansiyon oluşturmuştur. Solma noktası ile tarla kapasitesine yakın bir nem içeriği aralığındaki bir tansiyon değerinde sıkıştırma işlemi yapılmıştır ve tarla kapasitesi 0.3427 g g^{-1} nemde 1.97 pF tansiyon değerini oluşturmuştur.

Hacim ağırlığı 1.25 g cm^{-3} olan örneklerin pF ile gravimetrik nem içerikleri arasındaki ilişki Grafik4.14' te sunulmuş olup, aralarında önemli (R^2=0.923; p<0.000) exponansiyel bir ilişki belirlenmiştir.

Tablo 4.14: 1.25 g cm^{-3} hacim ağırlığında hesaplanan pF değerleri

Nem (g g^{-1})	pF
0.1830	4.34
0.2031	3.93
0.2221	3.58
0.2431	3.23
0.2622	2.94
0.2827	2.65



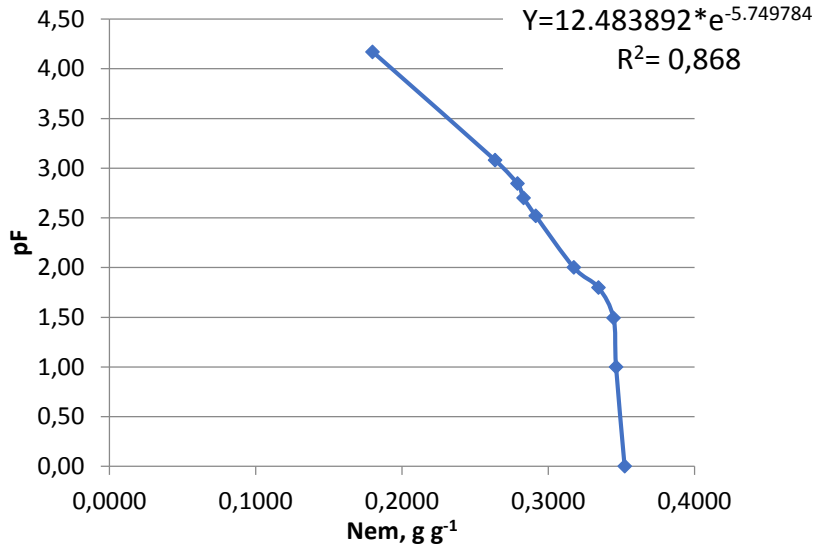
Grafik 4.14: 1.25 g cm^{-3} hacim ağırlığına sahip örneğin rutubet karakteristik eğrisi

Hacim ağırlığı 1.35 g cm^{-3} olan toprak örneğinin, gravimetrik su içeriği kullanılarak hesaplanan pF eğrisi Grafik 4.15' de gösterilmiştir. Sıkıştırma uygulanan örneklerin nem içerikleri ve bunlara karşılık gelen pF değerleri 4.36 ve 2.46 arasında değişiklik göstermiştir (Tablo 4.15). Toprak örneği 0.1830 g g^{-1} nem içeriği 4.36 pF' lik tansiyon oluştururken 0.2827 g g^{-1} nem içeriği 2.46 pF' lik tansiyon oluşturmuştur. Solma noktası ile tarla kapasitesine yakın bir nem içeriği aralığında bir tansiyon değerinde sıkıştırma işlemi yapılmıştır ve tarla kapasitesi (0.3427 g g^{-1}) neminde 1.74 pF tansiyon değeri oluşturmuştur.

Hacim ağırlığı 1.25 g cm^{-3} olan örneklerin pF ile gravimetrik nem içerikleri arasındaki ilişki Grafik4.15' tedir. Aralarında önemli (R^2=0.868; p<0.000) exponansiyel bir ilişki belirlenmiştir.

Tablo 4.15: 1.35 g cm^{-3} hacim ağırlığında hesaplanan pF değerleri

Nem (g g^{-1})	pF
0.1830	4.36
0.2031	3.88
0.2221	3.48
0.2431	3.09
0.2622	2.76
0.2827	2.46



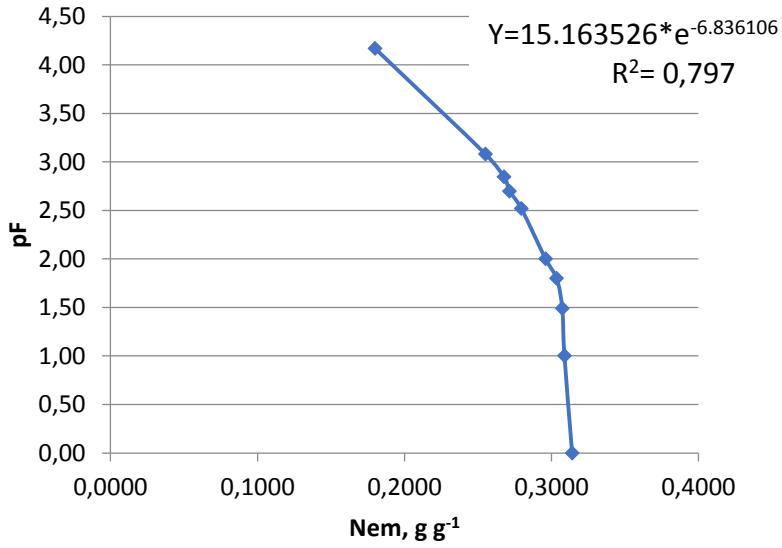
Grafik4.15: 1.35 g cm^{-3} hacim ağırlığına sahip örneğin rutubet karakteristik eğrisi

Hacim ağırlığı 1.45 g cm^{-3} olan toprak örneğinin, gravimetrik su içeriği kullanılarak hesaplanan pF eğrisi Grafik 4.16' de gösterilmiştir. Sıkıştırma uygulanan örneklerin nem içerikleri ve bunlara karşılık gelen pF değerleri 4.34 ve 2.20 arasında değişiklik göstermiştir (Tablo 4.16). Toprak örneği 0.1830 g g^{-1} nem içeriği 4.34 pF' lik tansiyon oluştururken 0.2827 g g^{-1} nem içeriği 2.20 pF' lik tansiyon oluşturmuştur. Solma noktası ile tarla kapasitesine yakın bir nem içeriği aralığında bir tansiyon değerinde sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Tarla kapasitesi 0.3427 g g^{-1} nemde 1.45 pF tansiyon oluşturmaktadır.

Hacim ağırlığı 1.45 g cm^{-3} olan örneklerin pF ile grravimetrik nem içerikleri arasındaki ilişki Grafik4.16' te verilmiştir, aralarında önemli (R^2=0.868; p<0.000) exponansiyel bir ilişki belirlenmiştir.

Tablo 4.16: 1.45 g cm^{-3} hacim ağırlığında hesaplanan pF değerleri

Nem (g g^{-1})	pF
0.1830	4.34
0.2031	3.78
0.2221	3.32
0.2431	2.88
0.2622	2.53
0.2827	2.20



Grafik 4.16: 1.45 g cm^{-3} hacim ağırlığına sahip örneğin rutubet karakteristik eğrisi

Farklı hacim ağırlıkları ve pF değerlerinde örneklerin gravimetrik nem içerikleri Tablo 4.17 ve Grafik 4.17' de verilmiştir. Buna göre hacim ağırlığı artışı ağırlık esasına göre toprakta tutulan su miktarını azaltmış, rutubet karakteristik eğrisinin eğimini değiştirmiştir. Islak bölgeden kuru bölgeye bu eğri üzerinde ilerlendiğinde, eğrinin eğim değişim noktası örneklerin hava giriş değerini vermektedir. Sıkıştırma, toprak örneğinin hava giriş değerini yükseltmiş ve havalanma kapasitesini azaltmıştır. Toprak örneği 1.05 g cm^{-3} hacim ağırlığında doygunluk düzeyinde 0.5314 g g^{-1} nem içerirken hacim ağırlığı arttıkça bu değer 1.15 g cm^{-3}'te 0.4593 g g^{-1}, 1.25 g cm^{-3}'te 0.4019 g g^{-1}, 1.35 g cm^{-3}' te 0.3523 g g^{-1} ve 1.45 g cm^{-3}' te ise 0.3141 g g^{-1} nem değerini göstermiştir. Dolayısıyla toprağımızın doygunlukta tutabildiği maksimum su miktarı toprak sıkışmasına bağlı olarak azalmıştır. Bu azalış düşük tansiyonda (doygunlukta) tutulan nemler arasında büyük farklılıklar oluşurken, yüksek tansiyonlarda bu aradaki farklılık azalmıştır, değerler arasındaki fark giderek kapanmıştır.

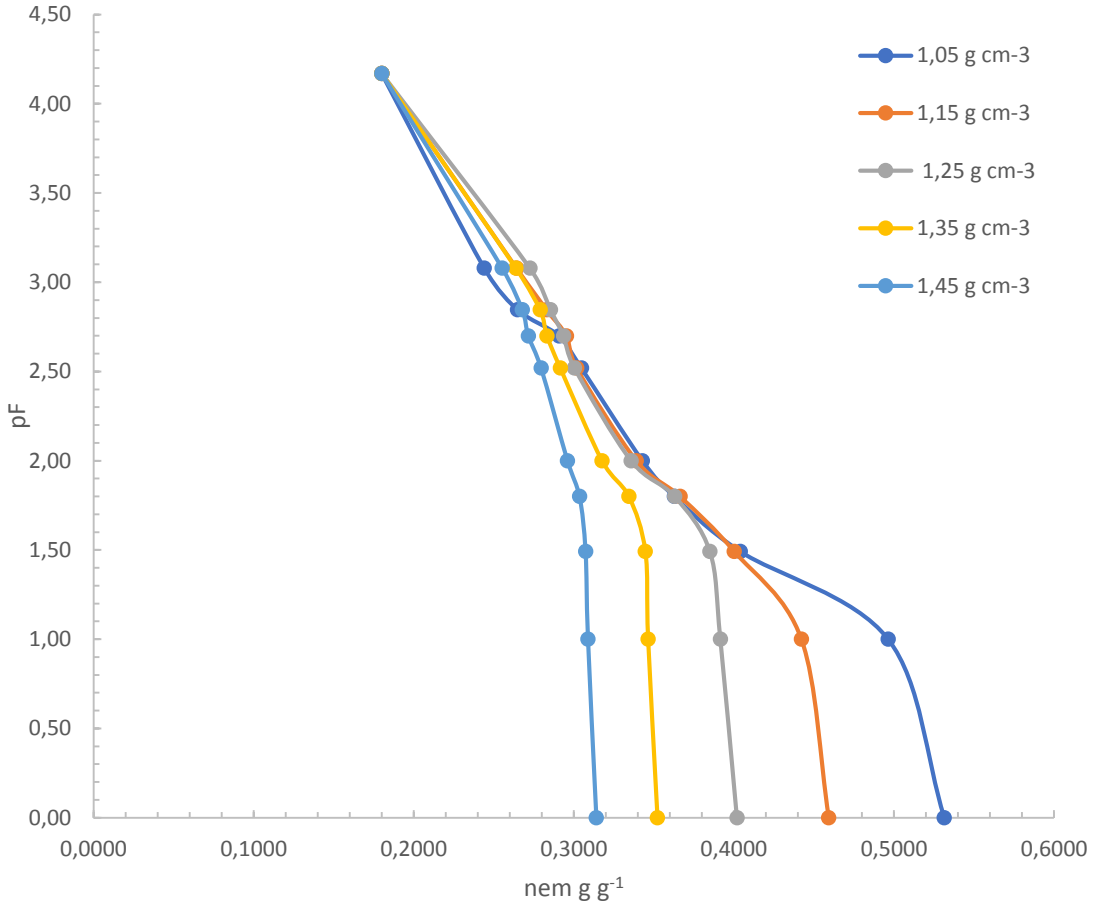
Grafik 4.17' de makro gözeneklerin, hacim ağırlığının artmasıyla birlikte azaldığı ve orta gözenek miktarına yaklaştığı belirlenmiştir. Bu değer solma noktasına yaklaşıldığında strüktürün etkisi kaybolduğu için tekstürden dolayı aynı değere ulaşmıştır.

Tablo 4.17:Farklı hacim ağırlıklarında ve farklı tansiyonlarda ölçülen gravimetrik su içeriği değerleri(g g^{-1})

pF	1.05 g cm^{-3}	1.15 g cm^{-3}	1.25 g cm^{-3}	1.35 g cm^{-3}	1.45 g cm^{-3}
0	0.5314±0.0033^{a}*	0.4593±0.0113^{b}	0.4019±0.0037^{c}	0.3523±0.0056^{d}	0.3141±0.0018^{e}
1.00	0.4963±0.0121^{a}	0.4422±0.0129^{b}	0.3916±0.0040^{c}	0.3464±0.0036^{d}	0.3089±0.0007^{e}
1.49	0.4040±0.0129^{a}	0.4003±0.0005^{a}	0.3851±0.0068^{b}	0.3447±0.0038^{c}	0.3073±0.0011^{d}
1.80	0.3628±0.0037^{a}	0.3663±0.0012^{a}	0.3630±0.0049^{a}	0.3344±0.0052^{b}	0.3036±0.0014^{c}
2.00	0.3429±0.0005^{a}	0.3391±0.0010^{b}	0.3358±0.0029^{b}	0.3176±0.0033^{c}	0.2960±0.0017^{d}
2.52	0.3048±0.0090^{a}	0.3018±0.0055^{ab}	0.3005±0.0196^{bc}	0.2916±0.0025^{bc}	0.2796±0.0015^{c}
2.70	0.2908±0.0107^{a}	0.2955±0.0042^{a}	0.2936±0.0043^{a}	0.2833±0.0013^{ab}	0.2716±0.0014^{b}
2.85	0.2649±0.0095^{c}	0.2830±0.0034^{a}	0.2855±0.0020^{ab}	0.2790±0.0011^{bc}	0.2678±0.0019^{c}
3.08	0.2440±0.0092^{b}	0.2642±0.0006^{a}	0.2726±0.0008^{a}	0.2638±0.0019^{a}	0.2552±0.0064^{ab}
4.17	0.1830±0.0000$^{ö.d.}$	0.1830±0.0000$^{ö.d.}$	0.1830±0.0000$^{ö.d.}$	0.1830±0.0000$^{ö.d.}$	0.1830±0.0000$^{ö.d.}$

*; Her bir satırdaki uygulamaların kendi içinde Tukey testine göre gruplandırılması. Aynı harflerle gösterilen değerler arasında $p<0.01$ arasındaki farklılık önemsizdir.

