

**T.C.
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**BAZI TOPRAK NEM SABİTELERİNİN PENETRASYON
DİRENCİ ÖLÇÜMLERİYLE BELİRLENEBİLMESİ İÇİN
TAHMİN MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

Pelin ALABOZ

**Danışman
Prof. Dr. Ahmet Ali İŞILDAR**

**DOKTORA TEZİ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2019**



© 2019 [Pelin ALABOZ]

TEZ ONAYI

Pelin ALABOZ tarafından hazırlanan " Bazı Toprak Nem Sabitelerinin Penetrasyon Direnci Ölçümleriyle Belirlenebilmesi İçin Tahmin Modellerinin Geliştirilmesi " adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı**'nda **DOKTORA TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

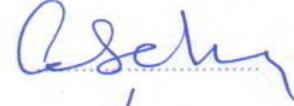
Danışman

Prof. Dr. Ahmet Ali İŞILDAR
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Cevdet ŞEKER
Selçuk Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Metin MÜJDECI
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Levent BAŞAYIĞIT
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Zeki ALAGÖZ
Akdeniz Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Yusuf UÇAR

.....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Pelin ALABOZ



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİN	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM	25
3.1. Materyal.....	25
3.1.1. İklim.....	25
3.1.2. Jeoloji.....	26
3.1.3. Çalışma alanı ve toprak örnekleme noktaları	26
3.2. Yöntem	32
3.2.1. Toprak örnekleme yöntemleri.....	32
3.2.2. Penetrasyon direnci ölçüm yöntemleri	33
3.2.3. Laboratuvar analiz yöntemleri	35
3.2.3.1. Toprak fiziksel analiz yöntemleri	35
3.2.3.2. Toprak kimyasal analiz yöntemleri.....	37
3.2.3.3. İstatistik analiz yöntemleri	37
3.2.4. Modellerin geliştirilmesi.....	39
3.2.5. Test yöntemleri	43
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	46
4.1. Toprakların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	46
4.1.1. Kumlu topraklar	47
4.1.2. Tınlı topraklar	53
4.1.3. Killi topraklar.....	60
4.2. Nem-Penetrasyon Direnci İlişkileri.....	65
4.3. Tahmin Modelleri.....	83
4.3.1. Nem- PR(on) ilişkisi.....	93
4.3.2. Standart nem(on) dönüşümü	96
4.4. Tahmin Modellerinin Test Edilmesi.....	103
4.5. Alternatif Modellerin Geliştirilmesi	115
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	121
KAYNAKLAR	128
ÖZGEÇMİŞ	140

ÖZET

Doktora Tezi

BAZI TOPRAK NEM SABİTELERİNİN PENETRASYON DİRENCİ ÖLÇÜMLERİYLE BELİRLENEBİLMESİ İÇİN TAHMİN MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Pelin ALABOZ

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet Ali İŞILDAR

Toprak nem sabitelerinin ve diğer toprak özelliklerinin doğrudan ölçümü yerine bilinen ya da kolay elde edilen diğer toprak özelliklerinden tahminine yönelik araştırmalar, önemini hiçbir zaman yitirmemiştir. Bu çalışmada, belirlenmeleri çoğunlukla güç ve zaman alıcı nitelikte olan bazı nem sabitelerinin penetrasyon direnci ölçümlerinden tahmin edilebilirliğine odaklanılmıştır. Çalışmanın kapsamını asıl olarak; Isparta bölgesinde farklı toprak nem düzeylerindeki penetrasyon direnci ölçümleri oluşturmuştur. Ölçüm noktalarından alınan topraklar laboratuvar bünye analizleri temelinde; kumlu, tınlı ve killi olarak gruplandırılmış ve farklı nem tansiyonlarına (0.1, 0.33, 0.5 bar ve 15 bar) ilişkin nem düzeyleri belirlenmiştir. Model geliştirme aşamaları; (1) herbir grubun ortalama nem içeriklerinin bireysel nem – penetrasyon direnci ilişkileri aracılığıyla sabit bir nem içeriği için düzeltilmesi amaçlı kullanımını, (2) düzeltilen penetrasyon direnci değerleri ile ortalaması alınan nem içeriklerinin ilişkilendirilmesini, (3) herhangi bir zamanda yapılan belirlemeler için bünye gruplarına özgü genel nem-penetrasyon direnci ilişkileri kullanılarak düzeltilmiş penetrasyon direncilerinin eldesinin ve bir önceki elde edilmiş ilişki bağlamında değerlendirilmesini kapsamaktadır. Nem sabitelerinin tahminine yönelik alternatif model geliştirilmesinde ise; penetrasyon direncine ek olarak, bünye fraksiyonları (kum, kil ve silt), hacim ağırlığı, % CaCO₃ ve organik madde içeriklerine yer verilmiştir.

Toprakların nem – penetrasyon direnci ilişkileri bağlamında nem sabitelerinin (0.1, 0.33, 0.5 ve 15 bar) tahminine yönelik modeller için; gerçek veriler ile tahmin edilenler arasındaki en yüksek R² değerleri (0.61, 0.60, 0.64 ve 0.59) tınlı topraklarda elde edilmiştir. Söz konusu toprak grubu için hata kareler ortalaması karekökü (RMSE) 1.32 ve 1.90, ortalama hata (ME) ise 1.53 ve 2.05 arasında belirlenmiştir. Kum, kil, organik madde, hacim ağırlığı ve penetrasyon direnci özelliklerinin kullanımıyla farklı nem tansiyonları için açıklanabilirlik % 71 ve 77 arasında olmuştur. Penetrasyon direnci, organik madde, silt ve kum özelliklerinin kullanımıyla oluşturulan modellerin tahmin gücünün değerlendirilmesi kapsamında R² 0.63 ve 0.82, RMSE, 1.60 ve 5.08, ME ise 1.17 ve 3.97 aralıklarında belirlenmiştir. Dolayısıyla, sadece penetrasyon direncinin ya da diğer bazı toprak özelliklerinin ilavesiyle geliştirilen alternatif modellerin tınlı topraklarda güvenle

kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Benzer toprak gruplarında geğerliliği yksek olan modellerin elde edilebilmesi için; özellikle gruplar arası geçiş bölgelerinde yer alan toprakların alt gruplara ayrılması ve daha kapsamlı çalışmalar yürütülmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Penetrasyon direnci, nem sabiteleri, tahmin modeli

2019, 142 sayfa



ABSTRACT

Ph. D. Thesis

THE DEVELOPMENT OF PREDICTION MODELS TO DETERMINE SOME SOIL MOISTURE CONSTANTS BY PENETRATION RESISTANCE MEASUREMENTS

Pelin ALABOZ

**Isparta University of Applied Sciences
The Institute of Graduate Education
Department of Soil Science and Plant Nutrition**

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet Ali İŞILDAR

The studies regarding the prediction of soil moisture constants from other known or easily obtained soil properties, rather than direct measurements, never lose importance. Therefore, this study also focused on the predictability of some moisture constants, whose determination is often difficult and time-consuming, from penetration resistance measurements. The scope of the study was composed of the mainly; measurements of the penetration resistance at different soil moisture levels in the Isparta region. The soil samples taken from measurement points based on the laboratory analysis, were grouped as sandy, loamy and clay and their moisture levels were determined for different moisture tensions (0.1, 0.33, 0.5 bar and 15 bar). Model development stages covered; (1) the use of the averages moisture contents of each group to correct for a constant moisture content by means of individual moisture-penetration resistance relations, (2) the correlation between average moisture content and the corrected penetration resistance values, 3) any time for the determination obtained corrected penetration resistance using of moisture-penetration relationships specific to groups and their evaluation of the previous acquired relationship. In the development of alternative models for the estimation of moisture constants; in addition to penetration resistance, textural fractions (sand, clay and silt), bulk density, CaCO₃ % and organic matter contents were included.

For estimation models of moisture constants in the context of moisture-penetration resistance relationships of soils; the highest R² values (0.61, 0.609, 0.64 and 0.59) between the actual and the predicted data was obtained from the loamy soils. For this group, the root mean square of error (RMSE) was determined to change between 1.32 and 1.90 and in addition, mean error (ME) was determined to range from 1.53 to 2.05. For different moisture tensions, the explainability obtained for clay, organic matter, bulk density and penetration resistance properties was between 71 and 77%. For the moisture prediction models generated by the use of penetration resistance, organic matter, silt and sand properties, R² was determined to change between 0.63 and 0.82, RMSE and ME were range from 1.60 to 5.08, and from 1.17 to 3.97, respectively. Therefore, it is concluded that the alternative models, developed by the use of penetration resistance or by the addition of some other soil properties, could be used safely in the loamy soils. In order to obtain the models with high validity in

the similar soil groups, In particularly, it is recommended to divide the soils in the transition regions between groups in to subgroups and to conduct more comprehensive studies.

Key words: Penetration resistance, moisture constants, prediction model

2019, 142 pages



TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Ahmet Ali İŞILDAR'a

Bilgi ve desteklerinden yararlandığım tez izleme komitesi üyeleri hocalarım Prof. Dr. Cevdet ŞEKER ve Prof. Dr. Metin MÜJDECİ'ye, istatistik çalışmalarında yardımcı olan Doç. Dr. Özgür KOŞKAN'a

Arazi ve büro çalışmalarımda yardımcı olan Ziraat Yüksek Mühendisi Sinan DEMİR'e

ÖYP04947-DR-13 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı Birimi Başkanlığı'na

Çalışmalarım sırasında ve hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve arkadaşlarıma,

Dünyalar tatlısı oğlum Arda ALABOZ ve kızım Defne ALABOZ'a ayrıca tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan eşim Osman ALABOZ'a

Teşekkür ederim.

Pelin ALABOZ
ISPARTA, 2019

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Türkiye haritası üzerinde Isparta ilinin konumu.....	26
Şekil 3.2. Örnekleme ve ölçüm noktalarının dağılımı	28
Şekil 3.3. Modellerin değerlendirilmesinde kullanılan örnekleme ve ölçüm noktalarının dağılımı.....	30
Şekil 3.4. Bozulmuş ve bozulmamış örneklemeler.....	32
Şekil 3.5. Bazı ölçüm ve örnekleme alanlarından kesitler.....	33
Şekil 3.6. Penetrasyon direnci ölçümleri.....	34
Şekil 3.7. Laboratuvar analizleri	35
Şekil 3.8. Seramik tablalı pF seti	36
Şekil 3.9. Akış şeması	40
Şekil 3.10. Penetrasyon direnci nem ilişkisi	40
Şekil 3.11. Toprak grubuna ait gerçek nem içeriği(Ng) ile ortalama nem(on).....	41
Şekil 3.12. PR(on)'nin belirlenmesi.....	42
Şekil 3.13. Nt 'nin belirlenmesi	43
Şekil 3.14. Düzeltme denklemlerinin elde edilmesi.....	44
Şekil 3.15. Düzeltme denklemleri aracılığıyla PR(on) belirlemeleri.....	45
Şekil 3.16. Model güvenilirliğinin testi	45
Şekil 4.1. Kumlu ve killi toprakların dağılımı	46
Şekil 4.2. Kumlu toprakların nem-penetrasyon direnci ilişkisi.....	67
Şekil 4.2. Kumlu toprakların nem-penetrasyon direnci ilişkisi (Devam)	68
Şekil 4.2. Kumlu toprakların nem-penetrasyon direnci ilişkisi (Devam)	69
Şekil 4.3. Tınlı toprakların nem-penetrasyon direnci ilişkisi.....	70
Şekil 4.3. Tınlı toprakların nem - penetrasyon direnci ilişkisi (Devam).....	71
Şekil 4.3. Tınlı toprakların nem - penetrasyon direnci ilişkisi (Devam).....	72
Şekil 4.3. Tınlı toprakların nem - penetrasyon direnci ilişkisi (Devam).....	73
Şekil 4.3. Tınlı toprakların nem - penetrasyon direnci ilişkisi (Devam).....	74
Şekil 4.3. Tınlı toprakların nem - penetrasyon direnci ilişkisi (Devam).....	75
Şekil 4.3. Tınlı toprakların nem - penetrasyon direnci ilişkisi (Devam).....	76
Şekil 4.3. Tınlı toprakların nem - penetrasyon direnci ilişkisi (Devam).....	77
Şekil 4.3. Tınlı toprakların nem - penetrasyon direnci ilişkisi (Devam).....	78
Şekil 4.4. Killi toprakların nem - penetrasyon direnci ilişkisi	79
Şekil 4.4. Killi toprakların nem - penetrasyon direnci ilişkisi (Devam)	80
Şekil 4.4. Killi toprakların nem - penetrasyon direnci ilişkisi (Devam)	81
Şekil 4.5. Kumlu toprak grubuna özgü farklı tansiyonlarda tutulan gravimetrik nem içeriği - PR(on) ilişkisi.....	89
Şekil 4.6. Tınlı toprak grubuna özgü farklı tansiyonlarda tutulan gravimetrik nem içeriği - PR(on) ilişkisi	90
Şekil 4.7. Killi toprak grubuna özgü, farklı tansiyonlarda tutulan gravimetrik nem içeriği - PR(on) ilişkisi	91
Şekil 4.8. Kumlu toprak grubuna özgü farklı tansiyonlarda tutulan hacimsel nem içeriği - PR(on) ilişkileri.....	93
Şekil 4.9. Tınlı toprak grubuna özgü farklı tansiyonlarda tutulan hacimsel nem içeriği - PR(on) ilişkileri.....	93
Şekil 4.10. Killi toprak grubuna özgü farklı tansiyonlarda tutulan hacimsel nem içeriği - PR(on) ilişkileri.....	94
Şekil 4.11. Genel gravimetrik nem - penetrasyon direnci ilişkileri	98
Şekil 4.12. Genel hacimsel nem - penetrasyon direnci ilişkileri.....	99

Şekil 4.13. Kumlu toprak grubu için gerçek ve tahmini gravimetrik nem içerikleri arasındaki ilişkiler	108
Şekil 4.14. Tınlı toprak grubu için gerçek ve tahmini gravimetrik nem içerikleri arasındaki ilişkiler	109
Şekil 4.15. Killi toprak grubu için gerçek ve tahmini gravimetrik nem içerikleri arasındaki ilişkiler	110
Şekil 4.16. Kumlu toprak grubu için gerçek ve tahmini hacimsel nem içerikleri arasındaki ilişkiler	112
Şekil 4.17. Tınlı toprak grubu için gerçek ve tahmini hacimsel nem içerikleri arasındaki ilişkiler	113
Şekil 4.18. Killi toprak grubu için gerçek ve tahmini hacimsel nem içerikleri arasındaki ilişkiler	113



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Penetrasyon direncinin sınıflandırılması.....	15
Çizelge 2.2. Penetrasyon direncine ilişkin tahmin modelleri.....	22
Çizelge 2.3. Tahmin modellerinde kullanılan toprak özellikleri.....	23
Çizelge 3.1. Isparta ili meteorolojik verileri	25
Çizelge 3.2. Ölçüm ve örnekleme yapılan arazilerin kullanım durumları	29
Çizelge 3.3. Modellerin değerlendirilmesinde kullanılan örnekleme ve ölçüm yapılan arazilerin kullanım durumları	31
Çizelge 3.4. Bünye sınıflarına göre toprakların gruplandırması	36
Çizelge 3.5. PR(on) için genel tahmin modelleri	42
Çizelge 4.1. Kumlu toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	48
Çizelge 4.1. Kumlu toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri (Devamı)	49
Çizelge 4.2. Bünye sınıfına özgü tarla kapasitesi ve solma noktası içerikleri (Θ).....	51
Çizelge 4.3. Tınlı toprakların özellikleri	56
Çizelge 4.3. Tınlı toprakların özellikleri (Devamı).....	57
Çizelge 4.3. Tınlı toprakların özellikleri (Devamı).....	58
Çizelge 4.3. Tınlı toprakların özellikleri (Devamı).....	59
Çizelge 4.4. Killi toprakların özellikleri	61
Çizelge 4.4. Killi toprakların özellikleri (Devamı)	62
Çizelge 4.5. Hacimsel nem - penetrasyon direnci ilişkisi denklemleri.....	82
Çizelge 4.6. Kumlu toprak grubu için belirlenen PRon değerleri.....	84
Çizelge 4.7. Tınlı toprak grubu için belirlenen PRon değerleri	85
Çizelge 4.7. Tınlı toprak grubu için belirlenen PRon değerleri (Devamı).....	86
Çizelge 4.8. Killi toprak grubu için belirlenen PRon değerleri.....	87
Çizelge 4.9. Penetrasyon direnci ile gravimetrik nem arasındaki istatistiksel göstergeler	92
Çizelge 4.10. Penetrasyon direnci ile hacimsel nem arasındaki istatistiksel göstergeler	94
Çizelge 4.11. Korelasyon katsayıları	97
Çizelge 4.12. Gravimetrik nem içeriğine göre düzeltme denklemleri	100
Çizelge 4.13. Hacimsel nem içeriğine göre düzeltme denklemleri.....	100
Çizelge 4.14. Nem tahmin modelleri	102
Çizelge 4.15. Kumlu toprakların bazı özellikleri	103
Çizelge 4.16. Tınlı toprakların bazı özellikleri	104
Çizelge 4.17. Killi toprakların bazı özellikleri.....	105
Çizelge 4.18. Modellerin geçerliliği ile ilgili istatistiksel göstergeler	111
Çizelge 4.19. Modellerin geçerliliği ile ilgili istatistiksel göstergeler	114
Çizelge 4.20. Kumlu toprak grubuna özgü nem sabiteleri için regresyon denklemleri	116
Çizelge 4.21. Tınlı toprak grubuna özgü nem sabiteleri için regresyon denklemleri	116
Çizelge 4.22. Killi toprak grubuna özgü nem sabiteleri için regresyon denklemleri	116
Çizelge 4.23. Regresyon denklemlerinin R ² ve P değerleri	117
Çizelge 4.24. Kumlu toprak grubuna özgü nem sabiteleri için stepwise regresyon denklemleri	118
Çizelge 4.25. Tınlı toprak grubuna özgü nem sabiteleri için stepwise regresyon denklemleri	120

Çizelge 4.26. Killi toprak grubuna özgü nem sabiteleri için stepwise regresyon denklemleri	121
Çizelge 4.27. Alternatif modellerin geçerliliği ile ilgili istatistiksel göstergeler	122



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CaCO ₃	Kireç
HA	Hacim ağırlığı
ME	Hata ortalama
NIR	Yakın kızıl ötesi yansıma
Nt	Tahmini nem içeriği
Ng	Gerçek nem içeriği
On	Ortalama nem
PCA	Temel bileşenler analizi
PR	Penetrasyon direnci
PTFs	Pedotransfer fonksiyon
PR(on)	Ortalama nem'e göre düzeltilmiş penetrasyon direnci
RMSE	Hata kareler ortalaması karakökü
R ²	Belirleme katsayısı
r	Korelasyon katsayısı
TK	Tarla kapasitesi
SN	Solma noktası

1. GİRİŞ

Sanayileşen ülkeler tarafından yoğun olarak atmosfere salınan sera gazlarının (karbondioksit, kloroflorokarbon, metan, azot oksitler, ozon ve su buharı) neden olduğu küresel ısınma; kutup buzullarının erimesi, yağış ve sıcaklık bağlamındaki iklim değişikliklerine ve doğal olarak su kaynaklarının azalmasıyla şiddetlenen kuraklığa yol açmaktadır. Çeşitli iklim değişikliği senaryolarında 2050 yılına kadar sıcaklıkların artacağı böylelikle buharlaşmanın ciddi boyuta ulaşacağı ortaya konmuştur. Türkoğlu vd. (2014) tarafından, son dönemlerde elma, kiraz ve buğdayın, artan sıcaklıklara tepki olarak fenolojik dönemlerini erkene kaydardıkları bildirilmektedir.

Coğrafi konumu ve yapısı nedeniyle farklı iklim bölgelerine sahip olan Türkiye'nin, yıllık yağış ortalaması 643 mm civarında ve kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1.519 m³'dür. Dolayısıyla su zengini sayılmayan Türkiye'de büyük bir kısmı tarım sektöründe kullanılan suyun yönetiminde uygulanacak doğru yaklaşımlar, yine tarım ve diğer sektörel alanlardaki kullanılabilir su varlığını arttıracaktır (DSİ, 2017).

Tarımın en temel ihtiyacı olan su yaşamın vazgeçilmez bir unsurudur. Ülkemizin yıllık ortalama 112 milyar m³ 'lük kullanılabilir su potansiyelinin % 16'sını içme ve kullanmada, % 12'si sanayide % 72'si ise tarım sektöründe değerlendirilmektedir (DSİ, 2017). Hükümetler arası iklim değişikliği paneli son değerlendirme raporunda yer alan (IPCC, 2014) kötümser senaryoda, 2013-2040 yılı periyodunda ilkbahar ve yaz mevsimlerinde sıcaklığın 3 C⁰ artacağı, ayrıca sonbahar yağışlarında azalışların olacağı bildirilmektedir. Yine aynı raporda küresel ortalama yüzey sıcaklığının sanayi devrimi öncesi döneme göre 0.9 C⁰ yükseldiği, söz konusu bu sıcaklık artışında insanların etkisinin oldukça yüksek olduğu belirtilmiştir. Sayılan nedenlerle su kazanımı ve depolanması yanında toprak neminde ortaya çıkacak azalış; tarımsal üretkenliği olumsuz etkileyerek gelecekte insanların besin gereksinimlerinin karşılanmasında büyük zorluklara yol açacaktır. İlerleyen dönemlerde suyun öneminin giderek artacağı öngörüsü kapsamında su kullanımı ve yönetimine olan ilginin kaçınılmaz olacağı ortadadır. Son zamanlarda suyun daha az kayıpla ve yüksek randımanla tüketimi amacıyla farklı sulama sistemlerinin kullanımı hızla yaygınlaşmaya başlamıştır.

Bitki gelişme ortamı olan toprağın sahip olduğu verimlilik kabiliyeti yalnızca besin elementi içeriğiyle değil fiziksel özellikleriyle de yakından ilgilidir. Bitkisel üretimde optimum verim için, sulamanın gerekliliği yanında uygulanacak su miktarının bilinmesi de bir zorunluluktur. Dolayısıyla toprakların tarla kapasitesi ve solma noktası sabitelerinin belirlenmesi büyük bir önem arz etmektedir. Toprak nem durumunun doğru olarak tahmin edilmesi, sulamanın programlanması, kuraklık yönetiminde önemli bir yere sahip olacaktır. Sulama programlamalarında verilen suyun ne kadarının toprağın kaç cm'sini ıslatacağı ya da ne kadarının kök bölgesinden uzaklaşacağını değerlendirebilmek için belirli tansiyonlarda tutulan toprak nem miktarının bilinmesi gerekmektedir.

Bitkiler, ihtiyaçları olan besin maddelerinin çoğunu suda çözülmüş halde topraktan alırlar. Ayrıca su; besin maddelerinin bitki köküne taşınımı, fotosentez ve turgor gibi birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik reaksiyonlarda doğrudan ya da dolaylı olarak önemli görevler üstlenmektedir. Sulama ve yağışla toprağa giren suyun bir kısmı toprak gözeneklerinde tutulurken bir kısmı drenaj ile topraktan uzaklaşır. Toprak yapısı içerisinde bulunan mikro porlarda depo edilen su, kapilar kanallar içerisinde hareket etmekte olup bu hareket, adezyon, kohezyon ve yerçekimi etkisi altında gerçekleşmektedir. Adhezyon ve kohezyon toprakta suyun tutulmasında görevli iken yer çekimi kuvveti suyun aşağıya hareketinde etkilidir. Nem miktarı azaldıkça suyun tutulma gücü artar ve bitkinin su alımı güçleşir. Serbest drenaj koşullarında sızan su hareketi sona erdikten sonra tutulan su, tarla kapasitesi olarak belirtilirken bitkilerin devamlı solmaya başladığı, topraktan suyu alamadığı andaki su miktarı ise solma noktası olarak tanımlanmaktadır (Bahtiyar, 1978; Çepel, 1988). Söz konusu toprak nem sabitelerinin belirlenebilirliği oldukça güç ve zaman alıcıdır. Yine bilindiği üzere laboratuvar belirlemeleri için pahalı ekipmanlar gerektirmektedir.

Son yıllarda toprak özellikleri arasındaki ilişkileri açıklayan Pedotransfer Fonksiyonlar (PTFs), araştırmacıların oldukça dikkatini çekmekte olup söz konusu bu çalışmalarda, kolay ölçülen çeşitli toprak özellikleri yardımıyla zahmetli, zaman alıcı, yöntemlerle ölçülen toprak özelliklerinin tahmini yapılmaktadır. Böylelikle söz konusu fonksiyonlar sayesinde tahmin edilmesi zor olan özellikler kolaylıkla belirlenebilmektedir. PTFs'nin kullanımı bugün için çoğunlukla toprakta suyun

tutulması ve hidrolik iletkenliğin tahmini üzerine olup söz konusu özellikler üzerinde çok farklı modeller oluşturulmaktadır. Oluşturulan modellerin birbirinden farklı olmasının sebebinin yöntem farklılığı ve toprak özelliklerindeki değişimden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Toprak özellikleri incelendiğinde, bir parametrenin birden çok parametreyi etkilediği yapılan birçok çalışmada görülmekte olup penetrasyon direncinde toprağın bu özellikleri arasında yer almaktadır. Penetrasyon direnci, arazide kolaylıkla ölçülebilen bir parametre olup toprak sıkışmasının bir göstergesidir. Sıkışma, toprak strüktüründe dış kuvvetlerin etkisi altında parçacıkların daha sıkı bir şekilde istiflenmesi şeklinde tanımlanmaktadır. Penetrasyon direncinin artışına sebep olan sıkışma, toprak içerisindeki gaz hareketini etkileyerek oksijen ve karbondioksit dengesinde değişimlere, geçirimsiz katmanlar oluşumuna sebep olmaktadır. Penetrasyon direnci birçok özelliğe bağlı olarak değişim göstermekte ve azalan nem içeriğine bağlı olarak önemli artışlar görülmektedir (Busscher, 1990; Şeker, 1997; Turgut vd., 2008). Toprak nem içeriğinden büyük ölçüde etkilenen bu özelliğin toprak nem sabitelerinin tahmininde de kullanılabileceği öngörülmektedir.

Bu çalışmada; toprağın bilinen özelliklerine ilişkin verilerin kullanılması yoluyla, bir başka toprak özelliği değerinin tahminine yönelik model çalışmalarına odaklanılmıştır. Keza, topraklarda penetrasyon direnci değerlerinin; nemden önemli düzeyde etkilenmesi ve geniş sayılabilecek bir değişim aralığı sergilemelerinden ve ayrıca belirlenebilirliğinin kolay olmasından yola çıkılarak, nem sabitelerinin penetrasyon direnci değerlerinden tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca bu çalışmayı diğerlerinden ayıran özgünlüğü, farklı toprak gruplarıyla çalışılmış olması ve toprak gruplarına bağlı olarak bir değerlendirme yapılmasıdır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Toprak suyu; sulama ve yağışlarla toprağa giren, gözenekler içerisinde bulunarak toprak sıvı fazını meydana getiren, bitki gelişimini etkileyerek fiziksel ve kimyasal birçok reaksiyonda rol alan bir etmendir. Dipol özellikte olan su molekülleri hegzagonal bir yapı oluşturacak şekilde bir araya gelirler. Dipol özellik, su moleküllerinin bir arada bulunmasında ve toprakta suyun tutulmasında oldukça önemli bir faktördür. Toprakta suyun tutulması farklı kuvvetlerin etkisinde olup bunlar; adezyon, kohezyon, hidrojen ve kovalent bağlar ile Van der Waals-London (V-L) kuvvetleri'dir (Bahtiyar, 1978; Çepel, 1988).

Toprakta su, potansiyel ve kinetik olarak iki farklı enerjiye sahiptir. Su hareketi oldukça yavaş olduğundan kinetik enerjiden ziyade potansiyel enerji önemlidir. Toprak suyunun toplam potansiyeli; yerçekimi potansiyeli, basınç ve ozmotik potansiyelin toplamı olarak belirlenir. Yerçekimi potansiyeli; birim miktar suyun, bir referans noktasından belli bir seviyeye çıkarılması için, yapılan iş'tir. Basınç potansiyeli doymuş toprak şartları için geçerli olup, değeri referansa göre suyun derinliğine eşittir. Negatif basınç potansiyeli ise matrik potansiyel (tansiyon, emiş) olarak ifade edilmektedir. Matrik potansiyel, suyun toprağa bağlanma gücünün bir göstergesidir. Ozmotik potansiyel ise çözünebilir tuzlardan dolayı osmotik basınç farklarının meydana getirdiği potansiyeldir (Bahtiyar, 1978; Çepel, 1988).

Toprakta suyun tutulma birimi atmosfer, bar veya cm su sütunu yüksekliği olarak ifade edilmekte olup toprakta cm su sütünü yüksekliğinin logaritması pF olarak bilinmektedir (1033.6 cm su = 100kPa). Toprakta mevcut su; sızan su ve tutulan su (kapılar su ve higroskopik su) olarak sınıflandırılmaktadır. (Bahtiyar, 1978; Çepel, 1988). Sızan su, doymuş bir topraktan yerçekimi etkisi ile uzaklaşan su olarak tanımlanırken, kapılar su 1/3 ile 31 atm arası, higroskopik su ise 31 atm'den daha yüksek tansiyonda tutulan su olarak bilinmektedir.

Bitkilerin sulama zamanı ve verilecek su miktarının belirlenmesinde tarla kapasitesi ve solma noktası nem sabitelerinden yararlanılması, bilindiği üzere suyun optimum kullanımı bakımından büyük önem taşımaktadır. Bahtiyar (1978), toprakta 0.33-31 atm'lik bir tansiyona bağlı olan kapılar suyun, yalnızca tarla kapasitesi (0.33 atm) ve solma noktası (15 atm) arasındaki kısmının bitkiler tarafından faydalanılabilir olduğunu belirtmiştir. Tarla kapasitesi ve solma noktası belirlemeleri arazi koşullarında oldukça zaman alıcı ve zahmetlidir. Söz konusu nem sabiteleri doğrudan ve dolaylı olarak belirlenebilmektedir. Doğrudan belirleme yönteminde tarla kapasitesi için düz bir arazi su ile göllendirilerek toprak profil'inin iyice ıslatılması sağlanır. İnfiltrasyon olan suyun toprak yüzeyinden kaybolması sonrası toprak yüzeyi plastik bir örtüyle örtülür. Yaklaşık 2 gün sonra (suyun drenajının ihmal edilecek kadar azaldığı seviye) belirlenen nem içeriği tarla kapasitesi olarak belirtilir. Solma noktasında ise indikatör bitki olarak ayçiçeği bitkisi seçilmektedir. Bitkilere, üçüncül yaprakları çıkıncaya kadar yeterli miktarda su verilir ve daha sonra sulama sonlandırılır. Yaprakların sürekli olarak solup solmadığından emin olmak için, bitkiler nemli ve karanlık bir odada gece boyunca bekletilir. Eğer yapraklar solgunluğunu muhafaza ediyor ise solmanın meydana geldiği noktadaki toprak su içeriği solma noktası olarak belirlenmektedir (Peters, 1965).

Dolaylı belirleme yöntemlerinde ise laboratuvar koşullarında söz konusu sabiteler gözenekli seramik tablalarda basınç tenceresi yardımıyla belirlenebilmektedir. Laboratuvar ölçümlerinde -100 ile -500 cm su basıncı yaklaşık tarla kapasitesi belirlemelerinde kullanılmaktadır (Romano ve Santini, 2002). Richards ve Weaver (1944)'e göre tarla kapasitesi için yaygın olarak 1/3 atm (~ 0.33 bar = ~ 330 cm) basınçta tutulan su kullanılırken, Romano ve Santini (2002)'e göre bünyeye bağlı olarak kumlu topraklar -100 cm, orta bünye için -350 cm, killi topraklar için ise -500 cm matris yükleri kullanılabilir. Ancak laboratuvarlarda kullanılan cihazların maliyeti de yüksektir ve Türkiye'de mevcut durumda özel laboratuvarların çoğunluğunda bulunmamaktadır.

Pedotransfer Fonksiyonlar (PTFs), kolay ölçülen toprak özelliklerinden yararlanılarak zahmetli, zaman alıcı, pahalı yöntemlerle ölçülen toprak özelliklerinin tahminine yönelik modeller olarak tanımlanmaktadır. PTFs uygulamalarında, uluslararası nitelik taşıyan UNSODA (Unsaturated Soil Hydraulic Database), HYPRES (Hydraulic Properties of European Soils), NRCS (National Soil Survey Center Characterization database) gibi veri tabanları yanında Rect, Rosetta gibi programlar kullanılmaktadır.

Pedotransfer fonksiyonlar Lin vd. (2014) tarafından beş kategoride sınıflandırılmıştır.

I: Temel PTFs : Temel toprak özelliklerini kapsayan modeller.

$$OC = 3.04 + 0.01(\%kil + \%silt) \quad (\text{Zinn vd., 2005}) \quad (2.1)$$

II: Dinamik sürekli PTFs: Toprağın değişken parametrelerini kapsayan modeller.

$$OC = 0.46 + 0.58 \times LOI(g/kg) - 0.101 \times \%kil - 0.0085 \times \text{xderinlik} \quad (\text{De Vos vd., 2005}) \quad (2.2)$$

III: Sınıf PTFs : Horizon ve strüktürel özellikleri kapsayan modeller.

$$K_{sat} = -22.43 + 38.26M_{It} + 33.82M_{Im} + 21.07M_{Isg} + 47.54M_{Ist} + 102.36M_{Ipq} + 45.45M_{Ips} + 33.27M_{Irq} \quad (\text{Lin vd., 1999}) \quad (2.3)$$

IV: Topoğrafik PTFs: Topoğrafik özellikler kapsayan modeller.

$$OM = 3.174 + 1.755 \times TWI + 0.003 \times SL + 0.21 \times RPI \quad (\text{Guo vd., 2013}) \quad (2.4)$$

V: iklim ya da arazi kullanım planlamasına dayalı parametreleri içeren modeller.

$$OC = 4.09 - 0.83 \times MAT + 0.022 \times MAT^2 + 0.127 \times MAP - 0.00094 \times MAP^2 + 0.0006 \times MAP \%kil + 0.0009 \times MAP \%silt \quad (\text{Burke vd 1989}) \quad (2.5)$$

Modellerde, OC: Organik karbon, LOI: yanma kaybı, Ksat: Hidrolik iletkenlik, M_{It} : tekstür sınıfı indeksi, M_{Im} : nem durumu indeksi, M_{Ipq} : makro por miktarı indeksi, M_{Ips} : makro por boyut indeksi, M_{Irq} : kök bulunma indeksi, M_{Isg} : ped açığı indeksi, M_{Ist} : ped şekil indeksi, OM: organik madde, TWI: topoğrafik indeks, SL: eğim uzunluğu, RPI: pozisyon indeksi, MAT: ortalama yıllık sıcaklık, MAP: ortalama yıllık yağış'ı ifade etmektedir.

PTFs kullanımı yaygın olarak toprakta suyun tutulması ve hidrolik iletkenliğin tahmini üzerine olup toprağın kimyasal ve biyolojik diğer parametreleri üzerinde de kullanılabilir.

Modellerin oluşturulmasında çok değişkenli regresyon analiz yöntemlerinden ya da çeşitli algoritmalarından yararlanılmaktadır. Bunlardan bazıları; bağımlı ve bağımsız değişkenlerin doğrudan ve dolaylı etkilerini belirleyen path analizi, birden fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi ölçmek için kullanılan çoklu lineer regresyon, yapay sinir ağları, benzetilmiş tavlama algoritmaları ve genetik algoritmalarıdır. PTFs ile oluşturulan modellerde gerçek değerler ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırılmasında; Hata kareler ortalaması karakökü (RMSE), regresyon belirleme katsayısı (R^2) ve ortalama hata (ME) parametreleri kullanılmaktadır.

Toprakta tutulan suyun belirlenmesine yönelik PTFs kullanımında noktasal ve parametrik olarak 2 yaklaşım söz konusudur; ⁽¹⁾çeşitli basınç yükleri altında toprak su içeriğinin tahmini için her bir basınç yüküne özgü ayrı denklemlerin kullanılmasına ilişkin noktasal yaklaşım ve ⁽²⁾denklemlerdeki tahmin katsayılarını içeren parametrik yaklaşımdır. Bu amaçla en sık kullanılan denklemler Brooks-Corey (1964) ve Van Genuchten, vd.,(1980) tarafından önerilmiş olanlardır.

$$\frac{\Theta - \Theta_r}{\Theta_s - \Theta_r} = \left(\frac{H_b}{H} \right)^\lambda \quad (2.6)$$

$$\frac{\Theta - \Theta_r}{\Theta_s - \Theta_r} = 1 / (1 + |ah|^n)^m \quad (2.7)$$

Modellerde, Θ : Hacimsel su içeriği (cm cm^{-3}), Θ_r : Kalan su içeriği (residual; cm cm^{-3}), Θ_s : Doygun su içeriği, (cm cm^{-3}), h : Toprak su potansiyeli (cm), H_b : Hava giriş değeri (cm) a : Gözenek çapı ortalaması ile ters orantılı bir katsayı (cm^{-1}), m, n : Denklem katsayısı, $n > 1$, ve $m : 1 - 1/n, 0 < m < 1$, λ : toprak karakteristik eğrisinin eğimini etkileyen parametreleri ifade etmektedir .

Retc ve Rosetta, Van genuchten denklem parametrelerini tahmin etmek için yaygın olarak kullanılan bilgisayar programlarıdır. Unguraşu vd. (2012) tarafından, Rosetta programı kapsamında;

- (1) tekstür sınıfı
- (2) kum, kil ve silt içeriği
- (3) kum, kil ve silt içeriği, hacim ağırlığı
- (4) kum, kil ve silt içeriği, hacim ağırlığı, 33kPa'daki su içeriği
- (5) kum, kil ve silt içeriği, hacim ağırlığı, 33kPa ve 1500 kPa'daki su içerikleri

parametreleri kullanılarak gerçekleştirilen bir çalışmada; tüm hidrolik özelliklerin (su tutma parametreleri, doymun ve doymun olmayan durumdaki hidrolik iletkenlik değerleri) başarılı bir şekilde tahmin edilebildiği bildirilirken, Alvarez-Acosta vd. (2012), doymun durumdaki hidrolik iletkenliğin, gerçeğe en yakın olarak 5. fonksiyonun kullanımıyla tahmin edilebildiğini bildirmişlerdir.

Yang ve You (2013) tarafından Van Genuchten parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan bazı akıllı algoritmalar [Düzeltilmiş parçacık sürü optimizasyonu (IPSO), genetik algoritma (GA), benzetilmiş tavlama algoritması (SA)] ile Rect ve Rosetta programlarının etkinliklerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada; algoritmalar içerisinde denklem parametreleri için, en yüksek R^2 ve en düşük RMSE (hata kareler ortalaması karekökü) değerleri IPSO ile belirlenmiştir. Rosetta programı ile tahmin edilen nem içerikleri gerçek değerlerle örtüşmezken Rect, nem içeriğini iyi bir şekilde yansıtmış fakat modelde kullanılan Θ_r (kalan su içeriği) belirlenememiştir. Sonuç olarak araştırmacılar tarafından IPSO diğer methodlara göre daha güvenilir bulunmuştur.

Kütle yoğunluğunun pedotransfer fonksiyonlar ile belirlenebilirliğinin Özdemir vd. (2018) tarafından araştırıldığı çalışmada; toprakların kum(S), kil(C), silt(Si) organik madde(OM), kireç, tarla kapasitesi(TK), solma noktası(SN), katyon değişim kapasitesi(KDK), pH, değişebilir Ca, Mg, ve Na özellikleri kullanılarak kütle yoğunluğu tahmin modelleri oluşturulmuştur. Kütle yoğunluğu ile kum içeriği arasında pozitif, diğer değişkenler ile ise negatif yönde bir ilişki belirlenmiş olup değişkenlerin doğrudan etkileri $Si+C>S>Kireç>C>Ca+Mg>SN>TK>KDK>OM$

şeklinde sıralanmıştır. Elde edilen pedotransfer modellerde aşağıda belirtilen denklemin ($R^2:0.62$) söz konusu özelliğin tahmini için kullanılabilceği belirtilmiştir.

$$HA= 4.317-0.002xC-0.001x (Ca+Mg)-0.028xS-0.029(C+Si) \quad (2.8)$$

Modellerde, HA: kütle yoğunluğu, C: kil, Ca: değişebilir kalsiyum, Mg: değişebilir magnezyum, S: kum, Si: silt'i ifade etmektedir.

Elde edilen modelde tahmin edilen değer ile gerçek değerlerin ilişkilendirilmesi sonucu modelin tahmin etme düzeyinin % 66 olduğu belirtilmiştir.

Yakupoğlu vd. (2012) tarafından yapılan, toprak aşınabilirliğinin PTFs ile tahminine yönelik bir çalışmada, modellerin oluşturulmasında kullanılan toprak özelliklerinden (Silt, kil, organik karbon, kireç, tarla kapasitesi, solma noktası, dağılmaya karşı dayanım) Kil ve organik karbon'un modellerde kullanılması ile tahmin doğruluğunun artacağı bildirilirken, silt ve kumun bağ gücünün kilin bağ gücünden zayıf olduğu, zayıf bağlarla bağlanan yapıyı stabilize etmek için çimentolayıcı ve bağlayıcı bir madde olan organik maddeye ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. Oluşturulan eşitliklerden en yüksek ilişkiler aşağıdaki denklemler için elde edilmiştir.

$$AS = 9.838+0.061C+1.3920C-28.881SN-5.369nV \quad (2.9)$$

$$AS = 12.058+0.061C+1.3850C-23.032SN-6.839nV-0.043CaCO_3 \quad (2.10)$$

Modellerde, AS: ıslak agregat stabilitesi, C: kil, SN: solma noktası, nV:dağılmaya karşı dayanım, $CaCO_3$: kireç, OC: organik karbon'u ifade etmektedir.

Shalmani vd. (2010) ise agregat stabilitesi tahmininde tane büyüklük dağılımı, tane yoğunluğu, kireç, pH ve mekanik direnç gibi özelliklerin kullanılmasıyla doğruluğu yüksek modeller oluşturulabileceğini bildirmişlerdir. Yine Yakupoğlu vd. (2013), tarafından hidrolik iletkenliğin tahminine yönelik pedotransfer fonksiyonların kullanımına yer verilen bir çalışmada; temel toprak özelliklerinin path analizi aracılığıyla değerlendirilmesi sonrası en yüksek R^2 ile elde edilen model;

$K_{sat} = 1.278 - 0.0205S + 0.002Si - 0.046(Si + C) + 10.233 Sat + 5.092Tk + 6.470Ha$ (2.11)
($R^2 : 0,809$) şeklinde bulunmuştur.

Modelde, K_{sat} : saturasyondaki hidrolik iletkenlik, S : kum, Si : silt, C : kil, Sat : saturasyon, Ha : hacim ağırlığı, Tk : tarla kapasitesini ifade etmektedir.

Modelde kullanılan parametrelerin etkileri $Si + C > S > HA > SAT > TK > Si > YSK$ şeklinde bulunmuştur. Hidrolik iletkenliğin tahmininde, nem sabiteleri tekstürel veriler ve hacim ağırlığının kullanımının modellerin tahmin doğruluğunu arttırdığı bildirilmiştir. Ayrıca oluşturulan modellerin birbirinden farklı olmasının sebebinin yöntem farklılığı, toprak yapısındaki değişim ve örnekleme sayılarının çeşitliliğinden kaynaklandığı bildirilmektedir. Hidrolik iletkenliğin tahminine yönelik benzer bir çalışmada (Gülser ve Candemir, 2014) R^2 değerleri 0.809, 0.868, 0.753, 0.796, 0.903, 0.955 olarak bulunan modeller aşağıda verilmiştir.

$$K_s = 0.0782 C + 0.0850 S\dot{I} - 4.73 HA \quad (2.12)$$

$$K_s = - 8.8 - 0.272 C + 0.245 S\dot{I} + 22.2 HA + 0.0028 C^2 - 0.00165 S\dot{I}^2 - 10.7HA^2 \quad (2.13)$$

$$K_s = 6.92 + 0.039 TK - 0.361 SN \quad (2.14)$$

$$K_s = 2.40 + 0.754 TK - 1.50 SN - 0.0097 TK^2 + 0.036 SN^2 \quad (2.15)$$

$$K_s = 29.5 + 0.110 C + 0.076 Si - 18.5 HA - 0.0387 TK - 0.864 SN \quad (2.16)$$

$$K_s = - 28.9 + 0.539 C - 0.184 Si + 101 BD + 0.338 FC - 3.69 SN - 0.0044 C^2 + 0.0042 Si^2 - 54.3 BD^2 - 0.0042 TK^2 + 0.089 SN^2 \quad (2.17)$$

Modellerde, K_s : saturasyondaki hidrolik iletkenlik, C : kil, $S\dot{I}$: silt, HA : hacim ağırlığı, TK : tarla kapasitesi, SN : solma noktasını ifade etmektedir.

Modellerde kullanılan parametrelerin etkinlikleri $SN > HA > Kil > Silt > TK$ şeklinde bulunmuştur. Kum içeriği, silt ve kil'e göre daha düşük ilişki sergilediğinden modellerde yer verilmemiştir. Hidrolik iletkenliğin tahmininde nem sabitelerinin kullanımının, modellerin doğruluğunu arttırdığı, hacim ağırlığı ve tekstür yerine por yapısı hakkında bilgi veren nem sabitelerinin kullanımının daha etkili olduğu belirtilmiştir.

Grewal vd. (1990) tarafından, farklı tekstürlere sahip topraklarda (kil, kumlu tın, siltli tın, killi tın) tarla kapasitesi (10kPa) ve solma noktası sabitelerinin (1500kPa) (kütlesel ve hacimsel) saturasyon yüzdesinden tahmin edilmesi amacıyla yapılan bir başka çalışmada; söz konusu nem sabitelerini kütlesel olarak en yüksek R² değerleriyle veren eşitlikler aşağıda belirtildiği şekilde bulunmuştur.

$$FC = 2.62+0.595(SP) \quad R^2 : 0.941 \quad (2.18)$$

$$WP = -7.92+0.593(SP) \quad R^2 : 0.906 \quad (2.19)$$

Modellerde, FC : tarla kapasitesi, WP : solma noktası, SP : saturasyon yüzdesini ifade etmektedir.

Tane büyüklük dağılımı ve organik karbon içeriğinden nem sabitelerinin tahmin edilebilirliğinin araştırıldığı çalışmada (Canbolat, 1999); tarla kapasitesi ve yarayışlı su içeriğinin tahmininde kum, solma noktasında ise kil fraksiyonlarının etkili olduğu belirtilmiştir. Silt fraksiyonuyla yarayışlı nem ve tarla kapasitesi arasında pozitif, kum fraksiyonuyla ise tarla kapasitesi ve solma noktası arasında negatif bir ilişki elde edilmiştir. Organik karbonla söz konusu nem sabiteleri arasında önemli pozitif ilişkiler bulunmuştur. Çoklu regresyon modelleri ile tarla kapasitesi % 96, solma noktası % 97, yarayışlı su ise % 78 oranında diğer toprak özellikleri kullanılarak açıklanabilmektedir.

Toprakların kum içeriği ve hacim ağırlığı özellikleri kullanılarak tarla kapasitesi (10 kPa) tahmini için geliştirilen modellere ilişkin R² değerleri sırasıyla 0.81, 0.88 olarak bulunmuştur (Minasny, 2009). Farklı tekstür, organik madde ve nem içeriğine sahip toprakların saturasyon yüzde değerleri kullanılarak tarla kapasitesi, solma noktası ve yarayışlı su içeriğinin belirlenmesine yönelik bir çalışmada (Mbah, 2012), yarayışlı su tahmin modeline ilişkin R² değerinin düşük bulunması kullanımını engelleyen bir faktör olarak değerlendirilmiştir. Mohanty vd. (2015) tarafından ise toprakların hacim ağırlığı, kum, kil, silt özellikleri kullanılarak geliştirilen tarla kapasitesi ve solma noktası nem sabiteleri tahmin modellerinden (yapay sinir ağıları) elde edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki ilişkilere özgü R² değerleri sırasıyla 0.90 ve 0.84 olarak belirlenmiştir.

Cemek vd. (2004) tarafından, toprakların tarla kapasitesi ve solma noktası nem sabiteleri tahmininde kum, kil, silt ve hacim ağırlığı (HA) parametrelerinin yer aldığı modeller:

$$\text{Tarla kapasitesi} = 60.4 - 0.11 \times \text{HA}^2 \times \text{silt} - 0.12 \times \text{kil} - 0.32 \times \text{HA} \times \text{kum} \quad (2.20)$$

$$\text{Solma noktası} = 32.8 + 0.002 \times \text{HA}^2 \times \text{kum} + 0.14 \times \text{silt} + 0.17 \times \text{kil} - 16.94 \text{ HA} \quad (2.21)$$

olarak belirlenmiştir.

Modellerin oluşturulmasında kullanılan bağımsız değişkenlerin etkisi kum>HA>kil>silt şeklinde bulunmuştur. Toprak nem sabitelerinin tahmininde tanecik boyutu, hacim ağırlığı gibi parametrelerin kullanımının söz konusu modellerin doğruluğunu arttıracığı belirtilmiştir.

Cezayir topraklarının su tutma potansiyellerinin noktasal ve parametrik denklemler kullanılarak değerlendirilmesi amacıyla Touil vd. (2016), tarafından yapılan çalışmada, tarla kapasitesi ve solma noktasının tahmininde noktasal modellerin kullanımının daha doğru olduğu belirtilmiştir. Orta bünyeli topraklar için -33kPa'da tutulan su içeriği tahmininde, % kil ve hacim ağırlığı parametrelerinin kullanımının denklemin doğruluğunu arttırdığı belirtilmiştir. -33kPa'da tutulan su içeriği tahminlerinde modellerin duyarlılığının artması için bünye fraksiyonlarından öncelikli olarak kumun eklenmesi gerektiği, %60'dan fazla kil içeren toprakların modellerde yer almasının tahmin doğruluğunu azalttığı bulunmuştur. Modellere tekstür fraksiyonlarının eklenmesiyle organik madde'nin etkinliğinin azaldığını belirtilmiştir.

Tarla kapasitesi ve solma noktası'nın pedotransfer fonksiyonlarla belirlenmesine yönelik bir başka çalışmada (Gülser, 2004), toprakların kum(S), kil(C), silt(Si), organik madde (OM), EC, toplam gözeneklilik (F) özellikleri kullanılmıştır. Çalışmada tarla kapasitesi ile porozite, solma noktası ile kil içeriği arasında yüksek ilişkilerin elde edildiği bulunmuştur. Önemli düzeyde doğrudan ilişki gösteren özellikler tarla kapasitesi (TK) için sırasıyla F>S>C>OM>EC ve solma noktası(SN) için C>F>S>EC>OM olarak belirlenmiştir. Söz konusu parametreler kullanılarak oluşturulan regresyon denklemleri için elde edilen R²'ler TK için 0.855 SN için ise 0.962'dir.

