



**T.C.**  
**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI TEKSTÜRDEKİ TOPRAKLARIN  
BAZI HİDRODİNAMİK ÖZELLİKLERİNE  
KİREÇ ORGANİK MADDE VE TOPRAK  
SIKIŞMASININ ETKİLERİNİN  
BELİRLENMESİ**

**Qutaiba Riyadh ABDULWAHHAB  
DOKTORA TEZİ**

**Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalını**

**Mart-2020**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Qutaiba Riyadh ABDULWAHHAB tarafından hazırlanan “**FARKLI TEKSTÜRDEKİ TOPRAKLARIN BAZI HİDRODİNAMİK ÖZELLİKLERİNE KİREÇ ORGANİK MADDE VE TOPRAK SIKIŞMASININ ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**” adlı tez çalışması **16/03/2020** tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Prof. Dr. Ahmet Ali IŞILDAR

#### Danışman

Prof. Dr. Cevdet ŞEKER

#### Üye

Prof. Dr. Ayşen AKAY

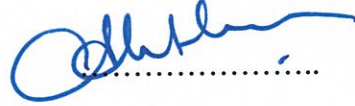
#### Üye

Prof. Dr. Hasan Sabri ÖZTÜRK

#### Üye

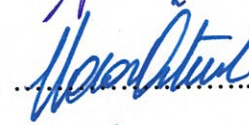
Prof. Dr. Bilal ACAR

### İmza











Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa YILMAZ  
FBE Müdürü

Bu tez çalışması BAP tarafından 18201034 nolu proje ile desteklenmiştir.

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Qutaiba R. ABDULWAHHAB

Tarih/Date: 16.03.2020

## ÖZET

### DOKTORA TEZİ

# FARKLI TEKSTÜRDEKİ TOPRAKLARIN BAZI HİDRODİNAMİK ÖZELLİKLERİNE KİREÇ ORGANİK MADDE VE TOPRAK SIKIŞMASININ ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Qutaiba Riyadh ABDULWAHHAB

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

Danışman: Prof. Dr. Cevdet ŞEKER

2020, 199 Sayfa

### Jüri

Prof. Dr. Cevdet ŞEKER  
Prof. Dr. Ahmet Ali İŞILDAR  
Prof. Dr. Ayşen AKAY  
Prof. Dr. Hasan Sabri ÖZTÜRK  
Prof. Dr. Bilal ACAR

Toprak su tutma eğrisi (TSTE) kullanılarak belirlenen toprak nem parametreleri, toprak ve su kaynaklarının yönetimi yanında toprak hidrodinamiği ile ilgili çalışmalarda önemli kaynak verilerdir. Bu parametreler toprakların çoklu değişkenleri tarafından kontrol edildiğinden, bunların tahminine yönelik çeşitli yöntemler geliştirilmiş olmakla birlikte, halen yüksek kireç içerikli topraklar için bu modellerin doğrulaması yapılmamıştır. Ayrıca kireçli topraklarda organik madde kaynağı olarak sığır gübresi (SG) ve biyokömür (BK) kullanımı durumunda ortaya çıkacak değişkenlikler ile mevcut şartlarda toprak sıkışmasının etkisi de bu modellerde tanımlanmamıştır. Bu durum büyük çoğunluğu yüksek kireç içeriğine sahip toprakların bulunduğu Konya ovasında, kısıtlı olan su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından son derece önemlidir. Bu nedenle yapılan çalışmada kireç içerikleri birbirine yakın olan iki farklı tekstürdeki toprakların su tutma eğrileri ve nem sabiteleri üzerine farklı dozlarda SG, BK ve kireç (L) uygulamalarının iki farklı hacim ağırlığı ( $P_b$ ) seviyelerinde etkileri belirlenmiştir. Bu amaçla kil ve kumlu tın tekstürdeki topraklara ağırlıkça % 0, 1, 2 ve 4 oranlarında SG ve BK, % 5, 10 ve 20 oranlarında L ilave edilip, tarla kapasitesi nem düzeyinde bir ay süreyle laboratuvar şartlarında inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonu toprağın  $P_b$ , tane yoğunluğu ( $P_d$ ), ağırlıklı ortalama çapı (AOÇ), agregat stabilitesi (AS), likit limit (LL), plastik limit (PL) ve plastiklik indisi (PI), toplam gözenekliliği (T.Göz) ve toplam makro ve mikro gözenekleri (T.Mak. ve T.Mik ), pH, elektrik iletkenlik (EC), organik karbon içeriği (OC), mineralizasyon oranı (Min.OC), toplam azot (TN) ve C: N oranı gibi bazı toprak fiziko-mekanik ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca bundan sonra killi (normal  $P_b1$ :  $1.20 \text{ g cm}^{-3}$  ve sıkışmış  $P_b2$ :  $1.35 \text{ g cm}^{-3}$ ) ve kumlu tın topraklar ( $P_b1$ :  $1.50 \text{ g cm}^{-3}$  ve  $P_b2$ :  $1.70 \text{ g cm}^{-3}$ )  $100 \text{ cm}^3$ 'lük silindirlerde, iki farklı seviyede sıkıştırılmıştır. Buna göre, toprakların su tutma kapasitesi SG uygulama dozunun artması ile her iki toprakta ve her iki  $P_b$  değerlerinde de artmıştır. BK uygulamasında ise; killi toprakta  $P_b1$ 'de su tutma kapasitesini artırmış, ancak  $P_b2$ 'de su tutma kapasitesine etki etmemiştir. Kumlu tın toprakta ise  $P_b1$ 'de etki göstermezken,  $P_b2$ 'de BK uygulaması su tutma kapasitesi düşmüştür. Killi toprakta L uygulamasının, her iki  $P_b$  değerinde de su tutma üzerine etkisi görülmezken, kumlu tın toprakta sadece L20 dozunda etkili olmuş ve  $P_b1$ 'de su tutma kapasitesini artırırken, sıkışmanın artması ile su tutma kapasitesi düşmüştür. Buna göre her iki tekstürdeki toprakta ve tüm uygulamalarda van Genuchten denkleminde kullanılan, en uygun ve en yüksek uyuma sahip, m parametresi  $m \neq 1$  olarak bulunmuş ( $R^2$ :0.98-1.00; NRMSE:0.20-1.42), bunu Mualem modeli olan  $m=1-1/n$  takip etmiş ( $R^2$ :0.97-0.99; NRMSE:0.34-2.18), sonraki model Burdine modeli,  $m=1-2/n$ , ( $R^2$ :0.95-0.99; NRMSE:0.68-39.56) ve en düşük uyuma sahip model ise Gardner modeli,  $m=1$ , ( $R^2$ :0.89-0.98;

NRMSE:2.40-10.66) olmuştur. TSTE sabiteleri olan doymun nem içeriği ( $\theta_s$ ) ve kalan su içeriği ( $\theta_r$ ) ölçümleri ile hesaplanan değerler arasındaki uyum yüksek çıkmış, ayrıca hava giriş değer ( $1/\alpha$ ), optimum nem içeriği ( $\theta_i$ ) ve toprak strüktürel indeksi ( $\theta_{IN}$ ) de yüksek doğrulukta tahmin edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Toprak su tutma eğrisi, toprak tekstüru, toprak sıkışması, sığır gübresi, biyokömur, kireç



## ABSTRACT

### Ph. D THESIS

# DETERMINATION OF THE EFFECTS OF LIME, ORGANIC MATTER AND SOIL COMPACTION ON SOME HYDRODYNAMIC PROPERTIES OF DIFFERENT TEXTURED SOILS

Qutaiba Riyadh ABDULWAHHAB

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
SELÇUK UNIVERSITY  
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY  
IN SOIL SCIENCE (SOIL PHYSICS)

Advisor: Prof. Dr. Cevdet ŞEKER

2020, 199 Pages

Jury

Prof. Dr. Cevdet ŞEKER

Prof. Dr. Ahmet Ali İŞILDAR

Prof. Dr. Ayşen AKAY

Prof. Dr. Hasan Sabri ÖZTÜRK

Prof. Dr. Bilal ACAR

Soil moisture parameters determined using soil water retention curve (SWRC) are important data sources in the studies related to soil hydrodynamics as well as the management of soil and water resources. Since these parameters are controlled by the multi-variability of soils, various methods have been developed for their estimation, but there is still no valid model for soils with high lime content. In addition, the effects of soil compaction in existing conditions and the variations that will arise in the case of using cattle manure (SG) and biochar (BK) as the source of organic matter in a calcareous soil not defined in these models. This is extremely important in terms of sustainable management of limited water resources in the Konya plain where the majority of the soil has high lime content. For this reason, the effects of different doses of SG, BK and lime (L) applications on two levels of bulk density ( $P_b$ ) were determined on the water retention curves and moisture constants of soils in two different textures, whose lime content is close to each other. For this purpose, 0, 1, 2, and 4% of SG and BK, 5, 10, and 20% of L (w/w) were added to a clay and sandy loam textured soils and then left for incubation at the field capacity in the laboratory conditions for one month. After the incubation period, some of the soil physico-mechanical and chemical properties have been determined, such as soil  $P_b$ , particle density ( $P_d$ ), mean weight diameter (MWD), aggregate stability (AS), liquid limit (LL), plastic limit (PL) and plasticity index (PI), total porosity (TP), total macro and micro pores (T. Mac. and T. Mic), pH, electrical conductivity (EC), organic carbon content (OC), mineralization rate (Min. OC), total nitrogen (TN) and C: N ratio. In addition, soils were compacted in the cylinders of 100 cm<sup>3</sup> at two different levels; clay (normal  $P_b1$ : 1.20 g cm<sup>-3</sup> and compacted  $P_b2$ : 1.35 g cm<sup>-3</sup>) and sandy loam ( $P_b1$ : 1.50 g cm<sup>-3</sup> and  $P_b2$ : 1.70 g cm<sup>-3</sup>). Accordingly, the water retention capacity of the soils increased in the both soils and at both  $P_b$  values with increasing SG application dose. However, BK application increased the water retention capacity in the clay soil at  $P_b1$ , but no effect detected on the water retention capacity at  $P_b2$ . In the sandy loam soil, BK application had no effect on the water retention capacity at  $P_b1$ , whereas it decreased at  $P_b2$ . While the application of L in the clay soil has no effect on the water retention capacity in the both  $P_b$  values, the sandy loam soil only affected water retention capacity at L20 dose and increased the water retention capacity at  $P_b1$ , while the water retention capacity decreased with increasing the compaction. Accordingly, in the soil of both textures and all applications, m parameter used in the van Genuchten

equation found to be the most suitable and had the highest fitting was  $m \neq 1$  ( $R^2$ : 0.98-1.00; NRMSE: 0.20-1.42), followed by Mualem model with  $m=1-1/n$  ( $R^2$ : 0.97-0.99; NRMSE: 0.34-2.18), then Burdine model with  $m = 1-2/n$  ( $R^2$ : 0.95-0.99; NRMSE: 0.68-39.56) and lowest fit model was the Gardner model  $m = 1$  ( $R^2$ : 0.89-0.98; NRMSE: 2.40-10.66). The fitting between the observed and predicted values of saturated moisture content ( $\theta_s$ ) and residual water content ( $\theta_r$ ) of the SWRC was high, as well as the air entry value ( $1/\alpha$ ), optimum moisture content ( $\theta_i$ ) and soil structural index ( $\theta_{IN}$ ) were predicted with a high accuracy.

**Keywords:** Soil-water retention curve, soil texture, soil compaction, cattle manure, biochar, lime



## ÖNSÖZ

Tüm zorlukları kolaylaştıran ve bu çalışmayı başarılı bir şekilde gerçekleştirmeyi bana nasip eden Yüce Rabbime sonsuz şükranlar olsun.

Bilgisini benimle paylaşan ve desteğini hiç bir zaman benden esirgemeyen, değerli tez danışmanım sayın Prof. Dr. Cevdet ŞEKER'e teşekkürü bir borç bilirim. Tezime katkılarından dolayı Tez İzleme Komite üyeleri sayın Prof. Dr. Ahmet Ali IŞILDAR'a ve sayın Prof. Dr. Ayşen AKAY'a teşekkür ederim. Ayrıca çalışmam boyunca benden destek ve teşviklerini esirgemeyen hocalarım Dr. Hamza NEGİŞ'e, Dr. İlknur GÜMÜŞ'e, Dr. Vildan ERCİ'ye ve değerli bölüm arkadaşlarım doktora öğrencileri Noel MANIRAKIZA ve Ayşe ÇETİN'e şükranlarımı sunarım.

Doktora bitirme hayallerimi gerçekleştiren ve sürekli destekleyen başta Yurt Dışı Türkler ve Akraba Toplulukları Başkanlığı (YTP)'na, Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne (BAP), Iraktaki Tarım Bakanlığı'na, Tikrit Tarım Müdürlüğü'ne ve Tikrit Tarım Araştırma Enstitüsü'ne teşekkürlerimi sunarım.

Bu zorlu süreçte her zaman yanımda olup benden desteklerini esirgemeyen, beni motive eden başta annem, babam ve kardeşlerim olmak üzere tüm öğretmenlerim ve arkadaşlarıma teşekkür ederim. Gurbete tahammül eden, benimle iyi ya da kötü günlerde sürekli yanımda duran ve destekleyen, sevgili eşim Şahad'a ve bana güç veren hayatımın en kıymetlisi canım kızım Layan'a sonsuz teşekkürler.

Qutaiba Riyadh ABDULWAHHAB  
KONYA-2020



# İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ .....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xii
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	4
2.1. Toprak Su Tutma Eğrisi .....	4
2.2. Toprak Su Tutma Eğrisi ve Diğer Toprak Özelliklerin Arasındaki İlişkiler .....	5
2.2.1. Toprak tekstürünü .....	5
2.2.2. Sığır gübresi.....	6
2.2.3. Biyokömür .....	8
2.2.4. Kireç içeriği .....	10
2.2.5. Hacim ağırlığı.....	11
2.3. Toprak Su Tutma Eğrisinin Bazı Deneysel Modellerden Tahmin Edilmesi .....	13
2.4. Toprak Sıkışmasının Toprağın Fiziksel Özelliklerine Etkisi.....	18
2.5. Toprak Agregat Stabilitesi ile Organik Madde Arasındaki İlişkiler .....	20
2.5.1. Sığır gübre uygulamalarının etkisi.....	20
2.5.2. Biyokömür uygulamalarının etkisi.....	22
2.6. Kirecin Toprak Özelliklerine Etkileri.....	24
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	26
3.1. Materyal.....	26
3.1.1. Araştırma alanının konumu .....	26
3.1.2. Toprak örnekleri.....	26
3.1.3. Kullanılan materyaller .....	28
3.2 Yöntem.....	29
3.2.1. Denemenin kurulması ve yürütülmesi .....	29
3.2.2. Çalışmada uygulanan analiz metotları .....	30
3.2.3. Kullanılan deneysel modelleri.....	37
3.2.4. Deneme planı ve istatistiksel değerlendirmeler.....	39
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	40
4.1. Çalışmada Kullanılan Toprak Örnekleri ve Uygulama Materyallerinin Bazı Özellikleri .....	40
4.2. Sığır Gübresi Uygulamalarının Toprakların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine Etkisi .....	41
4.2.1. Toprakların pH'sına etkisi.....	41
4.2.2. Toprakların EC'sine etkisi.....	42

4.2.3. Toprakların %CaCO <sub>3</sub> içeriğine etkisi .....	43
4.2.4. Toprakların organik karbon içeriğine ve mineralizasyonuna etkisi.....	44
4.2.5. Toprakların toplam azot içeriğine etkisi .....	45
4.2.6. Toprakların C/N oranına etkisi .....	46
4.2.7. Toprakların hacim ağırlığına etkisi .....	46
4.2.8. Toprakların tane yoğunluğuna etkisi.....	46
4.2.9. Toprakların toplam gözenekliliğine etkisi .....	47
4.2.10. Toprakların ağırlıklı ortalama çap (AOÇ) değerlerine etkisi .....	47
4.2.11. Toprakların agregat stabilitesine etkisi .....	47
4.2.12. Toprakların likit limit değerlerine etkisi .....	48
4.2.13. Toprakların plastik limit değerlerine etkisi .....	48
4.2.14. Toprakların plastiklik indeksi değerlerine etkisi.....	48
<b>4.3. Biyokömür Uygulamalarının Toprakların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine Etkisi .....</b>	<b>49</b>
4.3.1. Toprakların pH'sına etkisi.....	49
4.3.2. Toprakların EC'sine etkisi.....	50
4.3.3. Toprakların % CaCO <sub>3</sub> içeriğine etkisi .....	51
4.3.4. Toprakların organik karbon içeriğine ve mineralizasyonuna etkisi.....	51
4.3.5. Toprakların toplam azot içeriğine etkisi .....	52
4.3.6. Toprakların C/N oranına etkisi .....	53
4.3.7. Toprakların hacim ağırlığına etkisi .....	53
4.3.8. Toprakların tane yoğunluğuna etkisi.....	53
4.3.9. Toprakların toplam gözeneklerine etkisi.....	54
4.3.10. Toprakların ağırlıklı ortalama çap (AOÇ) değerlerine etkisi .....	54
4.3.11. Toprakların agregat stabilitesine etkisi .....	54
4.3.12. Toprakların likit limitine etkisi .....	55
4.3.13. Toprakların plastik limit değerlerine etkisi .....	55
4.3.14. Toprakların plastiklik indeksi değerlerine etkisi.....	55
<b>4.4. Kireç Uygulamalarının Toprakların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine Etkisi .....</b>	<b>55</b>
4.4.1. Toprakların pH'sına etkisi.....	56
4.4.2. Toprakların EC'sine etkisi.....	56
4.4.3. Toprakların % CaCO <sub>3</sub> içeriğine etkisi .....	57
4.4.4. Toprakların organik karbon içeriğine ve mineralizasyonuna etkisi.....	58
4.4.5. Toprakların toplam azot içeriğine etkisi .....	59
4.4.6. Toprakların C/N oranına etkisi .....	60
4.4.7. Toprakların hacim ağırlığına etkisi .....	60
4.4.8. Toprakların tane yoğunluğuna etkisi.....	60
4.4.9. Toprakların gözenekliliğine etkisi .....	60
4.4.10. Toprakların ağırlıklı ortalama çap (AOÇ) değerlerine etkisi .....	61
4.4.11. Toprakların agregat stabilitesine etkisi .....	61
4.4.12. Toprakların likit limit değerlerine etkisi .....	62
4.4.13. Toprakların plastik limit değerlerine etkisi .....	62
4.4.14. Toprakların plastiklik indeksi değerlerine etkisi.....	62
<b>4.5. Sığır Gübresinin Toprakların Toprak Su Tutma Eğrisine Etkisi.....</b>	<b>63</b>
4.5.1. Ölçülen toprak su tutma eğrileri .....	63
4.5.2. Farklı m katsayılarına göre toprak su tutma eğrisinin tahmini.....	72
<b>4.6. Biyokömür Uygulamalarının Toprakların Su Tutma Eğrisine Etkisi.....</b>	<b>82</b>
4.6.1. Ölçülen toprak su tutma eğrileri .....	82
4.6.2. Farklı m katsayılarına göre toprak su tutma eğrisinin tahmini.....	91

4.7. Kireç Uygulamalarının Toprakların Su Tutma Eğrilerinein Etkisi .....	100
4.7.1. Ölçülen toprak su tutma eğrileri .....	100
4.7.2. Farklı m katsayı sınıfına göre toprak su tutma eğriesinin tahmini .....	110
4.8. Toprak Nem Sabitelerine <i>Pb</i> 'ye göre değişimi .....	119
4.8.1. Killi toprak ( <i>Pb</i> <sub>1</sub> : 1.20 g cm <sup>-3</sup> ) .....	119
4.8.2. Killi toprak ( <i>Pb</i> <sub>2</sub> : 1.35 g cm <sup>-3</sup> ) .....	122
4.8.3. Kumlu tın toprak ( <i>Pb</i> <sub>1</sub> :1.50 g cm <sup>-3</sup> ) .....	125
4.8.4. Kumlu tın toprak ( <i>Pb</i> <sub>2</sub> :1.70 g cm <sup>-3</sup> ) .....	128
4.9. Killi Toprakta Makro ve Mikro Gözeneklilik.....	131
4.9.1. Sığır gübresi uygulamalarının etkileri .....	131
4.9.2. Biyokömür uygulamalarının etkileri .....	133
4.9.3. Kireç uygulamalarının etkileri .....	135
4.10. Kumlu Tın Toprakta Makro ve Mikro Gözeneklilik .....	137
4.10.1. Sığır gübresi uygulamalarının etkileri .....	137
4.10.2. Biyokömür uygulamalarının etkileri .....	140
4.10.3. Kireç uygulamalarının etkileri .....	143
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>146</b>
5.1 Sonuçlar .....	146
5.2 Öneriler .....	153
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>154</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>164</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>185</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$\theta$	Hacimsel Su İçeriği ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )
$\theta_s$	Doygun Su İçeriği (Satürasyon) ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )
$\theta_r$	Kalan Su İçeriği ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )
$\theta_{tk}$	Tarla Kapasitesi ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )
$\theta_{sn}$	Solama Noktası ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )
$\theta_{fs}$	Faydalı Su İçeriği ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )
$\theta_{opt}$	Optimum Nem İçeriği (Tav Bölgesi) ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )
$pF$	Toprak Nem Tansiyonun Logaritması
$\Psi_{opt}$	Optimum Su Tansiyonu (Tav Bölgesi) (kPa)
$\alpha$	van Genuchten'e Göre Katsayı ( $\text{cm}^{-1}$ )
$n$	van Genuchten'e Göre Katsayı
$m$	van Genuchten'e Göre Katsayı
$1/\alpha$	van Genuchten'e Göre Hava Giriş Değeri (cm)
$\beta$	Brooks ve Corey'a Göre İmpirik Katsayı
$\lambda$	Brooks ve Corey'a Göre Büyüklük Dağılımı Katsayı
$1/\beta$	Brooks ve Corey'a Göre Hava Giriş Değeri (cm)
$Se$	Satürasyon Düzeyi (%)
$\gamma$	Suyun Yoğunluğu ( $1000 \text{Kg m}^{-3}$ )
$\sigma$	Suyun Yüzey Gerilimi ( $73 \text{din cm}^{-1}$ )
$\text{Cos } \theta$	Dokunma Açısı ( $\text{Cos } 0^\circ = 1$ )
$g$	Yer Çekimi ( $9.81 \text{m s}^{-2}$ )
$\psi (h)$	Su Tansiyonu ya da Matrik Potansiyali (cm veya hPa, kPa, MPa)
$r$	Gözenek Yarı Çapı ( $\mu\text{m}$ )

## **Kısaltmalar**

<b>SG</b>	Sığır Gübresi
<b>BK</b>	Biyokömür
<b>L</b>	Kireç
<b>Pb</b>	Hacim Ağırlığı
<b>Pb1</b>	Yüksek Hacim Ağırlığı
<b>Pb2</b>	Düşük Hacim Ağırlığı
<b>PTFs</b>	Pedotransfer Fonksiyonları
<b>AOÇ</b>	Ağırlıklı Ortalama Çap
<b>OC</b>	Organik Karbon
<b>Min OC</b>	Mineralize Olmuş Organik Karbon
<b>TN</b>	Toplam Azot
<b>C/N</b>	Karbon / Azot Oranı
<b>TSTE</b>	Toprak Su Tutma Eğrisi
<b>Ks</b>	Hidrolik İletkenlik
<b>RETC</b>	Toprak Su Tutma Eğrisi Tahmin Programı
<b>NRMSE</b>	Normalleştirilmiş Hata Kareler Ortalamasının Karekökü
<b>VG</b>	van Genuchten Denklemi

## 1. GİRİŞ

Su tutma eğrisi toprakların birçok hidrodinamik özellikleri hakkında bilgi vermekte ve bu eğrinin şekli üzerinde birçok toprak özelliği etkili olmaktadır. Bu özelliklerin başında ise tane iriliği dağılımı yani toprak tekstürü, toprak organik madde içeriği ve toprak sıkışması gelmektedir. Toprak su tutma eğrilerinin belirlenmesinin güçlüğü ve maliyeti nedeniyle, bu eğrinin tahmin edilmesini sağlayan çeşitli sayısal modeller geliştirilmiştir. Bu modeller kullanılarak toprak özelliklerinin tahmin edilmesinde, doğruluk değerlerinin artırılması için modelin geliştirildiği şartlar ile tahmin edilen toprakların özelliklerinin benzerlik göstermesi gerekmektedir. Aksi durumda yüksek doğrulukta tahminler yapılamamaktadır. Konya ovasında toprakların kireç içeriklerinin çok geniş bir aralıkta (% 0.17 - 69.1) değişim göstermesi, organik madde içeriklerinin % 0.1 - % 8.5 arasında (ortalama % 1.83) ve toprakların % 87.5'inin organik madde içeriklerinin % 3'ün altında olması (Gezgin ve ark., 2002) ve ayrıca bölgede son dönemlerde yoğunlaşan tarımsal faaliyetler ile birlikte, bitki kök bölgesinde toprak sıkışmasının meydana gelmesi (Şeker, 1999b; 1999a) mevcut modellerin kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu ve benzeri nedenlerden dolayı birçok araştırmacı mevcut modellerin doğruluğunu artırabilmek için kendi şartları içinde tahmin modelleri geliştirmişlerdir.

Toprak su dinamiği ve toprak su potansiyeli; toprağın tekstürel, strüktürel özelliklerine ve toprak sıkışmasına bağlı olarak önemli değişimler gösterebilmektedir. Toprağa suyun girişi, depolanması, kayıpları veya bitki tarafından kullanımını içine alan toprak su dinamiği, toprak su tutma eğrisinin şekline göre değişkenlik göstermektedir. Kurak ve yarı kurak bölgeler dünya üzerinde geniş alanlara dağılmış olup, Türkiye'de özellikle Orta ve Güney Doğu Anadolu bölgesi kurak ve yarı kurak iklimin etkisi altında bulunmaktadır. Dolayısıyla bölgemizde bitkisel üretimde su en önemli kısıtlayıcı unsurlar arasında yer almaktadır. Nadas alanlarında toprakların su depolama kapasitelerinin bilinmesi ve buna göre düşük su depolama kapasitesinin geliştirilmesi veya su tutma potansiyelinin artırılması; bu alanların yönetimi ve sürdürülebilir tarım için son derece önemlidir. Su ancak toprak gözenekleri arasında hareket edebilmekte veya tutulmaktadır. Bir toprakta ne kadar su tutulabileceği, onun gözenek yapısı ile birlikte, infiltrasyon oranı ve hidrolik iletkenliğine bağlı olarak değişim göstermektedir.

Son yıllarda küresel ısınma nedeniyle suyun kıt oluşu, kirlenmesi, tarımsal veya endüstriyel olarak fazla kullanılması kullanılabilir su miktarını sınırlandır. Bu yüzden suyun her damlasının değerlendirilmesi önemlidir. Toprakların farklı özelliklerinin iyileştirilmesi veya sürdürülebilmesi için toprak özelliklerini etkileyebilen tüm uygulamaların dikkatli yapılması gerekir. Bu konudaki yanlış arazi amenajmanı veya yönetimi, artan alet ve ekipman trafiği toprakların sıkışmasını ve dolayısıyla fonksiyonlarını yeterince yerine getirmesini engellemektedir. Özellikle toprak suyunun korunması, sulama programlarının geliştirilmesi, ıslah ve drenaj çalışmaları, bitki – su stresi gibi alanlarda gelişmelerin sağlanabilmesi için; toprak su ilişkilerinin belirlenmesi çok faydalı olacaktır. Toprak su içeriklerinin doğrudan ölçülmesinin pahalı ve zaman alıcı olması, ayrıca tarladaki toprak özelliklerinin değişikliği nedeniyle; doğru sonuçların elde edilmesi için fazla sayıda örneklerin alınması gerekmektedir. Ancak günümüzde, bunun yerine çoğu zaman “Pedotransfer fonksiyonları (PTFs) ” gibi yeni bir kavram olan alternatif ölçüm yöntemleri kullanılmaktadır (Brooks ve Corey, 1964; Campbell, 1974; van Genuchten, 1980). Geniş tekstürel değişkenliğe sahip topraklardan su tutma eğrisi (doğru su içeriği ve kalan su içeriği), organik madde içeriği, hacim ağırlığı gibi çok sayıda verilerin kullanımıyla farklı modeller oluşturulmuş ve bu modeller sayesinde her toprak için belirli parametreler geliştirilmiştir. Toprakta su tutma eğrisi ve hidrolik iletkenlik gibi diğer hidrolik özelliklerin belirlenmesi için doğrudan mevcut parametreler ile tahminler yapılabilmektedir.

Orta Anadolu bölgesi topraklarının genel olarak kil ve kireç içerikleri yüksek, organik madde miktarı ise düşük olduğundan dolayı, hidrodinamik özellikleri bu durumdan önemli ölçüde etkilenebilecektir. Bunun yanında, arazi üzerine yapılan tüm işlemler veya doğal koşullar nedeniyle mevcut olan toprak sıkışması, su, hava, besin elementlerinin hareketlerini ve kök gelişimini etkilemektedir. Yapılan bu çalışmada kullanılan toprak örneklerinin alındığı Konya Ovası'nın büyük bir kısmında işlemeli tarım yapılmaktadır. Çalışma sahasında yıllık yağış miktarının az olması, kış döneminin uzun ve soğuk geçmesi yetiştirilen bitki çeşitlerini kısıtlamaktadır. Konya toprakları için su tutma eğrilerinin doğru tahmin edilmesini sağlayan sayısal modellerin geliştirilmesine ve mevcut modellerden hangilerinin yüksek doğrulukta kullanılabileceğinin bilinmesine ihtiyaç bulunmaktadır. Bu nedenle yapılan çalışmada farklı tekstürdeki toprakların bazı hidrodinamik özellikleri

üzerine; kireç, sığır gübresi, biyokömür uygulamaları ve toprak sıkışmasının etkisi belirlenerek, bu etkilere göre geliştirilecek modellerin mevcut modellerle kıyaslamaları yapılmıştır. Bunun sonucunda mevcut modeller veya yeni geliştirilen modeller pratik kullanımlar için önerilmiştir.

Özetle bu çalışmanın amacı; farklı tekstürdeki toprakların su tutma eğrilerinin belirlenerek tahmin modellerinin geliştirilmesidir. Bu amaçla yapılan çalışmada:

- Farklı tekstürdeki toprakların bazı fiziksel, mekaniksel ve kimyasal özelliklerine kirecin, sığır gübresinin ve biyokömürün kısa dönemli bir inkübasyon sonundaki etkileri tespit edilmiştir.
- Farklı tekstürdeki toprakların su tutma eğrilerine kirecin, sığır gübresinin, biyokömürün ve toprak sıkışmasının etkileri belirlenmiştir.
- Yapılan ölçümler sonucunda, farklı tekstürdeki toprakların su tutma eğrileri ile van Genuchten modeli karşılaştırılarak bölge için geçerli en uygun modelin oluşturulması sağlanmıştır.



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Toprak Su Tutma Eğrisi

Toprak su tutma eğrisi, topraktaki su miktarı belirli bir matrik potansiyelle (negatif basınç potansiyel) dengelendiğinde, toprakta kalan su miktarının kütsel veya hacimsel olarak ifadesidir. Topraktaki gözeneklerin büyüklüğü ve dağılımı ile ilgili önemli bir hidrodinamik özelliktir. Bundan dolayı toprağın tekstürü, strüktürü, organik madde içeriğine bağlı olarak önemli değişiklikler gösterirken, aynı zamanda toprağın kireç ve jips içeriği ile diğer eriyebilir tuzlardan da etkilenebilmektedir. Toprak su tutma eğrisi toprakta tutulan su miktarları ile tutulma kuvvetleri arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır. Bu eğri aşağıda da belirtildiği gibi birçok alanlarda kullanılabilir:

- Topraktaki mevcut suyun tanımlayıcı özellikleri belirlenerek, toprakların sınıflandırılması, sulama amaçlı, inşaat vb. amaçlar için,
- Boşaltılabilir gözeneklerin belirlenmesi ve drenaj sistemlerinin tasarımı için (etkili gözenek alanı, etkili gözenekler, spesifik verim),
- Bir toprağın yapısındaki değişikliklerin kontrol edilmesi, toprak katmanlarının karşılaştırılması,
- Toprağın su potansiyeli ile toprağın diğer fiziksel özellikleri arasındaki ilişkiyi açıklamak için (kapilarite, hidrolik iletkenlik, ısı iletkenliği, kil ve organik madde içeriği).

Toprak su tutma eğrisi, ölçümün yapıldığı test cihazından, ölçümü yapan uzmanın tecrübesi ve yeteneğinden, örneklerin hacminden, deneysel metotlardan ve testin yapıldığı ortamın sıcaklık derecesinden etkilenmektedir (Zapata ve ark., 2000; Perera ve ark., 2005). Ayrıca ölçüm sonuçları, ölçülen veri noktalarının sayısından, tansiyon aralığından ve verilerin tahmin edilmesinde kullanılan matematiksel modellere bağlı olarak da değişiklik göstermektedir (Zapata ve ark., 2000). Su tutma eğrisi, ıslanma ve kuruma durumunda, sigmoid şekilli bir eğri oluşturmaktadır. Eğride iki bükülme noktası olup, bunlar kalan su tansiyonu (residual) ve hava giriş değeridir. Havanın topraktaki iri gözeneklere girmeye başladığı (drenaj başlangıcı) veya bir noktada tüm havanın atıldığı (ıslatma esnasında) andaki toprak suyunun matrik potansiyeli hava giriş değeri (ha) olarak ifade edilmektedir. Diğer taraftan, belli bir noktadan sonra, toprağa uygulanan negatif su potansiyelinin

artırılmasına rağmen toprak su içeriğinin değişmeyerek devamlılık gösterdiği nokta; kalan su içeriği ( $\theta_r$ ) olarak ifade edilmektedir. Toprağın su tutma eğrilerini, basınç yükünün veya su içeriğinin bir fonksiyonu olarak ifade eden çok sayıda deneysel eşitlikler geliştirilmiştir. Bu eşitlikler içerisinde sayısal modellerde en yaygın olarak kullanılanları Brooks ve Corey (1964) ve van Genuchten (1980) tarafından geliştirilmiş olanlarıdır.

## **2.2. Toprak Su Tutma Eğrisi ve Diğer Toprak Özelliklerin Arasındaki İlişkiler**

Su tutma eğrisi toprakların birçok hidrodinamik özellikleri hakkında bilgi vermekte ve bu eğrinin şekli üzerinde birçok toprak özelliği etkili olmaktadır. Bu özelliklerin başında tane iriliği dağılımı yani toprak tekstürü, toprak organik madde içeriği, kireç içeriği ve toprak sıkışması gelmektedir. Bu özellikler hakkında yapılan çalışmalardan önemli bulunanların özetleri aşağıda sunulmuştur.

### **2.2.1. Toprak tekstürünü**

Tekstür, toprakların tanımlanması ve sınıflandırması için kullanılan en önemli fiziksel özelliklerden biri olması ile birlikte toprağın strüktürü, havalanması ve su hareketini de etkilemektedir (Xudong ve ark., 2005). Toprakta kum miktarı fazla olduğundan toprağın havalanması ve geçirgenliği artmakta, ancak su tutma kapasitesi ve kohezyonu düşmektedir (Atalay, 1982). Killi topraklar, yüksek su tutma kapasitesine sahip olduğu için havalanma ve geçirgenlikleri zayıftır (Schnachtschabel ve ark., 1999). Kutilek ve Nielsen (1994)'e göre su tutma eğrisinin şekli özellikle nemli bölgede tane büyüklük dağılımı (tekstür) ve toprak strüktüründen önemli ölçüde etkilenmektedir. Düşük tansiyonlarda (0-1 bar) topraktaki tutulan su miktarının özellikle kapilarite ve gözenek büyüklük dağılımına bağlı olarak değiştiği, dolayısıyla toprak strüktürü tarafından güçlü bir şekilde etkilendiği belirlenmiştir. Ancak yüksek tansiyonlarda 15 bar ve daha fazla basınçlarda (bitkiler için topraktaki yarayışlı su içeriğinin alt sınırı) su tutulmasında, toprağa uygulanan emiş miktarı arttıkça, toprak strüktüründen ziyade, toprak tekstürü ve yüzey alanının etkin olduğu ortaya konmuştur. Toprakların kil içeriği arttıkça, su tutma eğrisindeki herhangi bir matrik potansiyelinde tutulan nem miktarı artmakta ve çizilen eğrinin, eğim değişimi daha az olmaktadır. Ancak kumlu topraklarda gözeneklerin çoğunun iri olması nedeniyle, uygulanan tansiyon arttıkça belli bir değerden sonra (hava giriş değeri) hızlı bir şekilde drenaj başlamakta, iri gözeneklerde tutulan suyun çoğunluğu hemen

boşalmakta ve sadece küçük gözeneklerde bir miktar su kalmaktadır. Toprağın tane büyüklük dağılımı (tekstür) ile toprağın hidrodinamik özellikleri arasındaki güçlü bir istatistiksel korelasyon olmasından dolayı, çoğu araştırmacılar toprak tekstürünü kullanarak; su tutma eğrisinin tahminini sağlayan modelleri oluşturmuşlardır.

Arya ve Paris (1981), tane büyüklük dağılımı eğrisi ile su tutma eğrisi arasındaki benzerliği kullanarak, tane büyüklüğü dağılımı ile hacim ağırlığı verilerinden su tutma eğrisinin tahmin edilmesi için bir model oluşturmuşlardır. Bu modelde tane büyüklüğü dağılımı, hacim ağırlığı ve tane yoğunluğundan, gözenek büyüklüğünün dağılımı hesaplanabilmektedir. Gözenek yarıçapına karşılık gelen hacimsel su içeriğini veren kapilarite denklemi kullanılarak, eşdeğer toprak-su tansiyonları da hesaplanmıştır.

### **2.2.2. Sığır gübresi**

Jong ve ark. (1983), toprak tekstürü ve organik karbon veri setini kullanarak toprak su içeriği ve su tansiyonu arasındaki fonksiyonel ilişkileri test etmişlerdir. Çalışma çayır arazide 18 farklı noktalardan bozulmuş toprak örnekleme yapılmış ve 5 ila 10.000 kPa arasında yapılan ölçümler aralığıyla su tutma eğrisi elde edilmiştir. Korelasyon ve regresyon analizine göre, toprak tekstürünün su tutma eğrisinin şeklini ve pozisyonunu etkileyen faktörün ana toprak özelliği olduğu gözlenmiştir. Ayrıca eğrinin dönme noktalarındaki su içeriklerinin organik madde tarafından etkilendiği belirlenmiştir.

Nyamangara ve ark. (2001), kumlu toprakta toprak agregat stabilitesi ve su tutma kapasitesi üzerine iki tip sığır gübresi uygulamasının etkisini araştırmışlardır. Uygulanan gübrelerin toprağın su tutma kapasitesini önemli derecede artırdığını, ancak faydalı su içeriğindeki artışın önemli olmadığını tespit etmişler, ayrıca yapılan uygulamaların düşük tansiyonlarda toprakta tutulan su miktarı üzerinde daha fazla etkili olduğunu belirtmişlerdir. Bunun sebebini, topraktaki iri gözenekler üzerine gübre uygulamasının etkisi ile açıklamışlardır. Sonuçta sığır gübresi uygulamasının toprağın strüktürel stabilitesi ve su tutma kapasitesi üzerinde olumlu etki oluşturduğunu bildirmişlerdir.

Rawls ve ark. (2003), organik karbon miktarı ve tekstürel bileşenlerin özellikleri ile toprakta su tutması arasındaki ilişkileri açıklamak için kurdukları hipotezleri test etmek için çalışmalar yürütmüşlerdir. Kumlu topraklarda; organik madde içeriğinde değişiklik olduğunda, düşük organik karbon içeriğinde su tutma duyarlılığının en yüksek olduğu tespit

edilmiştir. Zira kumlu topraklarda, organik madde içeriği arttıkça su tutmasının arttığını; bunun aksine ince tekstürlü topraklarda ise azaldığını bildirmişlerdir. Tüm topraklar değerlendirildiğinde, yüksek organik karbon içeriğinde su tutmanın arttığını, kumlu ve siltli topraklarda bu artışın en yüksek olduğunu, tutulan su miktarının tarla kapasitesinde iken solma noktasından daha fazla olmuştur. Sonuçlara göre; karbon depolanması ve yönetim uygulamalarının toprak hidrolik özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirmek için kullanılabilecek denklemler geliştirmişlerdir.

Rasoulzadeh ve Yaghoubi (2011), kumlu killi tın toprakta Levenberg-Marquart optimizasyon algoritmasına dayanarak uygulanan, ters yöntem kullanılarak toprak hidrolik özellikleri üzerindeki sığır gübresi etkisini araştırmışlardır. Buna göre, araziye 0, 30 ve 60 Mg ha<sup>-1</sup> dozlarında sığır gübresi uygulamışlar, bir yıl sonra su tutma eğrisinin  $\alpha$  ve  $\beta$  van Genuchten parametrelerini, gözeneklilik ve doymun hidrolik iletkenliği tahmin etmişlerdir. İstatistik analizler,  $\alpha$  parametresinin; otomatik kalibrasyon için, diğer parametrelerden daha hassas olduğunu göstermiştir. Ayrıca kalan su içeriği, doymun hidrolik iletkenlik ve gözenek değerlerinin, 30 ve 60 Mg ha<sup>-1</sup> sığır gübre uygulamasında, önemli ölçüde ( $P < 0.05$ ) arttığını bildirmişlerdir.

Guruprasad ve ark. (2012), kırmızı ve siyah renkli, dağlık alandan ve bataklıktan alınan topraklara % 0'den 80'a kadar organik karbon uygulamışlardır. Buna göre, tüm organik karbon uygulama dozlarında su tutma kapasitesinin arttığı tespit edilmiştir. Siyah renkli ve bataklık alandan alınan toprakların organik madde içeriği yüksek olduğundan uygulamaların etkisi daha sınırlı düzeyde kalırken; kırmızı renkli ve dağlık alandan alınan toprakların organik madde kapsamı daha düşük olduğundan dolayı, organik karbon uygulamalarına daha iyi tepki almışlardır. İnce tekstürlü topraklarda, organik karbon uygulamalarının yüksek dozlarında gözenekler dolduğundan dolayı suyun akışına karşı maksimum direnç gözlemlenmiştir.

Liyanage ve Leelamanie (2016), Ultisol bir toprağın su tutması ve su giriş değeri üzerine organik madde uygulamalarının etkisini belirlemek için yaptıkları çalışmada, dört farklı organik madde kaynağının (sığır gübresi, keçi gübresi ve iki farklı yeşil gübre) farklı dozları ile toprak örneklerini karıştırmışlardır. Buna göre, organik madde içeriği arttıkça toprak su içeriğinde önemli pozitif ve doğrusal bir artış ortaya çıktığı tespit etmişlerdir.

Minasny ve McBratney (2018), toprakta organik madde miktarı artışının bitkiler için faydalı su içeriği artışın teşvik edilip etmediğini incelemişlerdir. Bu amaçla doyumluk, tarla kapasitesi ve solma noktasında su içeriği ile organik karbon arasındaki ilişkileri inceleyerek, fazla sayıdaki veri setini analiz etmişlerdir. Sonuçlar toprakların organik karbon içeriğindeki artışın, toprak su içeriği üzerinde fazla etkili olmadığını göstermiştir. Organik karbon miktarı % 1'in altında bulunan topraklarda, organik karbon içeriği arttığında genel olarak doyumluk değeri, tarla kapasitesi, solma noktası ve faydalı su içeriğinin arttığı bildirilmiştir. Artış miktarının en fazla kumlu topraklarda olurken, daha sonra tınlı ve en az da killi topraklarda olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak yapılan çalışma sonuçlarına göre; 10 g kg<sup>-1</sup> karbon artışının faydalı su içeriğinde sadece 0.7 – 2 mm 100 mm<sup>-1</sup> arasında küçük bir artış oluşturduğunu ifade etmişlerdir.