Farklı hacim ağırlıklarında ve farklı tansiyonlarda tutulan toprak örneğinin gravimetrik su içerikleri ve yapılan istatistik sonuçları Tablo 4.17'de verilmiştir. Doygunluk değeri olan pF 0 ve 1.00 değerlerinde, farklı hacim ağırlıklarında toprakların, gravimetrik su içeriklerinde ki değişkenliklerin istatistiki olarak birbirine benzer sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Hacim ağırlığı artışına bağlı olarak gravimetrik su içerikleri değeri düşmüştür. pF değeri arttıkça, artan hacim ağırlığı değerlerinde, iri gözeneklerin miktarının giderek azaldığı ve küçük gözeneklerin miktarının arttığı görülmüştür.



Grafik 4.17: Farklı hacim ağırlığına sahip örneklerin rutubet karakteristik eğrisi.

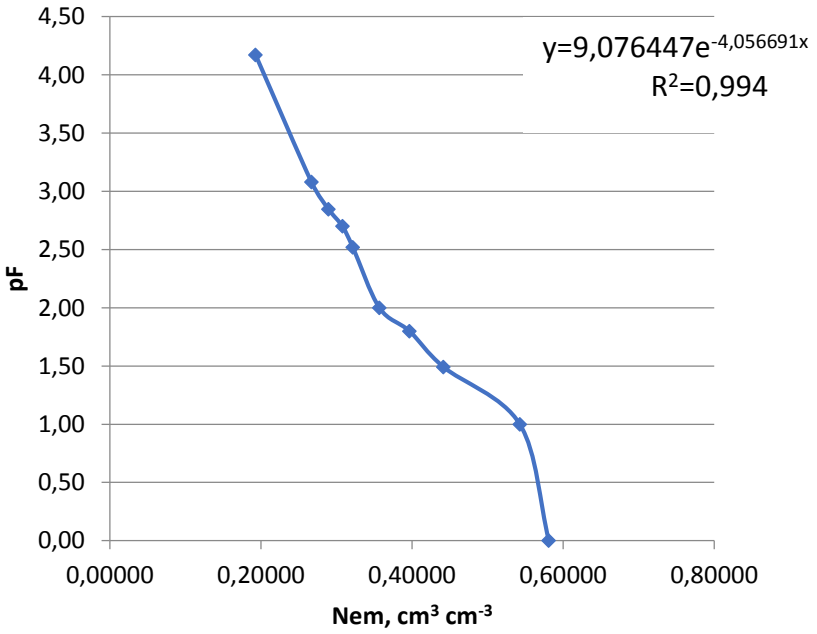
4.3.3.2 Hacimsel su içeriği ve pF arasındaki ilişki

Hacim ağırlığı 1.05 g cm^{-3} olan toprak örneğinin, hacimsel su içeriği kullanılarak hesaplanan pF eğrisi Grafik 4.18' de gösterilmiştir. Sıkıştırma uygulanan örneklerin nem içerikleri ve bunlara karşılık gelen pF değerleri 4.16 ve 2.72 arasında değişiklik göstermiştir (Tablo 4.18). Toprak örneği 0.1922 cm^3 cm^{-3} nem içeriği 4.16 pF' lik tansiyon oluştururken 0.2968 cm^3 cm^{-3} nem içeriği 2.72 pF' lik tansiyon oluşturmuştur. Solma noktası ile tarla kapasitesine yakın bir nem içeriği aralığında bir tansiyon değerinde sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Elde edilen modelden hesaplanan Tarla kapasitesi tansiyonu 2.52 pF' de 0.3217 cm^3 cm^{-3} nem içermektedir.

Hacim ağırlığı 1.05 g cm^{-3} olan örneklerin pF ile hacimsel su içerikleri arasındaki ilişki Grafik 4.18' te verilmiş olup, aralarında önemli (R^2=0.994; p<0.000) exponansiyel bir ilişki belirlenmiştir.

Tablo 4.18: 1.05 g cm^{-3} hacim ağırlığında hesaplanan pF değerleri (hacimsel)

Nem (cm^3 cm^{-3})	pF
0.1922	4.16
0.2133	3.82
0.2332	3.52
0.2553	3.22
0.2753	2.97
0.2968	2.72



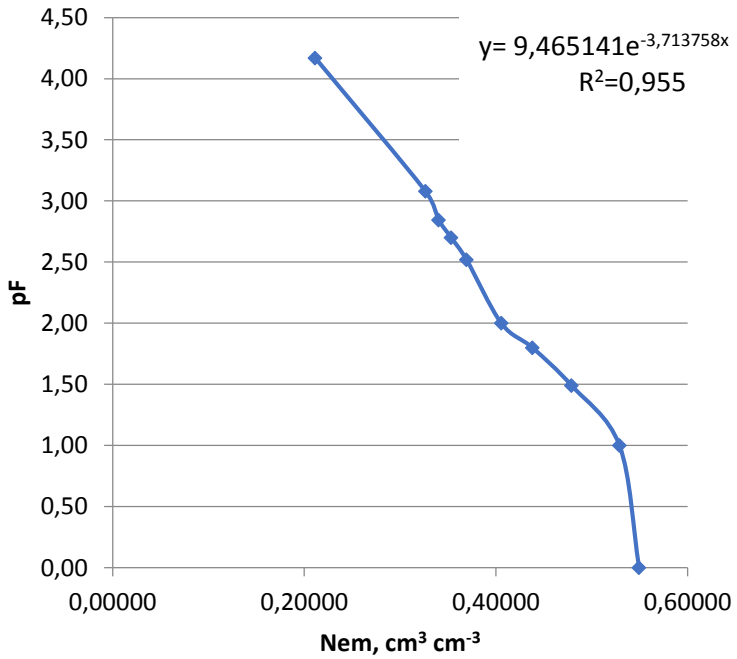
Grafik 4.18: 1.05 g cm^{-3} hacim ağırlığında olan toprağın rutubet karakteristik eğrisi.

Hacim ağırlığı 1.15 g cm^{-3} olan toprak örneğinin, hacimsel su içeriği kullanılarak hesaplanan pF eğrisi Grafik 4.19' de gösterilmiştir. Sıkıştırma uygulanan örneklerin nem içerikleri ve bunlara karşılık gelen pF değerleri 4.33 ve 2.83 arasında değişiklik göstermiştir (Tablo 4.19). Toprak örneği 0.2105 cm^3 cm^{-3} nem içeriği 4.33 pF' lik tansiyon oluştururken 0.3251 cm^3 cm^{-3} nem içeriği 2.83 pF' lik tansiyon oluşturmuştur. Solma noktası ile tarla kapasitesine yakın bir nem içeriği aralığında bir tansiyon değerinde sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Elde edilen formülden hesaplanan, tarla kapasitesi tansiyonu 2.52 pF' de 0.3694 cm^3 cm^{-3} nem içermektedir.

Hacim ağırlığı 1.15 g cm^{-3} olan örneklerin pF ile hacimsel su içerikleri arasındaki ilişki Grafik4.19' te verilmiştir, aralarında önemli (R^2=0.955; p<0.000) exponansiyel bir ilişki belirlenmiştir.

Tablo 4.19: 1.15 g cm^{-3} hacim ağırlığında hesaplanan pF değerleri (hacimsel)

Nem (cm^3 cm^{-3})	pF
0.2105	4.33
0.2336	3.98
0.2554	3.67
0.2796	3.35
0.3015	3.09
0.3251	2.83



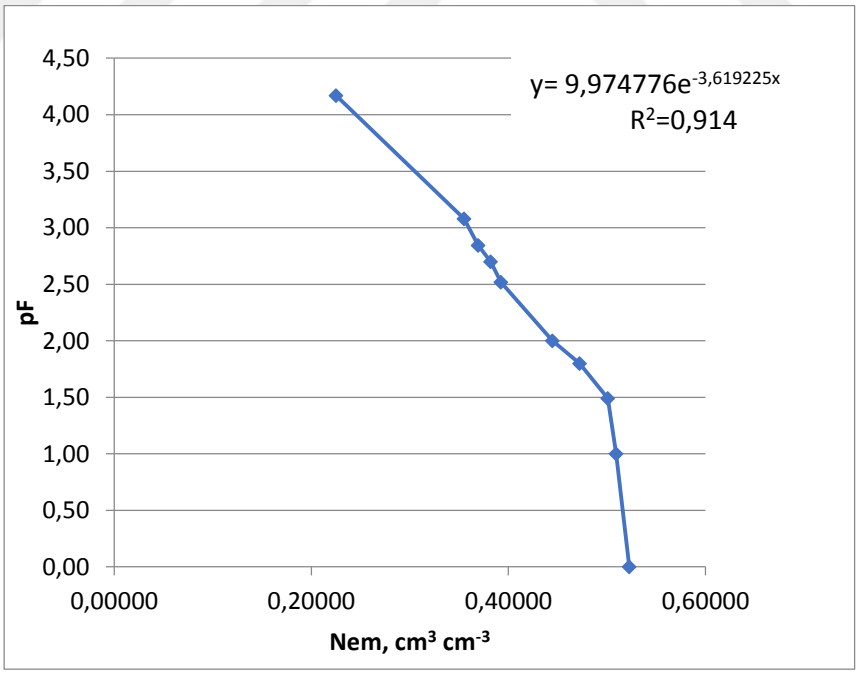
Grafik 4.19: 1.15 g cm^{-3} hacim ağırlığında olan toprağın rutubet karakteristik eğrisi.

Hacim ağırlığı 1.25 g cm^{-3} olan toprak örneğinin, hacimsel su içeriği kullanılarak hesaplanan pF eğrisi Çizelge 4.20' de gösterilmiştir. Sıkıştırma uygulanan örneklerin nem içerikleri ve bunlara karşılık gelen pF değerleri 4.36 ve 2.78 arasında değişiklik göstermiştir (Tablo 4.20). Toprak örneği 0.2288 cm^3 cm^{-3} nem içeriği 4.36 pF' lik tansiyon oluştururken 0.3534 cm^3 cm^{-3} nem içeriği 2.78 pF' lik tansiyon oluşturmuştur. Solma noktası ile tarla kapasitesine yakın bir nem içeriği aralığında bir tansiyon değerinde sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Tarla kapasitesi tansiyonu 2.52 pF' de 0.3925 cm^3 cm^{-3} nem değerindedir.

Hacim ağırlığı 1.25 g cm^{-3} olan örneklerin pF ile ile hacimsel su içeriği içerikleri arasındaki ilişki Grafik4.20' te verilmiştir, aralarında önemli (R^2=0.914; p<0.000) exponansiyel bir ilişki belirlenmiştir.

Tablo 4.20: 1.25 g cm^{-3} hacim ağırlığında hesaplanan pF değerleri(hacimsel)

Nem (cm^3 cm^{-31})	pF
0.2288	4.36
0.2539	3.98
0.2776	3.65
0.3039	3.32
0.3278	3.05
0.3534	2.78



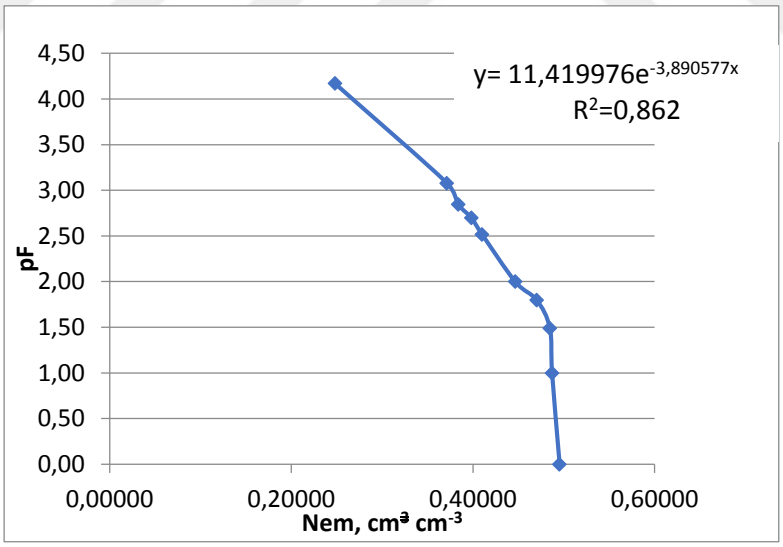
Grafik 4.20: 1.25 g cm^{-3} hacim ağırlığında olan toprağın rutubet karakteristik eğrisi

Hacim ağırlığı 1.35 g cm^{-3} olan toprak örneğinin, hacimsel su içeriği kullanılarak hesaplanan pF eğrisi Çizelge 4.21' de gösterilmiştir. Sıkıştırma uygulanan örneklerin nem içerikleri ve bunlara karşılık gelen pF değerleri 4.37 ve 2.59 arasında değişiklik göstermiştir (Tablo 4.21). Toprak örneği 0.2471 cm^3 cm^{-3} nem içeriği 4.37 pF' lik tansiyon oluştururken, 0.3816 cm^3 cm^{-3} nem içeriği 2.59 pF' lik tansiyon oluşturmuştur. Solma noktası ile tarla kapasitesine yakın bir nem içeriği aralığında bir tansiyon değerinde sıkıştırma işlemi yapılmıştır Tarla kapasitesi tansiyonu 2.52 pF' de 0.4100 cm^3 cm^{-3} nem değerindedir.