Toprak özelliklerinin tahmin edilmesinde, kızılötesi spektroskopi yansımalarının kullanılabilirliğinde araştırılmıştır (Viscarra Rossel vd., 2006). Nem içeriği (Chang vd., 2001), kil, silt, kum (Cozzolino ve Moron, 2003) gibi toprak özelliklerinin belirlenmesinde yakın kızılötesi yansıma (NIR) spektroskopisi yönteminin kullanımıyla yüksek ilişkilerin belirlendiği araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur.

Toprağın bazı özelliklerinin tahminine ilişkin hiperspektral yansıma değerleri ve çoklu regresyon analizleri yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen bir çalışmada;

$$\text{Tarla kapasitesi} = 336.3 - 18633.9 \times \text{first} (2360\text{nm}) + 8201.5 \times \text{first} (2310 \text{ nm}) \quad (2.22)$$

$$\text{Solma noktası} = 20.3 - 14474.4 \times \text{first} (2360 \text{ nm}) + 6046.2 \times \text{first} (2310 \text{ nm}) \quad (2.23)$$

$$\% \text{ Kil} = 72.6 + 15313.3 \times \text{first} (2240) + 99811.6 \times \text{first} (1320) \quad (2.24)$$

$$\% \text{ Kum} = 9.78 + 35862.1 \times \text{first} (1330 \text{ nm}) - 25112.3 \times \text{first} (2240 \text{ nm}) \quad (2.25)$$

$$\% \text{ Silt} = 10.021 + 140.306 \times \text{raw} (2250 \text{ nm}) - 322.465 \times \text{raw} (350 \text{ nm}) \quad (2.26)$$

Modellerde, first: spektral yansıma değerlerinin ilk türevi, raw: spektral yansımalar'a karşılıktır.

Model tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki ilişkilere özgü r^2 değerleri sırasıyla 0.79, 0.8, 0.72, 0.19, 0.62 olarak bulunmuştur (Arslan vd., 2014).

Mohawesh (2013), tarafından kurak ve yarı kurak bölgelerde hidrolik iletkenliğin tahmininde daha önce diğer bazı araştırmacıların elde ettiği 18 model değerlendirilmiştir. Tarla kapasitesi için HYPERS (Wösten vd., 1999) ve BSSTOPSOİL (Hutson ve Wagenet, 1992) modelleri daha etkili bulunmuş ve söz konusu bulgunun kullanılan toprakların benzer özellik sergilemesinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Solma noktası için ise RAWLS (EPIC/ASW, 2006) RAWLS-BRAKENIEK (Rawls ve Brakensiek, 1989), HYPER (Wösten vd., 1999) modelleri daha etkili bulunmuştur. VEREECKEN (Vereecken vd., 1989) modelinde ise korelasyonun yüksek olmasına rağmen diğer karşılaştırma parametrelerinin (ortalama hata, hata karaler ortalaması) de yüksek olması söz konusu modelin kullanımının uygun olmadığı değerlendirilmesine neden olmuştur. Yararlanılabilir su için, HYPERS modelinde en yüksek korelasyon, en düşük ortalama hata ve hata karaler ortalaması elde edilmiştir. HYPERS modelinin hacim ağırlığı ve organik

maddenin kullanımına yer verilmesi nedeniyle iyi performans gösterdiği belirtilmiştir. Hidrolik iletkenliğin tahmininde COSBY (Cosby vd., 1984) modelinin tahmin doğruluğunun en yüksek düzeyde olduğu ve tane büyüklük dağılımı kullanımının denklemlerin güvenilirliğini arttıracığı belirtilmiştir.

Amazon bölgesi topraklarının su tutma özelliklerinin tahmininde pedotransfer fonksiyonların değerlendirilmesi amacıyla Medeiros vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada; noktasal ve parametrik olarak diğer bazı araştırmacılar tarafından oluşturulan 16 model kullanılmıştır. En düşük performans, Brezilyada düşük organik madde ve kil içeren topraklar için Barros (2010) tarafından elde edilmiş olan modelde belirlenmiştir. En yüksek performans ise Tomosella vd. (2000), tarafından oluşturulan model için bulunmuş ve bu durumun nedeni olarak modelde kullanılan toprakların bir kısmının amazon bölgesi içinde yer alması şeklinde belirtilmiştir.

Hacim ağırlığının pedotransfer fonksiyonlarla belirlenmesine yönelik Abdelbaki vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, diğer bazı araştırmacılar tarafından elde edilmiş 46 farklı modele yer verilmiştir. Söz konusu modeller içerisinde en yüksek ilişki Ruehlmann ve Körschens (2009) tarafından organik karbon (OC) içeriği kullanılarak oluşturulan model için belirlenmiştir. Söz konusu modelde kullanılan parametrenin (OC) geçerliliğinin değerlendirmek için çalışma topraklarının organik karbon içeriği ve hacim ağırlığı (HA) arasındaki ilişki irdelenmiş ve aşağıda belirtilen denklem elde edilmiştir.

$$HA = 1.449e^{-0.03OC} \quad (2.27)$$

Çalışma sonucunda; hacim ağırlığının tahmininde tekstürel fraksiyonlardan ziyade organik karbonun kullanımının daha etkili olduğu belirtilmiştir.

Yapılan çalışmalarda elde edilen PTFs modelleri incelendiğinde; bölgesel farklılıklara ve dolayısıyla toprakların özelliklerindeki değişimine bağlı olarak aynı tahmin parametreleri için farklı modeller elde edildiği görülmektedir.

Toprak; organik, mineral madde, hava ve su bileşenlerinden meydana gelen karmaşık bir bütündür. Bilindiği üzere toprağın gözenek hacminde mevcut hava ve su düzeyi

sürekli bir değişim içerisinde. Dolayısıyla toprakta herhangi bir zamanda yapılan nem belirlemeleri sadece o ana özgüdür. Diğer taraftan hacim ağırlığı ve katı kısmın yoğunluğu üzerinde etkili olan faktörler dolaylı olarak gözenekliliği de etkilemektedir. Nitekim bu kapsamda, bünyenin kabalaşması hacim ağırlığını artırırken gözenekliliğin azalmasına yol açtığı, diğer taraftan gözenek çapının küçülmesinin nem tansiyonunu arttırdığı sık vurgulanan hususlar arasındadır. Bazı toprak özellikleri arasındaki yakın ilişkiler göz önüne alındığında yukarıda bahsedilenlerin penetrasyon direnci üzerine etkileri göz ardı edilmemelidir. Penetrasyon direncini etkileyen toprak özellikleri arasında sıklıkla tekstür, strüktür, gözeneklilik, su içeriği, çimentolayıcı maddeler ve sıkışma sayılmaktadır (Grunwald vd., 2001).

Toprak sıkışması; bir yük veya basınç altında porozite ve boşluk oranının azalması, hacim ağırlığının artması şeklinde tanımlanmakta olup toprağın bazı özellikleri üzerinde etkili bir parametredir. Azalan oksijen konsantrasyonuna bağlı mikrobiyal aktivitenin değişimi, gözenek büyüklük dağılımındaki değişimle havalanma ve hidrolik iletkenliğin azalması, besin elementi hareketliliğinin olumsuz etkilenmesi toprak sıkışmasının bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır (Aksakal, 2004). Toprağın sıkışmasının bir göstergesi olan penetrasyon direnci, Schoeneberger vd. (2012)' e göre Çizelge 2.1' de gösterildiği gibi sınıflandırılmıştır.

Çizelge 2.1. Penetrasyon direncinin sınıflandırılması (Schoeneberger vd., 2012)

SINIF	PENETRASYON DİRENCİ (MPa)
Düşük	< 0.10
Oldukça düşük	< 0.01
Çok düşük	0.01 – 0.10
Orta	0.10 – 2.00
Düşük	0.10 – 1.00
Orta	1.00 – 2.00
Yüksek	> 2.00
Yüksek	2.00 – 4.00
Çok yüksek	4.00 – 8.00
Oldukça Yüksek	> 8.00

Penetrasyon direnci; penetrometrenin ucunun sabit bir hızla toprağa girme anında uç kısmına uygulanan kuvvetin, kullanılan ucun taban alanına oranlanması olarak tanımlanmaktadır (Ayers ve Perumpral, 1982). Toprak penetrasyon direncinin kök gelişimini sınırlamasına yönelik, bitki türüne bağlı farklı değerler ortaya konmuştur. Roque vd. (2003), pamuk bitkisi için 3.5 MPa değeri ve üzeri kök gelişiminde sınır değeri olarak belirtirken Kaiser vd. (2009), fasülye için 3 MPa, Beutler ve Centurion (2004), 0.01 MPa nem tansiyonunda pirinç verimi için sınır penetrasyon direncini 2.38 (Orta tekstür) ve 2.07 MPa (Killi) olarak bildirmiştir.

Hartge ve Stewart (1995) sıkışmanın, bitki kök gelişimi ve dağılımını etkilediği ayrıca gözenek miktarında azalmalara neden olarak su ve hava dengesini değiştirdiğini belirtmiş ve Bengough ve McKenzie (1994), kök bölgesindeki yüksek penetrasyon direncinin kök uzamasını olumsuz etkileyeceğini bildirmiştir. Yine tarla trafiğine bağlı toprak sıkışmasının, kök gelişimini etkilediği ve hacim ağırlığında artışa, agregat stabilitesinde ise azalışlara neden olduğu değerlendirilmiştir (Aksakal ve Öztaş, 2010).

Penetrasyon direncinin toprak özelliklerine bağlı değişimini araştıran Say (1995), işlenmiş toprakta penetrasyon direncinin daha düşük seviyelerde olduğunu ayrıca profil derinliğinin artmasıyla hacim ağırlığı ve nem içeriğindeki değişime bağlı olarak penetrasyon direncinin etkilendiğini belirtirken, tekstürel farklılığın penetrasyon direnci üzerinde önemli seviyede değişim yaratmadığını bildirmiştir.

Özgöz ve Altuntaş (2001) tarafından yapılan çalışmada, farklı toprak koşullarında (işlenmiş ve işlenmemiş) penetrasyon direnci üzerine, toprak derinliği ve farklı boyuttaki penetrometre ucunun etkisi araştırılmıştır. Penetrasyon direnci ölçümleri 4 farklı uçta, 2 farklı derinlikte (0-10cm, 10-20cm) penetrograflı toprak penetrometresi (koni ucu; 1, 2, $3\frac{1}{3}$, 5 cm²) ve proctor penetrometresi (silindirik uç; 2.19, 2.15, 4.84, 6.45 cm²) kullanılarak yapılmıştır.

Penetrasyon direncinin belirlenmesinde penetrometreler arasında farkın olmadığı ve söz konusu özelliğin toprak işleme ile azaldığı, derinlik arttıkça arttığı belirtilmiştir. Ayrıca uç farklılıklarının önemli değişimlere neden olduğu, uç taban alanı büyüdükçe penetrasyon direncinin azaldığı bildirilmiştir. Penetrasyon direnci ile penetrometre ucu arasındaki ilişkiyi gösteren denklemlerin R^2 değerlerinin 0.9259 - 0.998 arasında değişim gösterdiği belirtilmiştir.

Aggelides ve Londra (2000) tarafından yapılan bir çalışmada; tınlı ve killi toprağa, 0, 75, 150, 300 m³ ha⁻¹ dozlarında şehir atığı, katı atık ve talaş karışımından oluşan kompost uygulanmıştır. Kompost uygulama dozundaki artışla, toprakların kütle yoğunluğu ve penetrasyon direnci azalırken, toplam porozite, su tutma kapasitesi ve hidrolik iletkenlik artmıştır. Yine Mamman vd. (2007), kütle yoğunluğu ve penetrasyon direncinin organik materyal uygulamalarıyla azaldığını belirlemişlerdir.

Turgut vd. (2008), hububat alanlarında üst toprak katmanı penetrasyon direnci değerlerindeki değişimde agregat stabilitesi, nem ve kireç içeriği, alt sıkışmış katmanda ise kütle yoğunluğu ve nem içeriği gibi toprak özelliklerinin etkili olduğunu belirtmişlerdir. Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü Ilıca Deneme İstasyonu hububat üretim alanlarında toprak sıkışması düzeyinin araştırılması ve penetrasyon direnci üzerinde etkili toprak özelliklerinin ve dağılım desenlerinin belirlenmesi amacıyla yürütülen bir çalışmada (Turgut ve Öztaş, 2012); incelenen toprak özellikleri (hacim ağırlığı, agregat stabilitesi, nem içeriği, kum içeriği, silt içeriği, kil içeriği, organik madde miktarı, kireç içeriği, ortalama ağırlık çap ve pH değerleri) arasında kireç içeriğinin en yüksek değişkenliği gösterdiği, nispeten stabil olan özelliklerin ise pH ve hacim ağırlığı olduğu ve penetrasyon direnci değerlerinin 2.04 - 6.69 MPa arasında değiştiği bulunmuştur. Ayrıca agregat stabilitesi, nem içeriği ve organik madde miktarı değerleri ile penetrasyon direnci değerleri arasında negatif bir ilişki olduğu bildirilmiştir.

Negiş vd. (2016) tarafından şeker pancarı tarımı yapılan 27 farklı bölgede, 2 farklı derinlik (0-20, 20-40 cm) için penetrasyon direnci ile diğer bazı toprak özellikleri karşılaştırılmıştır. Penetrasyon direnci; kum miktarı ile pozitif yönlü ($P<0.01$) kil, silt ve kireç içerikleri ile negatif yönlü ($P<0.01$) önemli ilişkiler sergilemiştir. Korelasyon katsayıları sırasıyla 0.885, 0.910, 0.713, 0.589 şeklinde bulunmuştur.

Bazı toprak işleme uygulamalarına (geleneksel ve sıfır sürüm) ilişkin araştırma sonuçlarıyla oluşturulan veri seti üzerinde gerçekleştirilen bir çalışmada; toprak koni indeksinin toprak derinliği, tekstürel parametreler, hacim ağırlığı ve nem içeriği ile değişimi incelenmiştir. Sıfır sürüm yapılan alanlar için kum fraksiyonu, nem içeriği ve işleme derinliği, geleneksel uygulama için ise kil fraksiyonu ve işleme derinliğinin belirleyici faktörler olduğu değerlendirilmiştir. Oluşturulan toprak koni indeksi tahmin modelleri düşük korelasyon katsayılarına (0.47, 0.61) sahip olduklarından, kullanımları araştırmacılar tarafından uygun bulunmamıştır (Kumar vd., 2012).

Farklı sayıda traktör geçişleri (kontrol, 1, 2, 4) kullanılarak, tarla trafiğinin 0-30 cm toprak derinliğindeki gözenek büyüklük dağılımı ve sıkışmaya etkisini araştıran Şeker ve Işıldar (2000), kütle yoğunluğunu en düşük 1.15 g cm^{-3} (0-10 cm) ile kontrol parselinde belirlerken, en yüksek 4 defa traktör geçişinin yapıldığı uygulamada 1.6 g cm^{-3} (10-20 cm) olarak bulmuşlardır. Benzer olarak yine toplam gözeneklilik (% 56.73), boşluk oranı (1.33) ve penetrasyon direnci değerleri en yüksek kontrol parselinde belirlenmiştir. Ayrıca toprak penetrasyon direncindeki değişimlerin en fazla 0-5 cm'lik derinlikte olduğu ve 4 kez traktör geçişinin penetrasyon direnci değerlerinin kontrole göre 6 kat daha yüksek olmasına neden olduğu bulunmuştur.

Turgut vd. (2010), tarafından yapılan çalışmada; penetrasyon direncine etki eden bazı toprak özelliklerinin araştırılması amacıyla üst toprak katmanı ile sıkışmış toprak katmanlarından örnekler alınarak bazı toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerinin penetrasyon direnci üzerine doğrudan ve dolaylı etkileri araştırılmıştır. Penetrasyon direnci üzerine en yüksek doğrudan etki, sıkışmış katmanlarda kütle yoğunlu iken üst toprak katmanında kum, silt ve kil içeriği olarak bulunmuştur. En düşük etki ise, sıkışmış katmanda kil içeriği, üst katmanda ise kütle yoğunluğu olarak belirlenmiştir. Sıkışmış katmandaki doğrudan etki gösteren parametreler kütle yoğunluğu>ortalama ağırlıklı çap>organik madde>silt>agregat stabilitesi>kum içeriği>kireç içeriği>kil içeriği şeklinde sıralanmıştır

Topraklara % 0, 2, 4, 6 düzeylerinde farklı organik atık (ahır gübresi, çay, fındikkabuğu, tütün atığı) uygulamalarının, penetrasyon direnci üzerine etkilerini araştıran Gülser ve Candemir (2012), en düşük ve en yüksek penetrasyon direnci değerlerini sırasıyla % 6 fındık atığı (0.72 MPa) ve kontrol uygulamalarında (1.72 MPa) belirlemişlerdir. Ayrıca, kontrol uygulamasına göre penetrasyon direncindeki azalışın fındık (% 52.10)> Çay (% 42.07)> tütün (% 30.73)>ahır gübresi (% 25.17) şeklinde bir sıralanma gösterdiği bulunmuştur. Yine, elma bahçelerinde toprağa farklı organik gübre uygulamalarının (ahır gübresi, biyokatı) penetrasyon direnci üzerine etkisini araştıran Müjdecı (2011); 0-10 cm'lik toprak derinliğinde en yüksek penetrasyon direnci değerlerini kontrol (0.75 MPa) en düşük ise ahır gübresi (0.48 MPa) parselinde belirlemiştir.

Şeker (1997), tarafından farklı toprakların penetrasyon direnci ile su içeriği ilişkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada; su içeriği azaldıkça toprak penetrasyon direncinin arttığı bildirilmiştir. Farklı nem düzeylerinde belirlenen penetrasyon direnci değerlerinin standart bir nem düzeyi için dönüştürülmesinde tarla kapasitesi nem düzeyi kullanılmış ve oluşturulan regresyon denklemlerinin R² değerleri 0.77-0.99 arasında belirlenmiştir.

Entisol ordosunda yer alan 3 farklı toprağın bazı özelliklerinin kullanılmasıyla oluşturulan penetrasyon direnci tahmin modellerinde; kütle yoğunluğu ve < 0.2 µm por yüzdesi pozitif, toplam porozite, >50 µm ve 50-8.6 µm arası por yüzdesi ile negatif ilişkiler belirlenmiştir. R² değerleri 0.74-0.93 arasında değişen regresyon modelleri aşağıda belirtilmiştir (Şeker, 1999).

$$Y = 2159.67 X_1 - 35.41 X_2 \quad (R^2 0.82) \quad (2.28)$$

$$Y = -2225.12 X_1 - 88.62 X_2 + 488 X_3 \quad (R^2 0.93) \quad (2.29)$$

$$Y = -29.03 X_2 + 155.60 X_3 \quad (R^2 0.92) \quad (2.30)$$

$$Y = -34.54 X_2 + 142.19 X_3 \quad (R^2 0.74) \quad (2.31)$$

Modellerde, Y: penetrasyon direnci, X₁: kütle yoğunluğu, X₂: total porozite, X₃: < 0.2 µm por yüzdesi'ni ifade etmektedir.

Killi tınlı bir toprakta, hacim ağırlığı ve matrik potansiyeldeki (0.8-8 atm) artışların penetrasyon direncini yükselttiğini belirten Mirreh ve Ketcheson (1972) tarafından elde edilen tahmin modeli,

$$Y = 450 - 845X_1 - 13.3X_2 + 385X_1^2 - 1.6X_2^2 + 23.4X_1X_2 \quad (R^2 : 0.954) \quad (2.32)$$

şeklindedir. Modellerde, Y: penetrasyon direnci(bar), X₁: hacim ağırlığı, X₂: matrik basınç (atm) 'ı ifade etmektedir.

Hernanz vd. (2000) tarafından hacim ağırlığının belirlenmesi amacıyla penetrasyon direnci, nem içeriği ve toprak derinliği parametrelerinin kullanıldığı çalışmada; toprak kolonlarına farklı nem (% 3, 6, 9, 12, 15, 18) ve sıkışma enerjisi (9.81, 49.05, 98.1, 981 J) uygulanmıştır. Penetrasyon direnci ise farklı koni boyutları (175, 144, 124, 98, 74, 39, 26 mm²) ile ölçülmüştür. Penetrasyon direncinin; koni boyutu küçüldükçe arttığı fakat ≥ 98 mm² boyutları için etkilenmediği belirtilmiştir. Farklı koni boyutları için elde edilen okumaları standardize etmek için ASAE (American Society of Agricultural Engineers) tarafından önerilen boyut'a (129 mm²) göre aşağıda belirtilen denklem kullanılmıştır.

$$PR_x = R_x \frac{S_{asae}}{S_x} \quad (2.33)$$

Modelde; PR_x, R_x : penetrasyon direnci, S_{asae} : ASAE tarafından belirlenen koni taban alanı (129mm²), S_x : koni taban alanı'na karşılıktır.

Hacim ağırlığı tahmin denklemi ise $BD = k1PR^{k2}d^{k3}W^{k4}$ şeklinde step-wise çoklu lineer regresyon analiziyle belirlenmiştir.

Eşitlikte BD: hacim ağırlığı (Mg m⁻³), PR: penetrasyon direnci, (kPa, 35-5000), d:derinlik(cm), W: % nem (3-18), k:denklem sabitleri'ne karşılıktır.

Vaz vd. (2011) tarafından, farklı tahmin modellerinin incelenmesiyle gerçekleştirilen bir çalışmada; nem - penetrasyon direnci tahmin modellerinde su içeriği için hacimsel nem yerine gravimetrik nem içeriği değerlerin kullanılmasının daha iyi sonuçlar verdiği, toprakların ıslakken (-10 kPa) düşük olan penetrasyon değerlerinin artan kil içeriğine bağlı olarak yükseldiği belirtilmiştir. Ayrıca penetrasyon direnci tahminlerinde üstel denklemlerin kullanımının daha yüksek ilişkiler gösterdiğini bildirmişlerdir.

Junior vd. (2014) tarafından farklı toprak koşullarına bağlı olarak (nem ve hacim ağırlığı) penetrasyon oranı ($0.166, 30 \text{ mm s}^{-1}$) ve koni boyutu ($10.98, 129.28 \text{ mm}^2$) değişiminin penetrasyon direnci üzerine etkisi incelenmiştir. Nem içeriği $0.16, 0.22 \text{ kg kg}^{-1}$, hacim ağırlığı ise $1, 1.2, 1.4, 1.6 \text{ Mg m}^{-3}$ olarak uygulanmıştır. Düşük hacim ağırlıklarında, penetrasyon direncinde nem içeriğine bağlı önemli değişimlerin olmadığı bildirilmiştir. Taban alanının küçülmesi ile (nem ve hacim ağırlığından bağımsız olarak) penetrasyon direncinde artışların olduğu, ayrıca küçük taban alanına sahip uçlarla çalışırken söz konusu özelliğin itme hızından etkilendiği belirtilmiştir. Hacim ağırlığındaki artışa bağlı olarak penetrasyon direncinin arttığı ve nem – penetrasyon direnci ilişkisinde lineer bir ilişkinin olmadığı açıklanmıştır.

Farklı toprak nem içeriği ve hacim ağırlığındaki toprakların penetrasyon dirençlerinin modellenmesi amacıyla Silva vd. (2016), tarafından yapılan çalışmada, 4 farklı nem seviyesinde (tarla kapasitesinin %100, 85, 75, 65'i) toprakların penetrasyon direnci ve hacim ağırlığı özellikleri belirlenmiştir. Nem içeriğine bağlı olarak hacim ağırlığında bir değişim görülmezken, tarla kapasitesinde 1.93 MPa olan penetrasyon direnci nem içeriğinin azalmasıyla birlikte sırasıyla $2.44, 3.22$ ve 4.31 MPa olarak bulunmuştur. Ayrıca hacim ağırlığının penetrasyon direnci üzerinde etkili bir toprak özelliği olduğu belirtilmiştir.

Yine bazı araştırıcıların oluşturduğu tahmin modelleri aşağıdaki çizelgede belirtilmiştir (izelge 2.2).

Çizelge 2.2. Penetrasyon direncine ilişkin tahmin modelleri

Denklem	Kaynak
$PR : aBD^b Ten^c$	Busscher, 1990
$PR : aBD^b (SEC(\pi/2(WC/SAT-1)-1-1))$	Busscher, 1990
$\log_{10}Q : a\log_{10}\sigma_w + bp + c \%kum + d$	Whalley, 2007
$\log_{10}Q : a\log_{10}\sigma_w + bp + c$	Whalley, 2007
$PR : -41821.28+26701.59D- 40100WC$	Santos vd., 2012
$PR : 0.1239 D^{3.4119} G^{-1.3701}$	Filho vd., 2012
$PR : 1.6307 D^{2.5663} G^{-1.0692} M^{-0.5321}$	Filho vd., 2012

Modellerde, D : hacim ağırlığı $kg\ dm^{-3}$, WC : toprak su içeriği $kg\ kg^{-1}$, G: kütlesel su içeriği ($kg\ kg^{-1}$), M: organik madde içeriği ($g\ kg^{-1}$), Q: penetrasyon direnci kPa, p: hacim ağırlığı, QW: basıncı kPa PR: penetrasyon direnci (MPa), Ten: toprak su tansiyonu (MPa), BD : hacim ağırlığı($mg\ m^{-3}$) , SAT : saturasyondaki su içeriği'ni ifade etmektedir.

Bayat vd. (2013), penetrasyon direnci ve temel bileşenler analizi (PCA) kullanarak toprak su içeriğinin (1, 5, 10, 25, 50, 1500 kPa) tahminine yönelik bir çalışmada, 148 toprak örneğinin 24 tanesi için penetrasyon direnci geri kalanlar için ise 33 değişken özellik belirlenmiştir. Yapılan PCA (Principal Component Analysis) analizleri sonucu tekstür, agregasyon indeksi, aşınabilirlik indeksi, strüktür indeksi, hidrolik iletkenlik, agregat stabilitesi, agregat boyutu ve tane büyüklük dağılımı ile tüm varyasyonun (1, 5, 10, 25, 50, 1500 kPa) % 88.62'sinin açıklanabildiği bildirilmiştir. Yapay sinir ağları kullanılarak oluşturulan su içeriğinin tahmin modelinde penetrasyon direncinin kullanımı ile tahmin edilebilirliğin arttığı belirtilmiştir. Ayrıca organik madde, ağırlıklı ortalama çap, hidrolik iletkenlik özelliklerinin tarla kapasitesindeki nem seviyesinin tahmininde etkili oldukları bulunmuştur. Yaklaşık tarla kapasitesi (25 kPa) ve solma noktası tahmin modelleri için en yüksek R^2 'ye sahip olan fonksiyonlarda kullanılan toprak özellikler aşağıda verilmiştir (izelge 2.3).

Çizelge 2.3. Tahmin modellerinde kullanılan toprak özellikleri (Bayat vd., 2013)

kPa	R ²	Özellikler
25	0.987	S, Si, C, BD, TP, PR, OM, MWD, Ks
1500	0.897	S, Si, C, BD, TP, PR

Modelde, S:kum, Si : silt, C : kil, BD : hacim ağırlığı, TP : toplam gözeneklilik, PR : penetrasyon direnci, OM : organik madde, MWD : agregatların ortalama ağırlık çapı, Ks : hidrolik iletkenliği ifade etmektedir.

Hacim ağırlığı ve nem içeriğinin penetrasyon direnci üzerindeki etkisini araştıran Vaz vd. (2001), arazi ölçümleri için penetrometre-TDR probu kombini geliştirmişler ve toprakların hacim ağırlığını Upadhyaya vd. (1982) tarafından oluşturulan modeli kullanarak tahmin etmişlerdir.

$$PR = a \frac{Pn}{Ps} e^{-b\theta} \quad (2.34)$$

Modelde PR: Penetrasyon direnci (MPa), Ps: tane yoğunluğu, P:hacim ağırlığı (g cm⁻³), a, n, b kalibrasyon parametreleri'ni ifade etmektedir.

Penetrometre-TDR kombinlerinde sarmal çubuk ve sarmal koni olarak iki tip uç kullanılmıştır. 2 ucun değerlendirilmesi sonucu sarmal çubuklu TDR probunda daha yüksek PR değerlerinin belirlendiği ve bunun sebebinin ölçüm esnasındaki daha fazla sürtünmeden kaynaklı olduğu belirtilmiştir. Çalışma sonucunda hacim ağırlığındaki artışa bağlı olarak PR'de artışların olduğu ve su içeriğinde ki azalışa bağlı olarak penetrasyon direncinde eksponensiyel bir artışın gerçekleştiği bildirilmiştir.

Su tutma eğrisinin penetrasyon direncinden tahmin edilebilirliğinin araştırıldığı çalışmada; Van Genuchten (1980) tarafından oluşturulan model yerine Dexter vd.(2008)' tarafından oluşturulan modelin kullanımıyla daha yüksek R² ve daha düşük RMSE değerleri elde edilmiştir (Bayat ve Zadeh, 2018). To ve Kay (2005) tarafından oluşturulan model, PR eldesinde daha yüksek ilişki sağlamasına rağmen nem içeriği, diğer toprak özelliklerine göre daha kolay belirlenebildiğinden nem

içeriğinin dahil olduğu Mielke vd. (1994), tarafından önerilen modelin kullanımının daha uygun olacağı belirtilmiştir.

$$PR = a_M \Theta_m^{b_M} \quad (2.35)$$

Modelde, PR: penetrasyon direnci (MPa), Θ_m : gravimetrik nem içeriği, a_M ve b_M : düzeltilmiş parametreler'i ifade etmektedir.

Yukarıdaki açıklanan bilgiler ışığında, toprakların farklı özellikleri nedeniyle tahmin modelleri üzerinde çalışılmaya devam edilecek bir konu olacağı öngörüsünde bulunmak zor değildir. Toprak nem sabitelerinin kolaylıkla belirlenebilirliği, sınırlı olan su kaynaklarının verimli kullanımı açısından oldukça önemlidir. Bu amaçla söz konusu bu çalışmada, bazı nem sabitelerinin doğal koşullarda ve bünyesel farklılıklar oluşturularak sadece penetrasyon direnci yardımıyla arazide hızlı bir şekilde belirlenebilirliği araştırılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. İklim

Isparta ili, Akdeniz iklimi ile Orta Anadolu iklimi arasındaki geçiş bölgesinde yer almaktadır. Torosların güneyindeki çukur yerlerde ılıman, toroslara doğru yükseklik arttıkça daha serin ve yağışlı bir iklim hüküm sürmektedir. Yağışların büyük bir bölümü kış ve ilkbahar aylarında olup yağış ve nemlilik durumu; yükseklik, denize yakınlık ve engebelik durumuna bağlı olarak değişim göstermektedir. Isparta'nın en sıcak ayları temmuz ve ağustos, en soğuk ayları ise ocak ve şubatır. Göller bölgesi'nin merkezi konumunda olan il'de hakim rüzgar yönü güney doğudur. Isparta ilinin uzun yıllar (1929-2017) ortalama meteorolojik verileri (MGM, 2018) Çizelge 3.1'de belirtilmiştir.

Çizelge 2.3. Isparta ili meteorolojik verileri (MGM, 2018)

Aylar	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)
1	1.8	-2.0	6.3	3.5	80.6
2	2.9	-1.4	7.7	4.4	68.8
3	5.9	0.8	11.6	5.5	58.9
4	10.7	4.8	16.6	6.5	53.2
5	15.5	8.6	21.8	8.3	55.7
6	20.0	12.3	26.5	10.2	33.2
7	23.4	15.3	30.3	11.2	13.7
8	23.2	15.1	30.6	10.5	12.1
9	18.6	10.9	26.4	9.3	18.6
10	13.0	6.7	20.5	7.1	37.7
11	7.6	2.6	13.9	5.2	45.2
12	3.5	-0.4	8.1	3.2	87.1
Yıllık	12.2	6.1	18.4	84.9	564.8

3.1.2. Jeoloji

Isparta, Toros dağlarının batı eteğinde bulunan bir il'dir. Taşeli ve Tepeli platolarının sıkışması sonucunda kıvrılmalar daha sonra ise tektonik ve volkanik hareketlerle şekiller oluşmuştur. Bazalt ve trakit yatakları volkanik hareketler sonucu ortaya çıkmış olup, en eski yapı paleozoik'e (I. zaman) aittir. Yalvaç'da bulunan kristalin şist, kalker ve mermer I. zaman oluşuklarıdır. Isparta'nın doğusu, Eğirdir gölünün doğusu ve batısı ile Sütçüler ilçesinde II. zamana ait kalker marn, filiş ve serpantinler bulunmaktadır. Gri renkli ve çok çatlaklı yapıya sahip olan kalkerlerin düdenleri vardır. III. zaman oluşukları miyosen kalkerleri, marnlar, kum taşları ve konglomeralar olup söz konusu sedimentler bazen sertleşerek greler halinde, bazen de gevşek kum ve çakıl depoları halinde bulunur. Isparta merkez'nin güneyi neojene ait volkanik kayalarla örtülüdür. IV. zaman oluşukları ise konglomera, şilt, kil'dir ve volkanik çöküntü alanlarının tabanlarında bulunmaktadır (Anonim, 1994; Anonim, 2018).

3.1.3. Çalışma alanı ve toprak örnekleme noktaları

Çalışma, Türkiye - Isparta ili (Şekil 3.1) sınırları içerisinde Merkez, Atabey, Keçiborlu, Gönen, Eğirdir, Gelendost, Yalvaç ve Aksu ilçeleri arazilerini kısmen ya da tümünü kapsayan yaklaşık 308136 ha'lık bir alanda yürütülmüştür. Corine (2012)'e göre ilçelerin bazı özellikleri aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 3.1. Türkiye haritası üzerinde Isparta ilinin konumu

Isparta merkez: Toplamda 22520.12 hektarlık tarımsal alana (%2 9.11) sahip olan şehir merkezinde, % 7.73'ünü sulanan alan % 5. 63'ünü doğal bitki örtüsüyle birlikte bulunan tarımsal alan, % 1.60'ını mera, % 0.15'ini bağ, % 3.78'ini ise sulanmayan karışık tarım alaları oluşturmaktadır.

Atabey: İl genelinin % 2.2'lik kısmını kapsamakta olan ilçe 8558.23 hektarlık (%38.45) tarımsal alana sahiptir. Söz konusu arazilerin % 5.84'ünü sulanmayan ekilebilir alan, % 14.81'ini sulu tarım, % 8.72' sini sulanmayan karışık tarım, % 7.11'ini sürekli sulanan karışık tarım, % 0.81'ini mera alanları oluşturmaktadır.

Eğirdir: İl genelinin % 19.9'luk (22583.1 hektar) kısmını kapsamakta olan ilçe genelinde, sulanmayan ekilebilir alan % 1.33, sulu tarım % 0.08, sulanmayan karışık tarım % 3.01, sürekli sulanan meyve bahçesi, % 3.51, mera alanları ise % 0.41' lik bir alan içerisinde bulunmaktadır.

Gelendost: İl genelinin % 7'lik kısmını kapsamakta olan ilçe 24846.25 (%40.72) hektarlık tarımsal alana sahiptir. Arazilerin % 15.48'ini doğal bitki örtüsüyle birlikte bulunan tarım alanları, % 11.88'ini kuru tarım, % 10.42' sini sürekli sulanan meyve bahçesi, % 1.14'ünü sulanmayan karışık tarım, % 0.18'ini ise mera alanları oluşturmaktadır.

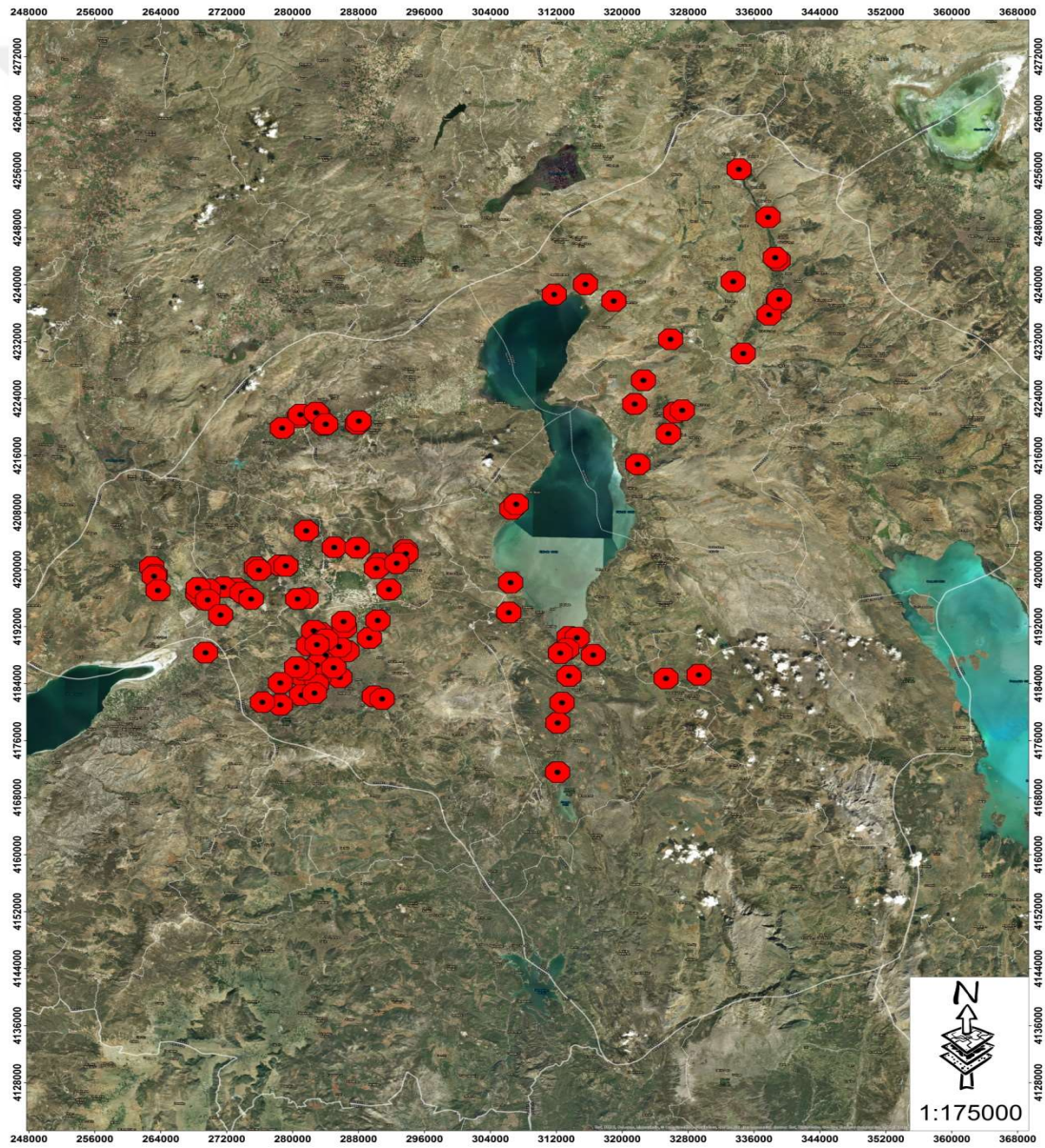
Keçiborlu: İl genelinin % 6.2'lik kısmını kapsamakta olan ilçe 21264.7 hektarlık tarımsal alana (% 43.07) sahiptir. Sulanmayan ekilebilir alan % 16.81, sulunmayan karışık tarım % 10.15, doğal bitki örtüsüyle birlikte bulunan tarım alanları % 6.58, mera % 2.01, sulanan alan ise % 2.34' lük bir alan içerisinde bulunmaktadır.

Yalvaç: İl genelinin % 15.8'ini kapsamakta olan ilçe 58392.85 (% 41.65) hektarlık tarımsal alana sahiptir. Bu alanın % 26.93'ünü kuru tarım, % 1.74'ünü sulu tarım, % 4.64'inin sürekli sulanan karışık tarım, % 0.68'ini mera, % 0.40'ını ise üzüm bağları oluşturmaktadır.

Çalışma konusu kapsamında; toprak nem - penetrasyon direnci ilişkisinin yüksek bir doğrulukla elde edilebilmesi için, nemin hızlı değişimi ve sık ölçüm gerekliliği göz önüne alınarak, örnekleme ve ölçüm noktalarının belirlenmesinde merkez ve

merkeze yakın ilçelerde ulaşımı kolay sağlanabilecek alanlar olmasına dikkat edilmiştir. Çalışma alanına ilişkin yer bulduru haritası ve model geliştirmede kullanılmak üzere örnekleme ve ölçümlerin gerçekleştirildiği noktalara ait koordinatlar Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Ayrıca, söz konusu arazilerin kullanım durumları Çizelge 3.2’de belirtilmiştir.

Çalışmada modeli oluşturmak üzere toplam 107 örnek alınmıştır. Örnekleme noktalarının 40 tanesini meyve, 11’ ini gül bahçesi, 14’ ini bağ, 22’sini hububat ekim alanı 19’ unu boş arazi ve 1 tanesini ise fidanlık oluşturmaktadır.

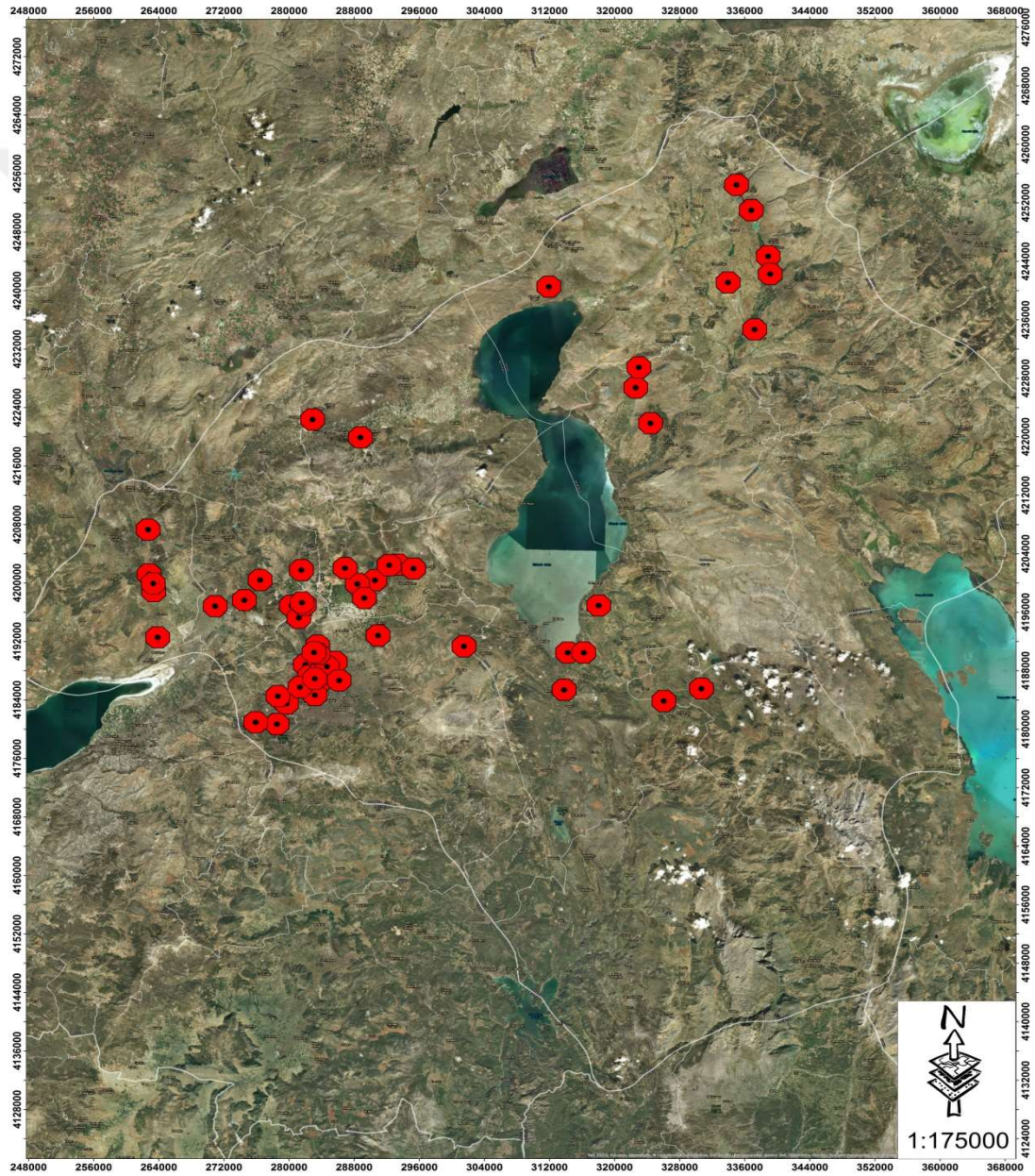


Şekil 3.2. Örnekleme ve ölçüm noktalarının dağılımı

Çizelge 3.2. Ölçüm ve örnekleme yapılan arazilerin kullanım durumları

No	Arazi Kullanım Durumu	No	Arazi Kullanım Durumu	No	Arazi Kullanım Durumu	No	Arazi Kullanım Durumu
1	Elma Bahçesi	31	Elma Bahçesi	61	Elma Bahçesi	91	Ceviz
2	Hububat	32	Elma Bahçesi	62	Hububat	92	Boş Arazi
3	Bağ	33	Elma Bahçesi	63	Elma Bahçesi	93	Boş Arazi
4	Elma Bahçesi	34	Elma Bahçesi	64	Elma Bahçesi	94	Gül Bahçesi
5	Elma Bahçesi	35	Fidanlık	65	Hububat	95	Badem
6	Hububat	36	Elma Bahçesi	66	Elma Bahçesi	96	Hububat
7	Meyve Bahçesi	37	Boş Arazi	67	Hububat	97	Bağ
8	Gül Bahçesi	38	Boş Arazi	68	Elma Bahçesi	98	Gül Bahçesi
9	Gül Bahçesi	39	Elma Bahçesi	69	Elma Bahçesi	99	Bağ
10	Boş arazi	40	Boş Arazi	70	Hububat	100	Hububat
11	Meyve Bahçesi	41	Bağ	71	Elma Bahçesi	101	Boş arazi
12	Bağ	42	Bağ	72	Hububat	102	Hububat
13	Boş Arazi	43	Bağ	73	Elma Bahçesi	103	Hububat
14	Elma Bahçesi	44	Hububat	74	Boş Arazi	104	Hububat
15	Gül Bahçesi	45	Meyve Bahçesi	75	Boş Arazi	105	Hububat
16	Meyve Bahçesi	46	Hububat	76	Bağ	106	Bağ
17	Bağ	47	Gül Bahçesi	77	Gül Bahçesi	107	Bağ
18	Meyve Bahçesi	48	Gül Bahçesi	78	Gül Bahçesi		
19	Meyve Bahçesi	49	Gül Bahçesi	79	Meyve Bahçesi		
20	Meyve Bahçesi	50	Boş Arazi	80	Kiraz Bahçesi		
21	Bağ	51	Boş Arazi	81	Ahududu		
22	Boş Arazi	52	Boş Arazi	82	Ceviz Bahçesi		
23	Ceviz Bahçesi	53	Hububat	83	Bağ		
24	Boş Arazi	54	Hububat	84	Elma Bahçesi		
25	Hububat	55	Hububat	85	Boş Arazi		
26	Elma Bahçesi	56	Hububat	86	Boş Arazi		
27	Hububat	57	Hububat	87	Boş Arazi		
28	Boş Arazi	58	Elma Bahçesi	88	Gül Bahçesi		
29	Kiraz Bahçesi	59	Elma Bahçesi	89	Erik Bahçesi		
30	Elma Bahçesi	60	Elma Bahçesi	90	Bağ		

Çalışmada; modellerin test edilmesi amacıyla, model geliştirmede kullanılanlar dışındaki farklı arazilere ilişkin örnekleme ve ölçüm noktaları Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Yine bu arazilerin kullanım durumları Çizelge 3.3’de gösterilmiştir. Oluşturulan modelin güvenilirliğinin test edilmesinde 60 örnek kullanılmıştır. Modellerin test edilmesi amacıyla kullanılan arazilerin seçiminde, model geliştirmede kullanılan noktalara ilişkin arazi kullanım durumlarının dağılımı da göz önüne alınmıştır.



Şekil 3.3. Modellerin değerlendirilmesinde kullanılan örnekleme ve ölçüm noktalarının dağılımı

Çizelge 3.3. Modellerin değerlendirilmesinde kullanılan örnekleme ve ölçüm yapılan arazilerin kullanım durumları

No	Arazi Kullanım Durumu	No	Arazi Kullanım Durumu
1	Elma Bahçesi	31	Meyve Bahçesi
2	Elma Bahçesi	32	Elma Bahçesi
3	Gül Bahçesi	33	Hububat
4	Boş Arazi	34	Elma Bahçesi
5	Elma Bahçesi	35	Hububat
6	Hububat	36	Hububat
7	Meyve Bahçesi	37	Boş Arazi
8	Gül Bahçesi	38	Hububat
9	Meyve Bahçesi	39	Elma Bahçesi
10	Meyve Bahçesi	40	Hububat
11	Elma Bahçesi	41	Meyve Bahçesi
12	Hububat	42	Hububat
13	Elma Bahçesi	43	Bağ
14	Boş Arazi	44	Boş Arazi
15	Meyve Bahçesi	45	Bağ
16	Meyve Bahçesi	46	Bağ
17	Boş Arazi	47	Bağ
18	Elma Bahçesi	48	Boş Arazi
19	Elma Bahçesi	49	Gül Bahçesi
20	Gül Bahçesi	50	Gül Bahçesi
21	Gül Bahçesi	51	Bağ
22	Boş Arazi	52	Bağ
23	Boş Arazi	53	Bağ
24	Meyve Bahçesi	54	Hububat
25	Meyve Bahçesi	55	Hububat
26	Boş Arazi	56	Boş Arazi
27	Bağ	57	Meyve Bahçesi
28	Gül Bahçesi	58	Elma Bahçesi
29	Hububat	59	Gül Bahçesi
30	Gül Bahçesi	60	Bağ

3.2. Yöntem

3.2.1 Toprak örnekleme yöntemleri

Toprak örneklerinin 3 farklı toprak grubunu (kumlu, tınlı ve killi) temsilen alınma gereği göz önüne alınarak; özellikle sınırlı ve küçük alanlarda bulunabilen kumlu ve killi toprakların örnekleme noktalarının rastgele yöntemle belirlenmesinde Isparta il arazi varlığı haritasından (Anonim, 1994) yararlanılmıştır. Bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleme noktaları 0-20 cm'lik (~5-15 cm) derinliği temsil edecek şekilde 5 tekerrürlü olarak yapılmıştır (Şekil 3.4). Bozulmamış örnekler, 100 cm³ hacmindeki çelik silindirler (5x5cm) kullanılarak alınmıştır. Söz konusu örnekleme noktaları yaklaşık tarla kapasitesi nem düzeyinde yapılmıştır. Toprakçı küreği kullanılarak alınan bozulmuş örnekler karıştırılarak temsili tek bir örnek ayrılmıştır. Ayrıca penetrasyon direnci ölçümleri sırasında, toprağın nem içeriğini belirlemek amacıyla yerinde bir miktar toprak örneği tartılarak laboratuvara nakledilmiştir.