### 2.2.3. Biyokömür

Kor ve Eduard (2014), biyokömür ile iklim ve toprağın korunması entegre projesinde, Kuzey Denizi'ni çevreleyen yedi ülke; Belçika, Hollanda, Almanya, Danimarka, İsveç, Norveç ve İngiltere'de kumlu, tınlı ve killi tekstürlerdeki farklı tarım topraklarına biyokömür uygulamışlardır. Çalışmanın yapıldığı toprakların her birine 20 ton ha<sup>-1</sup> dozunda aynı tipte biyokömür uygulayarak, 20-30 cm derinliğindeki üst toprakla karıştırmışlardır. Sonuçlara göre; 20 ton ha<sup>-1</sup> biyokömür uygulaması (yaklaşık % 0,5 toprak organik maddesine eşit) bitkiye faydalı su üzerinde etkili olmamıştır. Kumlu toprağa fazla miktarda biyokömür uygulandığında su tutma özelliklerinin iyileştirileceğini, biyokömür ile perlitin su tutmaya etkilerinin ise karşılaştırılabileceğini bildirmişlerdir.

Brantley ve ark. (2015), tınlı toprakta geniş nem aralığında toprak su potansiyeli ile su içeriği arasındaki ilişkiyi belirlemek için, iki tip biyokömürü (kanatlı gübresi ve odun paçaları) 0, 5 ve 10 Mg ha<sup>-1</sup> dozlarında 10 cm toprak derinliğine uygulayarak karıştırmışlardır. Elde edilen verilere uygulanan istatistiksel analiz sonuçlarına göre; su potansiyeli ile su içeriği (P<0.05) ve biyokömür (P<0.01) tipleri arasındaki ilişkin önemli olduğu belirtilmiştir. Buna göre; uygulama dozundan bağımsız olarak kanatlı gübresinden elde edilen biyokömürün yüksek su tutma kapasitesi gösterdiği ifade edilmiştir. Kanatlı gübresi biyokömürü uygulama dozunun, su potansiyeli ile su içeriği arasındaki ilişkiyi etkilediği belirtilmiştir.

Glağ ve ark. (2016); çim yetiştiriciliği altında bulunan, kum içeriği yüksek tınlı kum toprağa, farklı dozlarda ve farklı tane boyutlarındaki biyokömür uygulamalarının, ortamın su tutma özelliklerine etkisini belirlemişlerdir. Bu amaçla fil otu ve kışlık buğday anızı kullanılarak, sınırlanmış havalanma şartlarında, 15 dakika boyunca 300 °C sıcaklıkta piroliz işlemi ile biyokömür üretmişlerdir. Biyokömür parçacıkları 0–500, 500–1000 ve 1000–2000 µm olmak üzere, üç farklı boyut fraksiyonlarına ayrılıp, ağırlıkça % 0, 1, 2, 4 ve 5 oranlarında saksıdaki topraklara karıştırılmıştır. Buna göre, biyokömür uygulamaları kumlu toprağın fiziksel özelliklerini önemli ölçüde iyileştirmiştir. Hacim ağırlığı ve toplam gözenek gibi temel toprak fiziksel parametrelerinin sadece uygulama oranı değil aynı zamanda biyokömürün boyutuna da bağlı olduğunu saptanmışlardır. Küçük biyokömür parçacıklarının (<0.5 µm) gözeneklerin hacmini azalttığı, ancak 0.5-500 µm arası çaplardaki uygulamaların büyük gözeneklerin hacmini arttığını göstermiştir. Biyokömür uygulaması, özellikle en küçük fraksiyon kullanıldığında, faydalı su içeriğini (0.064 cm<sup>3</sup>cm<sup>-3</sup>) artırmıştır. Fil otu bitkisinden hazırlanan biyokömürün (0.056 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>), kışlık buğdaydan hazırlanan biyokömürden (0.050 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) daha yüksek faydalı su içeriği sağladığı bildirilmiştir.

Liu ve ark. (2017) tarafından biyokömürün toprağın hidrolojik süreçleri üzerindeki etkilerini açıklayan kavramsal bir model geliştirmek için; biyokömürün tane büyüklüğü ve gözenekliliğinin toprak su tutma eğrisi üzerindeki etkilerini test eden kumun esas bileşen olarak kullanıldığı bir laboratuvar çalışması yapmıştır. Ortama ilave edilen biyokömürün hem taneler arasındaki gözenek hacmini (interporlar) ve hem de tanelerin içindeki gözenekleri (intraporlar) değiştirerek, toprağın su tutma ve depolama kapasitesini etkilediği gözlenmiştir. Yapılan çalışmada; toprak kapilar potansiyel altında bulunduğu zaman, biyokömürden kaynaklı iç gözeneklerin ve biyokömür parçacık büyüklüğünün su tutma karakteristiklerini nasıl değiştirdiği incelenmiştir. Topraklar kuruduğu zaman, biyokömür içindeki iç gözeneklerin biyokömür-kum karışımlarının su içeriğini arttırdığını, biyokömür-kum karışımları ıslatıldığında ise biyokömür-kum karışımı içindeki taneciklerin dizilimini değiştirerek, suyun daha fazla depolanmasını sağlayacak şekilde taneler arasındaki boşluk hacminin arttığını ifade etmişlerdir. Bu sonuçlar, biyokömürün yüksek bir intragözenekliğine sahip ve düzensiz şekilleri olmaları nedeniyle kaba tekstürlü toprakların

su depolama kapasitelerinin etkili bir şekilde artırılması için kullanılabileceğini göstermiştir.

Ni ve ark. (2018), çıplak ve ağaç yetiştirilen siltli kum tekstürdeki toprağa, hacimsel olarak % 10 fıstık kabuğu biyokömür uygulamalarının toprakların su tutma eğrisi ve matrik potansiyeli üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Biyokömür uygulamaları toprakların optimum su içeriğini % 12'den % 17'ye yükseltirken, maksimum kuru hacim ağırlığını da  $1890 \text{ kg m}^{-3}$ 'den  $1740 \text{ kg m}^{-3}$ 'e düşürmüştür. Biyokömür uygulaması ile hem çıplak hem de bitki yetiştirilen topraklarda, su tutma eğrilerinin desorpsiyon oranları biyokömür uygulanmayanlardan daha düşük çıkarken, hava giriş değerinde neredeyse hiç değişiklik olmamıştır.

#### 2.2.4. Kireç içeriği

Zhang ve ark. (2011), statik olarak sıkıştırılan ve sıkıştırılmayan Londra kilinin su tutma eğrisi üzerine kireç uygulama etkisini filtre kâğıdı test yöntemini kullanarak belirlemeye çalışmışlardır. Buna göre, kireç uygulaması ile toprağın optimum su içeriği % 26'dan % 30'a çıkarken, maksimum kuru yoğunluğu  $1.43 \text{ g cm}^{-3}$ 'den  $1.26 \text{ g cm}^{-3}$ 'e düşmüş, düşük tansiyonlarda gravimetrik su içeriği kireç uygulaması ile artarken, yüksek tansiyonlarda değişkenlik azalmıştır.

Mavroulidou ve ark. (2015), farklı yöntemler kullanarak (filtre kâğıdı, basınç tablası ve kontrollü üç eksenli emiş sistemi) kil içeriği ve plastikiği yüksek bir toprağın, ıslanma ve kurumadaki su tutma eğrisi üzerine, farklı kireç düzeylerinin etkisini belirlemek için bir çalışma yürütmüşlerdir. Optimum su içeriği ve hacim ağırlığı üzerine kireç uygulamalarının etkisi, inkübasyon denemesi sonunda belirlenmiştir. Buna göre kireç ile muamele edilmiş ve muamele edilmemiş toprağın bulgularının uyumluluk gösterdiği; kireç uygulamasının toprağın strüktürel yapısını değiştirerek boşluk oranını artırdığı ve buna bağlı olarak sıkışmanın değiştiğini ifade etmişlerdir.

Wang ve ark. (2016), kireç ile muamele edilmiş toprakların kuruma durumunda su tutma eğrilerini belirlemişler ve su tutma özelliği üzerine agregat büyüklüğünün etkisini incelemişlerdir. Ağırlık esasına göre % 2 söndürülmüş kireci, farklı iriliklerde ( $D_{max}=0-4 \text{ mm}$  ve  $5 \text{ mm}$ ) toprakla karıştırmışlardır. Bu karışımdan  $1.65 \text{ Mg m}^{-3}$  hacim ağırlığı ve % 17 optimum nem içeriğinde sıkıştırılmış örnekler hazırlanmıştır. Tansiyon ölçümü farklı

sürelerde (t = 7, 28 ve 90 gün) çığ noktası higrometre yöntemiyle yapılmıştır. Sonuçlara göre; ortalama çapı daha küçük olan kireç uygulamasında, iri gözenekler için daha düşük ortalama gözenek çapı elde edildiği (10-330 µm), kireç ilavesinin toprağın su tutma kapasitesini önemli ölçüde geliştirdiği, zaman içerisinde hem makro hem de mikrogözeneklerin ortalama boyutlarını kademeli olarak azalttığını ifade etmişlerdir. Kireç doz artışı ve uygulama süresinin artmasıyla birlikte toprağın su tutma kapasitesinin kademeli olarak iyileştiğini belirtmişlerdir.

Zhang ve ark. (2017), statik olarak sıkıştırılmış kireçle stabilize edilmiş Londra kil örneklerinin kuruma ve ıslanma su tutma eğrilerini araştırmışlardır. Bu konuda uluslararası literatürde bilgi eksikliği olduğunu belirttikleri çalışmada, kireç ilave edilen toprağın, su tutma eğrisinde histerisisi incelemişlerdir. Buna göre kireç uygulamasıyla stabilitenin arttığı, ancak flokülasyon ve kimyasal bağlanma etkileri ile oluşan açık strüktür nedeniyle, su tutma kabiliyetinin azaldığı ifade edilmiştir.

### **2.2.5. Hacim ağırlığı**

Smith ve ark. (2001), farklı topraklarda su tutma eğrisi üzerine sıkışmanın etkisini değerlendirmek için bir çalışma yapmışlardır. Tüm su tutma eğrilerinde gravimetrik ya da hacimsel olarak ifade edilen nem sonuçları, sıkışma derecesi arttıkça S şekilli olan eğrilerin düzleştiğini göstermiştir. Böylece suyun bırakılma endeksinde, su içeriğine karşı matris potansiyelin logaritmik grafiğinde, bir düşüşe neden olunmuştur. Sıkıştırma işleminden sonraki su tutma eğrilerindeki değişikliklerde, toprak özellikleri ve gözenek geometrisi arasındaki karmaşık ilişkilerden dolayı, faydalı su içeriği ile hacim ağırlığı ve toprak tipi arasında net bir ilişki belirlenememiştir. Faydalı su ile sıkışma derecesi arasındaki ilişki üç şekilde açıklanmıştır: (i) nemli topraklarda, toprak sıkışması arttıkça faydalı su içeriği azalma göstermiştir, (ii) bazı killi ve kumlu topraklarda toprak sıkışması arttıkça faydalı su içeriği artış göstermiştir, (iii) toprak sıkışması arttıkça faydalı su içeriği artıp belli bir noktadan sonra azalma göstermiştir. Sonuç olarak toprak sıkışması arttıkça faydalı su içeriği hacimsel olarak artış göstermiş, fakat ağırlık esasına göre ifade edildiğinde ise net bir ilişki göstermediği bildirilmiştir.

Tarawally ve ark. (2004), 10 Mg ağırlığındaki bir traktörü, üç farklı nem içeriğine sahip plastik (Fs), dağılabilir (Fc) ve kuru (Ds) bir toprak üzerinden, yedi defa geçirerek



toprak sıkışması ve rutubet karakteristik eğrisinde meydana gelen değişimi, gözenek büyüklüğü dağılımı üzerinden incelemiştirler. Buna göre, toprak gözenek büyüklüğünü;  $>50 \mu\text{m}$ ,  $50-0.5 \mu\text{m}$  ve  $<0.5 \mu\text{m}$  olmak üzere üç guruba ayırmışlardır. Yapılan uygulamalarda cone indeksi (CI) olarak en yüksek toprak sıkışmasının  $F_s$  ve  $F_c$  nem içeriklerinde sırasıyla 2.93-3.70 MPa,  $D_s$  uygulamasında ise 50-0.5  $\mu\text{m}$  arası gözenek miktarında artış olduğu ve 1.69 MPa ölçüldüğü belirtilmiştir. Toprağın sıkıştırılması farklı gözenek büyüklüğü kategorilerinin dağılımı üzerinde farklı etkiler oluşturmalarına rağmen, toprağın toplam gözenekliliğinin yapılan uygulamalardan önemli ölçüde etkilenmediği,  $<0.5 \mu\text{m}$  gözenek miktarını artıran uygulamaların, 0-15 bar aralığında ölçülen toprak su potansiyellerini olumsuz etkilediğini ve solma noktasında daha yüksek su içeriği ölçüldüğünü ifade etmişlerdir.

Assouline (2006), toprağın doygunluk derecesi ve (Brooks ve Corey, 1964) yaklaşımı, iki tahmin modeli parametrelerini kullanarak toprağın su tutma eğrisi ile hacim ağırlığı arasındaki ilişkileri incelemiştir. Başlangıç veya mevcut referans hacim ağırlığı verilerini kullanarak, su tutma eğrisi üzerine toprak sıkışmasının etkisinin belirlenmesi için tahmin modelleri oluşturmuşlardır. Toprak işlemeden sonra doğal hale dönüşümü, bozulmuş örneklerle mekaniksel sıkıştırma uygulayarak verilerin doğruluğunu kontrol etmişlerdir. Buna göre, yapılan sıkıştırma uygulamalarından toprakların su tutma eğrilerinin yüksek doğrulukta tahmin edilebildiği ve ayrıca su tutma eğrisinin üzerine hacim ağırlığı artışının ana etken olarak dikkate alınmasının gerekli olduğunu belirtmiştir. Sıkışmaya bağlı olarak, yüksek kapilarite yükünde (satürasyon) yani su tutma kapasitesinde düşüş, büyük gözeneklerin dağılımında kısmen azalma, aynı zamanda düşük kapilar yükte (kalan su) yani su tutma kapasitesinde artışı ve küçük gözeneklerin miktarındaki artışa durumları hazırlanan modeller ile uyumlu çıkmıştır.

Jahangir ve ark. (2012), bentonit ile siltli toprak karışımı hazırlamışlar ve 1.27, 1.35 ve  $1.55 \text{ Mg m}^{-3}$  hacim ağırlıklarında, gevşek ve yoğun şartları elde etmek için sıkıştırmışlar ve bu örneklerin su tutma eğrisini belirlemişlerdir. Toprakların su tutma eğrisinin belirlenmesinde üç parametrelili model (van Genuchten, 1980) ve iki parametrelili modeli (Brooks ve Corey, 1964) kullanmışlardır. van Genuchten modelinde,  $n$  ve özellikle  $m$  parametreleri toprağın başlangıç durumundan (ıslanma - kurumadan) önemli ölçüde etkilenirken, Brooks ve Corey modelinde ise  $\lambda$  parametresi, toprağın hacim ağırlığından

artış yönünde etkilenmiştir. Buna göre tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, örneklerin ortalama olarak hidrolik davranışlarının tahmin etmek için kullanılan modellerin iyi sonuçlar verdiğini belirtilmiştir.

Gao ve Sun (2017), killi silt tekstürlü bir toprak, basınç tablası ve buhar basınç yöntemlerini kullanarak, geniş aralıkta su tutma eğrisinin davranışlarını incelemiştir. Farklı boşluk oranlarına sahip örneklerin kalan tansiyon ve su içeriği aynı çıkmış, su içeriği ile tansiyonun logaritması doğrusal ilişkili bir hava girişi değeri göstermiştir. Ayrıca su tutma eğrileri iyi bir şekilde ifade etmek için Fredlund ve Xing (1994) tarafından geliştirilen denklem kullanılmış ve tahmin edilen ile ölçülen sonuçlar karşılaştırılarak tahmin edici sonuçlar elde edilmiştir.

### **2.3. Toprak Su Tutma Eğrisinin Bazı Deneysel Modellerden Tahmin Edilmesi**

Su tutma eğrisinin laboratuvarında doğrudan veya dolaylı olarak tahmin edilebilmesini sağlayan; basınç tablası, kum kutusu, tansiyometre ve buhar basıncı gibi farklı metotlar bulunmaktadır. Ancak toprakların yüksek mekânsal değişkenliğinden dolayı bu özellikleri iyi tanımlayabilmek çok sayıda örnekle çalışmayı gerektirir ve toprağın karmaşıklığından dolayı toprak su tutma özelliğinin doğrudan belirlenmesi yüksek maliyetli ve zaman alıcı bir yöntemdir (Wosten ve ark., 2001). Bu nedenle su tutma eğrisi dolaylı olarak kolay ve mevcut olan özelliklerden tahmin edilebilmektedir. Toprak tekstürü, hacim ağırlığı ve organik madde içeriği gibi alternatif ölçümlerle su tutma eğrisinin tahmin edilmesi daha hızlı ve daha kolaydır (Zhuang J ve ark., 2001; Vaz ve ark., 2005). Su tutma eğrisi parametrelerinin (ıslak ve kuru bölge uçlarında) kolay ve doğru olarak tahmin edilmesi amacıyla, rutubet eğrisi ile uyumlu doğrusal olmayan modeller geliştirilmiştir. Ayrıca zor ölçülebilen bu özelliklerin belirlenmesinde pedotransfer fonksiyonların (PTFs) kullanılması da söz konusu olup, bu modellerin kullanımı da gittikçe yaygınlaşmakta ve popüleritesi artmaktadır. Bu modellerle herhangi bir toprağın hacimsel su içeriği ( $\theta$ ) ve potansiyeli ( $\psi$ ) arasındaki ilişki parametrik hidrolik bir eşitlikle açıklanabilmektedir. Araştırmacılar çok sayıda parametrik modeller geliştirilmiştir. Bu modellerin yaygın kullanılan önemli bir kısmı deneysel modellerdir (Gardner, 1958; Brooks ve Corey, 1964; Campbell, 1974; van Genuchten, 1980; Fredlund ve Xing, 1994).

Su içeriğini veya etkin doygunluğu ( $\theta$ ) matris potansiyel ile ilişkilendirmek için en etkili ve sık kullanılan bir parametrik model van Genuchten (1980) tarafından önerilmiştir (Eşitlik 1).

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

Eşitlikte:

$\theta_r$ : Kalan su içeriği,  $\theta_s$ : Doygun su içeriği,  $h$ : Toprak su potansiyeli,  $\alpha$ ,  $m$  ve  $n$  toprak su tutma eğrisinin şekline bağlı model parametrelerdir.

Denklemin çözümünü kolaylaştırmak için  $m = 1 - 1/n$  önerilmiştir.  $\theta_s$  kolaylıkla ölçülebilir, belli olmayan geri kalan parametreler  $\alpha$ ,  $n$ , ve  $\theta_r$  deneysel verilerden farklı durumlar için tahmin edilir.  $\theta_r$  bazen 1500 kPa'ın altında kalan nem içeriği veya hava kuru topraktan nem içeriği olarak da alınabilmektedir. Topraklar çoğu zaman doygun olmayan durumlarda kaldıklarından van Genuchten denklemi doymamış topraklarının hidrolik iletkenliklerinin belirlenmesi için de kullanılmıştır. Ancak Darcy denklemi ise sadece doygun şartlardaki topraklar için kullanılmaktadır. Yukarıdaki denklemin çalıştırılabilmesi için, herhangi bir şekilde sıvı akışının olmadığı su içeriğinde  $\theta_r$ 'nin belirlenmesi gerekmektedir. Bu şartlarda su, sadece buhar akışı ile hareket edebilmektedir.

Burdine (1953) ve Brooks ve Corey (1964) denklemleri ile hesaplanan, doymuş ve doymamış şartlardaki hidrolik özellikler ile hava ile su geçirgenlikleri arasındaki fonksiyonel ilişkilerin hesaplanmasında kullanılmıştır. Modelin temeli, çok sayıda deneysel verinin gözlemine dayanmaktadır (Eşitlik 2).

$$\theta = \begin{cases} \theta_r + (\theta_s - \theta_r)(\beta h)^{-\lambda} & (\beta h) > 1 \\ \theta_s & (\beta h) \leq 1 \end{cases} \quad (\text{Eşitlik 2})$$

Eşitlikte:

$\theta$ : Hacimsel su içeriği ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ),

$\theta_r$ : Hacimsel olarak kalan (residual) su içeriğini ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )

$\theta_s$ : Doygun su içeriğini ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )

$\beta$ : Ampirik şekil katsayısı ( $\text{m}^{-1}$ )

$\lambda$ : Gözenek büyüklüğü dağılım parametresi, parçacık büyüklük dağılımını gösteren ve su tutma eğrisinin eğimini etkileyen parametreyi göstermektedir

$h$ : Toprak su potansiyeli (kPa)

Brooks ve Corey denklemi aşağıdaki gibi boyutsuz bir biçimde yazılabilir:

$$Se = \begin{cases} (\beta h)^{-\lambda} & (\beta h > 1) \\ 1 & (\beta h \leq 1) \end{cases} \quad (\text{Eşitlik 3})$$

Burada Se: Etkili doygunluk derecesi ( $0 \leq Se \leq 1$ ) ve

$$Se = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (\text{Eşitlik 4})$$

Brooks ve Corey denkleminde hava giriş değeri basit formlarından dolayı iki düz çizgi oluşturur.  $1/\beta$  genellikle hava giriş veya kabarcık basıncı olarak adlandırılmaktadır. Brooks ve Corey denkleminin nispeten dar olan gözenek veya tanelerin büyüklüğü dağılımları (büyük R-değerleri) ile karakterize edilen birçok kaba tekstürlü topraklar için nispeten doğru sonuçlar ürettiği belirlenmiştir. Ancak ince tekstürlü ve bozulmamış tarla topraklarında iyi belirlenmiş bir hava girişi değeri olmadığı için sonuçlar genellikle daha az doğrudur.

van Genuchten (1980), su tutma eğrisi ve su iletkenliğini açıklayan eşitliklerde "kapalı form" terimini kullanmıştır. van Genuchten parametreleri ile farklı maodeeler (Mualem (1976) kullanılarak hesaplamalar yapılabilmektedir. Burdine (1953)'e göre, gözenek büyüklüğü dağılımına dayanan bir model oluşturmuş, hidrolik iletkenlik ve düfüzyon hızları bu modele göre hesaplanmıştır. Fakat bu modelde  $h(\theta)$  eğrisini bulmak için  $m = 1 - 2/n$  eşitliği kullanılmıştır ( $0 < m < 1$ ;  $n > 2$ ).

Mualem (1976)'ya göre, su tutma eğrisi ve doygun hidrolik iletkenlikten, doygun olmayan hidrolik iletkenlik tahmin edilebilmektedir.

$$\theta = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (\text{Eşitlik 5})$$

Su tutma eğrisinde  $h(\theta)$  aşağıdaki genel denklemi boyutsuz olarak şöyle yazılır:

$$\theta(h) = \left[ \frac{1}{1 + (\alpha h)^n} \right]^m \quad (\text{Eşitlik 6})$$

Eşitlikte:

$\theta(h)$  : h toprak su potansiyelindeki hacimsel su içeriği,  $\alpha$ , n ve m: parametre katsayıları

h: Toprak su potansiyeli (kPa)

Mualem (1976) son iki denklemi kullanarak  $\theta(h)$  su tutma eğrisini bulmuştur. Bu eğri S şeklini almış ve eğrinin eğimi ( $d\theta/dh$ ),  $\theta_s$ 'de sıfır veya sıfıra yakın bir değerdir.

van Genuchten temel eşitliğinde, Mualem ve Burdine yaklaşımları ile deneysel verilerin uyumluluğu denenmiş ve Mualem modelinin daha uyumlu ve hassas olduğu için aşağıdaki gibi beş farklı toprak özelliği için su tutma eğrisi tahmin edilmiştir. van

Genuchten ve Brooks ve Corey, deneysel modellerinde matris potansiyel pozitif bir değer ile ifade edilmiştir.

van Genuchten ve Brooks ve Corey parametrelerinin, deneysel verilerden tahmin edilmesi ve su tutma eğrisinin doğru oluşturulması için yeterli sayıda lim noktasını kullanan bir yazılım sayesinde çoğunlukla doğrusal olmayan regresyon modelinin oluşturulması gerekmektedir. Bu yazılımlarda (RETC code), van Genuchten ve ark. (1991) tarafından kurgulanan modeller kullanılarak doğrusal olmayan regresyonlar için iyi hesaplamalara yapılabilir. Bu yazılımlarda rutubet karakteristi eğrisini tahmin etmek için van Genuchten ile Brooks ve Corey modellerinin parametrelerini kullanılarak, Mualem ve Burdine teorik gözenek byklğu dağılımı modelleri ve su tutma parametrelerine dayalı olarak, doymamış toprakların su tutma eğrileri ile hidrolik iletkenliği tahmin edilebilmektedir. Yazılımda kullanılan girdi verileri; tekstür, hacim ağırlığı, tarla kapasitesi ( $\theta_{TK}$ ) ve solma noktası ( $\theta_{SN}$ ), ıktı verileri ise  $\theta_r$ ,  $\theta_s$ ,  $\alpha$ ,  $n$  ve hidrolik iletkenlik ( $k_s$ )'dir.

Gupta ve Larson (1979), topraktaki su ile çözünen maddelerin akışkanlığının modellenmesi ve mevcut su kapasitelerinin tahmin edilmesi için tane büyüklük dağılımı, hacim ağırlığı ve organik madde içerikleri kullanılarak geliştirilen regresyon denklemleri oluşturulmuştur (Eşitlik 7; izelge 1). Geliştirilen regresyon denkleminde kullanılan veri tabanı çok geniş aralığa sahip olup, kum için % 5-98, silt için % 1-72, kil için % 0-65, organik madde için % 0-23 ve hacim ağırlığı için 0.74-1.74 g cm<sup>-3</sup> aralıklarında değişmektedir. Bu deneysel model; farklı topraklar için iyi bir tahmin sonucu vermiştir (izelge 1).

$$\theta_p = a (\% \text{ kum}) + b (\% \text{ silt}) + c (\% \text{ kil}) + d (\% \text{ organik madde}) + e (\text{ hacim ağırlığı, Mg m}^{-3}) \quad (\text{Eşitlik 7})$$

Eşitlikte:

$\theta_p$ : Belirli bir potansiyeldeki tahmini hacimsel su içeriği (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)

a, b, c, d ve e: Regresyon katsayıları ise toprak-su içeriğini tahmin etmek için kullanılan parametrelerdir.

Rawls ve ark. (1982), çok geniş bir veri seti kullanarak farklı toprak-su potansiyellerinde on iki adet çoklu doğrusal regresyon modelleri geliştirmişler ve en basit  lineer regresyon denklemini kullanmışlardır (Eşitlik 8; izelge 1).

$$\theta_p = a \pm b (\% \text{ kum}) + c (\% \text{ kil}) + d (\% \text{ organik madde}) \quad (\text{Eşitlik 8})$$

Eşitlikte:

a, b, c ve d katsayıları, toprak tekstürü ve organik maddesi üzerinden toprak su potansiyelini tahmin etmeyi sağlayan regresyon eşitliği katsayılarıdır.

Saxton ve Rawls (2006), toprakların tekstürel parametreleri ile organik madde içeriğini kullanarak geliştirdikleri kademeli regresyon eşitliğinden, toprak su potansiyelini tahmin etmişlerdir (Çizelge 1).

**Çizelge 2.1.** Toprak su potansiyelinin tahmin edilmesinde yaygın kullanılan pedotransfer fonksiyonlar ve regresyon katsayıları

$FC = 0.003075S+0.005886Si+0.008039C+0.00208OM+0.1434BD$	0.96	(Gupta ve
$PWP = -0.000059S+0.00114Si+0.005766C+0.002208OM +0.02671BD$	0.95	Larson, 1979)
$FC = 0.2576-0.002S+0.0036C+0.0299OM$	0.87	(Rawls ve
$PWP = 0.026+0.005C+0.0158OM$	0.80	ark., 1982)
$FC = FCt+((1.283 ((FCt))^2 - 0.374 (FCt)-0.015FCt$	0.63	(Saxton ve
$FCt=-0.251S+0.195C+0.011OM+0.006(SxOM)-0.027(CxOM)+0.452(SxC)+0.299$		Rawls, 2006)
$PWP=PWPt+(0.14PWPt-0.02)$	0.86	
$PWPt=-0.024S+0.487C+0.006OM+0.005(SxOM)-0.013(CxOM)+0.068(SxC)-0.031$		

\*:FC: Hacimsel su içeriği (33 kPa); PWP: Hacimsel su içeriği (1500 kPa); S: Kum, % w; Si: Silt, % w, C: Kil, % w, OM: Organik madde, % w; BD: Hacim ağırlığı, Mg m<sup>-3</sup>; FCt: Hacimsel su içeriği (33 kPa) eşitlik çözümü; PWPt: Hacimsel su içeriği (1500 kPa) eşitlik çözümü

Alaboz (2019), Isparta bölgesinde killi, tınlı ve kumlu toprakların farklı nem tansiyonları (0.1, 0.33, 0.5, ve 15 bar) ve giriş direnci arasında, geliştirilen alternatif modelleri kullanarak, mevcut nem içeriği ile tahmin edilen nem içeriğinin arasındaki ilişkileri penetrasyon direnci vasıtasıyla belirlemek amacıyla bir çalışma yürütmüşlerdir. Toprakların nem içeriği ile penetrasyon direnci arasındaki ilişkiyi çoklu regresyon analizi ile belirlemişlerdir. Buna göre tarla kapasitesi ve solma noktası için geliştirilen modeller aşağıda verilmiştir.

**Kumlu topraklarda:**

Tarla kapasitesi (0.33 bar) =  $-3.6+4.20a-0.055b+0.044c+0.536ç-0.24d+5.95e$ ; (R2 0.66)

Solma noktası (15 bar) =  $29-0.63a-0.169b-0.274c+0.330ç-0.423d+0.182e$ ; (R2 0.64)

Tınlı topraklarda:

Tarla kapasitesi (0.33 bar) =  $11.4-0.89a+0.0290b+0.0580c-0.0151\zeta+0.751d+6.94e$ ; (R2 0.77)

Solma noktası (15 bar) =  $3.78-0.17a+0.0631b+0.0757c-0.0031\zeta+0.392d+1.29e$ ; (R2 0.74)

Killi topraklarda:

Tarla kapasitesi (0.33 bar) =  $26.6-1.95a+0.0105b-0.09c-0.0230\zeta-0.558d+4.94e$ ; (R2 0.37)

Solma noktası (15 bar) =  $19.7-6.55a-0.0245b-0.002c-0.0186\zeta+0.267d+2.12e$ ; (R2 0.50)

Eşitlikte:

a= Hacim ağırlığı  $g\ cm^{-3}$ , b= % Kil, c=% Kum,  $\zeta$ =%  $CaCO_3$ , d=% Organik madde, e=Giriş direnci (MPa)

#### 2.4. Toprak Sıkışmasının Toprağın Fiziksel Özelliklerine Etkisi

Topraklara uygulanan basınçlar altında meydana gelen sıkışmanın derecesi ve etkisi, toprak nemi, toprak tekstürlü ve strüktürü ile organik madde kapsamına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar, her yere uygulanabilecek statik modellerden ziyade dinamik ve şarta bağlı modellerin geliştirilmesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Birçok araştırmacı, toprak agregatlarının dağılması veya agregatların sıkıştırılması ile toprakların hacim ağırlıklarının arttığını, toplam toprak hacminin düştüğünü ve sıkışmış katmanlar oluştuğunu ifade etmişlerdir (Ankeny ve ark., 1990; Radford ve ark., 2000; Badalíkova ve Hruby, 2006).

Sur ve Sidhu (1982), kumlu tın tekstüre sahip toprakta; alt toprak katmanının hacim ağırlığı arttıkça doygun hidrolik iletkenliğinin hızla düştüğünü ve giriş direncinin ise en yüksek değerler gösterdiğini bildirmiştir. Ayrıca toprak hacim ağırlığı  $1.5\ Mg\ m^{-3}$ , tan  $1.8\ Mg\ m^{-3}$ 'a yükseldiği zaman profildeki su depolama kapasitesinde 2-3 cm azalma olduğunu tespit etmişlerdir.

Lipiec ve Simota (1994) ve Hillel (2004)'e göre toprak sıkışması; toplam gözeneklerin ve hava hacminin azalması, hacim ağırlığının artması şeklinde birçok nedenden dolayı toprakların bazı fiziksel özelliklerine etki tayini bildirmiştir. Sıkışma ile başlangıçta toprakların yarayışlı su içeriğinin bir miktar arttığı, ancak ileri düzeyde sıkışma arttıkça büyük gözeneklerin orta veya küçük gözeneklere dönüştüğü ve yarayışlı su içeriğinde azalmaların meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Bu nedenle ıslak dönemlerde

topraktaki su hareketi ve taşınması yavaşlamakta olup, infiltrasyon düşmekte ve drenaj problemi ortaya çıkmaktadır. Daha sonra doygun olmayan şartlarda kapilariteden dolayı su taşınımı artmaktadır.

Toprak sıkışması, toprağın fiziksel özelliklerini ve nihayetinde bitkisel üretimi olumsuz etkilemektedir. Assouline ve ark. (1997) toprak sıkışması nedeniyle ciddi verim düşüşü olan bir alandaki toprakların farklı sıkışma davranışlarını incelemiştir. Bu amaçla; -0.1 ila -1000 kPa arasında değişen farklı matris potansiyellerde toprak örnekleri, 50 ila 1000 kPa arasında, tek eksenli basınç uygulaması yapmışlardır. Çalışmada toprakların pH, kation değişim kapasitesi, organik madde ve kil parçacıklarının büyüklüğünün de sıkışma davranışlarını etkilediğini belirtmişlerdir. Sıkıştırma sırasındaki toprağın hacim ağırlığı değişimini karşılaştırmak için iki model kıyaslamışlardır. Önerilen ve çoklu parametrik modelden hesaplama ile tahmin yapılan modellerinin performanslarının benzer ve logaritmik modelden daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Önerilen modelin en büyük avantajı çoklu parametrik modelden daha az parametre gerektirmesidir. Sıkıştırma, -100 MPa'a kadar olan tüm matris potansiyellerde, toprak su tutma eğrilerini etkilemiştir. Brooks ve Corey eşitlikleri kullanıldığında, sıkıştırılmış numunelerin ana kuruma eğrileri, uygun model katsayıları kullanıldığında doğru sonuçlar vermiştir.

Quiroga ve ark. (1999), yarı kurak bölgelerdeki kaba tekstürlü toprakların fiziksel özelliklerinin arazi kullanımı ile çoğunlukla bozulması nedeniyle, üç farklı kullanım altındaki (sürekli tarım, çim rotasyonu ve bakır) topraklarda meydana gelen bozulmaları; tekstür, organik madde, su içeriği, hacim ağırlığı, giriş direnci, hidrolik iletkenlik ve sıkışma duyarlılığı yönünden incelemiştir. Topraklar organik madde içeriği ve sıkışmaya duyarlılığı temelinde gruplandırılmıştır. Benzer tekstürdeki topraklarda, organik madde içeriği ile giriş direnci ve sıkıştırmaya karşı duyarlılık arasında ters orantı olduğu, sürekli tarım yapılan alanlarda yüksek sıkışma olduğu belirlenmiştir. İşlemli tarım yapılan alanlarda, tekstürdeki incelmeye beraber hidrolik iletkenlik değerinin daha düşük çıktığı, kumlu ile tınlı tekstürdeki topraklarda, proktor testinde ölçülen hacim ağırlığında  $0.06 \text{ Mg m}^{-3}$ 'lük bir azalış oluşturmak için yaklaşık  $5 \text{ g kg}^{-1}$  organik madde artışı gerektiği belirtilmiştir. Sonuçlar ayrıca çalışma bölgesinde, tarım yapılan arazilerden meydana gelen organik madde kaybının, topraklar üzerinde yalnızca mekanik olarak olumsuz etkiler



oluşturmayıp; aynı zamanda sıkışmaya daha duyarlı hale getirdiğini, böylece hem bitki gelişimini olumsuz etkilediğini ve hem de hidrolik iletkenliğin azaldığını göstermiştir.

Toprak sıkışması; kök büyümesine karşı artan direnç, su ve besin maddelerinin alımının azalması nedeniyle bitkisel üretimi olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle yapılan bir çalışmada, buğday ve sorgum bitkilerinin alt toprak sıkışmasına tepkileri, kumlu killi tın tekstürdeki toprakta belirlenmiştir (Ishaq ve ark., 2001). Bu amaçla arazide yüzey toprağı (0-15 cm) kaldırılarak, kontrol parselinin hacim ağırlığı  $1.65 \text{ Mg m}^{-3}$  iken, alt toprağın hacim ağırlığı  $1.93 \text{ Mg m}^{-3}$  olacak şekilde sıkıştırılmış ve yüzey toprağı yeniden serilmiştir. İki yıl süre ile bitki yetiştiriciliğı yapılmış, çiçeklenme döneminde ölçülen kök uzunluğu birinci yıl önemli ölçüde sıkışma ile birlikte azalırken, ikinci yıl sıkışmadan etkilenmemiştir. Sıkışma ile buğday bitkisinin azot alımı %12-15, fosfor alımı %17-27 ve potasyum alımı ise %24 azalırken; sorgum bitkisinin azot alımı %23, fosfor alımı %16 ve potasyum alımı ise %12 oranında azalmıştır. Ayrıca toprak sıkışması buğday danelerinin azot içeriğini artırırken, dane ile buğday ve sorgum sapının fosfor ve potasyum içeriklerini etkilememiş, ancak buğday sapının potasyum içeriğı birinci yıl kontrol parselinde önemli ölçüde daha yüksek çıkmıştır.

Schwen ve ark. (2011), toprak gözenekliliğı ve su iletkenliğı ile ilgili diğerk toprak özelliklerinin infiltrasyon üzerine farklı toprak sıkışma düzeylerinin etkisini belirlemek üzere bir deneme kurmuşlardır. Buna göre, makro gözeneklerin yapısı ve su akış yolları bozulduğı için, toprak sıkışması arttıkça doygun hidrolik iletkenlik azalmıştır. Ayrıca sıkışmadan dolayı toprak gözenek alanı yeniden düzenlendiğı için orta gözeneklerin sayısının arttığını bildirmişlerdir.

## **2.5. Toprak Agregat Stabilitesi ile Organik Madde Arasındaki İlişkiler**

### **2.5.1. Sığır gübre uygulamalarının etkisi**

Wortmann ve Shapiro (2008), Nebraska'da siltli ve siltli kil toprakların 0-25 mm derinliğine, üç farklı organik gübresi uygulayarak agregat stabilitesinin nasıl etkilendiğini belirlemişlerdir. Buna göre; ilk 15 gün içerisinde çiftlik gübre ve kompost uygulamasıyla 2 mm'lik büyük makro agregatların miktarı yaklaşık %200 artmış, ancak birkaç yıl boyunca domuz gübresi uygulanmasıyla 250 mm'lik agregatlar sadece %20 artış göstermiştir.

Ayrıca üç yıllık kompost uygulaması ile kompostsuz uygulamaya göre agregat büyüklük dağılımının önemli fark göstermediğini bulmuşlardır.

Dunjana ve ark. (2012), Zimbabwe'de killi ve kumlu topraklara sığır gübresi ve inorganik azotlu gübre uygulayarak toprak organik karbonu, hacim ağırlığı, makro-agregat stabilitesi ve agregatta korunan karbon üzerindeki etkilerini belirlemişlerdir. Buna göre; 0, 5, 15 ve 25 t ha<sup>-1</sup> sığır gübresi ve 100 kg ha<sup>-1</sup> azot ardışık yedi yıl boyunca mısır bitkisi yetiştirilerek dört farklı alanda deneme yürütmüşlerdir. Buna göre, 5 ton ha<sup>-1</sup> sığır gübresi uygulamasının killi toprakların organik karbon içeriğini, makro-agregat stabilitesini ve agregatta depolanan karbonu kapsamını önemli ölçüde yükselttiğini tespit etmişlerdir. Killi topraklardaki agregatta korunan karbon, 5 t ha<sup>-1</sup> sığır gübresi muamelesine kıyasla; 15 ve 25 t ha<sup>-1</sup> sığır gübresi muamelelerinde önemli ölçüde yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Buna karşılık kumlu topraklara sığır gübresi uygulaması ile sadece organik karbon önemli ölçüde (P<0.05) artmış; ancak hacim ağırlığı, makro-agregat stabilitesi ve agregatta korunmuş karbonun önemsiz ölçüde değiştiğini bulunmuştur. Ayrıca killi topraklarda da hacim ağırlığı önemsiz (P>0.05) çıkmıştır. Killi topraklarda organik karbon ile makro-agregat stabilitesinin ve agregatta korunan karbon arasında önemli, pozitif ve doğrusal ilişkiler (R<sup>2</sup>= 0.85 ve R<sup>2</sup>= 0.82) elde edilmiştir. Sonuçta sığır gübresi ve inorganik azotlu gübre uygulamasının her iki toprakta, mısır tane verimini önemli derecede (P<0.05) arttığı bildirilmiştir.

Wang ve ark. (2013), Çin'in Loess platosu bölgesinde toprak agregat stabilitesi ve toprak mikrobiyolojik özellikleri üzerine çeşitli organik maddelerin etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada yedi farklı organik madde uygulanmış ve bunlar; gübresiz, inorganik NPK gübresi, düşük miktarda (3750 kg ha<sup>-1</sup>) mısır sapı ile NPK, orta miktarda (7500 kg ha<sup>-1</sup>) mısır sapı ile NPK, yüksek miktarda (15000 kg ha<sup>-1</sup>) mısır sapı ile NPK, mısır sapı kompostu ile NPK ve sığır gübresi ile NPK'dır. Buna göre; organik gübre uygulamaları, gübresiz ve inorganik gübre uygulamaları ile kıyaslandığında agregat stabilitesini ve toprağın mikrobiyolojik özelliklerini iyileştirmiştir. NPK ve düşük miktarda mısır sapı uygulaması ile NPK uygulaması kıyaslandığında toprağın 5-3 mm arası kuru agregatlarında %27.1'lik önemli bir artış bulunmuştur. Kompost ile NPK ve sadece NPK uygulaması kıyaslandığında >5 mm'lik suya dayanıklı agregatların % 6.5 oranında, ayrıca

mikrobiyal biyokütle C ve N ve üreaz enzim aktivitesinin sırasıyla % 42.0, 54.6 ve 19.8 oranında arttığını bildirmişlerdir.

### **2.5.2. Biyokömür uygulamalarının etkisi**

Ouyang ve ark. (2013), toprağın hidrolik özellikleri, agregat oluşumu ve stabilitesi üzerine biyokömür uygulamalarının etkisini incelemişlerdir. Sığır gübresinden üretilen biyokömürü iki farklı tekstürdeki (siltli kil ve kumlu tın) toprağa, ağırlıkça % 2 oranında ilave etmişlerdir. Kontrol ile birlikte biyokömür uygulanan toprak örnekleri 90 günlük bir süre ile inkübasyona bırakılmıştır. Buna göre, kontrol ile karşılaştırıldığında biyokömür uygulamaları makro-agregat oluşumunu önemli ölçüde artırırken; doymuş hidrolik iletkenliği ise sınırlı düzeyde artırmıştır. Ayrıca biyokömür uygulaması ile toprağın strüktürel özelliklerinin değişiminden dolayı toprağın doymuş su içeriği artmış ve kalan su içeriği azalma göstermiştir. Biyokömür uygulamasının su tutma eğrisinin şeklini önemli ölçüde etkilediği, tüm uygulama süreci içerisinde hem toprak agregat oluşumu ve hem de su tutma eğrisindeki bu etkiye, kumlu tın toprağın silt kil topraktan daha hassas olduğunu belirlenmiştir.