Hacim ağırlığı 1.35 g cm^{-3} olan örneklerin pF ile hacimsel su içerikleri arasındaki ilişki Grafik4.21' te verilmiştir, aralarında önemli (R^2=0.862; p<0.000) exponansiyel bir ilişki belirlenmiştir.

Tablo 4.21: 1.35 g cm^{-3} hacim ağırlığında hesaplanan pF değerleri(hacimsel)

Nem (g g^{-1})	pF
0.2471	4.37
0.2742	3.93
0.2998	3.56
0.3282	3.19
0.3540	2.88
0.3816	2.59



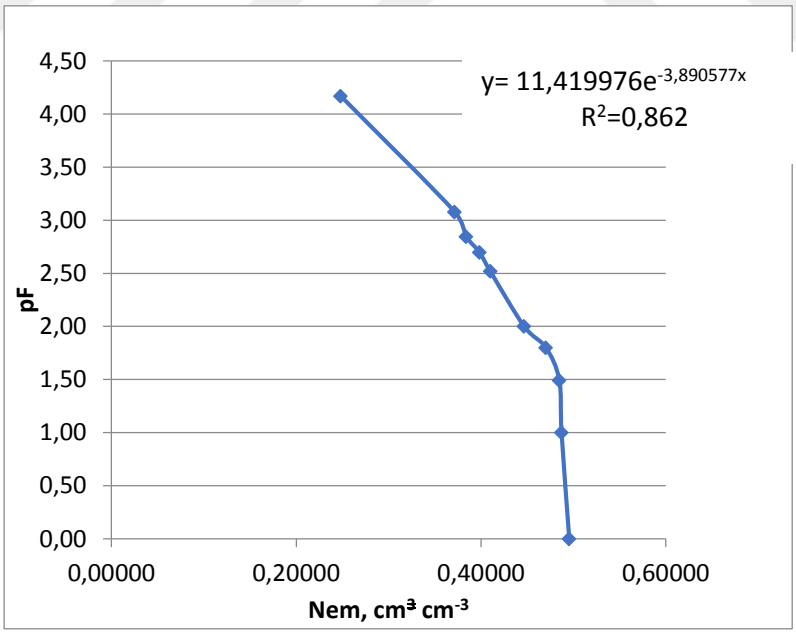
Grafik 4.21: 1.35 g cm^{-3} hacim ağırlığında olan toprağın rutubet karakteristik eğrisi

Hacim ağırlığı 1.45 g cm^{-3} olan toprak örneğinin, hacimsel su içeriği kullanılarak hesaplanan pF eğrisi Çizelge 4.22' de gösterilmiştir. Sıkıştırma uygulanan örneklerin nem içerikleri ve bunlara karşılık gelen pF değerleri 4.35 ve 2.35 arasında değişiklik göstermiştir (Tablo 4.22). Toprak örneği 0.2654 cm^3 cm^{-3} nem içeriği 4.35 pF' lik tansiyon oluştururken 0.4099 cm^3 cm^{-3} nem içeriği 2.35 pF' lik tansiyon oluşturmuştur. Solma noktası ile tarla kapasitesine yakın bir nem içeriği aralığında bir tansiyon değerinde sıkıştırma işlemi yapılmış, tarla kapasitesi tansiyonu 2.52 pF' de 0.4221 cm^3 cm^{-3} nem değerine ulaşılmıştır.

Hacim ağırlığı 1.45 g cm^{-3} olan örneklerin pF ile ile hacimsel su içeriği içerikleri arasındaki ilişki grafik 4.22' te verilmiştir, aralarında önemli (R^2=0.862; p<0.000) exponansiyel bir ilişki belirlenmiştir.

Tablo 4.22: 1.45 g cm^{-3} hacim ağırlığında hesaplanan pF değerleri (hacimsel)

Nem (cm^3 cm^{-3})	pF
0.2654	4.35
0.2945	3.84
0.3220	3.42
0.3525	3.00
0.3802	2.67
0.4099	2.35



Grafik 4.22: 1.45 g cm^{-3} hacim ağırlığında olan toprağın rutubet karakteristik eğrisi

Farklı hacim ağırlıkları ve pF değerlerinde örneklerin hacimsel su içerikleri Tablo 4.23 ve Grafik 4.23' te verilmiştir. Hacim ağırlığındaki artışla birlikte, hacim esasına göre toprakta tutulan su miktarı azalmıştır. Toprak örneği 1.05 g cm^{-3} hacim ağırlığındaki örneğimiz doygunlukta % 58.11 hacimsel su içeriği gösterirken hacim ağırlığı arttıkça bu değer 1.15 g cm^{-3}'te % 54.94, 1.25 g cm^{-3}'te % 52.28, 1.35 g cm^{-3}' te % 49.54 ve 1.45 g cm^{-3}' te ise % 47.42 nem değerini göstermiştir. Dolayısıyla toprağımızın tutabildiği doygunlukta tutabildiği maksimum su miktarı toprak sıkışmasına bağlı olarak azalmıştır.

Tablo 4.23: Farklı hacim ağırlıklarında ve farklı tansiyonlarda ölçülen hacimsel su içeriği

pF	1.05 g cm^{-3}	1.15 g cm^{-3}	1.25 g cm^{-3}	1.35 g cm^{-3}	1.45 g cm^{-3}
0	0.5811 ± 0.0028^{a}*	0.5494 ± 0.0134^{b}	0.5228 ± 0.0053^{c}	0.4954 ± 0.0079^{d}	0.4742 ± 0.0030^{e}
1.00	0.5427 ± 0.0134^{a}	0.5289 ± 0.0153^{ab}	0.5094 ± 0.0057^{bc}	0.4871 ± 0.0051^{cd}	0.4663 ± 0.0010^{d}
1.49	0.4417 ± 0.0010^{d}	0.4788 ± 0.0009^{b}	0.5009 ± 0.0092^{a}	0.4847 ± 0.0053^{b}	0.4640 ± 0.0017^{c}
1.80	0.3967 ± 0.0036^{d}	0.4382 ± 0.0019^{c}	0.4722 ± 0.0068^{a}	0.4702 ± 0.0073^{ab}	0.4583 ± 0.0021^{b}
2.00	0.3568 ± 0.0103^{c}	0.4056 ± 0.0017^{b}	0.4446 ± 0.0079^{a}	0.4466 ± 0.0046^{a}	0.4470 ± 0.0023^{a}
2.52	0.3217 ± 0.0095^{c}	0.3694 ± 0.0070^{b}	0.3925 ± 0.0258^{a}	0.4100 ± 0.0035^{a}	0.4221 ± 0.0020^{a}
2.70	0.3080 ± 0.0114^{d}	0.3534 ± 0.0047^{c}	0.3819 ± 0.0060^{b}	0.3983 ± 0.0019^{ab}	0.4101 ± 0.0018^{a}
2.85	0.2896 ± 0.0102^{e}	0.3402 ± 0.0038^{d}	0.3692 ± 0.0030^{c}	0.3839 ± 0.0017^{b}	0.3981 ± 0.0028^{a}
3.08	0.2669 ± 0.0103^{e}	0.3264 ± 0.0007^{d}	0.3549 ± 0.0015^{c}	0.3714 ± 0.0029^{b}	0.3878 ± 0.0028^{a}
4.17	$0.1929\pm0.000^{e.}$	0.2113 ± 0.0003^{d}	0.2297 ± 0.0005^{c}	0.2481 ± 0.0040^{b}	0.2665 ± 0.0010^{a}

*; Her bir satırdaki uygulamaların kendi içinde Tukey testine göre gruplandırılması. Aynı harflerle gösterilen değerler arasında $p<0.01$ arasındaki farklılık önemsizdir.

Toprak örneklerinin farklı hacim ağırlıklarında ve farklı tansiyonlarda tutulan hacimsel su içerikleri ve Tukey testine göre gruplandırılması Tablo 4.23'de verilmiştir. Buna göre pF 0 değerinde, yani doygunlukta toprak sıkışması arttıkça içerdiği su miktarı düşmüş, pF 1.00 değerinde de aynı durum söz konusu olmuştur. pF 1.49 değerinde, toprağın sıkışmasıyla birlikte makro gözeneklerin azalmasına karşı, artan mikro gözeneklerden dolayı su içeriklerinde dalgalanma olduğu görülmektedir. pF 1.80 değerinde de benzer durumdan bahsedilebilir. pF 0 ile 2.52 değerleri arasındaki fark havalanma gözeneklerine karşılık gelmektedir. Bu aralıkta beş farklı hacim ağırlığındaki havalanma gözenekleri yüzdeleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

Havalanma gözenekleri= pF 0 – pF 2.52

Havalanma gözenekleri değerli Tablo 4.24' de verildiği gibidir.

Tablo 4.24: Hacimsel su içeriği bilinen farklı hacim ağırlıklarındaki örneklerin havalanma gözenekleri

Pb, g cm^{-3}	Havalanma Gözenekleri, cm^3 cm^{-3}
1.05	0.2594
1.15	0.1800
1.25	0.1303
1.35	0.0854
1.45	0.0521

Hacim ağırlığı 1.05 g cm^{-3}' te havalanma gözenekleri % 25.94, 1.15 g cm^{-3}'te % 18, 1.25 g cm^{-3}'te %13.03, 1,35 g cm^{-3}'te % 8.54 ve 1.45 g cm^{-3} hacim ağırlığında ise havalanma gözeneklerinin %5.21 olduğu belirlenmiştir. Hacim ağırlığı 1.35 ve 1.45 g cm^{-3}' te, toprak havalanması kritik sınırın (%10) altına düşmüş olup bu durum SSR' de de görülmektedir. Farklı ağırlıklarda yüklerle yapılan bir sıkıştırma işleminden sonra toprağın hava dolu boşluklar miktarının % 40 azaldığını bildirmişlerdir (Swinford ve Boevey, 1984).

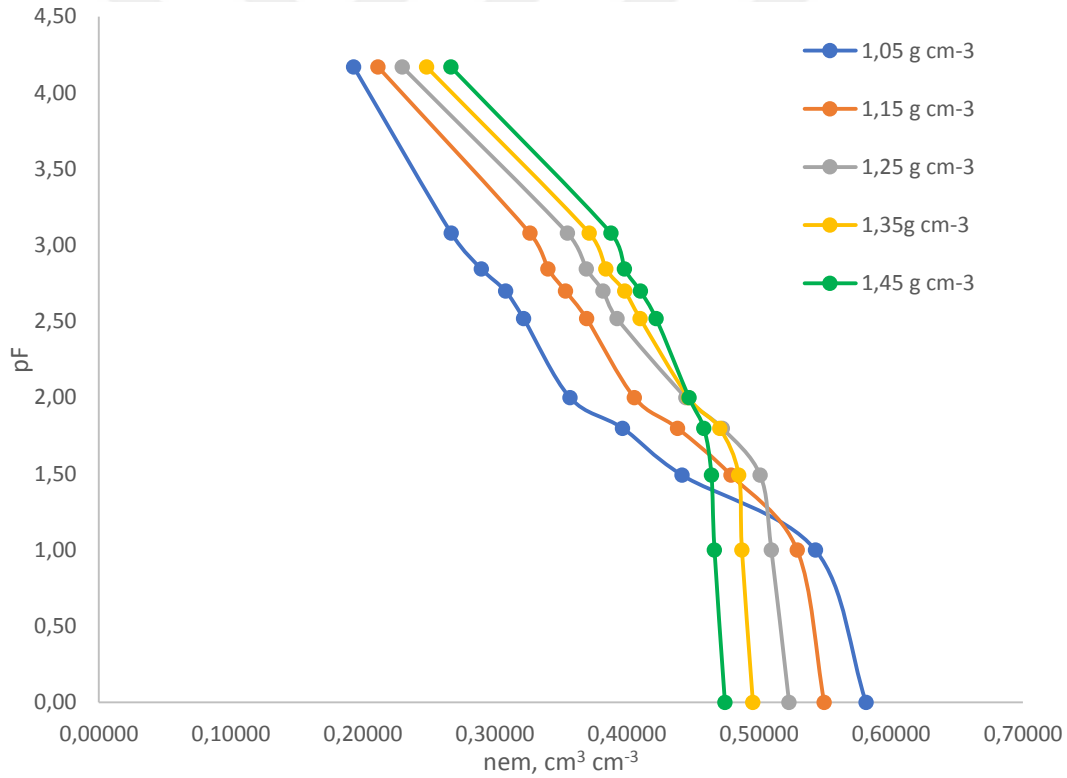
pF 2.52 değeri ile 4.17 arasında ki fark topraktaki faydalı suyu vermektedir. Tablo 4.25'te faydalı su miktarları verilmiştir.

Tablo 4.25: Hacimsel su içeriği bilinen farklı hacim ağırlıklarındaki örneklerin faydalı su miktarları

Pb, g cm^{-3}	Faydalı Su İçeriği, cm^3 cm^{-3}
1.05	0.1287
1.15	0.1580
1.25	0.1627
1.35	0.1618
1.45	0.1555

Hacim ağırlığı 1.05 g cm^{-3} iken faydalı su içeriği %12.87 çıkmış, 1.15, 1.25, 1.35 ve 1.45 g cm^{-3} hacim ağırlıklarında ise, toprağın faydalı su içeriği sırasıyla %15.8, %16.27, %16.18 ve %15.55 olarak hesaplanmıştır. Toprak örneğinin hacim ağırlıklarına göre faydalı su miktarı incelendiğinde; toprak gevşek iken, yüksek havalanma gözenekliliğinde daha az faydalı su içerdiği görülmektedir. Toprak sıkışmasının, faydalı su içeriğini arttırıcı etkisinin de olduğu daha önceki araştırmalarda belirlenmiştir(Şeker ve Işıldar, 2000). Havalanma problemi oluşturmayacak şekilde toprakların sıkıştırılması faydalı su içeriğini arttırdığından, su kısıtı olan alanlar için bu değerlerde sıkıştırma bitkisel üretimde verim ve kaliteyi olumlu yönde etkileyecektir.