Şekil 3.4. Bozulmuş ve bozulmamış örnekleme yöntemleri

3.2.2. Penetrasyon direnci ölçüm yöntemleri

Penetrasyon direnç (PR) ölçümleri penetrologer (Eijkelkamp) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Söz konusu cihaz, 80 cm toprak derinliğine kadar her bir cm için 0-10 MPa arasında ölçüm yapabilen özelliğe sahiptir. Ölçümlerde kullanılan cone, 60° (NEN 5140, 1996) ve 1 cm² taban alanı koni şeklinde uç kullanılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Bazı ölçüm ve örnekleme alanlarından kesitler

İlk penetrasyon direnci ölçümleri, genellikle yağışlardan 2-3 gün sonra (topraklar yaklaşık tarla kapasitesi nem düzeyinde iken) ve 12 tekrür olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Sonraki ölçümler, yağış durumu ve toprak nem içeriği gözlenerek yaklaşık 3'er gün aralıklarla sürdürülmüştür. Çalışmada, hem üzerinde ürün yetişmesinden kaynaklı toprağın solma noktasına kadar kurumaması hemde özellikle killi topraklardaki sertleşmeye bağlı olarak penetrometrenin toprağa girme direncinin oldukça güç olmasıyla okumalar sonlandırılmıştır.

Büro çalışmaları kapsamında, derinliğe bağlı penetrasyon direnci ölçümleri bilgisayar ortamına aktarılarak (Şekil 3.6) değerlendirilmiştir. Nem - penetrasyon direnci ilişkilerinin elde edilmesi sırasında penetrasyon dirençleri, 0-20 cm derinlikteki ölçümlerin ortalamaları alınarak kullanılmıştır.



Şekil 3.6. Penetrasyon direnci ölçümleri

3.2.3. Laboratuvar analiz yöntemleri

Toprak örneklerinin bazı özellikleri aşağıda belirtildiği şekilde belirlenmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Laboratuvar analizleri

3.2.3.1. Toprak fiziksel analiz yöntemleri

Nem sabiteleri: 0.1, 0.33 ve 0.5 tansiyonlarda tutulan nem bozulmamış örneklerde ve 15 tansiyonda tutulan nem ise bozulmuş örneklerde seramik tablalı pF seti (U.S.A, Soil Moisture Equipment Corp.) (Şekil 3.8) yardımıyla belirlenmiştir (Demiralay, 1993).

Mekanik analiz: Toprak örneklerinde kum, silt ve kil yüzdeleri bouyoucos hidrometre yöntemiyle belirlenmiştir (Demiralay, 1993). Bünye sınıfları tekstür üçgeni kullanılarak belirlenmiş ve bünye gruplarına (kumlu, tınlı, killi topraklar) ayırmda Soil Survey Manual (1993)'de belirtilen esaslara uyulmuştur. (Çizelge 3.4).



Şekil 3.8. Seramik tablalı pF seti

Çizelge 3.4. Bünye sınıflarına göre toprakların gruplandırması (Soil survey manual, 1993)

Toprak grubu	Alt grubu	Bünye sınıfı	Simge
Kumlu Topraklar	Kaba tekstür	Kum	S
		Tınlı Kum	LS
Tınlı Topraklar	Orta Kaba Tekstür	Kaba Kumlu Tın	CoSL
		Kumlu Tın	SL
		İnce Kumlu Tın	fSL
	Orta Tekstür	Çok ince kumlu Tın	vfSL
		Tın	L
		Siltli Tın	SiL
Killi Topraklar	Orta İnce Tekstür	Silt	Si
		Killi Tın	CL
		Kumlu Killi Tın	SCL
		Siltli Killi Tın	SiCL
Killi Topraklar	İnce Tekstürlü	Kumlu kil	SC
		Siltli kil	SiC
		Kil	C

Hacim ağırlığı: 100 cm³ hacmine sahip silindirler yardımıyla bozulmamış toprak örneklerinde belirlenmiştir (Demiralay, 1993).

Nem içerikleri: Toprak örneklerinin nem içerikleri, 105 °C'de etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutularak gravimetrik (M) olarak hesaplanmıştır (Demiralay, 1993). Hacimsel nem (Θ) belirlemeleri ise gravimetrik olarak belirlenen değerler hacim ağırlığı ile çarpılarak elde edilmiştir.

3.2.3.2. Toprak kimyasal analiz yöntemleri

% CaCO₃: Volumetrik kalsimetre yöntemiyle belirlenmiştir (Kacar, 2009).

pH: 1:1 toprak-su süspansiyonlarında pH (WTW) metre kullanılarak belirlenmiştir (Kacar, 2009)

Elektriksel İletkenlik (EC): 1:1 toprak-su süspansiyonlarında EC-metre (WTW) ile ölçülmüştür (U.S.Salinity Laboratory Staff, 1954).

Organik Madde: Değiştirilmiş Walkley-Black yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (Kacar, 2009).

3.2.3.3. İstatistik analiz yöntemleri

Nem sabitelerine özgü modellerin oluşturulması ve önemlilik seviyelerinin belirlenmesinde *Minitab 16* ve *SPSS Statistic 23* istatistik paket programları kullanılmıştır. Verilerin normal dağılım gösterip göstermediği çarpıklık ve basıklık katsayıları dikkate alınarak değerlendirilmiştir (Howitt ve Cramer, 2011).

Çalışmada ilk olarak sadece penetrasyon direnci yardımıyla tahmin modelleri oluşturulmuştur. Daha sonra ise incelenen tüm parametreler kullanılarak alternatif modeller geliştirilmiştir. Söz konusu elde edilen modelde çok değişkenli regresyon denklemi oluşturulmuş olup ayrıca değişken seçimi yöntemlerinden stepwise kullanılmıştır. Toprak örneklerinin hacim ağırlığı ~5-15 cm toprak derinliği için belirlendiğinden çok değişkenli regresyon modelleri oluşturulurken 5-15 cm aralığındaki penetrasyon direnci ölçümleri kullanılmıştır.

Verilerin değişkenlik durumunun tespit edilmesinde varyasyon katsayısı kullanılmıştır. Varyasyon katsayısı standart sapmanın aritmetik ortalamaya oranı şeklinde tanımlanmaktadır.

Oluşturulan regresyon denklemlerinin değerlendirilmesinde belirleme katsayısı (R^2), hata kareler ortalaması karakökü ve ortalama hata kullanılmıştır.

Belirleme katsayısı (R^2): Söz konusu değer 0 ile 1 arasında değişim göstermektedir. Değerin 1'e yakın bulunması bağımlı değişkendeki değişimin büyük kısmının bağımsız değişken tarafından açıklanabileceği anlamına gelir. Regresyon denkleminde elde edilen değer aşığıda belirtildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$\text{Belirleme katsayısı} : \frac{\sum(y_i - Y)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \quad (3.1)$$

Denklemden kullanılan y_i : deneysel olarak belirlenmiş değer, Y : regresyon eşitliğinden hesaplanmış değer, \bar{y} : deneysel verilerin ortalaması'nı ifade etmektedir.

Hata kareler ortalaması karakökü (RMSE): 0'dan ∞ 'a kadar değişebilen bu değer aşığıda belirtildiği şekilde hesaplanmaktadır.

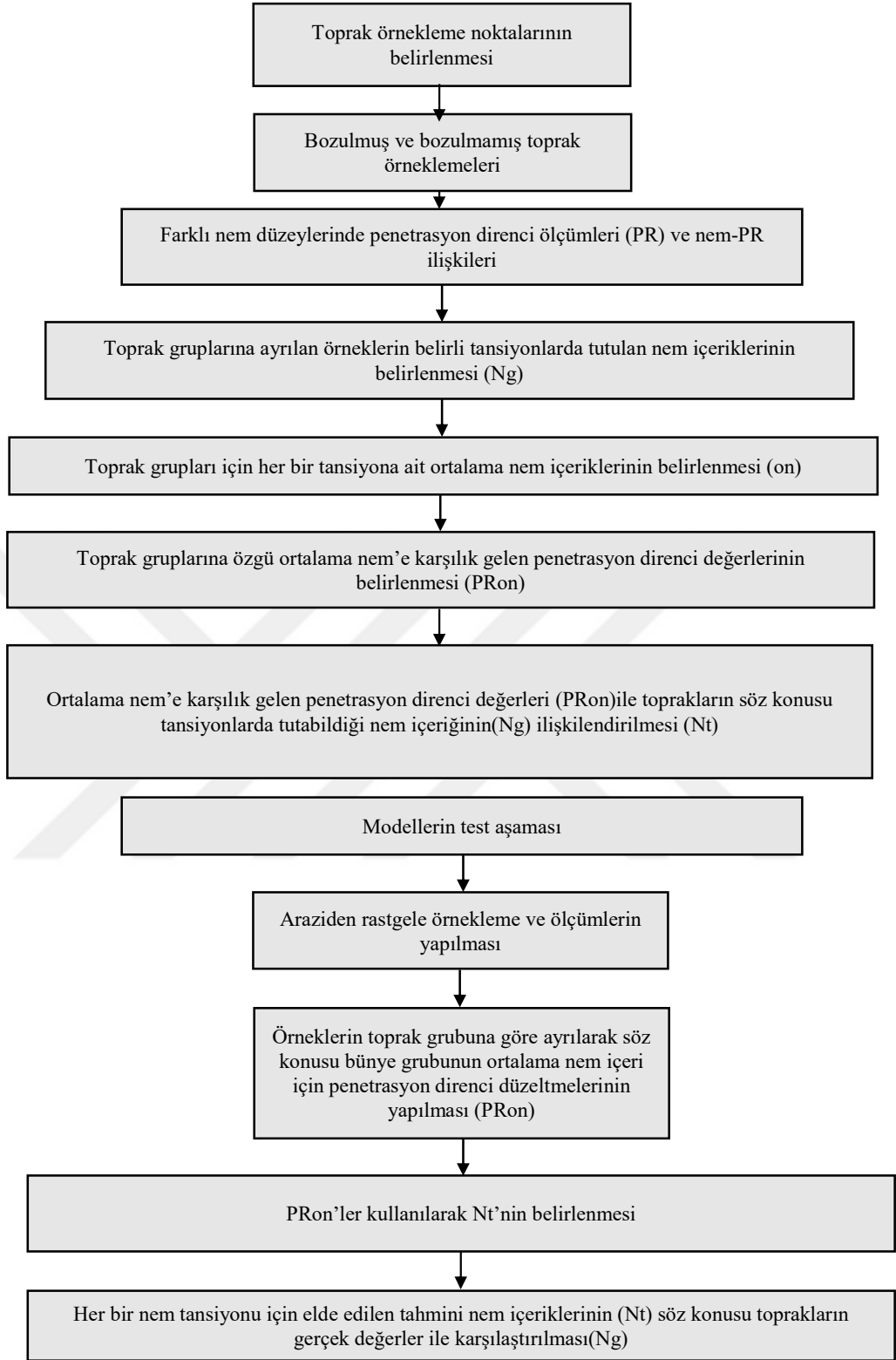
$$\text{RMSE} : \sqrt{\frac{\sum(X_g - X_t)^2}{n}} \quad (3.2)$$

Denklemden kullanılan X_g : gerçek değer, X_t : tahmin edilen değer, n : örnek sayısı'nı ifade etmektedir.

Ortalama hata (ME): Tahmin değeri ile gerçek değer arasındaki farkın ortalaması olan söz konusu değer aşığıda belirtildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$\text{ME} : \sum_{i=1}^n \frac{(X_g - X_t)}{n} \quad (3.3)$$

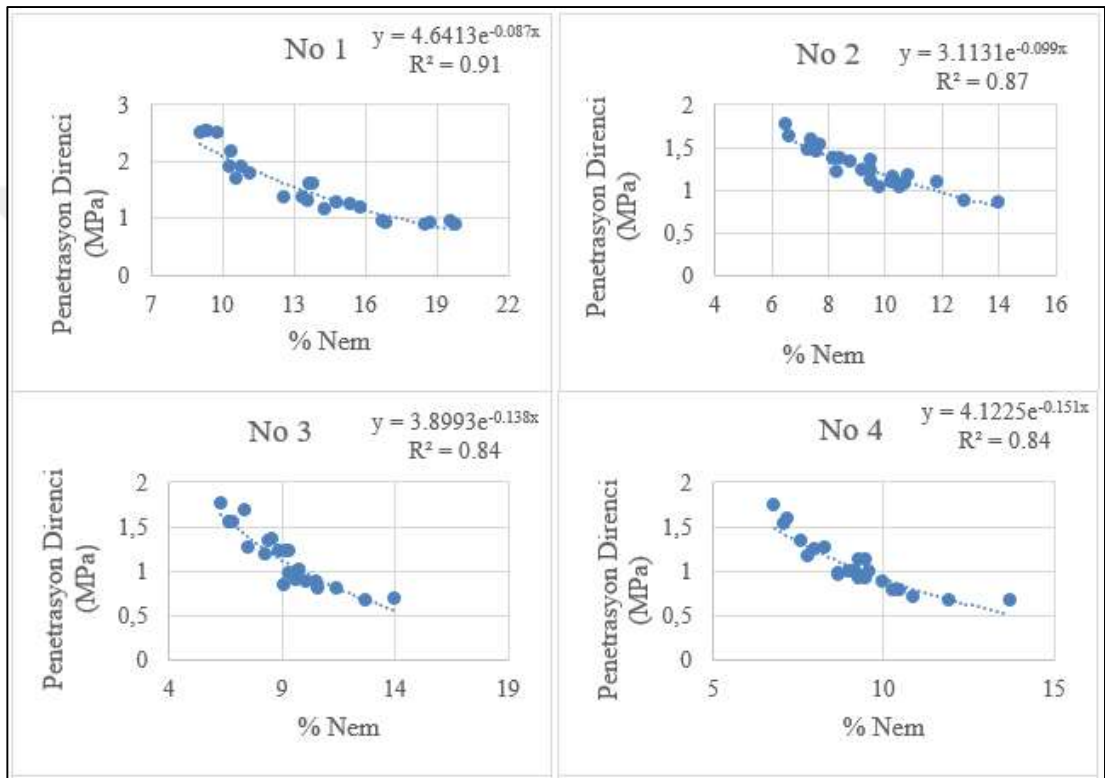
Çalışmanın akış şeması Şekil 3.9' da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Akış şeması

3.2.4. Modellerin geliştirilmesi

Toplamda 107 farklı örnekleme noktası için, penetrologer'dan bilgisayara (Microsoft excel programına) aktarılan her 1 cm'ye özgü veriler kullanılarak 0-20 cm toprak derinlikleri için ortalama penetrasyon direnci (PR) değerleri elde edilmiştir. Öncelikle bu değerler, araziden örnekleme yoluyla belirlenen nem içerikleri ile ilişkilendirilerek PR –Nem grafikleri elde edilmiştir (Şekil 3.10).



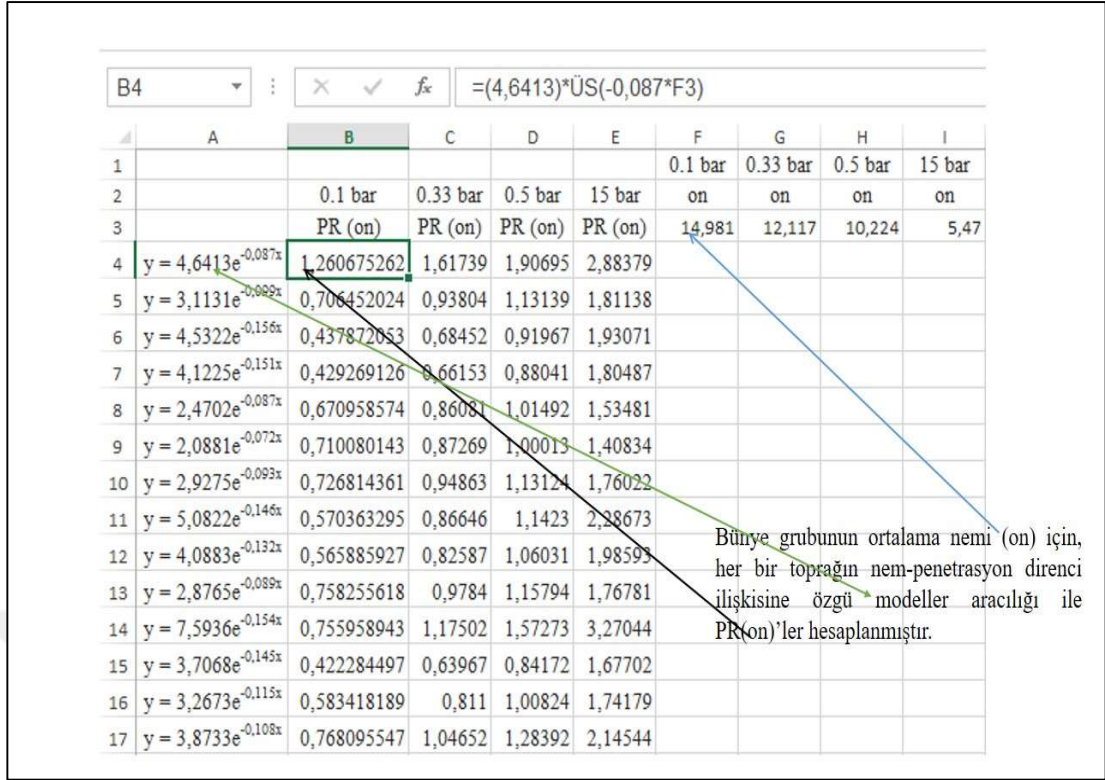
Şekil 3.10. Penetrasyon direnci nem ilişkisi

Çalışmanın bir sonraki işlem basamağı itibariyle, topraklar bünye gruplarına göre ayrılmış ve belli bir tansiyonda (0.1, 0.33, 0.5 ve 15) tuttıkları nem içerikleri (N_g) belirlenmiştir. Herbir tansiyon için toprak grubuna özgü ortalama bir nem içeriği (on) bulunmuştur (Şekil 3.11).

No	Tutulan Su (bar) (%)			
	0.1	0.33	0.5	15
1	17.45	14.33	11.68	7.16
2	13.16	9.68	8.09	4.93
3	12.71	9.59	8.64	4.52
4	13.67	9.40	8.40	4.24
5	14.59	11.45	9.10	4.23
6	14.56	11.76	9.69	4.86
7	13.92	11.35	8.69	4.75
8	15.16	11.35	10.37	5.69
9	13.79	11.66	10.21	4.98
10	15.55	11.29	8.96	7.35
13	14.21	11.17	8.04	4.06
14	15.70	12.35	10.94	4.94
15	15.98	13.94	11.37	6.38
16	17.74	14.53	11.44	5.94
17	15.40	13.17	11.19	5.63
18	16.54	13.98	11.57	5.52
19	14.31	12.71	11.13	5.40
20	15.98	12.24	10.58	6.30
21	15.56	13.48	11.88	7.25
Min.	12.71	9.40	8.04	4.06
Max.	17.74	14.53	11.88	7.35
Ort.	14.98	12.12	10.22	5.47
Çp.	0.37	-0.15	-0.4	0.51
Bs.	-0.29	-0.72	-1.4	-0.74
VK	8.92	12.58	13.08	18.58

Şekil 3.11. Toprak grubuna ait gerçek nem içeriği(Ng) ile ortalama nem(on)

Grupta yer alan bir toprak için on'nin karşılığı olan penetrasyon direnci değerleri (PRon), söz konusu toprağın nem - PR grafiği kullanılarak yeniden belirlenmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. PR(on)'nin belirlenmesi

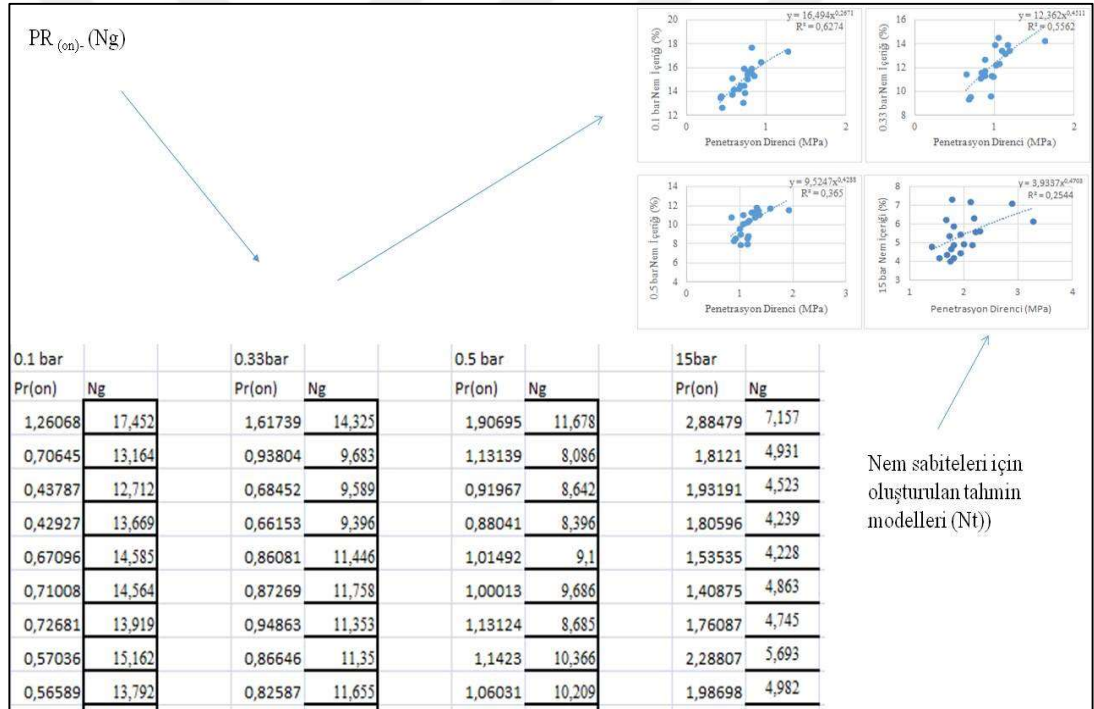
Ortalama nemlere karşılık gelen PR'ler, bünye sınıfı farklılıklarından kaynaklı her toprağın nem – PR eğrileri içerisinde bulunmamaktadır. Söz konusu eğrilerin dışında kalan noktalar için tahmin yapabilmek adına; her toprak için geliştirilen modellerin katsayılarının ortalamaları ve standart hataları hesaplanarak her bir toprak grubu için o toprak grubunu temsil eden yeni bir model geliştirilmiştir (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. PR(on) için genel tahmin modelleri

Bünye	Nem İçeriği	Denklem	Standart hata (a)	Standart Hata (b)
Kumlu	Gravimetrik	$Y: 3.745e^{-0.110x}$	0.266	0.0057
	Hacimsel	$Y: 3.745e^{-0.0786x}$	0.266	0.0044
Tınlı	Gravimetrik	$Y: 8.248e^{-0.095x}$	0.910	0.0034
	Hacimsel	$Y: 8.248e^{-0.070x}$	0.910	0.0026
Killi	Gravimetrik	$Y: 8.448e^{-0.085x}$	0.876	0.0042
	Hacimsel	$Y: 8.448e^{-0.064x}$	0.876	0.0033

Y: Penetrasyon direnci, X: Nem içeriği (%), a: sabit katsayısının standart hatası, b: x katsayısının standart hatası

Daha sonra, aynı gruptaki toprakların PR_{on} değerleri ile söz konusu tansiyonda tutulan gerçek nem değerleri (N_g) ilişkilendirilmiş (PR_{on} – N_g) ve tahmin modeli elde edilmiştir (N_t) (Şekil 3.13).

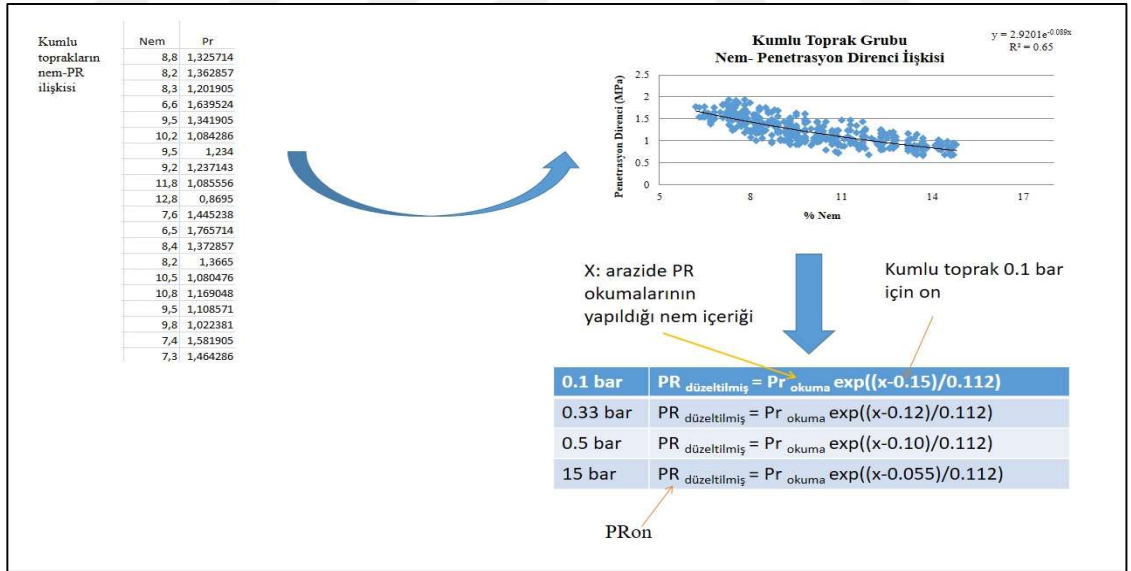


Şekil 3.13. N_t'nin belirlenmesi

3.2.5. Test yöntemleri

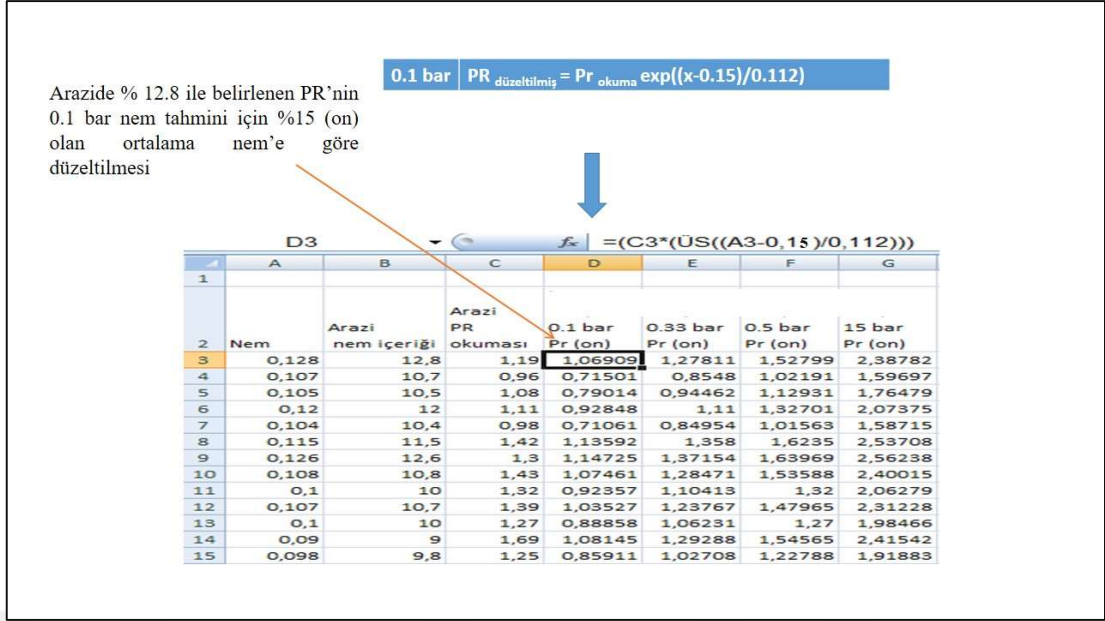
Toprak gruplarına özgü oluşturulan modellerin test edilmesi aşamasında arazilerden rastgele ölçüm ve örnekleme yapılmıştır. Test amaçlı bu toprak örneklerinde de tahmin kapsamında kullanılan örnekler için olduğu gibi temel toprak özellikleri belirlenmiştir. Yalnızca arazinin nem'e bağlı penetrasyon direnci takipleri yapılmamıştır.

Test aşamasında; bütün örnekleme noktalarında çalışma boyunca belirlenen nem-penetrasyon direnci verileri ilişkilendirilerek kumlu, tınlı ve killi toprak gruplarına özgü genel nem-penetrasyon direnci ilişkisi modelleri oluşturulmuştur (Şekil 3.14). Burada amaç, herhangi bir nem düzeyinde yapılan penetrasyon direnci ölçüm değerlerinin standart bir nem düzeyi için dönüştürülmesidir. Genel olarak oluşturulan nem-penetrasyon direnci ilişkisi sonucu elde edilen denklemler yardımıyla bilinen bir nem içeriğine (on) dönüşümün gerçekleşmesi için matematiksel eşitliklerden yararlanılarak düzeltme denklemleri oluşturulmuştur.



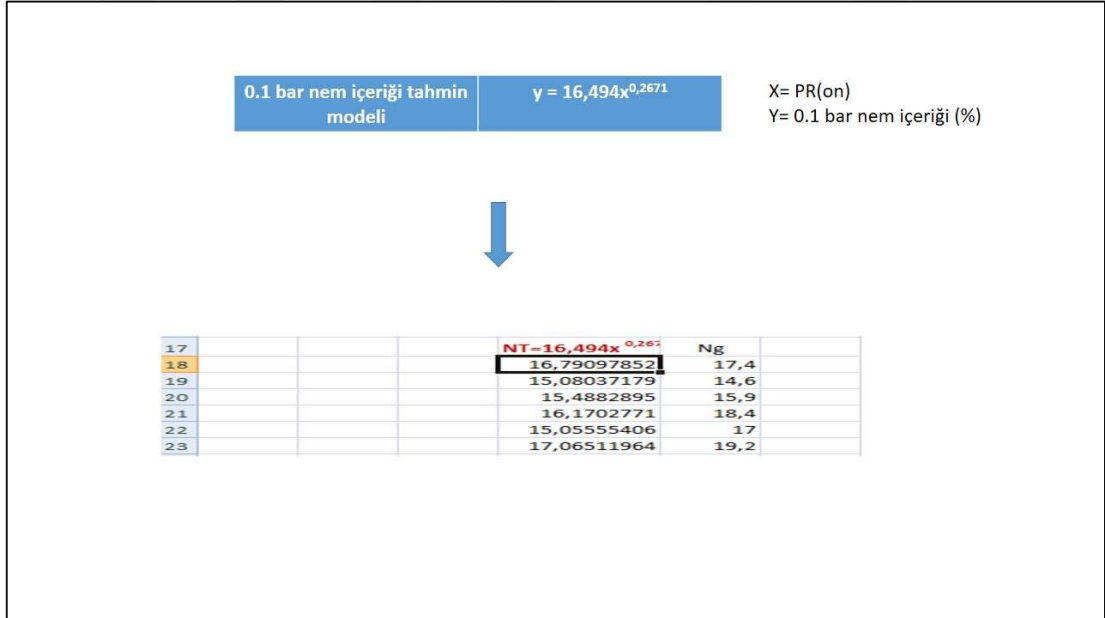
Şekil 3.14. Düzeltme denklemlerinin elde edilmesi

Düzeltilme denklemlerinden elde edilen penetrasyon direnci değerleri (PRon) (Şekil 3.15), daha önceden oluşturulan nem sabite modellerinde değerlendirilerek, tahmini nem sabiteleri belirlenmiştir (N_t).



Şekil 3.15. Düzeltme denklemleri aracılığıyla PR(on) belirlemeleri

Daha sonrasında tahmini nem sabite değerleri(N_t), gerçek değerlerle(N_g) karşılaştırılarak modellerin güvenilirliği test edilmiştir (Şekil 3.16).

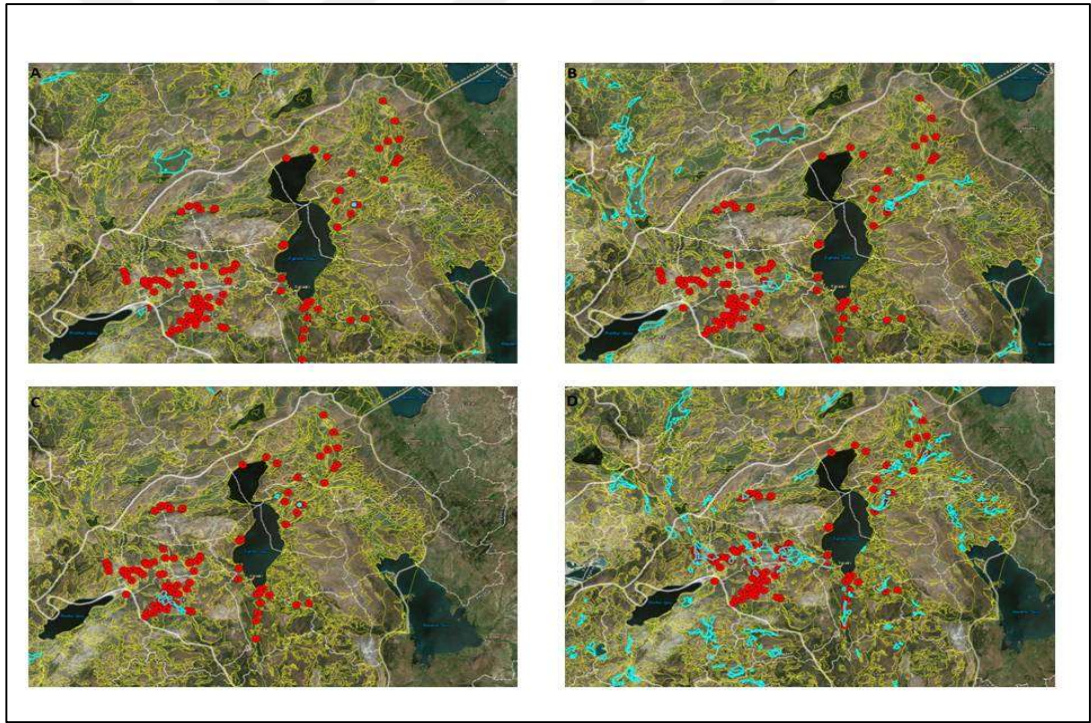


Şekil 3.16. Model güvenilirliğinin testi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Toprakların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Kumlu, tınlı ve killi toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri sırasıyla Çizelge 4.1, 4.2, ve 4.3’de verilmiştir. Toprakların 21 tanesi kumlu, 66’sı tınlı ve 20’si ise killi toprak grubuna dahildir. Isparta il arazi varlığı haritalarında (Anonim, 1994) yalnızca alüvyal ve kolüvyal toprakların bünye sınıflaması bulunmakta olup söz konusu bünye gruplarının (kumlu, killi) azlığı haritalarda da görülmektedir (Şekil 4.1). Haritalar üzerindeki turkuaz renkler söz konusu toprakların bulunduğu alanlar olup kırmızı noktalar örnekleme alanlarıdır. (A : alüvyal kumlu topraklar, B : alüvyal killi topraklar, C : kolüvyal kumlu topraklar, D : kolüvyal killi topraklar)



Şekil 4.1. Kumlu ve killi toprakların dağılımı

4.1.1. Kumlu topraklar

Kum ve tınlı kum bünye sınıfında yer alan kumlu toprakların bilindiği üzere su tutma kapasiteleri, adezyon ve kohezyon özellikleri ile plastiklikleri düşük, su geçirgenliği ve havalanma kapasitesi gibi özellikleri yüksek, toplam gözeneklilikleri az, makro gözeneklilikleri fazladır. Bu çalışmada, söz konusu toprak grubu içinde yer alan topraklardan yalnızca tınlı kum bünye sınıfındakiler bulunmaktadır (Çizelge 4.1). Toprakların hacim ağırlıkları $1.30 - 1.58 \text{ gr cm}^{-3}$ arasında değişim göstermektedir. Yeşilsoy ve Aydın (1993), kumlu topraklarda kuru hacim ağırlığının 1.5 gr cm^{-3} e kadar çıkabileceğini belirtirken Yine Aubertin ve Kardos (1965), kumlu topraklar için hacim ağırlığının $1.2 - 1.8 \text{ gr cm}^{-3}$ arasında değişim gösterdiğini bildirmiştir. Toprağın tarla kapasitesi ve solma noktasındaki nem içerikleri; tekstür, organik madde ve strüktüre bağlı olarak değişim göstermekte olup tane büyüklüğünün küçülmesi, organik madde içeriğinin artması ve strüktürün iyileşmesi ile söz konusu nem sabitelerinde tutulan nem miktarı artmaktadır (Karahana vd., 2014). Çalışmada; kumlu topraklar için 0.1, 0.33, 0.5 ve 15 bar'lık tansiyonlarda tutulan su miktarlarının, % 12.71 - 17.74, % 9.40 - 14.53, % 8.04 - 11.88, % 4.06 - 7.35 arasında değiştiği belirlenmiştir (Çizelge 4.1). Karkanis (1983), tınlı kum bünyeye sahip toprakların 0.33 ve 15 bar'da tutulan ortalama su içeriklerini sırasıyla % 7.6 ve 3.8 olarak bulmuştur.

Topraklar kireç içerikleri bakımından, Kacar (2009)'a göre yapılan sınıflandırma kapsamında kirecsiz (% 0.86 - 3.95) sınıfında yer almaktadır. Organik madde içeriği ise Ülgen ve Yurtsever (1988)'e göre çok az – az (% 0.79 - 1.85) sınıfları arasında değişim göstermiştir. pH seviyeleri Jones (1984)' e göre orta asit-hafif alkali (5.37 - 7.86) arasında EC ise Dahnke ve Whitney (1988)'e göre tuzsuz ($67 - 696 \mu\text{mhos cm}^{-1}$) sınıfında yer almaktadır.

Çizelge 4.1. Kumlu toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri

No	HA	Mekanik Analiz			BS	Tutulan Su (bar) (%)				CaCO ₃ %	OM %	pH (1:1)	EC (1:1)
		Kil %	Silt %	Kum %		0.1	0.33	0.5	15				
1	1.32	5.21	16.65	78.14	LS	17.45	14.33	11.68	7.16	1.36	1.41	7.25	163
2	1.49	9.26	11.32	79.43	LS	13.16	9.68	8.09	4.93	1.08	1.04	7.86	71
3	1.35	9.46	8.55	81.99	LS	12.71	9.59	8.64	4.52	1.29	1.02	7.39	68
4	1.36	5.60	9.93	84.47	LS	13.67	9.40	8.40	4.24	2.37	1.09	7.74	105
5	1.41	5.13	10.35	84.53	LS	14.59	11.45	9.10	4.23	2.23	1.85	7.49	67
6	1.40	5.13	10.36	84.51	LS	14.56	11.76	9.69	4.86	1.80	1.15	7.54	104
7	1.30	5.12	10.06	84.83	LS	13.92	11.35	8.69	4.75	1.44	1.06	7.55	75
8	1.34	4.82	12.36	82.82	LS	15.16	11.35	10.37	5.69	1.65	1.21	7.76	209
9	1.52	6.81	9.37	83.82	LS	13.79	11.66	10.21	4.98	0.86	1.06	7.44	105
10	1.31	10.71	16.65	78.14	LS	15.55	11.29	8.96	7.35	3.95	1.44	7.37	170
11	1.35	5.57	11.89	82.54	LS	15.10	13.50	11.86	6.21	1.57	1.08	7.68	192
12	1.55	5.21	8.47	80.82	LS	13.52	11.52	10.91	4.44	2.76	0.92	7.37	151
13	1.34	5.71	7.55	86.74	LS	14.21	11.17	8.04	4.06	2.18	1.14	7.47	80
14	1.58	7.76	9.59	82.65	LS	15.70	12.35	10.94	4.94	2.18	1.10	5.37	696
15	1.38	7.30	14.30	78.40	LS	15.98	13.94	11.37	6.38	3.48	0.78	7.79	135
16	1.44	6.00	16.00	78.00	LS	17.74	14.53	11.44	5.94	3.34	1.66	6.86	492
17	1.43	7.76	9.59	82.65	LS	15.40	13.17	11.19	5.63	3.13	0.98	6.59	85
18	1.33	7.76	11.63	80.61	LS	16.54	13.98	11.57	5.52	1.16	1.19	7.27	104
19	1.56	4.80	12.40	82.80	LS	14.31	12.71	11.13	5.40	1.75	0.96	7.30	125

Çizelge 4.1. Kumlu toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri (Devamı)

No	HA	Mekanik Analiz			BS	Tutulan Su (bar) (%)				CaCO ₃ %	OM %	pH (1:1)	EC (1:1)
		Kil %	Silt %	Kum %		0.1	0.33	0.5	15				
20	1.32	7.80	12.10	80.10	LS	15.98	12.24	10.58	6.30	2.30	1.33	7.85	189
21	1.39	9.46	8.55	82.00	LS	15.56	13.48	11.88	7.25	3.80	1.28	7.56	250
Min.	1.30	4.80	7.55	78.00		12.71	9.40	8.04	4.06	0.86	0.79	5.37	67
Max.	1.58	10.71	16.65	86.74		17.74	14.53	11.88	7.35	3.95	1.85	7.86	696
Ort.	1.40	6.77	11.31	81.91		14.98	12.12	10.22	5.47	2.17	1.18	7.36	173
Çp.	0.84	0.72	0.84	-0.12		0.37	-0.15	-0.4	0.51	0.56	1.21	-2.63	2.63
Bs.	-0.55	-0.66	-0.10	-0.82		-0.29	-0.72	-1.4	-0.74	-0.75	1.72	8.45	7.22
Vk	6.28	26.73	23.69	3.08		8.92	12.58	13.08	18.58	42.46	21.17	7.48	88.06

HA: Hacim ağırlığı (gr cm⁻³), BS: Bünye sınıfı, CaCO₃ : Kireç, OM: Organik madde, EC: Elektriksel iletkenlik (µmhos cm⁻¹), Çp: çarpıklık katsayısı, Bs: basıklık katsayısı, Vk: varyasyon katsayısı

Organik materyalin artmasına bağlı toprağın su tutma kapasitesinin arttığı bilinmektedir. Ayrıca organik materyal uygulamalarının, strüktür oluşumunu olumlu yönde etkilediği, agregatların dayanımını arttırdığı bilinmektedir. (Aydemir vd., 2005). Çizelge 4.1’de görüldüğü ve genel bir değerlendirme yapıldığında 2, 12 ve 19 no’lu toprakların organik materyalleri % 1’e yakın seviyelerde olup 0.1 bar tansiyonda tutulan su içerikleri yaklaşık % 14 olarak bulunmuştur. Fakat 1 ve 16 nolu toprakta organik materyal seviyesi -% 1.5 olup yine söz konusu tansiyonda (0.1 bar) tutulan su içeriği -% 17 ile % 3’lük bir farklılık göstermektedir. Yine kum miktarının artmasına bağlı olarak su tutma özelliklerinde azalışlar görülmektedir. Toprakta gözenek hacmini arttıran organik maddenin hacim ağırlığının düşmesine neden olması (Tadesse vd., 2013) ve kil içeriği ile birlikte hacim ağırlığının tahmin edilebilirliğinde kullanılması (Akgül ve Özdemir, 1996) söz konusudur. Mevcut çalışma kapsamında topraklarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Keza organik madde içeriği yüksek olan (1 ve 16) topraklarda hacim ağırlığı, 1.32 ve 1.44 g cm⁻³ iken düşük olanlarda (2, 12, 19) 1.49, 1.55, 1.56 g cm⁻³ tür.

Bünye sınıflarının tarla kapasitesi (0.33bar) ve solma noktası değişim aralıkları Rawls vd. (1982)’a göre Çizelge 4.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.2. Bünye sınıfına özgü tarla kapasitesi ve solma noktası içerikleri (Rawls vd.,1982)

Bünye sınıfı	Tarla kapasitesi (cm cm ⁻³)	Solma noktası (cm cm ⁻³)
Kum	1.8 - 16.4	0.7 - 5.9
Tınlı kum	6 - 19	1.9 - 9.1
Kumlu tın	12.6 - 28.8	3.1 - 15.9
Tın	19.5 - 34.5	6.9 - 16.5
Siltli tın	25.8 - 40.2	7.8 - 18.8
Kumlu killi tın	18.6 - 32.4	8.5 - 21.1
Killi tın	25 - 38.6	11.5 - 27.9
Siltli killi tın	30.4 - 42.8	13.8 - 27.8
Kumlu kil	24.5 - 43.3	16.2 - 31.6
Siltli kil	33.2 - 44.2	19.3 - 30.7
Kil	32.6 - 46.6	20.8 - 33.6

Söz konusu tabloda belirtilen nem içeriği değerleri hacimsel olarak verilmiştir. Mevcut çalışma, topraklarının gravimetrik nem içerikleri Çizelge 4.2 kapsamında değerlendirilmek üzere Çizelge 4.1’de belirtilen minimum ve maksimum değerleriyle hacim ağırlığı çarpılarak hacimsel nem içeriklerine dönüştürülmüştür. Kumlu topraklar için belirlenen tarla kapasitesi ve solma noktası nem içeriklerinin % 12.74 - 20.92 ve %5.43 - 9.63 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Çalışmada, elde edilen sonuçlar Rawls vd. (1982), tarafından yapılan sınıflamaya uygunluk göstermektedir.

Toprakların organik madde içeriği oldukça düşük seviyelerde olduğu ve tuzluluk sorunu olmadığı belirlenmiştir. Göller bölgesi topraklarının % 65’inin organik madde içeriklerinin az (% 0 - 2) sınıfında yer aldığı bildirilmiştir (Güçdemir, 2006). Söz konusu bu düşüklük tipik olarak kurak ve yarı kurak bölgelerde vejetasyonun zayıflığı ve işlemeyle birlikte oksitlenmenin artmasıyla ilişkilendirilebilir.

Standart sapma, dağılımın yaygınlığını gösteren bir parametre olup büyüklüğü ya da küçüklüğüne bakılarak farklı özelliklerin birbirleriyle karşılaştırması yapılamamaktadır. Bunun için dağılımdaki değerlerin ortalamaya göre % kaçlık bir değişim gösterdiğinin belirlendiği varyasyon katsayısının kullanımı daha doğru bir yaklaşım olarak görülmelidir.

Toprak özelliklerindeki değişkenliği belirlemede kullanılan varyasyon katsayısı (VK), Wilding (1985)'e göre düşük (< %15), orta (< %35) ve yüksek (>%35) olarak sınıflandırılmıştır. Yani varyasyon katsayısı düşük sınıfta yer alan özellikler; ortalamaya göre % 15'den daha az değişim gösterirken, orta sınıfta yer alanlar ortalamaya göre %15 - 25 ve yüksek sınıfta yer alanlar ise %35'den daha büyük değişim göstermiştir. Bu sınıflamaya göre; hacim ağırlığı, kum, düşük basınçlarda tutulan nem içeriği (0.1, 0.33 ve 0.5 bar), pH 'düşük', kil, silt, organik madde ve 15 bar nem içeriği 'orta', CaCO₃ ve EC ise 'yüksek' değişkenlik gösteren toprak özellikleri olarak belirlenmiştir. Kil ve silt içeriklerinin dağılımı kum içeriğine göre daha büyük değişkenlik göstermiştir. Bu durum kumlu toprak grubunda kum içeriğindeki değişkenliğin daha az olmasıyla ilişkilidir. Tüm topraklarının bünye sınıfının aynı olması hacim ağırlığının değişim aralığının geniş olmamasının bir nedenidir. Böylece değişkenlik katsayısının düşük çıkması olası bir sonuçtur.

Çarpıklık ve basıklık katsayılarının 0'a yakın olması normal dağılım olduğunun bir göstergesidir. Söz konusu parametrelerin ± 2 sınırları içerisinde bulunması normal bir dağılım olarak kabul görmektedir (Howitt ve Cramer, 2011). Çarpıklık katsayısının negatif olması sola, pozitif olması sağa çarpıklığı gösterirken basıklık katsayısında ise negatif, eğrinin normale göre daha basık, pozitiflik daha dik olduğunun göstergesidir. Bu kapsamda çalışma toprakları içerisinde pH ve EC özellikleri dışında belirlenen tüm özellikler normal dağılım göstermektedir. Oluşturulan regresyon modellerinde pH ve EC modellere dahil edilmemiştir.

Çalışmada kullanılan kumlu toprakların incelenen fiziksel ve kimyasal özellikleri yapılan diğer çalışmalarla benzer bulunmuştur.

4.1.2. Tınlı topraklar

Tınlı toprak grubuna ait olan topraklar; kaba kumlu tın, kumlu tın, ince kumlu tın, çok ince kumlu tın, tın, siltli tın, silt, killi tın, kumlu killi tın, siltli killi tın bünye sınıflarını kapsamaktadır (Soil Survey Manual, 1993). Çalışmada yer alan topraklar killi tın, siltli tın, kumlu killi tın, tın, kumlu tın, siltli killi tın bünyelerine sahiptir (Çizelge 4.3). Toprakların hacim ağırlıkları 1.21 - 1.55 gr cm⁻³ arasında değişmektedir ve ortalama 1.35 gr cm⁻³'dir. Sıkışmanın artmasıyla, doğal olarak hacim ağırlığında artış gözlenmektedir (Yeşilsoy ve Aydın, 1993). Mujdeci vd. (2017), arazi koşullarında yürüttükleri çalışmada traktör geçiş sayısına bağlı olarak hacim ağırlığında artışların olduğunu ve ilk geçişte 1.38 gr cm⁻³ olarak belirlenen hacim ağırlığının 3. geçiş sonrasında 1.54 gr cm⁻³ değerine kadar yükseldiğini belirtmişlerdir. 0.1, 0.33, 0.5 ve 15 bar seviyesinde tutulan nem içerikleri % 14.52 - 29.29, 11.17 - 27.43, 9.65 - 25.12, 6.04 - 16.78 arasında değişim göstermiştir. Mbah vd. (2012), tarafından doygunluk su düzeyinin; tarla kapasitesi, solma noktası ve yarayırlı nem içerikleri aracılığıyla tahmin edilmesine yönelik yapılan çalışmada, tınlı toprakların 0.1 ve 15 bar seviyesinde tutulan su içerikleri sırasıyla % 11.1 - 41.8, % 3.8 - 20.2 aralığında belirlenmiştir.