Ma ve ark. (2016), Çin’de Mollisol bir toprak üzerinde yaptıkları arazi çalışmasında, toprak organik karbonu, toplam azot, hacim ağırlığı, agregat stabilitesi, tarla kapasitesi ve bitkiler için faydalı su içeriği üzerine organik madde uygulamalarının etkisini değerlendirmişlerdir. Çalışmadagübresiz, inorganik gübre uygulaması (NPK), inorganik gübre ile mısır samanı uygulanması (NPK+S) ve inorganik gübre ile biyokömür uygulamasıdır (NPK+B) şeklinde dört farklı muamele yer almıştır. Bu çalışmada; arka arkaya üç yıl toprağın hacim ağırlığı değerleri, gübresiz ve inorganik gübre uygulamalarına göre önemli derecede düşüş göstermiştir. Ayrıca NPK ile karşılaştırıldığında NPK + B uygulaması, toprak organik karbon içeriğini daha etkili bir şekilde artırmış, bununla birlikte toprak makro-agregatları, ortalama ağırlıklı çapı kısmen, tarla kapasitesi ve faydalı su içeriğini ise önemli oranda artırmıştır. Genellikle, organik madde uygulaması toprağın C/N oranı ile solma noktası üzerinde belirgin bir etki göstermemiştir. Doğrusal regresyon sonuçlarına göre; toprağın su tutmasındaki iyileşme sebebini, toprak organik karbonu ve agregat stabilitesindeki artış ile açıklamışlardır.

Wang ve ark. (2017), Kaliforniya’da ince ve kaba tekstürlü iki tarım toprağına, iki farklı biyokömür ilave ederek laboratuvar şartlarında 60 hafta inkübasyona bırakmışlardır. Çalışmada 600-700°C’de pirolize edilmiş yumuşak odun biyokömürü ve 900°C’de gazlaştırma işleminde elde edilen ceviz kabuğunu biyokömürü kullanılmıştır. İnkübasyon sonunda, yapılan uygulamaların toprağın kimyasal özellikleri, mikrobiyal toplulukları, agregat stabilitesi (ıslak eleme) ve agregatların organik C içerikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Agregatlar; büyük makro agregatlar (2000-8000 µm), küçük makro agregatlar (250-2000 µm), mikro agregatlar (53-250 µm) ile silt ve kil fraksiyonları (<53 µm) olarak dört agregat büyüklük sınıflarına ayrılmıştır. Buna göre ince tekstürü topraklara biyokömür uygulamaları agregatların karbon içeriğini ve stabiliteelerini artırmış, yumuşak odun ve ceviz kabuğu biyokömürü toprağın ortalama ağırlıklı çaplarını sırasıyla; ortalama %217 ve %126 oranlarında yükseltmiştir. Her iki biyokömür tipi de topraklardaki mikrobiyal topluluğun kompozisyonu üzerinde önemli etkiler oluşturmuş, ancak sadece ince tekstürlü topraklarda mikrobiyal biyokütle artışı belirlenmiştir. Kaba tekstürlü toprağına uygulanan her iki biyokömürün de, toprağın agregatlaşması üzerine etkili olmadığını bulmuşlardır. Ayrıca inkübasyon süresince topraktaki organik karbon düşüşüyle uyumlu olarak makro-agregatlarda karbon depolanmasında düşüş belirlenmişlerdir. Sonuç olarak biyokömürün ince tekstürlü topraklarda makro-agregatlar içinde depolanan C oranını artırarak, organik maddenin fiziksel korunumunu sağladığı ve böylece biyokömürün topraktaki C tutulmasına katkı sağlayabileceği değerlendirilmiştir.

Pituello ve ark. (2018), killi ve kumlu tın tekstürlü toprağına, iki yıl boyunca hasat artıkları ve iki farklı dozdaki biyokömür (20 ve 40 Mg ha<sup>-1</sup>) uygulamalarının agregat dinamiklerine etkilerini araştırmışlardır. Lazer difraksiyon analizi ile kombine olarak, farklı ön işlemlerden sonra ıslak agregat stabilitesi dâhil olmak üzere, 1-2 mm elenmiş toprak agregatlarının fiziksel-kimyasal ve strüktürel özellikleri, agregatların parçalanma durumunu değerlendirmek için ölçülmüştür. Ayrıca, organik madde uygulamalarından etkilenen, toprakların kimyasal değişikliklerini belirtmek için kolloidal süspansiyonunun elektrokimyasal özellikleri analiz edilmiştir. Farklı miktarlarda uygulanan biyokömür toprak tiplerine göre ıslak agregat stabilitesi üzerinde zıt etkiler oluşturmuştur. Kumlu tın toprağına biyokömür uygulamasıyla (her iki dozda) toprak yüzey alanı artmış, düşük olana toprak organik karbon içeriği dengelenme sonrası agregasyonu teşvik etmiştir. Killi

toprakta durum tam tersi olmuş, zira yüksek biyokömür dozu ( $40 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) benzer yüke sahip partiküller arasındaki itici kuvvetler ve tek değerli kasyonlar nedeniyle meydana gelen kimyasal pedoturbasyon ve bazı agregatların bozulması buna eşlik etmiştir. Bu durum  $20 \text{ Mg ha}^{-1}$  uygulamasında görülmemiştir. Killi topraklardaki strüktürel gözenekler kontrole göre biyokömür uygulamasının katkısı mikro-gözeneklerde ( $30\text{--}5\mu\text{m}$ ) % 29 ve ultra mikro-gözeneklerde ( $5\text{--}0.1 \mu\text{m}$ ) % 22 artış şeklinde ortaya çıkmıştır. Fakat hasat artışı uygulamaları böyle bir olumlu etki göstermemiştir. Sonuç olarak, biyokömür uygulamalarının agregasyonu teşvik ederek toprağın fiziksel verimliliğini artırmada, özellikle kaba tekstürlü ve düşük organik karbon içeriğine sahip topraklarda daha etkili olduğu belirtilmiştir.

## 2.6. Kirecin Toprak Özelliklerine Etkileri

Stakmm ve Bishay (1976), Mısır'ın kuzey batı bölgesindeki yüksek kireçli araziden, altı farklı toprak tekstürü seçerek yürüttükleri çalışmada; bu toprakların kireç dağılımı, tane büyüklük dağılımını, su tutma eğrileri ve yapışkanlık limitlerini incelemiştir. Toprakların kireç içeriğinin % 25 ila % 61 arasında değiştiği ve ana kil mineralinin attapulgit olduğu belirlenmiştir. Araştırmada tüm topraklarda, ölçülen özellikler üzerinde kilin etkinliğinin düşük olduğu bildirilmiştir. Çalışmada, çok düşük kireç içeren killi bir toprağa; %0, 10, 20, 30, 40, ve 50 oranlarında kireç ilave ederek iki ay süreyle yaklaşık tarla kapasitesi nem seviyesinde inkübasyona bırakmışlardır. Bu örneklerde iki farklı nem seviyesi (% 21 ve % 27; w/w) ve 100 kPa ön yükleme ile toprağın kayma direncini ölçmüşlerdir. Buna göre, hacim ağırlığı ile iç sürtünme açısı arasındaki ilişki her nem içeriğinde doğrusal olarak artış göstermiştir. Toprak kohezyonu ile kuru hacim ağırlığı arasındaki ilişki doğrusal olarak artmış ve bu artış oranı nem artışıyla uyumlu bulunmamıştır. Ancak bütün kireç içeriklerinde nem içeriği arttıkça toprak kohezyonu artmıştır. Toprağın kireç içeriği %30'a yükseltildiğinde, toprak tekstürünün siltli kil olarak değiştiğini ve iç sürtünme açısı artarken kohezyon kuvvetinde değişiklik olmadığını bildirmişlerdir.

Achampong ve ark. (2013), düşük ve yüksek plastiklik limitine sahip olan iki farklı tekstürdeki kohezif toprağın sıkışmasına, stabilizasyonuna ve plastiklik indeksine kirecin etkisi araştırmıştır. Bu kapsamda kaolinit içeriği, sodyumlu montmorillonit kil mineralleri,

mevcut kireç miktarı ve inkübasyon süresi gibi maksimum hacim ağırlığı ve optimum nem içeriğini etkileyen faktörleri değerlendirmişlerdir. Buna göre sodyum montmorillonit kil minerali için likit limit ve plastiklik indeksi sırasıyla 460 ve 447 olarak bulunmuş olup, ayrıca kaolinit içeren toprağa %5 sodyum montmorillonit ilavesiyle plastiklik indeksi 13'den 20'ye yükselmiştir. Kireçle muamele edilen düşük plastik yapışkan toprakta, kireçle muamele edilen yüksek plastik yapışkan topraktan daha yüksek hacim ağırlığı elde edilmiştir. Inkübasyon süresi, plastiklik indeksi üzerine önemli bir etki göstermemiştir. Ayrıca kireç oranı arttıkça maksimum hacim ağırlığının düşme oranının arttığı görülmüştür. Optimum nem içeriğini, kalsiyum katyonlarının hidrasyonu nedeniyle, kireç içeriğinin artması ile arttığını belirtmişlerdir.

Hussain ve Dash (2010), kireç içerikleri %0-13 aralığında değişen, farklı plastiklik özelliklerine sahip toprakların (likit limit %45-460; plastik limit %26-53.7), plastiklik davranışları üzerindeki etkileri araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, kireç içeriğinde artışla birlikte plastiklik indeksinde hızlı bir düşüş meydana geldiği, ancak kireç uygulanan toprakların plastiklik indeksinin, inkübasyon süresi arttıkça arttığı ifade edilmiştir. Sadece % 3 kireç ilave edilmiş, yüksek plastikliğe sahip kil tekstürlü toprakların tekstürünün silt tekstüre değiştiği belirtilmiştir. Ayrıca, % 5'lik kireç içeriğinin toprakların işlenebilirliğinde önemli bir artış sağlayabilen üst nokta olarak kabul edilebileceğini bildirilmişlerdir.

Jain ve Yadav (2016), yüksek şişme ve büzülme özelliğine sahip bir toprağının özellikle stabilizasyonunu artırmak için kireç uygulaması yapmışlar ve bu amaçla toprağın likit limiti, plastik limiti ve büzülme limitini incelemişlerdir. Buna göre, likit limit ve plastik limit değerlerinde kademeli olarak azalma meydana geldiği bulunmuş, ayrıca inkübasyon süresi boyunca büzülme sınırında bir artış olduğu belirtilmiştir.

Cheshomi ve ark. (2017), sülfatça zengin kil tekstürlü toprağın şişmesini azaltmak için kireç ve uçucu külü, ağırlıkça % 3, 5 ve 7 oranlarda toprağa uygulamışlardır. Buna göre, uçucu kül uygulamasının kirecin olumsuz etkilerini telafi ettiğini belirtmişlerdir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Araştırma alanının konumu

Konya Ovası, İç Anadolu Bölgesi'nin orta ve güneyde,  $36^{\circ} 41' - 39^{\circ} 16'$  kuzey enlemleri ile  $31^{\circ} 14' - 34^{\circ} 26'$  doğu boylamları arasında ve kapalı havza içerisinde bulunmaktadır. Ortalama yükseltisi 1016 m ve yüzölçümü  $54,269 \text{ km}^2$  olup, Türkiye'nin en büyük ovalarından bir tanesidir (Anonymous, 1998). Bu bölgede genel olarak toprakların kireç içerikleri çok geniş bir aralıkta (% 0.17 - 69.1) değişim gösterirken, organik madde içerikleri % 0.1-% 8.5 arasında (ortalama % 1.83) ve toprakların % 87.5'inin organik madde içeriklerinin ise % 3'ün altındadır (Gezgin ve ark., 2002)

##### 3.1.2. Toprak örnekleri

Çalışma, Konya ovası arazilerinden alınan, iki farklı tekstür sınıfına sahip toprak örnekleri kullanılarak laboratuvar şartlarında gerçekleştirilmiştir. Bu toprakların seçiminde örneklerin kil ve kum içerikleri ile kireç içerikleri dikkate alınmıştır. Buna göre örneklerinden birinin kil değerinin kum içeriği yüksek ve kireç içerikleri ise % 15 olacak şekilde, önce yapılan araştırma verileri kullanılarak bir seçim yapılmıştır. Seçilen arazilerin 0-20 cm toprak derinliğinden, arazileri temsil edecek şekilde; on farklı noktadan, yeter miktarda toprak örneği alınarak laboratuvara getirilmiş, gölgede hava kurusu hale getirilerek inkübasyon denemeleri 4 mm'lik elekten geçirilmiş ve bir kısım toprak örneği de 2 mm'lik eleklerden geçirilerek laboratuvar analizlerinde kullanılmıştır. Örnekleme noktaları Harita 3.1 ve 3.2'de gösterilmiş ve aşağıda tanımlanmıştır.

Kil tekstürlü toprak: Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Sarıcalar Araştırma ve Uygulama çiftliğinden  $38^{\circ} 05' 48.0'' \text{N}$  kuzey enlemleri ile  $32^{\circ} 26' 23.0'' \text{E}$  doğu boylamlarındaki tarım arazisinden, 2018 yılı Mart ayında alınmıştır.

Kumlu tın tekstürlü toprak: İçeri Çumra-Çumra istikametinde  $37^{\circ} 33' 38.3'' \text{N}$  kuzey enlemleri ile  $32^{\circ} 40' 00.0'' \text{E}$  doğu boylamlarındaki tarım arazisinden, 2018 yılı Nisan ayında alınmıştır.



**Harita 3.1.** Toprak örneklerinin aldığı yeri gösteren harita (Sarıcalar)



**Harita 3.2.** Toprak örneklerinin aldığı yeri gösteren harita (İçeri Çumra)



### 3.1.3. Kullanılan materyaller

#### Biyokömür

Çalışmada biyokömür kaynağı olarak, Orta Anadolu bölgesinde yaygın olarak ekimi yapılan ayçiçeği hasat artığı kullanılmıştır. Bunun için, Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Sarıcalar Araştırma ve Uygulama çiftliğinden temin edilen ayçiçeği hasat artığı piroliz işlemine tabi tutulmuştur. Araziden getirilen ayçiçeği hasat artığının önce laboratuvarında 24 saat 70° C’de etüvde bekletilerek kuruması sağlanmıştır. Daha sonra kurutulan materyal alüminyum folyo ile kaplanarak hava ile (oksijen) teması engellenmiştir. Bu şekilde paketlenen ayçiçeği hasat artıkları, programlanabilen kül fırında, yavaş piroliz tekniği uygulanarak (6°C dak<sup>-1</sup> ramp süresinde) 450°C sıcaklığa çıkartılmıştır. Bu sıcaklıkta 1 saat bekletilen örneğin piroliz işlemi tamamlanmıştır. Piroliz edilen örnek soğutulduktan sonra öğütülmüş ve 2 mm elekten geçirilerek kullanılmıştır.

#### Olgunlaşmış sığır gübresi

Olgunlaşmış sığır gübresi, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni İşletmesinde temin edilmiştir. Bu işletmede katı-sıvı ayırma işlemi uygulanan sığır gübresi, gübrelikte iki yıl bekletilerek olgunlaştırılmış katı kısmı, sığır gübresinden kaynaklanacak yüksek tuz içeriğine bağlı yüksek ozmotik potansiyel oluşmaması için tercih edilmiştir. İşletmeden temin edilen olgunlaşmış sığır gübresi kullanılmadan önce hava kuru hale getirildikten sonra 2 mm’lik elekten geçirilmiştir.

#### Mikronize kalsit

Doğal kalsit (CaCO<sub>3</sub>) üreten Marmara Kalsit firmasından (A-30 sınıfı), temin edilmiştir. Mikronize kalsitin firma beyanı tane büyüklüğü dağılımı Çizelge 3.1’de verilmiştir. Kalsitin %50’sinin 11.5 µm’den, %97’sinin ise 85 µm’den, %46’sının 10 µm’den ve %22’sinin ise 2 µm’den küçük olduğu belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. Mikronize doğal kalsitin tane büyüklük dağılımı

Analiz değerleri	Mikronize doğal kalsit %
D50(Ortalama tane boyutu, µm)	11.50
D97(En büyük tane boyutu, µm)	85.00
<10 µm, %	46
<2 µm,%	22

## 3.2 Yöntem

### 3.2.1. Denemenin kurulması ve yürütülmesi

Çalışma laboratuvar şartlarında, Konya ovasından alınan iki farklı tekstür sınıfına sahip (kil ve kumlu tın) toprak örnekleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, toprakların hidro-dinamik özelliklere üzerine kireç miktarının da etkisini belirleyebilmek için, önceki çalışmaların verilerinde yararlanılarak kireç içeriği % 15'den küçük olan toprak örnekleri seçilmiştir. Araziden getirilen toprak örnekleri laboratuvarda hava kuru hale getirilerek 4 mm'den elenmiş, homojenliği sağlamak için iyice karıştırılarak nem tayini yapılmış ve fırın kuru ağırlık esasına göre 3000 g'lık toprak örnekleri 9 litrelik altı deliksiz plastik saksılara doldurulmuştur. İki farklı testürdeki toprağın su tutma eğrisine sıgır gübresi, biyokömür ve kirecin etkisi belirlemek için, 2 mm'den elenmiş sıgır gübresi ve biyokömür fırın kuru ağırlık esasına göre %0, 1, 2 ve 4 oranlarında, mikronize kireç ise fırın kuru ağırlık esasına göre %0, 5, 10 ve 20 oranlarında saksılardaki topraklara ilave edilerek homojen olacak şekilde karıştırılmıştır. Saksılardaki örnekler tarla kapasitesine getirecek şekilde su uygulanarak bir ay süreyle laboratuvar şartlarında inkübasyona bırakılmıştır. Saksılar haftalık olarak tartılmış ve eksilen su tamamlanmıştır. İnkübasyon sonu saksı içeriği homojen karıştırılarak ölçümler ve analizler için örneklemeler yapılmıştır. Laboratuvar analizleri (fiziksel ve kimyasal analizler) için 2 mm den elenmiş örnekler, agregat analizlerinde ise 4 mm'den elenen örnekler hava kuru hale getirilerek kullanılmıştır.

Farklı tekstürdeki topraklar, farklı dozlarda ilave edilen sıgır gübresi, biyokömür ve kirecin toprak su tutma eğrisine olan etkisini belirlemek için, 100 cm<sup>3</sup>'lük bozulmamış örnek alma kapları içerisine 5 tabaka halinde, iki farklı hacim ağırlığı (normal ve sıkışmış hacim ağırlığı) elde edecek şekilde sıkıştırılmıştır (Houskova, 2004). Bu amaçla, kil tekstürlü toprak için normal hacim ağırlığı 1.20 g cm<sup>-3</sup> ve sıkışmış hacim ağırlığı ise 1.35 g cm<sup>-3</sup>, kumlu tın tekstürlü toprak için normal hacim ağırlığı 1.50 g cm<sup>-3</sup> ve sıkışmış hacim ağırlığı ise 1.70 g cm<sup>-3</sup> alınarak, dört tekerrürlü olarak örnekler hazırlanmıştır.

### 3.2.2. Çalışmada uygulanan analiz metotları

**Tekstür tayini:** Bouyoucos hidrometre yöntemine göre yapılmıştır (Gee ve Bauder, 1986).

**Tane yoğunluğu:** Tane yoğunluğunun tayininde “piknometre yöntemi” kullanılmıştır (Blake ve Hartge, 1986a).

**Hacim ağırlığı:** Bozulmuş örneklerde dereceli silindir yöntemi ile (Jacobs ve ark., 1964), diğerlerinde bozulmamış örnekleme silindiri yöntemiyle belirlenmiştir (Blake ve Hartge, 1986b).

**Gözeneklilik:** Hacim ağırlığı ve tane yoğunluğundan hesap yoluyla bulunmuştur (Danielson ve Sutherland, 1986).

**pH:** Cam elektrotlu, dijital göstergeli pH metre ile 1:2,5 toprak-saf su karışımında ölçülmüştür (Mclean, 1982).

**Elektriki iletkenlik (EC):** 1:2,5 toprak-saf su karışımında elektrik iletkenlik aleti kullanılarak ölçülmüştür (Rhoades, 1982).

**Azot:** Örneklerin toplam azot (TN) kapsamaları Dumas kuru yakma metodu ile LECO CN-2000 cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Wright ve Bailey, 2001).

**Organik karbon:** Organik maddenin % 58'inin organik karbon olduğu kabulü nedeniyle, organik karbon yüzdesinin 1.724 sayısı ile çarpılmasıyla yüzde organik madde hesaplanmıştır (Smith ve Weldon, 1941).

**Fiber tayini:** Kuru organik madde materyali sodyum heksametafosfat çözeltisinde bir gece sature halde bırakıldıktan sonra 100 mesh (0.15 mm.'lik) elekten ıslak olarak elenmiş ve elek üstü kalan materyalin kuru ağırlığı yüzde olarak bulunmuştur (Lynn ve Mc Kinzie, 1971).

**%CaCO<sub>3</sub>:** Toprağın Scheibler kalsimetresinde seyreltik hidroklorik asitle reaksiyona tabi tutulması ile karbonatlardan çıkan CO<sub>2</sub> hacminin ölçülmesi ile belirlenmiştir (Nelson, 1982).

**TSTE'nin ölçülmesi:** pF 0, 1, 1.5, 1.8 ve 2 tansiyonlarında tutulan su miktarları kum kutusunda, pF 2.52 tansiyonda tutulan su miktarı 1 barlık basınçlı seramik tabla kullanarak belirlenmiştir (Klute, 1986). Ayrıca pF 3 ila 6 arasındaki tutulan su miktarları

çiğlenme noktası potansiyometresi (WP4C) cihazı kullanılarak tayin edilmiştir (Campbell ve ark., 2007).

**Tarla kapasitesi:** 33 kPa basınçta topraktaki tutulan nem miktarı 1 barlık basınçlı seramik tabla kullanarak belirlenmiştir (Klute, 1986).

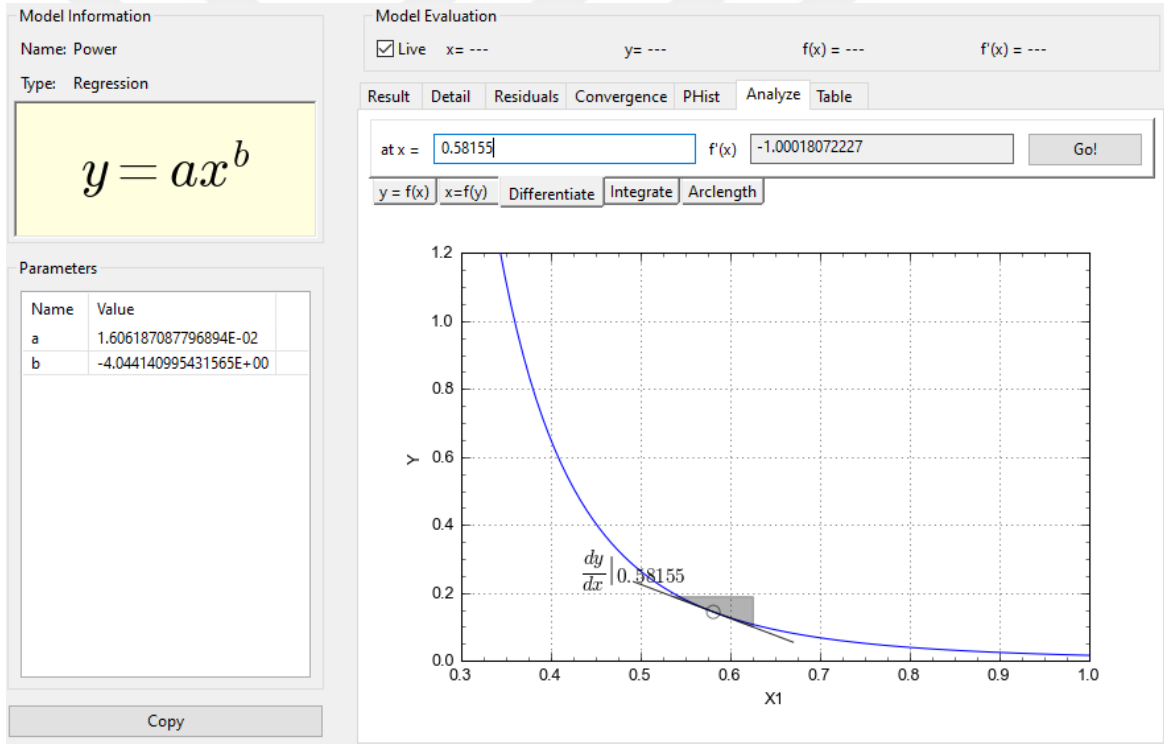
**Solma noktası:** Çiğlenme noktası potansiyometresi (WP4C) cihazı kullanılarak tarla kapasitesi ile kalan su içerikleri arasındaki su potansiyelleri ilişkisi ( $R^2$ : 0.99) kullanılarak pF 4.18'de (1500 kPa) tutulan su miktarının hesaplanması yoluyla belirlenmiştir (Klute, 1986).

**Faydalı Su:** Tarla kapasitesi değerinden solma noktası değeri çıkartılarak hesaplama yoluyla bulunmuştur (Klute, 1986).

**Kalan su içeriği (Residual,  $\theta_r$ ):** Kalan su içeriğinin belirlenmesinde ölçümle bulunan su tutma eğrisinin kuru bölgedeki dönme noktasına yakın verileri seçilmiştir. Bu amaçla örnek olarak seçilen hacimsel su içeriği ( $\theta$ :  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) ve bunların karşılığı olan toprak su potansiyelleri ( $\psi$ :MPa) Çizelge 3.2'de sunulmuştur. Bu değerlerin birimlerinin ve değişim aralıklarının çok farklı olması nedeniyle 0-1 aralığına dönüştürmek için her bir değer en yüksek hacimsel su içeriği ( $\theta_{\max}$ ) ve en yüksek toprak su potansiyeline ( $\psi_{\max}$ ) bölünmüştür. Bunun sonucunda 0-1 arasında normalleştirilmiş hacimsel su içeriği ( $\theta_N$ ) ve toprak su potansiyeli ( $\psi_N$ ) değerleri elde edilmiştir. Elde edilen normalleştirilmiş değerler arasında regresyon analizi yapılarak regresyon denklemi ( $\psi_N = 0.01606 \theta_N^{-4.0441}$ ) oluşturulmuştur. Bu denklem eğrisi üzerinde eğimi  $-1$  yapan nokta "Curve Expert Professional" programı yardımıyla belirlenmiş ( $\theta_N = 0.58155$ ) ve denklemde bu değer yerine konularak  $\psi_N$  değeri 0.144 olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.1). Kalan su içeriğini belirlemek için elde edilen normalleştirilmiş değerler  $\theta_{\max}$  ile çarpılmış ( $\theta_r = \theta_N \cdot \theta_{\max}$ ) ve kalan su içeriğindeki toprak su potansiyelini belirlemek için ise elde edilen normalleştirilmiş değerler  $\psi_{\max}$  ile çarpılmıştır ( $\psi_r = \psi_N \cdot \psi_{\max}$ ).

**Çizelge 3.2.** Kalan su içeriği ve tansiyonu hesabından kullanılan su tutma eğrisi verileri

$\theta$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	$\theta_N = (\theta/\theta_{\max})$	$\psi$ (MPa)	$\psi_N = (\psi/\psi_{\max})$
0.05	0.36	455.54	1.00
0.06	0.43	221.25	0.49
0.07	0.50	120.15	0.26
0.08	0.57	70.80	0.16
0.09	0.64	44.40	0.10
0.10	0.71	29.25	0.06
0.11	0.79	20.05	0.04
0.12	0.86	14.21	0.03
0.13	0.93	10.35	0.02
0.14	1.00	7.72	0.02



**Şekil 3.1.** Kalan su içeriğinin hesaplanmasında kullanılan bükülme noktasının belirlenmesi

**Plastik limit:** Toprak örnekleri 0.42 mm'lik elekten geçirildikten sonra, 3 mm kalınlığında zorlukla ip oluşturulabilen nem içeriği ölçülerek belirlenmiştir (ASTM, 2010).

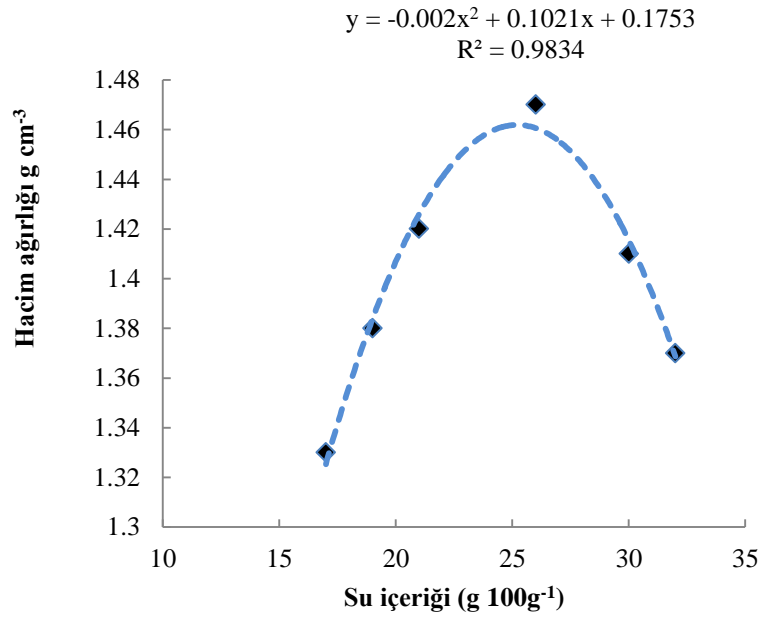
**Likit limit:** Toprak örnekleri 0.42 mm'lik elekten geçirildikten sonra, likit limit penetrometre aleti kullanılarak belirlenmiştir (TSE, 1987).

**Plastiklik indeksi:** Likit limit ve plastik limitten hesapla bulunmuştur (ASTM, 2010)

**Proktor testi:** Uygulamalar öncesi, toprak örneklerinin maksimum hacim ağırlığı ve optimum nem kapsamı standart proktor testinde belirlenmiştir (Mertoğlu, 1982). Kil tekstürlü toprak örneklerinin proktor testi sonuçları çizelge 3.3 ve Şekil 3.2'de, kumlu tın tekstürlü toprak örneğinin proktor testi sadece 3 nem içeriği sapma miktarını azaltmak için seçilmiş ve sonuçları çizelge 3.4 ve Şekil 3.3'de verilmiştir. Buna göre, kil tekstürlü toprak örneğinin maksimum hacim ağırlığı  $1.47 \text{ g cm}^{-3}$  ve optimum su içeriği %25.52 iken, kumlu tın tekstürlü toprak örneğinin maksimum hacim ağırlığı  $1.75 \text{ g cm}^{-3}$  ve optimum su içeriğinin ise %16.60 olduğu belirlenmiştir.

**Çizelge 3.3.** Kil tekstürlü toprakta örneğinin proktor testi sonuçları

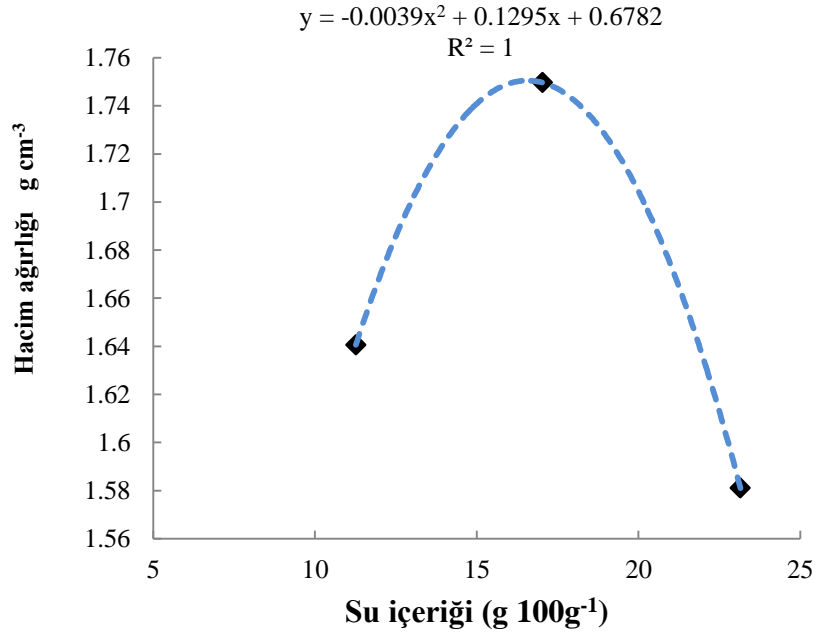
% Nem	$P_b$ , $g\ cm^{-3}$	P	e	S, %
17	1.33	0.50	1.01	44.71
19	1.38	0.48	0.92	46.34
21	1.42	0.46	0.85	48.20
26	1.47	0.44	0.79	55.31
30	1.41	0.47	0.88	69.91
32	1.37	0.48	0.92	79.23
<b>Maksimum Sıkışma = <math>1.47\ g\ cm^{-3}</math></b>			<b>Pw = % 25.52</b>	<b><math>R^2 = 0.98</math></b>



**Şekil 3.2.** Kil tekstürlü toprak örneğinin sıkışma eğrisi

**Çizelge 3.4.** Kumlu tın tekstürlü toprakta örneğinin proktor testi sonuçları

% Nem	$P_b$ , $g\ cm^{-3}$	P	e	S, %
11	1.64	0.38	0.62	0.49
14	1.72	0.35	0.54	0.68
17	1.75	0.34	0.51	0.88
20	1.68	0.37	0.58	0.91
23	1.58	0.40	0.68	0.91
<b>Maksimum Sıkışma = <math>1.75\ g\ cm^{-3}</math></b>			<b>Pw= % 16.60</b>	<b>R<sup>2</sup>= 1</b>

**Şekil 3.3.** Kumlu tın tekstürlü toprak örneğinin sıkışma eğrisi



**Agregat stabilitesi (AS):** Agregat stabilitesi tayininde etüvde 40 °C de kurutulan örnekler kullanılmıştır. Bunun için üstte 2.0 mm ve altta da 0.25 mm, en altta elek altlığı olan elek serisi hazırlanmış, hazırlanan seriye üstten ilave edilen kurutulmuş toprak, üste elek açıklığından daha küçük materyal kalmayana kadar elenmiştir. Ayrılan agregatlardan (2 - 0.25 mm arası) yaklaşık 20 g tartılarak alınmış, agregatlar tek bir tabaka halinde 0.25 mm açıklığa sahip, 20 cm çaplı elek üzerine yayılmış ve yapay yağmur simülatörünün 50 cm aşağısına yerleştirilmiştir. Agregatlar yağmur simülatörünün altında 150 mm saat<sup>-1</sup> lik yoğunlukta 5 dakika yağış uygulanmıştır (toplam 12.5 mm). Yağmur damlalarının ortalama çapı 4-5 mm olup, her bir elek üzerindeki agregatlara 0.74 J'lük bir enerji aktarılmıştır. Agregat stabilitesi, stabil agregatların kütesinin toplam örnek kütesine bölünmesiyle bulunmuştur. İşlem öncesi örneklerin kum kapsamları toplam kütlelerinden çıkartılmıştır (Gugino ve ark., 2009).

**Ağırlıklı ortalama çap (AOÇ):** Toprakların ağırlıklı ortalama çapları 2.0, 1.0, 0.5 ve 0,25 mm elek takımından oluşan Yoder tipi ıslak eleme aleti kullanılarak belirlenmiştir (Kemper ve Rosenau, 1986).

**Gözenek büyüklük dağılımı:** Topraklarda 1.00 -16000 hPa arasındaki tüm matrik potansiyellerde tutulan su içeriğine dayanan kapillarite modeli (1) kullanılarak gözenek büyüklük dağılımı belirlenmiştir (Taylor ve Ashcroft, 1972).

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g r} \quad (\text{Eşitlik9})$$

Eşitlikte:

h: Matrik potansiyel (hPa)  $\cong$  cm H<sub>2</sub>O

$\sigma$ : Suyun yüzey gerilimi (73 din cm<sup>-1</sup>)

Cos  $\theta$ : Dokunma açısı (Cos 0° =1)

$\rho$ : Suyun yğunluğu = 1 g cm<sup>-3</sup>

g: Yerçekimi katsayısı (9.81 m s<sup>-2</sup>)

r: Gözenek yarıçapı ( $\mu$ m)

Yukarıdaki eşitliği 20°C'lik şartlar için uygularsak gözenek yarıçapı şöyle yazılabilmektedir;

$$r \approx \frac{0.149}{h} \quad (\text{Eşitlik 10})$$

### 3.2.3. Kullanılan deneysel modelleri

#### van Genuchten modeli

Toprak su tutma eğrisinin tahmininde çeşitli modeller geliştirilmiş olup (Burdine, 1953; Gardner, 1958; Brooks and Corey, 1964; Mualem, 1976; van Genuchten, 1980), bunlardan en yaygın kullanılan model van Genuchten (1980) dir (Eşitlik 11).

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha h)^n]^m} \quad (\text{Eşitlik 11})$$

Eşitlikte:

$\theta(h)$ : toprak su potansiyelindeki hacimsel su içeriği ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )  $h$ : toprak su potansiyeli (cm),  $\theta_r$ : kalan su içeriği ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ),  $\theta_s$ : doymuş su içeriği ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ),  $\alpha$  ( $\text{cm}^{-1}$ ),  $n$  ve  $m$ : şekil parametreleridir ve parametrelerin, belirli bir toprak suyu basıncında tahmin edilen hacimsel su içeriği ile ölçülen su içeriği değeri arasındaki farkın minimize edilmesi esasına dayanmaktadır. Bu amaçla modeldeki  $m$  katsayısı için farklı yaklaşımlar ( $m=1$ , (Gardner, 1958);  $m=1-1/n$ , (Mualem, 1976);  $m=1-2/n$ , (Burdine (1953) ve  $m \neq 1$ , (van Genuchten, 1980) sözkonusudur.

#### Optimum nem içeriği

Toprak işlem faaliyetlerinin yapılabileceği en uygun nem içeriği olan optimum nem içeriği van Genuchten (1980) yaklaşımının farklı şekilde ifadesi ile Eşitlik 12 yardımıyla hesaplanabilmektedir. Bu nokta toprak tavaı olarak ta tanımlanmaktadır (Dexter, 2004) .

$$\theta_{\text{opt}} = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \left(1 + \frac{1}{m}\right)^{-m} \quad (\text{Eşitlik 12})$$

Buradaki;

$\theta_{\text{opt}}$ : Optimum tavadaki hacimsel su içeriği ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ )

$$\psi_{\text{opt}} = \frac{1}{\alpha} + \left[ \left( \frac{\theta_{\text{opt}} - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^{\frac{-1}{m}} - 1 \right]^{\frac{1}{m}} \quad (\text{Eşitlik 13})$$

Buradaki;

$\psi_{\text{opt}}$  : Optimum tavadaki toprak su potansiyeli (kPa)

### Hava giriş değeri (ha)

Havanın topraktaki büyük gözeneklere girmeye başladığı (drenajın başlangıcı) veya tüm havanın atıldığı noktada (ıslatma esnasında) için toprakta tutulan suyun matrik potansiyeli hava giriş değeri olarak ifade edilmekte ve van Genuchten (1980)'den hesaplanan  $\alpha$  parametresinin tersi ( $1/\alpha$ , cm) hava giriş değeri olarak kullanılmaktadır.

### Kalan su içeriği ( $\theta_r$ )

Toprak su potansiyeli arttıkça, topraktaki kalan su miktarı sifıra doğru yaklaşacak ve bir noktadan sonra su tutma eğrisi bükülmeye başlayacaktır. Bu eğrinin büküm noktası, kalan su içeriği ve bu su içeriğine karşılık gelen toprak su potansiyeli de kalan su içeriği matrik potansiyeli (Eşitlik14) olarak ifade edilmektedir (Soltani ve ark., 2017).

$$\Psi_{KS} = \frac{10^{2.3nm} \cdot \frac{m+1}{\alpha m^n}}{1} \quad (\text{Eşitlik14})$$

Buradaki;

$\Psi_{KS}$ : Kalan su içeriği matrik potansiyeli (kPa)

### S indeksi (Stabilite indeksi)

Toprakların fiziksel kalitesinin bir göstergesi olarak kullanılan S indeksi, (van Genuchten, 1980) tarafından geliştirilen su tutma eğrisinin düzleşme noktası (inflection point) olarak alınmaktadır. Bu noktanın belirlenmesi su tutma eğrisi verilerinin matematiksel yaklaşımları (Eşitlik 15) ile yapılabilmektedir (Soltani ve ark., 2017). Ayrıca S indeksinin belirlenmesinde aşağıda verilen eşitlikler de kullanılmaktadır.

$$S = \frac{d\theta}{d(\ln h)} \quad (\text{Eşitlik 15})$$

Dexter (2004)'a göre:

$$S = n(\theta_{\text{sat}} - \theta_{\text{res}}) \cdot \left[1 + \frac{1}{m}\right]^{-(1+m)} \quad (\text{Eşitlik 16})$$

Mualem (1986)'a göre:

$$S = n(\theta_{\text{sat}} - \theta_{\text{res}}) \cdot \left[\frac{2n-1}{n-1}\right]^{\left[\frac{1}{n}-2\right]} \quad (\text{Eşitlik 17})$$

Eşitlikte:

S: Toprak fiziksel kalitesinin göstergesi aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır:

**Çizelge 3.5.** S indeksinin sınıflandırması (Reynolds ve ark., 2009)

S değeri	Sınıfı
$S < 0.020$	Çok zayıf
$0.020 \leq S < 0.035$	Zayıf
$0.035 \leq S < 0.050$	İyi
$S \geq 0.050$	Çok iyi

### 3.2.4. Deneme planı ve istatistiksel değerlendirmeler

Çalışma tesadüf parselleri deneme planında dört tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Çalışmada üç farklı materyal dört dozda ayrı ayrı denemeye alınmış ve analizleri yapılmıştır. Yapılan uygulamaların toprak özelliklerine olan etkilerini belirlemek için Minitab (Sürüm 16.2) paket programı kullanarak tek yönlü (ANOVA) varyans analizleri ve “Tukey” çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Ayrıca, TSTE'nin ölçülen ile hesaplanan değerlerin arasındaki uyumun doğruluğu değerlendirmek için hem regresyon katsayısı ( $R^2$ ) ve hem de normalleştirilmiş hata kareler ortalamasının karekökü (NRMSE) elde edilmiştir. NRMSE değeri aşağıdaki (Eşitlik 18)'de mutlak olarak ifade edilebilmektedir:

$$NRMSE = \frac{100}{\theta_{\max} - \theta_{\min}} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\theta_{mj} - \theta_{aj})^2} \quad (\text{Eşitlik 18})$$

Eşitlikte:

$\theta_{mj}$  ve  $\theta_{aj}$  sırayla ölçülen ve hesaplanan hacimsel su içerikleri.

$\theta_{\max}$  ve  $\theta_{\min}$  maksimum and minimum ölçülen hacimsel su içeriği,

ve N toprak-su eğrisinde seçilmiş olduğu birkaç noktadır.