Hacim ağırlığının artmasıyla; makro gözeneklerin azalarak, orta ve mikro gözeneklerin artışının yanında, faydalı su miktarı da gevşek toprağa göre artmaktadır. 1.35 ve 1.45 g cm^{-3} hacim ağırlıklarında havalanma probleminin olduğu görülmektedir. Kurak ve yarı kurak bölgelerde nadasa bırakılan alanlarda su tutulmasını artırmak için belli bir değere kadar toprağın hacim kazanması, sonuçlardan da görülebileceği gibi istenilen bir durumdur. Fakat bitkisel üretimde toprağın yüksek hacim ağırlıklarında olması, kök gelişiminin olumsuz etkilenmesinden dolayı tercih edilmemektedir. Eğer üreticilik yapılacak arazide hacim ağırlığı yüksek ise çözüm olarak üst yüzeyin kapilar iletkenliği arttırması amacı ile malçlı olması istenir, ya da yüzeyin uygun toprak işleme aletleri ile işlenerek gözenekliliğinin artması gerekmektedir. Toprak işleme aletlerinin lastik basıncı ve yapısı, aletin titreşimi ve trafiğin yoğunluğu toprak sıkışması üzerine etkili olduğu bilinip, uygun toprak işleme aletleri kullanılarak toprak gözenekliliği artırılabilir (Brunotte, 1986).

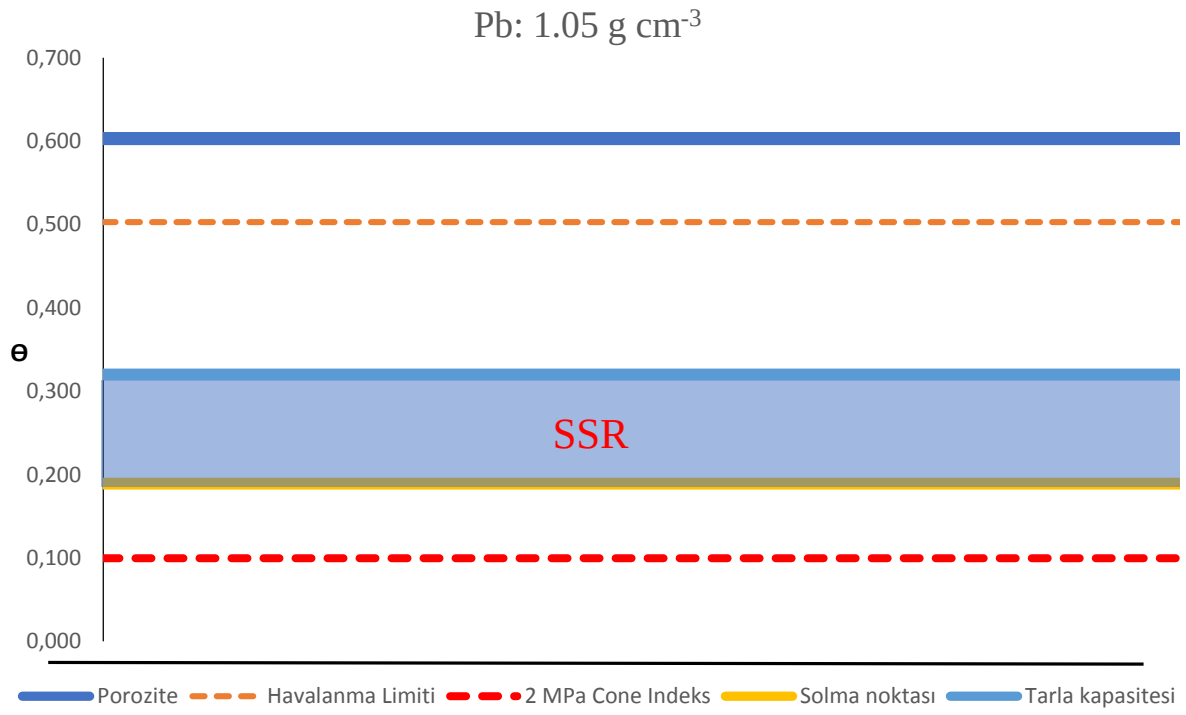


Grafik 4.23: Farklı hacim ağılıkları sahip toprakların rutubet karakteristik eğrisindeki farklılıkları

4.3.4. Farklı hacim ağırlıklarının sınırlandırılmış su içeriğine etkisi

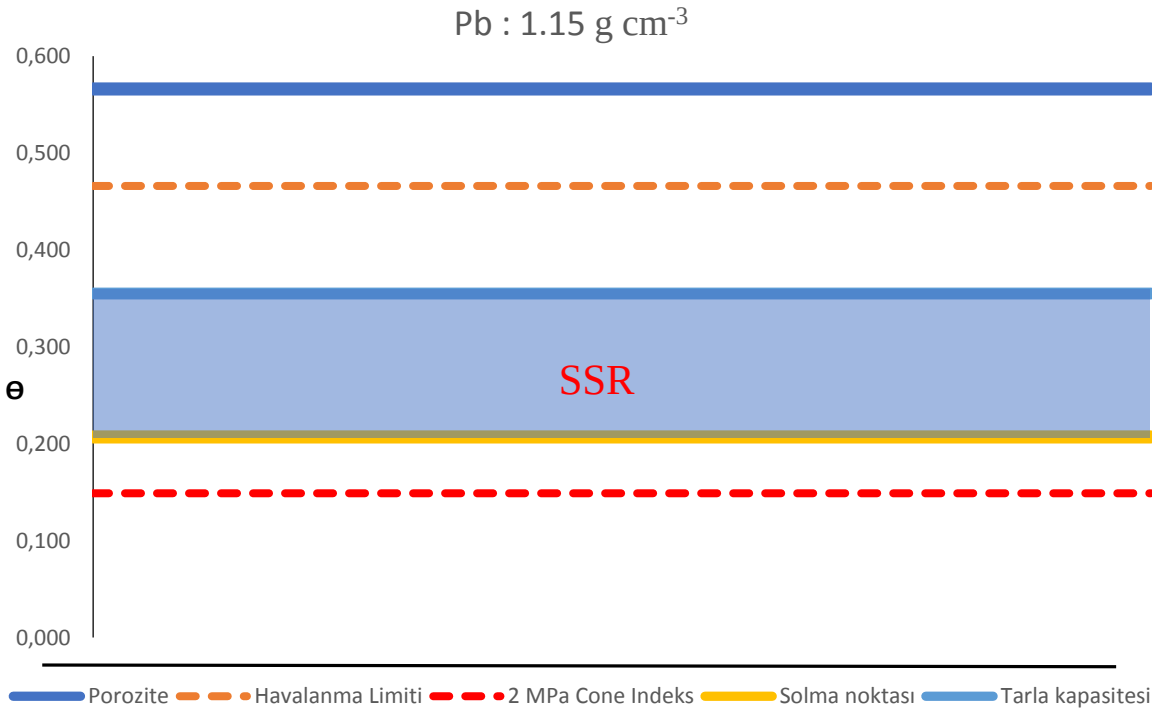
Sınırlandırılmış su rejimi (SSR), toprakların sudan faydalanabilme kapasitesidir. Rutubet karakteristik eğrisi hazırlanan toprakların bitkiye yarayışlı olacak olan su içeriğinin belirlenmesinde yardımcı olmaktadır. Ayrıca kök gelişiminin yavaşlamasına sebep olan penetrasyon direnci değerinin (>2 MPa) bu su bölgesinde olup olmadığını bu grafiklerden daha iyi görmekteyiz. Bu nedenle çalışmada, farklı hacim ağırlıklarında sıkıştırılan ve toprakta bitki gelişiminin yavaşladığı sınır olan 2 MPa' nın hesaplanarak rutubet karakteristik eğrisi doğrultusunda, toprakların sınırlandırılmış su rejimi grafikleri de ayrıca oluşturulmuştur. Oluşturulan grafikler hacim ağırlığı bazında ayrı ayrı yorumlanmıştır.

1.05 g cm^{-3} hacim ağırlığındaki toprağın sınırlandırılmış su rejimi grafik 4.24'de verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi kök gelişiminin olumsuz etkilendiği 2 MPa direnci ile havalanma limiti arasındadır. Toprakta ne havalanma problemi ne de kök gelişimini engelleyen sıkışma problemi bulunmamaktadır. Bu durum toprağın normal yarayışlı su içeriği aralığıdır. Bitkisel üretimde bu şartların oluşturulduğu topraklarda bitki gelişimini sınırlayan bir havalanma ile kök gelişimini sınırlayan toprak sıkışmasının bulunmadığı, dolayısı ile diğer ortam şartları ve ekolojik faktörlerin uygun olması durumunda yüksek verimlilik ve kalitede üretim yapılabileceği anlamına gelmektedir.



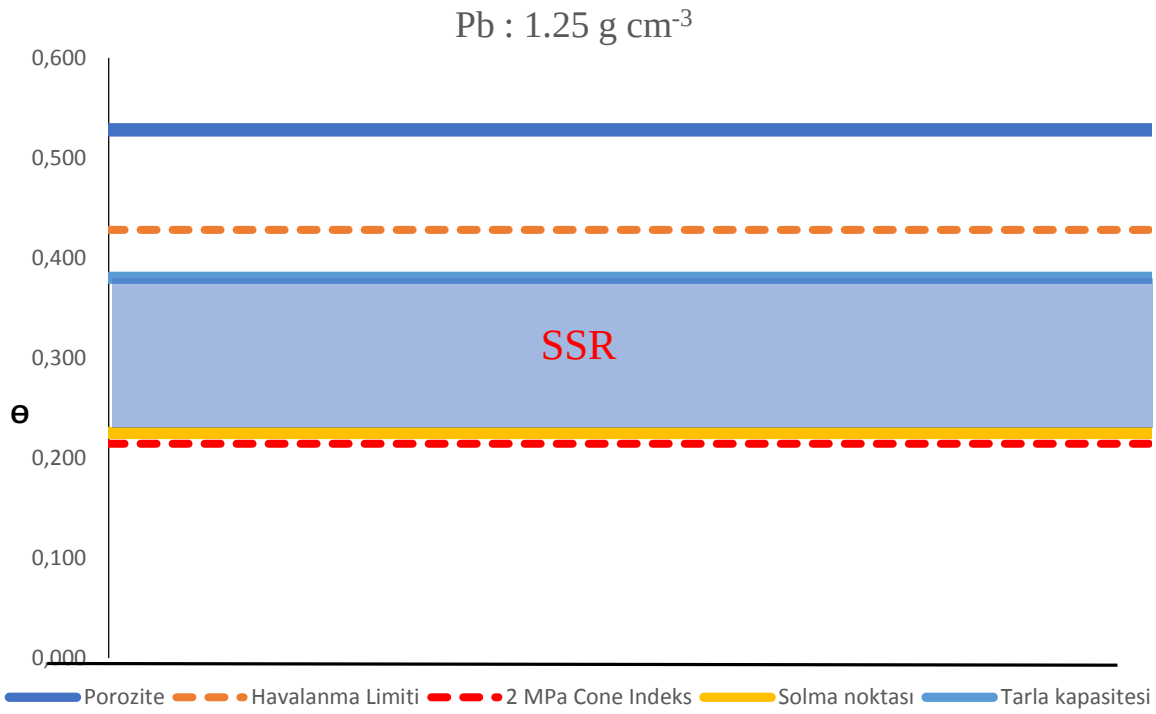
Grafik 4.24: 1.05 g cm^{-3} Hacim ağırlığında toprağın Sınırlanmış Su Rejimi (SSR) grafiği

1.05 g cm^{-3} hacim ağırlığındaki örnekte ki gibi, 1.15 g cm^{-3} hacim ağırlığındaki örnekte de aynı durum söz konusu olup, toprak normal yarayışlı su aralığındadır. Kök gelişiminin olumsuz etkilendiği 2 MPa sınırını 1.05 g cm^{-3} hacim ağırlığındakinden daha yakın bulundu (Grafik4.25). Bu sebeple toprak işlemeye dikkat edilmeli ve yüksek tarla trafiğinden kaçınılmalıdır. Ekim nöbeti uygulamasında farklı kök derinliğine sahip bitkilere yer verilmeli, ayrıca organik madde yönetimi bu sisteme sahip topraklarda iyi yapılmalıdır. Toprakta organik madde miktarının artırılmasıyla toprak sıkışması azaltılmaktadır(Mujdeci, 2011).



Grafik 4.25: 1.15 g cm^{-3} Hacim ağırlığında toprağın Sınırlanmış Su Rejimi (SSR) grafiği

1.25 g cm^{-3} hacim ağırlığa sahip toprakta, SSR bölgesi bitkinin faydalanabileceği normal yarayışlı su aralığında fakat 2MPa sınırı çok yakındır. Bu yapıya sahip olunan şartlarda bitkilerin havalanmasının sınırlayan bir durum yok iken, kök gelişimini sınırlayan penetrasyon direncinin oluştuğu su içeriği solma noktasına yakın çıkmıştır. Normal sulama programının uygulanması durumunda (faydalı suyun yarısı tüketilince sulama yapılması) bitkisel üretimin bu faktörler tarafından sınırlanmadığı şartlar sağlanmış olacaktır.