Toprakların kireç içerikleri, Kacar (2009)'a göre yapılan sınıflandırma kapsamında kirecsiz ve çok fazla kireçli (% 1.29 - 45.27) organik madde düzeyi, Ülgen ve Yurtsever (1988)'e göre çok az ve iyi (% 0.87-3.92), pH, Jones (1984)' e göre Nötr-hafif alkali (6.63-8.38) EC ise Dahnke ve Whitney (1988)'e göre tuzsuz – hafif tuzlu (101-1236 $\mu\text{mhos cm}^{-1}$) aralığında değişen sınıflarda belirlenmiştir.

Söz konusu bünye sınıflarının % olarak dağılımı % 31.8 SCL, % 30.3 CL, % 15.1 SL, % 12.1 L, % 9 SiL, şeklindedir. Çalışma alanı içerisinde tınlı toprakların büyük bir kısmı SCL ve CL bünye sınıfı'dır. Çalışma alanı kapsamında daha önce Eğirdir-Bozova toprakları üzerinde yapılan çalışmada; (Uçkun, 2007) toprakların %32.61'i C, %28.26'sı CL, %21.74'ü SCL, %8.69'u SiC, %4.36'sı SiCL, %2.17'si SL ve %2.17'sinin L sınıfında yer aldığını bildirmiştir. Üzerinde çalışılan bölgede (Eğirdir-Bozova) tınlı bünye grubu topraklarda SCL ve CL en fazla belirlenen bünye sınıfları olmuştur.

Tınlı topraklarda, kumlu da olduğu gibi genel olarak organik madde seviyelerindeki artışın ve ek olarak tekstürel fraksiyon farklılıkları su tutma kapasitesini pozitif yönde etkilemiştir. Çizelge 4.3 verileri içerisinde konuya ilişkin belirgin farklılıklar 9, 10 ve 11, 12 no'lu topraklar üzerinde gözlenmektedir. 9, 10 no'lu örneklerde organik madde ~ %1 seviyesinde iken 11 ve 12 nolu topraklarda ~%2.5 olup söz konusu bu 2.5 katlık artış nem içeriğinde (0.1 bar) ~ % 7-10 arasında bir artışa yol açmıştır. Ayrıca 9 ve 10 no'lu örneklerin kum içerikleri diğer iki toprak özelliğine göre daha yüksek seviyelerde belirlenmiştir. Söz konusu topraklar için nem içeriğindeki artış; kum içeriğinin az, organik madde içeriğinin fazla olmasıyla ilişkilendirilebilmektedir. Yine aynı bünye sınıfına dahil olan 61 ve 64 no'lu topraklarda 0.1 bardaki nem içerikleri birbirinden oldukça farklıdır. 61 no'lu toprakta % 19.66 olan nem içeriği diğer toprak için % 27.56'dır. Bu farklılığın nedeni organik madde ve kil içeriğinin yüksek olması olarak öngörülmektedir. 3, 6, 17, 18 no'lu toprakların bünye sınıfı killi tın olup 15 bar tansiyonda tutmuş oldukları nem içerikleri yaklaşık % 9 organik madde içerikleri ise ~ % 1.5'dir. 22, 23, 27, 28 no'lu topraklarda ise söz konusu tansiyonda tutulan nem içeriği ~ % 14 seviyelerinde olup özellikle organik madde içeriğinin de yüksek olduğu (~ % 3.5) ortadadır. Ortalama nem içerikleri karşılaştırıldığında tarla kapasitesi (0.33 bar) ile solma noktası arasında 1.84'lük kat oranı bulunmaktadır. Diallo ve mariko (2013), tarla kapasitesi ile solma noktası arasındaki oranın 1.6 olduğunu belirtmiştir.

Tarla kapasitesindeki maksimum ve minimum hacimsel nem içerikleri (%16.19 ve 36.74) SL ve SiL bünye sınıfına karşılık gelmektedir. Solma noktasında ise % 8.3 ve 23.98'lik hacimsel nem içerikleri SL ve CL bünye grubuna karşılıktır. Söz konusu topraklar için elde edilen nem sabitlerine ilişkin veriler Rawls vd. (1982), tarafından yapılan sınıflandırmaya uygunluk göstermektedir.

Toprakların kireç içerikleri ile pH içerikleri ilişkileri, özellikle pH'nın 8 civarı olduğu topraklar için (34, 42, 46, 47, 48, 53, 54) belirgin bir değişim göstermektedir. Keza CaCO₃'ün pH seviyesinde artışa yol açacağı Rice (1999) tarafından da belirtilmiştir. Tınlı toprak grubu içerisinde 11 no'lu örneğin EC ve pH değerleri, düşük pH'da çözünebilir tuz miktarının fazla olmasıyla ilişkilendirilmiştir (Mohd-Aizat vd., 2014; Budak vd., 2018).

Varyasyon katsayısı için Wilding (1985)'e göre yapılan sınıflandırmada; hacim ağırlığı, pH "düşük", kil, kum, 0.1, 0.33 ve 0.5 barda tutulan su içeriği "orta", kireç silt, organik madde, 15 bar nem içeriği ve EC ise "yüksek" değişkenlik gösteren toprak özellikleridir. Tınlı toprak grubu için örnek sayısının fazla ve toprak özelliklerinin birbirinden farklı olmasından kaynaklı değişim aralığının geniş olması varyasyon katsayısının orta ve yüksek seviyelerde belirlenmesine yol açmıştır.

Çalışmada kullanılan tınlı toprakların incelenen fiziksel ve kimyasal özellikleri yapılan diğer çalışmalarla benzer bulunmuştur.

Çizelge 4.3. Tınlı toprakların özellikleri

No	HA	Mekanik Analiz			BS	Tutulan Su (bar) (%)				CaCO ₃ %	OM %	pH (1:1)	EC (1:1)
		Kil %	Silt %	Kum %		0.1	0.33	0.5	15				
1	1.23	33.66	36.24	30.10	CL	23.40	19.65	17.71	10.28	32.91	1.72	7.73	220
2	1.29	31.43	31.23	37.34	CL	23.07	20.15	18.40	9.64	27.29	2.36	7.60	352
3	1.31	32.26	23.31	44.43	CL	20.34	18.22	17.44	8.76	26.28	1.11	7.80	185
4	1.48	34.92	47.96	17.12	SiCL	25.95	21.81	20.12	15.88	31.45	2.77	7.58	611
5	1.42	33.67	22.58	43.74	CL	21.38	18.62	16.84	10.89	33.90	1.42	7.60	307
6	1.44	33.21	22.80	43.99	CL	19.01	17.36	16.48	9.93	43.37	1.49	7.86	165
7	1.36	20.94	21.04	58.02	SCL	21.12	17.34	15.83	8.60	11.27	1.07	7.81	157
8	1.40	24.20	27.02	48.78	SCL	25.75	23.26	21.62	10.71	11.13	1.82	7.81	278
9	1.28	15.88	15.68	68.44	SL	20.52	16.35	14.58	7.65	1.29	1.03	6.74	320
10	1.39	20.17	15.55	64.28	SCL	22.04	19.41	18.11	9.06	2.37	1.19	7.78	144
11	1.26	17.79	23.01	59.20	SL	29.29	26.15	24.60	10.29	2.23	2.83	6.63	1236
12	1.27	18.50	23.48	58.02	SL	26.12	23.10	21.14	10.23	1.72	2.40	7.78	214
13	1.24	26.43	15.78	57.79	SCL	20.09	17.03	16.16	10.67	3.45	1.60	7.78	181
14	1.23	34.61	17.59	47.80	SCL	21.38	18.33	17.45	13.19	8.69	3.11	7.87	365
15	1.45	13.01	13.63	73.36	SL	14.52	11.17	9.65	6.04	1.94	0.99	7.50	101
16	1.38	27.13	4.90	67.97	SCL	18.90	15.24	12.62	6.62	1.51	1.03	7.10	116
17	1.44	28.37	35.37	36.26	CL	22.71	18.02	16.20	8.33	17.67	1.07	7.61	220
18	1.50	27.09	32.16	40.75	CL	24.73	19.81	18.36	8.43	39.71	1.67	7.77	231
19	1.35	32.96	38.79	28.25	CL	27.67	24.16	22.38	12.47	9.70	1.09	7.73	215

Çizelge 4.3. Tınlı toprakların özellikleri (Devamı)

No	Mekanik Analiz				BS	Tutulan Su (bar) (%)				CaCO ₃ %	OM %	pH (1:1)	EC (1:1)
	HA	Kil %	Silt %	Kum %		0.1	0.33	0.5	15				
20	1.55	21.05	28.38	50.57	L	19.23	17.00	15.12	9.11	9.41	1.12	7.49	143
21	1.33	31.95	33.63	34.42	CL	26.49	23.60	21.95	10.82	8.83	3.70	7.34	368
22	1.46	32.02	42.29	25.69	CL	24.49	23.94	21.56	13.71	13.64	3.30	7.18	712
23	1.42	29.62	40.99	29.39	CL	25.69	22.07	20.27	14.04	11.85	3.11	7.51	315
24	1.43	23.70	34.17	42.13	L	24.45	22.07	21.21	11.00	13.79	3.05	7.43	301
25	1.24	25.04	18.36	56.60	SCL	23.42	20.60	17.95	11.18	5.03	2.73	7.54	145
26	1.38	34.45	35.39	30.16	CL	27.09	25.39	22.71	13.73	12.06	3.66	7.44	299
27	1.27	18.78	35.15	46.07	L	20.26	17.54	16.56	8.90	13.00	2.25	7.69	205
28	1.47	29.80	26.45	43.74	CL	26.09	24.83	24.07	13.12	12.93	2.09	7.51	360
29	1.52	32.84	33.94	33.23	CL	28.49	24.01	21.47	13.32	11.20	3.92	7.43	349
30	1.46	26.91	34.06	39.04	L	23.85	20.02	17.94	10.83	5.10	2.99	7.48	341
31	1.36	27.49	41.64	30.87	CL	25.84	22.29	21.06	12.70	3.23	1.93	7.75	210
32	1.23	31.64	41.71	26.65	CL	25.40	22.34	20.86	12.86	6.25	2.02	7.68	375
33	1.21	17.96	30.00	52.04	SL	20.50	17.81	15.49	10.85	5.95	2.35	7.33	351
34	1.24	26.12	11.63	62.25	SCL	22.10	19.07	17.10	10.65	45.27	2.84	8.38	151
35	1.43	30.20	21.84	47.96	SCL	21.68	18.67	17.11	12.93	17.99	1.86	7.48	793
36	1.51	24.08	27.96	47.96	SCL	19.32	16.43	14.69	10.37	35.55	2.15	7.99	583
37	1.31	30.20	40.20	29.59	CL	21.47	19.40	17.22	11.74	31.19	1.85	7.75	478
38	1.34	26.12	34.08	39.80	L	23.90	21.51	20.92	11.22	31.63	1.92	7.49	508
39	1.30	28.16	44.29	27.55	CL	27.67	24.05	22.49	11.42	6.02	1.77	7.57	508

Çizelge 4.3 Tınlı toprakların özellikleri (Devamı)

	Mekanik Analiz				BS	Tutulan Su (bar) (%)				CaCO ₃ %	OM %	pH (1:1)	EC (1:1)
	HA	Kil %	Silt %	Kum %		0.1	0.33	0.5	15				
40	1.25	18.72	70.41	10.87	SiL	26.80	24.54	23.26	15.86	10.34	3.14	8.00	590
41	1.43	7.22	50.95	41.83	SiL	26.97	23.38	20.46	13.78	10.92	1.61	7.73	278
42	1.53	20.00	26.81	53.19	SCL	27.34	25.13	24.28	14.10	37.14	1.61	8.10	286
43	1.52	23.72	46.08	30.21	L	25.45	23.46	22.14	14.91	13.57	1.43	8.37	218
44	1.42	31.16	39.64	29.21	CL	28.98	26.62	23.27	15.38	17.95	2.05	8.28	280
45	1.26	31.66	14.75	53.59	SCL	26.72	22.16	19.87	10.63	13.64	2.24	8.22	507
46	1.32	7.89	63.30	28.81	SiL	27.85	24.38	22.65	10.87	12.06	2.34	7.93	734
47	1.22	8.18	54.58	37.25	SiL	29.29	27.43	25.12	14.26	29.44	3.27	8.02	409
48	1.39	5.47	36.45	58.08	SL	29.03	25.31	22.90	14.78	34.83	2.71	8.20	324
49	1.43	26.89	24.75	48.37	SCL	26.13	24.28	23.04	14.25	3.16	1.22	7.92	351
50	1.30	7.65	55.73	36.62	SiL	27.67	25.53	23.54	15.24	6.32	2.43	7.92	792
51	1.38	28.84	19.79	51.38	SCL	21.43	19.36	17.21	12.77	4.67	1.34	7.74	472
52	1.33	5.69	51.03	43.28	SiL	29.12	26.72	23.33	15.05	13.43	3.26	8.16	345
53	1.43	29.17	33.47	37.36	CL	26.73	24.96	21.55	16.78	31.19	1.62	8.20	472
54	1.23	23.90	23.29	52.81	SCL	26.98	23.38	21.54	14.25	26.99	1.30	8.08	457
55	1.37	8.78	14.69	76.53	SL	21.61	17.37	15.03	8.18	6.32	1.17	7.62	144
56	1.35	11.84	19.80	68.37	SL	24.87	21.25	18.99	8.14	1.45	1.03	7.66	211
57	1.40	22.04	21.84	56.12	SCL	20.19	17.85	16.65	9.93	1.87	1.73	7.45	358
58	1.24	20.00	24.90	55.10	SCL	19.82	17.82	15.54	9.74	2.94	1.27	7.62	544

Çizelge 4.3. Tınlı toprakların özellikleri (Devamı)

No	Mekanik Analiz				BS	Tutulan Su (bar) (%)				CaCO ₃ %	OM %	pH (1:1)	EC (1:1)
	HA	Kil %	Silt %	Kum %		0.1	0.33	0.5	15				
59	1.52	34.29	9.59	56.12	SCL	25.99	22.18	20.11	12.35	3.77	1.72	7.69	418
60	1.21	13.88	15.71	70.41	SL	17.18	13.23	10.81	6.70	26.00	0.87	7.85	155
61	1.40	24.08	30.00	45.92	L	19.66	15.21	12.07	8.61	9.58	1.15	7.59	284
62	1.26	20.00	19.80	60.20	SCL	16.54	13.81	12.80	7.78	5.73	1.39	7.86	143
63	1.24	22.04	21.84	56.12	SCL	19.96	16.32	13.42	7.36	21.47	1.36	7.77	170
64	1.26	26.12	32.04	41.84	L	27.56	24.97	22.71	10.86	15.75	1.64	7.66	503
65	1.22	11.84	13.67	74.49	SL	16.50	14.18	12.29	6.47	2.90	1.16	7.65	185
66	1.21	20.00	27.96	52.04	SCL	20.99	18.51	15.61	10.33	27.14	1.37	7.63	365
Min.	1.21	5.47	4.90	10.87		14.52	11.17	9.65	6.04	1.29	0.87	6.63	101
Max	1.55	34.92	70.41	76.53		29.29	27.43	25.12	16.78	45.27	3.92	8.38	1236
Ort.	1.35	23.72	30.11	46.17		23.68	20.71	18.84	11.24	15.19	1.97	7.70	350
Çp.	0.19	-0.68	0.72	0.02		-0.34	-0.28	-0.39	0.07	0.82	0.68	-0.58	2
Bs.	-1.14	-0.44	0.57	-0.40		-0.75	-0.68	-0.65	-0.78	-0.48	-0.58	1.97	5
VK	7.30	34.72	43.66	31.14		15.37	18.17	19.82	23.44	80.55	40.56	4.19	57.43

HA: Hacim ağırlığı (gr cm⁻³), BS: Bünye sınıfı, CaCO₃ : Kireç, OM: Organik madde, EC: Elektriksel iletkenlik (µmhos cm⁻¹)
 Çp: çarpıklık katsayısı, Bs: basıklık katsayısı, Vk: varyasyon katsayısı

4.1.3. Killi topraklar

Killi topraklar, kumlu kil, siltli kil, kil bünye sınıflarını kapsamaktadır. Bu toprakların bilindiği üzere su tutma kapasiteleri, adezyon ve kohezyon ile plastiklik özellikleri yüksek, havalanma kapasitesi ve su geçirgenliği düşüktür. Kil fraksiyonları tane büyüklüğü bakımından küçük fakat yüzey alanı bakımından büyük olduğundan bitki gelişiminde önemli rol oynamaktadır. Bünye sınıfı olarak siltli kil ve kil sınıfına sahip toprakların yer aldığı çalışmada (Çizelge 4.4); hacim ağırlığının 1.13-1.49 gr cm⁻³ arasında değiştiği belirlenmiştir. Yeşilsoy ve Aydın (1993), killi bir toprağın hacim ağırlığı değerinin 1.1 gr cm⁻³' e kadar düşebileceğini belirtmiştir. 0.1, 0.33, 0.5 ve 15 bar seviyesinde tutulan nem içerikleri % 26.47 - 32.84, 22.67 - 28.99, 19.15 - 27.65, 12.90 - 18.77 arasında değişim göstermiştir. İnce tekstürlü topraklar çok sayıda mikro gözeneklere sahip olduğu için su tutma özellikleri yüksektir. Diallo ve Mariko (2013) killi topraklar üzerinde belirledikleri tarla kapasitesi ve solma noktası nem seviyelerinin % 16.01 - 45.90, 3.95 - 27.10 aralığında olduğunu belirtmişlerdir.

Bu çalışma kapsamındaki toprakların kireç içeriği Kacar (2009)'a göre kireçli - çok fazla kireçli (% 3.23 - 44.88) organik madde, Ülgen ve Yurtsever (1988)'e göre az - iyi (1.39 - 3.50) pH, Jones (1984)' e göre Nötr - hafif alkali (7.45 - 8.43) EC ise Dahnke ve Whitney (1988)'e göre tuzsuz (156 - 725 µmhos cm⁻¹) sınıflarında yer almaktadır.

Çizelge 4.4. Killi toprakların özellikleri

No	HA	Mekanik Analiz				Tutulan Su (bar) (%)				CaCO ₃ %	OM %	pH (1:1)	EC (1:1)
		Kil %	Silt %	Kum %	BS	0.1	0.33	0.5	15				
1	1.3	40.69	39.10	20.21	C	26.72	23.92	20.36	13.43	35.98	2.67	7.65	351
2	1.27	40.48	30.84	28.68	C	32.84	28.99	25.06	18.77	5.31	3.43	7.45	355
3	1.43	45.00	40.31	14.79	SiC	27.82	25.2	22.88	12.9	23.34	1.6	7.53	503
4	1.49	41.32	28.3	30.37	C	29.57	25.2	23.46	13.61	10.77	3.5	7.69	342
5	1.39	41.93	19.27	38.80	C	29.95	27.19	23.26	17.46	3.23	2.87	7.46	434
6	1.13	40.40	40.2	19.40	SiC	30.41	27.91	24.53	15.16	23.50	1.43	7.64	525
7	1.23	41.30	36.4	22.30	C	31.46	27.43	26.88	16.16	11.42	1.6	7.61	385
8	1.37	40.57	43.39	16.03	SiC	30.00	27.73	24.12	15.07	10.56	1.39	7.44	289
9	1.48	49.49	41.14	9.37	SiC	31.83	28.33	24.13	16.39	8.83	1.75	7.58	450
10	1.37	40.80	37.55	21.65	C	29.82	25.57	23.68	15.73	4.88	2.05	8.30	313
11	1.35	48.17	24.51	27.33	C	31.06	28.82	26.13	16.81	44.88	1.39	8.28	253
12	1.32	48.49	13.48	38.03	C	28.87	25.11	22.82	14.06	39.61	2.07	7.73	378
13	1.30	40.8	37.55	21.65	C	28.25	25.33	23.21	15.61	35.26	1.73	7.56	450
14	1.31	48.17	21.47	30.37	C	30.07	27.11	25.02	13.03	28.76	1.69	7.81	414
15	1.34	40.33	30.34	29.33	C	26.47	22.67	19.15	13.34	10.88	1.64	8.18	612
16	1.32	44.49	34.08	21.43	C	31.23	27.21	25.59	16.26	25.10	2.97	7.41	725
17	1.37	40.33	30.34	29.33	C	28.77	25.72	22.87	14.04	13.84	2.42	7.87	255
18	1.18	40.48	29.84	29.68	C	30.84	28.99	27.65	17.72	4.75	2.12	7.97	264
19	1.30	44.00	35.31	20.69	C	29.19	25.20	23.41	13.90	8.75	1.98	7.68	342

Çizelge 4.4. Killi toprakların özellikleri (Devamı)

No	HA	Mekanik Analiz				Tutulan Su (bar) (%)				CaCO ₃ %	OM %	pH (1:1)	EC (1:1)
		Kil %	Silt %	Kum %	BS	0.1	0.33	0.5	15				
20	1.29	40.32	29.30	30.37	C	28.63	25.27	22.12	13.23	10.25	2.12	7.78	156
Min	1.13	40.32	13.48	9.37		26.47	22.67	19.15	12.90	3.23	1.39	7.45	156
Max	1.49	49.49	43.39	38.8		32.84	28.99	27.65	18.77	44.88	3.50	8.30	725
Ort.	1.32	42.88	32.14	25.08		29.69	26.44	23.82	15.13	18.00	2.12	7.73	389.8
Çp.	-0.22	1.08	-0.74	-0.06		-0.22	-0.23	-0.32	0.46	0.77	0.92	1.01	0.79
Bs.	0.60	-0.43	0.10	-0.16		-0.18	-0.62	0.79	-0.83	-0.72	-0.14	0.21	1.07
Vk	6.65	7.59	24.74	30.02		5.56	6.69	8.43	11.54	72.24	30.80	3.48	33.99

HA: Hacim ağırlığı (gr cm⁻³), BS: Bünye sınıfı, CaCO₃ : Kireç, OM: Organik madde, EC: Elektriksel iletkenlik (µmhos cm⁻¹)
 Çp: çarpıklık katsayısı, Bs: basıklık katsayısı, Vk: varyasyon katsayısı

Tarla kapasitesindeki maksimum ve minimum hacimsel nem içerikleri (% 30.42 ve 36.83) C bünye sınıfına karşılık gelmektedir. Solma noktasında ise % 18.45 ve 23.84'lük hacimsel nem içeriği SİC ve C bünye grubuna karşılıktır. Söz konusu bünye sınıflarına ait toprakların nem içerikleri incelendiğinde Çizelge 4.2' de belirtilen sınıflama ile uygun olduğu bulunmuştur. Yine diğer toprak gruplarında da olduğu gibi organik maddenin artışı ile nem sabitelerinde tutulan nem içeriklerinde artışların olduğu belirlenmiştir. Siltli kil bünye sınıfı toprakların (6, 8, 9) organik madde içerikleri toprak numaralarına göre 9>6>8 şeklinde belirlenmiştir ve söz konusu toprakların 0.1, 0.33, 0.5 ve 15 bar'da belirlenen nem içerikleri de benzer farklılık göstermiştir.

Killi toprakların CaCO₃ ve EC içeriklerinin değişim aralığı diğer toprak özelliklerine göre daha geniştir. Wilding vd. (1994), toprakların tekstürü, rengi, derinliği gibi daha stabil olan toprak özelliklerinin diğer dinamik özelliklere göre daha dar bir aralıkta değiştiğini belirtirken Başayığit vd., (2008) toprak pH'sındaki değişim aralığı darlığını toprağı oluşturan aktif faktörlerle ilişkilendirmiştir.

Toprak grupları itibariyle organik madde içeriği değişimi killi>tınlı>kumlu şeklindedir. Azlan vd., (2012) tarafından, killi topraklarda organik maddenin parçalanma hızının daha yavaş olduğu bildirilmiştir. Yine Baldock (2007), organik maddenin kil yüzeyine bağlandığı veya agregat oluşturduğu, böylelikle mikro organizmaların organik madde parçalanmasının kumlu topraklara göre daha yavaş olduğunu belirtmiştir.

Isparta ilinde, meyve yetiştirme potansiyeli yüksek alanlarda bazı toprak özelliklerinin coğrafi bilgi sistemleri ortamında değerlendirilmesi amacıyla yapılan çalışmada; 160 farklı noktadan alınan toprakların pH, EC, CaCO₃, organik madde, tuz ve katyon değişim kapasitesi (KDK) özellikleri belirlenmiştir. Toprak örneklerinin organik madde içerikleri % 0.56 - 3.85, pH'sı 6.46 - 8.46, EC'si 0.39 - 4.04 (ds m⁻¹), CaCO₃ içerikleri ise % 0.01 - 50 aralığında değişim göstermiştir. Ayrıca söz konusu toprakların genelinin bünye sınıfı tınlı bünye olarak belirlenmiştir. Toprak özellikleri içerisinde varyasyon katsayısı en az pH, en fazla EC ve kireç özelliklerinde bulunmuştur (Başayığit vd., 2008).

Bölgede yapılan başka bir çalışma olan Atabey ovası toprakları (Akgül vd., 2001), için tanımlanan toprak serilerinden 4'ü kil, 4' ü killi tın, 2'si kumlu killi tın, 9'u kumlu tın ve 1'i ise kum tekstürlü profile sahip olarak belirlenmiştir. Killi toprak grubuna sahip toprak profillerinde tarla kapasitesi su içeriği % 23.3 - 34.2 arasında değişim gösterirken solma noktası ise % 14-20.4 arasında belirlenmiştir. Kumlu topraklarda ise söz konusu nem sabiteleri % 6.7 - 13.4 ve % 4 - 8.3 arasında değişmektedir. Toprakların pH değerleri 7.2 - 8.4, EC ise 205 - 1194 µmhos cm⁻¹ arasında belirlenmiştir.

Bölgede yapılan her iki çalışmada da belirlenen toprak özellikleri söz konusu bu çalışmada elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir.

4.2. Nem- Penetrasyon Direnci İlişkileri

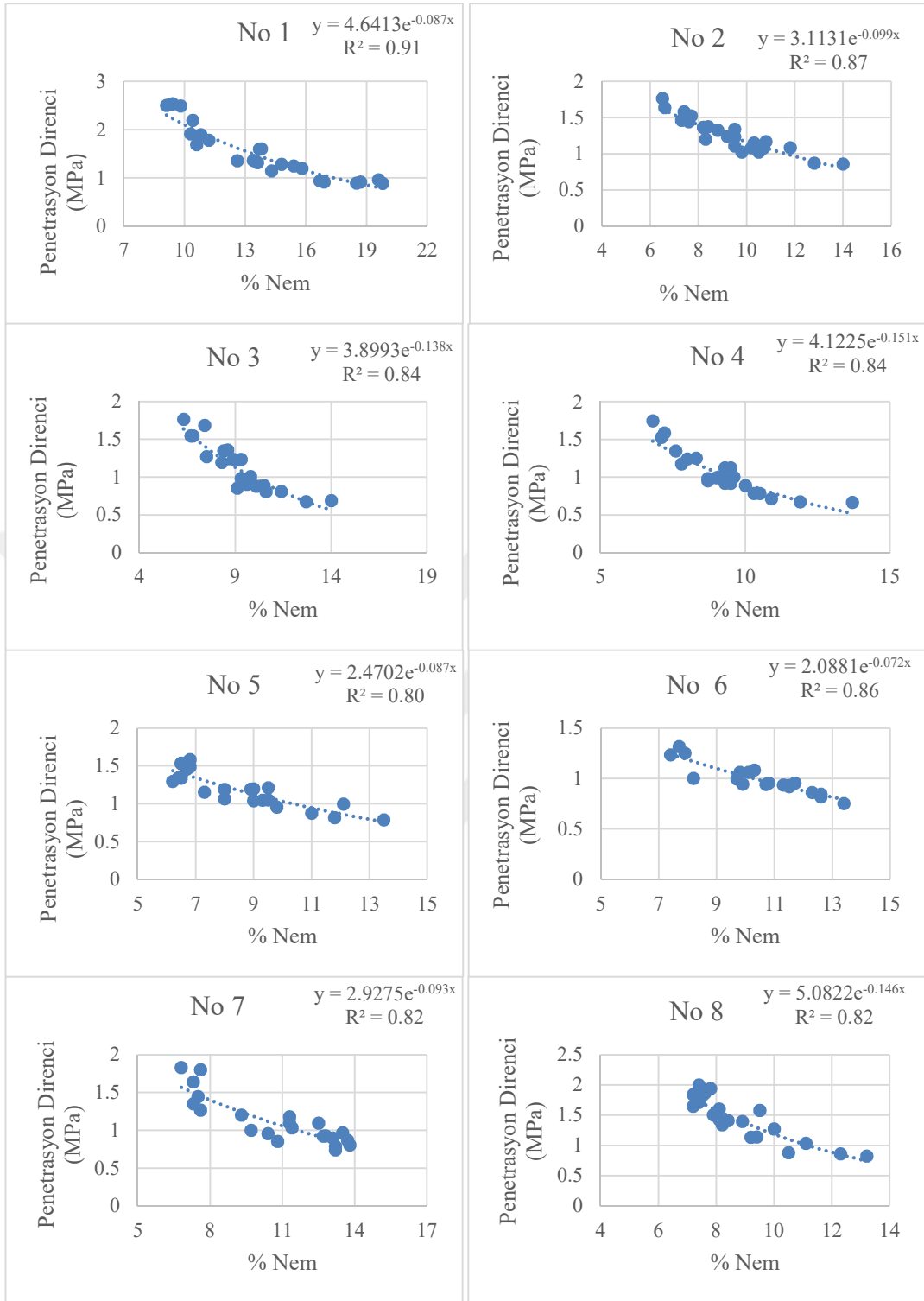
Toprak sıkışmasının bir göstergesi olan penetrasyon direnci; toprağın su içeriği, hacim ağırlığı, organik madde, tekstür, strüktür gibi özellikleri yanında toprağın işlenmişlik durumundan da etkilenmektedir (Unger ve Jones, 1998; Bradford, 1986; Hernanz vd. 2000). Çalışmada yer alan kumlu, tınlı ve killi toprakların nem-penetrasyon direnci ilişkilerine özgü grafikler Şekil 4.2, 4.3 ve 4.4'de verilmiştir.

Kumlu toprakların nem- penetrasyon direnci ilişkilerine özgü denklemlerin R^2 'leri 0.80 - 0.92 arasında değişim gösterdiği bulunmuştur. Tınlı topraklar için R^2 'ler 0.72 - 0.94 arasında değişirken killi topraklar için 0.73-0.92 arasında belirlenmiştir. 0 ile 1 arasında değişim gösteren R^2 'nin 1' e yakın olması varyansın büyük bir kısmının modelde kullanılan bağımsız değişken tarafından açıkladığı anlamına gelmektedir (Yavuz, 2009).

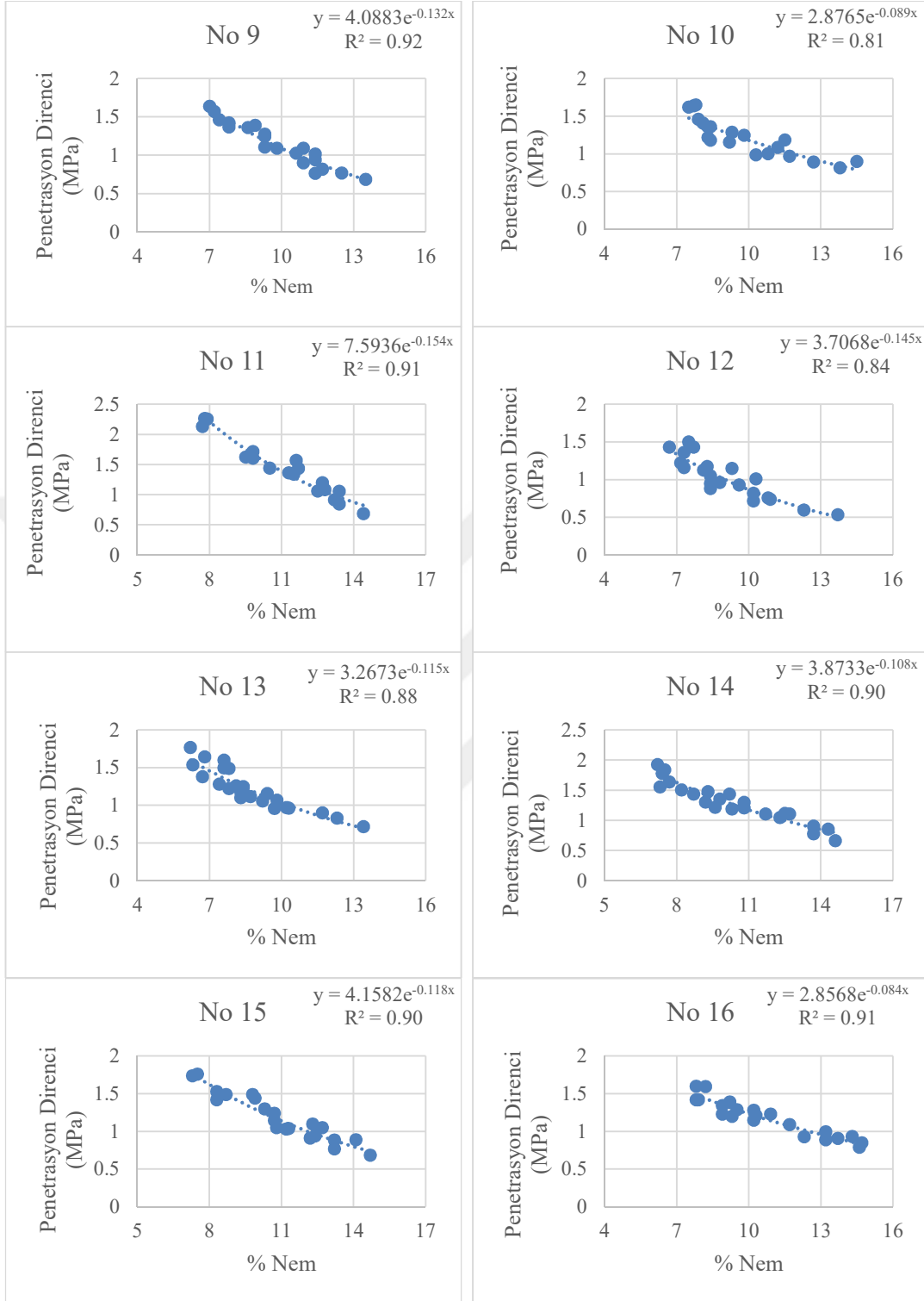
Başlangıç penetrasyon direnci ölçümleri sırasındaki toprak nem içerikleri, laboratuvar şartlarında belirlenen tarla kapasitesi'ne (0.1-0.33 bar), son ölçümler sırasındaki nem içerikleri ise solma noktasına yakındır. Başlangıç PR okumaları karşılığı nem içeriklerinin toprak grupları itibariyle gösterdiği farklılıklar Çizelge 4.2'nin incelenmesinden de anlaşılacağı üzere son derece belirgindir.

Toprak doymun durumda iken matrik potansiyel 0 olup toprak kurudukça, negatif değer büyür ve su moleküllerinin toprak tarafından tutulma gücü artar. Sürtünme direnci kurumaya bağlı olarak değişim göstermektedir. Islak toprakta toprağa girme direnci oldukça zayıftır. Toprak kurudukça sürtünme direnci toprakların özelliklerine bağlı olarak farklı seviyelerde artışlar göstermektedir. Böylelikle penetrasyon direnci, sürtünme direncinin artmasıyla birlikte kurumaya bağlı artış göstermektedir (Landsberg vd., 2003).

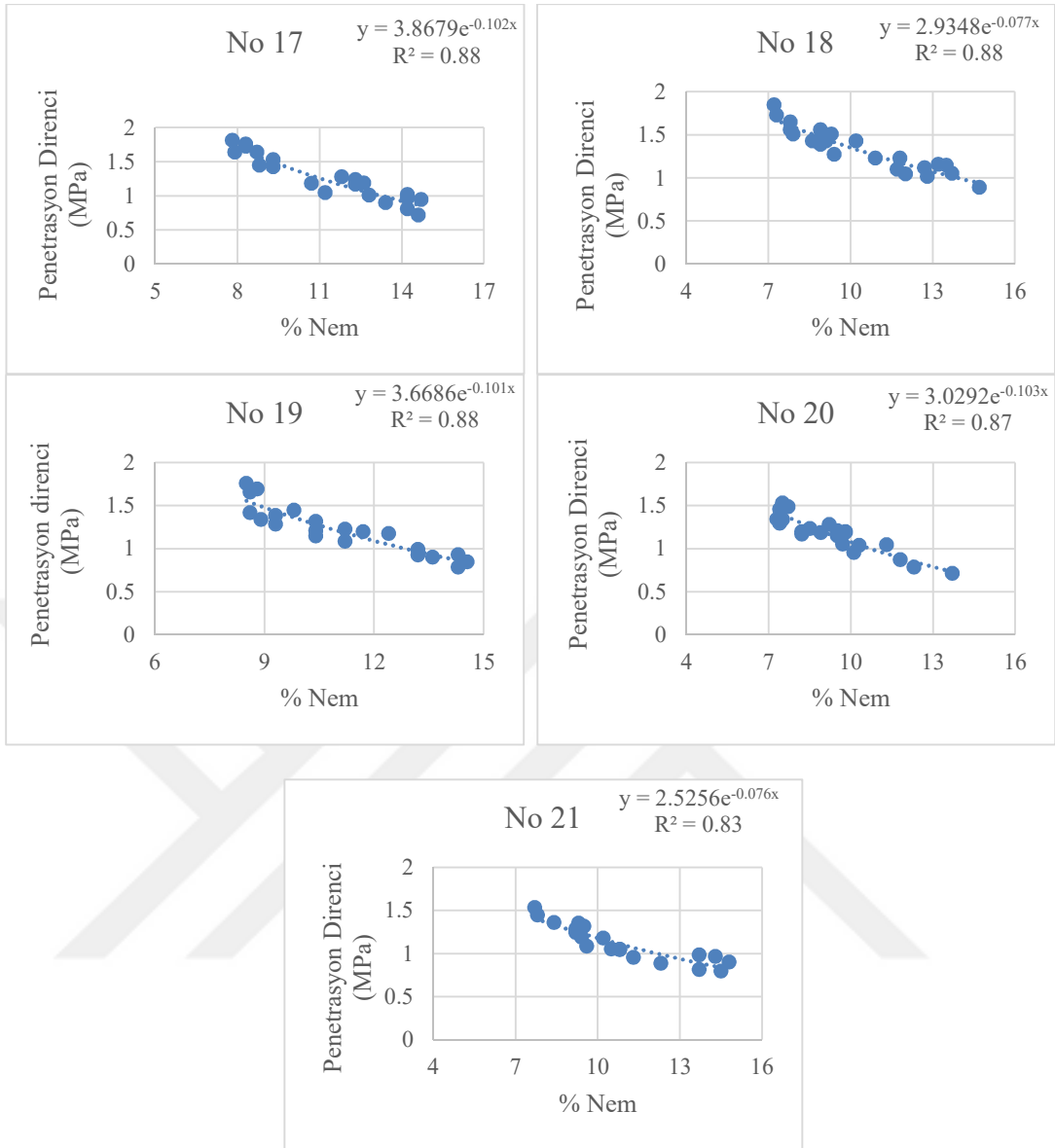
Toprak gözeneklerindeki su azaldıkça, suyu toprağa bağlayan adhezyon ve kohezyon kuvvetleri artar. Topraklarda kurumayla birlikte kil taneler arasında bağların kısılmasıyla daha kuvvetli bir yapı oluşmaktadır (Bahtiyar, 1979). Silva vd. (2016), tarafından toprak nem iğeriğininin azalmasına bağlı olarak penetrasyon direncinin arttığı, nem iğeriğindeki azalmayla standart hatalarda ciddi artışların olduğunu belirtilmiştir.



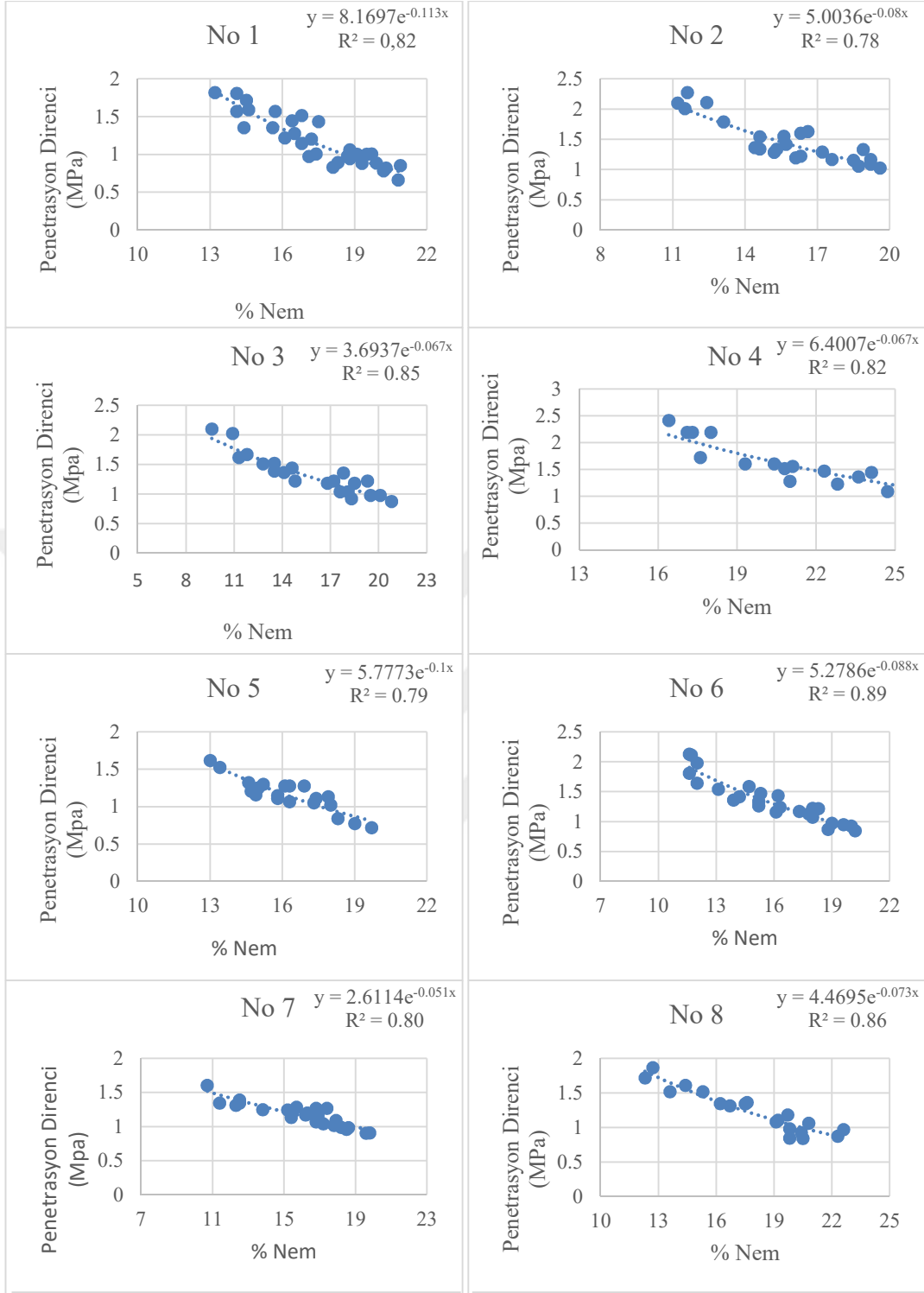
Şekil 4.2. Kumlu toprakların nem-penetrasyon direnci ilişkisi



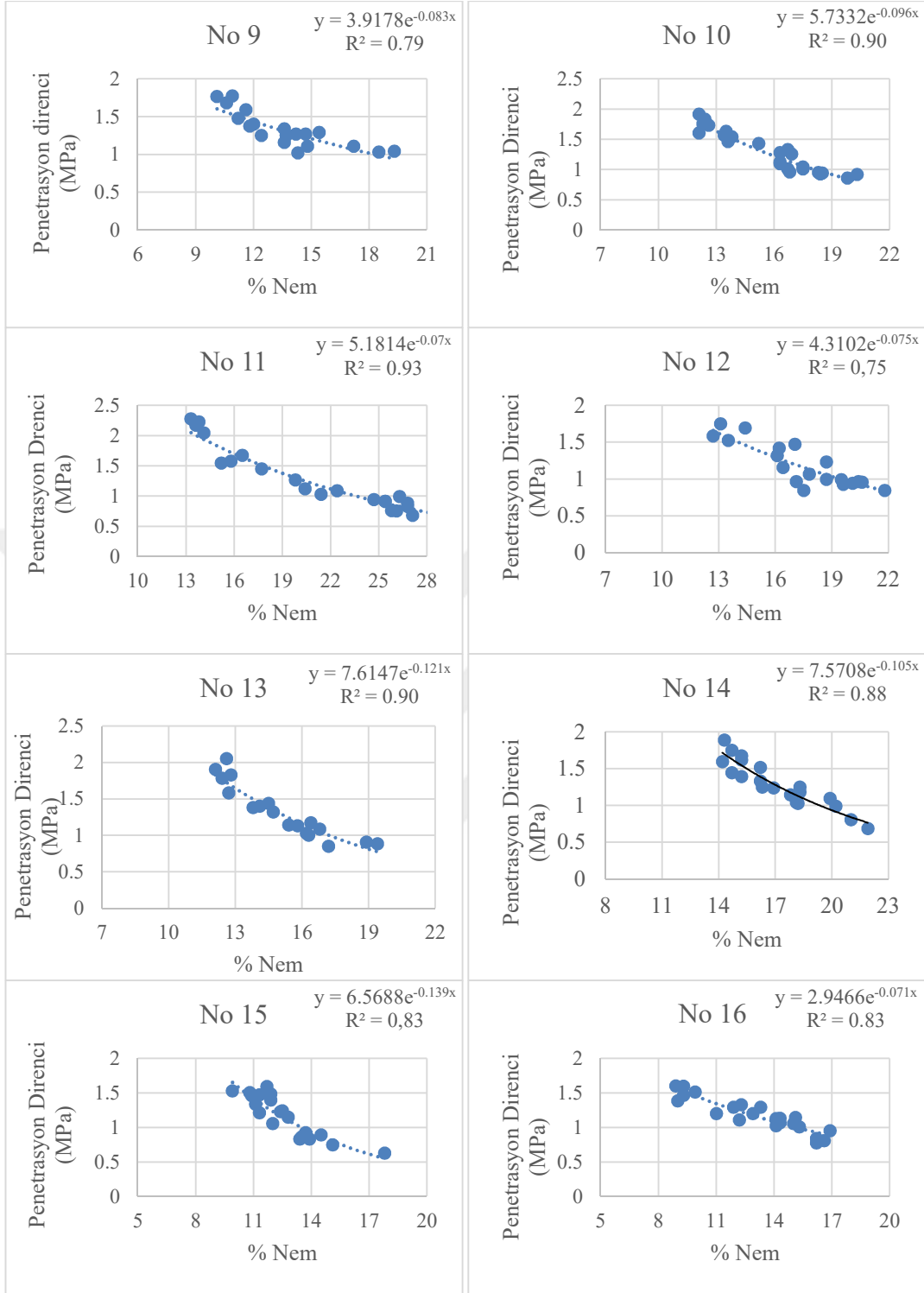
Şekil 4.2. Kumlu toprakların nem-penetrasyon direnci ilişkisi (Devam)



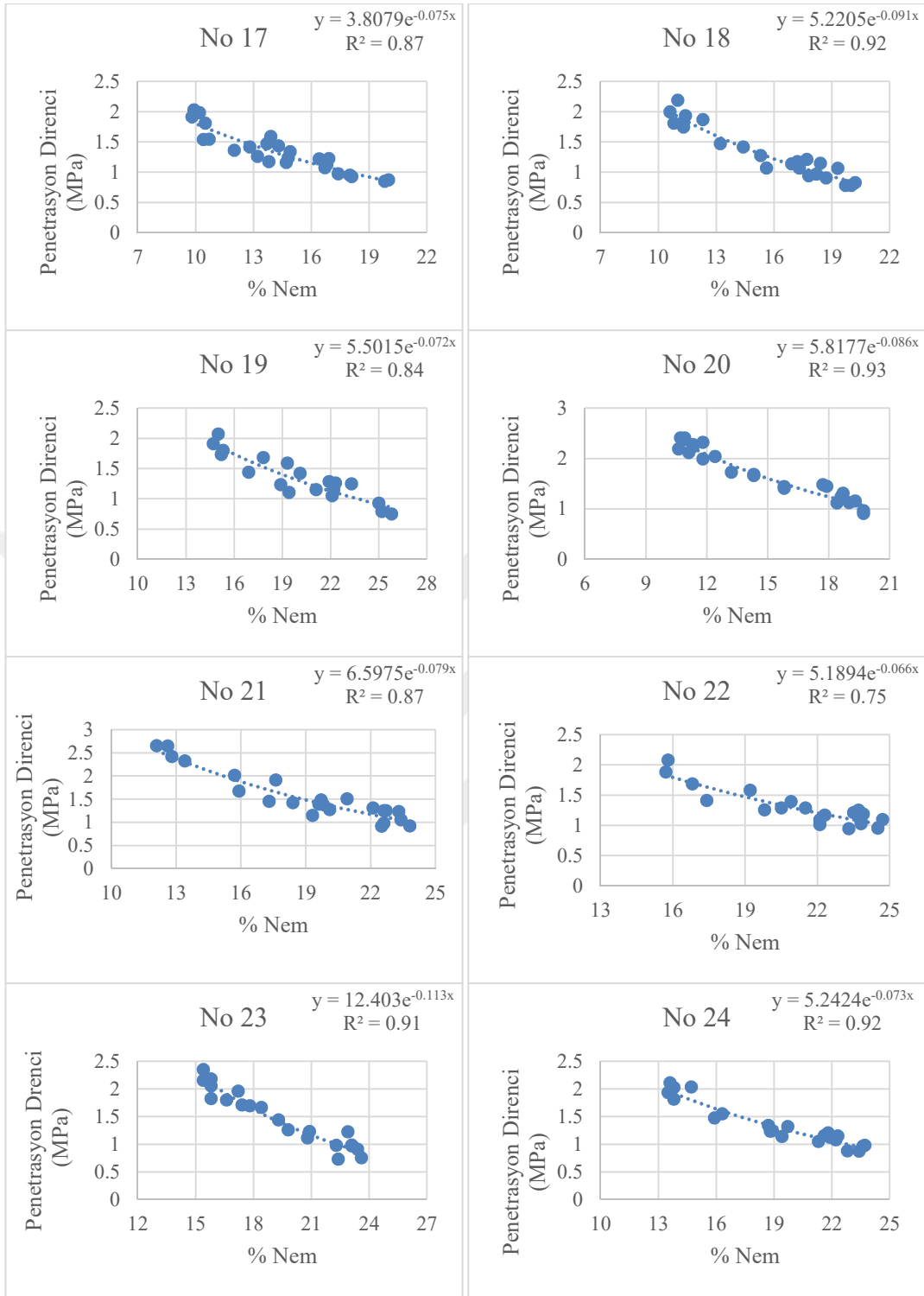
Şekil 4.2. Kumlu toprakların nem-penetrasyon direnci ilişkisi (Devam)