Deneme planı aşağıdaki şekilde hazırlanmıştır:

İnkubasyon denemesi için:

(2 tekstür x 3 farklı materyal (SG, BK, L) x 4 doz oranı x 4 tekerrür = 96 muamele)

TSTE'nin belirlenmesi için:

(2 tekstür x 3 farklı materyal (SG, BK, L) x 4 doze oranı x 2 hacim ağırlığı x 4 tekerrür = 192 muamele)

## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Çalışmada Kullanılan Toprak Örnekleri ve Uygulama Materyallerinin Bazı Özellikleri

Çalışmada kullanılan toprak örneklerinin bazı fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Buna göre; kil tekstür sınıfına sahip toprak örneği %50.70 kil, % 36.00 silt ve % 13.30 kum içerirken, kumlu tın tekstür sınıfına sahip toprak örneği ise % 8.61 kil, % 14.00 silt ve % 77.39 kum içermektedir. Toprak örneklerinin pH'ları sırasıyla 8.03 ve 8.20 olup hafif alkalın reaksiyonludur ve tuzluluk problemi bulunmamaktadır. Toprak örneklerinin sırasıyla; kireç içerikleri % 13.23 ve % 11.90 olup oldukça kireçli (Jahn ve ark., 2013), organik madde içerikleri % 3.64 ve % 1.83, toplam azot içerikleri % 0.15 ve % 0.12, C/N oranları ise 14.06 ve 15.25 olarak belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan sığır gübresi, biyokömür ve kirecin bazı özellikleri ise Çizelge 4.2'de sunulmuş olup, sırasıyla; pH değerleri 7.67, 10.21 ve 9.20, EC değerleri 1.33 dS m<sup>-1</sup>, 15.02 dS m<sup>-1</sup> ve 0.09 dS m<sup>-1</sup>, kireç içerikleri %9.35, 10.57 ve 99.90, organik karbon içerikleri %41.49, 62.09 ve 13.52, toplam azot içerikleri %2.00, 2.39 ve 0.19, C/N oranları 20.75, 25.98 ve 71.16, hacim ağırlıkları ise 0.15g cm<sup>-3</sup>, 0.22g cm<sup>-3</sup> ve 1.24 g cm<sup>-3</sup> olarak ölçülmüştür.

**Çizelge 4.1.** Çalışmada kullanılan toprakların bazı özellikleri

Toprak özellikleri	Kil	Kumlu tın
% Kil	50.70	8.61
% Silt	36.00	14.00
% Kum	13.30	77.39
Tekstür sınıfı	C	SL
pH (1:2.5, toprak:su)	8.03	8.20
EC dS m <sup>-1</sup> (1:2.5 toprak:su)	0.57	0.25
% Kireç	13.23	11.90
% Organik madde	3.64	1.83
% Organik C	2.11	1.06
% Toplam N	0.15	0.12
C/N	14.06	15.25

**Çizelge 4.2.** Denemede kullanılan malzemelerin bazı önemli özellikleri

Özellikler	Sığır gübresi (SG)	Biyokömür (BK)	CaCO <sub>3</sub> (L)
pH (1:5 SG/L:su)	7.67	10.21*	9.20
EC dS m <sup>-1</sup> (1:5 SG/L:su)	1.33	15.02*	0.09
% Kireç	9.35	10.57	99.99
% Organik C	41.49	62.09	-
% Toplam N	2.00	2.39	0.19
C/N	20.75	25.98	71.16
Hacim ağırlığı (g cm <sup>-3</sup> )	0.15	0.22	1.24
% Fiber içeriği	81	-	-

\*: 1:20 (BK:su)

## 4.2. Sığır Gübresi Uygulamalarının Toprakların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine Etkisi

Kil ve kumlu tın tekstürlere sahip topraklara ağırlıkça % 0, 1, 2 ve 4 oranlarında ilave edilen sığır gübresinin, bir aylık inkübasyon sonunda, toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerine etkileri Çizelge 4.3 ve 4.4’de verilmiştir. Buna göre, yapılan uygulamaların kil tekstürlü toprağın kireç içeriği, likit limit ve plastiklik indeksi, kumlu tın toprağın ise ortalama ağırlıklı çap değeri üzerine etkisi önemsiz çıkmıştır. Her iki tekstürdeki toprakta da ölçülen diğer tüm fiziksel ve kimyasal özellikler üzerine uygulamaların etkisi önemli bulunmuştur (Çizelge 4.3 ve 4.4).

### 4.2.1. Toprakların pH’sına etkisi

Killi toprakta, pH değeri inkübasyon sonunda kontrol örneğinde 8.02 ölçülürken, sığır gübresi uygulama dozları ile ters orantılı olarak pH değerinde sınırlı düzeyde ve istatistiksel açıdan önemli ( $p < 0.001$ ) düşüşler gözlenmiştir. Buna göre killi toprağa SG uygulamaları sınırlı düzeyde pH düşüşü meydana getirmiştir. Kumlu tın toprakta, pH değeri inkübasyon sonunda kontrol örneğinde 8.20 ölçülürken, sığır gübresi uygulama dozları ile ters orantılı olarak pH değerinde sınırlı düzeyde ve istatistiksel açıdan önemli ( $p < 0.001$ ) düşüşler belirlenmiştir. Buna göre kumlu tın toprağa uygulanan SG sınırlı düzeyde, ancak killi toprağa göre daha yüksek oranlarda pH düşüşü meydana getirmiştir (Çizelge 4.3 ve 4.4). Her iki tekstürdeki toprakların kireç içeriklerinin birbirine yakın olmasına rağmen, SG uygulamalarının kumlu tın toprakta daha fazla pH düşüşüne neden olmasının, killi toprağın yüksek olan tamponlama kapasitesinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir (McCauley ve ark., 2017). Ayrıca, sığır gübresinin pH değerinin, her iki toprağın başlangıçtaki pH

değerinden daha düşük olması (7.67), sığır gübresi uygulama dozlar arttıkça pH düşüşüne neden olmuştur.

#### **4.2.2. Toprakların EC'sine etkisi**

Killi toprakta, kontrol örneğinin EC değeri inkübasyon sonunda  $0.57 \text{ dS m}^{-1}$  ölçülürken, SG uygulama dozları ile ters orantılı olarak EC değerinde sınırlı düzeyde ve istatistiksel yönden önemli ( $p < 0.001$ ) düşüşler gözlenmiştir. Buna göre killi toprağa SG uygulamaları sınırlı düzeyde EC düşüşü meydana getirmiştir (Çizelge 4.3). Kumlu tın toprakta, EC değeri inkübasyon sonunda kontrol örneğinde  $0.25 \text{ dS m}^{-1}$  ölçülürken, SG uygulama dozları ile ters orantılı olarak EC değerinde sınırlı düzeyde ve istatistiksel açıdan önemli ( $p < 0.001$ ) artışlar belirlenmiştir (Çizelge 4.4). Buna göre kumlu tın toprağa SG uygulamaları EC değeri üzerinde sınırlı düzeyde artış oluştururken, killi toprakta ise sınırlı düzeyde düşüş meydana getirmiştir (Çizelge 4.3 ve 4.4). Bu durum killi toprağa ilave edilen SG'nin mineralizasyon süreci ile açıklanabilir. Şekil 4.1 ve 4.2'den de görüleceği gibi killi toprağa ilave edilen SG'nin mineralizasyon oranının, kumlu tın toprağa uygulanan SG'nin mineralizasyon oranından çok daha düşüktür. Ayrıca mevcut şartlarda meydana gelen mineralizasyon sonucu açığa çıkan iyonların bir kısmının kil kolloidleri tarafında tutulması ile de bu durum açıklanabilecektir. Bu konuda göz önüne alınması gereken diğer bir faktörde, çalışmada kullanılan sığır gübresinin, yüksek ozmotik potansiyel etkisinden kaçınmak için düşük EC değerine sahip, seperatörde ayrıştırılan, yıkanmış gübre olmasıdır.

**Çizelge 4.3.** Sığır gübresi (SG) uygulamasının killi (C) toprağın bazı özellikleri üzerine etkisi

Özellikler	Kontrol	SG1	SG2	SG4	P Değeri
pH	8.02±0.00a	7.94 ±0.01b	7.93± 0.01bc	7.90± 0.01c	***
EC, dS m <sup>-1</sup>	0.57±0.03a	0.50±0.009b	0.45±0.015c	0.44±0.011c	***
CaCO <sub>3</sub> , %	13.23±0.56	13.13±0.63	12.82±0.72	12.45±0.20	NS
Organik karbon, %	1.87±0.06c	2.08±0.04b	2.22±0.08b	2.45±0.13a	***
Toplam azot,%	0.17± 0.02b	0.19 ±0.01b	0.20±0.00 b	0.23±0.04a	***
C/N	10.84±1.15	10.93±0.73	11.02±0.59	10.82±0.51	NS
Hacim ağırlığı, g cm <sup>-3</sup>	0.95±0.00 a	0.91±0.00 b	0.90±0.00b	0.83±0.00c	***
Tane yoğunluğu, g cm <sup>-3</sup>	2.56±0.00a	2.52±0.01 b	2.51±0.01b	2.45±0.02c	***
Toplam gözenekler,%	0.63±0.00c	0.64±0.00 b	0.64±0.00b	0.66±0.00a	***
AOÇ, mm	0.22±0.02c	0.28±0.06 bc	0.34±0.04b	0.47±0.06a	***
Agregat stabilitesi,%	7.88±1.32c	26.49±0.00b	32.26±1.79a	24.58±1.31b	***
Likit limit,%	47.89±0.69	48.36±0.87	49.07±1.59	49.95±0.83	NS
Plastik limit,%	24.16±1.01b	24.53±1.13b	25.57±0.44b	28.86±1.4 a	***
Plastiklik indeksi,%	23.73±1.66	23.83±1.84	23.50±1.23	21.09±1.68	NS

SG: Sığır gübresi, NS: Önemsiz, EC: Elektrik iletkenlik, AOÇ: Ağırlıklı ortalama çap, \*\*\*: p<0.001.

**Çizelge 4.4.** Sığır gübresi (SG) uygulamasının kumlu tın (SL) toprağın bazı özellikleri üzerine etkisi

Özellikler	Kontrol	SG1	SG2	SG4	P Değeri
pH	8.20±0.01 a	8.04±0.03b	7.97±0.02c	7.87±0.03d	***
EC, dS m <sup>-1</sup>	0.25±0.01c	0.30±0.01b	0.31±0.02b	0.37±0.02a	***
CaCO <sub>3</sub> , %	11.90±0.40a	11.82±0.15a	12.32±0.07a	9.47±0.66b	***
Organik karbon,%	0.60±0.01d	0.72±0.03c	0.94±0.03b	1.33±0.09a	***
Toplam azot,%	0.12±0.00d	0.15±0.00c	0.17±0.00b	0.21±0.00a	***
C/N	4.95±0.27b	4.87±0.35b	5.38±0.36b	6.38±0.46a	***
Hacim ağırlığı, g cm <sup>-3</sup>	1.20±.015a	1.16±0.01b	1.15±0.00 b	1.06±0.00c	***
Tane yoğunluğu, g cm <sup>-3</sup>	2.50±0.03a	2.47±0.00ab	2.46±0.02b	2.46±0.00ab	*
Toplam gözenekler,%	0.52±0.00c	0.53±0.00b	0.53±0.00b	0.57±0.00a	***
AOÇ, mm	0.33±0.00	0.29±0.02	0.32±0.01	0.32±0.05	NS
Agregat stabilitesi,%	6.06±0.88b	6.41±0.23b	7.39±0.68b	13.13±0.9a	***
Likit limit,%	28.60±0.79b	29.90±0.65ab	30.48±0.66a	31.26±0.68a	**

SG: Sığır gübresi, NS: Önemsiz, EC: Elektrik iletkenlik, AOÇ: Ağırlıklı ortalama çap, \*: p<0.05, \*\*:p<0.01, \*\*\*: p<0.001.

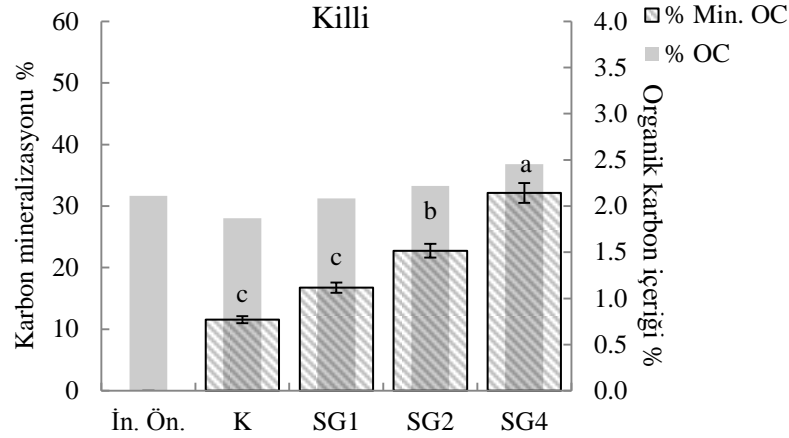
#### 4.2.3. Toprakların %CaCO<sub>3</sub> içeriğine etkisi

İnkübasyon sonunda, SG uygulamalarının killi toprağın kireç içeriğine etkisi istatistiksel olarak önemsiz çıkmıştır (Çizelge 4.3). Kumlu tın toprakta ise SG uygulamalarının kireç içeriğine etkisi istatistiksel olarak önemli çıkmış (p<0.001), sadece SG4 uygulaması diğer uygulamalardan farklılık göstermiş ve kontrol örneği ile kıyaslandığında % 20.42'lik bir düşüş belirlenmiştir (Çizelge 4.4). Buna göre kumlu tın toprağa % 4 dozunda SG uygulaması 30 günlük inkübasyon sonunda, toprak örneğinin CaCO<sub>3</sub> içeriğini düşürmüştür. Bu durum killi toprağın yüksek tamponlama kapasitesi ve düşük mineralizasyon oranı ile açıklanabilir.

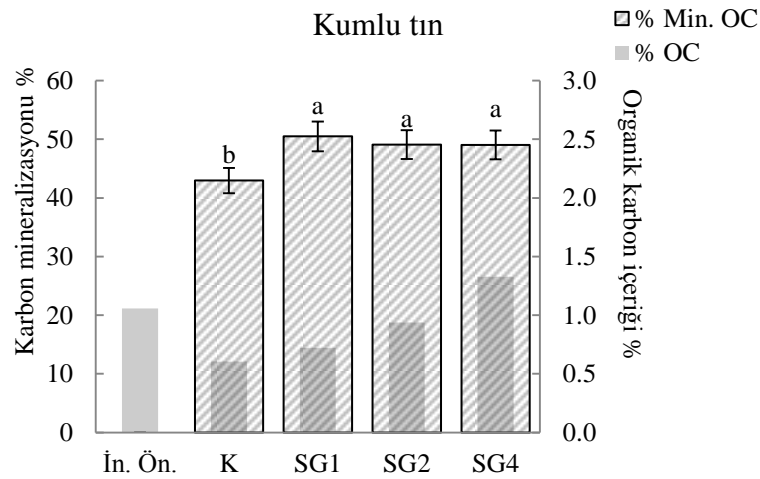


#### 4.2.4. Toprakların organik karbon içeriğine ve mineralizasyonuna etkisi

İnkübasyon sonunda, SG uygulamaları, doz artış ile orantılı olarak, her iki toprağında OC içeriğini istatistiksel olarak önemli ( $p<0.001$ ) ölçüde artırmıştır (Çizelge 4.3 ve 4.4). İnkübasyon öncesinde, killi toprağın OC içeriği % 2.11 ölçülürken, inkübasyon sonunda kontrol örneğinin OC içeriği, % 11.37 oranında bir düşüşle, % 1.87 olarak ölçülmüş; başlangıçta kumlu tın toprağın OC içeriği ise % 1.06 ölçülürken, inkübasyon sonunda kontrol örneğinin OC içeriği, % 43.40 oranında bir düşüşle, % 0.60 olarak ölçülmüştür. Buradan da görüleceği gibi, kumlu tın toprakta killi toprağa göre yaklaşık dört katı daha yüksek bir mineralizasyon hızı olduğu anlaşılmaktadır. Buna göre killi toprağa uygulanan SG, kumlu tın toprağa göre OC oranında daha yüksek düzeyde artış meydana getirmiştir. Killi toprağa uygulanan SG'nin, bir aylık inkübasyonun sonundaki mineralizasyon süreçleri, SG'sinin uygulama dozundaki artışla orantılı olarak önemli ölçüde ( $p<0.001$ ) artmış, kumlu tın toprakta ise farklı dozlarda uygulanan SG'nin, kontrol örneği hariç, mineralizasyon süreçleri üzerinde etkisi önemli olmamıştır (Şekil 4.1 ve 4.2). Killi toprağa uygulanan SG'nin mineralizasyon oranı daha düşük iken, kumlu tın toprağa ilave edilen SG'nin yaklaşık yarısı bir aylık inkübasyon süresi sonunda mineralize olmuştur. Bu durumda, killi topraklara uygulanan organik materyallerin ortamda daha uzun süre kalabileceğini, kumlu tın toprakta ise kalıcılığının daha az olacağı anlamına gelmektedir. Bunun nedeni ise kilin organik materyallerle, özellikle humusla, kil-humus kompleksleri oluşturmaları ile organik maddenin mineralizasyonunu yavaşlatması, ayrıca kumlu tın toprakta ise tarla kapasitesine yakın inkübasyon şartlarında ortama daha fazla oksijen sağlanarak mineralizasyonun artırılması şeklinde açıklanabilir (Sollins ve ark., 1996; Six ve ark., 1998; Sparks, 2003; Kemmitt ve ark., 2006).



Şekil 4.1. Bir aylık inkübasyonun, killi toprağa uygulanan SG kaynaklı organik karbon mineralizasyonuna etkisi



Şekil 4.2. Bir aylık inkübasyonun, kumlu tın toprağa uygulanan SG kaynaklı organik karbon mineralizasyonuna etkisi

#### 4.2.5. Toprakların toplam azot içeriğine etkisi

Bir aylık inkübasyonun sonunda, killi toprağa ilave edilen SG'nin, toprağın TN içeriğine etkisi bakımından kontrol örneği ile SG'sinin % 1 ve % 2'lik dozları arasındaki farklılık önemsiz bulunurken, SG4 dozu ile diğer uygulamalar arasındaki farklılığın istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.001$ ) olduğunu belirlenmiştir (Çizelge 4.3). Kumlu tın toprak için ise tüm SG uygulamaları arasındaki farklılık ile kontrol örneği arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.001$ ) bulunmuştur (Çizelge 4.4). Buna göre killi ve kumlu tın toprağa en yüksek doz olan SG4 uygulamaları sırasıyla toprakların TN

içeriklerini yaklaşık % 76 ve % 75 oralarında artırmıştır. Toprakların TN içeriğindeki artış, SG'nin bileşiminde yaklaşık % 2 azot içermesinden kaynaklanmıştır (Rifai ve ark., 2010).

#### **4.2.6. Toprakların C/N oranına etkisi**

Killi toprakta, inkübasyon öncesinde kontrol örneğinin C/N oranı % 14.06 ölçülürken, inkübasyon sonunda aynı örnekte % 10.84 olarak ölçülmüş, ancak SG uygulama dozu arasındaki etki istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.3). Kumlu tın toprak ise C/N oranı inkübasyon öncesinde kontrol örneği için % 15.25 ölçülürken, inkübasyon sonunda aynı örnekte % 4.95 olarak gözlenmiştir (Çizelge 4.4). Bu toprağa SG uygulaması sadece % 4'lük uygulama dozunda, toprağın C/N oranında istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.001$ ) ancak sınırlı düzeyde bir artış meydana getirmiştir. Burada ortaya çıkan farklılığın, toprakların başlangıç organik karbon ve TN içeriklerinin birbirinden farklı, kumlu tın toprağın çok düşük organik karbon içeriği ile mineralizasyon süreçlerindeki farklılıktan kaynaklanabileceği değerlendirilmiştir (Sorensen, 1981).

#### **4.2.7. Toprakların hacim ağırlığına etkisi**

SG uygulamalarının, bir aylık inkübasyon sonunda, killi ve kumlu tın toprağın gevşek haldeki hacim ağırlığına etkisi istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.001$ ) çıkmış, kontrol örneklerinin hacim ağırlığı değerleri sırasıyla; 0.95 ve 1.20 g cm<sup>-3</sup> olarak ölçülürken, sıgır gübresi uygulama dozları artış ile her iki toprağın da hacim ağırlığı değeri düşüşler göstermiştir (Çizelge 4.3 ve 4.4). Topraklara organik madde ilavesi, organik materyali toprakların hacim ağırlığına düşük olması ve agregatlaşmayı teşvik etmeleri nedeniyle, toprakların hacim ağırlığı değerlerini düşürerek, gözenekliliklerini artırmıştır (Rasoulzadeh ve Yaghoubi, 2010; Agili nategh N ve ark., 2011; Adekiya ve ark., 2016; Shahgholi ve Janatkah, 2018).

#### **4.2.8. Toprakların tane yoğunluğuna etkisi**

Killi ve kumlu tın topraklara SG uygulamaları, toprakların tane yoğunluğu değerlerin, uygulama dozu artış ile uyumlu ve istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.001$  ve  $p < 0.5$ ) düzeyde düşürmüştür (Çizelge 4.3 ve 4.4). Bu durum toprak organik maddesinin,

mineral toprağa göre daha düşük, yaklaşık 1.0-1.5 g cm<sup>-3</sup> tane yoğunluğuna sahip olmasından kaynaklanmıştır (Hassink, 1995).

#### **4.2.9. Toprakların toplam gözenekliliğine etkisi**

İnkübasyon sonu, killi ve kumlu tın toprakların toplam gözenekleri kontrol örneklerinde sırayla; % 0.62 ve % 0.52 olarak ölçülürken, SG uygulama dozlarındaki artış istatistiki bakımdan önemli (p<0.001) artışlar belirlenmiştir (Çizelge 4.3 ve 4.4). Buna göre, killi ve kumlu tın topraklara SG uygulamaları toprakların toplam gözeneklerini artırmış olup, bu etki sığır gübresinin düşük hacim ağırlığına sahip olması, toprakta gevşetici etki yapması ve topraklarda agregatlaşmayı teşvik etmesi ile açıklanmaktadır (Kay ve VandenBygaart, 2002; Franzluebbers, 2011).

#### **4.2.10. Toprakların ağırlıklı ortalama çap (AOÇ) değerlerine etkisi**

Killi toprakta, inkübasyon sonunda kontrol örneğinde AOÇ değeri 0.22 mm ölçülürken, SG uygulama dozları ile istatistiksel açıdan önemli derecede (p<0.001) bir artış belirlenmiş, ancak SG uygulaması kumlu tın toprağın AOÇ değeri üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etki yapmamıştır (Çizelge 4.3 ve 4.4). İnkübasyon sonunda kumlu tın toprağın kontrol örneğinde AOÇ 0.33 mm ölçülmüştür. Kil, organik maddeyle kompleksler oluşturarak toprak agregatlaşmasını teşvik ederken, kumlu tın toprağın kil içeriği düşük olduğundan bu etki kısa dönemde ortaya çıkmamıştır. Organik maddenin toprak agregatlarına tutunarak, parçacıklar arasında köprü oluşturmaları ve agregatlara hidrofobik özellik kazandırmaları nedeniyle stabiliteyi artırmaktadırlar (Chenu, 1989; Chenu ve ark., 1994). Topraklarda agregatların stabilizasyonundan sorumlu faktörlerin toprak organik maddesi ile toprağın tekstürel fraksiyonları olduğu birçok çalışmada ortaya konmuştur (Lado ve ark., 2004; Materechera, 2009; Nciizah, 2011).

#### **4.2.11. Toprakların agregat stabilitesine etkisi**

Killi toprakta, inkübasyon sonunda kontrol örneği için agregat stabilitesi % 7.88 olarak ölçülürken, SG uygulama dozu artış ile orantılı olarak, toprakların agregat stabilitesi değerlerinde de istatistiksel açıdan önemli (p<0.001) artış ve kontrole göre yaklaşık dört kat yüksek değerler belirlenmiştir (Çizelge 4.3). Kumlu tın toprağa ilave edilen SG'nin agregat

stabilitesi üzerine etkisi aynı şekilde istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.001$ ) bulunmuş, ancak etki seviyesi killi toprağa göre son derece sınırlı olduğu gözlenmiştir (Çizelge 4.4). Kumlu tın toprakta, kontrol örneğinin agregat stabilitesi % 6.06 iken, sadece SG4 uygulamasında kontrolden farklı ve % 13.13 agregat stabilitesi değeri ölçülmüştür. Bu durum tekstürün, özellikle kilin, agregat stabilitesi üzerindeki olumlu etkisinin bir sonucudur (Jensen ve ark., 2005; Wortmann ve Shapiro, 2008; Dunjana ve ark., 2012; Wang ve ark., 2013).

#### **4.2.12. Toprakların likit limit değerlerine etkisi**

Killi toprakta, inkübasyon sonunda kontrol örneğinde likit limit değeri % 47.89 ölçülürken, SG uygulama dozlarının etkisi istatistiksel açıdan önemsiz çıkmış, kumlu tın toprakta ise kontrol örneğinde % 28.60 olarak ölçülen likit limit değeri, SG uygulaması ile dozdan bağımsız olarak artmış ve önemli ( $p < 0.01$ ) farklılık göstermiştir (Çizelge 4.3 ve 4.4). Likit limit değerinin artışı, uygulanan basınç altında toprakların stabilitelelerini artırması ile toprak işlemede uygun nem bölgesi olan tavin, üst limitinin yükselmesi anlamına gelmektedir.

#### **4.2.13. Toprakların plastik limit değerlerine etkisi**

Killi toprakta, inkübasyon sonunda kontrol örneğinde plastik limit değeri % 24.16 ölçülürken, SG uygulama dozları ile istatistiksel açıdan önemli ( $p < 0.001$ ) artışlar belirlenmiştir. Kumlu tın toprakta, zayıf yapısı ve düşük kil içeriğinden dolayı bir plastik limit değeri belirlenmiştir (Çizelge 4.3). Organik madde ilavesinin, yeni yüzeyler oluşturması ve dokular arasında su tutması nedeniyle toprakların Atterberg limitlerini yükselttiği kaydedilmiştir (Keller ve Dexter, 2012).

#### **4.2.14. Toprakların plastiklik indeksi değerlerine etkisi**

Killi toprakta, inkübasyon sonunda kontrol örneğinde plastiklik indeksi değeri % 23.73 olarak ölçülürken, SG uygulama dozları ile plastiklik indeksinin değişimi istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.3). Organik madde ilavesi toprakların hem likit limitlerini ve hem de plastik limitlerini benzer şekilde yaklaşık aynı oranda artırdıklarından, plastiklik indeksine etkileri yetersiz kalmaktadır (Stanchi ve ark., 2009).

### **4.3. Biyokömür Uygulamalarının Toprakların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine Etkisi**

Kil ve kumlu tın tekstürlere sahip topraklara ağırlıkça % 0, 1, 2 ve 4 oranlarında ilave edilen BK'ün, bir aylık inkübasyon sonunda, toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerine etkileri Çizelge 4.5 ve 4.6'de verilmiştir. Buna göre, yapılan uygulamaların kil tekstürlü toprağın kireç içeriği ve plastiklik indeksi ve kumlu tın toprağın ise kireç içeriği ve tane yoğunluğu üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur. Her iki tekstürdeki toprakta da ölçülen diğer tüm fiziksel ve kimyasal özellikler üzerine uygulamaların etkisi önemli bulunmuştur (Çizelge 4.5 ve 4.6).

#### **4.3.1. Toprakların pH'sına etkisi**

Killi toprağa uygulanan BK dozlarının artması ile pH değerinde sınırlı düzeyde ve istatistiksel açıdan önemli ( $p < 0.001$ ) düşüşler gözlenmiştir (Çizelge 4.5). Kumlu tın toprakta da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Çizelge 4.6). pH'daki bu düşüşün nedenleri arasında inkübasyondan dolayı oksidasyonun artması ve BK taneleri etrafındaki toprağın pH değerinin düşmesi sayılabilir (Cheng ve ark., 2006). Ayrıca, oksidasyon ve yıkanma etkisi yanında BK'nın kireçlenme etkisinin zamanla azalması toprağın pH değerini düşürebilmektedir (Slavich ve ark., 2013).

**Çizelge 4.5.** Biyokömür (BK) uygulamasının killi (C) toprağın bazı özellikleri üzerine etkisi

Özellikler	Kontrol	BK1	BK2	BK4	P Değeri
pH	8.02±0.00a	7.89±0.02b	7.88±0.00b	7.85±0.00c	***
EC, dS m <sup>-1</sup>	0.57±0.03d	1.04±0.019c	1.33±0.006b	2.07±0.078a	***
CaCO <sub>3</sub> , %	13.23±0.56	12.95±0.51	13.26±0.63	13.54±0.07	NS
Organik karbon, %	1.87±0.06d	2.06±0.52c	2.60±0.06b	3.40±0.04a	***
Toplam azot, %	0.17±0.02c	0.19±0.00bc	0.21±0.01ab	0.23±0.02a	***
C/N	10.1±1.91b	11.05±0.37b	12.23±1.11b	14.92±1.34a	**
Hacim ağırlığı, g cm <sup>-3</sup>	0.95±0.00a	0.91±0.00b	0.91±0.00b	0.91±0.00b	***
Tane yoğunluğu, g cm <sup>-3</sup>	2.56±0.00a	2.58±0.01a	2.56±0.01a	2.49±0.02b	***
Toplam gözenekler, %	0.63±0.00 b	0.65±0.00a	0.65±0.00a	0.64±0.00a	***
AOÇ, mm	0.22±0.02b	0.29±0.04a	0.31±0.04a	0.33±0.03a	**
Agregat stabilitesi, %	7.88±1.32c	15.44±0.97b	17.82±1.26a	13.65±0.79b	***
Likit limit, %	47.89±0.69c	49.82±1.16b	50.76±1.02b	53.29±0.59a	***
Plastik limit, %	24.16±1.01c	25.17±0.67bc	26.80±1.47ab	27.64±0.27a	**
Plastiklik indeksi, %	23.73±1.66	24.66±1.71	23.96±0.82	25.65±0.84	NS

BK: Biyokömür, NS: Önemsiz, EC: Elektrik iletkenlik, AOÇ: Ağırlıklı ortalama çap, \*\*:p<0.01, \*\*\*:p<0.001.

**Çizelge 4.6.** Biyokömür (BK) uygulamasının kumlu tın (SL) toprağın bazı özellikleri üzerine etkisi

Özellikler	Kontrol	BK1	BK2	BK4	P Değeri
pH	8.20±0.01a	8.07±0.01b	8.04±0.00c	8.00±0.01d	***
EC, dS m <sup>-1</sup>	0.25±0.01d	0.62±0.02c	1.03±0.01b	1.76±0.09a	***
CaCO <sub>3</sub> , %	11.90±0.40	11.66±0.27	12.33±0.28	12.31±0.40	NS
Organik karbon, %	0.60±0.01d	1.09±0.03c	1.90±0.06b	2.60±0.07a	***
Toplam azot, %	0.12±0.00c	0.16±0.00b	0.17±0.00b	0.18±0.00a	***
C/N	4.95±0.27d	6.73±0.32c	11.38±0.93b	14.13±0.91a	***
Hacim ağırlığı, g cm <sup>-3</sup>	1.20±0.01a	1.21±0.00a	1.19±0.00a	1.13±0.01b	***
Tane yoğunluğu, g cm <sup>-3</sup>	2.50±0.03	2.54±0.01	2.53±0.01	2.51±0.02	NS
Toplam gözenekler,%	0.52±0.00b	0.52±0.00b	0.53±0.00b	0.55±0.00a	***
AOÇ, mm	0.33±0.00a	0.27±0.01b	0.23±0.04bc	0.22±0.01c	***
Agregat stabilitesi,%	6.06±0.88b	8.40±0.53a	6.67±1.26ab	6.29±0.43b	**
Likit limit,%	28.60±0.79c	29.91±0.09b	30.17±0.67b	32.09±0.17a	***

BK: Biyokömür, NS: Önemsiz, EC: Elektrik iletkenlik, AOÇ: Ortalama ağırlıklı çap, \*\*:p<0.01, \*\*\*:p<0.001.

### 4.3.2. Toprakların EC'sine etkisi

Killi ve kumlu tın topraklarda, EC değeri inkübasyon sonunda kontrol örneğinde sırayla 0.57 ve 0.25 dS m<sup>-1</sup> ölçülürken, yüksek düzeyde ve istatistiksel açıdan önemli (p<0.001) artışlar elde edilmiştir (Çizelge 4.5 ve 4.6). Bu sonuçlar çoğu çalışmaların sonuçları ile uyumlu bulunmuştur (Lehmann ve Joseph, 2009; Tasneem ve Zahir, 2017). EC'nin artma nedeni, BK'un piroliz sürecinde bazı elementlerin çözünürlüğünün artması ve toprak çözeltisine serbestlenmesidir (Chintala ve ark., 2013).

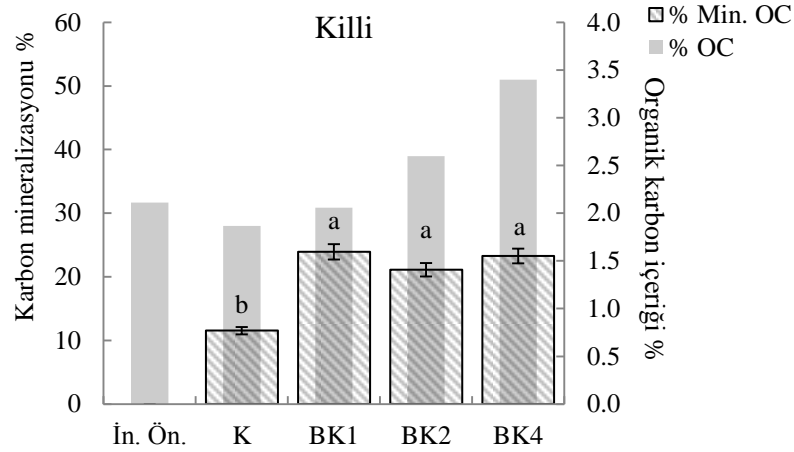
#### 4.3.3. Toprakların % CaCO<sub>3</sub> içeriğine etkisi

İnkübasyon sonunda, BK uygulamalarının her iki tekstürdeki toprağın kireç içeriğine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.5 ve 4.6). Uygulanan BK'ün kireç içeriğinin % 10.57 toprağın kireç içeriğine yakın olması nedeniyle kireç içeriğinin değişimi gözlenmemiştir.

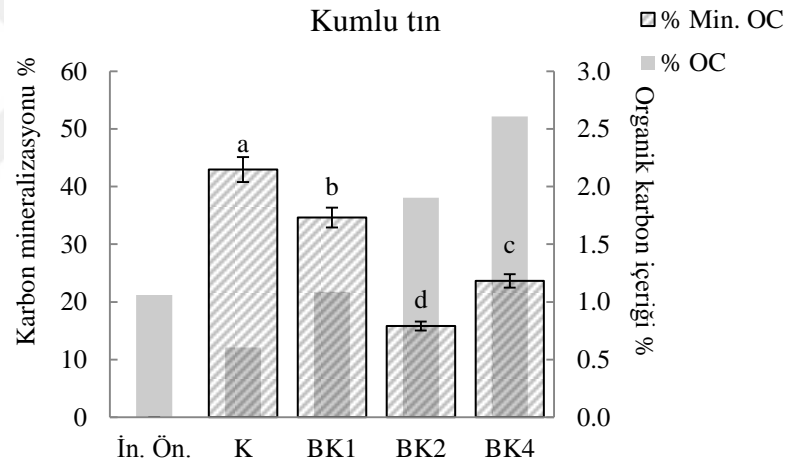
#### 4.3.4. Toprakların organik karbon içeriğine ve mineralizasyonuna etkisi

İnkübasyon sonunda, BK uygulamaları, doz artış ile orantılı olarak, her iki toprağa OC içeriğini istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.001$ ) ölçüde artırmıştır (Çizelge 4.5 ve 4.6). BK, yüksek C içeriğine sahip olduğundan dolayı OC oranı her iki toprakta uygulanan BK dozlarının artması ile artmıştır. Burada killi toprağa uygulanan BK'nın doz artış ile OC mineralizasyon oranı değişmemiş, ancak kumlu tın toprakta BK dozu arttıkça kontrole göre mineralizasyon oranı düşmüş, özellikler % 2 dozunda OC mineralizasyon oranı en düşük seviyeye ulaşmış ve daha sonra bir miktar artış göstermiştir. Killi topraklar, kilin organik koloidal kompleksler yapma özelliğinden dolayı OC mineralizasyon oranını düşürmektedir (Sollins ve ark., 1996; Six ve ark., 1998; Sparks, 2003). Ancak, BK uygulamaları ile dozlar arasında fark çıkmamakla birlikte OC mineralizasyon oranındaki artışı, ortama ilave edilen organik karbonun sınırlı ölçüde mineralizasyona uğradığının bir göstergesidir Bunun durum piroliz sonucu organik maddenin bileşiminde bulunan karbonun mikrobiyal parçalanmaya dirençli hale gelmesi ile açıklanabilir. Diğer taraftan, kumlu tın toprağın düşük mikrobiyal aktivitesi ile piroliz karbonunun parçalanmaya karşı dayanıklı hale gelmesi mineralizasyon oranını kontrole göre düşürmüştür. Bu durum killi toprakların yanında kumlu topraklarda da yapılacak BK uygulamalarında, % 2 dozda karbon yutağı depolama etkisinin yüksek olacağını göstermektedir.





Şekil 4.3. Bir aylık inkübasyonun, killi toprağa uygulanan BK kaynaklı organik maddenin mineralizasyonuna etkisi



Şekil 4.4. Bir aylık inkübasyonun, kumlu tın toprağa uygulanan BK kaynaklı organik maddenin mineralizasyonuna etkisi

#### 4.6.5. Toprakların toplam azot içeriğine etkisi

Bir aylık inkübasyonun sonunda, her iki tekstürdeki toprağın TN içeriğinde istatistiksel açıdan önemli ( $p < 0.001$ ) artışlar bulunmuştur (Çizelge 4.5 ve 4.6). Killi ve kumlu tın toprağa, en yüksek doz olan BK4 uygulamalarında toprakların TN içerikleri sırasıyla; yaklaşık % 35 ve % 50 oranlarında artmıştır. Genel olarak her iki toprakta BK'nın uygulama dozları arttıkça TN oranının artış nedeni; BK'nın bileşiminde yaklaşık % 2.4 TN olması ve bu oranın topraktaki miktardan daha yüksek olması ile BK uygulamalarının

topraktaki mevcut azotun denitrifikasyonu ile N<sub>2</sub>O formunda kaybı azaltmasıdır (Yanai ve ark., 2007).

#### **4.3.6. Toprakların C/N oranına etkisi**

Killi toprağın C/N oranında, uygulanan BK dozunun artması ile istatistiksel açıdan önemli ( $p<0.01$ ) bir artış kaydedilmiştir. Kumlu tın toprağın da C/N oranı, BK uygulamalarının artması ile istatistiksel açıdan önemli derecede ( $p<0.001$ ) artmıştır (Çizelge 4.5 ve 4.6). Burada BK'nın yüksek karbon içeriği ve bu karbonun stabilitesi nedeniyle kontrole göre her iki toprakta da uygulanan BK dozu artış ile beraber C/N oranı da artmıştır. Biyokömür piroliz durumlarına göre % 80'den fazla C içermektedir (Antal ve Grønli, 2003). Ayrıca Biyokömür, piroliz edilmeyen biyokütleyle karşılaştırıldığında toprakta çok daha uzun süre C depolanması sağlamaktadır (Sheng ve Zhu, 2018).

#### **4.3.7. Toprakların hacim ağırlığına etkisi**

BK uygulamalarının bir ay inkübasyon sonunda, killi ve kumlu tın toprağın gevşek haldeki hacim ağırlığına etkisi istatistiksel olarak önemli ( $p<0.001$ ) bulunmuş ve BK uygulama dozları artış ile her iki toprağın da hacim ağırlığı değeri düşmüştür (Çizelge 4.5 ve 4.6). BK uygulamaları genellikle toprakların hacim ağırlıkların % 3 ila % 31 arasında azaltırken, gözenekliliklerini % 14 ila % 64 arasında artırmaktadır (Blanco-Canqui, 2017). Ayrıca benzer sonuçlar (Lehmann ve Joseph, 2009; Gılab ve ark., 2016; Ningning ve ark., 2016) tarafından da kaydedilmiştir.

#### **4.3.8. Toprakların tane yoğunluğuna etkisi**

Killi toprağa BK uygulamaları, toprağın tane yoğunluğu değerlerini, uygulama dozu artış ile istatistiksel olarak önemli ölçüde ( $p<0.001$ ) düşürmüştür (Çizelge 4.5). Kumlu tın toprakta ise BK uygulamalarının, toprağın tane yoğunluğu değerlerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz çıkmıştır (Çizelge 4.6). Bunun nedeni ise BK'un tane yoğunluğunun 1.5 ila 1.7 g cm<sup>-3</sup> arasında değişerek killi toprağa ilavesi durumunda tane yoğunluğu düşüşüne neden olmakta (Yang ve ark., 1994; Oberlin, 2002), ancak kumlu tın toprakta ise tanelerin tane yoğunluğunun biraz daha düşük olmasından dolayı BK uygulamalarının mevcut dozlarının etkisi olmamıştır.

#### **4.3.9. Toprakların toplam gözeneklerine etkisi**

BK uygulama dozlarındaki artış ile toplam gözeneklilik değerlerinde istatistiksel açıdan her iki toprakta sınırlı düzeyde önemli ( $p<0.001$ ) artışlar ölçülmüştür (Çizelge 4.5 ve 4.6). Biyokömür yüksek gözenekli bir madde olması nedeni ile toprakların toplam gözeneklerini artırmaktadır (Lehmann ve Joseph, 2009).

#### **4.3.10. Toprakların ağırlıklı ortalama çap (AOÇ) değerlerine etkisi**

Killi toprakta, BK uygulama dozları ile birlikte istatistiksel olarak önemli derecede ( $p<0.01$ ) artışlar ölçülmüş, ancak kumlu tın toprakta istatistiksel olarak önemli ( $p<0.001$ ) düşüşler gözlenmiştir (Çizelge 4.5 ve 4.6). Bu durum, BK'nın yüksek bazik katyon içeren bir madde olması (Rajkovich ve ark., 2012), ve killi topraklara uygulandığında kil ile organik kolloidler arasında katyon köprüleri vasıtası ile bağ oluşturmaları ile açıklanabilir (Bronick ve Lal, 2005). Ancak kumlu tın toprakların kil içeriklerinin düşük olması nedeniyle böyle bağların oluşumu zayıf ve dayanıksız olmaktadır. Benze sonuçlar (Herath ve ark., 2015; Peng ve ark., 2016; Fungo ve ark., 2017) tarafından da not edilmiştir.

#### **4.3.11. Toprakların agregat stabilitesine etkisi**

Killi toprakta, BK uygulama dozu artış ile orantılı olarak BK'nın % 2 dozuna kadar, toprakların agregat stabilitesi değerlerinde de istatistiksel açıdan önemli ( $p<0.001$ ) artış ve kontrole göre yaklaşık iki kat yüksek değerler ölçülmüştür (Çizelge 4.5). Kumlu tın toprağa ilave edilen BK'nın agregat stabilitesi üzerine etkisi aynı şekilde istatistiksel olarak önemli ( $p<0.001$ ) çıkmış, ancak etki seviyesi killi toprağa göre sınırlı olmuştur (Çizelge 4.6). Her iki toprakta da BK'nın % 4 dozu kontrole göre agregat stabilitesi değerini çok az artırmış, hatta kumlu tın toprakta kontrol ile aynı seviyede çıkmıştır. Ayrıca killi toprakta kil kompleksler ile BK arasındaki köprü yapılarından dolayı daha stabil agregat oluşumu söz konusudur.