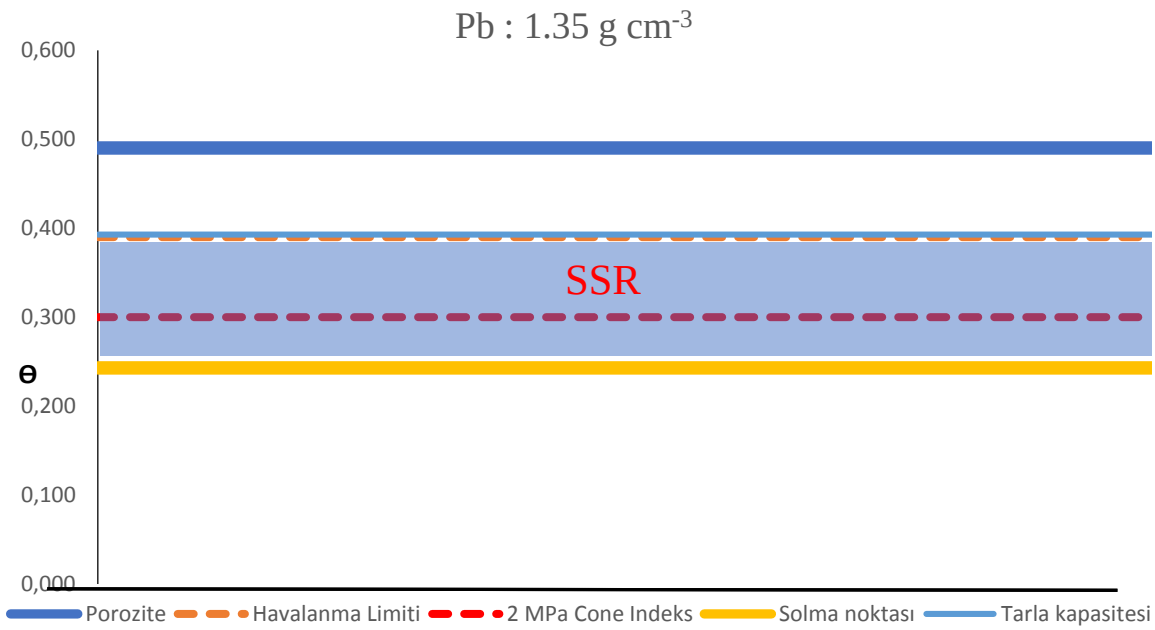


Grafik 4.26: 1.25 g cm^{-3} Hacim ağırlığında toprağın Sınırlanmış Su Rejimi (SSR) grafiği

Toprak örneklerinin 1.35 g cm^{-3} hacim ağırlığında sıkıştırıldığı durumda SSR değişimi Grafik 4.27'de verilmiştir. Buna göre toprakların havalanma kapasitesi limit değeri olan tarla kapasitesine ulaşmıştır. Kritik sınıra ulaşan havalanma durumunda bitkisel üretimin olumsuz etkilenmemesi için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu önlemlerin başında toprakların makro gözenekliliğini azaltıcı uygulamalardan ve aşırı sulamadan kaçınılmalıdır. Eğer ara çapa uygulamaları yapılabiliyor ise bu işlem uygulanmalıdır. Toprak sıkışmasının, ileri düzeyde olduğu durumlarda, bitkiler kötü havalanma ve besin elementi noksanlığını yansıtan belirtiler göstermektedirler(Petersen, 1996). Bu tip şartların oluşması özellikle havalanma ihtiyacı yüksek olan bitkiler için kritik olmaktadır. Sıkışma problemi olan ormanlık

alanlarda yine, bitkinin fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri ile fizyolojisi üzerindeki olumsuz etkileri belirlenmiştir(Turgut, 2012). Ayrıca toprak kaynaklı patojenlerin aktif hale geçebileceği ve hastalık yapabileceği de değerlendirilmelidir. Konya-Çumra ovasında yapılan bir çalışmada kavunlarda *Fusarium* solgunluk hastalığının topraktaki deformasyonlardan ortaya çıkabildiği gözlemlenmiştir (Baştaş ve ark., 2004).

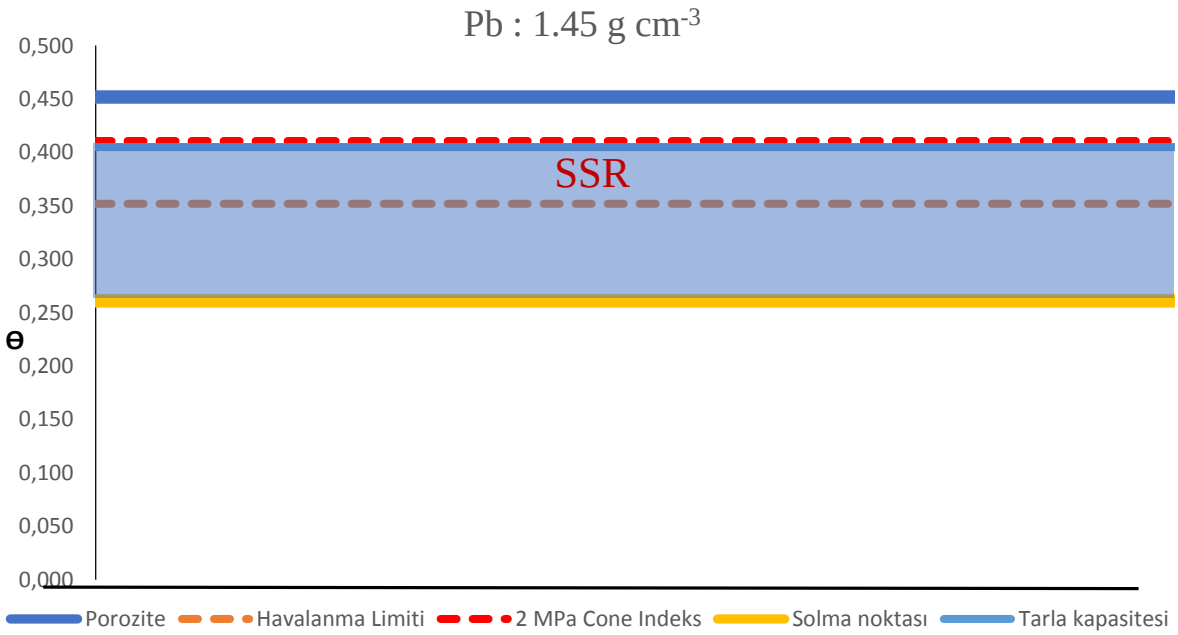
Diğer taraftan Grafikten 4.27'den de görüleceği gibi bu durumdaki toprakların SSR üst sınırı olan 2 MPa değeri bitki gelişim bölgesi alanı olan sınırın içinde yer almıştır. Bu durumda toprak su içeriği sınır değerde ve onun altında kalırsa bitki kök gelişimi bu durumdan olumsuz etkilenecektir. Arazide bitkinin bulunduğu dönemde bu durumun ortaya çıkması halinde toprak su içeriği yönetiminin dikkatli yapılması gerekmektedir. Sulamada bir taraftan tarla kapasitesinin üzerinde bir sulama yapılmamasına dikkat edilirken, diğer taraftan da sulama aralıkları toprak su içeriğini sınır bölgenin altına düşürmeyecek şekilde olmalıdır. Eğer bu şartların oluştuğu arazide bitki bulunmuyor ise o takdirde toprak problemli katmanın derinliğine kadar uygun toprak işleme araçları ile işlenerek gevşetilmelidir.



Grafik 4.27: 1.35 g cm^{-3} Hacim ağırlığında toprağın Sınırlanmış Su Rejimi (SSR) grafiği

1.45 g cm^{-3} hacim ağırlığındaki toprak örneklerinin, 1.35 g cm^{-3} hacim ağırlığında olduğu gibi aynı durum söz konusudur. Örneğimizin havalanma kapasitesi limit değerine ulaşmıştır. Killi topraklarda yapılan çalışmada makro ve mikro gözeneklerin büyüklükleri arasındaki farklılık, kumlu topraklara oranla daha büyüktür(McKyes, 1985b). Kritik seviyede olan havalanma kapasitesinde, bitkisel üretimin olumsuz etkilenmemesi için makro gözenekliliği azaltıcı uygulamalardan ve aşırı sulamadan kaçınma gibi gerekli tedbirler alınmalıdır. Bu şekildeki arazilerde havalanma ihtiyacı yüksek olan bitkilerin yetiştiriciliği mümkünse yapılmamalıdır. Toprakta hali hazırda var olan besin elementlerinin yarayışlılığı azalır ve ayrıca toprak kaynaklı hastalık yapan mikroorganizmalarında aktif olmamasına dikkat edilmelidir. Üreaz enzim aktivitesi toprak sıkışması arttıkça önemli ölçüde azalmıştır ve toprak sıkışması nitrifikasyona sebep olmaktadır(Karaca ve ark., 2000)

Grafik 4.28'de görüldüğü gibi bitki kök gelişimini sınırlayıcı 2MPa değeri bitki gelişim alanının üstündedir. Bu durumda bitki kök gelişimi olumsuz etkilenmekte ve bunun için bitkiye gerekli su yönetimi dikkatli yapılmalıdır. Bitkisel üretim yapılmıyor ise uygun toprak işleme yöntemleri ile problemli katman gevşetilmelidir.



Grafik4.28: 1.45 g cm^{-3} hacim ağırlığında toprağın Sınırlanmış Su Rejimi (SSİ) grafiği

4.3.5. Toprak sıkışmasının toprak nemi ve hacim ağırlığı ile ilişkisi

Buraya kadar açıklanan bölümlerden de anlaşılacağı gibi toprakların penetrasyon direnci değerleri hem toprağın hacim ağırlığına ve hem de su içeriğine bağlı olarak önemli değişkenlik göstermektedir. Ayrıca toprak neminin farklı şekillerde, birim ağırlık (gravimetrik), birim hacim ve toprak su potansiyeli şeklinde ifade edilmesi söz konusudur. Bu nedenle farklı kullanıcıların benzer toprak şartlarına sahip alanlarda bu modelleri kullanabilmeleri, kıyaslamalar yapabilmeleri ve mevcut durumu analiz edilebilmeleri için üç farklı toprak nemi ile geliştirilen modeller hazırlanmıştır. Birim ağırlıkta su içeriği ile hacim ağırlığının penetrasyon direncine etkisini açıklayan model Eşitlik 8'deki gibi bulunmuştur. Penetrasyon direncinin tahminini sağlayan üssel bir model geliştirilmiş olup, bu modelin r^2'si 0,99 çıkmıştır. Bu modelden de görüleceği gibi toprak su içeriği artışı penetrasyon direncini düşürürken, hacim ağırlığı artışı penetrasyon direncini artırmaktadır. Model kullanılarak ölçülen bu üç parametre arasında girişkenlik te sağlanabilecektir. Böylece modelin daha etkin kullanımı söz konusu olabilecektir. Ayrıca belli alanda ölçülen PD değerlerinin farklı nem içeriğine sahip olması durumunda ise sabit bir nem seçilerek değerlerin kıyaslamaları ve karşılaştırmaları yapılabilecektir.

Tavares Filho ve ark. (2012)' nın yaptığı çalışmada; gravimetrik nem ve hacim ağırlığı kullanarak penetrasyon direnci modeli oluşturmuşlardır. Penetrasyon direnci ile hacim ağırlığı arasında pozitif, gravimetrik nem arasında negatif bir ilişki belirlenmiştir (Imhoff ve ark., 2000; Araújo ve ark., 2004; Blainski ve ark., 2008; Ribon ve Tavares Filho, 2008).

$PD = a * Pb^b * Pw^c$

PD= Penetrasyon direnci, MPa

Pb= Hacim ağırlığı, Mg m^{-3}

Pw= Su içeriği, kg kg^{-1}

Modelde kullanılan sabitler aşağıdaki gibidir;

a = 0.1239

b = 3.411

c = -1.370

Busscher ve Sojka (1987) tarafından Amerika' nın farklı bölgelerinde tınlı kum topraklarda yapılan çalışmada hacim ağırlığı ve su içeriği belirlenerek yapmış olduğu penetrasyon direnci modeli aşağıda verilmiştir.

$PD= a* Pb^{b} *Pw^{C}$

PD= Penetrasyon direnci, MPa

Pb= Hacim ağırlığı, Mg m^{-3}

Pw= Su içeriği, kg kg^{-1}

a,b ve c: model sabitleri

Muamele için önerilen model kullanılarak PR, Ɵ ve Pb arasında fonksiyonel ilişki kullanılmıştır (Busscher, 1990; Silva ve ark., 1994; Betz ve ark., 1998).

$PD= d* Ɵ^{e} * Pb^{f}$

PD= Penetrasyon direnci, MPa

Ɵ= Hacimsel su içeriği, cm^3 cm^{-3}

Pb= Hacim ağırlığı, Mg m^{-3}

Sabitler: d, e ve f

Yaptığımız çalışmada yukarıdaki penetrasyon direnci modellerine dayanarak, yeni bir penetrasyon direnci modeli aşağıda görüldüğü gibi üretilmiştir.