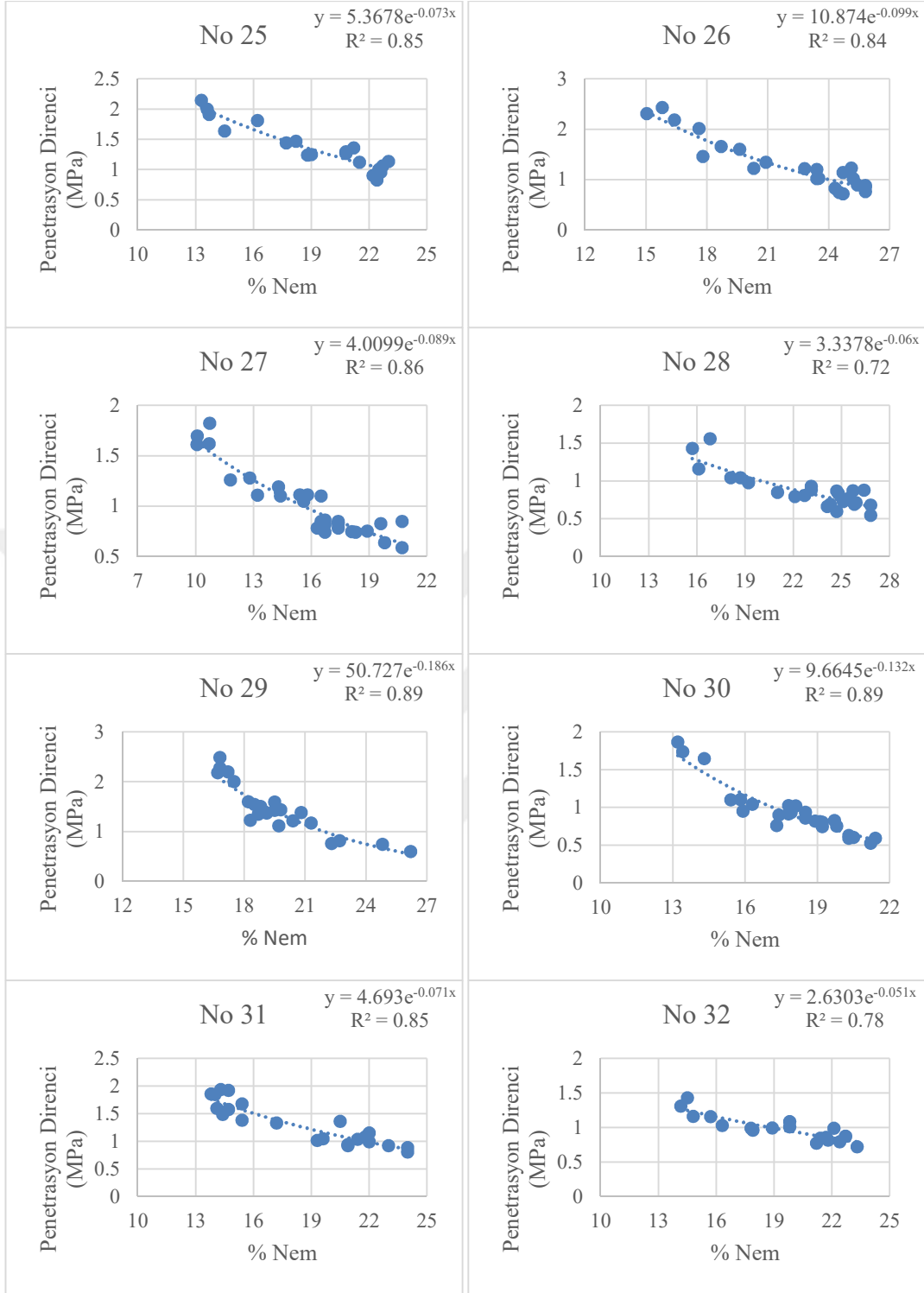
Şekil 4.3. Tınlı toprakların nem-penetrasyon direnci ilişkisi



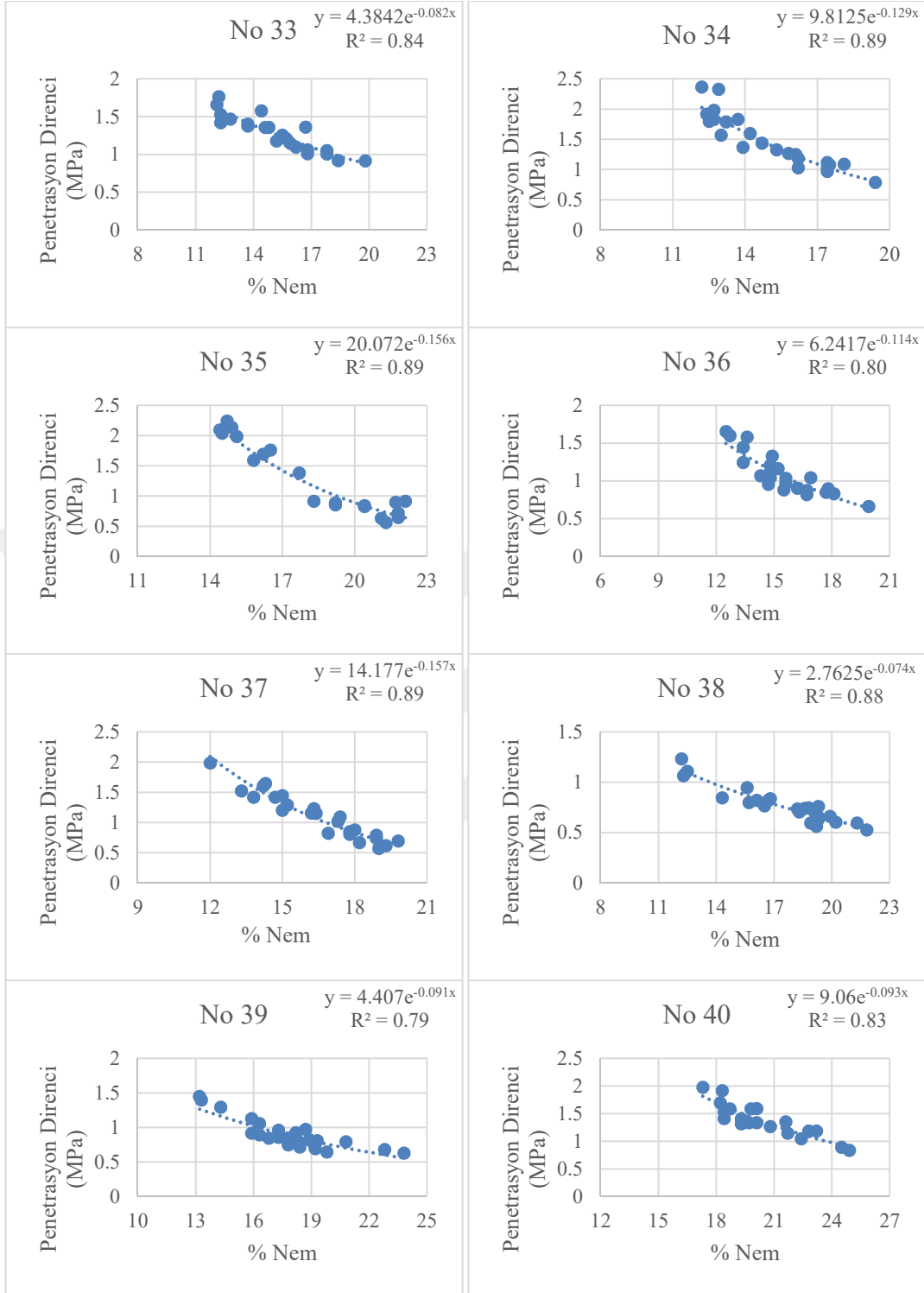
Şekil 4.3. Tınlı toprakların nem-penetrasyon direnci ilişkisi (Devam)



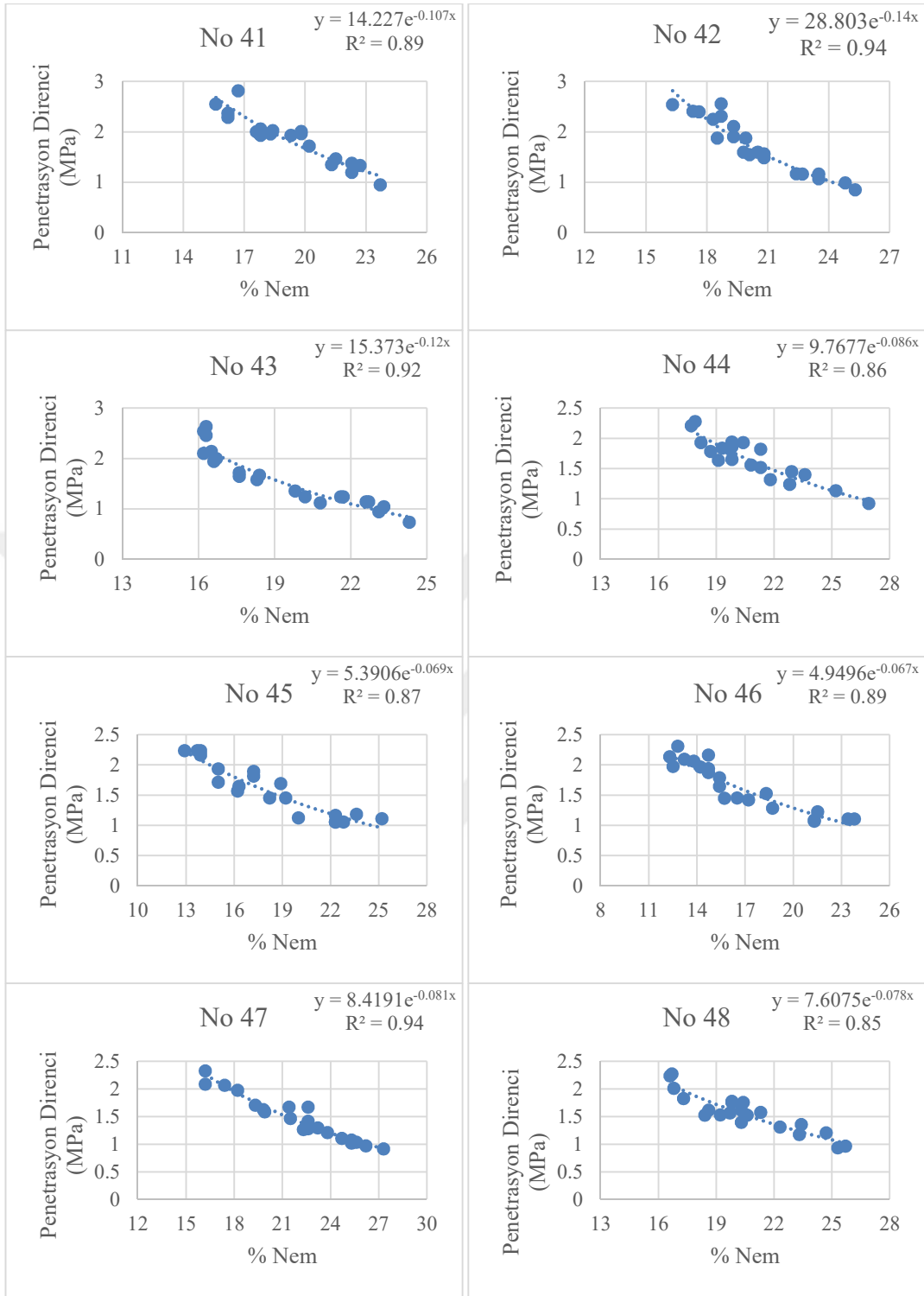
Şekil 4.3. Tınlı toprakların nem-penetrasyon direnci ilişkisi (Devam)



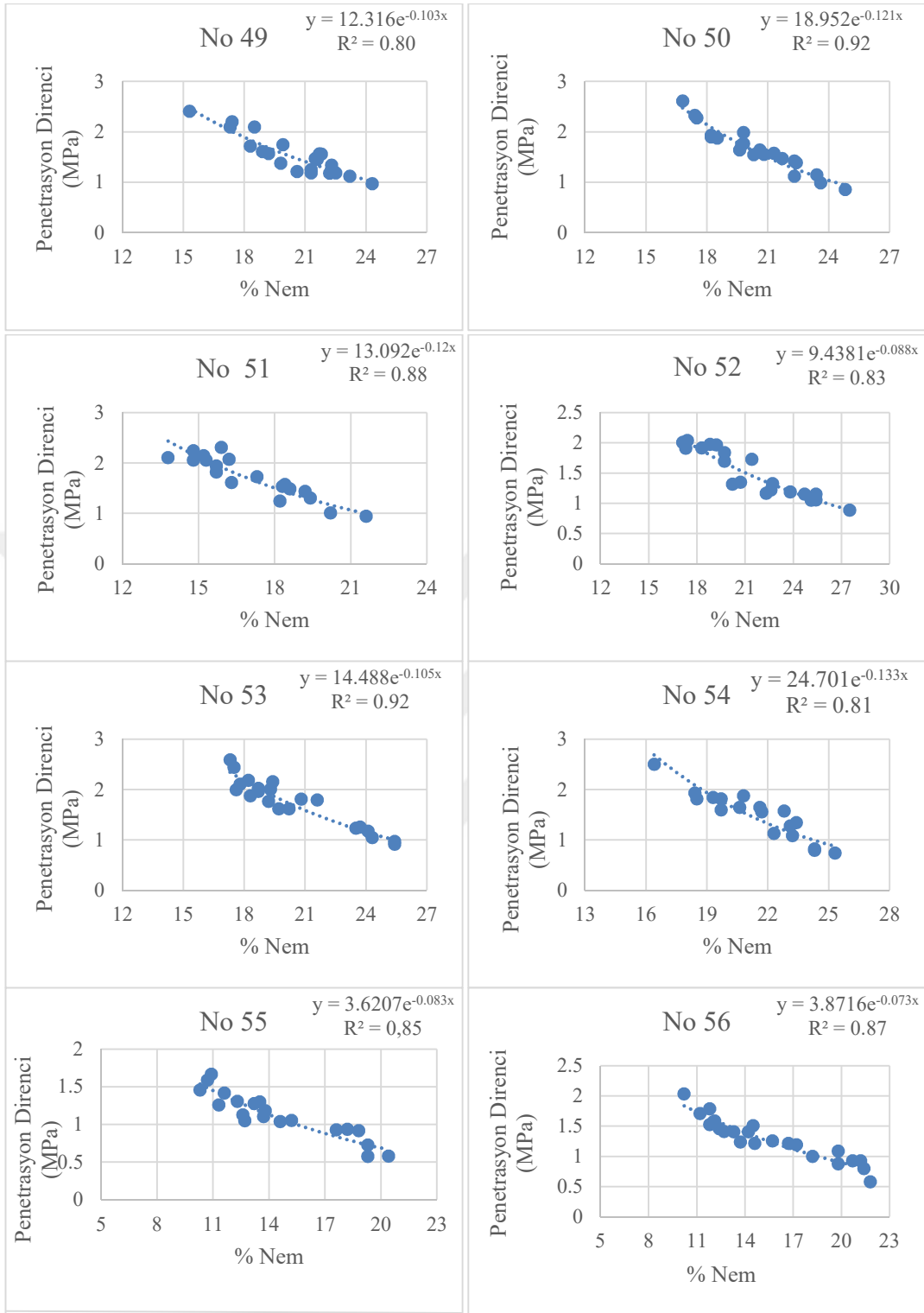
Şekil 4.3. Tınlı toprakların nem-penetrasyon direnci ilişkisi (Devam)



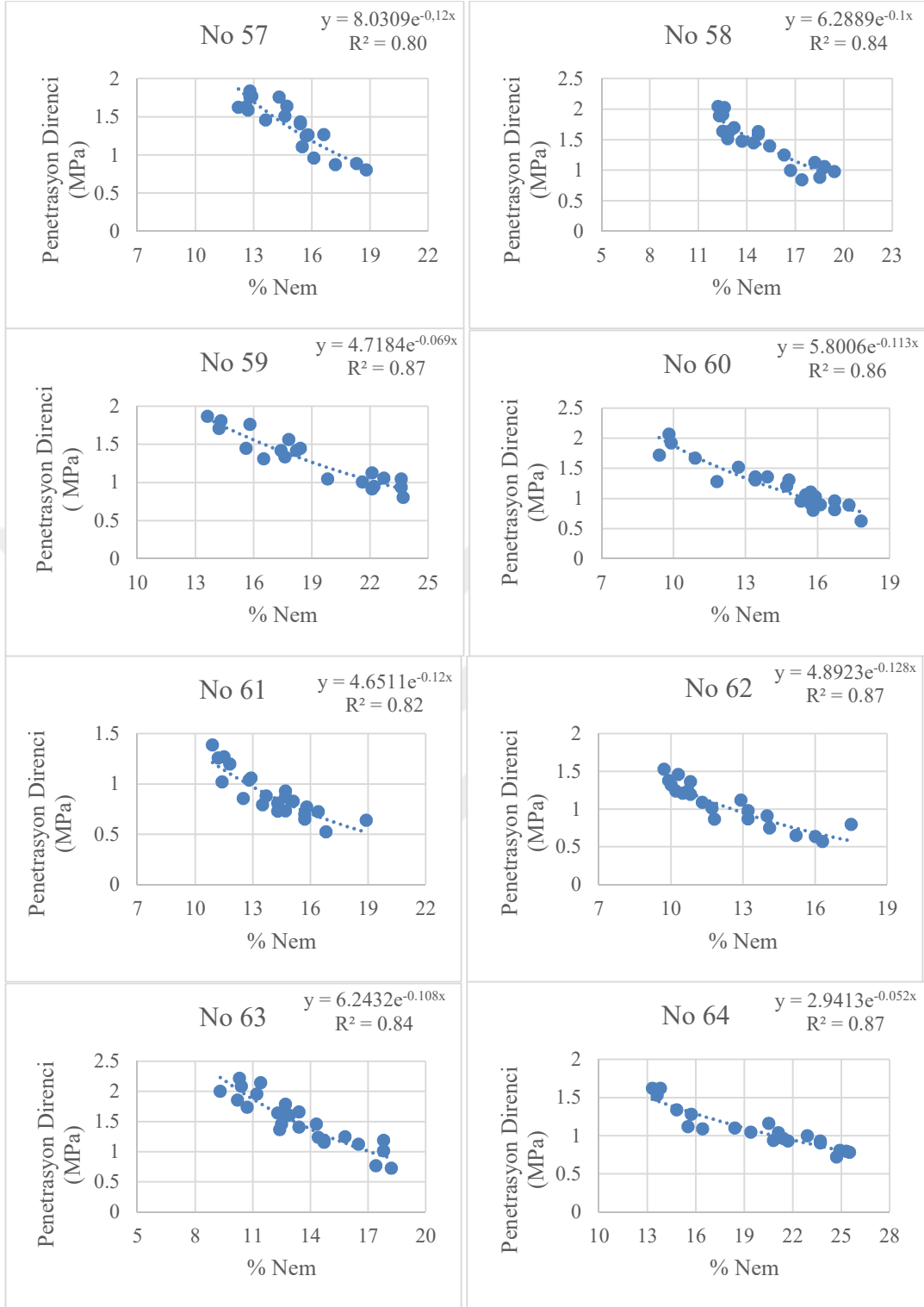
Şekil 4.3. Tınlı toprakların nem-penetrasyon direnci ilişkisi (Devam)



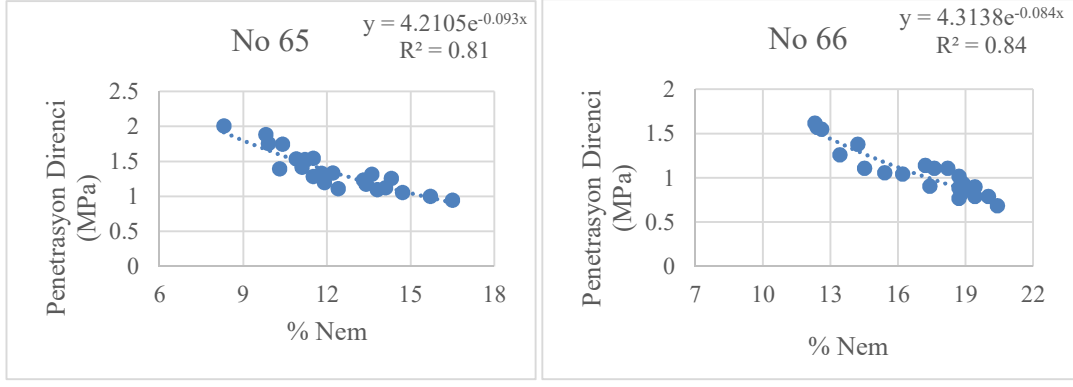
Şekil 4.3. Tınlı toprakların nem-penetrasyon direnci ilişkisi (Devam)



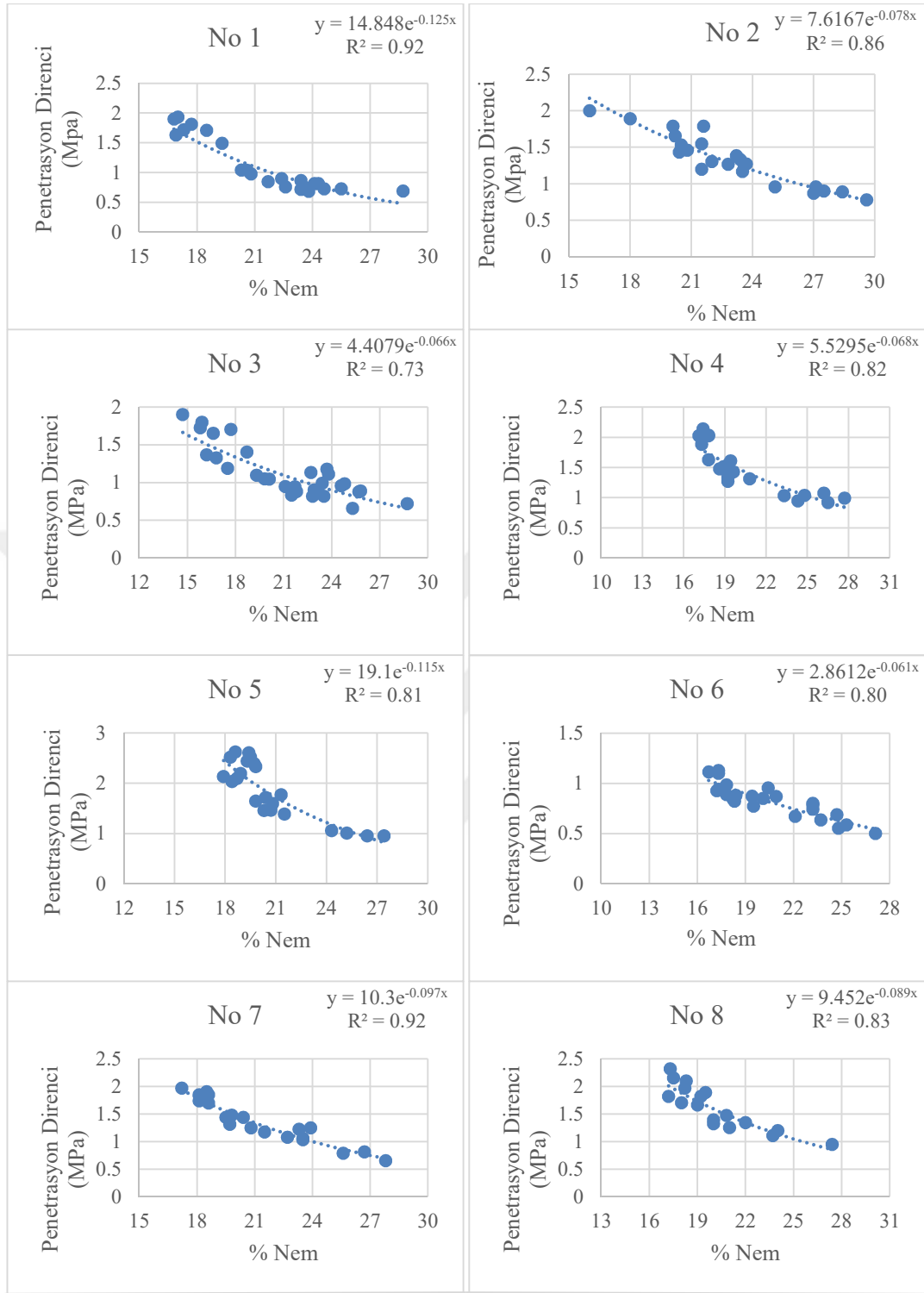
Şekil 4.3. Tınlı toprakların nem-penetrasyon direnci ilişkisi (Devam)



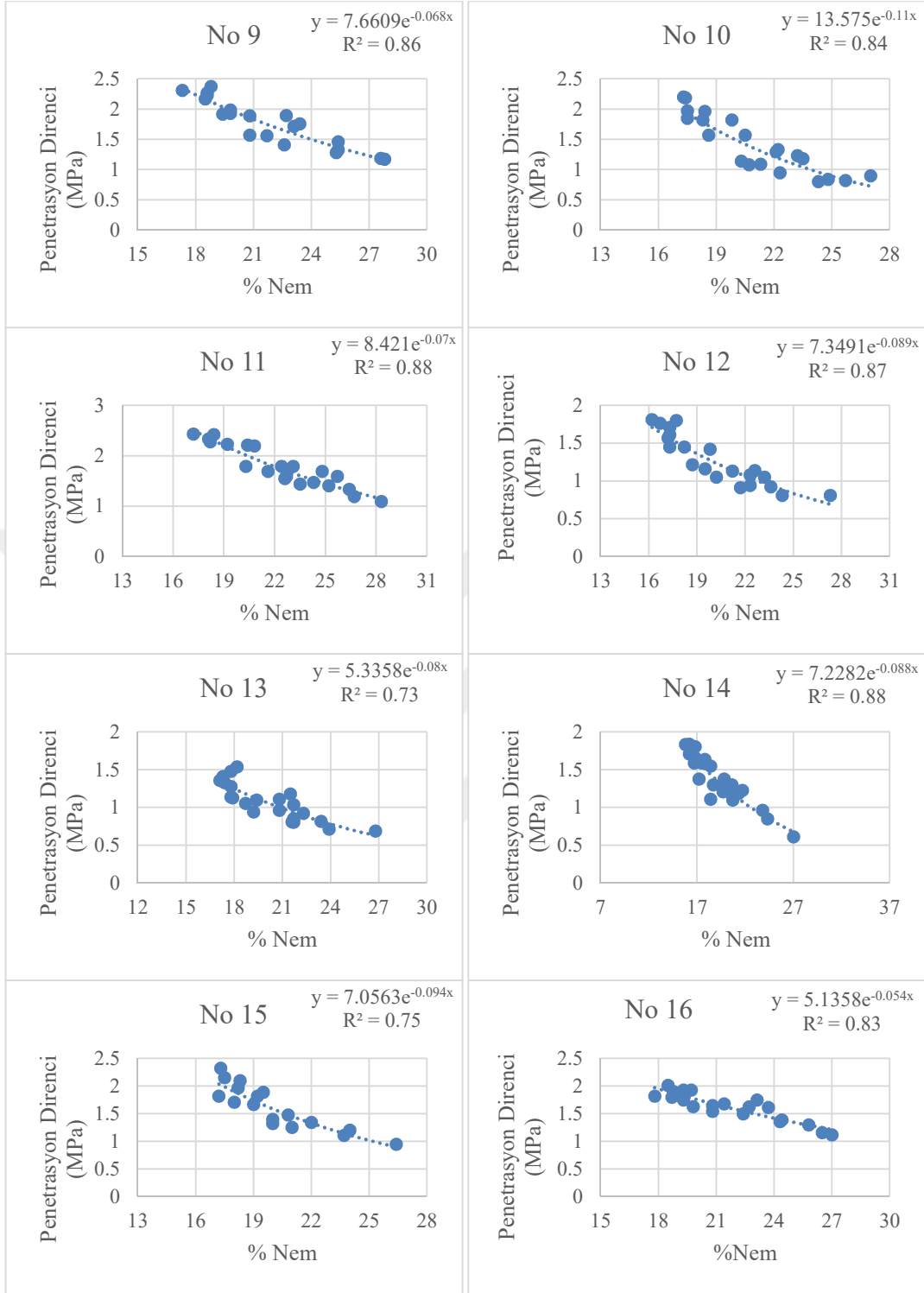
Şekil 4.3. Tınlı toprakların nem-penetrasyon direnci ilişkisi (Devam)



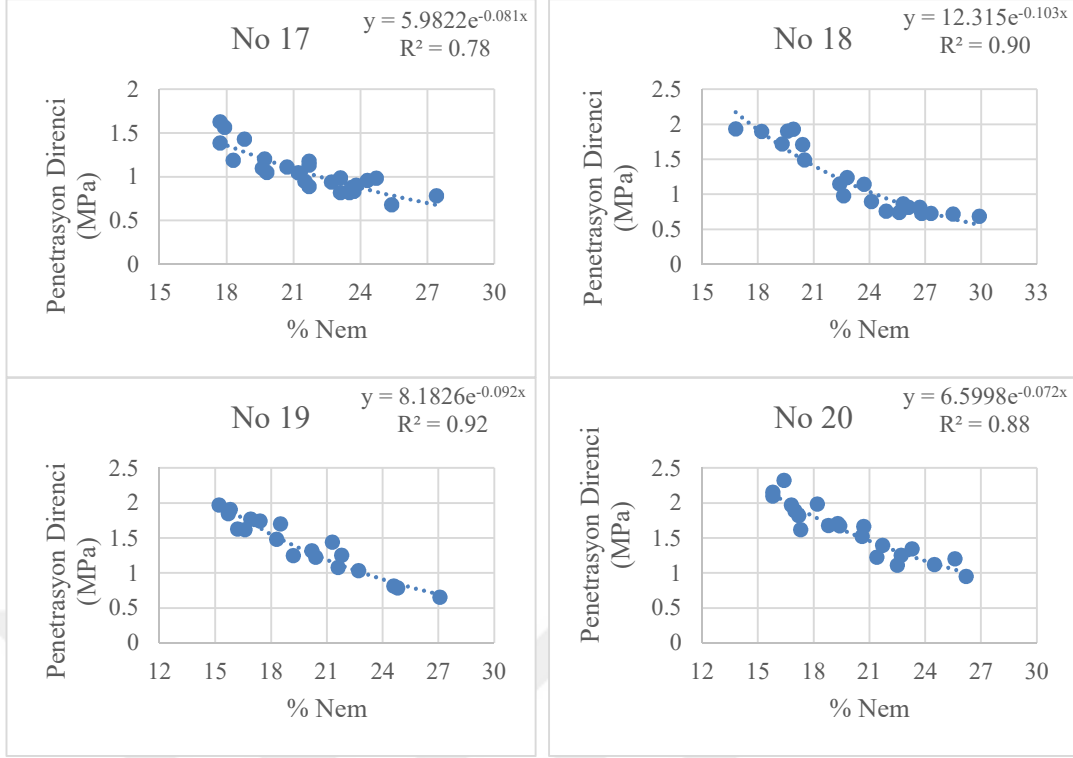
Şekil 4.3. Tınlı toprakların nem-penetrasyon direnci ilişkisi (Devam)



Şekil 4.4. Killi toprakların nem- penetrasyon direnci ilişkisi



Şekil 4.4. Killi toprakların nem- penetrasyon direnci ilişkisi (Devam)



Şekil 4.4. Killi toprakların nem - penetrasyon direnci ilişkisi (Devam)

Nem-penetrasyon direnci grafikleri negatif yönlü yüksek bir ilişki varlığını göstermektedir. Vaz vd. (2011) penetrasyon direnci ve gravimetrik nem içeriği ile hacim ağırlığı arasında ilişkinin exponansiyel nitelikte olduğunu belirtirken, Junior vd. (2014); Aksakal vd. (2008), oluşturulan eğrilerin lineer olmadığına değinmişlerdir. Mevcut çalışmada ilişkilere özgü elde edilen modeller üstel nitelikte ve önceki bazı araştırma bulgularıyla uyumludur (Şeker, 1997; Turgut vd., 2008; Silva vd., 2016).

Hacimsel nem-penetrasyon direnci ilişkilerinde elde edilen R^2 'ler gravimetrik nem-penetrasyon direnci ile aynı olup her bir toprak için oluşturulan nem (Θ)-penetrasyon direnci ilişkisi denklemleri Çizelge 4.5'de belirtilmiştir (Y: penetrasyon direnci , X: hacimsel nem içeriği).

Çizelge 4.5. Hacimsel nem - penetrasyon direnci ilişkisi denklemleri

Kumlu Topraklar		Tınlı Topraklar						Killi Topraklar			
1	$y = 4.6313e^{-0.0817x}$	1	$y = 8.1697e^{-0.092x}$	22	$y = 5.1894e^{-0.045x}$	43	$y = 15.373e^{-0.079x}$	64	$y = 2.9413e^{-0.041x}$	1	$y = 14.848e^{-0.096x}$
2	$y = 3.1131e^{-0.067x}$	2	$y = 5.0036e^{-0.066x}$	23	$y = 12.403e^{-0.079x}$	44	$y = 9.7677e^{-0.048x}$	65	$y = 4.2105e^{-0.076x}$	2	$y = 7.6167e^{-0.062x}$
3	$y = 4.5322e^{-0.115x}$	3	$y = 3.6937e^{-0.051x}$	24	$y = 5.2424e^{-0.051x}$	45	$y = 5.3906e^{-0.053x}$	66	$y = 4.3138e^{-0.07x}$	3	$y = 4.595e^{-0.048x}$
4	$y = 4.1225e^{-0.111x}$	4	$y = 6.4007e^{-0.045x}$	25	$y = 5.3678e^{-0.059x}$	46	$y = 4.9496e^{-0.047x}$			4	$y = 5.5295e^{-0.048x}$
5	$y = 2.4702e^{-0.048x}$	5	$y = 5.7773e^{-0.07x}$	26	$y = 10.874e^{-0.072x}$	47	$y = 8.4191e^{-0.066x}$			5	$y = 19.1e^{-0.0915x}$
6	$y = 2.0881e^{-0.054x}$	6	$y = 5.2786e^{-0.061x}$	27	$y = 4.0099e^{-0.07x}$	48	$y = 7.6075e^{-0.056x}$			6	$y = 2.9247e^{-0.051x}$
7	$y = 2.9275e^{-0.072x}$	7	$y = 2.6114e^{-0.037x}$	28	$y = 3.3378e^{-0.041x}$	49	$y = 12.316e^{-0.072x}$			7	$y = 10.741e^{-0.072x}$
8	$y = 5.0822e^{-0.109x}$	8	$y = 4.4695e^{-0.052x}$	29	$y = 50.727e^{-0.123x}$	50	$y = 18.952e^{-0.093x}$			8	$y = 9.452e^{-0.06x}$
9	$y = 4.0883e^{-0.087x}$	9	$y = 3.9178e^{-0.065x}$	30	$y = 9.6645e^{-0.091x}$	51	$y = 13.092e^{-0.087x}$			9	$y = 7.6609e^{-0.05x}$
10	$y = 2.8765e^{-0.068x}$	10	$y = 5.7332e^{-0.069x}$	31	$y = 4.693e^{-0.052x}$	52	$y = 9.4381e^{-0.067x}$			10	$y = 13.575e^{-0.082x}$
11	$y = 7.5936e^{-0.114x}$	11	$y = 5.1814e^{-0.055x}$	32	$y = 2.6303e^{-0.042x}$	53	$y = 14.488e^{-0.074x}$			11	$y = 8.7814e^{-0.055x}$
12	$y = 3.7068e^{-0.094x}$	12	$y = 4.3102e^{-0.058x}$	33	$y = 4.3842e^{-0.068x}$	54	$y = 24.701e^{-0.108x}$			12	$y = 7.3491e^{-0.068x}$
13	$y = 3.2673e^{-0.086x}$	13	$y = 7.6147e^{-0.097x}$	34	$y = 10.427e^{-0.108x}$	55	$y = 3.6207e^{-0.061x}$			13	$y = 5.3358e^{-0.06x}$
14	$y = 3.8733e^{-0.069x}$	14	$y = 7.5708e^{-0.085x}$	35	$y = 20.072e^{-0.109x}$	56	$y = 3.9335e^{-0.055x}$			14	$y = 7.2282e^{-0.065x}$
15	$y = 4.1582e^{-0.085x}$	15	$y = 7.3037e^{-0.136x}$	36	$y = 6.2417e^{-0.07x}$	57	$y = 8.0309e^{-0.085x}$			15	$y = 7.0563e^{-0.067x}$
16	$y = 2.8568e^{-0.058x}$	16	$y = 2.9466e^{-0.052x}$	37	$y = 14.177e^{-0.12x}$	58	$y = 6.2889e^{-0.081x}$			16	$y = 5.1358e^{-0.039x}$
17	$y = 3.8679e^{-0.071x}$	17	$y = 3.8079e^{-0.052x}$	38	$y = 2.7625e^{-0.055x}$	59	$y = 4.7184e^{-0.046x}$			17	$y = 5.9822e^{-0.069x}$
18	$y = 2.9348e^{-0.058x}$	18	$y = 5.2205e^{-0.061x}$	39	$y = 4.407e^{-0.07x}$	60	$y = 5.1104e^{-0.086x}$			18	$y = 14.018e^{-0.083x}$
19	$y = 3.2811e^{-0.079x}$	19	$y = 5.5015e^{-0.053x}$	40	$y = 9.06e^{-0.074x}$	61	$y = 4.6511e^{-0.086x}$			19	$y = 8.1826e^{-0.072x}$
20	$y = 3.0292e^{-0.066x}$	20	$y = 5.8177e^{-0.055x}$	41	$y = 14.227e^{-0.075x}$	62	$y = 4.8923e^{-0.102x}$			20	$y = 6.5998e^{-0.054x}$
21	$y = 2.5256e^{-0.058x}$	21	$y = 6.5975e^{-0.059x}$	42	$y = 28.803e^{-0.092x}$	63	$y = 6.2432e^{-0.087x}$				

4.3. Tahmin Modelleri

4.3.1. Nem-PR(on) ilişkisi

Tahmin modelleri, gravimetrik(M) ve hacimsel nem(Θ) içerikleri temelinde ayrı ayrı oluşturulmuştur. Toprak gruplarında yer alan her bir toprağın nem-penetrasyon direnci ilişkilerine özgü modeller kullanılarak on'ye karşılık gelen PRon'ler hesaplanmıştır (Çizelge 4.6, 4.7, 4.8). Elde edilen PRon değerleri ile söz konusu tansiyonda tutulan nem içerikleri ilişkilendirilerek modelin temel çıkarımı sağlanmıştır. 0.1, 0.33, 0.5 ve 15 bar'lık tansiyonlarda kumlu topraklar için gravimetrik on'ler sırasıyla % 14.98, 12.12, 10.22 ve 5.47, tınlı topraklar için, % 23.68, 20.71, 18.84 ve 11.24, killi topraklar için ise % 29.69, 26.44, 23.82 ve 15.13'olarak belirlenmiştir. Hacimsel on'ler ise kumlu topraklar için sırasıyla % 20.99, 17.00, 14.37 ve 7.64, tınlı topraklar için % 32.08, 28.07, 25.54 ve 15.26, killi topraklar için ise % 39.38, 35.05, 31.55 ve 20.05'olarak bulunmuştur. Gravimetrik nem içeriği kullanılarak oluşturulan, toprak grublarına özgü temel modeller Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7'de belirtilmiştir (M: gravimetrik nem'e göre belirlenen PRon, Θ : hacimsel nem'e göre belirlenen PRon).

Çizelge 4.6. Kumlu toprak grubu için belirlenen PRon değerleri

PR on(M)				PR on(Θ)			
0.1 bar	0.33bar	0.5 bar	15 bar	0.1 bar	0.33bar	0.5 bar	15 bar
1.261	1.617	1.907	2.987	1.270	1.626	1.912	2.897
0.691	0.938	1.131	1.837	0.762	0.997	1.189	1.866
0.457	0.685	0.920	1.802	0.405	0.642	0.868	1.883
0.439	0.662	0.880	1.695	0.400	0.624	0.835	1.764
0.634	0.861	1.015	1.588	0.901	1.092	1.239	1.712
0.650	0.873	1.000	1.493	0.672	0.834	0.961	1.382
0.698	0.949	1.131	1.802	0.645	0.861	1.040	1.689
0.690	0.866	1.142	2.157	0.515	0.797	1.061	2.210
0.586	0.826	1.060	1.920	0.658	0.932	1.171	2.103
0.758	0.978	1.158	2.083	0.690	0.905	1.083	1.711
0.756	1.175	1.573	3.058	0.693	1.093	1.476	3.178
0.499	0.640	0.842	1.588	0.515	0.750	0.960	1.808
0.586	0.811	1.008	1.731	0.537	0.757	0.949	1.694
0.768	1.047	1.284	2.145	0.909	1.199	1.437	2.286
0.710	0.995	1.244	2.157	0.698	0.980	1.226	2.172
0.812	1.032	1.210	1.873	0.845	1.066	1.241	1.834
0.839	1.124	1.363	2.240	0.871	1.157	1.394	2.249
0.906	1.154	1.336	2.027	0.868	1.095	1.275	1.884
0.859	0.870	1.057	2.228	0.758	0.986	1.173	1.830
0.714	1.006	1.161	2.174	0.747	0.942	1.097	1.622
0.809	1.079	1.306	2.275	1.270	1.626	1.912	2.897

Çizelge 4.7. Tınlı toprak grubu için belirlenen PRon değerleri

PR on(M)				PR on(Θ)			
0.1 bar	0.33bar	0.5 bar	15 bar	0.1 bar	0.33bar	0.5 bar	15 bar
0.563	0.786	0.972	2.295	0.427	0.618	0.779	2.007
0.753	0.954	1.108	2.037	0.673	0.877	1.036	2.042
0.756	0.922	1.045	1.740	0.719	0.883	1.004	1.696
1.310	1.598	1.811	3.015	1.511	1.810	2.028	3.221
0.541	0.728	0.878	1.878	0.612	0.810	0.967	1.985
0.657	0.853	1.006	1.964	0.746	0.953	1.112	2.081
0.781	0.908	0.999	1.472	0.797	0.924	1.015	1.485
0.794	0.985	1.130	1.968	0.843	1.038	1.184	2.021
0.549	0.702	0.820	1.542	0.487	0.632	0.745	1.453
0.591	0.785	0.939	1.950	0.627	0.826	0.984	2.000
0.988	1.215	1.386	2.360	0.888	1.107	1.272	2.238
0.730	0.912	1.049	1.856	0.671	0.846	0.98	1.779
0.434	0.621	0.779	1.955	0.339	0.500	0.639	1.733
0.630	0.860	1.047	2.327	0.495	0.697	0.864	2.069
0.688	0.823	1.178	1.799	0.093	0.161	0.226	0.917
0.549	0.677	0.773	1.327	0.556	0.685	0.781	1.333
0.645	0.805	0.927	1.640	0.718	0.885	1.009	1.722
0.605	0.793	0.940	1.878	0.738	0.942	1.099	2.058
1.000	1.238	1.417	2.450	1.005	1.243	1.421	2.450
0.759	0.980	1.151	2.214	0.997	1.242	1.428	2.513
1.016	1.284	1.489	2.716	0.994	1.259	1.462	2.681
1.088	1.322	1.496	2.472	1.225	1.467	1.644	2.611
0.854	1.194	1.475	3.485	0.984	1.350	1.649	3.715
0.931	1.156	1.325	2.309	1.021	1.253	1.425	2.407
0.953	1.183	1.357	2.364	0.809	1.025	1.190	2.182
1.043	1.399	1.684	3.576	1.08	1.441	1.729	3.624
0.487	0.635	0.750	1.475	0.425	0.562	0.671	1.378
0.806	0.963	1.078	1.701	0.896	1.056	1.171	1.785
0.620	1.076	1.525	6.276	0.981	1.606	2.192	7.764
0.424	0.628	0.804	2.193	0.522	0.751	0.946	2.41
0.874	1.078	1.232	2.114	0.885	1.09	1.244	2.122
0.786	0.915	1.006	1.483	0.684	0.809	0.9	1.386
0.629	0.802	0.935	1.745	0.495	0.65	0.772	1.553
0.437	0.650	0.835	2.314	0.326	0.503	0.661	2.006
0.499	0.793	1.062	3.479	0.608	0.941	1.240	3.804
0.420	0.589	0.729	1.734	0.545	0.739	0.896	1.957
0.344	0.549	0.736	2.430	0.302	0.488	0.662	2.271
0.479	0.596	0.685	1.203	0.473	0.59	0.678	1.193
0.511	0.669	0.793	1.585	0.467	0.618	0.737	1.514
1.002	1.320	1.571	3.187	0.844	1.135	1.369	2.929

Çizelge 4.7. Tınlı toprak grubu için belirlenen PRon değerleri (Devamı)

PR on(M)				PR on(Θ)			
0.1 bar	0.33bar	0.5 bar	15 bar	0.1bar	0.33bar	0.5 bar	15 bar
1.129	1.551	1.895	4.276	1.283	1.733	2.095	4.530
1.047	1.585	2.060	5.975	1.505	2.177	2.748	7.075
0.897	1.280	1.603	3.992	1.219	1.674	2.044	4.605
1.275	1.645	1.932	3.717	2.094	2.539	2.867	4.695
1.052	1.291	1.469	2.483	0.985	1.218	1.392	2.401
1.013	1.235	1.401	2.332	1.096	1.323	1.490	2.416
1.237	1.573	1.830	3.389	1.013	1.320	1.560	3.075
1.200	1.512	1.750	3.167	1.262	1.580	1.820	3.237
1.075	1.458	1.769	3.872	1.223	1.632	1.958	4.105
1.080	1.546	1.939	4.867	0.959	1.393	1.762	4.585
0.764	1.090	1.365	3.400	0.803	1.139	1.419	3.471
1.175	1.525	1.798	3.512	1.100	1.439	1.705	3.395
1.206	1.646	2.004	4.453	1.349	1.815	2.189	4.684
1.060	1.571	2.015	5.543	0.773	1.192	1.566	4.753
0.507	0.649	0.758	1.425	0.512	0.653	0.762	1.427
0.682	0.849	0.976	1.713	0.674	0.840	0.965	1.699
0.469	0.669	0.837	2.086	0.525	0.739	0.916	2.195
0.589	0.792	0.956	2.045	0.468	0.647	0.795	1.827
0.921	1.130	1.286	2.173	1.079	1.297	1.457	2.339
0.241	0.353	0.450	1.200	0.165	0.254	0.332	0.998
0.271	0.387	0.485	1.208	0.295	0.416	0.517	1.252
0.236	0.345	0.439	1.161	0.186	0.279	0.362	1.032
0.484	0.667	0.816	1.855	0.383	0.543	0.677	1.655
0.859	1.002	1.104	1.640	0.789	0.931	1.032	1.573
0.466	0.613	0.730	1.481	0.368	0.499	0.604	1.320
0.590	0.757	0.886	1.679				

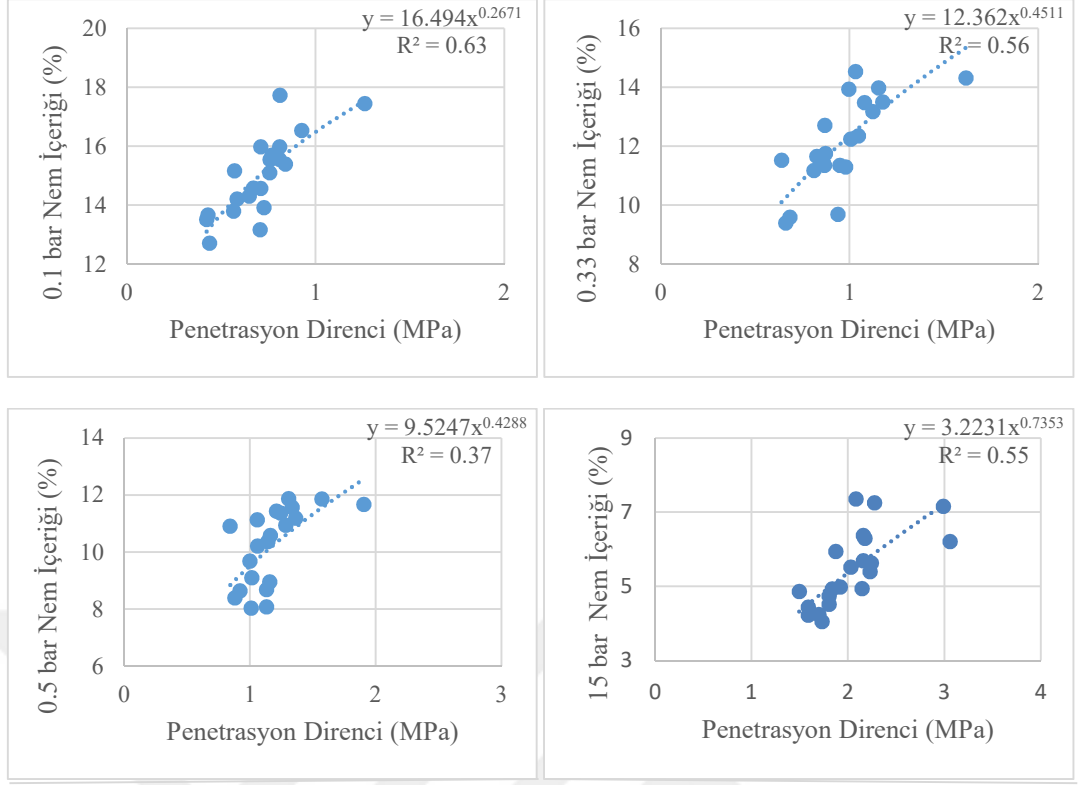
Çizelge 4.8. Killi toprak grubu için belirlenen PRon değerleri

PR on(M)				PR on(Θ)			
0.1 bar	0.33bar	0.5 bar	15 bar	0.1 bar	0.33bar	0.5 bar	15 bar
0.397	0.545	0.756	2.243	0.339	0.513	0.732	2.166
0.752	0.968	1.189	2.342	0.663	0.866	1.091	2.197
0.610	0.761	0.910	1.643	0.694	0.854	1.020	1.755
0.699	0.916	1.095	1.978	0.835	1.028	1.228	2.112
0.675	0.913	1.235	3.356	0.531	0.786	1.102	3.081
0.429	0.568	0.668	1.454	0.393	0.489	0.591	1.052
0.588	0.784	1.016	2.404	0.630	0.860	1.124	2.536
0.675	0.898	1.135	2.461	0.890	1.153	1.441	2.838
0.969	1.269	1.517	2.740	1.069	1.327	1.598	2.811
0.548	0.740	0.989	2.573	0.537	0.766	1.038	2.623
0.993	1.308	1.581	2.956	1.007	1.277	1.566	2.915
0.524	0.698	0.882	1.913	0.505	0.677	0.872	1.880
0.485	0.643	0.794	1.592	0.502	0.651	0.813	1.602
0.532	0.705	0.889	1.911	0.559	0.740	0.942	1.964
0.437	0.588	0.752	1.703	0.504	0.674	0.864	1.841
0.946	1.232	1.419	2.270	1.106	1.309	1.512	2.350
0.532	0.702	0.869	1.758	0.395	0.532	0.688	1.500
0.596	0.806	1.071	2.738	0.534	0.764	1.039	2.654
0.540	0.718	0.915	2.036	0.480	0.656	0.856	1.932
0.747	0.983	1.188	2.222	0.339	0.513	1.293	2.327

Kumlu topraklar için 0.1, 0.33, 0.5 ve 15 bar nem içeriklerinin, penetrasyon direnci ile elde edilen temel modellerinde; en yüksek ilişki 0.1 bar (0,623) en düşük ise 0.5 bar (0.37) nem içeriğinde belirlenmiştir. Kumlu topraklarda su tutma özelliğinin zayıf, drenajın hızlı gerçekleşmesi 0.33 bar yerine 0.1 bar'da tutulan nem içeriğinin tarla kapasitesi tayininde kullanılmasına yol açmaktadır (Soil Survey Laboratory Methods Manual, 1996).