#### **4.3.12. Toprakların likit limitine etkisi**

Killi ve kumlu tın tekstürdeki her iki toprakta, BK uygulama dozları için istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.001$ ) artışlar ölçülmüştür (Çizelge 4.5 ve 4.6). Biyokömür ile likit limit arasındaki ilişkilere yönelik çalışmalar çok az ve bu konuya yönelik detaylı açıklamalar bulunmamakla birlikte, topraklara BK ilavelerinin yeni yüzey alanlarının oluşması ile daha fazla su tutulmasına neden olarak likit limit değerlerini yükselmesine yol açtığı değerlendirilmektedir.

#### **4.3.13. Toprakların plastik limit değerlerine etkisi**

Killi toprak, plastik limit değerlerinde BK uygulama dozları ile istatistiksel açıdan önemli ( $p < 0.01$ ) olarak sınırlı artışlar belirlenmiştir (Çizelge 4.5). Kumlu tın toprakta, zayıf yapısı ve düşük kil içeriğinden dolayı plastik limit ölçülemediği. Biyokömürün yüksek gözenekli yapısı ile birlikte yüksek yüzey alanına sahip olması; hem hidrofobik ve hem de hidrofil moleküllerin biyokömüre bağlanmasını sağlayan fonksiyonel gruplar bulunmasından dolayı su emilimi ve tutulunu daha yüksektir (Lehmann ve Joseph, 2009).

#### **4.3.14. Toprakların plastiklik indeksi değerlerine etkisi**

Killi toprakta, plastiklik indeksi değeri üzerine BK uygulamalarının etkisi istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.5). Bu durum Stanchi ve ark., (2009) tarafından da BK uygulamalarının hem likit limit hem de plastik limit değerlerini benzer şekilde, yaklaşık aynı oranda artırdıklarından, plastiklik indeksine etkileri yetersiz kaldığı şekilde açıklanmıştır.

### **4.4. Kireç Uygulamalarının Toprakların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine Etkisi**

Kil ve kumlu tın topraklara ağırlıkça % 0, 5, 10 ve 20 oranlarında ilave edilen kirecin, bir aylık inkübasyon sonunda, toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerine etkileri Çizelge 4.7 ve 4.8 de verilmiştir. Buna göre, yapılan uygulamaların kumlu tın tekstürlü toprağın sadece TN üzerine etkisi önemsiz çıkmıştır. Her iki toprakta da ölçülen diğer tüm fiziksel ve kimyasal özellikler üzerine uygulamaların etkisi önemli bulunmuştur (Çizelge 4.7 ve 4.8).

#### 4.4.1. Toprakların pH'sına etkisi

Killi toprağa, L uygulama dozundaki artış ile pH değerinde sınırlı düzeyde ve istatistiksel açıdan önemli ( $p < 0.001$ ) artışlar, kumlu tın toprakta ise e yüksek düzeyde ve istatistiksel açıdan önemli ( $p < 0.001$ ) artışlar gözlenmiştir (Çizelge 4.7 ve 4.8). Bilinen bir durum olarak,  $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^- + \text{CO}_2$  reaksiyonu sonucu; toprakların kireç içeriği arttıkça, toprak çözeltisinde  $\text{OH}^-$  iyonunun artırılmasıyla toprağın pH'sı yükselir; ancak killi toprakların tamponlama kapasitesinin kumlu topraklardan daha fazla olması nedeniyle, killi toprağa kireç ilavesi toprak pH'sını fazla artırmamıştır.

#### 4.4.2. Toprakların EC'sine etkisi

Killi toprağa, L uygulama dozu artış ile EC değerinde çok sınırlı düzeyde (L5 dozu hariç) ve istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.001$ ) düşüş ölçülmüştür (Çizelge 4.7). Ancak, kumlu tın toprakta L uygulama dozundaki artış ile istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.01$ ) bir ilişki çıkmasına rağmen, dozlar arasında büyük fark olmamış ve L20 de diğer kireç dozlarından çok sınırlı düzeyde daha düşük EC değeri belirlenmiştir (Çizelge 4.8). Buna göre, inkübasyon sürecinde yüksek dozda kireç toprağın alkalinitesini hafif yükseltirken, aynı zamanda toprağın EC değerlerini hafifçe düşürmüştür. Kireç modifikasyonua toprağın değişebilir Ca iyonlarının kireç tarafından tutulan Ca iyonları ile yer değiştirdiği ifade edilmiştir (Rao ve Shivananda, 2005). Diğer taraftan gerek  $\text{Ca}^{2+}$  ve gerekse  $\text{OH}^-$  iyonları ortamdaki diğer anyon ve katyonlarla reaksiyona girerek elektrolit konsantrasyonlarını düşürebilmektedir. Bundan dolayı toprak çözeltinin elektrolit konsantrasyonu ve dolayısıyla EC değerleri özellikle killi toprakta kısmen düşmüştür (Rao ve Shivananda, 2005).

#### 4.4.3. Toprakların % CaCO<sub>3</sub> içeriğine etkisi

Killi ve kumlu tın her iki toprakta inkübasyon sonunda kontrol örneğinde sırayla % 13.2 ve % 11.9 kireç içeriği ölçülmüştür. Buna göre, doğal olarak kireç uygulama dozları ile orantılı olarak her iki toprağın kireç içeriğinde de istatistiksel açıdan önemli ( $p<0.001$ ) artışlar kaydedilmiştir (Çizelge 4.7 ve 4.8).

**Çizelge 4.7.** Kireç (L) uygulamasının killi (C) toprağının bazı özellikleri üzerine etkisi

Özellikler	Kontrol	L5	L10	L20	P Değeri
pH	8.02±0.00c	8.05±0.01b	8.07± 0.01b	8.10±0.01a	***
EC, dS m <sup>-1</sup>	0.57±0.02a	0.57±0.02a	0.52±0.00b	0.48±0.01c	***
CaCO <sub>3</sub> , %	13.23±0.56a	17.13±0.62b	20.34±0.95c	27.70±0.46d	***
Organik karbon, %	1.87±0.06a	1.68±0.09b	1.63±0.02b	1.51±0.03c	***
Toplam azot, %	0.17±0.02a	0.19±0.00a	0.18±0.02a	0.11±0.00b	***
C/N	10.84±1.15ab	9.06±0.57b	9.24±1.01b	12.65±0.58a	***
Hacim ağırlığı, g cm <sup>-3</sup>	0.95±0.00b	0.95±0.00b	0.99±0.01a	1.01±0.01a	***
Tane yoğunluğu, g cm <sup>-3</sup>	2.56±0.00c	2.58±0.01bc	2.61±0.01ab	2.63±0.02a	***
Toplam gözenekler, %	0.63±0.00ab	0.63±0.00a	0.62±0.01bc	0.61±0.01c	**
AOÇ, mm	0.22±0.02c	0.26±0.01b	0.27±0.02ab	0.31±0.01a	***
Agregat stabilitesi,%	7.88±1.32c	21.21±0.91a	11.04±0.94b	9.69±0.69bc	***
Likit limit,%	47.89±0.69a	45.78±0.81b	44.21±0.57c	40.96±0.38d	***
Plastik limit,%	24.66±0.10a	23.23±0.46b	21.93±0.82c	21.07±0.68c	***
Plastiklik indeksi,%	23.73±1.66a	22.30±1.29a	21.53±1.56ab	19.13±0.85b	**

L:Kireç, NS:Önemsiz ; EC: Elektrik iletkenlik, AOÇ: Ağırlıklı ortalama çap, \*\*:p<0.01, \*\*\*:p<0.001.

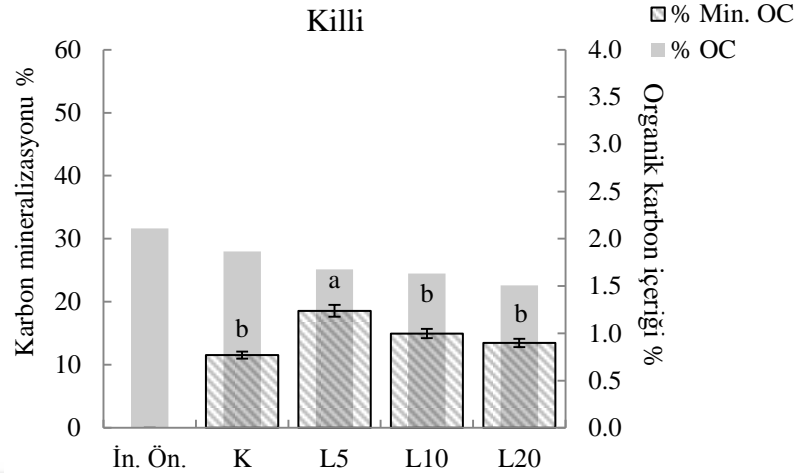
**Çizelge 4.8.** Kireç (L) uygulamasının kumlu tın (SL) toprağının bazı özellikleri üzerine etkisi

Özellikler	Kontrol	L5	L10	L20	P Değeri
pH	8.20± 0.01c	8.21±0.01c	8.26±0.01b	8.32±0.00a	***
EC, dS m <sup>-1</sup>	0.25±0.01ab	0.27±0.00a	0.26±0.01a	0.24±0.00b	**
CaCO <sub>3</sub> , %	11.90±0.4d	17.52±0.93c	21.42±0.84b	30.77±1.28a	***
Organik karbon, %	0.60±0.01b	0.53±0.02c	0.55±0.02c	0.72±0.03a	***
Toplam azot,%	0.12±0.00	0.12±0.00	0.12±0.00	0.12±0.00	NS
C/N	4.95±0.27b	4.34±0.17b	4.60±0.34b	5.94±0.36a	***
Hacim ağırlığı, g cm <sup>-3</sup>	1.20±.015b	1.17±0.00c	1.18±0.01bc	1.22±0.00a	***
Tane yoğunluğu, g cm <sup>-3</sup>	2.50±0.03c	2.55±0.01b	2.65±0.01a	2.67±0.01a	***
Toplam gözenekler,%	0.52±0.00c	0.54±0.00b	0.55±0.01a	0.54±0.00b	***
AOÇ,mm	0.33±0.00b	0.24±0.04c	0.23±0.02c	0.45±0.02a	***
Agregat stabilitesi,%	6.06±0.88a	4.29±0.28 b	4.13±0.24b	5.63±0.66a	**
Likit limit,%	28.60±0.79a	28.52±0.45 a	28.0±0.14ab	26.99±0.70b	**

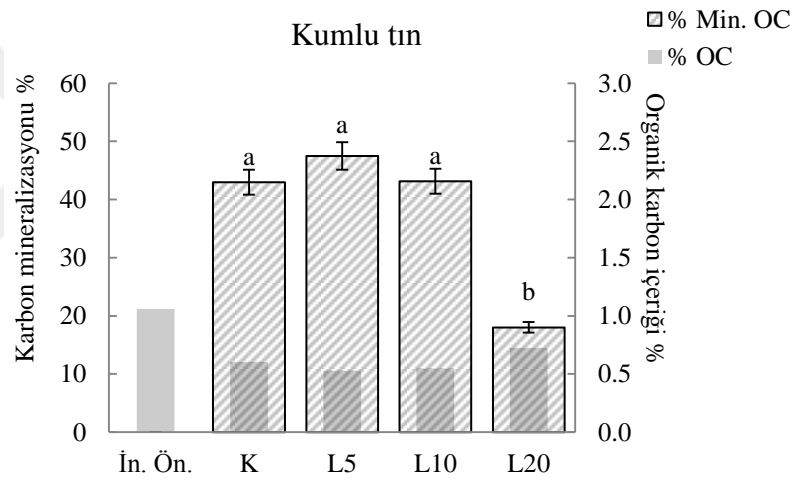
L:Kireç, NS:Önemsiz ; EC: Elektrik iletkenlik, AOÇ: Ağırlıklı ortalama çap, \*\*:p<0.01, \*\*\*:p<0.001.

#### 4.4.4. Toprakların organik karbon içeriğine ve mineralizasyonuna etkisi

Killi toprakta, L uygulamalarında doz artış ile OC içeriğinde istatistiksel açıdan önemli ( $p<0.001$ ) ve sınırlı düzeyde düşüşler ölçülmüştür (Çizelge 4.7). Kumlu tın toprakta ise L5 ve L10 uygulama dozlarında istatistiksel açıdan önemli sınırlı düzeyde düşüşler ölçülürken, L20 dozunda istatistiksel açıdan önemli ( $p<0.001$ ) olarak sınırlı düzeyde artış ölçülmüştür (Çizelge 4.8). Burada iki durumun etkin olduğu değerlendirilmektedir. Bunlardan birincisi her iki toprağa da yüksek dozlarda kireç ilavesinin, kütle seyreltme etkisi nedeniyle toprakların organik karbon içeriklerini oransal olarak düşürmesi, diğeri ise inkübasyon süresince organik karbonun mikrobiyal parçalanmaya uğramasıdır. Ancak burada özellikle tamponlama kapasitesi düşük olan kumlu tın toprakta yüksek kireç dozunda gerek pH artışı ve gerekse yüksek kirecin mikrobiyal aktivite üzerinde azaltıcı etki oluşturması nedeniyle parçalanmanın sınırlanması ile daha düşük mineralizasyon ve daha yüksek organik karbon içeriği ölçülmüştür (Şekil 4.6). Shiel ve Rimmer (1984) toprakların kireç içeriğindeki artışın organik maddenin parçalanmasını artırabileceğini bildirmişlerdir. Mineralizasyon oranı, killi toprakta, sadece L5 uygulamasında kontrol örneğine göre önemli düzeyde ( $p<0.001$ ) artış gösterirken, diğere uygulamalarda kireç oranı arttıkça mineralizasyon oranı kontrol ile aynı seviyede çıkmıştır (Şekil 4.5). Kumlu tın toprakta, L5 ve L10 kireç uygulamalarında kontrol ile kıyaslandığında mineralizasyon oranı önemsiz çıkarken, kirecin yüksek düzeyde uygulandığı L20 dozunda mineralizasyon oranı önemli düzeyde ( $p<0.001$ ) düşüş göstermiştir (Şekil 4.6). Bu sonuçlar kirecin belli bir oranın üzerine çıkması durumunda; özellikle tamponlama kapasitesi düşük olan kumlu tın toprakta hem pH artışı ve hem de yüksek kirecin mikrobiyal aktivite üzerinde azaltıcı etki oluşturması nedeniyle mineralizasyon oranını düşürmesi ile açıklanabilir.



Şekil 4.5. Bir aylık inkübasyonun, killi toprağa uygulanan L'nin organik maddenin mineralizasyonuna etkisi



Şekil 4.6. Bir aylık inkübasyonun, kumlu tın toprağa uygulanan L'nin organik maddenin mineralizasyonuna etkisi

#### 4.4.5. Toprakların toplam azot içeriğine etkisi

Bir aylık inkübasyon sonunda, killi toprakta, L5 ve L10 uygulama dozları; toprağın TN içeriğini istatistiksel açıdan önemli ölçüde etkilemezken, L20 dozunun istatistiksel açıdan önemli ( $p < 0.001$ ) düzeyde düşürdüğü belirlenmiştir. Kumlu tın toprakta ise TN içeriği L uygulama dozlarından etkilenmemiştir (Çizelge 4.7 ve 4.8). Bu durum ortam şartlarına bağlı meydana gelen mineralizasyon süreçleri ve denitrifikasyon koşullarına bağlı olarak değişkenlik ile açıklanabilir. Yürütülen çalışmada denitrifikasyonla meydana gelen kayıplar ölçülmediğinden kesin yargı oluşturulmamakla birlikte, killi toprakta yüksek



dozda kireç uygulamasında hem mikrobiyal faaliyetler ve hem de buna bağlı azot kayıpları ile kütle seyreltme etkisi TN içeriğini düşürdüğü belirlenmiştir.

#### **4.4.6. Toprakların C/N oranına etkisi**

Killi toprakta, L uygulamasında kontrol ile uygulamalar arasındaki farklılık önemsiz iken, sadece L20 dozunda kısmen daha yüksek ve istatistiksel açıdan önemli ( $p < 0.001$ ) farklılık ölçülmüştür (Çizelge 4.7). Kumlu tın toprakta ise sadece L20 dozun için kontrol ve diğer uygulamalardan sınırlı düzeyde daha yüksek ve istatistiksel açıdan önemli ( $p < 0.001$ ) bir artış gözlenmiştir (Çizelge 4.8). Düşükte olsa ortaya çıkan bu farkın nedeninin, yüksek kireç oranında ortaya çıkan düşük mineralizasyon oranında olduğu şeklinde değerlendirilmiştir.

#### **4.4.7. Toprakların hacim ağırlığına etkisi**

L uygulamalarının bir aylık inkübasyon sonunda, killi ve kumlu tın toprağın gevşek haldeki hacim ağırlığına etkisi istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.001$ ) çıkmış, killi toprakta L10 ve L20 uygulamalarda dozlarında hacim ağırlığı artış gözlenirken, kumlu tın toprakta önce düşüş ve sonra L20 uygulamasında istatistiksel açıdan önemli sınırlı düzeyde bir artış kaydedilmiştir (Çizelge 4.7 ve 4.8).

#### **4.4.8. Toprakların tane yoğunluğuna etkisi**

Killi ve kumlu tın topraklara L uygulamaları, toprakların tane yoğunluğu değerlerini, uygulama dozu artış ile istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.001$ ) düzeyde artırmıştır (Çizelge 4.7 ve 4.8). Bu durum kirecin tane yoğunluğunun topraktan daha yüksek olmasıyla ilişkilendirilmiştir. Kirecin tane yoğunluğunun  $2.7-2.9 \text{ g cm}^{-3}$  arasında değişmektedir (Pohanish, 2017).

#### **4.4.9. Toprakların gözenekliliğine etkisi**

Killi toprakta, L uygulama dozlarındaki artış ile toplam gözeneklilik değerleri arasında negatif yönde istatistiksel olarak önemli ve sınırlı büyüklükte ( $p < 0.01$ ) değişimleri kaydedilmiştir (Çizelge 4.7). Kumlu tın toprağa L uygulama dozlarındaki artış ile toplam gözeneklilik değerinde istatistiksel açıdan önemli ( $p < 0.01$ ) ancak sınırlı düzeyde artışlar

olduğunu gözlenmiştir (Çizelge 4.8). Killi toprakta, kireç parçacıklarının toprağın bir kısım mikro gözenekleri içerisine girdiği ve sonuçta sınırlı düzeyde toplam gözeneklerinin hacmini düşürdüğü değerlendirilmiştir. Ancak kumlu tın toprakta, kirecin toprağın strüktürünü iyileştirmesi ve kireç parçacıklarının kum parçacıklarından daha küçük olması nedeniyle; toprağın toplam gözeneklerinde sınırlı düzeyde artışlar meydana getirmesi söz konusudur.

#### **4.4.10. Toprakların ağırlıklı ortalama çap (AOÇ) değerlerine etkisi**

Killi toprağın AOÇ değerlerinde, L uygulama dozları artış ile istatistiksel açıdan önemli ( $p<0.001$ ) artışlar bulunan kaydedilmiş, kumlu tın toprakta ise AOÇ değeri üzerine istatistiksel olarak önemli ( $p<0.001$ ) bulunan etkisi, L5 ve L10 dozlarında daha düşük AOÇ değerleri, L20 dozunda ise daha yüksek AOÇ değerler şeklinde gözlenmiştir (Çizelge 4.7 ve 4.8). Killi toprakta, organik madde ile kireç- $Ca^{+2}$  katyon köprüsü bağı (OM-katyon-mineral) aracılığı ile toprağın flokülasyonu ve agregatlaşması teşvik etmiştir (Majzik ve Tombácz, 2007; Wuddivira ve Camps-Roach, 2007). Ancak kumlu tın toprakta; L5 ve L10 uygulamaları organik madde içeriği düşük olduğundan kireç ile oluşan toprak agregatları zayıf ve dayanıksız olurken, ıslak elemelerde agregatlar bozularak dağılmışlardır.

#### **4.4.11. Toprakların agregat stabilitesine etkisi**

Killi toprakta, L10 ve L20 uygulama dozlarında istatistiksel olarak önemli derecede ( $p<0.001$ ) artışlar ölçülürken, L20 dozu kontrol ile aynı grupta yer almıştır (Çizelge 4.7). Kumlu tın toprakta, L20 dozu hariç, sınırlı düzeyde ve istatistiksel açıdan önemli ( $p<0.01$ ) düşüşler ölçülmüştür (Çizelge 4.8). Killi toprakta, mikroorganizmaların aktivitesi artarken, agregat oluşumunu teşvik eden yapışkan maddelerin (örneğin hücre dışı polimerik maddeler, hücre duvarı kalıntıları) üretilmesine yol açılabilmektedir (Kaiser ve ark., 2014).

#### **4.4.12. Toprakların likit limit değerlerine etkisi**

Her iki toprağa L uygulama dozu artış ile likit limit değerinde istatistiksel olarak önemli ( $p<0.001$  ve  $p<0.01$ ) düşüş kaydedilmiştir (Çizelge 4.7 ve 4.8). Likit limit değerindeki düşüş killi toprakta daha belirgin olmuş, kumlu tın toprakta ise L5 ve L10 dozları kontrol ile aynı grupta bulunmuştur. Bu sonuçlar; killi toprağın kumlu tın toprağa göre daha yüksek likit limit değerine sahip olması, ayrıca kirecin yüzey alanının kilden çok kuma ve silte benzemesi ve kil gibi negatif yük taşımaması nedeniyle ortaya çıkmıştır. Benzer durum (Hussain ve Dash, 2010; Jain ve Yadav, 2016) tarafından da teyit edilmiştir.

#### **4.4.13. Toprakların plastik limit değerlerine etkisi**

Killi toprağa L uygulamaları likit limite benzer şekilde plastik limit değerlerini de istatistiksel açıdan önemli derecede ( $p<0.001$ ) düşürmüştür (Çizelge 4.7). Kireç ilavesi, kirecin negatif yük taşımaması ve daha düşük yüzey alanı nedeniyle; plastik limit değerini de düşürmüştür. Benzer etkiler (Bell, 1988; Hussain ve Dash, 2010); Cheshomi ve ark. (2017) tarafından da kaydedilmiştir.

#### **4.4.14. Toprakların plastiklik indeksi değerlerine etkisi**

Killi toprağa L uygulama dozu artış plastiklik indeksi değerini istatistiksel açıdan önemli ( $p<0.001$ ) ölçüde azaltmasına neden olmuştur (Çizelge 4.7). L uygulama dozu artış ile likit limit ile plastik limit arasındaki fark azalarak plastiklik indeks değerleri de düşmüştür. Bu durum bölgemiz gibi kireç içeriği yüksek toprakların bulunduğu alanlar için toprak işleme ve amenajmanına yönelik son derece faydalı veriler sağlamıştır. Toprakların artan kireç içerikleri kıvam sınırlarının düşürerek, toprak işleme için uygun tav aralığını da azaltacaktır. Bu durum özellikle ilkbaharda ekim zamanının gecikmesi ve uygun olmayan nemlerde toprak işlenmesi durumunda toprak strüktürünün bozulmasına neden olabilecektir (Achampong ve ark., 2013).

## 4.5. Sığır Gübresinin Toprakların Toprak Su Tutma Eğrisine Etkisi

### 4.5.1. Ölçülen toprak su tutma eğrileri

SG'nin % 0, 1, 2 ve 4 oranlarında uygulandığı ve bir ay inkübasyona bırakılan killi ve kumlu tın toprakların, iki farklı hacim ağırlığında, doymun bölgeden kuru bölgeye kadar TSTE grafikleri Şekil 4.7, A, B, C ve D'de verilmiştir. Killi ( $Pb1; 1.20 \text{ g cm}^{-3}$  ve  $Pb2; 1.35 \text{ g cm}^{-3}$ ) ve kumlu tın toprağın ( $Pb1; 1.50 \text{ g cm}^{-3}$  ve  $Pb2; 1.70 \text{ g cm}^{-3}$ ); doymun su içeriği ( $\theta_s$ ,  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), tarla kapasitesi ( $\theta_{TK}$ ;  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), solma noktası ( $\theta_{SN}$ ;  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), faydalı su içeriği ( $\theta_{FS}$ ;  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), kalan su içeriği ( $\theta_r$ ,  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) ile ölçülen hesaplanan TSTE nem sabiteleri;  $\theta_s$  ve  $\theta_r$ ,  $\alpha$ ,  $n$  ve  $m$  katsayıları ve hava giriş değerleri ( $1/\alpha$ , cm) Çizelge 4.9 ve 4.10'de verilmiştir.

Her iki toprakta  $Pb1$ 'de hesaplanan  $\theta_s$  değeri ile  $Pb2$ 'de hesaplanan  $\theta_s$  ve  $\theta_r$  ve kumlu tın toprakta her iki  $Pb$ 'de ölçülen  $\theta_r$  değeri hariç, tüm uygulamaların etkisi istatistiksel olarak önemli çıkmıştır (Çizelge 4.9 ve 4.10). Buna göre, her iki toprağın da TSTE'si, hem SG'nin uygulaması ve uygulama dozları ve hem de oluşturulan hacim ağırlıklarına göre farklı belirlenmiştir. Bu farklılık özellikle ıslak bölgede, kuru bölgeye göre daha yüksek olmuştur ve ayrıca toprak tekstürüne göre de TSTE'sinde farklılıklar gözlenmiştir. Killi toprakta ölçülen  $\theta_s$  değeri, hacim ağırlığı artış ile kontrol örneğinde % 7.27 azalmış, her iki  $Pb$  değerinde de SG'nin uygulama dozundaki artışla değerleri de artış eğilimi göstermiştir. Bu etki  $Pb1$  uygulamasında daha belirgin olmuş, SG'nin en yüksek dozunda uygulandığı örneğin  $\theta_s$  değerinde %10.90'lık bir artış belirlenirken,  $Pb2$  değerinde toprak sıkışmasından dolayı sadece % 3.92'lik bir artış bulunmuştur. Diğer taraftan hesaplanan  $\theta_s$  değerleri, ölçümle bulunan  $\theta_s$  değerlerine göre büyük oranda daha düşüktür,  $Pb1$  uygulamasında SG'nin tüm dozları için ortalaması  $\theta_s 0.58 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken, hesaplanan değeri  $0.53 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ 'tür,  $Pb2$  uygulaması için söz konusu değerler sırayla  $0.53 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  ve  $0.51 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ 'tür. Bu durum, ıslak bölgede  $\theta_s$  tahminininin  $Pb2$  için  $Pb1$ 'den daha yüksek doğrulukta çalışabileceğini göstermektedir. SG uygulamaları, organik madde kaynağı olarak toprağın strüktürünü geliştirmesi ve koloidal yapısı nedeniyle daha fazla su tutulmasını sağlamaktadır (Quiroga ve ark., 1999). Toprak sıkışmasına bağlı yüksek hacim ağırlığında iri ve drenaj gözenekleri miktarı ile toplam gözenek hacmi azalırken, daha düşük doymunluk değerleri elde edilmektedir (Hillel, 2004).

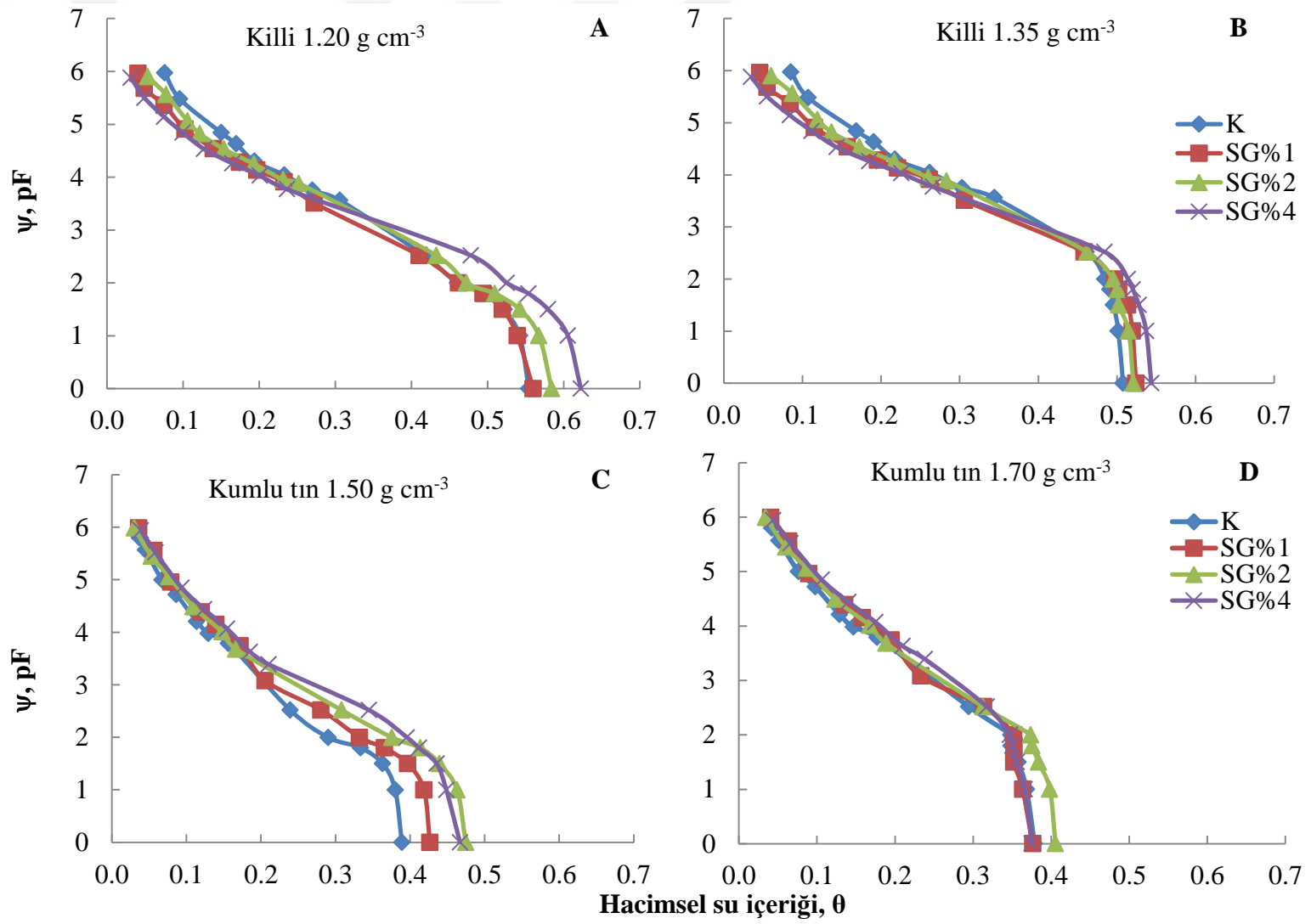
SG uygulamalarının her iki hacim ağırlığında da toprağın  $\theta_{TK}$  değerlerine etkisi istatistiksel olarak önemli ( $p<0.01$ ) çıkmış olup, kontrol örnekleri için *Pb2*'de *Pb1*'e göre % 9.52 daha yüksek  $\theta_{TK}$  değerleri ( $0.46 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) belirlenmiştir. Benzer durum SG4 uygulaması hariç, diğer dozlarda da gözlenmiştir (Çizelge 4.9). Killi toprağa yapılan SG uygulaması ile uygulama dozu artışları, *Pb2*'de toprağın  $\theta_{TK}$  değerlerini de artırmıştır. Bu durum SG'nin kolloidal yapısı ve su tutma özelliğinin yanında strüktür gelişimini teşvik ederek toprağın gözenek yapısının değiştirmesi (Quiroga ve ark., 1999; Hillel, 2004) ve sıkışma ile iri gözeneklerin ortalama çaplarının düşmesi ile ilişkilendirmişlerdir (Klute, 1982).

Her iki hacim ağırlığında da toprağın  $\theta_{SN}$  değerlerine SG uygulamalarının etkisi önemli ( $p<0.001$  ve  $p<0.01$ ) bulunmuştur. Kontrol örnekleri için *Pb2*'de, *Pb1*'e göre % 14.29 daha yüksek  $\theta_{SN}$  değerleri ( $0.24 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) belirlenmiştir. Benzer durum SG uygulamalarının diğer dozlarında da kaydedilmiştir (Çizelge 4.9). Killi toprağa yapılan SG uygulamalarının toprağın  $\theta_{SN}$  değerlerine etkisi değişkenlik göstermiştir. Her iki *Pb*'de de SG1 ve SG4 uygulamalarında  $\theta_{SN}$  değerleri kontrole göre düşmüş, SG2 uygulamasında ise kontrole göre önemli bir değişim gözlenmiştir.  $\theta_{SN}$  değerinin düşmesi toprakta bitkiye faydalı suyun artacağı anlamına geleceğinden, uygulanan SG'nin dozu kontrol edilerek, SG'nin % 1 ve 4 dozlarında kil tarafından tutulan suyun potansiyel enerji değişkenliği ile bu olumlu etkinin geliştirilebileceği anlaşılmaktadır.

Her iki *Pb* değerleri için de killi toprağın  $\theta_{FS}$  kapsamına SG uygulamalarının etkisi önemli ( $p<0.001$ ) bulunmuştur. SG dozundaki artış ile toprakların  $\theta_{FS}$  içerikleri de artmıştır (Çizelge 4.9). Bu artışlar *Pb1*'de kontrole göre SG1, SG2 ve SG4 için sırasıyla; % 9.52, 23.81 ve 47.62 ve *Pb2* için % 23.80, 23.80 ve 33.33 olarak bulunmuştur. Bu farklılığın nedeni SG uygulamalarının bir taraftan toprağın  $\theta_{TK}$  değerlerinde artış diğer taraftan  $\theta_{SN}$  değerlerinde düşüşe yol açmasıdır. Yani SG uygulamaları toprakta su tutulmasını sağlayan gözeneklerin miktarını artırmış ve aynı zamanda kuru bölgede suyun tutulma enerjisini düşürerek daha fazla suyun bitki tarafından kullanılmasına imkân sunmuştur. Çalışmada kullanılan SG'nin fiber içeriğinin yüksek olmasının (yaklaşık % 80), bu olumlu etkin ortaya çıkmasına önemli katkı verdiği şeklinde değerlendirilmiştir.

Her iki *Pb* değerlerinde de, killi toprağın  $\theta_r$  değerlerine SG uygulamalarının etkisi istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.001$ ) çıkmış, SG2 dozu hariçinde, uygulama SG1 ve SG4 kontrole göre  $\theta_r$  değerleri artırmıştır (Çizelge 4.9). *Pb1* ve *Pb2*'de tüm  $\theta_r$  değerleri benzer bulunmuştur ve kontrol örneğinin  $\theta_r$  değeri  $0.083 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken, SG4 dozlarında  $0.088 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ 'tür. Diğer taraftan hesapla bulunan  $\theta_r$  değerleri, ölçümle bulunan  $\theta_r$  değerlerine büyük oranda yakındır. *Pb1* ve *Pb2*'de SG'nin tüm dozlarının ortalaması  $0.085 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken, hesaplanan değerlerin ortalaması  $0.0975 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ 'tür. Bu durum kuru bölgede  $\theta_r$ 'nin yüksek doğrulukta tahmin edilebileceğini göstermektedir. Burada SG uygulamalarının büyük oranda  $\theta_r$  değerini artırıcı yönde etkilemektedir; organik madde ilavesi spesifik yüzey alanını artırması ile daha yüksek tansiyonlarda su tutma kapasitesinin artırdığını bildirmiştir (Gliński ve ark., 2011).

Farklı dozlarda SG uygulanan ve iki farklı hacim ağırlığında sıkıştırılan killi toprağın  $\alpha$  katsayıları 0.0008-0.0043, hava giriş değerleri 232-1250 cm,  $n$  katsayıları 1.48-2.10 ve  $m$  katsayı ise 0.03-0.52 aralarında değişim göstermiştir (Çizelge 4.9). SG uygulamaları, doz artış ile  $\alpha$  katsayısını düşürmüştür ve bu düşüş *Pb1*'de *Pb2*'den daha yüksek oranda gerçekleşmiştir.  $\alpha$  katsayı için hesaplanan hava giriş değerleri ise SG uygulamalar ve toprak sıkışması ile yükselmiş, her iki hacim ağırlığında da SG4 uygulamasında yaklaşık kontrol örneğinin üç katı yüksek  $1/\alpha$  değerleri belirlenmiştir. Bu durumun nedeni olarak, *Pb1*'de organik madde partiküllerinin topraktaki iri gözeneklere girerek burada daha küçük çaplı gözenekleri oluşturması, *Pb1*'de ise toprak sıkışması ile toprakların ortalama gözenek çaplarının düşmesi neticesinde killi toprağın hava giriş değerleri yükselmiştir (Tinjum ve ark., 1997).  $n$  katsayısı hem SG uygulamaları ve hem de toprak sıkışması ile artış göstermiş, *Pb1* ve *Pb2* uygulamalarında, SG'nin % 4 dozunda kontrole göre sırasıyla % 38.51 ve % 30.43 oranlarında artmıştır.  $m$  katsayısı ( $m \neq 1$ ) ise hem *Pb1* ve hem de *Pb2* uygulamalarında SG uygulama dozundaki artış ile artmıştır. SG4 dozlarında kontrole göre sırasıyla % 65.00 ve % 36.36'lık artışlar ölçülmüştür.  $m$  katsayısı TSTE'nin şeklini belirleyen ve tekstür, organik madde kapsamı, strüktürel durum, sıkışma vb. gibi birçok toprak özelliğinden etkilenmektedir (van Genuchten ve ark., 1991).



Şekil 4.7. A, B, C ve D; Killi ve kumlu tın topraklara farklı dozlarda uygulanan sığır gübresinin (SG) iki farklı hacim ağırlığında ölçülen su tutma eğrileri

**Çizelge 4.9.** Killi toprağa sıgır gübresi (SG) uygulamasıyla iki farklı hacim ağırlığında ( 1.20 ve 1.35 g cm<sup>-3</sup>) ölçülen ve hesaplanan nem sabiteleri.

Özellikler	(Pb 1.20 g cm <sup>-3</sup> )					(Pb 1.35 g cm <sup>-3</sup> )				
	Kontrol	SG1	SG 2	SG4	P	Kontrol	SG1	SG2	SG4	P
<b>Ölçülen</b>										
<b>θ<sub>s</sub></b> cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.55±0.01b	0.56±0.01b	0.60±0.00a	0.61±0.01a	***	0.51±0.01c	0.53±0.00b	0.54±0.01a	0.53±0.01ab	***
<b>θ<sub>TK</sub></b> cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.42±0.00b	0.42±0.01b	0.46±0.01ab	0.48±0.01a	**	0.46±0.01c	0.47±0.01b	0.49±0.01ab	0.48±0.01a	**
<b>θ<sub>SN</sub></b> cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.21±0.00a	0.19±0.00b	0.20±0.00a	0.17±0.00b	***	0.24±0.01a	0.21±0.01b	0.23±0.01a	0.20±0.01b	**
<b>θ<sub>FS</sub></b> cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.21±0.02c	0.23±0.01c	0.26±0.01b	0.31±0.00a	***	0.21±0.01c	0.26±0.01b	0.26±0.01b	0.28±0.01a	***
<b>θ<sub>r</sub></b> cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.083±0.01b	0.086±0.00a	0.082±0.00b	0.088±0.00a	***	0.083±0.01b	0.086±0.00a	0.082±0.00b	0.088±0.00a	***
<b>Hesaplanan</b>										
<b>θ<sub>s</sub></b> cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.53±0.01	0.52±0.00	0.53±0.01	0.53±0.01	NS	0.51±0.00	0.51±0.01	0.52±0.00	0.51±0.00	NS
<b>θ<sub>r</sub></b> cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.087±0.00b	0.087±0.00b	0.098±0.01b	0.106±0.01a	**	0.090±0.00	0.096±0.01	0.101±0.01	0.104±0.01	NS
<b>α</b> cm <sup>-1</sup>	0.0043±0.00a	0.0029±0.00b	0.0019±0.00bc	0.0012±0.00c	***	0.0018±0.00a	0.0012±0.00b	0.0009±0.00c	0.0008±0.00d	***
<b>1/α</b> cm	232±2.00d	344±1.00c	526±4.51b	833±1.00a	***	556±4.04d	833±1.00c	1111±4.36b	1250±5.57a	***
<b>n</b>	1.48±0.01d	1.62±0.02c	1.75±0.03b	2.05±0.04a	***	1.61±0.01d	1.85±0.00c	1.93±0.00b	2.10±0.02a	***
<b>m=1-1/n</b>	0.32	0.38	0.43	0.51		0.38	0.46	0.48	0.52	
<b>m=1-2/n</b>	0.35	0.24	0.14	0.03		0.25	0.08	0.04	0.05	
<b>m≠1</b>	0.20	0.25	0.27	0.33		0.22	0.27	0.29	0.30	

θ<sub>TK</sub> (Tarla kapasitesi), θ<sub>SN</sub>, (Solma noktası), θ<sub>FS</sub> (Faydalı su içeriği), θ<sub>r</sub> (Kalan su içeriği), θ<sub>s</sub> (Doygun su içeriği), α , n ve m katsayılar, 1/α (Hava giriş değeri), θ<sub>r</sub>, θ<sub>s</sub>, α ve n nem sabitelerinin hesaplanmasında RETC programı kullanılmıştır, \*\* (p<0.01) ve \*\*\* (p<0.001).



Kumlu tın toprakta, ölçülen  $\theta_s$  değeri, hacim ağırlığı artış ile kontrol örneğinde % 5.41 azalmış, her iki *Pb* (*Pb2*, SG4 hariç) değerinde de SG'nin uygulama dozundaki artışla artma eğilimi göstermiştir (Çizelge 4.10). Bu etki *Pb1* şartlarında daha belirgindir, SG4 uygulaması için  $\theta_s$  değerinde % 21.05'lik bir artış kaydedilmiştir. *Pb2* değerinde sıkışma nedeniyle değişim göstermemiştir. Diğer taraftan hesapla bulunan  $\theta_s$  değerleri; ölçümle bulunan  $\theta_s$  değerlerine göre büyük oranda daha düşük bulunmuştur. *Pb1* uygulamalarında SG'nin tüm dozları için ortalama  $\theta_s$   $0.44 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken, hesaplanan değeri  $0.39 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  çıkmış, *Pb2*'de ortalama  $0.38 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken hesaplanan değerlerin ortalaması ise  $0.35 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ 'tür. Bu durum, ıslak bölgede  $\theta_s$  tahmininin *Pb2* için *Pb1*'den ise daha yüksek doğrulukta tahmin edilebileceğini göstermektedir. SG uygulamaları organik madde kaynağı olarak kumlu tın toprağın strüktürünü geliştirmesiyle ve koloidal yapısı nedeniyle daha fazla su tutmasını sağlamaktadır (Quiroga ve ark., 1999). Toprak sıkışmasına bağlı yüksek hacim ağırlığında toprakların iri ve drenaj gözeneklerinin miktarı ile toplam gözenek hacim azalırken, daha düşük doygunluk değerleri elde edilmektedir (Hillel, 2004).