Gravimetrik su içeriği modeli:

$$\mathrm{PD} = a * Pw^{b} * Pb^{c}$$ Eşitlik 8

PD = Hesaplanan penetrasyon değeri, MPa

Pw = Su içeriği, g g^{-1}

Pb = Hacim ağırlığı, g cm^{-3}

Standart Hata = 0.2640

r = 0.99

r^2 = 0.98

Sabitler:

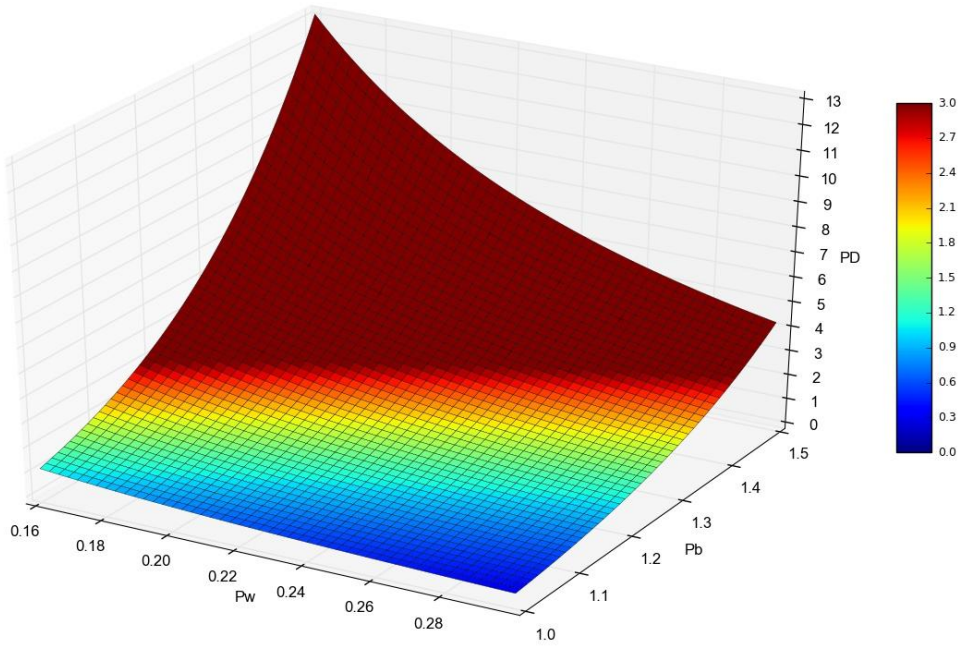
a = 0.0404

b = -1.8128

c = 6.0642

Hazırlanan gravimetrik su içeriği modelinin üç boyutlu alansal dağılım durumu Grafik 4.29'da verilmiştir. Üç boyutlu dağılım grafiğinde kırmızı bölge bitki gelişimi, havalanma ve kök gelişimi bakımından problemin olduğu alanları

gösterirken, mavi bölge her iki şart açısından da ortam şartlarının uygunluğunu göstermektedir. Renk geçiş alanı ise bu iki bölge arasındaki geçişkenliği göstermektedir.



Grafik 4.29: Gravimetrik nem, hacim ağırlığı ve penetrasyon değeri arasındaki üç boyutlu ilişki (Power model E)

Hacimsel su içeriği modeli:

$$\mathrm{PD} = a * \Theta^{b} * Pb^{c}$$ Eşitlik 9

PD= Hesaplanan penetrasyon değeri, MPa

Θ = Su içeriği, $cm^3\ cm^{-3}$

Pb = Hacim ağırlığı, $g\ cm^{-3}$

Standart Hata = 0.2653

r = 0.99

r^2 = 0.98

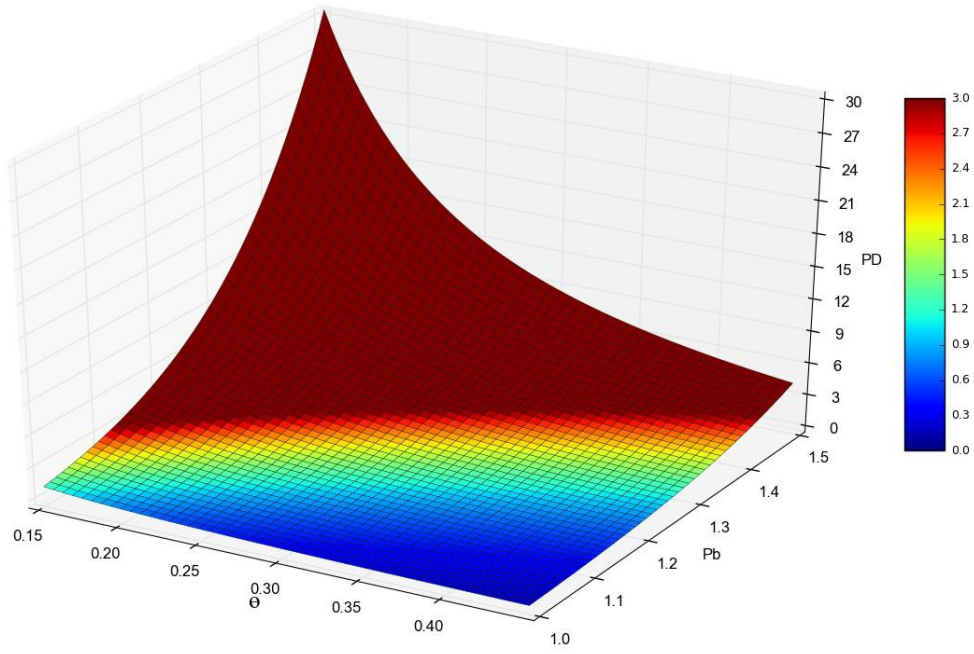
Sabitler:

a = 0.0407

b = -1.8087

c = 7.8695

Hazırlanan hacimsel su içeriği modelin üç boyutlu alansal dağılım durumu Grafik 4.30'da verilmiştir. Bu üç boyutlu dağılım grafiğinde kırmızı bölge bitkisel üretimde problemin olduğu alanı göstermekte, sarı bölge geçiş alanı ve mavi bölge ise bitkisel üretim için şartların uygun olduğu alanı göstermektedir.



Grafik 4.30: Hacimsel nem içeriği, hacim ağırlığı ve penetrasyon değeri arasındaki üç boyutlu ilişki (Power model E)

Su potansiyeli kullanılarak oluşturulan model:

$$\mathrm{PD} = a * pF^{b} * Pb^{c}$$ Eşitlik 10

PD= Hesaplanan penetrasyon değeri, MPa

pF= Su potansiyeli içeriği

Pb= Hacim ağırlığı, g/cm^3

Standart Hata = 0.16

r = 0.99

r^2 = 0.99

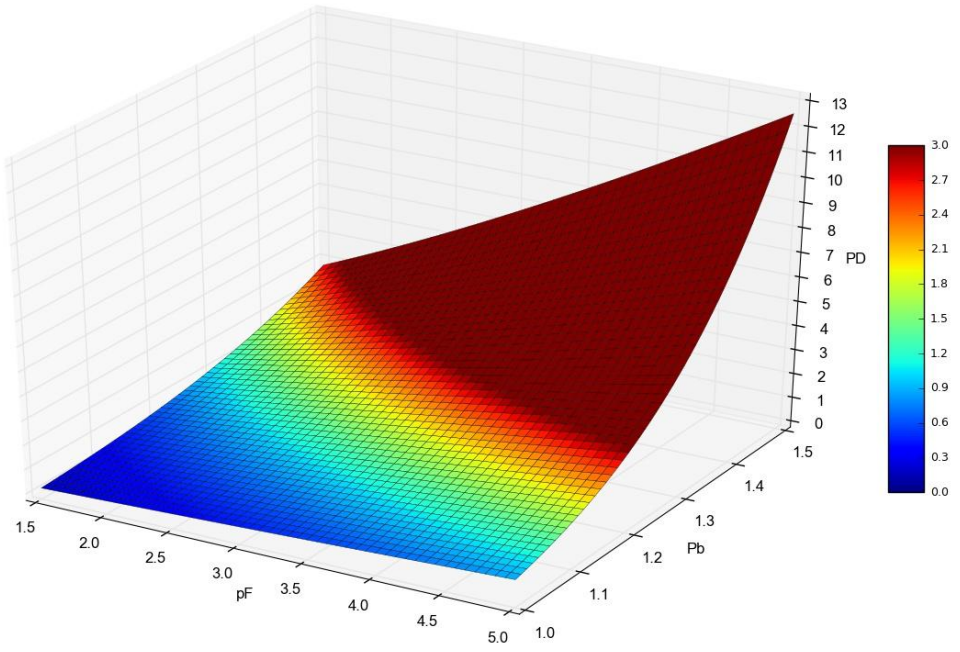
Sabitler:

a = 0.1139

b = 1.2656

c = 6.5697

Hazırlanan su potansiyeli kullanılarak oluşturulan modelin üç boyutlu alansal dağılım durumu Grafik 4.31' de verilmiştir. Bu modelin dağılım grafiği, pF değeri arttıkça toprak su içeriği azaldığı için diğer iki modelden farklı görünmektedir.

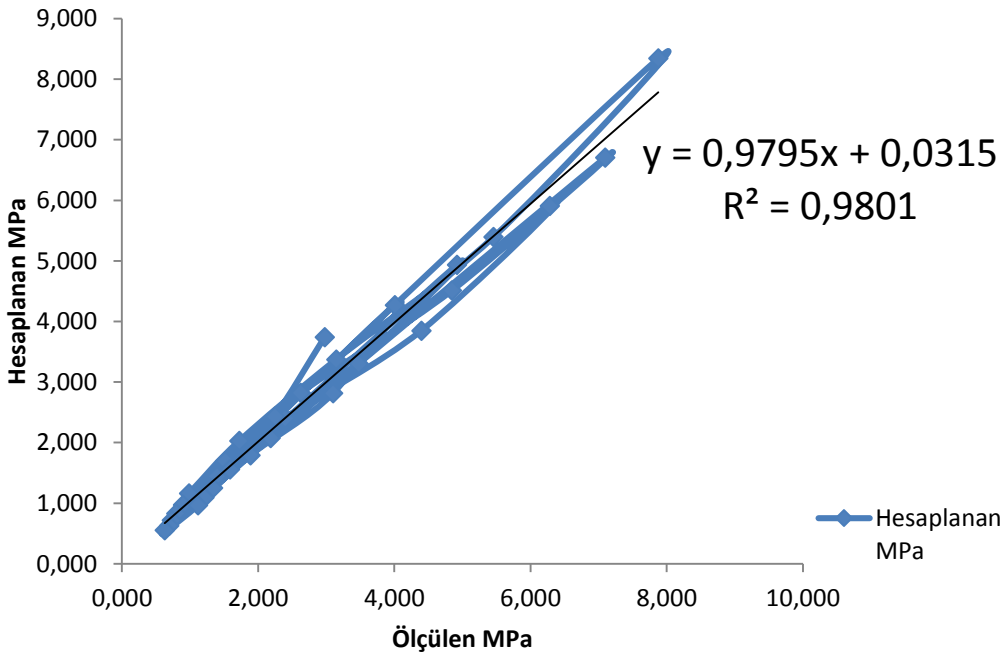


Grafik 4.31: Potansiyel su içeriği, hacim ağırlığı ve penetrasyon değeri arasındaki üç boyutlu ilişki (Power model E)

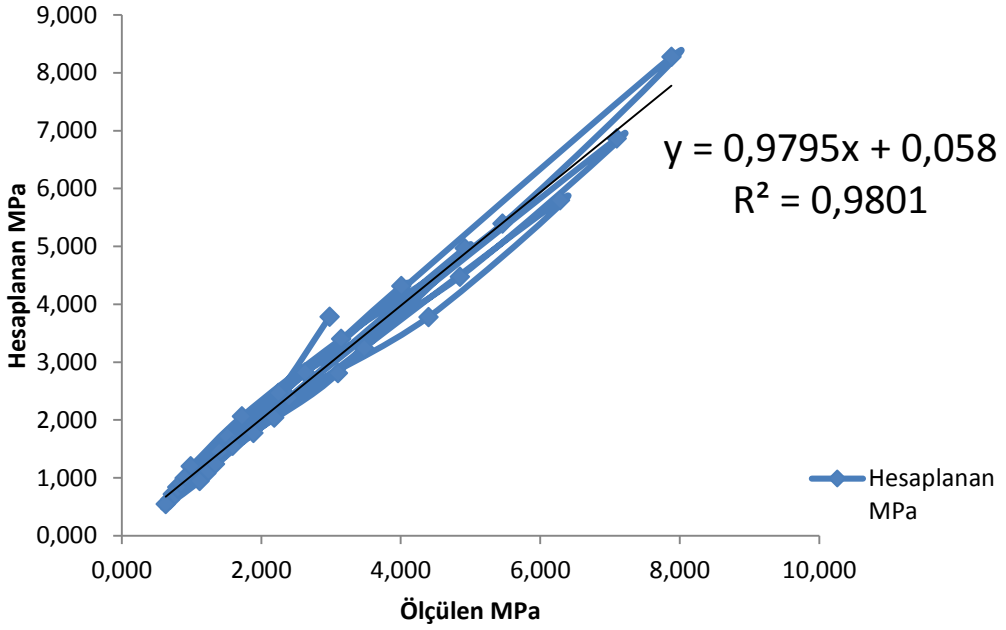
Elde edilen modeller baz alınarak grafikler (4.32, 4.33 ve 4.34) incelendiğinde hesaplanan penetrasyon direnci değeri ile ölçülen penetrasyon direnci karşılaştırıldığında modelin yüksek doğruluk oranında çalıştığı görülmektedir. Gravimetrik su içeriği modelinin ve hacimsel su içeriği modelinin R^2'si 0.9801, su potansiyeli kullanılarak oluşturulan modelin R^2'si ise 0.9847 olarak bulunmuştur.

Önerilen denklem mantıksal ve fiziksel olarak anlamlıdır. Topraktaki su miktarının artmasıyla penetrasyon direnci azalmış hacim ağırlığının artmasıyla penetrasyon direnci artmıştır.