Kumlu topraklarda 0.1, 0.33, 0.5 ve 15 bar için oluşturulan temel modeller istatistiksel olarak anlamlı ($P<0.01$) bulunmasına karşılık özellikle 0.5 bar nem içeriği modelinde R^2 değerler oldukça düşüktür (Çizelge 4.9). Yani nem içeriği değişiminin penetrasyon direnci tarafından % 37 seviyesinde açıklanabildiği ve bu seviyenin düşük olduğu ortadadır. İstatistiksel olarak önemli bulunması örnek sayısının fazla olmasıyla ilişkilendirilmektedir. 15 bar için % 55 oranında tahmin edilebilir sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmada kumlu topraklar için tarla kapasitesi belirlemelerinde $y=16,494x^{0,2671}$ modelinin kullanılabilir olduğu değerlendirilmektedir ($P<0.01$).

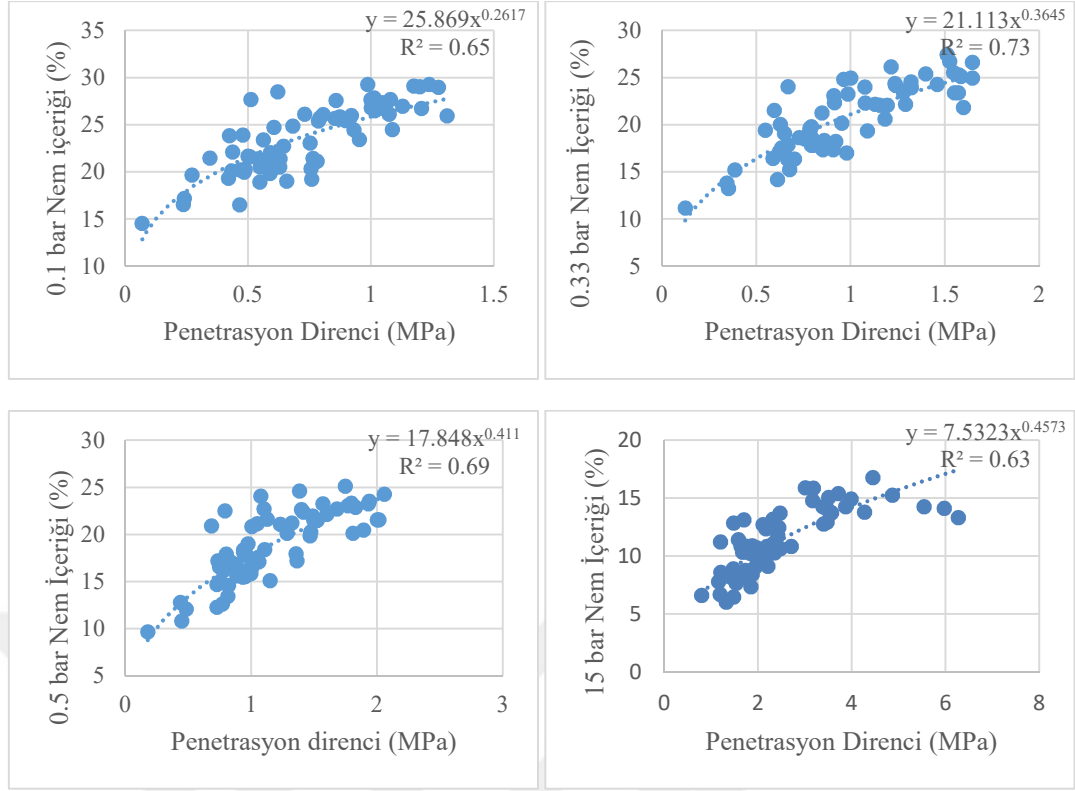
15 bar nem içeriği tahmininde R^2 'nin düşüklüğü, penetrasyon direncinin söz konusu nemler için grup içinde çok fazla değişim göstermesinin bir sonucu olarak değerlendirilmiştir. Zira, genel olarak 10, 20 ve 21 nolu örneklerin özellikleri gruptakilerden önemli düzeyde farklıdır. Söz konusu toprak örnekleri için 15 bar nem içerikleri (% 7.35, 6.30, 7.25), grup için belirlenen ortalama nem içeriğinden (% 5.47) oldukça yüksektir. Ek olarak organik madde (%1.44, 1.33 ve 1.28) ve kil içerikleri (%10.71, 7.80, 9.46) içinde benzer durum söz konusudur.



Şekil 4.5. Kumlu toprak grubuna özgü farklı tansiyonlarda tutulan gravimetrik nem içeriği - PR(on) ilişkisi

Orjinal nem ve düzeltmenin yapıldığı ortalama nem aralığının büyümesi nem-penetrasyon direnci ilişkilerinin exponansiyel nitelik sergilemesi nedeniyle ortalama nem'e göre düzeltilmiş PR'lerin (PRon) yüksek bulunmasına yol açmıştır. Dolayısıyla bu durum grup içi nem - PRon ilişkisinin pozitif yönlü çıkmasının temel nedenidir.

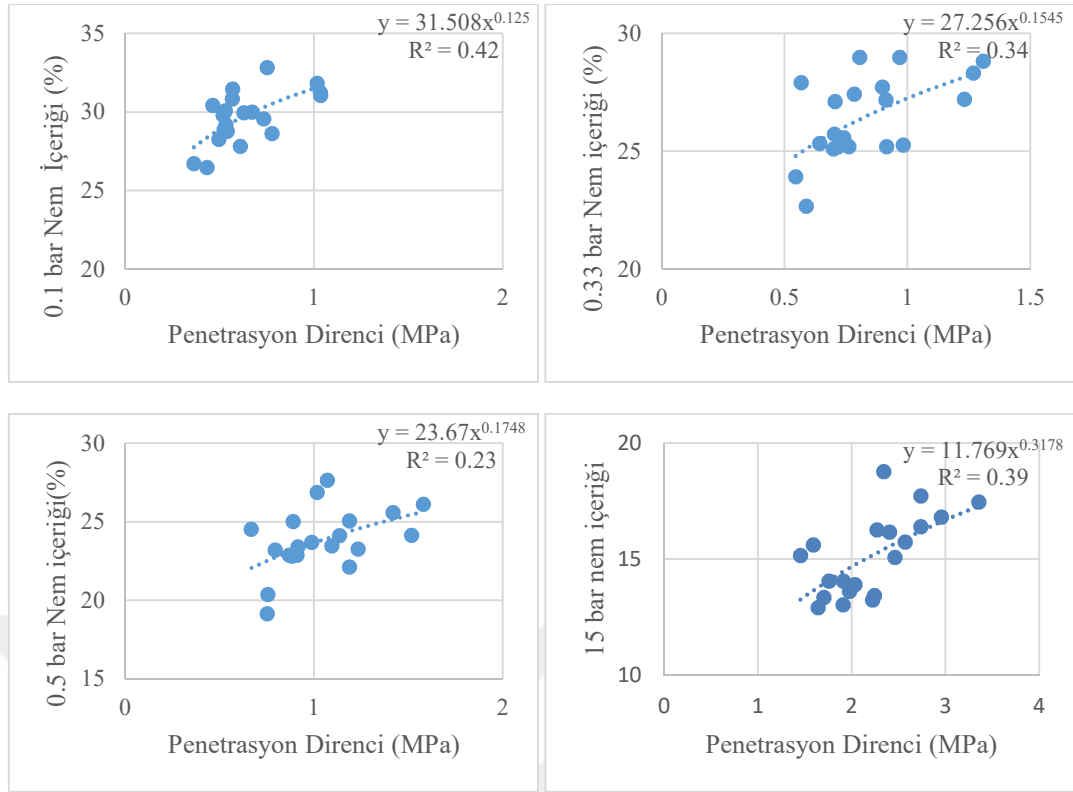
Silva vd. (2015), tarafından yapılan çalışmada, 0.33 ve 15 bar nem içeriği tahmini için oluşturulan modellerde elde edilen R^2 'ler; 0.33 bar için 0.41 - 0.73, 15 bar için ise 0.58-0.75 arasında değişim göstermiştir. Yine Mohanty vd. (2014), söz konusu nem sabiteleri (0.33 ve 15 bar) için R^2 'le 0.41 - 0.85 ve 0.23 - 0.55 aralığında belirlemiştir. Mevcut çalışma verileri 0.33 bar için her iki çalışmayla uyumludur. 15 bar verileri itibariyle Mohanty vd. (2014) tarafından bildirilen verilerle benzerlik göstermektedir.



Şekil 4.6. Tınlı toprak grubuna özgü farklı tansiyonlarda tutulan gravimetrik nem içeriği - PR(on) ilişkisi

Tınlı topraklar için, penetrasyon direnci değerleri (PRon) ile gerçek nem değerleri arasındaki ilişkiler incelendiğinde en yüksek R^2 0.73 (0.33 bar) en düşük ise 0.63 (15 bar) olarak bulunmuştur (Şekil 4.6).

Tınlı toprak grubu için farklı nem tansiyonları (0.1,0.33, 0.5 ve 15 bar) için belirlenen ilişkiler, istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P < 0.01$). Özellikle 0.33 bar için elde edilen model % 73'lük seviyede açıklanabilirliğe sahiptir. Söz konusu tansiyon için en yüksek ilişkilerin bulunmuş olması; bu gruptaki toprakların tarla kapasitelerinin belirlemelerinde 0.33 bar nem içeriğinin kullanımının uygun olduğu literatürlerde de uyum göstermektedir (Soil Survey Laboratory Methods Manual, 1996).



Şekil 4.7. Killi toprak grubuna özgü, farklı tansiyonlarda tutulan gravimetrik nem içeriği - PR(on) ilişkisi

Killi toprak grubu için en yüksek ilişki 0.1 bar'da (0.42) en düşük ise 0.5 bar'da (0.23) belirlenmiştir. Söz konusu toprak grubunda farklı nem tansiyonları nem içerikleri - penetrasyon direnci ilişkileri istatistiksel olarak önemli ($P < 0.05$) bulunmuş olsa da, R^2 'leri düşüktür. Killi toprakların nem-PR ilişkisine yönelik R^2 'ler diğer bünye grupları ile karşılaştırdığında daha düşük seviyelerdedir.

Söz konusu grupta yer alan bazı toprakların özellikleri diğerlerine göre farklılık göstermektedir. 6, 7 ve 18 no'lu örneklerin değerlendirmeye dahil edilmemesi durumunda R^2 'ler sırasıyla 0.59, 0.6, 0.47 ve 0.46'a kadar yükselmektedir. Bu toprakların hacim ağırlıkları (1.13, 1.23, 1.18 g cm³) ortalama değerlerden (1.32 g cm³) oldukça düşük seviyelerdedir.

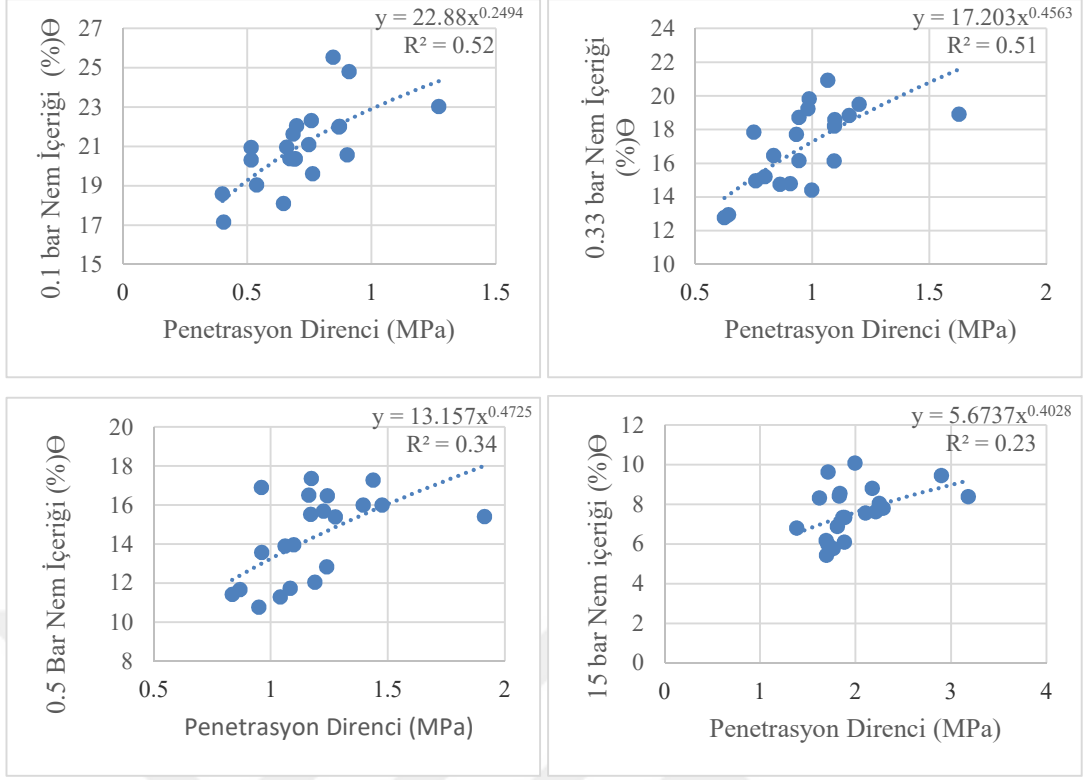
Tüm toprak grupları ve nem tansiyonları için nem içeriği – PR(on) ilişkilerine özgü istatistiksel önem seviyelerini gösteren P, F ve R^2 'değerleri Çizelge 4.9'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.9. Penetrasyon direnci ile gravimetrik nem arasındaki istatistiksel göstergeler

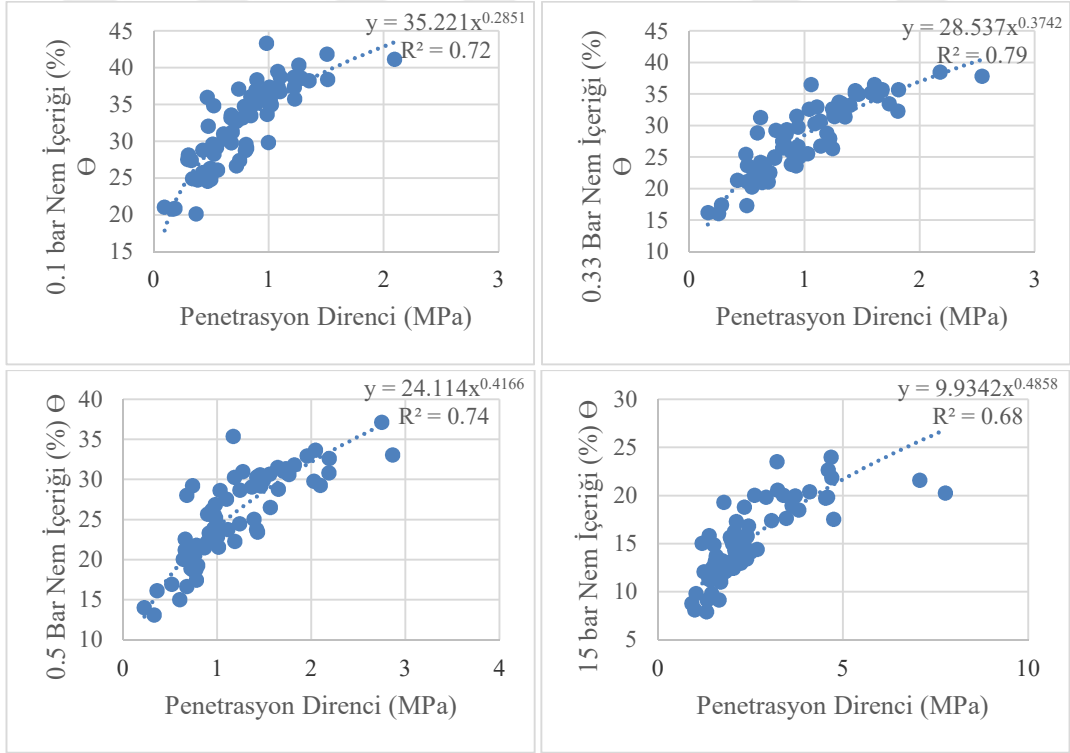
Toprak grubu	Nem tansiyon (bar)	P	F	R ²
Kumlu	0.1	0.000	31.994	0.63
	0.33	0.000	23.809	0.56
	0.5	0.004	10.922	0.37
	15	0.000	21.675	0.55
Tınlı	0.1	0.000	117.700	0.65
	0.33	0.000	174.602	0.73
	0.5	0.000	140.034	0.69
	15	0.000	108.681	0.63
Killi	0.1	0.002	12.741	0.42
	0.33	0.007	9.344	0.34
	0.5	0.031	5.469	0.23
	15	0.005	10.842	0.39

Tüm toprak gruplarında, artan nem tansiyonuna bağlı modellerin R²'ler de düzenli bir değişimin olmadığı belirlenmiştir. Mevcut çalışmadan farklı olarak kontrollü şartlarda yürütülen ya da aynı toprak üzerinde farklı uygulamaların etkilerinin incelendiği bazı çalışmalarda (Mırreh ve Ketcheson, 1972; Vaz vd., 2011; Gracia vd., 2012; Silva vd., 2016) daha yüksek ilişkilerin elde edilmesi doğaldır.

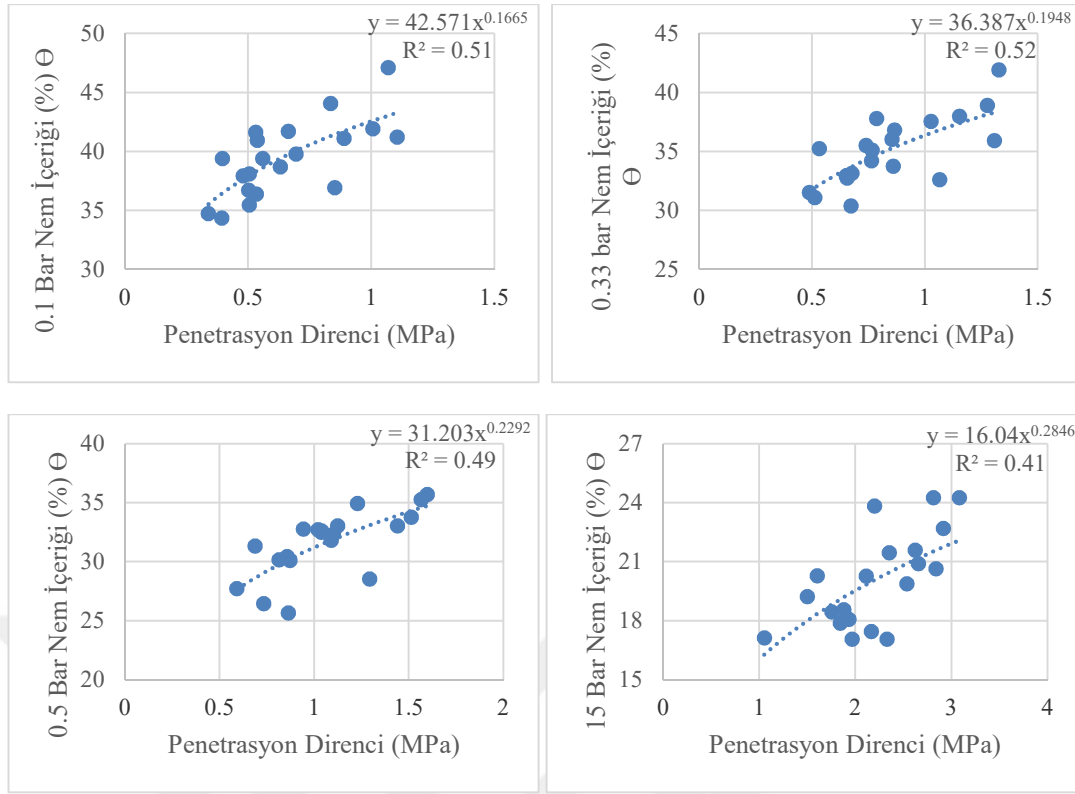
Hacimsel nem içerikleri (Θ) kullanılarak oluşturulan toprak gruplarına ilişkin temel modeller Şekil 4.8, 4.9 ve 4.10'da ve nem PR(on) ilişkisine özgü R², P ve F değerleri Çizelge 4.10'da belirtilmiştir.



Şekil 4.8. Kumlu toprak grubuna özgü farklı tansiyonlarda tutulan hacimsel nem içeriği - PR(on) ilişkileri



Şekil 4.9. Tınlı toprak grubuna özgü farklı tansiyonlarda tutulan hacimsel nem içeriği - PR(on) ilişkileri



Şekil 4.10. Killi toprak grubuna özgü farklı tansiyonlarda tutulan hacimsel nem içeriği – PR(on) ilişkileri

Çizelge 4.10. Penetrasyon direnci ile hacimsel nem arasındaki istatistiksel göstergeler

Toprak grubu	Nem tansiyon (bar)	P	F	R ²
Kumlu	0.1	0.000	20.335	0.52
	0.33	0.000	18.421	0.51
	0.5	0.007	9.286	0.34
	15	0.031	6.781	0.23
Tınlı	0.1	0.000	139.995	0.72
	0.33	0.000	239.716	0.79
	0.5	0.000	185.969	0.74
	15	0.000	137.455	0.68
Killi	0.1	0.000	18.394	0.51
	0.33	0.000	19.504	0.52
	0.5	0.001	15.117	0.49
	15	0.010	10.553	0.41

Kumlu toprak grubunda farklı nem tansiyonlar (0.1,0.33, 0.5 ve 15 bar) için belirlenen temel modellere özgü ilişkiler, istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P<0.05$) (Çizelge 4.10). En yüksek ilişki 0.1 bar'da (0.52) en düşük ise 15 bar'da (0.23) belirlenmiş ve artan nem tansiyonuna bağlı düzenli bir azalış söz konusudur. 0.1 ve 0.33 bar için, modellerin R^2 'leri birbirine oldukça yakın olup (0.52 ve 0.51). 0.5 bar'da ise model % 34 seviyelerinde açıklanabilirliğe sahiptir. Tüm nem tansiyonları için, nem içeriklerinin gravimetrik olarak değerlendirilmesiyle elde edilen modellerin R^2 'leri, hacimsel nem içerikleri kullanarak elde edilen modellerin R^2 'lerinden daha yüksek bulunmuştur.

Tınlı toprak grubu için farklı nem tansiyonları (0.1,0.33, 0.5 ve 15 bar) nem – PR(on) ilişkilerine özgü modeller, istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P<0.01$). Nem tansiyonlarına bağlı olarak modellerin R^2 'leri 0.72, 0.79, 0.74 ve 0.68'dir. En yüksek ilişki 0.33 bar ve en düşük ise 15 bar modeli için elde edilmiştir. 0.33 bar için elde edilen model ilişkiyi yaklaşık % 80 açıklayabilir durumdadır.

Tınlı topraklar için gravimetrik nem içeriği kullanılarak elde edilen modellerin R^2 'leri, hacimsel nem içeriğine göre oluşturulan modellerin R^2 'lerinden daha düşük bulunmuştur. Diğer bir deyimle hacimsel nem içeriği ile oluşturulan modellerin kullanımı daha yüksek seviyelerde açıklanabilirlik sağlamaktadır.

Killi topraklar için 0.1, 0.33, 0.5 ve 15 bar tansiyonlarda oluşturulan tahmin modellerine özgü ilişkiler, istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P<0.05$). Nem tansiyonlarına bağlı R^2 'leri sırasıyla 0.51, 0.52, 0.49, 0.41'dir. Elde edilen ilişkiler, tüm nem tansiyonlar için birbirine yakın seviyelerdedir.

Söz konusu toprak grubunda tüm nem tansiyonlar için hacimsel nem içeriklerinin kullanıldığı modellerin R^2 'leri, gravimetrik nem içeriklerinin kullanıldığı modellerin R^2 'lerine göre daha yüksektir.

Kumlu toprak grubu dışındaki diğer bünye gruplarında, artan nem tansiyonuna bağlı modellerin R^2 'lerinde düzenli bir değişimin olmadığı belirlenmiştir. Keza, kumlu topraklarda 0.1 bar'dan 15 bar'a kadar R^2 'lerinde düzenli bir azalış söz konusudur.

4.3.2. Standart nem (on) dönüşümleri

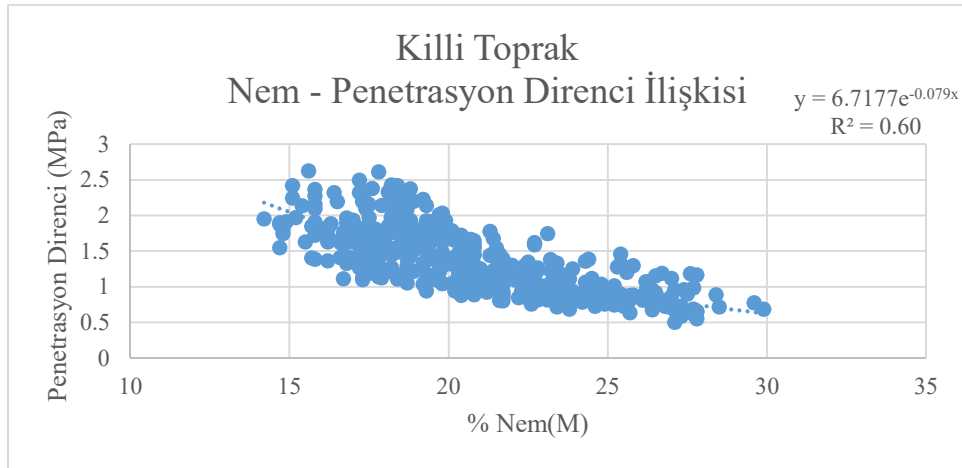
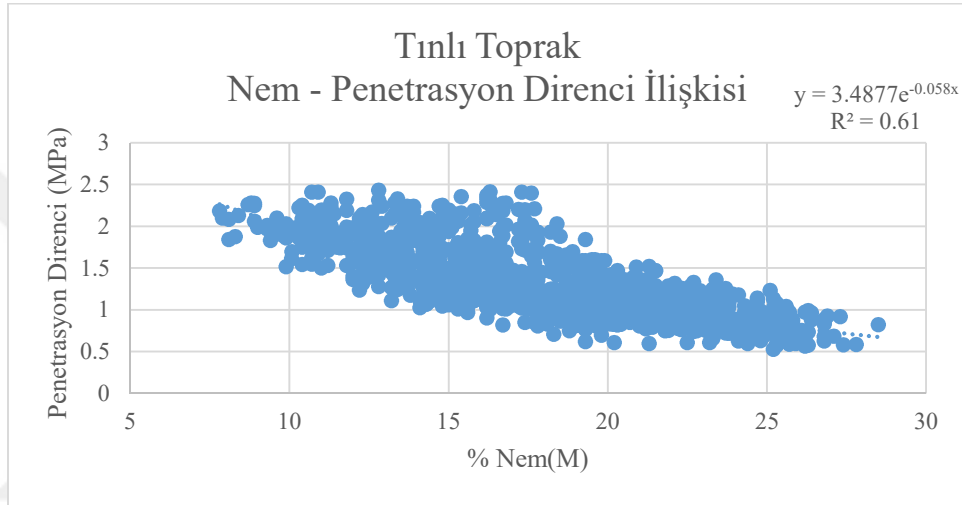
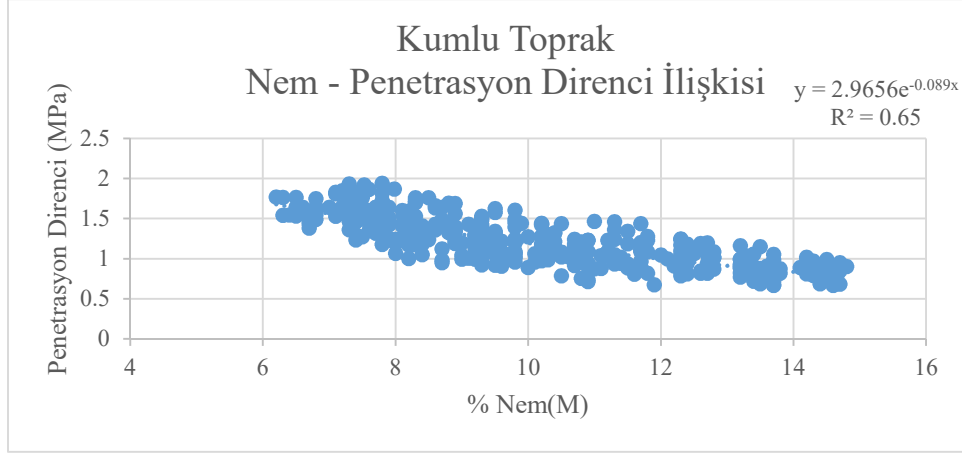
Çalışmada; farklı nem düzeylerinde yapılan penetrasyon direnci ölçümlerinin standart bir nem düzeyi (on) için ifade edilmesi amacıyla, her toprak grubunda yer alan tüm topraklar için nem – PR verileri ilişkilendirilmiştir (Şekil 4.11). Söz konusu ilişkiler tahmin modellerinin araziye uygulanması aşamasında; rastgele yapılan ölçümlerden, standart nem'e (on) karşılık gelecek PR'lerin (Çizelge 4.12 ve 4.13'de verilen PR(on)'lar) eldelerinde kullanılmıştır. Kumlu, tınlı ve killi toprak grupları için R^2 değerleri 0.60-0.65 arasında değişim gösteren söz konusu genel nem – PR ilişkilerinin istatistik olarak önemli olduğu belirlenmiştir ($P<0.01$). Belirleme katsayılarının bu aralıklarda değişmesi korelasyon katsayılarının (r) yaklaşık 0,8 civarında olduğu anlamına gelmektedir ki; Alpar (2017) tarafından yapılan sınıflandırma (Çizelge 4.11) itibariyle yüksek düzeyde bir ilişkiyi ifade etmektedir.

Çizelge 4.11. Korelasyon katsayıları (Alpar, 2017)

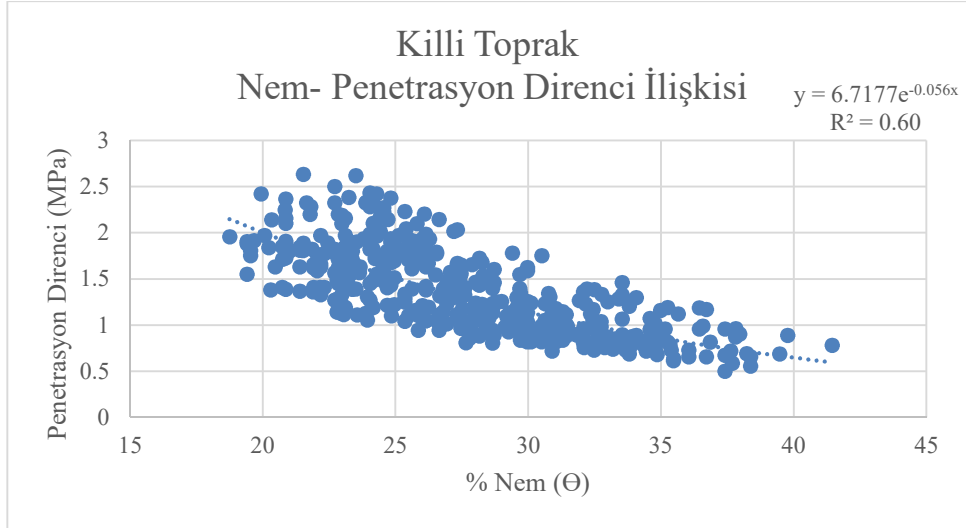
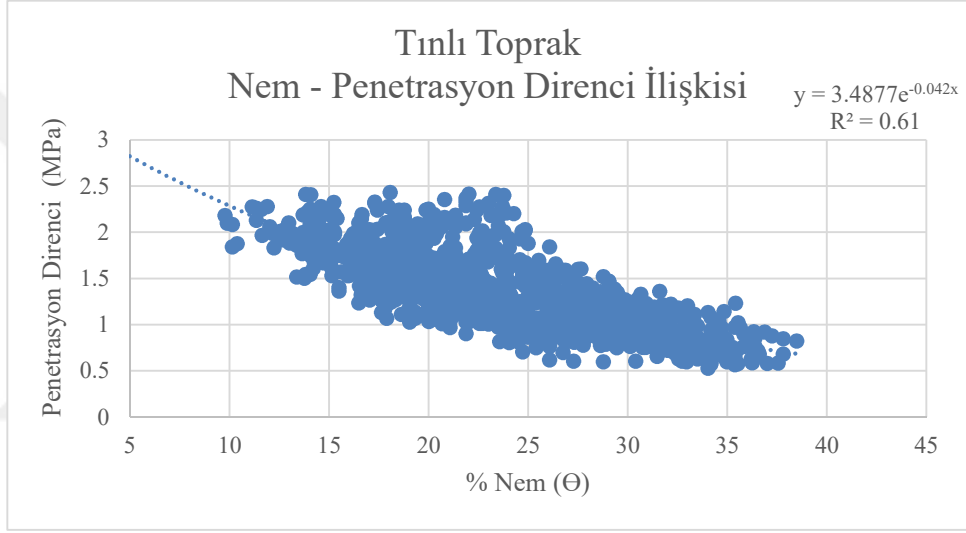
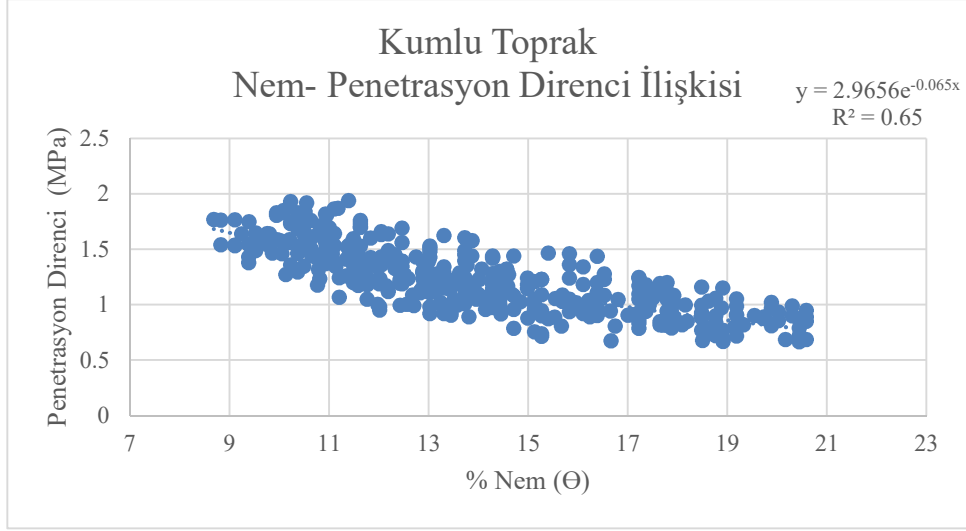
Korelasyon katsayısı(r)	Nitelendirme
±0.0-0.19	İlişki yok ya da önemsenecek kadar düşük
±0.20-0.39	Zayıf (düşük) ilişki
±0.40-0.69	Orta düzeyde ilişki
±0.70-0.89	Kuvvetli (yüksek) ilişki
±0.90-1.00	Çok kuvvetli ilişki

Turgut ve Öztaş, (2012) tarafından penetrasyon direnci ile nem içeriği arasındaki korelasyon katsayısı -0.5276 olarak belirlenmiş ve söz konusu ilişkinin istatistiksel olarak % 1 seviyesinde önemli olduğu bildirilmiştir. Mevcut çalışmada belirlenen nem – PR ilişkilerine özgü korelasyon katsayıları (Şekil 4.11) literatürler ile benzerdir.

Şekil 4.11 ve 4.12’de verilen nem-PR ilişkilerine özgü regresyon denklemleri yardımıyla elde edilen düzeltme denklemleri Çizelge 4.12 ve 4.13’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Genel gravimetrik nem - penetrasyon direnci ilişkileri



Şekil 4.12. Genel hacimsel nem - penetrasyon direnci ilişkileri

Çizelge 4.12. Gravimetrik nem içeriğine göre düzeltme denklemleri

Toprak grubu	Nem tansiyonu (bar)	Düzeltilme Denklemi
Kumlu	0.1	$PR_{on} = Pr_x \exp[(x-0.15)/0.112]$
	0.33	$PR_{on} = Pr_x \exp[(x-0.12)/0.112]$
	0.5	$PR_{on} = Pr_x \exp[(x-0.10)/0.112]$
	15	$PR_{on} = Pr_x \exp[(x-0.055)/0.112]$
Tınlı	0.1	$PR_{on} = Pr_x \exp[(x-0.24)/0.172]$
	0.33	$PR_{on} = Pr_x \exp[(x-0.21)/0.172]$
	0.5	$PR_{on} = Pr_x \exp[(x-0.19)/0.172]$
	15	$PR_{on} = Pr_x \exp[(x-0.11)/0.172]$
Killi	0.1	$PR_{on} = Pr_x \exp[(x-0.30)/0.126]$
	0.33	$PR_{on} = Pr_x \exp[(x-0.26)/0.126]$
	0.5	$PR_{on} = Pr_x \exp[(x-0.24)/0.126]$
	15	$PR_{on} = Pr_x \exp[(x-0.15)/0.126]$

Çizelge 4.13. Hacimsel nem içeriğine göre düzeltme denklemleri

Toprak grubu	Nem tansiyonu (bar)	Düzeltilme Denklemi
Kumlu	0.1	$PR_{on} = Pr_x \exp[(x-0.21)/0.153]$
	0.33	$PR_{on} = Pr_x \exp[(x-0.17)/0.153]$
	0.5	$PR_{on} = Pr_x \exp[(x-0.14)/0.153]$
	15	$PR_{on} = Pr_x \exp[(x-0.08)/0.153]$
Tınlı	0.1	$PR_{on} = Pr_x \exp[(x-0.32)/0.238]$
	0.33	$PR_{on} = Pr_x \exp[(x-0.28)/0.238]$
	0.5	$PR_{on} = Pr_x \exp[(x-0.26)/0.238]$
	15	$PR_{on} = Pr_x \exp[(x-0.15)/0.238]$
Killi	0.1	$PR_{on} = Pr_x \exp[(x-0.39)/0.178]$
	0.33	$PR_{on} = Pr_x \exp[(x-0.35)/0.178]$
	0.5	$PR_{on} = Pr_x \exp[(x-0.32)/0.178]$
	15	$PR_{on} = Pr_x \exp[(x-0.20)/0.178]$

PR_{on} : Düzeltilmiş penetrasyon direnci (MPa)

Pr_x : Arazide ölçülen penetrasyon direnci (MPa),

X: Arazide ölçüm yapılan toprağın nem içeriği ($kg\ kg^{-1}$) / ($cm^3\ cm^{-3}$)

0.15: standardizasyon için seçilen nem içeriği ($0.15\ kg\ kg^{-1}$) / ($cm^3\ cm^{-3}$)

Her grubun ortalama gravimetrik nem (on) içeriği temelinde 0.1, 0.33, 0.5 ve 15 bar nem içerikleri düzeltmeleri kumlu topraklar için sırasıyla % 15, 12, 10 ve 5.5' e tınlı topraklar için % 24, 21, 19 ve 11'e ve killi topraklar için ise % 30, 26, 24 ve 15'e göre yapılmıştır. Hacimsel nem içeriğine ilişkin düzeltme denklemlerinde kullanılan on'ler kumlu topraklar için % 21, 17, 14 ve 8, tınlı topraklar için % 32, 28, 26 ve 15 ve killi topraklar için ise % 39, 35, 32 ve 20 olarak sıralanmaktadır.

Mevcut çalışmada; standart nem (on) için dönüşümlere ilişkin düzeltme denklemlerinin eldelerindeki temel prensip, literatürlerde karşılaşılan çalışmalardan (Busscher vd., 2003; Aksakal vd., 2008) farklı değildir. Söz konusu nem düzeltme denklemlerine ilişkin bazı örnekler aşağıda verilmiştir.

$$PRa = PRo \exp((x-0.1)/0.132)) \quad (4.1)$$

$$PRa = PRo \exp ((x-0.1)/0.716)) \quad (4.2)$$

Denklemden kullanılan PRa , %10 nem'e göre düzeltilmiş penetrasyon direnci, PRo, belirli bir nemde ölçülen penetrasyon direnci, x ise ölçüm yapılan toprağın nem içeriğidir.

Nem düzeltme denklemlerinin temel modele katılmasıyla elde edilen tahmin modelleri Çizelge 4.14'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.14. Nem tahmin modelleri

Toprak grubu	Nem tansiyonu (bar)	Model
Kumlu (M)	0.1	$Y=16.494[Pr_x \exp((x-0.15)/0.112)]^{0.2671}$
	0.33	$Y= 12.362[Pr_x \exp((x-0.12)/0.112)]^{0.4511}$
	0.5	$Y= 9.5247[Pr_x \exp((x-0.10)/0.112)]^{0.4288}$
	15	$Y=3.2231[Pr_x \exp((x-0.055)/0.112)]^{0.7353}$
Tınlı (M)	0.1	$Y= 25.869[Pr_x \exp((x-0.24)/0.172)]^{0.2617}$
	0.33	$Y= 21.113[Pr_x \exp((x-0.21)/0.172)]^{0.3645}$
	0.5	$Y= 17.848[Pr_x \exp((x-0.19)/0.172)]^{0.411}$
	15	$Y=7.5323[Pr_x \exp((x-0.11)/0.172)]^{0.4573}$
Killi (M)	0.1	$Y= 31.508[Pr_x \exp((x-0.30)/0.126)]^{0.125}$
	0.33	$Y=27.256[Pr_x \exp((x-0.26)/0.126)]^{0.1545}$
	0.5	$Y=23.67[Pr_x \exp((x-0.24)/0.126)]^{0.1748}$
	15	$Y= 11.769[Pr_x \exp((x-0.15)/0.126)]^{0.3178}$
Kumlu (Θ)	0.1	$Y= 22.88[Pr_x \exp((x-0.21)/0.153)]^{0.2494}$
	0.33	$Y= 17.203[Pr_x \exp((x-0.17)/0.153)]^{0.4563}$
	0.5	$Y= 13.157[Pr_x \exp((x-0.14)/0.153)]^{0.4725}$
	15	$Y=5.67737[Pr_x \exp((x-0.08)/0.153)]^{0.4028}$
Tınlı (Θ)	0.1	$Y= 35.248[Pr_x \exp((x-0.32)/0.238)]^{0.248}$
	0.33	$Y=28.5537[Pr_x \exp((x-0.28)/0.238)]^{0.3742}$
	0.5	$Y= 24.114[Pr_x \exp((x-0.26)/0.238)]^{0.4166}$
	15	$Y=9.9342[Pr_x \exp((x-0.15)/0.238)]^{0.4858}$
Killi (Θ)	0.1	$Y= 42.571[Pr_x \exp((x-0.39)/0.178)]^{0.1665}$
	0.33	$Y=36.387[Pr_x \exp((x-0.35)/0.178)]^{0.1948}$
	0.5	$Y=31.203[Pr_x \exp((x-0.32)/0.178)]^{0.2292}$
	15	$Y= 16.04[Pr_x \exp((x-0.20)/0.178)]^{0.2846}$

Θ: Hacimsel nem içeriği kullanılması durumunda değerlendirilecek modeller

M: Gravimetrik nem içeriği kullanılması durumunda değerlendirilecek modeller

Y: Nem içeriği (%)

Pr_x : Arazide ölçülen penetrasyon direnci (MPa),

X: Arazide ölçüm yapılan toprağın nem içeriği ($kg\ kg^{-1}$) / ($cm^3\ cm^{-3}$)

4.4. Tahmin Modellerinin Test Edilmesi

Tahmin modelleri 60 farklı çalışma noktası için test edilmiştir. 16'sı kumlu, 26'sı tınlı 18'i ise killi bünyeye sahip olan test topraklarının bazı özellikleri Çizelge 4.15, 4.16 ve 4.17' de belirtilmiştir.