SG uygulamalarının her iki hacim ağırlığında da toprağın  $\theta_{TK}$  değerlerine etkisi istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.001$  ve  $p < 0.01$ ) bulunmuştur. kontrol örneklerinde *Pb2* için *Pb1*'e göre % 16.66 olarak daha yüksek  $\theta_{TK}$  değerleri ( $0.28 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) belirlenmiştir. Benzer durum sadece % 1 dozlarında da kaydedilmiştir (Çizelge 4.10). Kumlu tın toprağa yapılan SG uygulama dozu artış ile *Pb2* için  $\theta_{TK}$  değerleri de artırmıştır. Bu durum SG'nin koloidal yapısı ve su tutma özelliğinin toprak strüktürünün gelişmesini teşvik edilip ve gözenek yapısını değiştirebilmektedir (Quiroga ve ark., 1999; Hillel, 2004). Sıkışma ile toprağın iri gözeneklerin ortalama çapları düşürken,  $\theta_{TK}$  değerinde fazla su tutulması ile açıklanmaktadır (Klute, 1982). Ancak, kumlu toprakların zayıf strüktürü ve şişme büzülme özelliklerinin bulunmamasından dolayı genellikle yapısal olarak atıl olarak kabul edilmekte olup (Lesturgez ve ark., 2005) *Pb2*'de *Pb1*'e göre organik madde artış ile fazla artırmamıştır.

Her iki hacim ağırlığında da toprağın  $\theta_{SN}$  değerlerine SG uygulamalarının etkisi önemli ( $p < 0.01$  ve  $p < 0.05$ ) bulunmuştur. Kontrol örnekleri için *Pb2*'de, *Pb1*'e göre % 8.33 olarak daha yüksek  $\theta_{SN}$  değerleri ( $0.13 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) belirlenmiştir. Benzer durum SG uygulamalarının diğer dozlarında da kaydedilmiştir (Çizelge 4.10). Kumlu tın toprağa yapılan SG uygulamalarının toprağın *Pb1*'de SG1 uygulamalarında  $\theta_{SN}$  değerleri kontrole

göre etkilenmemiş, ancak SG2 ve SG4 uygulamasında ise kontrole göre benzer oranda önemli bir artış bulunmuştur. *Pb2*'de SG uygulamalarında  $\theta_{SN}$  değerleri kontrole göre artmış, ancak SG2 ve SG4 uygulamaların arasında fark olarak bulunmamıştır.

Her iki *Pb* değerleri için de kumlu tın toprağın  $\theta_{FS}$  kapsamına SG uygulamalarını etkisi önemli ( $p < 0.001$ ) bulunmuştur. SG dozundaki artış ile toprakların  $\theta_{FS}$  içerikleri de artmıştır (Çizelge 4.10). Bu artışlar *Pb1*'de kontrole göre SG1, SG2 ve SG4 için sırasıyla; % 33.33, 50.00 ve 75.00 ve *Pb2* için % 16.66, 6.66 ve 16.66 olarak belirlenmiştir. *Pb1*'de bu farklılığın nedeni killi toprakta açıklandığı gibi  $\theta_{TK}$  ve  $\theta_{SN}$  değerlerinin arasındaki fark artması ile kaynaklanmıştır. *Pb2*'de, kontrole göre SG dozundaki artış ile  $\theta_{TK}$  değerleri sıkışmadan dolayı sınırlı düzeyde artmıştır.

Her iki *Pb* değerlerinde de, kumlu tın toprağın  $\theta_r$  değerlerine SG uygulamalarının etkisi önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.10). *Pb1* ve *Pb2*'de tüm  $\theta_r$  değerleri  $0.051 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  benzer bulunmuştur. Diğer taraftan hesapla bulunan  $\theta_r$  değerleri, ölçümle bulunan  $\theta_r$  değerlerine büyük oranda yakındır. *Pb1* ve *Pb2*'de SG'nin tüm dozlarının ortalaması  $0.051 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken, *Pb1*'de hesaplanan değerlerin ortalaması  $0.041 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ 'tür. *Pb2*'de hesaplanan değerlerin ortalaması  $0.040 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ 'tür. Bu durum kuru bölgede  $\theta_r$ 'nin yüksek doğrulukta tahmin edilebileceğini göstermektedir. Burada SG uygulaması  $\theta_r$  değeri üzerine etki etmemişken, kumlu tın toprağın spesifik yüzey alanı çok düşük olduğu için organik madde ilavesi çok yüksek tansiyonlarda su tutma kapasitesini artırmamıştır.

Farklı dozlarda SG uygulanan ve iki farklı hacim ağırlığında sıkıştırılan kumlu tın toprağın  $\alpha$  katsayıları 0.0028-0.0208, hava giriş değerleri 48-357 cm,  $n$  katsayıları 1.32-1.62 ve  $m$  katsayısı ise 0.16-0.51 aralarında değişim göstermiştir (Çizelge 4.10). SG uygulamaları, doz artış ile  $\alpha$  katsayısını düşürmüştür ve bu düşüş *Pb1*'de *Pb2*'den daha yüksek oranda gerçekleşmiştir. Her iki *Pb* değerinde kontrole göre  $\alpha$  katsayı için hesaplanan hava giriş değerleri ise SG uygulamaları ile yükselmiş, ancak *Pb1*'de SG dozundaki artış ile SG4 uygulamasında yaklaşık kontrol örneğinin yedi katı yüksek  $1/\alpha$  değerleri belirlenmiştir. Bu durumun nedeni olarak, *Pb1*'de organik madde partiküllerinin topraktaki iri gözeneklere girerek burada daha küçük çaplı gözeneklerin oluşturulmasıdır. *Pb2*'de ise toprak sıkışması ile toprakların ortalama gözenek çaplarının düşmesi neticesinde kumlu tın toprağın hava giriş değerleri yükselmiştir. *Pb2* ise SG dozundaki artış ile SG2 ve SG4 uygulamasında aynı değerde yaklaşık kontrol örneğinin yaklaşık sadece bir buçuk katı

yüksek  $1/\alpha$  değerleri bulunmuştur. Bu durumda kumlu tın toprağın sıkışması ile SG uygulamaların arasındaki aktivite killi toprak gibi yüksek değildir. Gholamhossein ve Janatkah (2018) çalışmalarında benzer sonuçlar bulmuşlardır. **n** katsayısı her iki *Pb* değerlerinde SG uygulama dozu artış ile artmıştır. SG4 dozunda kontrole göre sırayla % 16.55 ve 2,92 oranlarında artmıştır. **m** katsayısı ( $m \neq 1$ ) ise *Pb1* uygulamalarında SG uygulama dozundaki artış ile artmıştır. SG4 uygulama dozunda kontrole göre % 14.29'lık artışlar belirlenmiştir. *Pb2* değerinde ise SG uygulama dozu artış ile düşürmüştür, SG4 dozlarında kontrole göre % 15.78'lık düşüş bulunmuştur.



**Çizelge 4.10.** Kumlu Tın toprağa sığır gübresi (SG) uygulamasıyla iki farklı hacim ağırlığında ( 1.50 ve 1.70 g cm<sup>-3</sup>) ölçülen ve hesaplanan nem sabiteleri

Özellikler	(Pb 1.50 g cm <sup>-3</sup> )					(Pb 1.70 g cm <sup>-3</sup> )				
	Kontrol	SG1	SG2	SG4	P	Kontrol	SG1	SG2	SG4	P
<b>Ölçülen</b>										
$\theta_s$ cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.39±0.01c	0.42±0.00b	0.46±0.00a	0.47±0.01a	***	0.37±0.01ab	0.38±0.01ab	0.39±0.01a	0.37±0.01b	*
$\theta_{TK}$ cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.24±0.01d	0.28±0.01c	0.31±0.01b	0.34±0.01a	***	0.28±0.01b	0.31±0.01a	0.31±0.00a	0.32±0.01a	**
$\theta_{SN}$ cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.12±0.00b	0.12±0.00b	0.13±0.00a	0.13±0.0a	**	0.13±0.00b	0.14±0.01ab	0.15±0.00a	0.15±0.00a	*
$\theta_{FS}$ cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.12±0.00d	0.16±0.01c	0.18±0.00b	0.21±0.00a	***	0.15±0.00c	0.17±0.00a	0.16±0.00b	0.17±0.00a	***
$\theta_r$ cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.051±0.01	0.051±0.00	0.051±0.00	0.051±0.00	NS	0.051±0.01	0.051±0.00	0.051±0.00	0.051±0.00	NS
<b>Hesaplanan</b>										
$\theta_s$ cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.39±0.01	0.39±0.01	0.39±0.01	0.40±0.01	NS	0.35±0.00	0.35±0.00	0.35±0.00	0.36±0.00	NS
$\theta_r$ cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.038±0.00b	0.038±0.00b	0.041±0.00b	0.046±0.00a	**	0.037±0.00	0.040±0.00	0.040±0.00	0.041±0.00	NS
$\alpha$ cm <sup>-1</sup>	0.0208±0.00a	0.0091±0.00b	0.0054±0.00c	0.0028±0.00d	***	0.0072±0.00a	0.0038±0.00c	0.0044±0.00b	0.0044±0.00b	***
$1/\alpha$ cm	48±1.53d	110±2.08c	185±4.04b	357±4.16a	***	139±1.53c	263±2.65a	227±2.52b	227±2.08b	***
$n$	1.32±0.02d	1.39±0.02c	1.46±0.02b	1.62±0.02a	***	1.37±0.01c	1.47±0.00a	1.43±0.01b	1.41±0.01b	***
$m=1-1/n$	0.24	0.28	0.32	0.38		0.27	0.32	0.30	0.29	-
$m=1-2/n$	0.51	0.44	0.37	0.24		0.46	0.37	0.40	0.42	-
$m \neq 1$	0.21	0.22	0.23	0.24		0.19	0.20	0.18	0.16	-

$\theta_{TK}$  (Tarla kapasitesi),  $\theta_{SN}$ , (Solma noktası),  $\theta_{FS}$  (Faydalı su içeriği),  $\theta_r$  (Kalan su içeriği),  $\theta_s$  (Doğgun su içeriği),  $\alpha$ ,  $n$  ve  $m$  katsayılar,  $1/\alpha$  hava giriş değeri, \* (p<0.05), \*\* (p<0.01) ve \*\*\* (p<0.001)

#### 4.5.2. Farklı m katsayılarına göre toprak su tutma eğrisinin tahmini

Farklı dozda SG uygulanan, iki farklı hacim ağırlığında sıkıştırılan killi toprağın, farklı m katsayılarına göre hesaplanan optimum nem ( $\theta_i$ ) ve strüktürel indis ( $S_{IN}$ ) ile ölçülen ve hesaplanan TSTE'ye ait parametreler arasındaki korelasyon katsayıları ( $R^2$ ) ve normleştirilmiş hata kareler ortalamasının karekökü (NRMSE) Çizelge 4.11'te verilmiştir. Buna göre, SG uygulamalarının ve hacim ağırlığının  $m=1-1/n$  ( $m_1$ ) için  $\theta_iM$  (Mualem, 1976),  $m=1$  ( $m_3$ ) için  $\theta_iG$  (Gardner, 1958) ve  $m \neq 1$  ( $m_4$ ) için  $\theta_iVG$  (van Genuchten, 1980) parametreleri aralarındaki farklılığa etkisi önemsiz,  $S_{IN}$  ve diğer  $\theta_i$  parametreler aralarındaki farklılığa etkileri ise istatistiksel olarak önemli çıkmıştır. *Pb1*'de,  $m_1$ 'e göre;  $\theta_i$  0.35-0.37  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  0.10-0.17,  $m=1-2/n$  ( $m_2$ )'e göre;  $\theta_i$  0.36-0.49  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  0.02-0.11,  $m_3$ 'e göre;  $\theta_i$  0.30-0.32  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  0.16-0.22,  $m_4$ 'e göre;  $\theta_i$  0.38-0.39  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  0.08-0.14 aralarında değişmiştir. *Pb2*'de,  $m_1$ 'e göre;  $\theta_i$  0.34-0.35  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  0.11-0.17,  $m_2$ 'ye göre;  $\theta_i$  0.37-0.47  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  0.03-0.09,  $m_3$ 'e göre;  $\theta_i$  0.30-0.31  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  0.17-0.21,  $m_4$ 'e göre;  $\theta_i$  0.37-0.38  $cm^3 cm^{-3}$  ve  $S_{IN}$  0.08-0.13 aralarında değişmiştir. Ölçülen ve hesaplanan TSTE'ye ait parametreler arasındaki korelasyon katsayıları en düşük  $m_3$ 'de (0.91-0.96) ve en yüksek  $m_4$ 'te (0.98-0.99) hesaplanırken, en düşük NRMSE değerleri ise yine  $m_4$ 'te (0.35-1.42) hesaplanmıştır. Ayrıca killi toprağa SG uygulamalarının *Pb1* ve *Pb2*'de ölçülen ve hesapla bulunan TSTE'ye etkileri Şekil 4.8: A, B, C ve D'de ve Şekil 4.9: A, B, C ve D'de verilmiştir. Buradan da görüleceği gibi ölçülen değerlerden elde edilen su tutma eğrileri, hesapla bulunan eğrilerden önemli ölçüde fark bulunmuştur. Bu sonuçlardan da anlaşılacağı üzere hem SG uygulamalarında ve hem de farklı hacim ağırlıklarında killi toprağın nem sabitelerini belirlemede  $m_4$  modelde kullanılarak yapılan hesaplamaların daha yüksek doğrulukta sonuçlar verdiği bulunmuştur. Diğer taraftan, killi toprağa uygulanan SG uygulama dozu arttıkça  $m_4$ 'de  $S_{IN}$  değeri de artmış, SG4 dozunda, *Pb1* ve *Pb2*'de kontrol ile kıyaslandığında sırasıyla % 75 ve % 62.5 oranlarında artışlar meydana gelmiş, böylece SG uygulamaları toprağın strüktürel stabilitesi üzerinde iyileştirici bir etki oluşturmuştur (Dexter, 2004; Dunjana ve ark., 2012). Burada dikkat çeken bir durum; özellikle ıslak bölgede, SG uygulama dozundaki artış ile ilişkili olarak, ölçülen değerler ile hesaplanarak bulunan değerler arasında önemli farklılıkların, *Pb1*-SG4 uygulamasında yaklaşık % 8 olarak ortaya çıkmasıdır. Bunun nedeni ise SG uygulamaları ile toprak örneğinde meydana gelen şişmenin artmasıdır. Bu durum 100

cm<sup>3</sup>'lük olarak hazırlanan örneklerin doyurulması sonrasında silindir dışına taşması ile de gözlemlenmiştir (Resim 4.1). Bu durumun, çalışmada kullanılan sığır gübresinin fiber içeriğinin yüksek olması (yaklaşık % 80) ve SG'nin toprak taneleri arasındaki kohezyonu düşürerek şişmeye zemin hazırlaması ilişkili olduğu değerlendirilmiştir (Puppala ve ark., 2007).



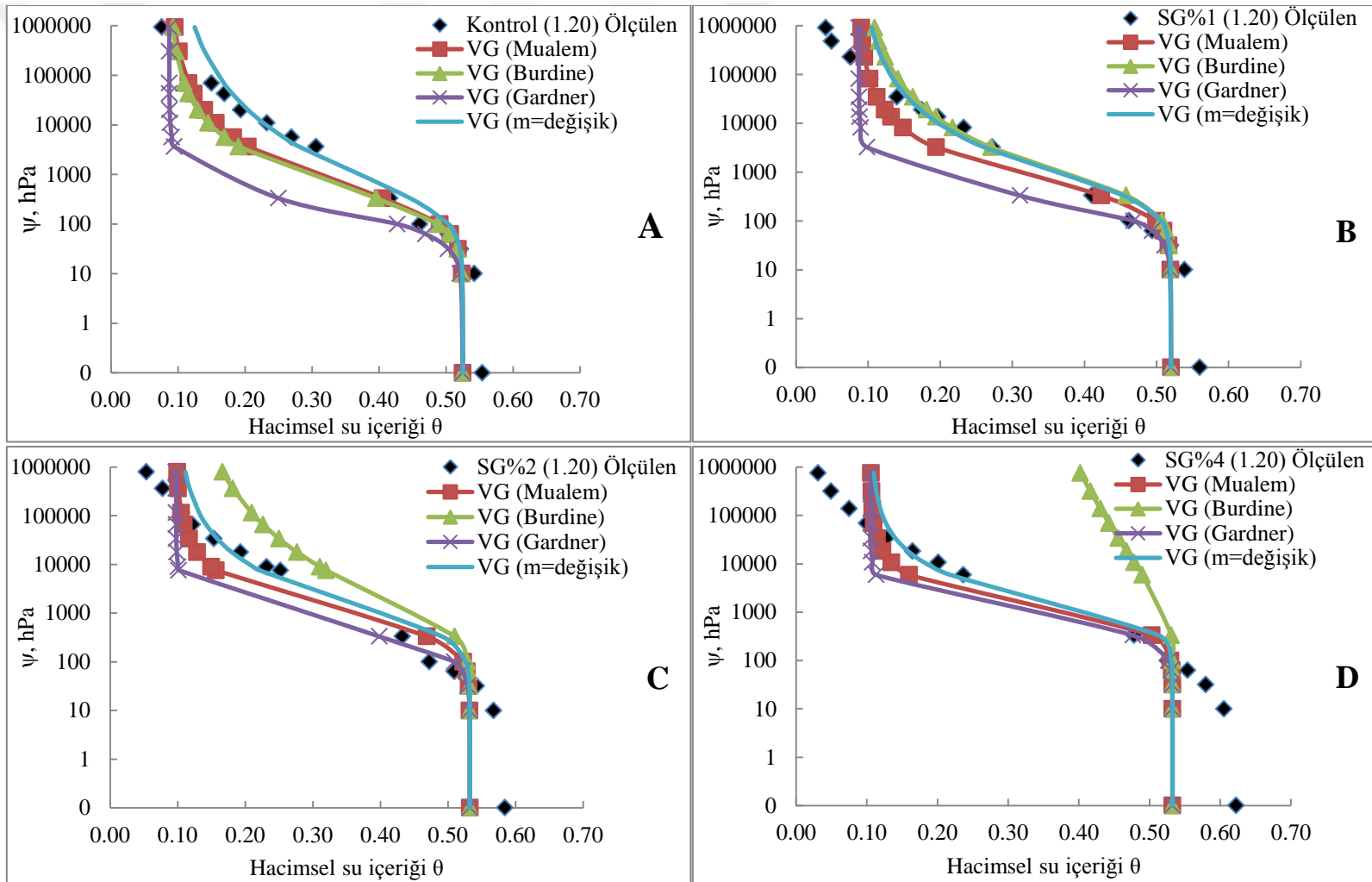
**Resim 4.1.** Killi toprakta, farklı dozlarda uygulanan sığır gübresinin (SG) doygunlaşma sonucu örneklerin şişme miktarı göstermektedir

Rawls ve ark. (2003), su tutma eğrisi üzerine organik karbonun etkisine ilişkin çalışmalarında, organik madde miktarı arttıkça killi toprakta su tutma eğrisinin çalışmadaki sonuçlar ile benzer değişkenlik gösterdiğini bulmuşlardır.  $S_{IN}$  değerleri,  $m \neq 1$  model sınıflarına göre, her iki toprak hacim ağırlığında da 0.050'den büyüktür (Çok iyi) ve SG uygulama dozu arttıkça strüktürel indis değeri artmıştır. Loveland ve Webb (2003), topraktaki organik maddenin kritik düzeyleriyle ilgili literatürü gözden geçirmiş ve toprak strüktür değerlerinin aniden çöktüğü bir noktanın olmadığı sonucuna varmıştır. Killi toprakta hacim ağırlığı artış ile  $S_{IN}$  düşmemiştir. Toprak hacim ağırlığı artışı her zaman  $S_{IN}$ 'da bir azalmaya neden olmayabilmektedir. Zira toprak agregatları arasındaki gözeneklerin çok büyük olmaları ve suyu kuvvetli tutmaları, topraklar belli bir sıkışma oranına getirildiğinde büyük agregatlar parçalanmakta ve daha küçük çaplı gözenekler oluşarak toprağın su tutma kapasitesi yükselmekte ve  $S_{IN}$  değerleri de artabilmektedir (Dexter, 2004).

**Çizelge 4.11.** Killi toprağa sıgır gübresi (SG) uygulamasıyla iki farklı hacim ağırlığında ( $1.20$  ve  $1.35 \text{ g cm}^{-3}$ ) farklı (m) katsayılarına göre hesaplanan optimum nem ( $\theta_i$ ), strüktürel indeksi ( $S_{IN}$ ) değerleri ile ölçülen ve tahmin edilen nem sabiteleri arasındaki korelasyon katsayıları ( $R^2$ ) ve normalleştirilmiş hata kareler ortalamasının karekökü (NRMSE)

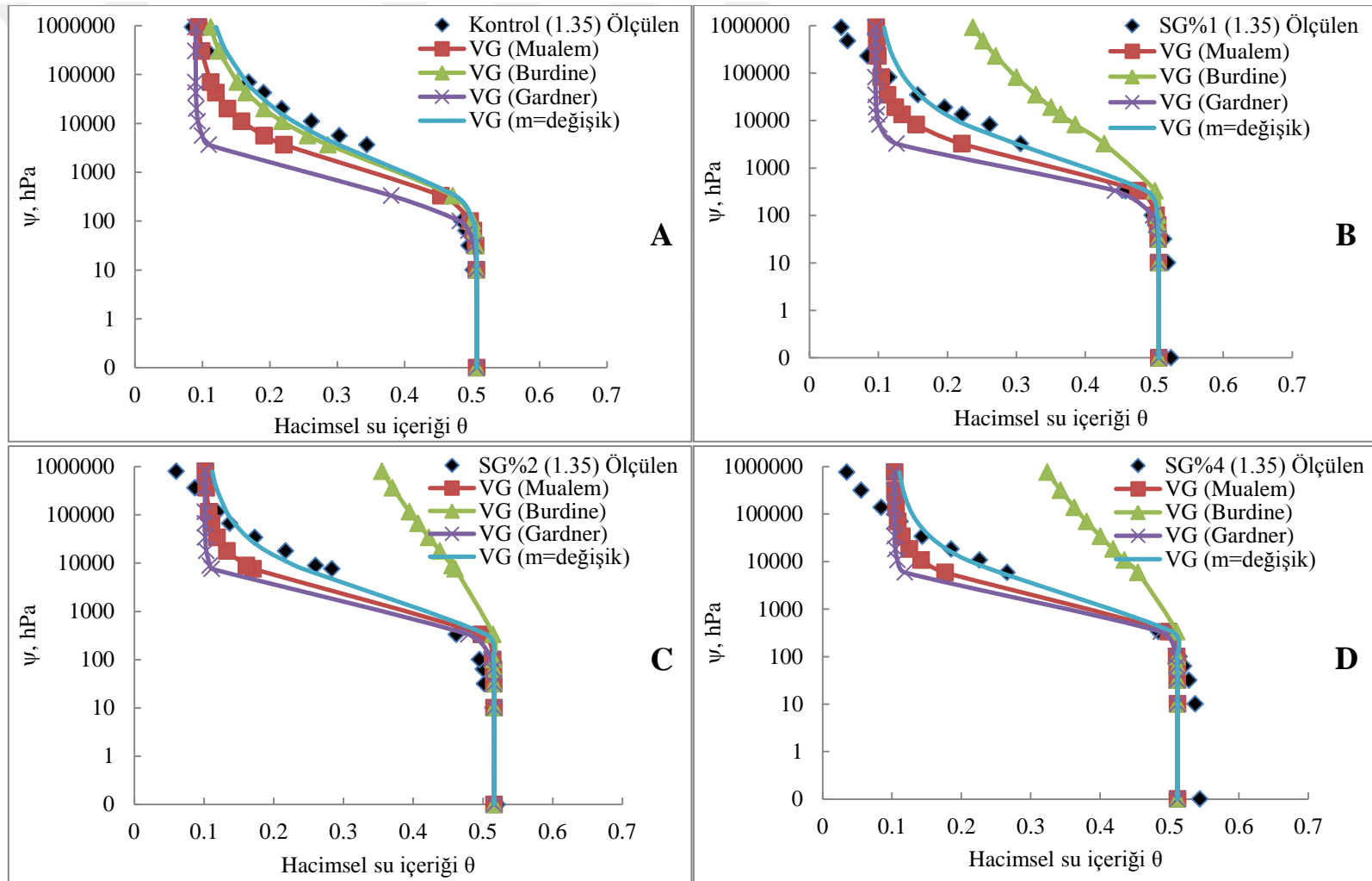
(m) formülü	Özellikler	$(Pb \ 1.20 \text{ g cm}^{-3})$					$(Pb \ 1.35 \text{ g cm}^{-3})$				
		Kontrol	SG1	SG2	SG4	P	Kontrol	SG1	SG2	SG4	P
m=1-1/n	$\theta_i$ ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )	0.37±0.02	0.35±0.01	0.36±0.03	0.35±0.01	NS	0.35±0.00	0.34±0.00	0.34±0.00	0.34±0.00	NS
	$S_{IN} M$	0.10±0.00d	0.12±0.00c	0.14±0.00b	0.17±0.00a	***	0.11±0.01d	0.14±0.00c	0.15±0.00b	0.17±0.00a	***
	$R^2$	0.98	0.98	0.97	0.98		0.97	0.97	0.97	0.98	
	NRMSE	1.81	1.40	1.63	1.77		1.99	2.07	2.18	1.55	
m=1-2/n	$\theta_i$ ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )	0.36±0.00c	0.38±0.01c	0.42±0.00b	0.49±0.02a	***	0.37±0.01c	0.43±0.02b	0.47±0.03a	0.46±0.01ab	***
	$S_{IN} B$	0.11±0.00a	0.09±0.00b	0.07±0.00c	0.02±0.00d	***	0.09±0.01a	0.05±0.00b	0.03±0.00c	0.03±0.00c	***
	$R^2$	0.97	0.99	0.99	0.96		0.99	0.99	0.98	0.98	
	NRMSE	2.37	0.81	4.32	39.56		0.68	12.16	29.07	27.24	
m=1	$\theta_i$ ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )	0.31±0.02	0.30±0.02	0.32±0.01	0.32±0.02	NS	0.30±0.02	0.30±0.01	0.31±0.01	0.31±0.02	NS
	$S_{IN} G$	0.16±0.00c	0.18±0.00b	0.19±0.00b	0.22±0.00a	***	0.17±0.01b	0.19±0.01a	0.20±0.01a	0.21±0.01a	**
	$R^2$	0.93	0.94	0.96	0.97		0.91	0.94	0.95	0.96	
	NRMSE	8.45	4.53	3.11	2.43		9.17	4.68	3.78	2.40	
m≠1	$\theta_i$ ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )	0.39±0.00	0.38±0.01	0.38±0.01	0.38±0.01	NS	0.38±0.05	0.37±0.05	0.37±0.03	0.37±0.01	NS
	$S_{IN} VG$	0.08±0.00d	0.09±0.00c	0.11±0.00b	0.14±0.00a	***	0.08±0.00b	0.11±0.01a	0.12±0.01a	0.13±0.02a	**
	$R^2$	0.99	0.99	0.98	0.99		0.99	0.99	0.99	0.99	
	NRMSE	0.55	0.73	0.92	1.42		0.35	0.45	0.50	0.66	

\* m=1-1/n,  $S_{IN} M$  (Mualem, 1976), m=1-2/n,  $S_{IN} B$  (Burdine, 1953), m=1,  $S_{IN} G$  (Gardner, 1958), ve m≠1,  $S_{IN} VG$  (van Genuchten, 1980), \*\* P<0.01, \*\*\* P<0.001.



**Şekil 4.8.** A, B, C ve D, Killi toprağa sığır gübresi (SG) uygulamalarında,  $1.20 \text{ g cm}^{-3}$  hacim ağırlığında ölçülen ile farklı modellerden tahmin edilen su tutma eğrileri  $\psi$ , hPa





**Şekil 4.9.** A, B, C ve D, Killi toprağa sığır gübresi (SG) uygulamalarında,  $1.35 \text{ g cm}^{-3}$  hacim ağırlığında ölçülen ile farklı modellerden tahmin edilen su tutma eğrileri

Farklı dozda SG uygulanan, iki farklı hacim ağırlığında sıkıştırılan kumlu tın toprağın, farklı m katsayılarına göre hesaplanan optimum nem ( $\theta_i$ ) ve strüktürel indis ( $S_{IN}$ ) ile ölçülen ve hesaplanan TSTE'ye ait parametreler arasındaki korelasyon katsayıları ( $R^2$ ) ve normalleştirilmiş hata kareler ortalamasının karekökü (NRMSE) Çizelge 4.12'te verilmiştir. Buna göre, SG uygulamalarının Pb1 değerinde,  $m=1$  ( $m_3$ ) için  $\theta_iG$  (Gardner, 1958) ve  $m \neq 1$  ( $m_4$ ) için  $\theta_iVG$  (van Genuchten, 1980) ve Pb2 değerinde,  $m=1-1/n$  ( $m_1$ ) için  $S_{IN}$  (Mualem, 1976),  $m=1-2/n$  ( $m_2$ ) için  $\theta_iB$  ve  $S_{IN}$ ,  $m=1$  ( $m_3$ ) için  $\theta_iG$  ve  $S_{IN}$ ,  $m \neq 1$  ( $m_4$ ) için  $\theta_iVG$  parametreleri aralarındaki farklılığa etkisi önemsiz, diğer  $\theta_i$  ve  $S_{IN}$  parametreler aralarındaki farklılığa etkileri ise istatistiksel olarak önemli çıkmıştır. Pb1'de,  $m_1$ 'e göre;  $\theta_i$  0.26-0.28  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  0.06-0.10,  $m_2$ 'e göre;  $\theta_i$  0.24-0.28  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  0.07-0.09,  $m_3$ 'e göre;  $\theta_i$  tüm dozlarda değerler 0.22  $cm^3 cm^{-3}$  ise,  $S_{IN}$  0.12-0.14,  $m_4$ 'e göre;  $\theta_i$  0.38-0.39  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  0.08-0.14 aralarında değişmiştir. Pb2'de,  $m_1$ 'e göre;  $\theta_i$  0.24-0.25  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  0.06-0.07,  $m_2$ 'ye göre;  $\theta_i$  0.22-0.23  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  tüm dozlarda değerler 0.08,  $m_3$ 'e göre;  $\theta_i$  0.19-0.20  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  0.11-0.12,  $m_4$ 'e göre;  $\theta_i$  0.26-0.27  $cm^3 cm^{-3}$  ve  $S_{IN}$  0.04-0.05 aralarında değişmiştir. Ölçülen ve hesaplanan TSTE'ye ait parametreler arasındaki korelasyon katsayıları en düşük  $m_3$ 'de (0.89-0.96) ve en yüksek  $m_4$ 'te (0.99-1.00) hesaplanırken, en düşük NRMSE değerleri ise yine  $m_4$ 'te (0.20-1.09) hesaplanmıştır. Ayrıca kumlu tın toprağa SG uygulamalarının Pb1 ve Pb2'de ölçülen ve hesapla bulunan TSTE'ye etkileri Şekil 4.10: A, B, C ve D'de ve Şekil 4.11: A, B, C ve D'de verilmiştir. Buradan da görüleceği gibi ölçülen değerlerden elde edilen su tutma eğrileri hesapla bulunan eğrilerde önemli ölçüde fark bulunmuştur. Kumlu tın toprağa Pb1'de uygulanan SG uygulama dozu arttıkça  $m_4$ 'te  $S_{IN}$  değeri de artmış, SG4 dozunda kontrol ile kıyaslandığında % 16.66 çıkarken, Pb2'de sadece SG4 dozunda kontrol ile kıyaslandığında % 20.00 oranlarında düşüşler meydana gelmiş, böylece SG uygulamaları düşük sıkışma değerinde toprağın strüktürel stabilitesi üzerinde iyileştirici bir etki oluşturmuştur (Dexter, 2004; Dunjana ve ark., 2012). Burada dikkat çeken bir durum özellikle ıslak bölgede, SG uygulama dozundaki artış ile ilişkili olarak, ölçülen değerler ile hesaplanan değerler arasında önemli farklılıkların, Pb1-SG4 uygulamasında yaklaşık % 14.90 olarak, ortaya çıkarken, Pb2-SG4 dozunda ise sadece yaklaşık % 2.70 bulunmuştur. Bunun nedeni ise SG uygulamaları ile az sıkışan toprak örneğinde meydana gelen şişmenin artmasıdır. Bu durum  $100 cm^3$ 'lük olarak hazırlanan örneklerin doyurulması sonrasında, silindir içeriğinin silindir

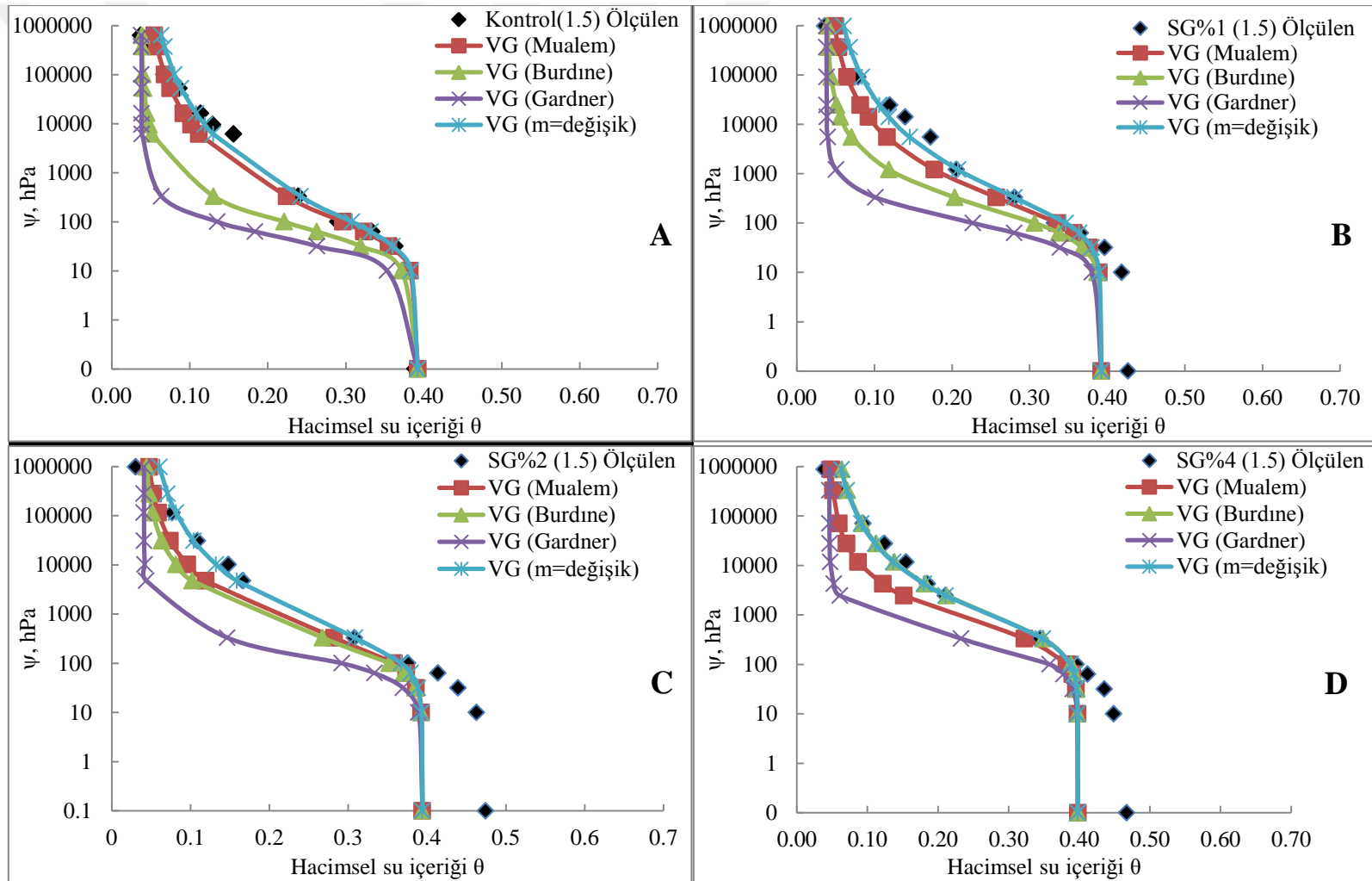
dışına taşması ile de gözlemlenirken, ancak sıkışma miktarı artırdığında toprak örneğindeki şişmenin azaldığı gözlemlenmiştir.



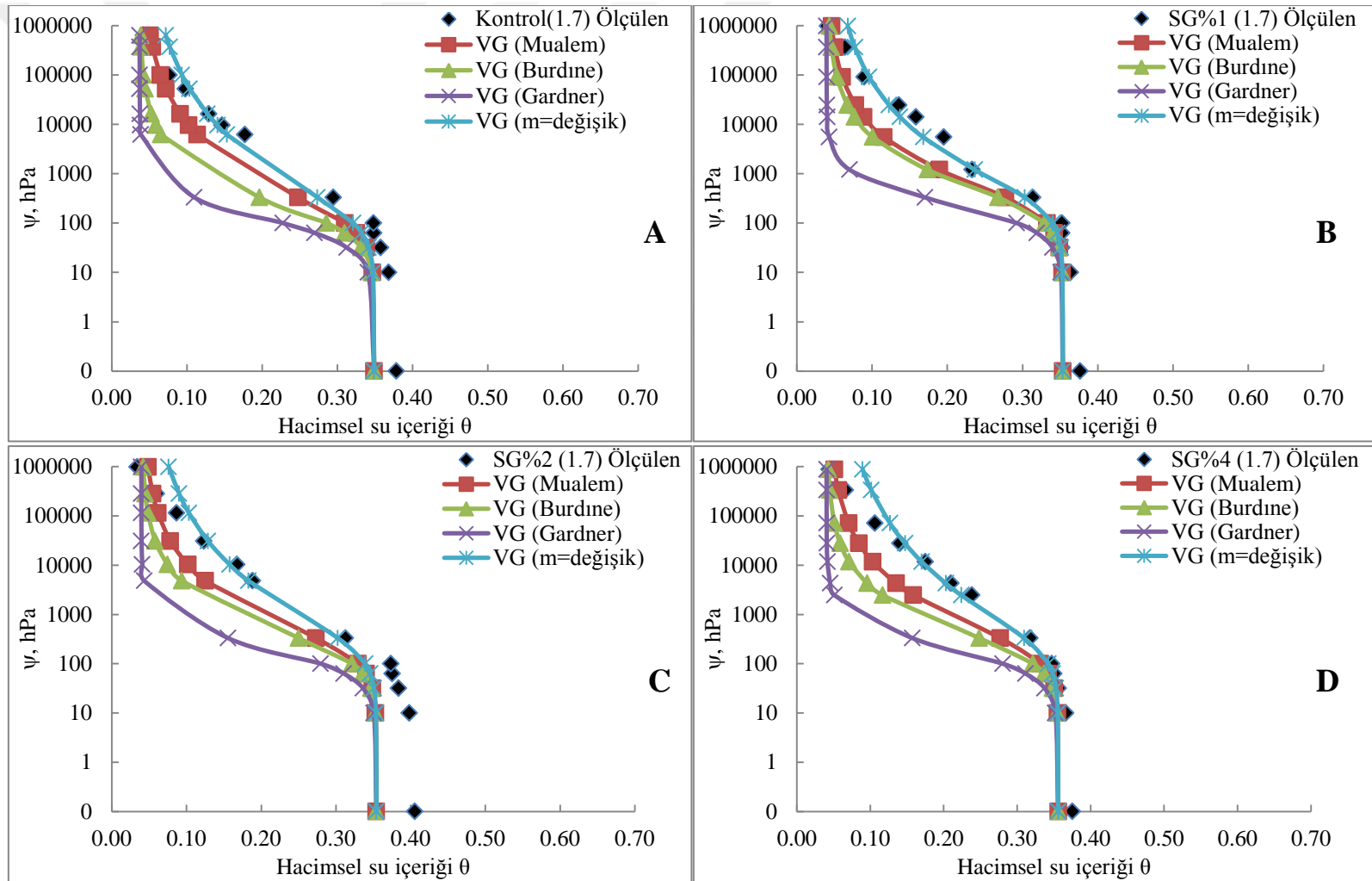
**Çizelge 4.12.** Kumlu tın toprağa sıgır gübresi (SG) uygulamasıyla iki farklı hacim ağırlığında (1.50 ve 1.70 g cm<sup>-3</sup>) farklı (m) katsayılarına göre hesaplanan optimum nem ( $\theta_i$ ), strüktürel indeksi ( $S_{IN}$ ) değerleri ile ölçülen ve tahmin edilen nem sabiteleri arasındaki korelasyon katsayıları ( $R^2$ ) ve normalleştirilmiş hata kareler ortalamasının karekökü (NRMSE)

(m) formülü	Özellikler	(Pb 1.50 g cm <sup>-3</sup> )					(Pb 1.70 g cm <sup>-3</sup> )				
		Kontrol	SG1	SG2	SG4	P	Kontrol	SG1	SG2	SG4	P
m=1-1/n	$\theta_i$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.28±0.01a	0.27±0.00b	0.27±0.00b	0.26±0.00c	*	0.24±0.00b	0.24±0.00b	0.24±0.00b	0.25±0.00a	**
	$S_{IN}M$	0.06±0.00d	0.07±0.00c	0.08±0.00b	0.10±0.00a	***	0.06±0.00	0.07±0.00	0.07±0.00	0.06±0.00	NS
	$R^2$	0.99	0.99	0.99	0.99		0.99	0.98	0.99	0.97	
	NRMSE	0.34	0.78	1.53	1.71		1.17	1.65	1.70	2.03	
m=1-2/n	$\theta_i$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.24±0.01d	0.25±0.00c	0.26±0.00b	0.28±0.00a	***	0.22±0.02	0.23±0.00	0.23±0.00	0.23±0.00	NS
	$S_{IN}B$	0.09±0.00a	0.09±0.00a	0.09±0.00a	0.07±0.00b	***	0.08±0.00	0.08±0.00	0.08±0.00	0.08±0.00	NS
	$R^2$	0.96	0.98	0.99	0.99		0.97	0.98	0.98	0.95	
	NRMSE	3.84	2.94	1.94	0.68		3.91	2.38	2.94	4.60	
m=1	$\theta_i$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.22±0.02	0.22±0.01	0.22±0.01	0.22±0.02	NS	0.19±0.00	0.20±0.00	0.20±0.00	0.20±0.00	NS
	$S_{IN}G$	0.12±0.00c	0.12±0.00c	0.13±0.00b	0.14±0.00a	***	0.11±0.00	0.12±0.00	0.11±0.00	0.11±0.00	NS
	$R^2$	0.89	0.93	0.96	0.96		0.92	0.91	0.94	0.89	
	NRMSE	9.38	8.28	5.75	5.46		8.52	8.42	7.11	10.66	
m≠1	$\theta_i$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.28±0.00	0.28±0.00	0.28±0.00	0.28±0.00	NS	0.26±0.00	0.26±0.00	0.26±0.00	0.27±0.00	NS
	$S_{IN}VG$	0.06±0.00b	0.06±0.00b	0.07±0.00a	0.07±0.00a	***	0.05±0.00a	0.05±0.00a	0.05±0.00a	0.04±0.00b	***
	$R^2$	0.99	0.99	0.99	0.99		1.00	0.99	1.00	0.99	
	NRMSE	0.20	0.33	1.09	0.68		0.45	0.27	0.85	0.39	

\* m=1-1/n,  $S_{IN}M$  (Mualem, 1976), m=1-2/n,  $S_{IN}B$  (Burdine, 1953), m=1,  $S_{IN}G$  (Gardner, 1958), ve m≠1,  $S_{IN}VG$  (van Genuchten, 1980), \* P<0.05, \*\* P<0.01, \*\*\* P<0.001.