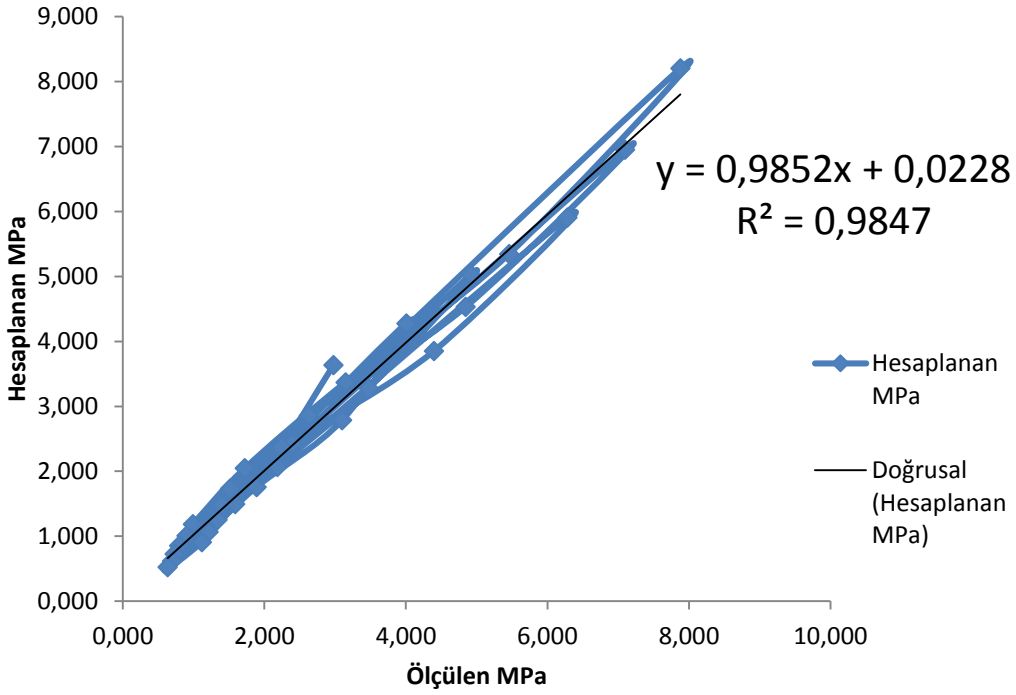
Farklı zamanlarda ölçümü yapılan penetrasyon direnci değerlerinin kıyaslanamaması en büyük problem iken, bu çalışma sonucunda farklı zamanlarda (farklı nem ve farklı hacim ağırlığı) ölçülen penetrasyon direnci değerlerinin birbiriyle karşılaştırılabileceği bir formül geliştirilmiştir.



Grafik 4.32: Gravimetrik su içeriği denklemi baz alınarak hesaplanan ve ölçülen penetrasyon direnci değerlerinin karşılaştırılması



Grafik 4.33: Hacimsel su içeriği denklemi baz alınarak hesaplanan ve ölçülen penetrasyon direnci değerlerinin karşılaştırılması



Grafik 4.34: Potansiyel su içeriği denklemi baz alınarak hesaplanan ve ölçülen penetrasyon direnci değerlerinin karşılaştırılması

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Toprak sıkışmasına, çoğunlukla mekanizasyona dayanan günümüz tarımının en önemli sorunları arasında bulunması nedeniyle gerekli önem verilmelidir. Toprak sıkışmasını doğrudan etkileyen toprağın fiziksel özelliklerinin başında hacim ağırlığı gelmekte olup, bununla birlikte su içeriğine bağlı olarak da önemli değişkenlik göstermektedir.

Toprakta penetrasyon direnci ile hacim ağırlığının belirlenmesi kolay olmadığı için buna alternatif olarak farklı kullanıcıların benzer toprak şartlarına sahip alanlarda kullanabilecekleri, kıyaslamalar yapıp mevcut durumu analiz edilebilecekleri üç farklı toprak nem ifade şekli (birim ağırlık, birim hacim ve cm su sütunu) ile geliştirilen modeller yapılan çalışmada hazırlanmıştır.

Bu modellerin yüksek tahmin yüzdesinde kullanılabilmesi; eşitliğin geliştirildiği toprak özellikleri ile modelin uygulanacağı toprak özelliklerinin benzerliğine bağlı olarak değişecektir. Yüksek benzerlik yüksek doğruluk getireceğinden hazırlanan modelin benzer alanlarda kullanımı önerilmektedir.

Bu eşitlikler kullanılarak, aynı zamanda bitki gelişiminin sağlıklı devam edebilmesini sağlayan SSR bölgesi geliştirilmiştir. Belirlenen SSR çalışmasında toprağın havalanma kapasitesi sınır değerleri belirlenmiş, kritik sınıra yaklaşan değerlerde bitkisel üretimin olumsuz etkilenmemesi için sulama aralığına ve makro gözenekliliği azaltmadan toprak işlemeye dikkat edilerek çözüm üretilmelidir. Hazırlanan modelin su kısıtı olan kurak-yarı kurak alanlarda da kullanımı mümkündür. Bu tür alanlar için bitkisel üretimdeki temel problem; bitkinin hayat döngüsünü tamamlayabilmesi için yağışın ve dolayısıyla topraktaki suyun yetersiz olması önemli bir kısıtlayıcı faktördür. Yapılan çalışma sonucunda; toprağın su depolama kapasitesi de belirlenebileceğinden, kapilar gözenekliliği arttıracak şekilde toprağın işlenmesi ile toprakta depolanan su miktarı artırılarak, bitkiye daha fazla faydalı su sunulabilecektir. Ayrıca hacim artışındaki kritik nokta SSR ile belirlenmiş olduğundan bu değerin üzerine çıkılmaması da gerekmektedir.

Yapılan bu çalışma sonucunda; farklı hacim ağırlıklarının, bitki gelişimi ve sınırlandırılmış su rejimi üzerine etkisi belirlenmiştir. Pb'nin artması ile penetrasyon direncinin 2MPa sınır değerine ulaşması söz konusudur. Kök gelişiminin olumsuz etkilendiği 2 MPa sınır değerine ulaşıldığı dönemlerde, bitkinin su ihtiyacını karşılamak

ve bitkinin su stresi yaşamaması için sulama aralığı azaltılmalıdır. Nadas alanlarında ise sıkışmış kısım toprak işleme aletleri ile kırılarak toprağın gevşemesi ve su depolanması sağlanmalıdır. Bununla birlikte Pb değeri 1.05 g cm^{-3} iken toprakta bitki gelişimi açısından sorun teşkil etmezken, Pb değeri 1.35 g cm^{-3} değerinin üzerine çıktığında ise bitkilerin toprakta bulunan mevcut sudan faydalanamayacağı ve havalanma kapasitesinin de düşük olduğunu göz önünde bulundurursak, bitkisel üretimde verim ve kalite düşüşlerine neden olacağı ve ayrıca patojen organizmaların da aktif hale geçebileceği göz ardı edilmemelidir.

KAYNAKLAR

Akram, M. ve Kemper, W., 1979, Infiltration of Soils as Affected by the Pressure and Water Content at the Time of Compaction 1, *Soil Science Society of America Journal*, 43 (6), 1080-1086.

Anonim, 2017, Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü Uzun Yıllar İklim Verileri Bülteni, https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=KONYA.

Araújo, M., Tormena, C. ve SILVA, A. d., 2004, Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28 (2), 337-345.

Baştaş, K. K., Boyraz, N. ve Maden, S., 2004, Türkiye'de Ekimi Yapılan Bazı Şekerpancarı Tohumlarındaki Fungal Floranın Belirlenmesi, *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 18 (33), 87-89.

Betz, C., Allmaras, R., Copeland, S. ve Randall, G., 1998, Least limiting water range: traffic and long-term tillage influences in a Webster soil, *Soil Science Society of America Journal*, 62 (5), 1384-1393.

Birkás, M., Szalai, T., Nyárai, H. F., Fenyves, T. ve Percze, A., 1997, Kukorica direktvetéses tartamkísérletek eredményei barna erdotalajon, *Novenytermeles*, 46 (4), 413-430.

Black, C. A., Evans, D. D. ve Dinauer, R., 1965, Methods of soil analysis, American Society of Agronomy Madison, WI, p. 653-738.

Blainski, É., Tormena, C. A., Fidalski, J. ve Guimarães, R. M. L., 2008, Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32 (3), 975-983.

Blake, G. ve Hartge, K., 1986, Particle Density 1, *Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods* (methodsofsoilan1), 377-382.

Botta, G., Jorajuria, D., Balbuena, R., Ressia, M., Ferrero, C., Rosatto, H. ve Tourn, M., 2006, Deep tillage and traffic effects on subsoil compaction and sunflower (Helianthus annus L.) yields, *Soil and tillage research*, 91 (1-2), 164-172.

Brunotte, J., 1986, Einzelkornsaat von Rüben-Anforderungen und vergleichende Untersuchungen von Druckrollen, *Landtechnik*, 3 (41), 128-136.

Burger, N., Lebert, N. ve Horn, R., 1987, Druckausbreitung unter fahrenden Traktoren im natOrlich gelagerten Böden, *Mitt. Dtsche. Bodenkde. Ges*, 55, 135-141.

Busscher, W. ve Sojka, R., 1987, Enhancement of subsoiling effect on soil strength by conservation tillage, *Transactions of the ASAE*, 30 (4), 888-0892.

Busscher, W., 1990, Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content, *Transactions of the ASAE*, 33 (2), 519-0524.

Camp, C. ve Lund, Z., 1968, Effect of mechanical impedance on cotton root growth, *Transactions of the ASAE*, 11 (2), 188-0190.

Canbolat, M., Öztaş, T., Barik, K. ve Aksakal, E., 2002, Compactibility of soils at different moisture contents, *International conference on sustainable land use and management*, 110-112.

Cassel, D., 1982, Tillage effects on soil bulk density and mechanical impedance, *ASA Special Publication American Society of Agronomy*.

Cassel, D. ve Nielsen, D., 1986, Field capacity and available water capacity, *Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods* (methodsofsoilan1), 901-926.

Chen, X., Shi, X., Liang, A., Zhang, X., Jia, S., Fan, R. ve Wei, S., 2015, Least limiting water range and soil pore-size distribution related to soil organic carbon dynamics following zero and conventional tillage of a black soil in Northeast China, *The Journal of Agricultural Science*, 153 (2), 270-281.

da Silva, A. P. ve Kay, B., 1997a, Estimating the least limiting water range of soils from properties and management, *Soil Science Society of America Journal*, 61 (3), 877-883.

da Silva, A. P. ve Kay, B., 1997b, Effect of soil water content variation on the least limiting water range, *Soil Science Society of America Journal*, 61 (3), 884-888.

Daddow, R. L. ve Warrington, G., 1983, Growth-limiting soil bulk densities as influenced by soil texture, Watershed Systems Development Group, USDA Forest Service Fort Collins, CO, p.

Demiralay, İ., 1977, Toprak fiziği uygulaması, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Erzurum*.

Demiralay, İ. ve Güresinli, Y., 1979, Erzurum Ovası topraklarının kıvam limitleri ve sıkışabilirliği üzerinde bir araştırma, *Atatürk Ün. Zir. Fak., Der*, 10 (1-2), 77-93.

Demiralay, İ. ve Güresinli, Y. Z., 2010, Erzurum ovası topraklarının kıvam limitleri ve sıkışabilirliği üzerinde bir araştırma, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10 (1-2).

Gameda, S., Raghavan, G., McKyes, E., Mehuys, G., Watson, A. ve Duval, J., 1988, Soil structure under heavy axle load compaction, *American Society of Agricultural Engineers (Microfiche collection)(USA)*, 17.

Gee, G. W. ve Bauder, J. W., 1986, Particle-size analysis 1, methodsofsoilan1, Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, p.

Gerard, C., Sexton, P. ve Shaw, G., 1982, Physical Factors Influencing Soil Strength and Root Growth 1, *Agronomy journal*, 74 (5), 875-879.

Gugino, B. K., Abawi, G. S., Idowu, O. J., Schindelbeck, R. R., Smith, L. L., Thies, J. E., Wolfe, D. W. ve Van Es, H. M., 2009, Cornell soil health assessment training manual, Cornell University College of Agriculture and Life Sciences, p.

Gupta, S. ve Larson, W., 1982, Modeling Soil Mechanical behavior During Tillage 1, *Predicting tillage effects on soil physical properties and processes* (predictingtilla), 151-178.

Håkansson, I. ve Lipiec, J., 2000, A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction, *Soil and Tillage Research*, 53 (2), 71-85.

Imhoff, S., da Silva, A. P. ve Tormena, C. A., 2000, Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35 (7), 1493-1500.

Isik, A. ve Say, S., 1998, A research on determination of soil penetration resistance changes at different soil conditions, *AgEng Oslo 98. International Conference on Agricultural Engineering, Oslo (Norway), 24-27 Aug 1998*.

Jones, C. A., 1983, Effect of soil texture on critical bulk densities for root growth 1, *Soil Science Society of America Journal*, 47 (6), 1208-1211.

Jorajuria, D., Draghi, L. ve Aragon, A., 1997, The effect of vehicle weight on the distribution of compaction with depth and the yield of Lolium/Trifolium grassland, *Soil and Tillage Research*, 41 (1), 1-12.

Karaca, A., Baran, A. ve HAKTANIR, K., 2000, The effect of compaction on urease enzyme activity, carbon dioxide evaluation and nitrogen mineralisation, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 24 (4), 437-442.

Karakaplan, S., 1982, Değişik Nem ve Basınçta Sıkıştırmanın Toprakların Hacim Ağırlığı Penetrasyon ve Permabilite Değerlerine Etkileri, Atatürk Üniv, *Basımevi, Erzurum*.

Kaufmann, M., Tobias, S. ve Schulin, R., 2010, Comparison of critical limits for crop plant growth based on different indicators for the state of soil compaction, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 173 (4), 573-583.

Killi, D. ve Kavdır, Y., 2013, Effects of olive solid waste and olive solid waste compost application on soil properties and growth of Solanum lycopersicum, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 82, 157-165.

Lipiec, J. ve Hatano, R., 2003, Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth, *Geoderma*, 116 (1-2), 107-136.

McKyes, E., 1985a, Soil cutting and tillage, *Amsterdam*, Elsevier, p. 29-32.

McKyes, E., 1985b, Soil cutting and tillage. Developmentes in agricultural Engineering, Elsevier Science Ltd. Amsterdam, The Netherlands.

McLean, E., 1982, Soil pH and lime requirement, *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties* (methodsofsoilan2), 199-224.

Mertdoğan, S., 1982, Toprak Mekaniği Laboratuvarı El Kitabı, *Topraksu Genel Müd., Yayın* (713).

Mirreh, H. ve Ketcheson, J., 1972, Influence of soil bulk density and matric pressure on soil resistance to penetration, *Canadian Journal of Soil Science*, 52 (3), 477-483.