Çizelge 4.15. Kumlu toprakların bazı özellikleri

No	HA	Mekanik Analiz				BS	Tutulan Su (bar) (%)				Nem %	PR MPa	OM %	CaCO ₃ %
		Kil %	Silt %	Kum %			0.1	0.33	0.5	15				
1	1.45	9.70	9.40	80.90	LS	14.40	11.20	8.02	4.40	12.80	1.19	1.19	5.30	
2	1.34	8.80	9.90	81.30	LS	11.60	11.00	8.40	4.90	10.70	0.96	1.30	5.20	
3	1.62	8.20	11.90	79.90	LS	12.90	10.40	7.40	4.60	10.50	1.08	1.05	2.50	
4	1.34	7.70	10.20	82.10	LS	15.40	13.30	11.70	5.70	12.00	1.11	1.52	6.70	
5	1.21	8.50	10.50	81.00	LS	14.00	12.40	9.20	4.60	10.40	0.98	1.80	9.20	
6	1.34	10.10	9.20	80.70	LS	16.20	13.20	10.50	6.70	11.50	1.42	1.89	8.50	
7	1.55	9.26	11.32	79.40	LS	14.80	12.35	10.40	6.03	12.60	1.3	2.81	6.99	
8	1.23	9.46	8.55	82.00	LS	13.70	12.69	11.30	5.95	10.80	1.43	2.34	5.65	
9	1.54	7.80	12.10	80.10	LS	12.40	11.19	12.20	6.81	10.00	1.32	2.58	3.32	
10	1.32	7.50	7.80	84.80	LS	14.10	13.20	11.80	5.05	10.70	1.39	2.09	5.10	
11	1.35	6.80	12.40	80.80	LS	14.40	11.14	12.20	5.38	10.00	1.27	1.89	6.51	
12	1.57	5.20	16.70	78.10	LS	15.10	13.84	11.10	5.07	9.00	1.69	1.95	6.90	
13	1.28	7.46	10.29	82.30	LS	13.10	11.79	9.20	5.05	9.80	1.25	1.24	4.59	
14	1.38	9.21	10.23	80.60	LS	12.70	10.44	8.80	5.27	10.10	1.15	1.74	4.13	
15	1.31	5.21	16.65	78.14	LS	12.54	8.29	5.95	4.35	13.40	1.07	2.54	2.70	
16	1.38	7.30	14.30	78.40	LS	12.97	10.94	8.36	6.37	14.7	1.11	2.01	3.89	
Min.	1.21	5.20	7.80	78.10		11.60	8.29	5.95	4.35	9.00	0.96	1.05	2.55	
Max.	1.62	10.10	16.70	84.80		16.20	13.84	12.20	6.81	14.70	1.69	2.81	9.20	
Ort.	1.39	8.01	11.34	80.66		13.77	11.71	9.78	5.38	11.18	1.26	1.87	5.45	
Çp	0.59	-0.64	1.02	0.51		0.21	-0.63	-0.37	0.49	0.92	0.72	0.13	0.29	
Bs	-0.65	-0.05	0.45	1.00		-0.57	0.71	-0.77	-0.87	0.31	0.66	-0.78	-0.47	
Vk	8.87	18.12	23.09	2.14		9.08	12.14	19.29	14.70	13.66	15.52	28.05	35.62	

HA: hacim ağırlığı (gr cm⁻³), BS: bünye sınıfı, OM: organik madde, Çp: çarpıklık katsayısı, Bs: basıklık katsayısı Vk: varyasyon katsayısı, PR: penetrasyon direnci (MPa)

Çizelge 4.16. Tınlı toprakların bazı özellikleri

No	HA	Mekanik Analiz			BS	Tutulan Su (bar) (%)				Nem %	PR MPa	OM %	CaCO ₃ %
		Kil %	Silt %	Kum %		0.1	0.33	0.5	15				
1	1.34	12.50	17.90	69.60	SL	22.9	19.80	16.10	9.70	18.20	1.06	1.40	6.90
2	1.42	32.00	28.00	40.00	CL	24.10	23.80	21.72	12.20	19.20	1.35	2.30	8.50
3	1.54	18.60	18.90	62.50	SL	21.90	18.20	16.30	9.70	17.40	1.09	1.89	8.50
4	1.38	27.00	18.80	54.20	SCL	25.30	22.90	21.40	13.20	22.01	1.40	2.00	6.40
5	1.45	35.40	35.20	29.40	CL	27.80	25.10	24.10	11.80	16.10	1.43	2.42	5.80
6	1.54	22.00	13.90	64.10	SCL	22.80	20.70	18.50	9.90	15.40	1.00	1.45	3.60
7	1.37	22.36	41.13	36.50	L	27.30	24.31	22.40	13.85	18.00	1.78	2.66	7.81
8	1.39	23.42	42.13	34.40	L	25.08	22.97	20.80	13.63	21.20	0.99	2.27	2.12
9	1.41	22.89	43.13	34.00	L	24.70	21.16	19.40	11.60	15.50	1.60	2.14	5.12
10	1.47	30.99	47.29	21.70	CL	25.80	22.83	20.10	10.47	19.20	1.08	1.96	3.07
11	1.53	32.34	46.35	21.30	CL	27.30	24.44	21.10	14.27	22.03	1.07	1.88	2.91
12	1.61	31.89	45.82	22.30	CL	28.20	26.52	25.40	15.43	20.60	1.29	1.93	2.91
13	1.52	35.23	41.62	23.10	CL	26.60	24.71	22.40	10.67	15.40	1.45	3.59	5.48
14	1.43	34.48	39.62	25.90	CL	27.70	27.27	26.60	17.00	24.40	1.78	1.49	22.33
15	1.38	26.33	43.75	29.90	L	29.30	26.58	24.20	16.07	18.70	1.64	3.02	13.13
16	1.4	30.53	40.60	28.90	CL	25.80	23.14	21.60	12.01	18.20	1.08	3.07	10.10
17	1.37	28.43	42.17	29.40	CL	29.04	27.71	25.10	12.94	15.40	1.94	3.07	11.99
18	1.27	29.80	23.57	46.60	SCL	23.45	18.69	15.12	13.43	18.80	0.96	1.64	18.46
19	1.28	26.60	25.97	47.40	SCL	24.10	19.63	17.20	13.47	17.60	1.41	1.35	20.53
20	1.21	25.80	23.57	50.60	SCL	24.30	21.34	18.70	13.05	23.10	1.01	1.52	18.24
21	1.35	33.16	44.29	22.60	CL	28.67	25.60	24.40	16.04	23.50	1.48	2.61	2.11
22	1.47	38.94	25.68	35.40	CL	27.41	24.97	23.60	16.49	22.20	1.08	2.96	10.89
23	1.43	19.46	18.32	62.20	SL	22.98	19.73	17.13	10.50	16.70	1.43	1.35	5.36
24	1.52	19.46	17.81	62.70	SL	20.12	17.82	14.70	10.53	15.40	1.25	1.3	8.60
25	1.48	14.21	19.26	66.50	SL	21.23	17.37	14.10	8.95	13.30	1.42	1.81	4.45
26	1.44	14.21	18.74	67.00	SL	21.78	18.41	16.45	9.17	18.80	1.38	1.79	4.19
Min.	1.21	12.50	13.90	21.31		20.12	17.37	14.10	8.95	13.30	0.96	1.3	2.11
Max.	1.61	38.94	47.29	69.60		29.30	27.71	26.60	16.99	24.40	1.94	3.59	22.33
Ort.	1.42	26.46	31.67	41.86		25.22	22.53	20.33	12.54	18.71	1.33	2.11	8.44
Çp	-0.24	-0.34	-0.07	0.38		-0.16	-0.09	-0.10	0.29	0.27	0.50	0.65	1.13
Bs	0.11	-0.71	-1.79	-1.42		-0.99	-1.20	-1.13	-0.93	-0.77	-0.52	-0.51	0.39
Vk	6.5	27.07	36.81	40.15		10.30	13.96	17.93	19.01	15.76	20.71	30.50	69.05

HA: hacim ağırlığı (gr cm⁻³), BS: bünye sınıfı, OM: organik madde, <Çp: çarpıklık katsayısı, Bs: basıklık katsayısı Vk: varyasyon katsayısı, PR: penetrasyon direnci (MPa)

Çizelge 4.17. Killi toprakların bazı özellikleri

No	HA	Mekanik Analiz			BS	Tutulan Su (bar) (%)				Nem %	PR MPa	OM %	CaCO ₃ %
		Kil %	Silt %	Kum %		0.1	0.33	0.5	15				
1	1.21	43.90	31.00	25.10	C	29.30	26.60	23.10	15.70	20.30	1.40	1.25	8.10
2	1.32	54.00	27.50	18.50	C	31.90	29.80	27.50	19.50	21.70	2.09	1.90	5.30
3	1.33	61.00	12.10	26.90	C	32.30	29.20	26.50	18.10	24.10	1.56	2.95	3.60
4	1.41	42.35	30.31	27.30	C	30.84	28.70	25.10	17.65	21.00	1.39	1.57	2.87
5	1.25	41.83	30.84	27.30	C	32.45	29.67	26.30	17.95	19.20	1.70	3.82	9.72
6	1.28	59.30	25.37	15.30	C	33.45	29.88	28.12	15.33	19.6	1.87	1.91	5.21
7	1.35	62.51	24.30	13.20	C	32.34	29.39	27.12	18.26	20.80	2.06	1.71	5.50
8	1.37	60.91	24.83	14.30	C	33.45	30.04	27.34	17.87	20.40	2.21	2.80	5.38
9	1.42	59.42	25.56	15.00	C	33.12	29.87	26.45	18.08	21.00	1.62	2.11	4.41
10	1.54	61.56	27.16	11.30	C	34.50	31.17	28.34	18.93	23.70	2.05	1.25	4.56
11	1.37	60.49	23.56	15.90	C	32.98	30.05	27.45	19.94	22.00	1.36	1.17	4.54
12	1.48	47.25	34.69	18.10	C	33.87	31.49	28.45	17.74	19.50	1.96	1.39	4.68
13	1.28	41.04	23.57	35.40	C	30.24	28.28	25.45	16.61	20.40	1.53	2.87	1.22
14	1.32	61.56	27.56	10.88	C	33.45	29.17	26.54	17.93	20.20	1.98	1.25	24.56
15	1.41	60.49	27.56	11.95	C	35.45	31.95	28.45	19.94	21.60	2.45	2.17	15.54
16	1.34	41.30	36.40	22.30	C	31.46	27.43	26.88	16.16	23.45	1.87	2.56	10.40
17	1.42	49.49	41.14	9.37	SiC	31.83	28.33	24.13	16.39	22.12	1.64	1.78	12.30
18	1.41	40.40	40.20	19.40	SiC	30.41	27.91	24.53	15.16	25.20	1.94	1.98	5.70
Min.	1.21	40.40	12.10	9.37		29.30	26.60	23.10	15.16	19.20	1.36	1.17	1.22
Max.	1.54	62.51	41.14	35.38		35.45	31.95	28.45	19.94	25.20	2.45	3.82	15.54
Ort.	1.36	52.71	28.54	18.75		32.41	29.39	26.54	17.62	21.46	1.82	1.97	6.47
Çp	0.23	-0.30	-0.11	0.76		-0.10	-0.09	-0.73	-0.11	0.74	0.27	1.16	1.34
Bs	0.19	-1.87	1.27	-0.10		-0.39	-0.31	-0.31	-0.90	-0.36	-0.67	1.02	1.33
Vk	6	16.98	23.80	38.37		5.39	5.21	6.34	8.81	8.58	18.25	36.78	58.85

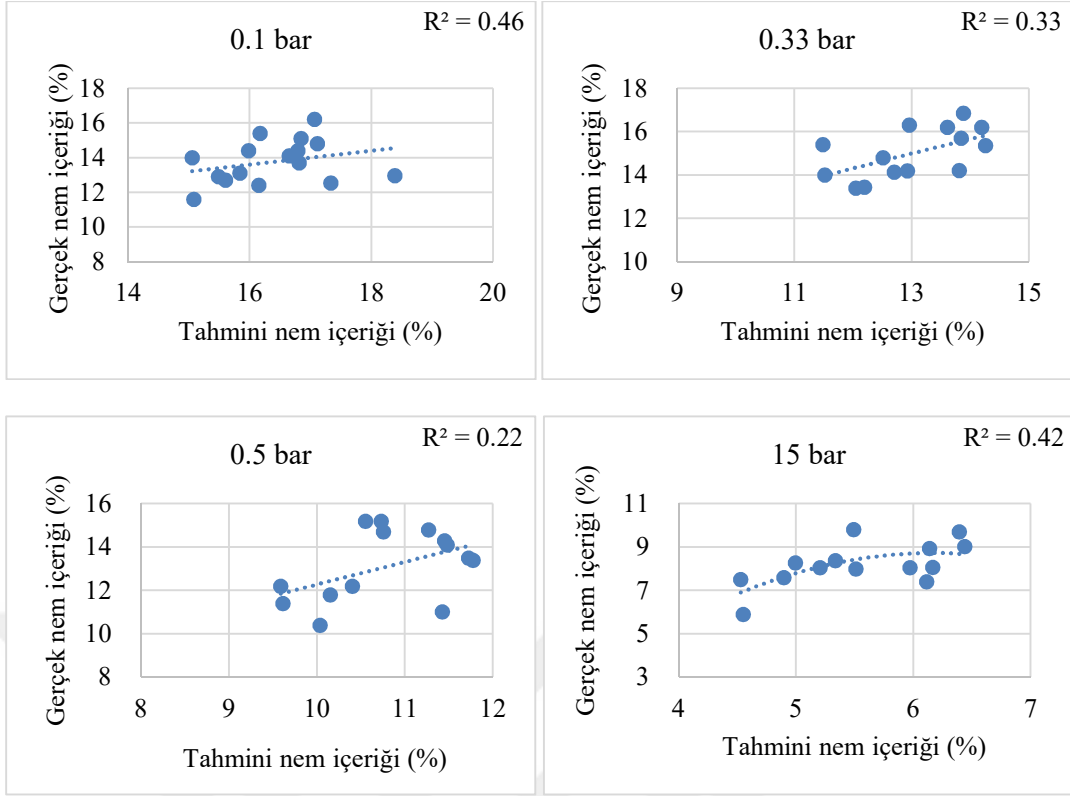
HA: hacim ağırlığı (gr cm⁻³), BS: bünye sınıfı, OM: organik madde, Çp: çarpıklık katsayısı, Bs: basıklık katsayısı Vk: varyasyon katsayısı, PR: penetrasyon direnci (MPa)

Kumlu toprakların tamamı tınlı kum bünye sınıfına ait olup hacim ağırlıkları 1.21 ile 1.62 g cm⁻³ arasında değişim göstermektedir. Toprakların 0.1, 0.33, 0.5 ve 15 bar'lık tansiyonlarda tutulan nem içerikleri, % 11.60 - 16.20, % 8.29 - 13.84, % 5.95 - 12.20, % 4.35 - 6.81 arasındadır. Arazi penetrasyon direnci değerlerinin okunması sırasındaki ortalama nem % 11.18, PR ise 1.26 MPa olarak belirlenmiştir. Söz konusu toprak grubu için okuma yapılan andaki PR değerleri Schoeneberger vd., (2012)'e göre düşük ve orta seviyelerdedir. 0.1, 0.33, 0.5 ve 15 bar 'da tutulan ortalama nem içerikleri, model eldesinde kullanılan toprak ile kıyaslandığında yaklaşık % 5-10 arasında daha düşük seviyelerde bulunmuştur. % 1.05 - 2.81 aralığında değişim gösteren organik madde miktarı model oluşturulan toprakların organik madde içerikleri ile benzerlik gösterirken CaCO₃ içerikleri ise % 2.55 - 9.20 arasında belirlenmiştir. Varyasyon katsayıları incelendiğinde Wilding (1985)'e göre hacim ağırlığı, kum, 0.1, 0.33 ve 15 bar nem içeriği ve toprak nem'i 'düşük', kil, silt, 0.5 bar nem içeriği, PR ve organik madde 'orta', CaCO₃ ise 'yüksek' değişkenlik gösteren toprak özellikleridir. Çarpıklık ve basıklık katsayılarına göre tüm toprak özellikleri normal dağılım göstermektedir.

Tınlı toprakların bünye sınıfı kumlu tın, tın, siltli killi tın, killi tın olarak değişim göstermektedir. 0.1, 0.33, 0.5 ve 15 bar'lık tansiyonlarda tutulan nem miktarları sırasıyla % 20.12 - 29.30, % 17.37 - 27.71, % 14.10 - 26.60, %8.95 - 16.99 arasında belirlenmiştir. Ortalama nem % 18.71 ve PR değeri ise 1.33MPa'dır. PR değerleri kumlu topraklarda olduğu gibi Schoeneberger vd., (2012)'e göre, düşük ve orta seviyede belirlenmiştir. Test aşamasında kullanılan toprakların ortalama hacim ağırlığı değerleri, modellerde kullanılan topraklardan ~ % 5, 0.1, 0.33, 0.5 ve 15 bar' da tutulan nem içerikleri ise ~ %10 daha yüksektir. Ortalama organik madde ve CaCO₃ içerikleri sırasıyla % 2.11 ve % 8.44 olup modellerin oluşturulduğu topraklarla oldukça yakın seviyelerdedir (% 1.97, % 7.70). Normal dağılım gösteren topraklarda düşük değişkenlik gösteren özellikler; hacim ağırlığı, 0.1 ve 0.33 bar nem içerikleri iken orta seviyede değişkenlik gösterenler; kil, 0.5, 15 bar nem içeriği, toprak nem içeriği PR ve organik madde değerleri olup silt, kum ve CaCO₃ içerikleri yüksek değişkenlik sergilemektedir.

Killi topraklar kil ve siltli kil bünye sınıfı içerisinde yer almaktadır. Toprakların 0.1, 0.33, 0.5 ve 15 bar'lık tansiyonlarda tutulan nem içerikleri, % 29.30 - 35.45, % 26.60 - 31.95, % 23.10 - 28.45 ve % 15.16 - 19.94 arasında belirlenmiştir. Ortalama penetrasyon direnci 1.82 MPa'dır. Schoeneberger vd., (2012)'e göre yapılan sınıflamada ise penetrasyon direnci orta ve yüksek olarak belirlenmiştir. Ortalama hacim ağırlığı değerleri (1.36 g cm^{-3}), modellerin oluşturulması aşamasında kullanılan topraklara (1.32 g cm^{-3}), oldukça yakındır. 0.1, 0.33, 0.5 ve 15 bar' da tutulan nem içerikleri ise ~%10 daha yüksektir.

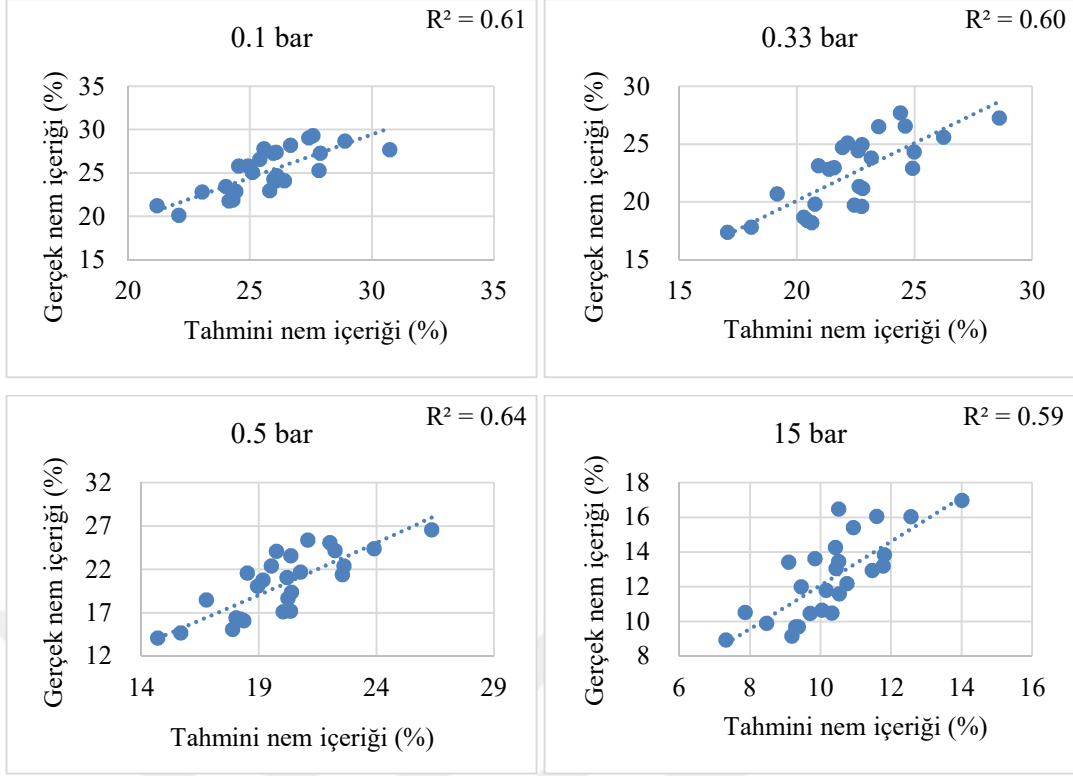
Çalışma kapsamında, Çizelge 4.14'de her toprak grubu ve her bir tansiyon için verilen modeller aracılığı ile tahmini nem içerikleri hesaplanmıştır. Gravimetrik nem içeriği için tahmin edilen değerler ile gerçek değerler karşılaştırılarak oluşturulan eğriler Şekil 4.13, 4.14, 4.15'de gösterilmiştir. Modellerin uygunluğunun değerlendirilmesinde kullanılan belirleme katsayısı (R^2), Hata kareler ortalaması karakökü (RMSE) ve ortalama hata (ME) değerleri Çizelge 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.13. Kumlu toprak grubu için gerçek ve tahmini gravimetrik nem içerikleri arasındaki ilişkiler

Kumlu toprak grubunda 0.1, 0.33, 0.5 ve 15 bar nem tansiyonları için, gerçek ve tahmini değerler arasındaki ilişkiye özgü R^2 değerleri 0.46, 0.33, 0.22 ve 0.42' dir. 0.1 bar ve 15 bar tansiyonlar için 9 no'lu örneğin modele dahil edilmemesiyle R^2 0.52 ve 0.47 seviyelerine kadar yükselmektedir. Söz konusu toprağın 0.1 bar ve 15 bar nem içeriği ortalamadan farklı olup toprağın nem içeriği 0.1 bar'da düşük seviyelerde iken 15 bar'da diğer toprak özelliklerine göre yüksek seviyede belirlenmiştir.

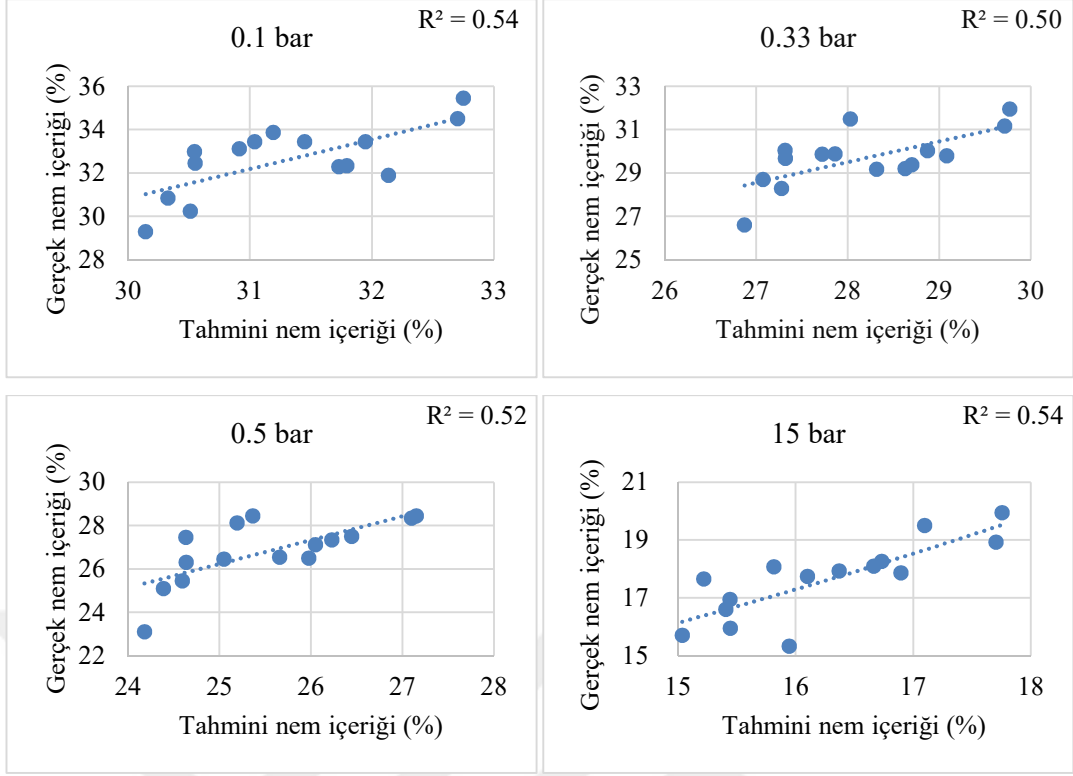
Kumlu topraklar için elde edilen modellerinin test aşamasında elde edilen R^2 değerleri düşük seviyelerdedir. Farklı tahmin modelleri için de sıkça karşılaşılabilen bu durum, çoğunlukla etkili toprak özelliklerindeki değişkenlikle ilişkilidir. Patil ve Chaturvedi, (2012) tarafından yapılan bir çalışmada da, yüksek ilişkiler ile oluşturulan hacim ağırlığı tahmin modellerinin test aşamasında ki geçerliliğinin düşük olduğu belirtilmiştir. Keza, tahmin modellerinin 0.79 ve 0.64 olan R^2 'leri test aşaması için 0.05 ve 0.35 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.14. Tınlı toprak grubu için gerçek ve tahmini gravimetrik nem içerikleri arasındaki ilişkiler

Toprak gruplarına göre tahmin modellerinin güvenilirliğinin karşılaştırılmasında en yüksek R² (0.61, 0.60, 0.64, 0.59) tınlı toprak grubunda elde edilmiştir. Keza, aynı grubun modellerine ilişkin R²'lerinin yüksek olmasıyla benzerlik göstermektedir. Tınlı toprak grubu için elde edilen modeller yaklaşık % 60 doğrulukla gerçek nem içeriklerini tahmin edebilmektedir.

Keshavarzi vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada; tarla kapasitesi ve solma noktası tahmini için elde edilen modelin test aşamasında R² değerleri 0.68 ve 0.64, RMSE değerleri ise 4.46 ve 5.21 olarak belirtilmiştir. Yine Esmaelnejad vd. (2015), 0.33 ve 15 bar tahmini için oluşturduğu modellerin R²'lerini sırasıyla 0.79 ve 0.87, test aşamasında elde edilen R²'leri ise 0.68 ve 0.77 olarak bildirmiştir. Mevcut çalışmada elde edilen test aşaması R² değerlerinin literatür değerlerine yaklaşık olduğu ortadadır.



Şekil 4.15. Killi toprak grubu için gerçek ve tahmini gravimetrik nem içerikleri arasındaki ilişkiler

Killi toprak grubunda tahmin edilen ile gerçek nem değerleri arasındaki ilişkiye özgü R² nem tansiyonlarına bağlı olarak sırasıyla 0.54, 0.50, 0.52, 0.54 olarak belirlenmiştir. 0.1 bar tansiyon için 2 no'lu örneğin modele dahil edilmemesiyle R² 0.59 seviyelerine kadar yükselebilmektedir. Zira söz konusu toprağın penetrasyon direnci grup ortalamalarına göre yüksek seviyelerdedir.

Killi topraklar için oluşturulan tahmin modellerinin R²'leri test aşamasında elde edilen R²'lerden daha yüksektir. Bu durum test aşamasında kullanılan toprakların model eldesinde kullanılan topraklara benzerliğinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Gülser (2004), tarla kapasitesi için oluşturulan tahmin modelinin R²'sini 0.85, tahmin edilen ile gerçek değerler arasındaki R²'yi ise 0.92 olarak belirlemiştir. Ancak çalışmada, nem sabiteleri tahmini için farklı toprak özelliklerinin (kum, kil, organik madde, EC, gözeneklilik) modellerde değerlendirilmesi söz konusu olup modele dahil olan değişken sayısının artmasıyla tahmin edilebilirlik yüksek belirlenmiştir.

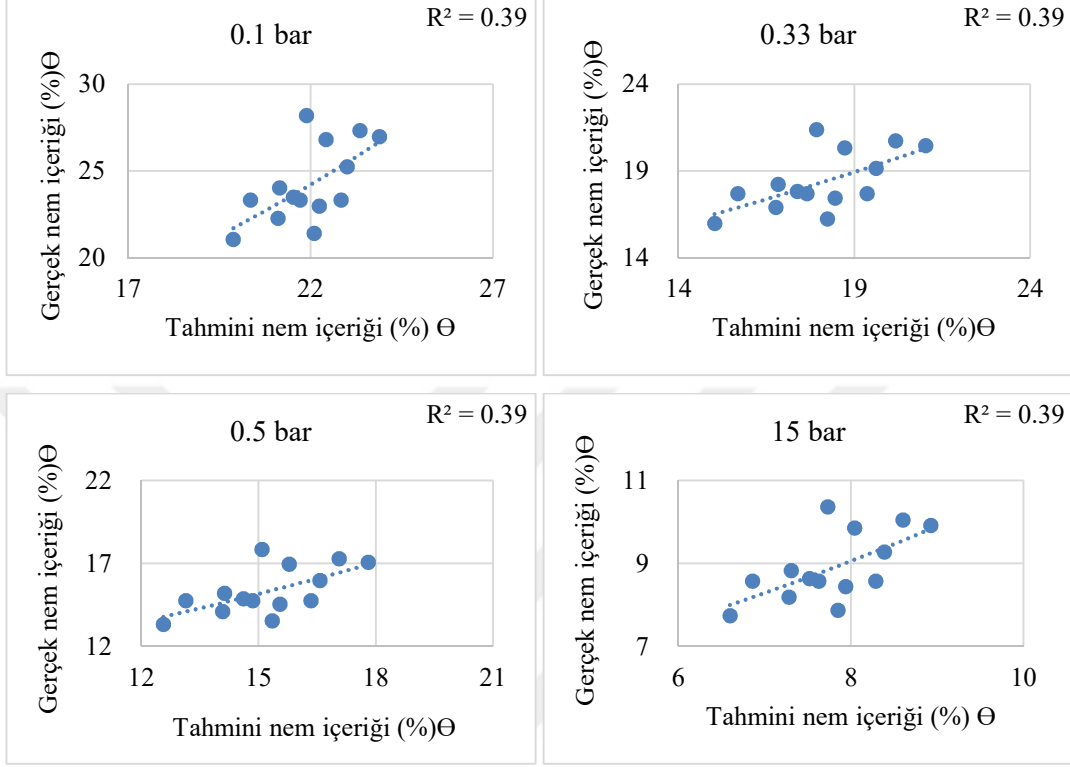
Çizelge 4.18. Modellerin geçerliliği ile ilgili istatistiksel göstergeler

Toprak grubu	Nem tansiyon (bar)	RMSE	ME	R ²
Kumlu	0.1	1.16	0.85	0.46
	0.33	2.22	1.88	0.33
	0.5	2.76	2.27	0.22
	15	2.74	2.45	0.42
Tınlı	0.1	1.63	1.77	0.61
	0.33	1.46	1.75	0.60
	0.5	1.32	1.53	0.64
	15	1.90	2.05	0.59
Killi	0.1	1.75	1.50	0.54
	0.33	1.78	1.55	0.50
	0.5	1.65	1.47	0.52
	15	1.59	1.44	0.54

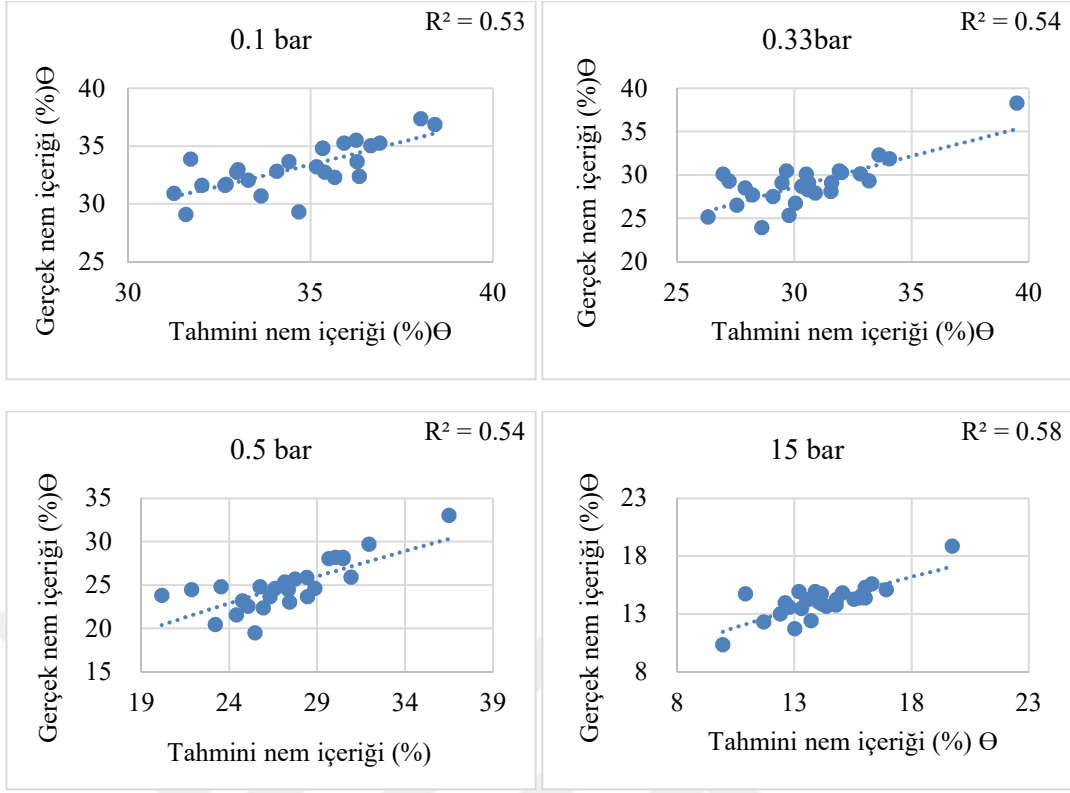
Çizelge 4.18’de verilen RMSE ve ME değerlerinin 0’a, R²’nin ise 1’e yaklaşması daha güvenilir sonuçlar elde edildiğinin bir gösterge olarak değerlendirilmektedir (Keshavarzi vd., 2010; Esmaelnejad vd., 2015). Hata kareler ortalaması karakökü (RMSE) tahmin değerlerinin standart hatası olarak düşünülmektedir. Kumlu, tınlı ve killi topraklar için gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki ilişkilerde en yüksek R² ve en düşük RMSE ve ME değerler sırasıyla 0.1, 0.5 ve 15 bar tansiyonlar için elde edilmiştir. Kumlu topraklar için 0.1 bar’dan 15 bar’a doğru RMSE ve ME değerlerinde artış R²’lerde azalışlar belirlenmiştir. Tınlı topraklar için RMSE ve ME değerlerinde düzenli bir değişim gözlenmezken R²’ler birbirine oldukça yakın bulunmuştur. Killi toprak da ise RMSE, ME ve R²’de ki değişimler tüm tansiyonlar için bir birine oldukça yakındır. Tınlı toprak grubunda 0.1 ve 0.33 bar için oluşturulan modellerin test aşamasında elde edilen R²’ler oldukça benzerdir. Fakat 0.33 bar tansiyon için oluşturulan modelin, testinde elde edilen hata kareler ortalaması karakökü ve ortalama hata daha düşük seviyede olmasından kaynaklı güvenilirlik daha yüksektir. Tüm bünye grupları için ME değerleri 0.85-2.45, RMSE ise 1.16-2.76 aralığında değişim sergilemiştir.

Mohanty vd. (2015) modellerin test aşamasında RMSE değerlerini, tarla kapasitesi için 3.79-4.11, solma noktası için ise 4.38-4.63 aralığında belirlerken Mohamed ve Ali (2006), söz konusu nem sabiteleri için ME değerlerini -0.87 ve -12.91 ve 0.25 ve - 7.24 aralığında bulmuşlardır.

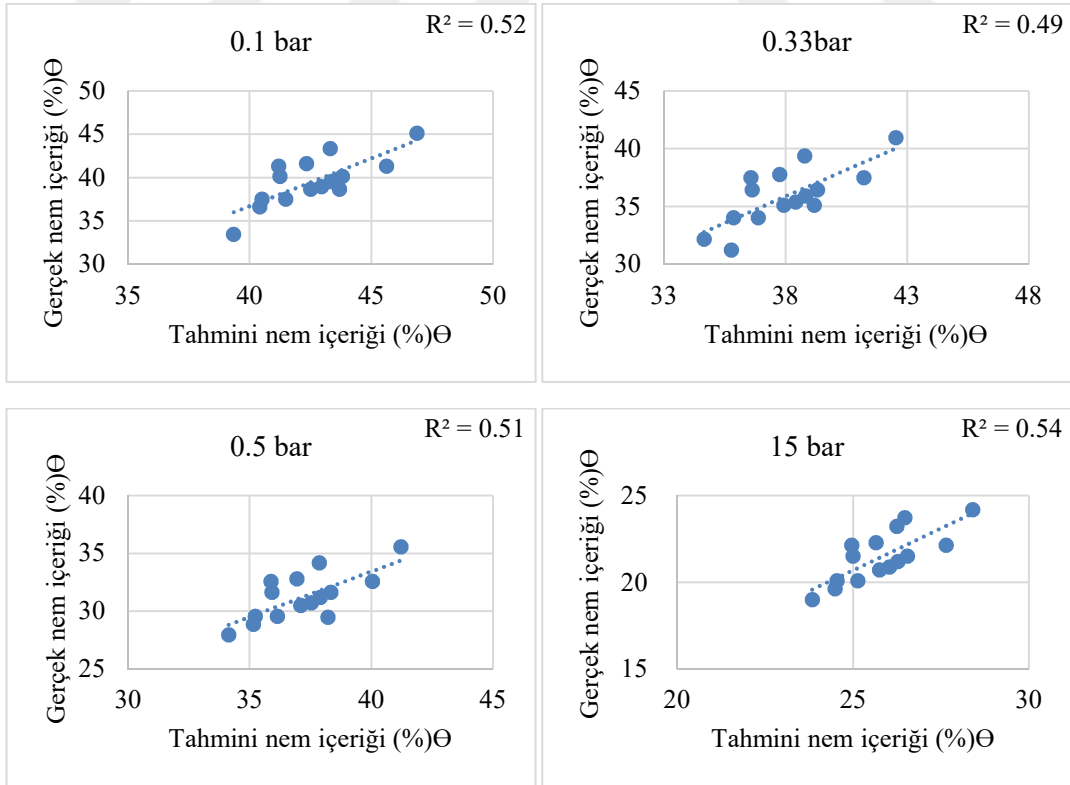
Hacimsel nem içeriği için tahmin edilen ve gerçek değerler arasındaki R^2 'ler Şekil 4.16, 4.17 ve 4.18'de belirtilmiştir. Modellerin uygunluğunun değerlendirilmesinde kullanılan R^2 , RMSE ve ME değerleri ise Çizelge 4.19'da verilmiştir.



Şekil 4.16. Kumlu toprak grubu için gerçek ve tahmini hacimsel nem içerikleri arasındaki ilişkiler



Şekil 4.17. Tınlı toprak grubu için gerçekte ve tahmini hacimsel nem içerikleri arasındaki ilişkiler



Şekil 4.18. Killi toprak grubu için gerçekte ve tahmini hacimsel nem içerikleri arasındaki ilişkiler

Çizelge 4.19. Modellerin geçerliliği ile ilgili istatistiksel göstergeler

Toprak grubu	Nem tansiyonu (bar)	RMSE	ME	R ²
Kumlu	0.1	2.88	2.23	0.39
	0.33	1.47	1.08	0.39
	0.5	1.31	1.06	0.39
	15	1.23	0.91	0.39
Tınlı	0.1	4.10	5.60	0.53
	0.33	3.49	5.11	0.54
	0.5	3.08	4.92	0.54
	15	1.23	1.70	0.58
Killi	0.1	2.36	1.99	0.52
	0.33	2.97	2.53	0.48
	0.5	2.15	1.81	0.51
	15	1.53	1.53	0.54

Kumlu toprak grubunda 0.1, 0.33, 0.5 ve 15 bar tansiyon için elde edilen modelden tahmin edilen ile gerçek nem değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren R² ; tüm nem içeriklerinde 0.39 iken tınlı topraklar için nem içeriklerine bağlı olarak sırasıyla 0.53, 0.54, 0.54, 0.58, killi topraklar için ise 0.52, 0.49, 0.51, 0.54 olarak belirlenmiştir. Farklı toprak grupları itibariyle tahmin edilen ve gerçek değerler arasındaki ilişkiye özgü R²'ler farklı tansiyonlar için birbirine oldukça yakındır. Tahmin ve gerçek değerler arasındaki standart sapmayı belirleyen RMSE değerleri tüm toprak grupları için 1.23-3.49 ve ME değerleri ise 0.91-5.60 aralığında değişim göstermekte olup artan R² değerleri RMSE ve ME değerlerinin düşmesine neden olmuştur. Tüm toprak grupları için tahmin ve gerçek değerler arasındaki ilişkilerde en yüksek R² ve en düşük RMSE ve ME değerleri 15 bar tansiyonlar için elde edilmiştir. Kumlu topraklar için 0.1, 0.33 ve 0.5 bar tahmin modellerinin geçerliliğinin değerlendirilmesinde R²'ler aynı olsa da (0.39) en düşük RMSE ve ME değerleri 0.5 bar için belirlenmiştir.

Genel olarak hacimsel nem içerikleri kullanılarak elde edilen temel modelleme R²'leri daha yüksek bulunmakla birlikte modellerinin test aşamasında gravimetrik nem içeriklerinin kullanımı durumunda daha yüksek R² ve daha düşük RMSE ve MR elde edilmiştir. Busscher, (1990) hacim ağırlığı, saturasyondaki su içeriği ve toprak nem içeriği özelliklerini kullanarak penetrasyon direnci tahmini için oluşturduğu modellerde, nem içeriğini gravimetrik olarak kullanmıştır.

Grup içi toprakların yanında test amaçlı ve model eldesinde kullanılan toprakların özelliklerinin benzerlik göstermesi tahmin ve gerçek değerler arasındaki ilişkinin yüksek çıkmasının temel nedenleri arasındadır. Nitekim birçok araştırmacı da toprakların farklı özellikleri nedeniyle tahmin modellerinin her toprak grubu için kullanılabilir olmadığını bildirmektedir (Yakupoğlu vd.,2013; Mohawesh, 2013; Abdelbaki vd.,2016).

4.5. Alternatif Modellerin Geliştirilmesi

Bu çalışmada, asıl amaç yalnızca penetrasyon direnci yardımıyla belirli nem tansiyonlarının tahmin edilebilirliğinin araştırılması olmakla birlikte, belirlenen diğer bazı temel toprak özelliklerinin kullanımıyla elde edilen alternatif modellerin etkinliği de araştırılmıştır. Bu amaçla toprakların kum, silt, kil, organik madde, % CaCO₃ ve hacim ağırlığı özellikleri de kullanılarak elde edilen çok değişkenli regresyon denklemleri Çizelge 4.20, 4.21, 4.22’de verilmiştir.

Kumlu toprak grubu nem tahmin denklemlerinde, R²’ler, 0.1, 0.33, 0.5 ve 15 bar nem tansiyonlarına göre sırasıyla 0.79, 0.66, 0.59, 0.64 olarak belirlenmiştir. Tüm nem tansiyonları için elde edilen modellere özgü ilişkilerin istatistiksel olarak önemli olduğu bulunmuştur (P<0.05) (Çizelge 4.23). 0.1 bar nem içeriği için elde edilen modelin R²’si oldukça yüksek seviyelerdedir (P<0.01). Söz konusu nem tansiyonu için hacim ağırlığı, kil, kum, CaCO₃, organik madde ve penetrasyon direnci özellikleri kullanılarak elde edilen model % 79 tahmin doğruluğuna sahiptir. Gülser, (2004) tarafından kum, silt, kil, organik madde, EC ve gözeneklilik özellikleri kullanılarak oluşturulan modellerde, tarla kapasitesi ve solma noktasının % 85 ve %96 oranında tahmin edilebildiği bildirilmiştir. Mevcut çalışmadan farklı olarak modelde EC ve gözeneklilik özelliklerine yer verilmesinin tahmin doğruluğunu arttırdığı değerlendirilmektedir.

Çizelge 4.20. Kumlu toprak grubuna özgü nem sabiteleri için regresyon denklemleri

Nem tansiyonları (bar)	
0.1	= 19.4+0.21a-0.114b-0.107c+0.413ç+0.626d+4.44e
0.33	= -3.6+4.20a-0.055b+0.044c+0.536ç-0.24d+5.97e
0.5	= -7.9+5.8a+0.07b+0.046c+0.406ç-0.33d+4.52e
15	= 29-0.63a-0.169b-0.274c+0.330ç-0.423d+0.182e
a:hacim ağırlığı (g cm ⁻³) b:%kil. c: %kum ç: % CaCO ₃ . d: %organik madde e:penetrasyon direnci (MPa)	

Çizelge 4.21. Tınlı toprak grubuna özgü nem sabiteleri için regresyon denklemleri

Nem tansiyonları (bar)	
0.1	= 13.429+0.63a+0.0157b+0.0534c-0.0092ç+0.789d+8.01e
0.33	= 11.4-0.89a+0.0290b+0.0580c-0.0151ç+0.751d+6.94e
0.5	= 9.55-0.87a+0.0486b-0.0682c-0.0204ç+0.721d+5.23e
15	= 3.78-0.17a+0.0631b+0.0757c-0.0031ç+0.392d+1.29e
a:hacim ağırlığı (g cm ⁻³) b:%kil. c: %kum ç: % CaCO ₃ . d: %organik madde e:penetrasyon direnci (MPa)	

4.22. Killi toprak grubuna özgü nem sabiteleri için regresyon denklemleri

Nem tansiyonları (bar)	
0.1	= 28-4.11a+0.0036b+0.120c-0.0542ç+0.018d+4.53e
0.33	= 26.6-1.95a+0.0105b-0.09c-0.0230ç-0.558d+4.94e
0.5	= 25.6-4.67a+0.0112b+0.041c-0.0232ç-0.580d+3.91e
15	=19.7-6.55a-0.0245b-0.002c-0.0186ç+0.267d+2.12e
a:hacim ağırlığı (g cm ⁻³) b:%kil. c: %kum ç: %CaCO ₃ . d: %organik madde e:penetrasyon direnci (MPa)	

Çizelge 4.23. Regresyon denklemlerinin R² ve P değerleri

Toprak grubu	Nem tansiyonu (bar)	R ²	P
Kumlu	0.1	0.79	0.000
	0.33	0.66	0.008
	0.5	0.59	0.028
	15	0.64	0.011
Tınlı	0.1	0.72	0.000
	0.33	0.77	0.000
	0.5	0.71	0.000
	15	0.74	0.000
Killi	0.1	0.48	0.165
	0.33	0.37	0.330
	0.5	0.27	0.588
	15	0.50	0.118

Toprak grupları arasında tüm nem tansiyonları için tahmin edilebilirliği en yüksek olan tınlı toprak grubu olarak belirlenmiştir. Tınlı toprak grubu için nem tansiyonlarına göre R²'ler sırasıyla 0.72, 0.77, 0.71, 0.74 olarak belirlenmiştir. İstatistiksel olarak önemli (P<0.01) bulunan söz konusu tahmin modelleri tüm nem tansiyonları için yaklaşık % 70 oranında tahmin edilebilirlik sağlamaktadır. Cemek, (2004) tarafından; toprak nem sabitelerinin tahminine yönelik bir çalışmada tanecik boyutu, hacim ağırlığı gibi parametrelerin kullanımıyla oluşturulan modellerin tahmin doğruluğunu arttıracığı bildirilmiştir.

Killi topraklar için oluşturulan modellerin R²'leri ise 0.48, 0.37, 0.27, 0.50 şeklindedir. Tahmin modellerinin R²'leri diğer bünye gruplarına göre çok daha düşük seviyelerdedir ve istatistiksel olarak önemli değildir.

Çoklu regresyon modelinde değişken eleme ve ekleme yönteminin (stepwise) kullanıldığı durumda elde edilen regresyon denkleminde; bağımlı değişken olarak; nem içeriği, bağımsız değişkenler olarak da; kum, silt, kil, hacim ağırlığı, penetrasyon direnci, organik madde ve CaCO₃ modele dahil edilmiştir.

Çizelge 4.24. Kumlu toprak grubuna özgü nem sabiteleri için stepwise regresyon denklemleri

Nem tansiyonu (bar)	Model	R ²
0.1	¹ =10.976 + 5.64a	0.62
	² =9.965 + 5.57a + 0.49b	0.74
	³ = 9.430 + 4.54a + 0.41b + 0.121c	0.78
a:penetrasyon direnci, b: % CaCO ₃ , c: silt		
0.33	¹ =7.105 + 5.2a	0.54
	² = 6.075 + 5.2a + 0.47b	0.62
	a:penetrasyon direnci, b: % CaCO ₃	
0.5	¹ =6.246 + 3.38a	0.37
	² =-2.930 + 4.10a + 5.9b	0.51
	³ = - 4.032 + 4.17a + 6.1 b + 0.37c	0.58
a: Penetrasyon direnci,b:Hacim ağırlığı, c: % CaCO ₃		
15	¹ =28.08 - 0.275a	0.48
	² =16.775 - 0.158a + 0.145b	0.58
	³ = 13.124 - 0.122a + 0.150b + 0.28c	0.59
a: kum, b:silt, c: % CaCO ₃		

Stepwise yöntemine göre elde edilen regresyon denklemleri kapsamında; kumlu topraklar için en yüksek R²'ler 0.1, 0.33, 0.5 ve 15 bar nem tansiyonlarına göre sırasıyla 0.78, 0.62, 0.58, 0.59 şeklinde belirlenmiştir. Nem tansiyon artışına bağlı olarak, tahmin modellerinin R²'lerinde genel bir azalma eğilimi söz konusudur. Kumlu topraklar da düşük tansiyonlarda tutulan nem içeriklerinde asıl etki kaynaklarının penetrasyon direnci ve CaCO₃, 15 bar için ise kum ve silt olduğu gözlenmiştir.

0.1 bar tansiyonda tutulan nem içeriği için; yalnızca penetrasyon direncinin kullanımıyla elde edilen R^2 (0.62) değeri denkleme % CaCO_3 içeriğinin dahil olmasıyla yaklaşık % 11'lik bir artış göstermiştir. Bu durum; agregasyonun toprağın su tutma özelliğini arttıran bir faktör (Zibilske ve Bradford, 2007) olması ve CaCO_3 içeriği'nin (Yılmaz vd., 2005) ve Ca doygunluğunun (Özbek vd., 1993) agregasyon üzerindeki etkinliğinin bir sonucu olarak değeriendirilmiştir. 0.1 bar için penetrasyon direnci, % CaCO_3 ve siltin kullanımıyla % 78 oranında açıklanabilir sonuçlar elde edilmiştir.

0.33 bar tansiyonda tutulan nem içeriği için; sadece penetrasyon direnci kullanıldığı modellerin tahmin doğruluğu % 54 seviyelerindedir. Modele CaCO_3 eklenmesiyle % 8'lik bir artış gözlenmektedir (Çizelge 4.24).

0.5 bar'da tutulan nem içeriği tahmini için penetrasyon direnci, hacim ağırlığı ve CaCO_3 içeriğinin yer aldığı modelde R^2 0.58 olarak belirlenmiştir. Penetrasyon direncine ek olarak hacim ağırlığının modelle dahil olmasıyla R^2 %13 artmıştır (Çizelge 4.24). Nem içeriği azalışının hacim ağırlığında artışa (Korenkova ve Urik, 2012) yol açmasına ilişkin bulgular mevcut çalışma verileriyle uyumludur. Penetrasyon direnci ve hacim ağırlığına CaCO_3 eklenmesi yaklaşık % 7'lik bir artışa neden olmuştur. Kumlu toprak grubunda kum fraksiyonunun oldukça etkili olduğu açıktır. Keza, bünyesel fraksiyonlar arasında kum'un kütle yoğunluğu üzerinde daha etkili (Chaudhari vd., 2013) olması yine mevcut çalışma verileriyle uyumludur.

15 bar için kum ve siltin yer aldığı modelde R^2 , % 58 seviyelerinde belirlenirken, CaCO_3 'ün modele dahil olmasının pek etkili olmadığı gözlenmiştir.

Çizelge 4.25. Tınlı toprak grubuna özgü nem sabiteleri için stepwise regresyon denklemleri

Nem tansiyonu (bar)		Model	R ²
0.1		¹ =16.08 + 10.14a	0.65
		² =14.91+ 8.94a +1.06b	0.69
		³ =14.53+8.06a+0.82b+0.050c	0.71
		a=penetrasyon direnci, b=organik madde, c=silt	
			R²
0.33		¹ =12.28 +8.59a	0.71
		² =11.17 +7.60a+ 1.07b	0.75
		³ =10.75+6.88a+0.83b+0.052c	0.77
		a=penetrasyon direnci, b=organik madde, c=silt	
			R²
0.5		¹ =11+ 6.68a	0.62
		² =15.59+ 5.62a - 0.072b	0.68
		³ =13.76 + 5.25a - 0.057b + 0.78c	0.69
		a=penetrasyon direnci,b=kum, c= organik madde	
			R²
15		¹ =7.44+1.79 a	0.56
		² =11.595+1.36a - 0.080b	0.73
		³ =1.29+8.07a- 0.071b+ 0.41c	0.74
		a=penetrasyon direnci,b=kum, c=organik madde	

Tınlı toprak grubu tahmin denklemlerinin R²'leri, 0.1, 0.33, 0.5 ve 15 bar için sırasıyla 0.71, 0.77, 0.69, 0.74 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.25). Sadece penetrasyon direncinin bağımsız değişken olarak kullanımı tüm nem tansiyonları için R²'nin, yaklaşık % 60 seviyelerinde bulunmasına yol açmıştır. Yine 0.1 ve 0.33 bar nem seviyeleri için penetrasyon direnci tek başına % 65 ve % 71 seviyelerinde açıklanabilirlik sağlamaktadır. Penetrasyon direncine ek olarak organik madde içeriğinin modellere dahil edilmesi yaklaşık % 5'lik bir artışa neden olurken silt'in de dahil olması modellerdeki açıklanabilirlik % 71 ve % 77 seviyelerine kadar yükselmiştir. Özellikle organik maddenin su tutma özelliğini arttırmada (Yılmaz ve Alagöz, 2008) daha etkili olduğu ortadadır.