**Şekil 4.10.** A, B, C ve D, Kumlu tın toprağa sıgır gübresi (SG) uygulamalarında,  $1.50 \text{ g cm}^{-3}$  hacim ağırlığında ölçülen ile farklı modellerden tahmin edilen su tutma eğrileri



**Şekil 4.11.** A, B, C ve D, Kumlu tın toprağa sıgır gübresi (SG) uygulamalarında,  $1.70 \text{ g cm}^{-3}$  hacim ağırlığında ölçülen ile farklı modellerden tahmin edilen su tutma eğrileri

## 4.6. Biyokömür Uygulamalarının Toprakların Su Tutma Eğrisine Etkisi

### 4.6.1. Ölçülen toprak su tutma eğrileri

BK'nın % 0, 1, 2 ve 4 oranlarında uygulandığı ve bir ay inkübasyona bırakılan killi ve kumlu tın toprakların, iki farklı hacim ağırlığında, doymun bölgeden kuru bölgeye kadar TSTE grafikleri Şekil 4.12, A, B, C ve D'de verilmiştir. Killi ( $Pb1; 1.20 \text{ g cm}^{-3}$  ve  $Pb2; 1.35 \text{ g cm}^{-3}$ ) ve kumlu tın toprağın ( $Pb1; 1.50 \text{ g cm}^{-3}$  ve  $Pb2; 1.70 \text{ g cm}^{-3}$ ); doymun su içeriği ( $\theta_s$ ,  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), tarla kapasitesi ( $\theta_{TK}$ ;  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), solma noktası ( $\theta_{SN}$ ;  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), faydalı su içeriği ( $\theta_{FS}$ ;  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), kalan su içeriği ( $\theta_r$ ,  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) ile hesaplanan TSTE nem sabiteleri;  $\theta_s$  ve  $\theta_r$ ,  $\alpha$ ,  $n$  ve  $m$  katsayılar ve hava giriş değeri ( $1/\alpha$ , cm) Çizelge 4.13 ve 4.14'de verilmiştir. Killi toprakta  $Pb1$  ve  $Pb2$ 'de ölçülen  $\theta_s$  ve  $\theta_{SN}$  değerleri ve  $Pb1$ 'de hesaplanan  $\theta_s$  ve  $\theta_r$  değerleri ve  $Pb2$ 'de ölçülen  $\theta_{TK}$  ve  $\theta_{FS}$  değerleri kumlu tın toprakta ise  $Pb1$  ve  $Pb2$ 'de ölçülen  $\theta_s$  değerleri ile hesaplanan  $\theta_s$  ve  $\theta_r$  hariç tutulursa tüm uygulamaların etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.13 ve 4.14). Buna göre, her iki toprağın da TSTE, hem BK'nın uygulaması ve uygulama dozları hem de oluşturulan hacim ağırlıklarına göre farklı bulunmuştur. Bu farklılık kumlu tın toprakta killi toprağa göre daha yüksek bulunmuştur.

Killi toprakta genellikle hesaplanan  $\theta_s$  değerleri, ölçülen  $\theta_s$  değerlerine yakındır (Çizelge 4.13).  $Pb1$  için BK'ün tüm uygulama dozları ortalaması  $0.55 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken, hesaplanan değerinin ortalaması  $0.53 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ tür,  $Pb2$ 'de ise ortalama  $0.50 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken hesaplanan değerinin ortalaması  $0.51 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ tür. Bu durum, ıslak bölgede  $\theta_s$  her iki  $Pb$  değerleri için de yüksek doğrulukta tahmin edilebileceğini göstermektedir. BK uygulamalarının hem düşük ve hem de yüksek hacim ağırlıklarında killi toprağın toplam gözenekliliği üzerinde bir etkisinin olmadığı sadece sıkışmasının etkili olduğu değerlendirilmektedir.

$Pb1$ ' için BK uygulamalarının toprağın  $\theta_{TK}$  değerlerine etkisi kontrol örneğine göre istatistiksel olarak önemsiz çıkarken, uygulama dozları arasındaki etki önemli bulunmuştur ( $p < 0.05$ ). BK2 ve BK4'te  $\theta_{TK}$  değeri BK1'e göre % 4.65 oranında artmıştır. Kontrol örneği ve BK1 uygulamasında,  $Pb2$ 'de  $Pb1$ 'e göre % 9.52 daha yüksek  $\theta_{TK}$  değeri bulunmuş, diğer dozlarında da benzer sonuçlar elde edilmekle birlikte artış oranı daha düşük belirlenmiştir (Çizelge 4.13).  $Pb1$ 'de killi toprağa yapılan BK uygulaması ile uygulama

dozu artışıla  $\theta_{TK}$  değerleri sınırlı ölçüde artarken, *Pb2* uygulaması için benzer değişim gerçekleşmemiştir. Buna göre, biyokömürün yüzey alanının ve/veya gözenek hacminin killi topraktan daha düşük olması nedeniyle nem sabiteleri üzerine etkisi sınırlı bulunmuştur (Hansen ve ark., 2016).

$\theta_{SN}$  değerleri kontrol örneklerinde *Pb2*'de, *Pb1*'e göre % 8.33 daha yüksek bulunmuştur. Tüm BK uygulamala dozları için kontrol ile kıyaslandığında değişiklik gözlenmemiştir (Çizelge 4.13). Dolayısıyla killi toprağa biyokömür uygulama dozlarının artması ile her iki *Pb* için solma noktasındaki tutulan su miktarı etkilenmemiştir. Bu durumun nedeni, biyokömürün yapısındaki orta ve mikro gözeneklerinin bir kısmının kil taneleri ile tıkanmasıyla açıklanmıştır (Wang ve ark., 2019).

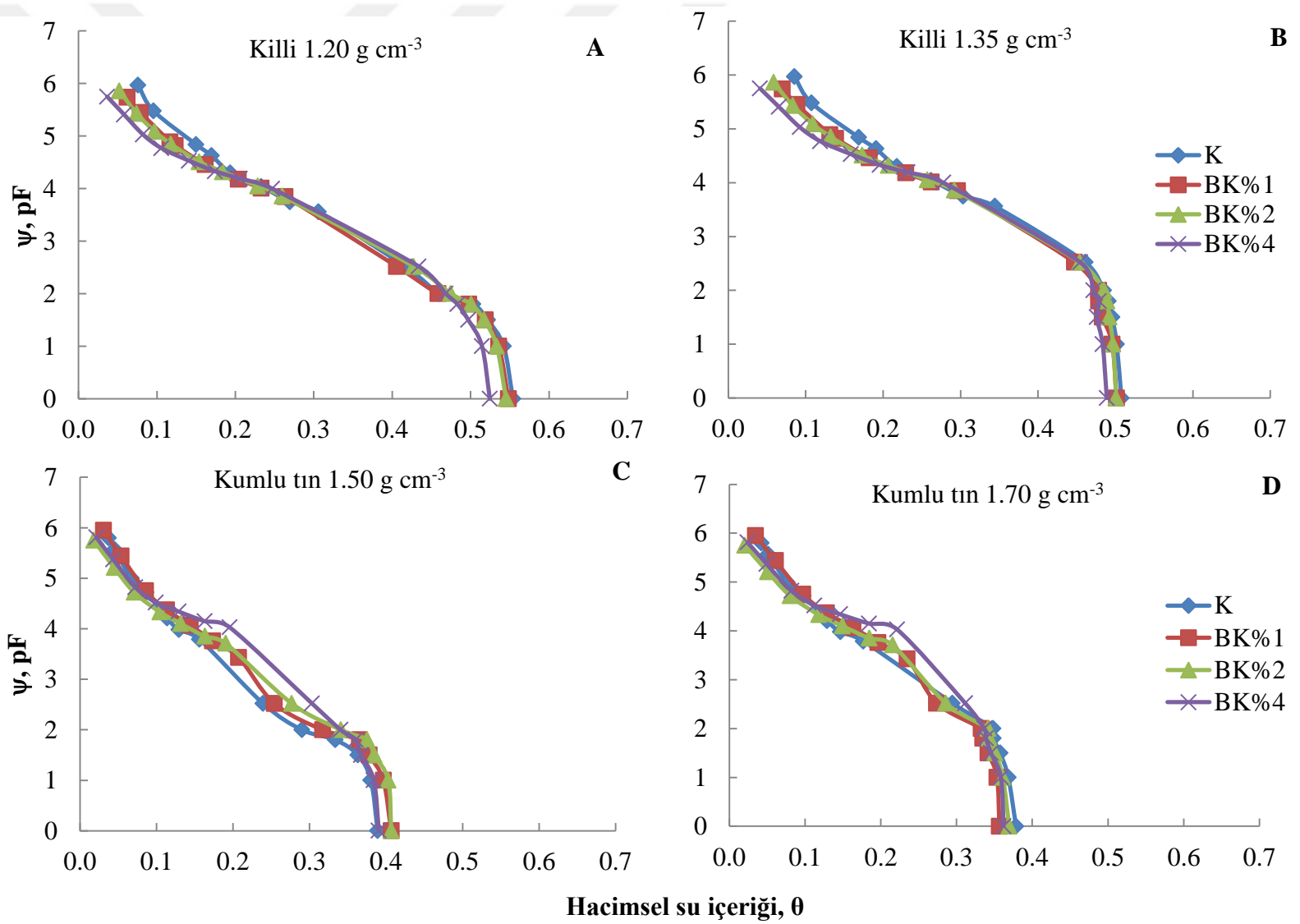
*Pb1*'de killi toprağın  $\theta_{FS}$  kapsamına BK uygulamalarının etkisi kontrol ile kıyaslandığında BK1 için önemsiz, BK2 ve BK4 uygulamaları için ise önemli bulunmuştur ( $p < 0.01$ ). Bu durum, düşük hacim ağırlığı ve yüksek dozlarda BK uygulamalarının killi toprağın  $\theta_{FS}$  kapsamını kısmen geliştirdiğini göstermektedir.

Her iki *Pb* için de, killi toprağın ölçülen  $\theta_r$  değerlerine BK uygulamalarının etkisi önemli ( $p < 0.001$ ) bulunmuştur (Çizelge 4.13). *Pb1* ve *Pb2*' için tüm ölçülen  $\theta_r$  değerlerinin benzerlik gösterdiği kontrol örneğine göre BK4 uygulama dozunda  $\theta_r$  değerinin % 7.22 arttığı belirlenmiştir. *Pb2*'de hesaplanan  $\theta_r$  değerlerine BK uygulama etkisi kontrole göre önemsiz bulunmuştur. Uygulama dozu arasındaki fark önemli ( $p < 0.05$ ) olup, BK4'te  $\theta_r$  değeri BK1'e göre % 14.14 oranında düşmüştür. Diğer taraftan hesapla bulunan  $\theta_r$  değerleri, büyük ölçüde bulunan  $\theta_r$  değerlerine yakındır. Ancak her iki *Pb* değerlerinde BK'nın uygulama dozları ortalaması  $0.086 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken, hesaplanan değeri ortalaması *Pb1* için  $0.088 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  ve *Pb2* için  $0.091 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  bulunmuştur. Bu durum, kuru bölgede  $\theta_r$  yüksek doğrulukta tahmin edilebileceğini göstermektedir. Burada, BK uygulamalarının genellikle  $\theta_r$  değerini artıcı yönde etkilediği ve bunun nedeninin topraktaki mikro gözenek sayısının ve toprağın yüzey alanının artması ve dolayısıyla yüksek tansiyonda toprak tarafından daha fazla suyu tutulması olduğu değerlendirilmektedir.

Farklı dozlarda BK uygulanan ve iki farklı hacim ağırlığında sıkıştırılan killi toprağın  $\alpha$  katsayıları 0.0017-0.0045, hava giriş değerleri 222-588 cm,  $n$  katsayıları 1.48-1.64 arasında ve  $m$  katsayısı ise 0.22-0.46 aralarında değişim göstermişlerdir (Çizelge 4.13). *Pb1*'de BK uygulama dozları için  $\alpha$  katsayısı sadece BK4'te daha düşük bulunmuş,



*Pb2*'de ise  $\alpha$  katsayısı kontrole göre sadece BK4 uygulama dozunda artış göstermiştir.  $\alpha$  katsayısı için hesaplanan hava giriş değerleri ise BK uygulamaları ve toprak sıkışması ile yükselmiştir, *Pb1*'de ve BK4 uygulaması için kontrol örneğine göre yaklaşık % 10.76 daha yüksek ve *Pb2* ve BK4 uygulaması için ise yaklaşık % 33.45 daha düşük  $1/\alpha$  değerleri gözlenmiştir. Bu durumun nedeni biyokömürün yapısındaki mikro gözeneklerin fazla olması *Pb1* uygulamalarında topraktaki toplam mikro gözeneklerin miktarının artmasına ve dolayısıyla su tutma gücünü de artması olarak değerlendirilmiştir (Blanco-Canqui, 2017). *Pb2* değerinde ise toprak sıkışması ile toprakların ortalama gözenek çapları düşürmüş ve killi toprakta hava giriş değerleri yükselmiştir (Tinjum ve ark., 1997).  $n$  katsayısı *Pb1*'de BK uygulama dozu artış ile artmıştır, *Pb2*'de BK uygulama dozu artış ile sadece BK4'te  $n$  değeri düşürmüştür. *Pb1* uygulamalarında BK4 dozunda kontrole göre % 8.87 oranında artmış ve *Pb2*'de % 6.21 oranında düşmüştür.  $m$  katsayısının ise her iki *Pb* değerleri için BK uygulama dozu artış ile arttığı belirlenmiştir. Ancak bu artış oranı BK dozu artış ile düşmüştür. BK4 dozlarında kontrole göre sırasıyla % 40.00 ve % 9.10'lık artışlar belirlenmiştir.



Şekil 4.12. A, B, C ve D, Killi ve kumlu tın topraklara farklı dozlarda uygulanan biyokömürün (BK) iki farklı hacim ağırlığında ölçülen su tutma eğrileri

**Çizelge 4.13.** Killi toprağa biyokömür (BK) uygulamasıyla iki farklı hacim ağırlığında ( $1.20$  ve  $1.35 \text{ g cm}^{-3}$ ) ölçülen ve hesaplanan nem sabiteleri.

Özellikler	$(Pb \ 1.20 \text{ g cm}^{-3})$					$(Pb \ 1.35 \text{ g cm}^{-3})$					
	Kontrol	BK1	BK2	BK4	P	Kontrol	BK1	BK2	BK4	P	
<b>Ölçülen</b>	$\theta_s \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$	0.55±0.01	0.55±0.00	0.55±0.01	0.54±0.01	NS	0.51±0.01	0.50±0.01	0.50±0.01	0.49±0.00	NS
	$\theta_{TK} \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$	0.42±0.01ab	0.41±0.01b	0.43±0.01a	0.43±0.01a	*	0.46±0.01	0.45±0.00	0.45±0.00	0.45±0.01	NS
	$\theta_{SN} \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$	0.21±0.01	0.20±0.01	0.20±0.02	0.20±0.01	NS	0.24±0.00	0.23±0.00	0.23±0.01	0.23±0.01	NS
	$\theta_{FS} \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$	0.21±0.02b	0.21±0.01b	0.23±0.00a	0.23±0.0a	**	0.21±0.01	0.22±0.01	0.22±0.00	0.22±0.01	NS
	$\theta_r \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$	0.083±0.01c	0.085±0.00b	0.085±0.00b	0.089±0.00a	***	0.083±0.01c	0.085±0.00b	0.085±0.00b	0.089±0.00a	***
<b>Hesaplanan</b>	$\theta_s \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$	0.53±0.01	0.52±0.00	0.53±0.00	0.53±0.01	NS	0.51±0.01	0.51±0.01	0.50±0.01	0.50±0.00	NS
	$\theta_r \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$	0.087±0.00	0.085±0.00	0.089±0.00	0.091±0.00	NS	0.090±0.01ab	0.099±0.01a	0.090±0.01ab	0.085±0.01b	*
	$\alpha \text{ cm}^{-1}$	0.0043±0.00a	0.0045±0.00a	0.0030±0.00ab	0.0028±0.00b	**	0.0018±0.00b	0.0017±0.00b	0.0017±0.00b	0.0027±0.00a	***
	$1/\alpha \text{ cm}$	232±2.00c	222±2.00d	333±2.52b	357±3.06a	***	556±4.04a	588±2.00a	588±3.21a	370±1.53b	***
	$n$	1.48±0.01c	1.48±0.02c	1.58±0.01b	1.61±0.02a	***	1.61±0.01a	1.64±0.01a	1.64±0.01a	1.51±0.01b	***
	$m=1-1/n$	0.32	0.32	0.37	0.38		0.38	0.39	0.39	0.34	-
	$m=1-2/n$	0.35	0.35	0.26	0.25		0.25	0.22	0.22	0.33	-
$m \neq 1$	0.20	0.22	0.25	0.28		0.22	0.27	0.26	0.24	-	

$\theta_{TK}$  (Tarla kapasitesi),  $\theta_{SN}$ , (Solma noktası),  $\theta_{FS}$  (Faydalı su içeriği),  $\theta_r$  (Kalan su içeriği),  $\theta_s$  (Doygun su içeriği),  $\alpha$ ,  $n$  ve  $m$  katsayılar,  $1/\alpha$  hava giriş değeri, \* ( $p<0.05$ ), \*\* ( $p<0.01$ ) ve \*\*\* ( $p<0.001$ )

Kumlu tın toprakta, hesapla bulunan  $\theta_s$  değerleri, büyük oranda ölçümle bulunan  $\theta_s$  değerlerine yakın bulunmuştur, *Pb1* de BK'nın tüm dozlarının ortalaması  $0.40 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken, hesaplanan değerin ortalaması  $0.39 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ 'tür, *Pb2*'de ortalama  $0.37 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  ölçülürken, hesaplanan değerlerin ortalaması ise  $0.35 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  bulunmuştur (Çizelge 4.14). Bu durum da ıslak bölgede  $\theta_s$  her iki *Pb* değerleri için de yüksek doğrulukta tahmin edilebileceğini göstermektedir. Bu durum, BK'daki organik karbonu düşük tansiyonlarda suyun tutulma gücünün yüksek tansiyonlar için suyu tutma gücünden daha zayıf olması ile açıklanabilir (Rawls ve ark., 2003). Ayrıca, hem kumlu tın toprağın strüktürünün zayıf olması ve hem de biyokömürün hidrofobik özelliğinden dolayı su tutma kapasitesini fazla artırmayabilmektedir (Kinney ve ark., 2012).

Her iki *Pb* değerinde BK uygulamalarının toprağın  $\theta_{TK}$  değerlerine etkisi önemli ( $p < 0.001$ ) bulunmuştur. Kontrol'de *Pb2*'de *Pb1*'e göre % 16.66 olarak daha yüksek  $\theta_{TK}$  değeri ölçülürken, diğer uygulama dozları (BK1 hariç) benzer durum bulunmuştur. BK4 dozunda *Pb1* ve *Pb2*'de sırayla % 25 ve % 10.71  $\theta_{TK}$  değeri artırmıştır (Çizelge 4.14). Bu durum BK'nın büyük taneleri küçük tanelerinden daha fazla mezo ve mikro gözenekler içerebilmesi nedeni ile kaba tekstürlü toprakların  $\theta_{TK}$  değerlerine ince tekstürlü topraktan daha büyük bir etkisi olmuştur (Wang ve ark., 2019). Ayrıca kumlu topraklar gibi daha dar aralıkta gözenek dağılımına sahip topraklara biyokömür uygulaması makro gözenekler, mezo gözenekler ve mikro gözenekler dâhil olmak üzere toprak gözenek büyüklüğü aralığını hızla artırabilmektedirler (Blanco-Canqui, 2017).

Her iki hacim ağırlığında da toprağın  $\theta_{SN}$  değerlerine BK uygulamalar etkisi önemli ( $p < 0.001$ ) bulunmuşken, kontrol örneklerinde *Pb2*'de, *Pb1*'e göre % 8.33 daha yüksek  $\theta_{SN}$  değerleri ( $0.13 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) belirlenmiştir. BK uygulama dozu artış ile *Pb1* için sadece BK4 dozunda % 33.33  $\theta_{SN}$  değeri artmıştır. *Pb2*'de kontrole göre BK uygulama dozu artış ile  $\theta_{SN}$  değerlerinde artış bulunmuş ve BK4 dozunda  $\theta_{SN}$  değeri % 38.46 olarak artmıştır (Çizelge 4.14). Kumlu tın toprağa yapılan BK uygulamalarının toprağın  $\theta_{SN}$  değerleri *Pb2*'de *Pb1*'den daha fazla artırmıştır. Bu durum, kumlu tın toprağa BK uygulamaların dozundaki artış ve sıkışmadan dolayı BK'nın içindeki makro gözeneklerin küçülmesi ile oranları düşürmüş ve aynı anda toprağın mezo ve mikro gözeneklerin oranındaki artışlar ile açıklanabilecektir.

Her iki  $Pb$  değerleri için de kumlu tın toprağın  $\theta_{FS}$  kapsamına BK uygulamalarını etkisi önemli ( $p < 0.001$ ) bulunmuştur,  $Pb1$ 'de BK'nın dozundaki artış ile toprakların  $\theta_{FS}$  değerlerinde BK1 dozu hariç ise artış belirlenmiştir.  $Pb2$ 'de BK'nın uygulamaların dozundaki artış ile ilişkisi BK2 dozu hariç ise düşüş kaydedilmiştir (Çizelge 4.14).  $Pb1$  için kontrole göre BK1, BK2 ve BK4'te sırasıyla; % 0, 33.33 ve 16.66 olarak artış ve  $Pb2$  için % 13.33, 0 ve 13.33 olarak düşüş belirlenmiştir.  $Pb1$  için artış nedeni BK uygulamaları ile bir taraftan toprağın  $\theta_{TK}$  değerlerinde artış diğer taraftan  $\theta_{SN}$  değerleri ise sınırlı düzeyde artışa yol açmasıdır.  $Pb2$  için kontrole göre BK uygulama dozu artış ile  $\theta_{TK}$  değerleri sıkışmadan dolayı  $\theta_{SN}$  değerleri  $\theta_{TK}$  değerlerden daha fazla artmış ve toprak mikro gözeneklerin oranı büyük bir artışa neden olduğu ilerde toprağın mikro gözenekler ile ilgili bölümde açıklanacaktır.

Her iki  $Pb$  değerlerinde de, kumlu tın toprağın ölçülen  $\theta_r$  değerlerine BK uygulamalarını etkisi önemli ( $p < 0.001$ ) çıkmış, BK'nın dozundaki artış ile  $\theta_r$  değerleri artırmıştır (Çizelge 4.14).  $Pb1$  ve  $Pb2$ 'de tüm  $\theta_r$  değerleri benzer bulunmuştur. Kontrol örneğine göre  $\theta_r$  değeri BK4 dozunda % 5.88 artırmıştır. Diğer taraftan hesapla bulunan  $\theta_r$  değerleri, ölçümle bulunan  $\theta_r$  değerlerine büyük oranda yakındır.  $Pb1$  ve  $Pb2$ 'de BK'nın tüm dozlarının ortalaması  $0.053 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken, hesaplanan değerlerin ortalaması  $Pb1$ 'de  $0.040 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  ve  $Pb2$ 'de  $0.039 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ 'tür. Bu durum kuru bölgede  $\theta_r$ 'nin yüksek doğrulukta tahmin edilebileceğini göstermektedir. Burada BK uygulamalarının büyük oranda  $\theta_r$  değerini artıcı yönde etkilenmiş ve bunun nedeni BK'nın toprağa uygulanması ile mikro gözeneklerin oranı artmasıdır.

Farklı dozlarda BK uygulanan ve iki farklı hacim ağırlığında sıkıştırılan kumlu tın toprağın  $\alpha$  katsayıları 0.0068-0.0208, hava giriş değerleri 48-147 cm,  $n$  katsayıları 1.29-1.39 ve  $m$  katsayısı ise 0.17-0.55 aralarında değişim göstermiştir (Çizelge 4.14). BK uygulamaları doz artış ile  $\alpha$  katsayısını düşürmüş ve bu düşüş  $Pb1$ 'de  $Pb2$ 'den daha yüksek oranda gerçekleşmiştir.  $Pb1$ 'de kontrole göre  $\alpha$  katsayıları için hesaplanan hava giriş değerleri ise BK uygulamalar ile yükselmiş, ancak  $Pb2$ 'de BK dozundaki artış ile sadece BK2 uygulamasında kontrol örneğine göre sınırlı düzeyde  $1/\alpha$  değerleri yükselmiş ve diğer BK uygulama dozu hava giriş değerini düşmüştür. Bunun nedeni  $Pb1$ 'de BK uygulama dozu artış ile toprağın su tutulması artırarak hava giriş değerini artırmıştır.  $Pb2$  ise BK dozundaki artış ile sıkışmadan dolayı BK'nın makro gözeneklerin büyük kısmı mezo ve

mikro gözeneklere dönüşmüş ve sonuçta toprağın strüktürü iyileşmiştir. **n** katsayısı BK uygulama dozu artış ile *Pb1*'de artış ise *Pb2*'de düşüş bulunmuştur. BK4 dozunda kontrole göre *Pb1*'de % 1.51 olarak artış ve *Pb2*'de % 5.84 olarak düşüş gözlenmiştir. **m** katsayısı ( $m \neq 1$ ) ise *Pb1* uygulamalarında BK uygulama dozundaki artış ile düşüş göstermiş ve BK4 dozlarında kontrole göre % 9.52'lık düşüş belirlenmiştir. *Pb2* uygulamalarında ise BK uygulama dozundaki artış ile BK2 hariç ise de düşüş göstermiş ve SG4 dozlarında kontrole göre % 5.26'lık düşüş gözlenmiştir.



**Çizelge 4.14.** Kumlu Tın toprağa biyokömür (BK) uygulamasıyla iki farklı hacim ağırlığında (1.50 ve 1.70 g cm<sup>-3</sup>) ölçülen ve hesaplanan nem sabiteleri.

Özellikler	(Pb 1.50 g cm <sup>-3</sup> )					(Pb 1.70 g cm <sup>-3</sup> )					
	Kontrol	BK1	BK2	BK4	P	Kontrol	BK1	BK2	BK4	P	
<b>Ölçülen</b>	<b>θ<sub>s</sub></b> cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.39±0.01	0.40±0.01	0.40±0.01	0.40±0.00	NS	0.37±0.01	36±0.00	0.37±0.01	0.36±0.01	NS
	<b>θ<sub>TK</sub></b> cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.24±0.01c	0.25±0.00c	0.28±0.00b	0.30±0.00a	***	0.28±0.01bc	0.27±0.00c	0.29±0.00b	0.31±0.01a	***
	<b>θ<sub>SN</sub></b> cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.12±0.00b	0.13±0.00b	0.12±0.00b	0.16±0.01a	***	0.13±0.00c	0.14±0.00b	0.14±0.00b	0.18±0.00a	***
	<b>θ<sub>FS</sub></b> cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.12±0.00c	0.12±0.00c	0.16±0.00a	0.14±0.00b	***	0.15±0.00a	0.13±0.00b	0.15±0.00a	0.13±0.00b	***
	<b>θ<sub>r</sub></b> cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.051±0.01c	0.052±0.00b	0.054±0.00a	0.054±0.00a	***	0.051±0.01c	0.052±0.00b	0.054±0.00a	0.054±0.00a	***
<b>Hesaplanan</b>	<b>θ<sub>s</sub></b> cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.39±0.01	0.39±0.02	0.39±0.00	0.40±0.01	NS	0.35±0.00	0.35±0.00	0.35±0.00	0.36±0.00	NS
	<b>θ<sub>r</sub></b> cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.038±0.00	0.040±0.00	0.037±0.00	0.045±0.00	NS	0.037±0.00	0.039±0.00	0.037±0.00	0.042±0.00	NS
	<b>α</b> cm <sup>-1</sup>	0.0208±0.00a	0.0173±0.00b	0.0090±0.00d	0.0103±0.00c	***	0.0072±0.00c	0.0111±0.00a	0.0068±0.00c	0.0088±0.00b	***
	<b>1/α</b> cm	48±1.53d	58±2.00c	111±2.00a	97±1.53b	***	139±1.53b	90±1.53d	147±2.08a	114±1.00c	***
	<b>n</b>	1.32±0.02b	1.33±0.02b	1.39±0.02a	1.34±0.01ab	**	1.37±0.01a	1.31±0.02b	1.37±0.02a	1.29±0.01b	**
	<b>m=1-1/n</b>	0.24	0.25	0.28	0.25		0.27	0.24	0.27	0.22	-
	<b>m=1-2/n</b>	0.51	0.51	0.44	0.49		0.46	0.53	0.46	0.55	-
<b>m≠1</b>	0.21	0.21	0.20	0.19		0.19	0.17	0.20	0.18	-	

**θ<sub>TK</sub>** (Tarla kapasitesi), **θ<sub>SN</sub>**, (Solma noktası), **θ<sub>FS</sub>** (Faydalı su içeriği), **θ<sub>r</sub>** (Kalan su içeriği), **θ<sub>s</sub>** (Doğgun su içeriği), **α**, **n** ve **m** katsayılar, **1/α** hava giriş değeri, \*\* (p<0.01) ve \*\*\* (p<0.001)

#### 4.6.2. Farklı m katsayılarına göre toprak su tutma eğrisinin tahmini

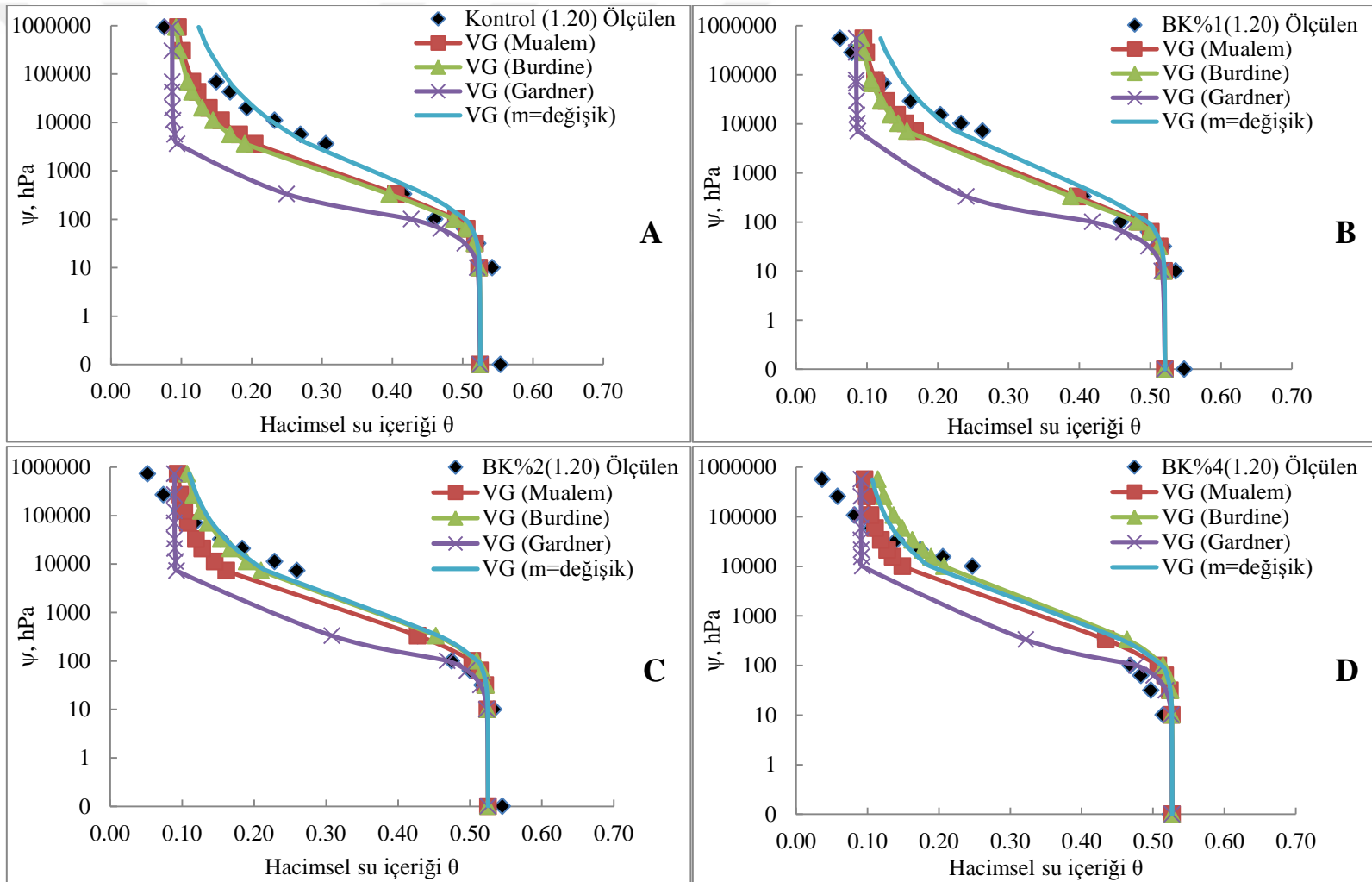
Farklı dozda BK uygulanan, iki farklı hacim ağırlığında sıkıştırılan killi toprağın, farklı m katsayılarına göre hesaplanan optimum nem ( $\theta_i$ ) ve strüktürel indis ( $S_{IN}$ ) ile ölçülen ve hesaplanan TSTE'ye ait parametreler arasındaki korelasyon katsayıları ( $R^2$ ) ve normalleştirilmiş hata kareler ortalamasının karekökü (NRMSE) Çizelge 4.15'de verilmiştir. Buna göre, killi toprağa BK uygulamalarının ve *Pb1*'de  $m=1-1/n$  ( $m_1$ ) için  $\theta_iM$  ve  $S_{IN}$  (Mualem, 1976);  $m=1-2/n$  ( $m_2$ ) için  $\theta_iB$  (Burdine, 1953) ve  $m=1$  ( $m_3$ ) için  $\theta_iG$  ve  $S_{IN}$  (Gardner, 1958), *Pb2*'de  $m=1-1/n$  ( $m_1$ ) için  $\theta_iM$ ,  $m \neq 1$  ( $m_4$ ) için  $\theta_iVG$  ve  $S_{IN}$  (van Genuchten, 1980) parametreleri aralarındaki farklılığa etkisi önemsiz, diğer  $\theta_i$  ve  $S_{IN}$  parametreleri aralarındaki farklılığa etkileri ise istatistiksel olarak önemli çıkmıştır. *Pb1*'de,  $m_1$ 'e göre;  $\theta_i$  0.36-0.37  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  0.10-0.12,  $m=1-2/n$  ( $m_2$ )'e göre;  $\theta_i$  0.36-0.38  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  0.09-0.11,  $m_3$ 'e göre;  $\theta_i$  0.30-0.31  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  0.16-0.17,  $m_4$ 'e göre;  $\theta_i$  0.38-0.39  $cm^3 cm^{-3}$  ve  $S_{IN}$  0.08-0.10 aralarında değişmiştir. *Pb2*'de,  $m_1$ 'e göre;  $\theta_i$  0.34-0.35  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  0.10-0.12,  $m_2$ 'ye göre;  $\theta_i$  0.35-0.38  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  0.08-0.10,  $m_3$ 'e göre;  $\theta_i$  0.29-0.31  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  0.16-0.19,  $m_4$ 'e göre;  $\theta_i$  0.36-0.38  $cm^3 cm^{-3}$ , ve  $S_{IN}$  0.08-0.11 aralarında değişmiştir. Ölçülen ve hesaplanan TSTE'ye ait parametreler arasındaki korelasyon katsayıları en düşük  $m_3$ 'de (0.91-0.95) ve en yüksek  $m_4$ 'te (0.98-0.99) hesaplanırken, en düşük NRMSE değerleri ise yine  $m_4$ 'te (0.35-1.07) hesaplanmıştır. Ayrıca killi toprağa BK uygulamalarının *Pb1* ve *Pb2*'de ölçülen ve hesapla bulunan TSTE'ye etkileri Şekil 4.13: A, B, C ve D'de ve Şekil 4.14: A, B, C ve D'de verilmiştir. Buradan da görüleceği gibi, ölçülen değerlerden elde edilen su tutma eğrileri, hesapla bulunan eğrilerde önemli ölçüde fark bulunmuştur. Bu sonuçlardan da anlaşılacağı üzere, hem BK uygulamalarında ve hem de farklı hacim ağırlıklarında killi toprağın nem sabitelerini belirlemede  $m_4$  modelde kullanılarak yapılan hesaplamanın daha yüksek doğrulukta sonuçlar verdiği bulunmuştur. Öte yandan, *Pb1*'de killi toprağa uygulanan BK dozu arttıkça  $m_4$ 'te  $\theta_i$  ve  $S_{IN}$  değerleri önemli düzeyde sırayla;  $p < 0.01$  ve  $p < 0.001$  düzeyinde artmış, ancak *Pb2*'de uygulana BK dozu artması ile  $\theta_i$  ve  $S_{IN}$  değerleri önemsiz bulunmuştur. BK4 uygulama dozunda, *Pb1*'de kontrol ile kıyaslandığında  $\theta_i$  değerinde % 2.56 olarak düşüş ve  $S_{IN}$  değerinde % 25 olarak artış oranları meydana gelmiş, böylece BK uygulamaları sıkışmamış toprağın strüktürel stabilitesi üzerinde iyileştirici bir etki oluşturmuştur (Lehmann ve Joseph, 2009).



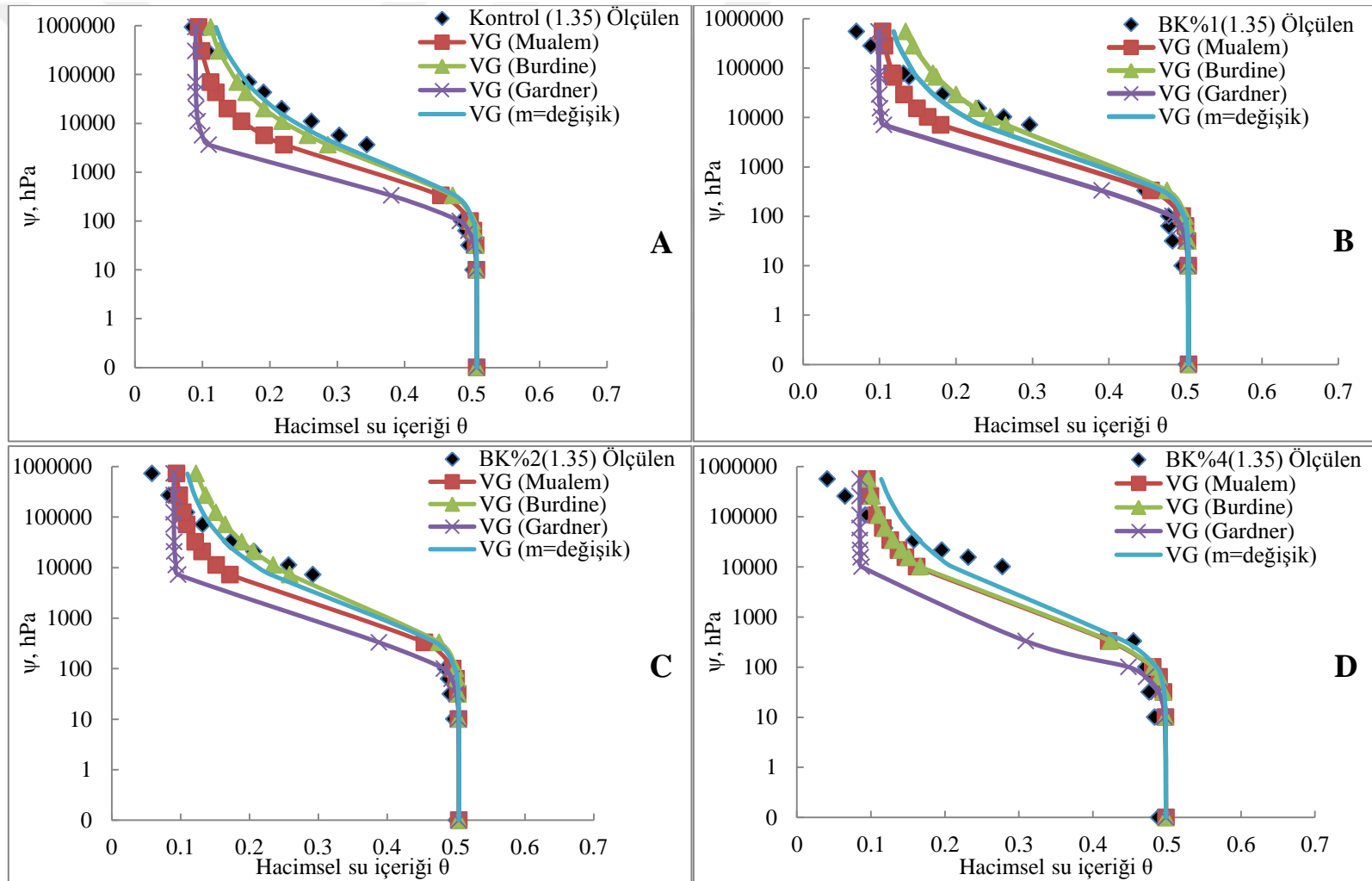
**Çizelge 4.16.** Killi toprağa biyokömür (BK) uygulamasıyla iki farklı hacim ağırlığında (1.20 ve 1.35 g cm<sup>-3</sup>) farklı (m) katsayılarına göre hesaplanan optimum nem ( $\theta_i$ ), strüktürel indis ( $S_{IN}$ ) değerleri ile ölçülen ve tahmin edilen nem sabiteleri arasındaki korelasyon katsayıları ( $R^2$ ) ve normalleştirilmiş hata kareler ortalamasının karekökü (NRMSE)

(m) formülü	Özellikler	(Pb 1.20 g cm <sup>-3</sup> )					(Pb 1.35 g cm <sup>-3</sup> )				
		Kontrol	BK1	BK2	BK 4	P	Kontrol	BK1	BK2	BK4	P
m=1-1/n	$\theta_i$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.37±0.00	0.36±0.00	0.36±0.00	0.36±0.00	NS	0.35±0.01	0.35±0.00	0.34±0.01	0.35±0.01	NS
	$S_{IN}M$	0.10±0.01	0.10±0.02	0.11±0.00	0.12±0.01	NS	0.11±0.01ab	0.11±0.00ab	0.12±0.01a	0.10±0.02b	**
	$R^2$	0.98	0.98	0.98	0.97		0.97	0.97	0.97	0.97	
	NRMSE	1.81	1.30	1.35	1.45		1.99	2.21	2.20	1.87	
m=1-2/n	$\theta_i$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.36±0.00	0.36±0.02	0.38±0.01	0.38±0.00	NS	0.37±0.01a	0.38±0.01a	0.38±0.02a	0.35±0.02b	***
	$S_{IN}B$	0.11±0.00a	0.10±0.01ab	0.10±0.01ab	0.09±0.00b	*	0.09±0.01b	0.08±0.00c	0.08±0.00c	0.10±0.01a	***
	$R^2$	0.97	0.98	0.99	0.99		0.99	0.99	0.99	0.97	
	NRMSE	2.37	1.62	0.70	1.25		0.68	0.86	0.77	1.74	
m=1	$\theta_i$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.31±0.02	0.30±0.02	0.31±0.01	0.30±0.00	NS	0.30±0.02a	0.31±0.01ab	0.30±0.01ab	0.29±0.01b	*
	$S_{IN}G$	0.16±0.00	0.16±0.00	0.17±0.00	0.17±0.00	NS	0.17±0.01ab	0.19±0.01a	0.17±0.01ab	0.16±0.01b	*
	$R^2$	0.93	0.94	0.95	0.95		0.91	0.94	0.94	0.92	
	NRMSE	8.45	5.88	4.17	3.50		9.17	4.97	5.04	5.50	
m≠1	$\theta_i$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.39±0.00a	0.38±0.01b	0.38±0.00b	0.38±0.00b	**	0.38±0.05	0.37±0.03	0.37±0.02	0.36±0.06	NS
	$S_{IN}VG$	0.08±0.00c	0.08±0.00c	0.09±0.00b	0.10±0.00a	***	0.08±0.00	0.11±0.03	0.09±0.00	0.08±0.01	NS
	$R^2$	0.99	0.99	0.99	0.98		0.99	0.99	0.98	0.98	
	NRMSE	0.55	0.72	0.70	1.11		0.35	0.76	0.67	1.07	

\* m=1-1/n,  $S_{IN}M$  (Mualem, 1976), m=1-2/n,  $S_{IN}B$  (Burdine, 1953), m=1,  $S_{IN}G$  (Gardner, 1958), ve m≠1,  $S_{IN}VG$  (van Genuchten, 1980), \* P<0.05, \*\* P<0.01, \*\*\* P<0.001.