Mujdeci, M., 2011, The effects of organic material applications on soil penetration resistance, *J. Food Agric. Environ*, 9, 1045-1047.

Mujdeci, M., Isildar, A. A., Uygur, V., Alaboz, P., Unlu, H. ve Senol, H., 2017, Cooperative effects of field traffic and organic matter treatments on some compaction-related soil properties, *Solid Earth*, 8 (1), 189-198.

Munsuz, N., 1985, Toprak mekaniği ve teknolojisi, *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. Ders Kitabı* (260).

Müjdeci, M., 2011, The effects of organic material applications on soil penetration resistance, *Journal of food agriculture and environment*, 9 (3), 1045-1047.

Negiş, H., 2014, Şeker pancarı tarımında dönemsel toprak sıkışmasının belirlenmesi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Negiş, H., Gümüş, İ. ve Şeker, C., 2017, Effects of Four Different Crops Harvest Processes on Soils Compaction, *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 2, 25-29.

Nelson, D. ve Sommers, L. E., 1982, Total carbon, organic carbon, and organic matter 1, *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties* (methodsofsoilan2), 539-579.

Nelson, R., 1982, Carbonate and gypsum, *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties* (methodsofsoilan2), 181-197.

Page, A. L., Miller, R. H., Keeney, D. R., Baker, D., Ellis, R. ve Rhoades, J., 1982, Methods of soil analysis. eds, 631.41 MET 9-2 1982. CIMMYT., p.

Pereira, V., Ortiz-Escobar, M. E., Rocha, G. ve de Oliveira, T., 2010, Least limiting water range and S index to evaluate some soil physical quality in the northeast Brazil, *The 19thWorld Congress of Soil Science: Soil Solutionsfor a Changing World. Brisbane, Australia*, 45-48.

Perumpral, J., 1987, Cone penetrometer applications—A review, *Transactions of the ASAE*, 30 (4), 939-0944.

Petelkau, H., 1991, Ertragliche Auswirkungen technogener Schadverdichtungen der Ackerkrume, *Agrartechnik*, 41 (2), 54-57.

Petersen, M., Ayers, P. ve Westfall, D., 1996, Managing soil compaction, *Crop series. Soil; no. 0.519*.

Petersen, M., Ayers, P. and Westfall, D.,, 1996, Managing Soil Compaction.

Pierce, F., Larson, W., Dowdy, R. ve Graham, W., 1983, Productivity of soils: Assessing long-term changes due to erosion, *Journal of Soil and Water Conservation*, 38 (1), 39-44.

Proctor, R., 1933, Fundamental principles of soil compaction, *Engineering News-Record*, 111 (13).

Rhoades, J., 1982, Soluble salts, *Methods of soil analysis. Part*, 2 (2), 167-178.

Ribon, A. A. ve Tavares Filho, J., 2008, Estimativa da resistência mecânica à penetração de um Latossolo Vermelho sob cultura perene no norte do Estado do Paraná, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32 (5).

Silva, A. d., Kay, B. ve Perfect, E., 1994, Characterization of the least limiting water range of soils, *Soil Science Society of America Journal*, 58 (6), 1775-1781.

Spivey Jr, L., Busscher, W. ve Campbell, R., 1986, The effect of texture on strength of southeastern coastal plain soils, *Soil and tillage research*, 6 (4), 351-363.

Swan, J. B., Moncrief, J. F. ve Voorhees, W., 1987, Soil compaction: causes, effects and control, Minnesota Extension Service, University of Minnesota, p.

Swinford, J. ve Boevey, T., 1984, The effects of soil compaction due to infield transport on ratoon cane yields and soil physical characteristics, *Proceedings of the South African Sugar Technologists Association*, 198-203.

Şeker, C., 1997, Penetrasyon Direnci ile Bazı Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler, *Journal of Agriculture and Forestry (23)*, 583-588.

Şeker, C., 1999, The effect of water content on the penetration resistance of different soils, and regression models, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23 (EK2), 467-472.

Şeker, C. ve Işıldar, A., 2000, Tarla trafiğinin toprak profilindeki gözenekliliğe ve sıkışmaya etkisi, *Türk J. Agric. For*, 24, 71-77.

Tavares Filho, J., Feltran, C. T. M., Oliveira, J. F. d. ve Almeida, E. d., 2012, Modelling of soil penetration resistance for an Oxisol under no-tillage, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36 (1), 89-95.

Taylor, H. M. ve Gardner, H. R., 1963, Penetration of cotton seedlingn taproots as influenced by bulk density, moisture content, and strength of soil, *Soil Science*, 96 (3), 153-156.

Tormena, C. A., Silva, A. d. ve Libardi, P., 1998, Caracterizacao do intervalo hidrico otimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto, *Embrapa Solos-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.

TSE, 1987, TS 1900 (Türk Standartları), İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri, , *Bakanlıklar*, Ankara 1987, 133.

Turgut, B., 2012, Ormanlık alanlarda toprak sıkışması sorunu, *Turkish Journal of Forestry*, 13 (1), 66-73.

Tüzüner, A. ve Sunar, U., 1973, Toprakta Değişik Yoğunlukta Sıkışmış Tabakanın (Pulluk Tabanı) Bitki Kök Gelişmesi ve Verimine Etkisi, *TÜBİTAK-TAOG, Yay* (20).

USDA, N., 1996, Soil quality resource concerns: Compaction, *Soil quality information sheet*.

Ülgen, N. ve Yurtsever, N., 1974, Fertilizer and fertilization guide of Turkey, *Ankara: Technical Publication of Soil and Fertilizer Research Institute*, 28.

Van Ouwerkerk, C. ve Soane, B., 1994, Conclusions and recommendations for further research on soil compaction in crop production, In: Developments in Agricultural Engineering, Eds: Elsevier, p. 627-642.

Wu, L., Feng, G., Letey, J., Ferguson, L., Mitchell, J., McCullough-Sanden, B. ve Markegard, G., 2003, Soil management effects on the nonlimiting water range, *Geoderma*, 114 (3-4), 401-414.

Zou, C., Sands, R., Buchan, G. ve Hudson, I., 2000, Least limiting water range: a potential indicator of physical quality of forest soils, *Soil Research*, 38 (5), 947-958.

EKLER

EK 1

Bu bölümde farklı hacim ağırlıklarında ve farklı tansiyonlarda ölçülen gravimetrik su içeriği değerlerinin varyans analiz sonuçları yer almaktadır.

Ek.1 Farklı hacim ağırlıklarında ölçülen doygun toprakların gravimetrik su içeriği değerlerinin varyans analiz sonuçları.

Kaynak	DF	SS	MS	F	P
Farklı hacim ağırlığı	4	0.0892	0.0223	586.78	0.000
Hata	10	0.0003	0.0000		
Toplam	14	0.0896			

Ek.2 Farklı hacim ağırlıklarında ölçülen 10 cm su sütununda, toprakların gravimetrik su içeriği değerlerinin varyans analiz sonuçları.

Kaynak	DF	SS	MS	F	P
Farklı hacim ağırlığı	4	0.0667	0.0166	242.04	0.000
Hata	10	0.0006	0.0000		
Toplam	14	0.0674			

Ek.3 Farklı hacim ağırlıklarında ölçülen 31 cm su sütununda, toprakların gravimetrik su içeriği değerlerinin varyans analiz sonuçları.

Kaynak	DF	SS	MS	F	P
Farklı hacim ağırlığı	4	0.0205	0.0051	398.35	0.000
Hata	10	0.0001	0.0000		
Toplam	14	0.0206			

Ek.4 Farklı hacim ağırlıklarında ölçülen 63 cm su sütununda, toprakların gravimetrik su içeriği değerlerinin varyans analiz sonuçları.

Kaynak	DF	SS	MS	F	P
Farklı hacim ağırlığı	4	0.0087	0.0021	158.77	0.000
Hata	10	0.0001	0.0000		
Toplam	14	0.0089			

Ek.5 Farklı hacim ağırlıklarında ölçülen 100 cm su sütununda, toprakların gravimetrik su içeriği değerlerinin varyans analiz sonuçları.

Kaynak	DF	SS	MS	F	P
Farklı hacim ağırlığı	4	0.0041	0.0010	35.02	0.000
Hata	10	0.0002	0.0000		
Toplam	14	0.0044			

Ek.6 Farklı hacim ağırlıklarında ölçülen 330 cm su sütununda, toprakların gravimetrik su içeriği değerlerinin varyans analiz sonuçları.

Kaynak	DF	SS	MS	F	P
Farklı hacim ağırlığı	4	0.0049	0.0012	12.18	0.001
Hata	10	0.0010	0.0001		
Toplam	14	0.0059			

Ek.7 Farklı hacim ağırlıklarında ölçülen 500 cm su sütununda, toprakların gravimetrik su içeriği değerlerinin varyans analiz sonuçları.

Kaynak	DF	SS	MS	F	P
Farklı hacim ağırlığı	4	0.0011	0.0002	9.13	0.002
Hata	10	0.0003	0.0000		
Toplam	14	0.0014			

Ek.8 Farklı hacim ağırlıklarında ölçülen 700 cm su sütununda, toprakların gravimetrik su içeriği değerlerinin varyans analiz sonuçları.

Kaynak	DF	SS	MS	F	P
Farklı hacim ağırlığı	4	0.0008	0.0002	9.24	0.002
Hata	10	0.0002	0.0000		
Toplam	14	0.0010			

Ek.9 Farklı hacim ağırlıklarında ölçülen 1200 cm su sütununda, toprakların gravimetrik su içeriği değerlerinin varyans analiz sonuçları.

Kaynak	DF	SS	MS	F	P
Farklı hacim ağırlığı	4	0.0023	0.0005	31.06	0.000
Hata	10	0.0001	0.0000		
Toplam	14	0.0025			

EK 2

Bu bölümde farklı hacim ağırlıklarında ve farklı tansiyonlarda ölçülen hacimsel su içeriği değerlerinin varyans analiz sonuçları yer almaktadır.

Ek.1 Farklı hacim ağırlıklarında ölçülen doygun toprakların hacimsel su içeriği değerlerinin varyans analiz sonuçları.

Kaynak	DF	SS	MS	F	P
Farklı hacim ağırlığı	4	0.0216	0.0054	92.96	0.000
Hata	10	0.0005	0.0000		
Toplam	14	0.0221			

Ek.2 Farklı hacim ağırlıklarında ölçülen 10 cm su sütununda, toprakların hacimsel su içeriği değerlerinin varyans analiz sonuçları.

Kaynak	DF	SS	MS	F	P
Farklı hacim ağırlığı	4	0.0114	0.0028	29.86	0.000
Hata	10	0.0009	0.0000		
Toplam	14	0.0123			

Ek.3 Farklı hacim ağırlıklarında ölçülen 31 cm su sütununda, toprakların hacimsel su içeriği değerlerinin varyans analiz sonuçları.

Kaynak	DF	SS	MS	F	P
Farklı hacim ağırlığı	4	0.0060	0.0015	62.59	0.000
Hata	10	0.0002	0.0000		
Toplam	14	0.0062			

Ek.4 Farklı hacim ağırlıklarında ölçülen 63 cm su sütununda, toprakların hacimsel su içeriği değerlerinin varyans analiz sonuçları.

Kaynak	DF	SS	MS	F	P
Farklı hacim ağırlığı	4	0.0117	0.0029	119.84	0.000
Hata	10	0.0002	0.0000		
Toplam	14	0.0119			

Ek.5 Farklı hacim ağırlıklarında ölçülen 100 cm su sütununda, toprakların hacimsel su içeriği değerlerinin varyans analiz sonuçları.

Kaynak	DF	SS	MS	F	P
Farklı hacim ağırlığı	4	0.0187	0.0046	117.44	0.000
Hata	10	0.0003	0.0000		
Toplam	14	0.0191			

Ek.6 Farklı hacim ağırlıklarında ölçülen 330 cm su sütununda, toprakların hacimsel su içeriği değerlerinin varyans analiz sonuçları.

Kaynak	DF	SS	MS	F	P
Farklı hacim ağırlığı	4	0.0249	0.0062	37.80	0.000
Hata	10	0.0016	0.0001		
Toplam	14	0.0265			

Ek.7 Farklı hacim ağırlıklarında ölçülen 500 cm su sütununda, toprakların hacimsel su içeriği değerlerinin varyans analiz sonuçları.

Kaynak	DF	SS	MS	F	P
Farklı hacim ağırlığı	4	0.0165	0.0041	104.00	0.000
Hata	10	0.0003	0.0000		
Toplam	14	0.0169			

Ek.8 Farklı hacim ağırlıklarında ölçülen 700 cm su sütununda, toprakların hacimsel su içeriği değerlerinin varyans analiz sonuçları.

Kaynak	DF	SS	MS	F	P
Farklı hacim ağırlığı	4	0.0233	0.0058	210.43	0.000
Hata	10	0.0002	0.0000		
Toplam	14	0.0236			

Ek.9 Farklı hacim ağırlıklarında ölçülen 1200 cm su sütununda, toprakların hacimsel su içeriği değerlerinin varyans analiz sonuçları.

Kaynak	DF	SS	MS	F	P
Farklı hacim ağırlığı	4	0.0327	0.0081	323.78	0.000
Hata	10	0.0002	0.0000		
Toplam	14	0.0330			

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ayşe ÇETİN
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Tefenni / 01.01.1993
Telefon : 0552 203 1515
Faks : -
e-mail : a-cetin2011@hotmail.com

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	**Doğanhisar Anadolu Liseli, Doğanhisar, KONYA**	**2011**
Üniversite	:	**Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Selçuklu, KONYA**	**2015**
Yüksek Lisans	:	**Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Selçuklu, KONYA**	**2018**
Doktora	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER: İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR:

Çetin A, Şeker C, 2017. Effects of soil moisture and bulk density on cone index. International conference on agrıculture, forest, food sciences and technologies (15-17 May 2017), pp:725. (Yüksek lisans tezinden yapılmıştır)