0.5 ve 15 bar için modellere, penetrasyon direncine ek olarak kum içeriğinin dahil olması R²'de % 5 ve 7 oranında artışlara neden olmuştur. Kum içeriği ve nem içeriği arasında negatif yönlü ilişki (Pan vd., 2012) mevcut çalışma kapsamındaki modellerde de etkisini göstermiştir. 0.5 bar tansiyon için penetrasyon direnci yanında

kum ve organik maddenin modele dahil olması açıklanabilirliği sırasıyla % 69 ve 74 seviyelerinde olmasını sağlamıştır. Kum'un organik maddeye göre daha etkili olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 4.26. Killi toprak grubuna özgü nem sabiteleri için stepwise regresyon denklemleri

Nem tansiyonu (bar)	Model	R ²
0.1	¹ =26.44 + 5.1a	0.37
0.33	¹ =22.69 + 4.5a	0.33
0.5	¹ =20.03 + 3.6a	0.21
15	¹ =10.65 + 2.04a ² =17.64 + 2.29a - 5.7b	0.38 0.46
a=Penetrasyon direnci, b=Hacim ağırlığı		

Killi topraklara özgü tahmin denklemlerinin R²'leri 0.37, 0.33, 0.21 ve 0.46 olarak bulunmuştur. Diğer toprak grupları ile benzer olarak, bağımsız değişkenlerden penetrasyon direnci ve hacim ağırlığı daha etkilidir. 15 bar nem içeriği için penetrasyon direncine ek olarak hacim ağırlığının modele katılımı R²'de yaklaşık % 8 seviyelerinde bir artışa yol açmıştır.

Minasny, (2009) tarafından toprakların kum içeriği ve hacim ağırlığı özellikleri kullanılarak tarla kapasitesi tahmini için geliştirilen modellere ilişkin R² değerleri sırasıyla 0.81 ve 0.88 olarak bulunmuştur. Yine Canbolat, (1999) tarafından tarla kapasitesi, solma noktası ve yarayılı su içeriğinin tahmininde çoklu regresyon modelleri ile tarla kapasitesi % 96, solma noktası % 97, yarayılı su ise % 78 oranında diğer toprak özellikleri kullanılarak açıklanabilmektedir.

Elde edilen alternatif modellerin test aşamasına ilişkin R², RMSE ve ME değerleri Çizelge 4.27'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.27. Alternatif modellerin geçerliliği ile ilgili istatistiksel göstergeler

Toprak grubu	Nem tansiyonu (bar)	Genel Regresyon			Stepwise		
		RMSE	ME	R ²	RMSE	ME	R ²
Kumlu	0.1	3.5	3.44	0.75	4.16	4.06	0.51
	0.33	2.76	2.61	0.64	2.98	2.78	0.44
	0.5	2.64	2.17	0.46	2.00	1.60	0.01
	15	0.78	0.67	0.60	0.91	0.78	0.43
Tınlı	0.1	2.44	2.03	0.45	1.70	1.25	0.76
	0.33	2.38	2.15	0.43	1.60	1.44	0.76
	0.5	1.38	1.19	0.82	1.54	1.17	0.82
	15	2.43	2.02	0.10	5.08	3.97	0.63
Killi	0.1	4.22	3.72	0.13	1.68	1.43	0.51
	0.33	2.65	2.20	0.36	1.96	1.59	0.32
	0.5	1.86	1.62	0.33	1.57	1.29	0.32
	15	1.91	1.66	0.55	1.40	1.13	0.30

Tüm toprak grupları için genel regresyon modelleri kapsamında; RMSE değerleri 0.78-4.22, ME, 0.67-3.72 ve R²'nin 0.10-0.82 arasında, Stepwise modellerinde ise RMSE, 0.91-5.08, ME, 0.78-4.06 ve R²'nin ise 0.01-0.82 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Kumlu topraklar için genel regresyon denklemi kullanılarak elde edilen gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki ilişkinin 0.5 bar dışında yüksek seviyelerde olduğu belirlenmiştir. 0.33 ve 15 bar nem içerikleri için R²'ler birbirine oldukça yakın olup, 15 bar için RMSE ve ME değerleri daha düşüktür. Dolayısıyla söz konusu modelin geçerliliği daha yüksektir. Yine benzer durum stepwise ile oluşturulan model içinde geçerlidir.

Tınlı topraklarda, genel olarak stepwise ile oluşturulan tahmin modellerinin geçerliliği daha yüksek seviyelerde (0.76, 0.76, 0.82, 0.63) belirlenmiştir. Söz konusu toprak grubunda 15 bar tahmin modelinde genel regresyon modellerinin geçerliliği çok düşük iken (0.10) stepwise modelinin ki daha yüksek (0.63) seviyelerdedir. Toprak grubu içerisinde örnek sayısının fazla olması kapsamında toprak özelliklerinin farklılık göstermesi bu sonucun ortaya çıkmasında etkilidir. Keza, tahmin doğruluğunun düşmesine neden olmuştur. Diğer toprak grupları

içerisinde modellerin geçerliliği en yüksek tınlı toprak grubu için elde edilmiştir. Mohanty vd. (2015) tarafından tarla kapasitesi ve solma noktası nem sabiteleri tahmin modellerinden elde edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki ilişkilere özgü R^2 değerleri sırasıyla 0.90 ve 0.84 olarak belirlenmiştir.

Killi topraklar için tahmin ve gerçek değerler arasındaki ilişkiler, hem genel regresyon modellerinde hem de stepwise ile oluşan modellerde oldukça düşük bulunmuştur. Genel regresyon modellerinde; en yüksek RMSE ve ME değerleri killi toprak grubunda 0.1 bar için elde edilmiştir. Söz konusu modellerde R^2 'lerinin düşük olduğu belirlenmiştir.

Alternatif modellerin test edilmesi sonucunda; kumlu topraklar da tarla kapasitesinin tahmini için 0.1 bar genel regresyon modelinin ve tınlı topraklar için 0.33 bar stepwise modelinin kullanımı önerilmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; farklı toprak gruplarında bazı tansiyonlara ait nem içeriklerinin, arazide hızlı bir şekilde belirlenebilen penetrasyon direnci yardımıyla tahmin edilebilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla toplamda 107 noktadan bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri alınmıştır. Örnelerin 21'i kumlu, 66'sı tınlı, 20'si ise killi toprak grubu içerisinde yer almıştır. Örnekleme noktalarından, ilk olarak yaklaşık tarla kapasitesi nem seviyesinde ve sonrasında 2-3 gün aralıklarla nem-PR ölçümleri yapılmıştır. Her toprak grubu için farklı nem tansiyonlarına (0.1, 0.33, 0.5 ve 15 bar) özgü ortalama bir nem değeri elde edilmiştir. Daha sonra toprakların bireysel grafikleri aracılığıyla ortalama nem'e karşılık gelen PR değerleri (PRon) bulunmuş ve laboratuvar nem içerikleri ile ilişkilendirilmiştir. Daha sonra farklı nem düzeylerinde yapılan penetrasyon direnci ölçümlerinin standart bir nem düzeyine (on) dönüştürülmesi için genel nem - PR eğrileri yardımıyla nem düzeltme denklemleri oluşturulmuştur. Çalışmada, nem sabitelerine özgü elde edilen modeller test edilmiş ve ayrıca toprakların bazı özellikleri ile söz konusu nem sabiteler için regresyon tahmin denklemleri elde edilmiştir. Kısacası bu çalışma kapsamında, bölge topraklarının nem - penetrasyon direnci ilişkileri ve standart bir nem düzeyi için PR dönüşümleri aracılığı ile nem sabitelerinin tahmini sağlanmıştır.

Kumlu toprak grubu için oluşturulan nem - penetrasyon direnci ilişkileri için R^2 , 0.80 ve 0.92 arasında değişim göstermiştir. Söz konusu R^2 'ler tınlı toprak grubun'da 0.72 ve 0.94, killi topraklar'da ise 0.73 ve 0.92 arasındadır. Oluşturulan modellerde en yüksek ilişki exponansiyel denklemlerle elde edilmiştir.

Penetrasyon direnci yardımıyla 0.1, 0.33, 0.5 ve 15 bar gravimetrik nem içeriği tahmin modellerinde; Kumlu ve killi topraklar için en yüksek ve en düşük ilişkiler; 0.1 (0.63, 0.42) ve 0.5 bar'da (0.37, 0.23) iken, tınlı topraklar için ise 0.33 (0.73) ve 15 bar'da (0.63), belirlenmiştir. Genel olarak modellerin nem içeriği tahmin gücü toprak grubuna göre tınlı>kumlu>killi şeklinde sıralanmıştır. Tarla kapasitesi belirlemelerinde, kumlu topraklar için 0.1 bar, tınlı topraklar için 0.33 bar tahmin modellerinin kullanılabileceği öngörülmektedir ($P<0.05$).

Hacimsel nem içeriği kullanılarak oluşturulan tahmin modellerinde 0.1, 0.33, 0.5 ve 15 bar için R^2 'ler; kumlu topraklarda sırasıyla 0.52, 0.51, 0.34 ve 0.23 şeklinde olup tınlı topraklar için, 0.72, 0.79, 0.74 ve 0.68 ve killi topraklar için ise 0.51, 0.52, 0.49 ve 0.41'dir. Özellikle tınlı toprak grubu için oluşturulan modellerde nem içeriğindeki herhangi bir değişim penetrasyon direnci aracılığıyla yüksek doğrulukla açıklanabilmektedir. Kumlu topraklar için, gravimetrik nem içeriği ile elde edilen modeller daha yüksek ilişki gösterirken diğer toprak gruplarında hacimsel nem içeriği ile elde edilen tahmin modelleri daha yüksek ilişkiler göstermiştir.

Gravimetrik nem içeriği ile oluşturulan tahmin modellerinin güvenilirliğinin test aşamasında en yüksek R^2 ve en düşük RMSE ve ME; kumlu topraklarda 0.1 bar (0.46) için, tınlı toprakta 0.5 bar (0.64) ve killi toprakta ise 15 bar için (0.53) belirlenmiştir. Modellerde tahmin ve gerçek değerler arasındaki farklılığın karşılaştırılmasında kullanılan RMSE ve ME değerleri tüm toprak grupları için sırasıyla 1.16 - 2.76 ve 0.85 - 2.45 aralığında değişmiştir. Kumlu ve killi toprak gruplarında farklı nem tansiyonları için oluşturulan modellerin R^2 'lerinde anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir. Tınlı topraklarda 0.1, 0.33, 0.5 ve 15 bar tansiyonlar için yüksek R^2 'ler elde edilmiştir. Dolayısıyla yalnızca penetrasyon direnci kullanılarak nem içeriği tahmini yapılması durumunda, tınlı toprak grubunda daha güvenilir sonuçların elde edileceği öngörülmektedir.

Hacimsel nem içeriği ile oluşturulan tahmin modellerinin test aşamasında; 0.1, 0.33, 0.5 ve 15 bar tansiyonları için R^2 'ler, kumlu topraklarda tüm nem içerikleri için 0.39, tınlı topraklar'da ise nem içeriklerine bağlı olarak sırasıyla 0.53, 0.54, 0.54 ve 0.58 ve killi topraklar'da ise 0.52, 0.49, 0.51 ve 0.54 olarak belirlenmiştir.

Modellerin test aşamasında, RMSE değerleri tüm toprak grupları için 1.23 ve 3.49, ME değerleri ise 0.91 ve 5.60 aralığında değişim göstermiştir. Genel olarak hacimsel nem içeriği ile oluşturulan denklemlerin R^2 'leri daha yüksek bulunsa da, modellerin test aşamasında tahmin gücünün gravimetrik nem içeriği kullanıldığı durumda daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla gravimetrik nem içeriği kullanılarak elde edilen modellerin kullanımı önerilmektedir.

Alternatif olarak toprakların diğer bazı özelliklerinin de (kum, silt, kil, organik madde, penetrasyon direnci, kil, hacim ağırlığı) kullanımıyla elde edilen regresyon denklemlerinde, tüm nem tansiyonları için en yüksek ilişkiler yine tınlı topraklarda belirlenmiştir. Kumlu toprakların 0.1 bar nem içeriği tahmin modeli % 79 doğruluğa işaret ederken tınlı toprak grubunda tüm nem tansiyonları için nem içeriğindeki herhangi bir değişim % 72 ve 77 aralığında açıklanabilmektedir. Killi topraklarda ise en yüksek R^2 0.50 (15 bar) bulunmuştur. Kumlu toprak grubu için 0.1 bar, tınlı toprak grubunda ise 0.33 bar tahmin modellerinin açıklanabilirlikleri yüksektir. Ayrıca değişken eleme yöntemlerinden stepwise'in kullanımıyla oluşturulan modellerde, tüm toprak grupları için bağımsız değişken olarak modele dahil olan en etkili parametrenin penetrasyon direnci olduğu bulunmuştur.

Alternatif modellerin test aşamasın itibarıyla; tüm toprak gruplarında genel regresyon modelleri için RMSE değerleri, 0.78 ve 4.22, ME, 0.67 ve 3.72 ve R^2 ise 0.10 ve 0.82 iken Stepwise'da RMSE değerleri, 0.91 ve 5.08, ME 0.78 ve 4.06 ve R^2 ise 0.01 ve 0.82 aralığında belirlenmiştir. Alternatif modellerin test edilmesi sonucunda; kumlu topraklar için tarla kapasitesi tahmininde genel regresyon modelinde 0.1 bar, tınlı topraklarda ise stepwise'da elde edilen 0.33 bar tahmin modellerinin kullanımıyla daha doğru sonuçlar elde edilebileceği öngörülmektedir.

Bu çalışma kapsamında; tüm farklı değerlendirmelerde, tınlı topraklar için nispeten yüksek ilişkiler elde edilirken kumlu ve killi topraklar için aynı ilişkiler bulunamamıştır. İlişkilerin düşük belirlendiği toprak gruplarında değişkenliği fazla olduğu ve bunların modele dahil edilmemesiyle ilişkilerin arttığı değerlendirilmiştir. Bu kapsamda söz konusu toprak gruplarında, daha yüksek doğrulukla açıklanabilen modeller oluşturulabileceği ön görölmektedir. Ayrıca model oluşturma aşamalarında farklı tahmin programları ve istatistik yaklaşımları kullanılarak özellikle kumlu ve killi topraklar için alternatif modellerin geliştirilmesi üzerinde çalışılması önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- Abdelbaki, A.M., 2016. Evaluation of Pedotransfer Functions for Predicting Soil Bulk Density for US Soils. *Ain Shams Engineering Journal*.
- Aggelides, S.M., Londra, P.A., 2000. Effects of Compost Produced from Town Wastes and Sewage Sludge on the Physical Properties of a Loamy and a Clay Soil. *Bioresource Technology*, 71, 253-259.
- Akgül, M., Başayığıt, L., Uçar, Y., Müjdecı, M., 2001. Atabey Ovası Toprakları. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No: 15, 71s, Isparta.
- Akgül, M., Özdemir, N., 1996. Regression Models for Predicting Bulk Density from Measured Soil Properties. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 20, 407-413.
- Aksakal, E.L., 2004. Toprak Sıkışması ve Tarımsal Açından Önemi. *Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 35(3-4), 247-252.
- Aksakal, E.L., Öztaş, T., Özgül, M., 2008. Time-Dependent Changes in Distribution Patterns of Soil Penetration Resistance in a Rangeland Under Overgrazing. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 35, 195-204.
- Aksakal, E.L., Öztaş, T., 2010. Changes in Distribution Patterns of Soil Penetration Resistance Within a Silage-Corn Field Following the Use of Heavy Harvesting Equipments. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 34, 173-179.
- Alpar, R., 2017. Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemler. Detay Yayıncılık, 43s, Ankara.
- Alvarez-Acosta, C., Lascano, R.J., Stroosnijder, L., 2012. Test of the Rosetta Pedotransfer Function for Saturated Hydraulic Conductivity. *Open Journal of Soil Science*, 2, 203-212.
- Anonim, 1994. Isparta İli Arazi Varlığı. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, İl raporu, 32, Ankara.
- Anonim, 2018. Isparta İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü. Jeolojik Yapı. Erişim:25.03.2018. <http://www.ispartakulturturizm.gov.tr/TR-71017/jeolojik-yapi.html>.
- Arslan, H., Tasan, M., Yıldırım, D., Koksall, E.S., Cemek, B., 2014. Predicting Field Capacity, Wilting Point, and the Other Physical Properties of Soils Using Hyperspectral Reflectance Spectroscopy: Two Different Statistical Approaches. *Environ Monit Assess*, 186, 5077–5088.
- Aubertin, G.M., Kardos, L.T., 1965. Root Growth Through Porous Media Under Controlled Conditions: I. Effect of Pore Size and Rigidity. *Soil Science Society of America Journal*, 29(3), 290-293.

- Aydemir, O., Akgül, M., Canbolat, M.Y., Işıldar, A.A., 2005. Toprak Bilgisi. Ziraat Fakültesi Yayın No:10, Ders Notu Yayın No:1, 172s, Isparta.
- Ayers, P.D., Perumpral, J.V., 1982. Moisture and Density Effect on Cone Index. Transactions of the ASAE, 25(5), 1169-1172.
- Azlan, A., Aweng, E.R., Ibrahim, C.O., Noorhaidah, A., 2012. Correlation Between Soil Organic Matter, Total Organic Matter and Water Content with Climate and Depths of Soil at Different Land Use in Kelantan, Malaysia. Journal of Applied Sciences and Environmental Management, 16(4), 353-358.
- Bahtiyar, M., 1978. Toprak Suyu, Toprakta Su Tutulması ve Rutubet Tansiyonu. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 9(4), 105-119.
- Bahtiyar, M., 1979. Toprak Strüktürü, Oluşumu ve Önemi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 10(3-4).
- Baldock, J.A., 2007. Composition and Cycling of Organic Carbon in Soils. P. Marschner, P., Rengel, Z. (Ed.), In Nutrient Cycling in Terrestrial Ecosystems (1-36). Springer, Verlag Berlin Heidelberg.
- Barros, A.H.C., 2010. Desenvolvimento de Funções de Pedotransferência e Sua Utilização em Modelo Agro-hidrológico. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Tese de Doutorado 149p Piracicaba
- Başayığıt, L., Şenol, H., Müjdecı, M., 2008. Isparta İli Meyve Yetiştirme Potansiyeli Yüksek Alanların Bazı Toprak Özelliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Haritalanması. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 9(2), 1-10.
- Bayat, H., Neyshaburi, M.R., Mohammadi, K., Nariman-Zadeh, N., Irannejad, M., 2013. Improving Water Content Estimations Using Penetration Resistance and Principal Component Analysis. Soil and Tillage Research, 129, 83-92.
- Bayat, H., Zadeh, G.E., 2018. Estimation of the Soil Water Retention Curve Using Penetration Resistance Curve Models. Computers and Electronics in Agriculture, 144, 329-343.
- Bengough, A.G., Mc Kenzie, C.J., 1994. Simultaneous Measurement of Root Force and Elongation of Seedling Pea Roots. Journal of Experimental Botany, 45, 95-102.
- Beutler, A. N., Centurion, J. F., 2004. Resistência à Penetração em Latossolos: Valor Limitante à Produtividade de Arroz de Sequeiro. Ciência Rural, 34(6).
- Bradford, J. M., 1986. Penetrability. Clude, A. (ED.), Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods (463-478). Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, 1188p, America

- Brooks, R.J., Corey, A. T., 1964. Hydraulic Properties of Porous Media. Hydrology Paper 3. Fort Collins: Colorado State University.
- Budak, M., Günal, H., Çelik, İ., Acır, N., Sırrı, M., 2018. Dicle Havzası Toprak Özelliklerinin Yersel Değişimlerinin Jeostatistik ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Belirlenmesi ve Haritalanması. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 5(2), 103-115.
- Burke, I.C., Yonker, C.M., Parton, W.J., Cole, C.V., Schimel, D.S., Flach, K., 1989. Texture, Climate, and Cultivation Effects on Soil Organic Matter content in US grassland soils. Soil Science Society of America Journal, 53(3), 800-805.
- Busscher, W.J., 1990. Adjustment of Flat-Tipped Penetrometer Resistance Data to A common Water Content. Erişim: 08.08.2015. <http://naldc.nal.usda.gov/download/18014/PDF>.
- Busscher, W.J. ve Bauer, P.J., 2003, Soil Strength, Cotton Root Growth and Lint Yield in a Southeastern USA Coastal Loamy Sand, Soil & Tillage Research, 74, 151–159.
- Canbolat, M., 1999. Bazı Toprak Nem Karakteristiklerinin Tane Büyüklük Dağılımı ve Organik Karbon İçeriğinden Tahmin Edilmesi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 30(2).
- Cemek, B., Meral, R., Apan, M., Merdum, H., 2004. Pedotransfer Funtion fort the Estimation of the Field Capacity and Permanent Wilting Point. Pakistan Journal of Biological Science, 7(4), 535-541.
- Chang, C.W., Laird, D.A., Mausbach, M.J., Hurburgh, C.R., 2001. Near-Infrared Reflectance Spectroscopy–Principal Components Regression Analyses of Soil Properties. Soil Science Society of America Journal, 65(2), 480-490.
- Corine, 2012. Arazi Örtüsü İstatistik Verileri. Erişim: 19.02.2019. <http://corine.tarimorman.gov.tr/corine>.
- Cosby, B.J., Hornberger, G.M., Clapp, R.B., Ginn, T.R., 1984. A Statistical Exploration of the Relationship of Soil Moisture Characteristics to the Physical Properties of Soils. Water Resources Research, 20, 682–690.
- Cozzolino, D., Moron, A., 2003. The Potential of Near-Infrared Reflectance Spectroscopy to Analyse Soil Chemical and Physical Characteristics. The Journal of Agricultural Science, 140(1), 65-71.
- Chaudhari, P.R., Ahire, D.V., Ahire, V.D., Chkravarty, M., Maity, S., 2013. Soil Bulk Density as Related to Soil Texture, Organic Matter Content and Available Total Nutrients of Coimbatore Soil. International Journal of Scientific and Research Publications, 3 (2), 1-8.

- Çepel, N., 1988. Toprak İlimi Ders Kitabı; Orman Topraklarının Karakteristikleri, Toprakların Oluşumu, Özellikleri ve Ekolojik Bakımdan Değerlendirilmesi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 3416, 276s, İstanbul.
- Dahnke, W.C., Whitney, D.A., 1988. Measurement of Soil Salinity. Recommended Chemical Soil Test Procedures for the North Central Region, 221, 32-34.
- De Vos, B., Vandecasteele, B., Deckers, J., Muys, B., 2005. Capability of Loss on Ignition as a Predictor of Total Organic Carbon in Non Calcareous Forest Soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 36(19-20), 2899-2921.
- Demiralay, 1993. Toprak Fiziksel Analizleri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 143s, Erzurum.
- Devlet Su İşleri (DSİ), 2017. Erişim Tarihi:23.11.2015. <http://www.dsi.gov.tr/>.
- Dexter, A. R., Czyż, E. A., Richard, G., Reszkowska, A., 2008. A User-Friendly Water Retention Function that Takes Account of the Textural and Structural Pore Spaces in Soil. Geoderma, 143(3-4), 243-253.
- Diallo, D., Mariko, A., 2013. Field capacity (FC) and Permanent Wilty Point (PWP) of Clay Soils Developed on Quaternary Alluvium in Niger River Loop (Mali). International Journal of Engineering Science, 3, 1085-1089.
- EPIC/ASW, 2006. EPIC/ASW utility in EPIC Util source code, TAES, Temple, Texas.
- Esmaelnejad, L., Ramezanpour, H., Seyedmohammadi, J., Shabanpour, M., 2015. Selection of a Suitable Model for the Prediction of Soil Water Content in North of Iran. Spanish Journal of Agricultural Research, 13(1), 1202.
- Filho, J.T., Feltran, C.T.M., José Francirlei de Oliveira, J.F., Almeida, E., 2012. Modelling of Soil Penetration Resistance for an Oxisol under No-Tillage. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 36, 89-95.
- Gracia, C., Alemany, E., Bautista, I., 2012. Relationship Among Compaction, Moisture and Penetration Resistance in Horticultural Soil. In Soil and Water Engineering. International Conference of Agricultural Engineering Agriculture and Engineering for a Healthier Life, Valencia, Spain, 8-12 July.
- Grewal, K.S., Buchan, G.D., Tonkin, P.J., 1990. Estimation of Field Capacity and Wilting Point of Some New Zealand Soils from their Saturation Percentages. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 18(4), 241-246.
- Grunwald, S., Lowery, B., Rooney, D.J., McSweeney, K., 2001. Perfil Cone Penetrometer Data Used to Distinguish Between Soil Materials. Soil & Tillage Research, 62, 27-40.

- Guo, P.T., Wu, W., Sheng, Q.K., Li, M.F., Liu, H.B., Wang, Z.Y., 2013. Prediction of Soil Organic Matter Using Artificial Neural Network and Topographic Indicators in Hilly Areas. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 95(3), 333-344.
- Güçdemir, İ.H., 2006. Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi. Güncelleştirilmiş ve Genişletilmiş 5. baskı. Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No: 231, Ankara.
- Gülser, C., 2004. Tarla Kapasitesi ve Devamlı Solma Noktası Değerlerinin Toprakların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleriyle İlişkili Pedotransfer Eşitliklerle Belirlenmesi. *Ondokuz Mayıs üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(3), 19-23.
- Gülser, C., Candemir, F., 2012. Changes in Penetration Resistance of a Clay Field with Organic Waste Applications. *Eurasian Journal of Soil Science*, (1), 16 – 21.
- Gülser, C., Candemir, F., 2014. Using Soil Moisture Constants and Physical Properties to Predict Saturated Hydraulic Conductivity. *Eurasian Journal of Soil Science*, 3, 77-81.
- Hartge, K.H., Stewart, B.A., 1995, *Soil Structure, Its Development and Function*, Lewis Publisher, 393p, New York.
- Hernanz, J.L., Peixoto, H., Cerisola, C., Sánchez-Girón, V., 2000. An Empirical Model to Predict Soil Bulk Density Profiles in Field Conditions Using Penetration Resistance, Moisture Content and Soil Depth. *Journal of Terramechanics*, 37(4), 167-184.
- Howitt, D., Cramer, D., 2011. *Introduction to SPSS Statistics in Psychology: for Version 19 and Earlier (Fifth edition)*, Pearson Education Limited, 568p, London.
- Hutson, J.L., Wagenet, R.J. 1992. *Leaching Estimation and Chemistry Model*. Department of Soil, Crop and Atmospheric Sciences Research Series no. 92.3, New York, Cornell University.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014. *Fifth Assessment Report (AR5)*. Erişim tarihi: 30.01.2018. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>.
- Jones Jr, J.B., 1984. *A Laboratory Guide of Exercises in Conducting Soil Test, and Plant Analyses*. No. 631.42 J6.
- Junior, D.D.V., Biachini, A., Valadao, F.C.A., Rosa, R.P., 2014. Penetration Resistance According to Penetration Rate, Cone Base Size and Different Soil Conditions. *Bragantia*, 73(2), 171-177.
- Kacar, B., 2009. *Toprak Analizleri*. Nobel Yayın Dağıtım, 467s, Ankara.

- Kaiser, D.R., Reinert, D.J., Reichert, J.M., Loguercio Collares, G., Kunz, M., 2009. Intervalo Hídrico Ótimo No Perfil Explorado Pelas Raízes De Feijoeiro Em Um Latossolo Sob Diferentes Níveis De Compactação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33(4).
- Karahan, G., Erşahin, S., Öztürk, H.S., 2014. Toprak Koşullarına Bağlı Olarak Tarla Kapasitesi Dinamiği. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 30(1), 1-9.
- Karkanis, P. G., 1983. Determining Field Capacity and Wilting Point Using Soil Saturation by Capillary Rise. *Canadian Agricultural Engineering*, 25, 19-21.
- Keshavarzi, A., Sarmadian, F., Sadeghnejad, M., Pezeshki, P., 2010. Developing Pedotransfer Functions for Estimating Some Soil Properties Using Artificial Neural Network and Multivariate Regression Approaches. *Proenvironment Promediu*, 3, 322-330.
- Korenkova, L., Urik, M., 2012. Soil Moisture and its Effect on Bulk Density and Porosity of Intact Aggregates of Three Mollic Soils. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 82 (2), 172–176.
- Kumar, A., Chen, Y., Sadek, A., Rahman, S., 2012. Soil Cone Index in Relation to Soil Texture, Moisture Content, and Bulk Density for No-Tillage and Conventional Tillage. *Agriculture Engineering International: CIGR Journal*, 14(1), 26-37.
- Landsberg, J.D., Miller, R.E., Anderson, H.W., Tepp, J.S., 2003. Bulk Density and Soil Resistance to Penetration as Affected by Commercial Thinning in Northeastern Washington. Res. Pap. PNW-RP-551. Portland, OR: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- Lin, H. S., McInnes, K. J., Wilding, L. P., Hallmark, C.T., 1999. Effects of Soil Morphology on Hydraulic Properties I. Quantification of Soil Morphology. *Soil Science Society of America Journal*, 63(4), 948-954.
- Lin, H., Zhang, W., Yu, H., 2014. *Hydropedology: Linking Dynamic Soil Properties with Soil Survey Data*. In *Application of Soil Physics in Environmental Analyses*, Springer International Publishing, 23-50 p,
- Mamman, E., Ohu, J.O., Crowther, T., 2007. Effect of Soil Compaction and Organic Matter on the Early Growth of Maize (*Zea mays*) in a Vertisol. *International Agrophysics* 21,367-375.
- Mbah, C.N., 2012. Determining the Field Capacity, Wilting Point and Available Water Capacity of Some Southeast Nigerian Soils using Soil Saturation from Capillary Rise. *Nigerian Journal of Biotechnology*, 24, 41-47.

- Medeiros, J.C., Cooper, M., Dalla Rosa, J., Grimaldi, M., Coquet, Y., 2014. Assessment of Pedotransfer Functions for Estimating Soil Water Retention Curves for the Amazon Region. *Revista Brasileira de Ci4ncia do Solo*, 38(3), 730-743.
- Meteoroloji Genel M¼d¼rl¼g¼ (MGM), 2018. Erişim tarihi: 20.01.2018. <http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/yillik-toplam-yagis-verileri.aspx#sfU>.
- Minasny, B., 2009. Prediction of the Water Content at Field Capacity from Disturbed Soil Samples. Erişim Tarihi: 10.10.2015. http://soil-research.com/sr/wp_content/uploads/2010/05/field_capacity_disturbed_samples.pdf.
- Mirreh, H.F., Ketcheson, J.W., 1972. Influence of Soil Bulk Density and Matric Pressure on Soil Resistance to Penetration. *Canadian Journal of Soil Science*, 52(3), 477- 483.
- Mielke, L.N., Powers, W.L., Badri, S., Jones, A.J., 1994. Estimating Soil Water Content from Soil Strength. *Soil and Tillage Research*, 31(2-3), 199-209.
- Mohamed, J., Ali, S., 2006. Development and Comparative Analysis of Pedotransfer Functions for Predicting Soil Water Characteristic Content for Tunisian Soils. *Proceedings of the 7th Edition of TJASSST*, 170-178.
- Mohanty, M., Sinha, N.K., Painuli, D.K., Bandyopadhyay, K.K., Hati, K., Reddy, K. S., Chaudhary, R.S., 2014. Pedotransfer Functions for Estimating Water Content at Field Capacity and Wilting Point of Indian Soils using Particle Size Distribution and Bulk Density. *Journal of Agricultural Physics*, 14(1), 1-9.
- Mohanty, M., Nishant, K., Sinha, D.K., Painuli, K.K., Bandyopadhyay, K.M., Hati, K. Sammi Reddy, Chaudhary, R.S., 2015. Modelling Soil Water Contents at Field Capacity and Permanent Wilting Point Using Artificial Neural Network for Indian Soils. *National Academy Science Letter*, 38(5), 373-377.
- Mohawesh, O.E., 2013. Assessment of Pedotransfer Functions (PTFs) in Predicting Soil Hydraulic Properties under Arid and Semi Arid Environments. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 9(4), 475-491.
- Mohd-Aizat, A., Mohamad-Roslan, M.K., Sulaiman, W.N.A., Karam, D.S., 2014. The Relationship Between Soil pH and Selected Soil Properties in 48 Years Logged-over Forest. *International Journal of Environmental Sciences*, 4(6), 1129.
- Mujdeci, M., 2011. The Effects of Organic Material Applications on Soil Penetration Resistance. *Journal of Food, Agriculture&Environment*, 9(3&4), 1045-1047.
- Mujdeci, M., Işıldar, A.A., Uygur, V., Alaboz, P., Unlu, H., Senol, H., 2017. Cooperative Effects of Field Traffic and Organic Matter Treatments on Some Compaction-Related Soil Properties. *Solid Earth*, 8(1), 189-198

- Negiş, H., Şeker, C., Gümüş, İ., Özyaytekin, H. H., Atmaca, E., Karaca, Ü., 2016. Şeker Pancarı Tarımında Penetrasyon Direncinin Belirlenmesi. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 272-279.
- NEN 5140, 1996. Geotechniek. Bepaling van de conusweerstand en de plaatselijke wrijvingsweerstand van de grond. Elektrische sondeermethode. Nederlands Normalisatie-instituut.
- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M., Kaptan, H., 1993. Toprak Bilimi. Çukurova üniversitesi Ziraat Fakültesi Genel Yayın, 73, 585-592.
- Özdemir, N., Ekberli, İ., Durmuş, Ö.T.K., 2018. Bazı Toprak Özellikleri ile Kütle Yoğunluğunun Tahmini için Pedotransfer Modeller. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi, 6(1), 46-51.
- Özgöz, E., Altuntaş, E., 2001. Koni Taban Alanının Penetrasyon Direncine Etkisi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, (1), 69-73.
- Pan, W., Boyles, R.P., White, J.G., Heitman, J.L., 2012. Characterizing Soil Physical Properties for Soil Moisture Monitoring with the North Carolina Environment and Climate Observing Network. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 29(7), 933-943.
- Patil, N.G., Chaturvedi, A., 2012. Estimation of Bulk Density of Waterlogged Soils from Basic Properties. Archives of Agronomy and Soil Science, 58(5), 499-509.
- Peters, D.B., 1965. Water Availability, (in) Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical Analyses. C.A. Black, ed. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Rawls, W.J., Brakensiek, D.L., Saxton, K.E., 1982. Estimation of Soil Water Properties. Transactions ASAE, 25(5), 1316-1328.
- Rawls, W.J., Brakensiek, D.L. 1989. Estimation of Soil Water Retention and Hydraulic Properties. In: S. Morel, Editor, Unsaturated Flow in Hydrologic Modeling. Theory and Practice, Kluwer academic publishers.
- Rice, T.J., 1999. Liming of Vineyard Soils. Practical Winery and Vineyard Magazine. https://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com.tr/&httpsredir=1&article=1017&context=ersc_fac
- Richards, L.A., Weaver, L.R., 1944. Moisture Retention by Some Irrigated Soils as Related to Soil Moisture Tension, Journal of Agricultural Research, 69, 215-235.
- Romano, N., Santini, A., 2002. Field, in Methods of Soil Analysis. Part 4, Physical Methods, J. H. Dane, G. C. Topp (Ed.), 721- 738, Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, 1188p, America

- Roque, C.G., Centurion, J.F., Alencar, G.D., Beutler, A.N., Pereira, G.T., Andrioli, I., 2003. Comparação De Dois Penetrômetros Na Avaliação Da Resistência À Penetração De Um Latossolo Vermelho Sob Diferentes Usos. *Acta Scientiarum Agronomy*, 25, 53-57.
- Ruehlmann, J., Körschens, M., 2009. Calculating the Effect of Soil Organic Matter Concentration on Soil Bulk Density. *Soil Science Society of American Journal*, 73(3),876–85.
- Santos, F.L., Jesus, V.A.M., Valente, Domingos Sárvio Magalhães, D.S.M., 2012. Modeling of Soil Penetration Resistance Using Statistical Analyses and Artificial Neural Networks. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 34, 2, 219-224.
- Say, S.M., 1995. Toprak Penetrasyon Direncinin Toprak Koşulları ile Değişiminin Belirlenmesi ve Matematiksel Modellerinin Geliştirilmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans, 1995,109 s.
- Schoeneberger, P. J., Wysocki, D. A., Benham, E. C., 2012. Soil Survey Staff. Field Book for Describing and Sampling Soils, Version, 3. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- Shalmani, A.A., Shahrestani, M.S., Asadi, H., Bagheri, F., 2010. Comparison of Regression Pedotransfer Functions and Artificial Neural Networks for Soil Aggregate Stability Simulation. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. 1-6 August, Brisbane, Australia.
- Silva, E.D., Curi, N., Ferreira, M.M., Volpato, M.M.L., Santos, W.J.R.D., Silva, S.H.G., 2015. Pedotransfer Functions for Water Retention in the Main Soils from the Brazilian Coastal Plains. *Ciência e Agrotecnologia*, 39(4), 331-338.
- Silva, W.M.D., Bianchini, A., Cunha, C.A.D., 2016. Modeling and Correction of Soil Penetration Resistance for Variations in Soil Moisture and Soil Bulk Density. *Engenharia Agrícola*, 36(3), 449-459.
- Soil Survey Laboratory Methods Manual, 1996. Soil Survey Investigations Report No. 42. Version 3.0. USDA-NRCS, Lincoln, NE.
- Soil Survey Manual, 1993. Soil Survey Division Staff, United States Department of Agriculture.
- Şeker, C., 1997. Farklı Toprakların Penetrasyon Dirençleri Üzerine Su İçeriklerinin Etkisi ve Regresyon Modelleri. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23,2, 467-471.
- Şeker, C., 1999. Penetrasyon Direnci ile Bazı Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 23, (3), 583-588.
- Şeker, C., Işıldar, A.A., 2000. Tarla Trafiğinin Toprak Profilineki Gözenekliliğe ve Sıkışmaya Etkisi. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 24, 71–77.

- Tadesse, T., Dechassa, N., Bayu, W., Gebeyehu, S., 2013. Effects of Farmyard Manure and Inorganic Fertilizer Application on Soil Physico-Chemical Properties and Nutrient Balance in Rain-Fed Lowland Rice Ecosystem. *American Journal of Plant Sciences*, 4(02), 309.
- To, J., Kay, B.D., 2005. Variation in Penetrometer Resistance with Soil Properties: the Contribution of Effective Stress and Implications for Pedotransfer Functions. *Geoderma*, 126(3-4), 261-276.
- Tomasella, J., Hodnett, M.G., Rossato, L., 2000. Pedotransfer Functions for the Estimation of Soil Water Retention in Brazilian soils. *Soil Science Society American Journal*, 64,327-338.
- Touil, S., Degre, A., Chabaca, M.N., 2016. Sensitivity Analysis of Point and Parametric Pedotransfer Functions for Estimating Water Retention of Soils in Algeria. *Soil*, 2(4), 647.
- Turgut, B., Aksakal, E.L., Öztaş, T., Babagil, G.E., 2008. Penetrasyon Direncine Etki Eden Toprak Özelliklerine Ait Etki Katsayılarının Çoklu Regresyon Analizi ile Belirlenmesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 39(1), 115-121.
- Turgut, B., Öztaş, T., Aksakal, E. L., 2010. Bazı Toprak Özelliklerinin Penetrasyon Direnç Değerlerine Doğrudan ve Dolaylı Etkileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5(2), 45-53.
- Turgut, B., Öztaş, T., 2012. Penetrasyon Direncini Etkileyen Bazı Toprak Özelliklerinin Yersel Değişiminin Belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi Journal of Agricultural Sciences*, 18, 115-125.
- Türkoğlu, N., Çiçek, İ., Şensoy, S., 2014. Türkiye’de İklim Değişikliğinin Meyve Ağaçları ve Tarla Bitkilerinin Fenolojik Dönemlerine Etkileri. *Tücaum - VIII. Coğrafya Sempozyumu*, 23-24 Ekim 2014, Ankara.
- Uçkun, K., 2007. Eğirdir-Boğazova Topraklarının Bazı Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi. *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 66s, Konya.
- U.S, Salinity Laboratory Staff, 1954. *Diagnosis and Improvement of Salina and Alkali Soils. Agricultural Handbook*, 60, U.S.D.A.
- Unger, P.W., Jones, O.R., 1998. Long-Term Tillage and Cropping Systems Affect Bulk Density and Penetration Resistance of Soil Cropped to Dryland Wheat And Grain Sorghum. *Soil and tillage research*, 45(1), 39-57.
- Unguraşu, A.N., , Anel, F.D., Florian Stătescu, F., 2012. Estimation of Soil Hydraulic Parameters with the Help of Rosetta Program. *Lucrări Ştiinţifice*, 55, *Agronomie*, 281-284.

- Upadhyaya, S.K., Kemble, L.J., Collins, N.E., Williams, T. H., 1982. Cone Index Prediction Equations for Delaware Soils (No. rep-6213. Cimmyt.) ASAE 82p, 1452-1456.
- Ülgen, N., Yurtsever, N., 1988. Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi (3. Baskı). TC Tarım Orman Köyişleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın, 151s.
- Van Genuchten, M.Th., 1980. A Closed-Form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. Soil Science Society American Journal, 44, 892-898.
- Vaz, C.M., Bassoi, L.H., Hopmans, J.W., 2001. Contribution of Water Content and Bulk Density to Field Soil Penetration Resistance as Measured by A Combined Cone Penetrometer–TDR Probe. Soil and Tillage Research, 60(1-2), 35-42.
- Vaz, C.M., Manieri, J.M., Maria, I.C., Markus Tuller, M., 2011. Modeling and Correction of Soil Penetration Resistance for Varying Soil Water Content. Geoderma, 166, 92–101.
- Vaz, C.M., Manieri, J.M., De Maria, I.C., 2013. Scaling the Dependency of Soil Penetration Resistance on Water Content and Bulk Density of Different Soils. Soil Science Society of America Journal, 77(5), 1488-1495.
- Vereecken, H., Maes, J., Feyen, J., Darius, P. 1989. Estimating the Soil Moisture Retention Characteristics from Texture, Bulk Density and Carbon Content. Soil Sci., 148, 389–403.
- Viscarra Rossel, R.A., Walvoort, D.J.J., McBratney, A.B., Janik, L.J., Skjemstad, J.O., 2006. Visible, Near Infrared, Mid Infrared or Combined Diffuse Reflectance Spectroscopy for Simultaneous Assessment of Various Soil Properties. Geoderma, 131(1-2), 59-75.
- Whalley, W.R., To, J., Kay, B.D. Whitmore, A.P., 2007. Prediction of The Penetrometer Resistance of Soils with Models with few Parameters. Geoderma 137, 370–377.
- Wilding, L.P., 1985. Spatial Variability: Its Documentation, Accommodation and Implication to Soil Surveys, 166-194p. In D.R. Nielsen and J. Bouma (eds.). Soil Spatial Variability: Pudoc, Wageningen, Netherlands.
- Wilding, L.P., Bouma, J. ve Goss, D.W., 1994. Impact of Spatial Variability on Interpretative Modelling. In: Quantitative Modelling of Soil Forming Processes R.B. Bryant ve Arnold R.W. (Ed.) SSSA Special Publication Number 39, SSSA, Inc. Madison Wisconsin, USA

- Wösten, J.H.M., Lilly, A., Nemes, A., Le Bas, C., 1999. Development and Use of a Database of Hydraulic Properties of European soils. *Geoderma*, 90, 169–185.
- Yakupoğlu, T., Saltalı, K., Karagöktaş, M., 2012. Narlı Ovası'nda Toprak Aşınabilirliğinin Pedotransfer Yaklaşım ile Tahminlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi*, 15(2), 59-67.
- Yakupoğlu, T., Şişman, A.Ö., Karagöktaş, M., Demir, Ö.F., 2013. Toprakların Doygun Koşullardaki Hidrolik İletkenlik Değerlerinin Pedotransfer Eşitliklerle Tahminlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 8 (1), 84-89.
- Yang, X., You, X., 2013. Estimating Parameters of Van Genuchten Model for Soil Water Retention Curve by Intelligent Algorithms. *Applied Mathematic Information Sciences* 7(5), 1977-1983.
- Yavuz, S., 2009. Regresyon Analizinde Doğrusala Dönüştürme Yöntemleri ve Bir Uygulama. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 23(1).
- Yeşilsoy, M. Ş., Aydın, M., 1993. Toprak Fiziği. Çukurova Üniversitesi. Ziraat Fakültesi Ders Kitabı, 124.
- Yılmaz, E., Alagöz, Z. 2008. Organik Madde Toprak Suyu İlişkisi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 1(2), 15-21.
- Yılmaz, E., Alagöz, Z., Öktüren, F., 2005. Toprakta Agregat Oluşumu Ve Stabilitesi. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 19(36), 78-86.
- Zibilske, L.M., Bradford, J.M., 2007. Soil Aggregation, Aggregate Carbon and Nitrogen, and Moisture Retention Induced by Conservation Tillage. *Soil Science Society of America Journal*, 71(3), 793-802.
- Zinn, Y.L., Lal, R., Resck, D.V., 2005. Texture and Organic Carbon Relations Described by a Profile Pedotransfer Function for Brazilian Cerrado Soils. *Geoderma*, 127(1), 168-173.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Pelin ALABOZ
Doğum Yeri ve Yılı :Ankara, 1987
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta :pelinalaboz@sdu.edu.tr



Eğitim Durumu

Lisans :Süleyman Demirel Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Ziraat Mühendisliği Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 2010
Y. Lisans :Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, 2013

Mesleki Deneyim

Süleyman Demirel Üniversitesi, Ziraat Fakültesi 2010 - (halen)

Yayınlar

Hakemli dergilerde yayımlanan teknik not, editöre mektup, tartışma, vaka takdimi ve özet türünden yayınlar dışındaki makale

Şenol, H., Alaboz, P., Gülsoy, S., Özkan, G., 2018. Boylu Ardıç (*Juniperus excelsa* Bieb.) Ormanları Altındaki Toprakların Fizikokimyasal Özellikleri. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 19(1).

Özdamar Ünlü, H., Ünlü, H., Alaboz, P., Müjdecı, M., 2018. Pırasa Üretiminde Hüyük Madde Uygulamalarının Verim, Kalite ve Bitkinin Beslenme Durumu Üzerine Etkileri. Alatarım, 17(1), 9-17.

SCI, SSCI ve AHCI dışındaki indeks ve özetler tarafından taranan dergilerde yayımlanan teknik not, editöre mektup, tartışma, vaka takdimi ve özet türünden yayınlar dışındaki makale

Alaboz, P., Işıldar, A.A., 2018. Elma ve Gül Posası Biyoçarlarının Kumlu Toprağın Bazı Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkileri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 6(2), 67-72.

Erdal, İ., Dogan, A., Yaylacı, C., Alaboz, P., 2018. Comparing the Effects of Compost and Vermicompost on Corn Growth, Nutrient Concentration and Uptake During the Different Growth Periods. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, Vol. LXI,77-83.

Alaboz, P., Işıldar, A.A., Müjdecı, M., Şenol, H. 2017 . Effects of Different Vermicompost and Soil Moisture Levels on Pepper (*Capsicum annuum*) Grown and Some Soil Properties. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 27(1): 30-36

Başayığıt, L., Alaboz, P., Özçer, O., Işıldar, A.A., 2015. The Movement of Copper, Zinc and Manganese in the Soil of Cut Flower Production Greenhouses and Fields. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, Vol. LVIII.

SCI, SSCI ve AHCI tarafından taranan dergilerde yayımlanan teknik not, editöre mektup, tartışma, vaka takdimi ve özet türünden yayınlar dışındaki makale

Senol, H., Ozaytekin, H.H., Alaboz, P., 2017. Physicochemical Properties of Soils Formed on Volcanic Materials (Andesite/Thracandesite) in the Semi Arid Region of Isparta (Turkey). *Fresenius Environmental Bulletin*, 26 – 2a, 1461-1468.

Müjdecı, M., Işıldar, A.A., Uygur, V., Alaboz, P., Ünlü, H., Şenol, H., 2017. Cooperative Effects of Field Traffic and Organic Matter Treatments on Some Compaction-Related Soil Properties. *Solid Earth*, 8, 189–198,.

Alaboz, P., Coşkan, A., Işıldar, A.A., 2017.Effects of Saw-Dust Biochar on Some Soil Moisture Constants. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(6), 4033-4038 .

Şenol, H., Özaytekin, H.H., Akgül, M., Alaboz, P., 2014. Yarı Kurak Şartlarda Trakit/Trakiandezit Ana Materyal Üzerinde Oluşan Toprakların Ayırışma Oranları ve Kil Mineralojisine Bakınının Etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 20, 288-301.

Mujdecı, M., Senol, H., Cakmakci, T., Celikok, P., 2011. The Effects of Different Soil Water Matric Suctions on Stomatal Resistance. *Journal of Food, Agriculture&Environment*, 9(3&4), 1027-1029.

Ulusal toplantıda sunularak özet metin olarak yayımlanan bildiri

Çakmakçı,T., Alaboz,P., 2013. Atık Su Kullanımının Mısır (Zea Mays L.) Bitkisi üzerine Toksik Etkilerinin Araştırılması. SDÜ 16. Uluslararası Bilim ve Bahar Şenliği, ISPARTEK-2013 Proje Pazarı (15-17 Mayıs 2013), ISPARTEK-2013 Proje Pazarı Özet Kitabı, s:71, Isparta.

Uluslararası toplantıda sunularak özet metin olarak yayımlanan bildiri

Şenol, H., Alaboz, P., Gülsoy, S., Özkan, G., 2017. Physicochemical Properties of Soils under Crimean juniper (juniperus excelsa bieb.) Flora. International Conference on Agriculture, Forest, Food Sciences and technologies, 15-17 Mayıs, Kapadokya.

Şenol, H., Alaboz, P., Işıldar, A.A., 2017. Determination of Soil Colour by Visible near Infrared Reflectance Spectroscopy (VNIR). 19th International Conference on Researches in Science & Technology (ICRST), Barcelona Spain, 27-28 July,55.

İşbecer Gecir, M., Işıldar, A.A., Alaboz, P., 2017. Assessment of Cr, Ni and Cd Concentrations in Some Vegetables. 19th International Conference on Researches in Science & Technology (ICRST), Barcelona, Spain, 27-28 July, 57.

Müjdeci, M., Özcan, C., Alaboz, P., 2018. The Effects of Farmyard Manure and Green Manure Applications on Some Soil Physical Properties. 8th International Conference of Strategic Research on Scientific Studies and Education, Vienna/ Austria 11-13 May.

Alaboz, P., Müjdeci, M., Sukuşu, E., Uygur, V., 2018. The Effect of Organic Material Applications on Aggregation in Different Sizes. 8th International Conference of Strategic Research on Scientific Studies and Education, Vienna/ Austria 11-13 May.

Müjdeci, M., Alaboz, P., Sukuşu, E., Uygur, V., 2018. Effects of Organic Material Application on Soil Moisture Constants and Penetration Resistance. 8th International Conference of Strategic Research on Scientific Studies and Education, Vienna/ Austria 11-13 May.

Uygur, V., Durgun, B., Sukuşu, E., Müjdeci, M., Alaboz, P., 2018. Evaluation of Heavy Metal Pollution in Atabey Plain Induced Plant Cover Related Input Managements. V. International Multidisciplinary Congress of Eurasia, Barcelona, 24-26 July.