Şekil 4.13. A, B, C ve D, Killi toprağa biyokömür (BK) uygulamalarında,  $1.20 \text{ g cm}^{-3}$  hacim ağırlığında ölçülen ile farklı modellerden tahmin edilen su tutma eğrileri



**Şekil 4.14.** A, B, C ve D, Killi toprağa biyokömür (BK) uygulamalarında,  $1.35 \text{ g cm}^{-3}$  hacim ağırlığında ölçülen ile farklı modellerden tahmin edilen su tutma eğrileri

Farklı dozda BK uygulanan, iki farklı hacim ağırlığında sıkıştırılan kumlu tın toprağın, farklı m katsayılarına göre hesaplanan optimum nem ( $\theta_i$ ) ve strüktürel indis ( $S_{IN}$ ) ile ölçülen ve hesaplanan TSTE'ye ait parametreler arasındaki korelasyon katsayıları ( $R^2$ ) ve normalleştirilmiş hata kareler ortalamasının karekökü (NRMSE) Çizelge 4.17'de verilmiştir. Buna göre, kumlu tın toprağa BK uygulamalarının  $Pb1$  değerinde,  $m \neq 1$  ( $m_4$ ) için  $\theta_{iVG}$  ve  $S_{IN}$  (van Genuchten, 1980) hariç, diğer tüm  $Pb$  değerlerinin ve BK uygulamalarının parametreleri aralarındaki farklılığa etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

$Pb1$ 'de,  $m_1$ 'e göre;  $\theta_i$  0.27-0.28  $cm^3 cm^{-3}$   $S_{IN}$  0.06-0.07,  $m_2$ 'e göre;  $\theta_i$  0.24-0.25  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  tüm BK uygulama dozlarında benzer değer 0.09 bulunmuş,  $m_3$ 'e göre;  $\theta_i$  0.21-0.22  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  tüm BK uygulama dozlarında benzer değer 0.12 bulunmuş,  $m_4$ 'e göre;  $\theta_i$  0.28-0.30  $cm^3 cm^{-3}$  ve  $S_{IN}$  0.05-0.06 aralarında değişmiştir.  $Pb2$ 'de,  $m_1$ 'e göre;  $\theta_i$  0.24-0.26  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  0.05-0.06,  $m_2$ 'ye göre;  $\theta_i$  değerleri tüm dozlarda 0.22  $cm^3 cm^{-3}$  bulunmuş,  $S_{IN}$  tüm dozlarda benzer değer 0.08,  $m_3$ 'e göre;  $\theta_i$  0.19-0.20  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  0.10-0.11,  $m_4$ 'e göre;  $\theta_i$  0.26-0.27  $cm^3 cm^{-3}$  ve  $S_{IN}$  0.04-0.05 aralarında değişmiştir. Ölçülen ve hesaplanan TSTE'ye ait parametreleri arasındaki korelasyon katsayıları en düşük  $m_3$ 'de (0.84-0.92) ve en yüksek  $m_4$ 'te (0.97-1.00) hesaplanırken, en düşük NRMSE değerleri ise yine  $m_4$ 'te (0.20-1.22) hesaplanmıştır. Ayrıca kumlu tın toprağa BK uygulamalarının  $Pb1$  ve  $Pb2$ 'de ölçülen ve hesapla bulunan TSTE'ye etkileri Şekil 4.15: A, B, C ve D'de ve Şekil 4.16: A, B, C ve D'de verilmiştir. Buradan da görüleceği gibi ölçülen değerlerden elde edilen su tutma eğrileri, hesapla bulunan eğrilerden önemli ölçüde fark bulunmuştur. Bu sonuçlardan da anlaşılacağı üzere hem BK uygulamalarında ve hem de farklı hacim ağırlıklarında kumlu tın toprağın nem sabitelerini belirlemede  $m_4$  eşitliği kullanılarak yapılan hesaplamaların daha yüksek doğrulukta sonuçlar vereceği bulunmuştur. Diğer taraftan, kumlu tın toprakta  $Pb1$ 'de uygulanan BK dozu arttıkça  $m_4$ 'te  $\theta_i$  ve  $S_{IN}$  değerleri önemli düzeyde sırayla;  $p < 0.001$  ve  $p < 0.01$  düzeyinde artmış, ancak  $Pb2$ 'de uygulana BK dozu artması ile  $\theta_i$  ve  $S_{IN}$  değerleri önemsiz çıkmıştır. BK4 dozunda,  $Pb1$ 'de kontrol ile kıyaslandığında  $\theta_i$  değerinde % 7.14 olarak artış ve  $S_{IN}$  değerinde % 16.66 olarak oranında bir düşüş meydana gelmiş, böylece kumlu tın tekstürlü toprağa BK'nın uygulamaları kil tekstürlü toprağa göre ters davranmıştır. Bunun nedeni; kumlu tın toprağın kollidal maddeler içeriği son derece düşük olması ile kolloid-BK arasında köprü bağ oluşmamsın ve toprağın strüktürünün

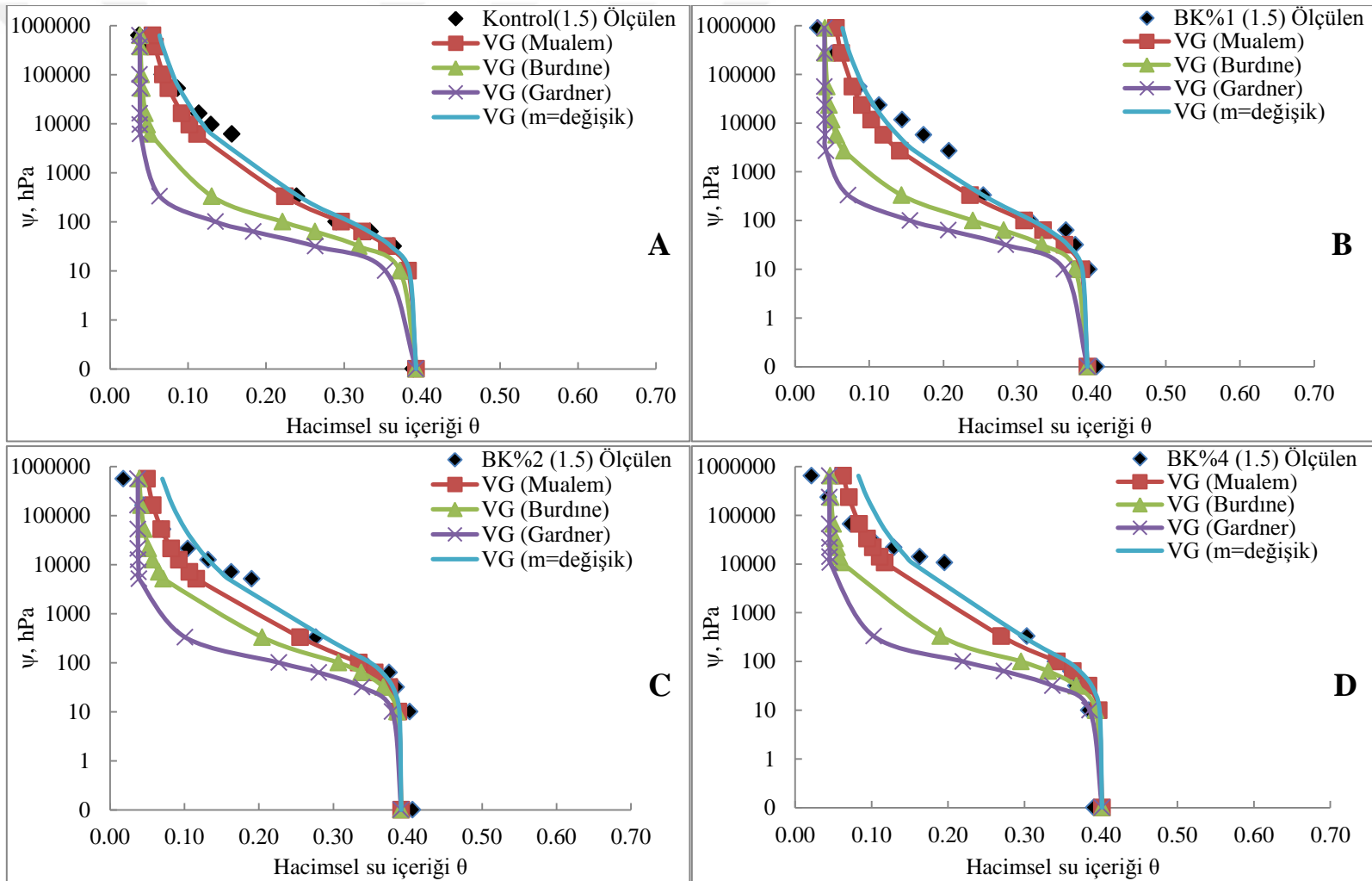
gelişmemesidir. Ancak BK'nın gözenekliliğinin kumlu tın toprağıktan daha fazla olması nedeniyle tıvdaki tutulan nem miktarı kısmen artırmıştır.



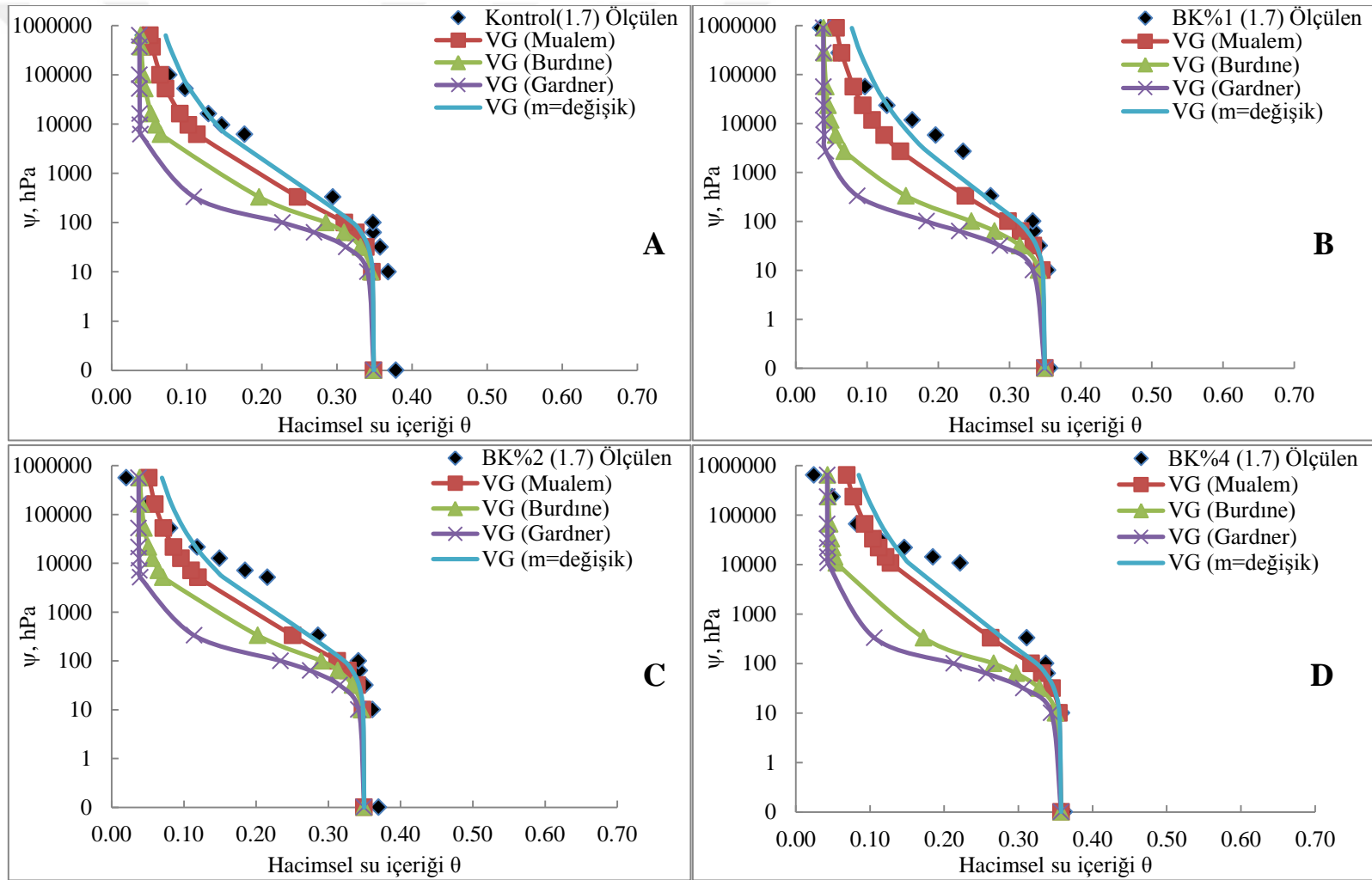
**Çizelge 4.17.** Kumlu tın toprağa biyokömür (BK) uygulamasıyla iki farklı hacim ağırlığında (1.50 ve 1.70 g cm<sup>-3</sup>) farklı (m) katsayılarına göre hesaplanan optimum nem ( $\theta_i$ ), strüktürel indeksi ( $S_{IN}$ ) değerleri ile ölçülen ve tahmin edilen nem sabiteleri arasındaki korelasyon katsayıları ( $R^2$ ) ve normalleştirilmiş hata kareler ortalamasının karekökü (NRMSE)

(m) formülü	Özellikler	(Pb 1.50 g cm <sup>-3</sup> )					(Pb 1.70 g cm <sup>-3</sup> )				
		Kontrol	BK1	BK2	BK 4	P	Kontrol	BK1	BK2	BK4	P
m=1-1/n	$\theta_i$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.28±0.01	0.28±0.00	0.27±0.01	0.28±0.00	NS	0.24±0.01	0.25±0.01	0.24±0.00	0.26±0.02	NS
	$S_{IN}M$	0.06±0.01	0.06±0.00	0.07±0.01	0.06±0.00	NS	0.06±0.01	0.05±0.00	0.06±0.00	0.05±0.00	NS
	$R^2$	0.99	0.98	0.98	0.97		0.99	0.97	0.97	0.96	
	NRMSE	0.34	0.89	0.96	1.05		1.17	2.03	1.81	1.82	
m=1-2/n	$\theta_i$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.24±0.01	0.24±0.00	0.25±0.00	0.25±0.01	NS	0.22±0.00	0.22±0.00	0.22±0.00	0.22±0.00	NS
	$S_{IN}B$	0.09±0.00	0.09±0.00	0.09±0.00	0.09±0.00	NS	0.08±0.00	0.08±0.00	0.08±0.00	0.08±0.00	NS
	$R^2$	0.96	0.98	0.99	0.99		0.97	0.91	0.94	0.90	
	NRMSE	5.69	2.97	4.04	2.98		3.91	8.31	74.90	7.14	
m=1	$\theta_i$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.22±0.01	0.22±0.01	0.21±0.01	0.22±0.01	NS	0.19±0.01b	0.19±0.01b	0.19±0.00b	0.20±0.00a	NS
	$S_{IN}G$	0.12±0.00	0.12±0.00	0.12±0.00	0.12±0.00	NS	0.11±0.00	0.10±0.01	0.11±0.01	0.10±0.01	NS
	$R^2$	0.89	0.88	0.92	0.88		0.92	0.84	0.88	0.85	
	NRMSE	9.38	11.69	7.79	8.35		8.52	13.86	9.64	11.12	
m≠1	$\theta_i$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.28±0.00b	0.29±0.00a	0.28±0.00b	0.30±0.00a	***	0.26±0.00	0.26±0.01	0.26±0.01	0.27±0.01	NS
	$S_{IN}VG$	0.06±0.00a	0.06±0.00a	0.06±0.00a	0.05±0.00b	**	0.05±0.00	0.04±0.01	0.05±0.01	0.04±0.00	NS
	$R^2$	0.99	0.99	0.99	0.98		1.00	0.98	0.98	0.97	
	NRMSE	0.20	0.47	0.52	0.90		0.45	0.68	0.86	1.22	

\* m=1-1/n,  $S_{IN}M$  (Mualem, 1976), m=1-2/n,  $S_{IN}B$  (Burdine, 1953), m=1,  $S_{IN}G$  (Gardner, 1958), ve m≠1,  $S_{IN}VG$  (van Genuchten, 1980), \*\*, P<0.01, \*\*\* P<0.001.



**Şekil 4.15.** A, B, C ve D, kumlu tın toprağa biyokömür (BK) uygulamalarında,  $1.50 \text{ g cm}^{-3}$  hacim ağırlığında ölçülen ile farklı modellerden tahmin edilen su tutma eğrileri



**Şekil 4.16.** A, B, C ve D, kumlu tın toprağa biyokömür (BK) uygulamalarında,  $1.70 \text{ g cm}^{-3}$  hacim ağırlığında ölçülen ile farklı modellerden tahmin edilen su tutma eğrileri



## 4.7. Kireç Uygulamalarının Toprakların Su Tutma Eğrilerinein Etkisi

### 4.7.1. Ölçülen toprak su tutma eğrileri

Çalışmada L'nin % 0, 5, 10 ve 20 oranlarında uygulandığı ve bir ay inkübasyona bırakılan killi ve kumlu tın toprakların, iki farklı hacim ağırlığında, doymun bölgeden kuru bölgeye kadar TSTE grafikleri Şekil 4.17, A, B, C ve D'de verilmiştir. Killi ( $Pb1; 1.20 \text{ g cm}^{-3}$  ve  $Pb2; 1.35 \text{ g cm}^{-3}$ ) ve kumlu tın toprağın ( $Pb1; 1.50 \text{ g cm}^{-3}$  ve  $Pb2; 1.70 \text{ g cm}^{-3}$ ); doymun su içeriği ( $\theta_s, \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), tarla kapasitesi ( $\theta_{TK}; \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), solma noktası ( $\theta_{SN}; \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), faydalı su içeriği ( $\theta_{FS}; \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), kalan su içeriği ( $\theta_r, \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) ile hesaplanan TSTE nem sabiteleri;  $\theta_s$  ve  $\theta_r$ ,  $\alpha$ ,  $n$  ve  $m$  katsayılar ve hava giriş değeri ( $1/\alpha, \text{ cm}$ ) Çizelge 4.18 ve 4.19'de verilmiştir.

Killi toprakta  $Pb2$ 'de ölçülen  $\theta_s$  değeri ve kumlu tın toprakta  $Pb1$ 'de ölçülen ile hesaplanan ve  $Pb2$ 'de hesaplanan  $\theta_s$  ile  $Pb1$  ve  $Pb2$ 'de ölçülen  $\theta_r$  değerleri hariç, tüm uygulamaların etkisi istatistiksel olarak önemli çıkmıştır (Çizelge 4.18 ve 4.19). Buna göre, her iki toprağın da TSTE'si, hem L uygulaması ve uygulama dozu ve hem de oluşturulan hacim ağırlıklarına göre farklı bulunmuştur. Bu farklılık killi toprakta, kumlu tın toprağa göre daha yüksek kaydedilmiştir.

Killi toprakta ölçülen  $\theta_s$  değeri, hacim ağırlığı artış ile kontrol örneğinde % 7.27 olarak azalırken,  $Pb1$ 'de L'nin uygulama dozundaki artışla sadece L20 uygulamasında % 3.63'lük bir ( $p < 0.05$ ) düşüş belirlenmiştir (Çizelge 4.18). Diğer taraftan hesapla bulunan  $\theta_s$  değerleri, ölçümle bulunan  $\theta_s$  değerlerine göre büyük oranda yakındır. Kontrole göre her iki  $Pb$  değerleri için L10 dozu hariç tutulursa diğer uygulama dozlarında  $\theta_s$  değerinde düşüş meydana gelmiş ve bu düşüş oranı L20 dozunda  $Pb1$  için % 5.66 iken  $Pb2$  için % 5.88 olarak bulunmuştur. Ayrıca  $Pb1$ 'de L'nin tüm dozlarının ortalaması  $0.55 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken, hesaplanan değerlerin ortalaması  $0.52 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ 'tür,  $Pb2$ 'de ortalama  $0.50 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken hesaplanan değerlerin ortalaması da  $0.50 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ 'tür. Bu durum, ıslak bölgede  $\theta_s$  tahmininin her iki  $Pb$  değerlerinde de yüksek doğrulukta çalışabileceğini göstermektedir.  $Pb1$ 'de L20 uygulamasında (topraktaki mevcut kireç oranı ile toplam % 32 olursa) killi toprağın  $\theta_s$  değerindeki düşmenin nedeni toprak matriksindeki kireç oranının artış ile kil oranının düşmesi, dolayısıyla yüzey alanı ve gözeneklerin azalması ile açıklanabilecektir. Diğer taraftan yapılan bazı çalışmalarda kirecin toprağa uygulamasından sonraki dönemde

katyon değişim yoluyla kil tanelerinin flokülasyon ve agregasyonu ile toprağın makro-gözeneklerin artırdığı ifade edilmiştir. (Russo ve ark., 2007; Lemaire ve ark., 2013; Russo ve Modoni, 2013).

L uygulamalarının *Pb1* ve *Pb2*'de toprağın  $\theta_{TK}$  değerlerine etkisi azaltıcı yönde ve istatistiksel olarak önemli sırayla ( $p < 0.001$  ve  $p < 0.01$ ) bulunmuştur, kontrol örnekleri için *Pb2*'de *Pb1*'e göre % 9.52 olarak daha yüksek  $\theta_{TK}$  değerleri ( $0.46 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) belirlenmiştir (Çizelge 4.18). L uygulamalarının dozundaki artış ile kontrole göre *Pb1* ve *Pb2*'de sadece L20 dozunda  $\theta_{TK}$  değeri sırayla; % 14.29 ve % 13.04 olarak düşerken, diğer L uygulama dozları etki etmemişlerdir. (Khattab, 2002) tarafından yürütölen bir çalışmada killi bir toprağa farklı dozlarda kireç uygulamalarının su tutma eğrisine etkisi belirlenmiş ve elde edildiği sonuçlara göre, kireç arttıkça toprağın su tutma kapasitesi düşürdüğünü kaydedilmiştir. Zhang ve ark. (2017) toprağa kireç uygulamalarının toprağın hacimsel stabilitesini artırmasına rağmen, folekülasyon ve meydana gelen bağlanmadan dolayı dışa açık bir ströktür oluşması ve bu nedenle su tutma kabiliyetini düştüğünü ifade etmişlerdir.

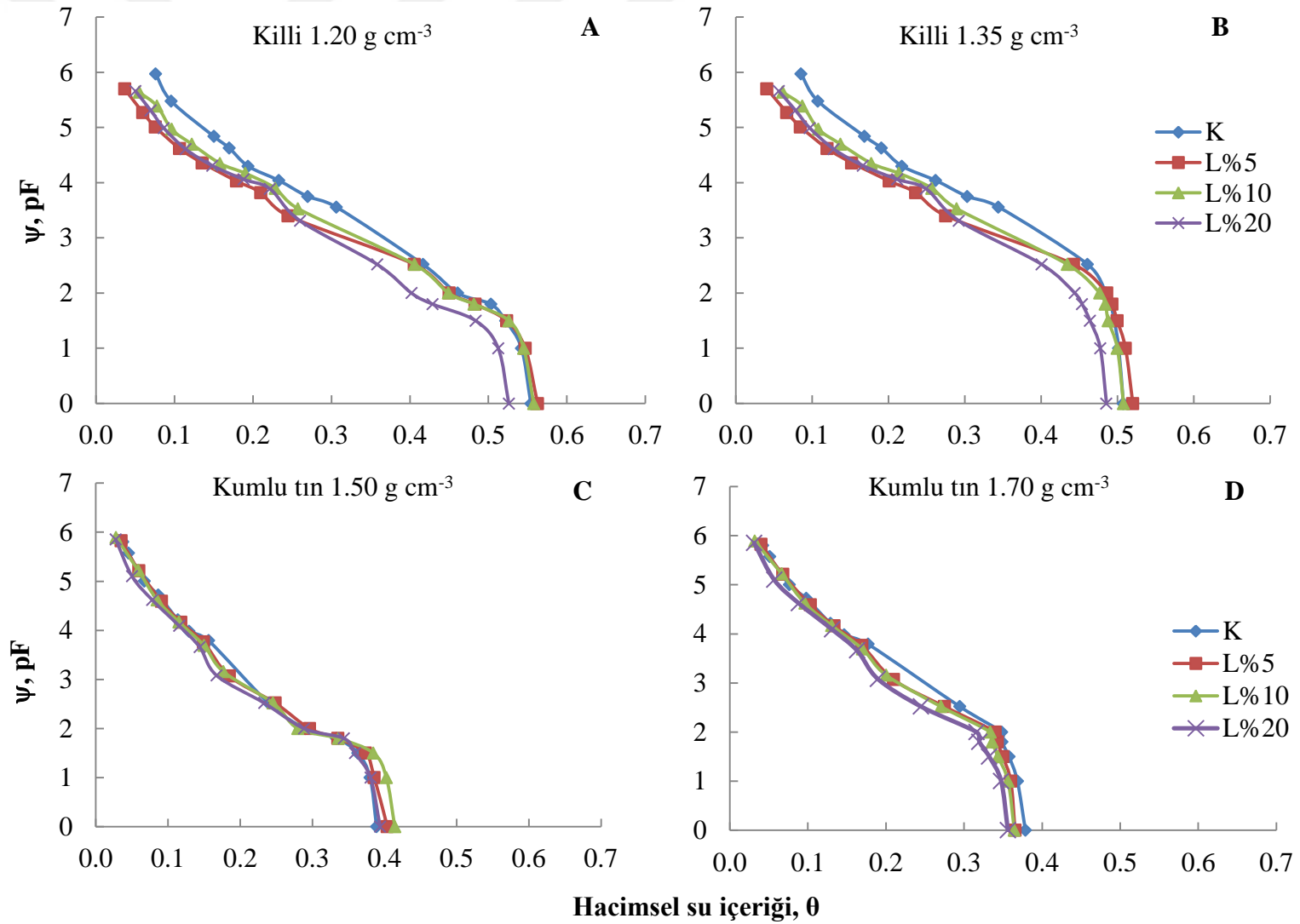
Her iki hacim ağırlığında da toprağın  $\theta_{SN}$  değerlerine L uygulamalarının etkisi istatistiksel açıdan önemli ( $p < 0.001$ ) düşüşler bulunmuştur. Kontrol örnekleri için *Pb2*'de, *Pb1*'e göre % 14.29 olarak daha yüksek çıkmışken, L20 uygulama dozunda  $\theta_{SN}$  değerinde *Pb1*'de % 23.80 ve *Pb2*'de % 33.33 olarak düşüşler meydana gelmiştir (Çizelge 4.18). Bu durum, killi toprağa uygulanan kireç dozu artış ile her iki *Pb*'deki solma noktasında tutulan su miktarı düşürmüş, bu düşmenin nedeni olarak daha önce ifade edildiği gibi toprak matriksindeki kireç oranının artmasıyla kil miktarının oransal olarak azalması ile ilişkilendirilmiştir. Nitekim kireç kilden daha düşük yüzey alanın sahip olup, ayrıca yüzey yükü de taşımamaktadır. Kil minerallerinin iç ve dış yüzeylerin tarafından suyun tutulmasında Coulomb çekim (zıt yüklerin çekimi), hidrojen bağları, yüzey gerilimi ve Van der Waals kuvvetleri etkin iken, kireç tarafından suyun tutulması sadece dış yüzeyde yüzey gerilimi ve adezyon kuvvetleriyle olmaktadır. Bu nedenle kireci topraklar hem ıslak bölgede ve hem de kuru bölgede killi topraklara göre daha düşük miktarda su tutmaktadırlar. Ayrıca topraktaki kireç miktarının artış ile bazı mikro gözeneklerinin girişlerinin çimentolu bileşikler ile doldurularak tıkanması söz konusu olabilmektedir. Bu durumda kumlu tın toprakta olduğu gibi gözeneklerin sayısı ve ortalama gözenek çapı düşmektedir (Russo ve Modoni, 2013).

Her iki  $Pb$  değerlerinde, killi toprağın  $\theta_{FS}$  kapsamına L uygulamalarını etkisi istatistiksel olarak önemli sırayla ( $p<0.05$  ve  $p<0.001$ ) bulunmuştur.  $Pb1$  ve  $Pb2$ 'de kontrole göre L uygulama dozu artış ile sadece L5 uygulama dozundaki  $\theta_{FS}$  değerleri sırayla % 23.81 ve % 28.57 olarak artırmış, ancak diğer L uygulama dozlarının etkisi önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.18). Bu artışın nedeni olarak her iki  $Pb$  değerleri için de L5 uygulama dozu bir taraftan toprağın  $\theta_{TK}$  değerlerine etki gözlenmemiş, diğer taraftan  $\theta_{SN}$  değerlerinde önemli düşüş oluşturmasından kaynaklanmıştır.

Her iki  $Pb$  değerlerinde de killi toprağın ölçülen  $\theta_r$  değerlerine L uygulamalarını etkisi istatistiksel olarak önemli ( $p<0.001$ ) bulunmuştur. L uygulama dozu artış ile toprakların  $\theta_r$  değerleri artırmıştır. L10 ve L20 dozlarında her iki  $Pb$  değerleri için artış oranı % 2.41 olarak bulunmuş, L5 uygulamasında ise % 4.82 olarak gözlenmiştir (Çizelge 4.18).  $Pb1$  ve  $Pb2$ 'de tüm  $\theta_r$  değerleri benzer bulunmuş ve kontrol örneğinin  $\theta_r$  değeri  $0.083 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken, L20 dozlarında  $0.085 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ 'tür. Diğer taraftan hesapla bulunan  $\theta_r$  değerleri, ölçümle bulunan  $\theta_r$  değerlerine büyük oranda yakın olmasına rağmen, hesapla bulunan  $\theta_r$  değerlerin yönü tam ters bulunmuş ve kontrole göre L dozu arttıkça  $\theta_r$  değeri düşmüştür.  $\theta_r$  değeri L20 dozunda  $Pb1$  için % 16.09 ve  $Pb2$  için % 10.00 olarak düşüş meydana gelmiştir. L'nin tüm dozlarının ortalaması  $0.085 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken, hesaplanan değerlerin ortalaması  $Pb1$ 'de  $0.082 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  ve  $Pb2$ 'de  $0.088 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ 'tür. Bu durum kuru bölgede  $\theta_r$ 'nin tahmininin yüksek doğrulukta çalışabileceğini, ancak yön olarak doğru sonuç vermeyeceğini göstermektedir. Burada L uygulamaları büyük oranda  $\theta_r$  değerini artıracı yönde etkilenmiş ve bunun nedeninin kirecin kısmen daha fazla higroskopik suyun tutmasına neden olması ile açıklanabilecektir.

Farklı dozlarda L uygulanan ve iki farklı hacim ağırlığında sıkıştırılan killi toprağın  $\alpha$  katsayıları 0.0012-0.0056, hava giriş değerleri 178-833 cm,  $n$  katsayıları 1.48-1.99 ve  $m$  katsayı ise 0.01-0.50 aralıklarında değişim göstermiştir (Çizelge 4.18).  $Pb1$  için L uygulamaların dozu artış ile  $\alpha$  katsayısı L20 dozu hariç tutulursa diğer dozlarında düşüş belirlenmiştir.  $Pb2$  için  $\alpha$  katsayı değerleri daha düşük bulunmuş ve kontrole göre L5 dozunda düşüş ve L20 dozunda da artış belirlenmiştir.  $\alpha$  katsayısından hesaplanan  $1/\alpha$  değerleri ise L uygulamalar ve toprak sıkışması ile  $Pb1$  için L5, L10 ve L20 uygulama dozları kontrol örneğine göre sırayla; % 79.31 ve % 34.48 olarak artış ve % 23.28 olarak düşüş belirlenirken,  $Pb2$  için L5 ve L20 dozlarında sırasıyla; % 49.82 artış ve % 28.06

olarak düşüş, L10 dozunda ise değişmemiştir. Bu durumun,  $Pb1$ 'de killi toprağa L5 ve L10 uygulamalarının dozundaki artış ile hava giriş değerleri artırmış,  $Pb2$ 'de ise kireç içeriği ile toprak sıkışması arttıkça hava giriş değerleri sınırlı düzede artırmıştır. L20 dozunda etkisi tam ters yönde olmuştur. Genellikle toprakların hava giriş değerleri toprağın makro gözeneklerinin artırması ile düşüş göstermektedir (Wang ve ark., 2015). Öte yandan kireç oranı ile toprak sıkışması arttıkça doğru orantılı olarak hava giriş değerlerinin arttığı kaydedilmişlerdir (Khatab ve Al-Taie, 2006).  $n$  katsayısı her iki  $Pb$  değerinde L uygulama dozu artış ile L20 dozu hariç tutulursa artmıştır.  $m$  katsayısı ( $m \neq 1$ ) ise her iki  $Pb$  değerleri için tüm L uygulama dozu kontrole göre daha yüksektir. Bu durum toprağın kireç içeriğinin su tutma eğrisinin şeklini ve eğimini etkilediğini, bu nedenle yapılacak uygulamalarda ve tahminlerde bunun dikkate alınması gerekmektedir.



Şekil 4.17. A, B, C ve D, Killi ve kumlu tın topraklara farklı dozlarda uygulanan kirecin (L) iki farklı hacim ağırlığında ölçülen su tutma eğrileri

**Çizelge 4.18.** Killi toprağa kireç (L) uygulamasıyla iki farklı hacim ağırlığında (1.20 ve 1.35 g cm<sup>-3</sup>) ölçülen ve hesaplanan nem sabiteleri.

Özellikler	(Pb 1.20 g cm <sup>-3</sup> )					(Pb 1.35 g cm <sup>-3</sup> )					
	Kontrol	L5	L10	L20	P	Kontrol	L5	L10	L20	P	
<b>Ölçülen</b>	<b>θs</b> cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.55±0.01a	0.54±0.01ab	0.56±0.01a	0.53±0.01b	*	0.51±0.01	0.51±0.01	0.50±0.01	0.49±0.01	NS
	<b>θ<sub>TK</sub></b> cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.42±0.01a	0.41±0.01a	0.41±0.01a	0.36±0.01b	***	0.46±0.01a	0.44±0.01a	0.43±0.00a	0.40±0.02b	**
	<b>θ<sub>SN</sub></b> cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.21±0.01a	0.15±0.01c	0.18±0.01b	0.16±0.01c	***	0.24±0.00a	0.17±0.00b	0.20±0.01b	0.18±0.02b	***
	<b>θ<sub>FS</sub></b> cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.21±0.02b	0.26±0.00a	0.23±0.01ab	0.20±0.03b	*	0.21±0.01b	0.27±0.01a	0.23±0.01b	0.22±0.01b	***
	<b>θ<sub>r</sub></b> cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.083±0.01c	0.087±0.00a	0.085±0.00ab	0.085±0.00b	***	0.083±0.01c	0.087±0.00a	0.085±0.00ab	0.085±0.00b	***
<b>Hesaplanan</b>	<b>θs</b> cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.53±0.01a	0.51±0.01b	0.52±0.01ab	0.50±0.01b	**	0.51±0.01a	0.49±0.01b	0.50±0.01ab	0.48±0.01c	**
	<b>θ<sub>r</sub></b> cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.087±0.00a	0.082±0.00b	0.084±0.00b	0.073±0.00c	***	0.090±0.01ab	0.093±0.01a	0.088±0.01ab	0.081±0.01b	*
	<b>α</b> cm <sup>-1</sup>	0.0043±0.00a	0.0024±0.00b	0.0032±0.00b	0.0056±0.00a	***	0.0018±0.00b	0.0012±0.00c	0.0018±0.00b	0.0030±0.00a	***
	<b>1/α</b> cm	232±2.00c	416±1.15a	312±1.53b	178±1.53d	***	556±4.04b	833±2.00a	556±1.15b	400±2.89c	***
	<b>n</b>	1.48±0.01c	1.76±0.02a	1.61±0.01b	1.48±0.01d	***	1.61±0.01c	1.99±0.04a	1.71±0.01b	1.63±0.02c	***
	<b>m=1-1/n</b>	0.32	0.43	0.38	0.33		0.38	0.50	0.41	0.39	-
	<b>m=1-2/n</b>	0.35	0.14	0.24	0.35		0.25	0.01	0.17	0.22	-
<b>m≠1</b>	0.20	0.26	0.24	0.22		0.22	0.27	0.28	0.29	-	

**θ<sub>TK</sub>** (Tarla kapasitesi), **θ<sub>SN</sub>**, (Solma noktası), **θ<sub>FS</sub>** (Faydalı su içeriği), **θ<sub>r</sub>** (Kalan su içeriği), **θs** (Doğgun su içeriği), α, n ve m katsayılar, 1/α hava giriş değeri, \* (p<0.05), \*\* (p<0.01) ve \*\*\* (p<0.001)

Kumlu tın toprakta, kontrol örneğinde ölçülen  $\theta_s$  değeri  $P_b$  değeri artış ile % 5.41 olarak düşüş kaydedilmiştir.  $P_b2$  değerinde L'nin uygulama dozundaki artışla ilişkili kontrole göre L10 ve L20 dozularında aynı oranda sınırlı düzeyde % 2.70 istatistiksel olarak önemli ( $p<0.01$ ) düşüş belirlenmiştir (Çizelge 4.19). Diğer taraftan hesapla bulunan  $\theta_s$  değerleri, ölçümle bulunan  $\theta_s$  değerlerine büyük oranda yakındır.  $P_b1$  de L'nin tüm dozlarının ortalaması  $0.40 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken, hesaplanan değerlerin ortalaması  $0.39 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ 'tür,  $P_b2$ 'de ortalama  $0.37 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken hesaplanan değerlerin ortalaması ise  $0.35 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  'tür. Bu durum, ıslak bölgede  $\theta_s$ 'nin tahminininin  $P_b1$ 'de daha yüksektir. Her iki  $P_b$  değerlerinde de yüksek doğrulukta çalışabileceğini göstermektedir. Buna göre,  $P_b1$ 'de kumlu tın toprağın organik maddesi, kil içeriği ve gözeneklilik miktarı düşük olduğu için L uygulama etkisi gözlenmemiştir.  $P_b2$ 'de ise sıkışmadan dolayı özellikle yüksek L dozunda çok sınırlı düzeyde düşürdüğünü gözlenmiştir.

Her iki  $P_b$  için L uygulamalarının toprağın  $\theta_{TK}$  değerlerine etkisi istatistiksel açıdan önemli ( $p<0.01$ ) bulunmuştur. kontrol örnekleri için  $P_b2$ 'de  $P_b1$ 'e göre % 16.66 olarak daha yüksek  $\theta_{TK}$  değerleri ( $0.28 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) belirlenmiştir. Kontrole göre her iki  $P_b$  değerlerinde L uygulama dozu artış ile etkisi önemsiz bulunmuştur. L uygulama dozları arasındaki fark sadece L20 dozunda (toplam kireç % 33) önemli bulunmuş ve L5 dozuna göre L20 dozu  $P_b1$  için % 8 ve  $P_b$  için % 7.41 olarak bir düşüş meydana gelmiştir (Çizelge 4.19). Bu durum, kumlu tın toprağa L uygulamaları L20 dozuna (toplam yaklaşık % 33) kadar strüktürel özellikleri üzerine etki belirlenmemiştir. Kireç uygulamam oranı arttıkça topraktaki makro gözeneklerin oranı artış ile su tutma kapasitesi düşürmüştür ve kolaylıkla düşük tansiyonlarda tutulan suyu gözeneklerden drene olmuştur.

Her iki hacim ağırlığında da toprağın  $\theta_{SN}$  değerleri için L uygulamalarının etkisi ile istatistiksel açıdan önemli ( $p<0.001$ ) düşüş kaydedilmiştir, kontrol örneklerinde  $P_b2$ 'de,  $P_b1$ 'e göre % 8.33 daha yüksektir.  $P_b1$  için kontrole göre  $\theta_{SN}$  değeri L20 dozunda düşüş oranı % 16.66 iken,  $P_b2$  için % 15.38 olarak düşmüştür (Çizelge 4.19). Bu durum, kumlu tın toprağa kireç uygulama dozlarının artış ile her iki  $P_b$  değerlerinde solma noktasında tutulan suyun miktarında düşüşün nedeni toprakta kireç miktarı arttıkça bazı mikro gözeneklerinin girişleri çimentolu bileşikler ile tıkanarak kapanır ve böylece gözeneklerin sayısı ve ortalama çaplarında düşüş ile ilişkilendirilmişlerdir (Russo ve Modoni, 2013).

Her iki *Pb* değerleri için kumlu tın toprağın  $\theta_{FS}$  kapsamına L uygulamalarını etkisi istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.001$ ) bulunmuştur. Kontrole göre *Pb1*'de sadece L20 dozunda  $\theta_{FS}$  değeri önemsiz belirlenmişken, L5 ile L10 dozlarda  $\theta_{FS}$  değerinde sırayla; % 16.66 ve % 25 oranlarında artışlar belirlenmiştir (Çizelge 4.19). *Pb2*'de kontrole göre sadece L20 dozunda % 6.66  $\theta_{FS}$  değerinde bir düşüş gözlenmiştir. Bu durum, her iki *Pb* değerlerinde L uygulama artış ile kontrole göre bir taraftan  $\theta_{TK}$  değerleri sınırlı düzeyde sadece L20 dozunda bir düşüş, diğer taraftan  $\theta_{SN}$  değerlerinde düşüşler kaydedilmiştir.

Kumlu tın toprakta, her iki *Pb* değerlerinde de, hesaplanan  $\theta_r$  değerlerine L uygulamalarını etkisi önemli ( $p < 0.001$ ) belirlenmiştir. Kontrole göre  $\theta_r$  değerinde L20 dozunda *Pb1* için % 15.78 ve *Pb2* için % 10.81 bir düşüş meydana gelmiştir (Çizelge 4.19). Her iki *Pb* değerleri için tüm  $\theta_r$  değerleri benzer bulunmuş ve kontrol örneğinin  $\theta_r$  değeri  $0.051 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken, L20 dozlarında  $0.050 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ 'tür. Diğer taraftan hesaplanan  $\theta_r$  değerleri, ölçümle bulunan  $\theta_r$  değerlerine yakındır. Hesaplanan  $\theta_r$  değerleri her iki *Pb* değerlerinde L uygulama dozu artış ile düşüştür. Her iki *Pb* değerlerinde L uygulaması tüm dozlarında  $\theta_r$  ortalaması  $0.050 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken, hesaplanan değerlerin ortalaması *Pb1* ve *Pb2*'de eşit değerinde  $0.035 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  bulunmuşlardır. Bu durum kuru bölgede  $\theta_r$ 'nin yüksek doğrulukta tahmin edilebileceğini göstermektedir.

Farklı dozlarda L uygulamalarının, iki farklı hacim ağırlığında sıkıştırılan kumlu tın toprağın  $\alpha$  katsayıları 0.0070-0.0208, hava giriş değerleri 48-143 cm,  $n$  katsayıları 1.32-1.39 arasında ve  $m$  katsayısı ise 0.19-0.51 aralıklarında değişim göstermiştir (Çizelge 4.19). *Pb1*'de L uygulamaları, doz artış ile  $\alpha$  katsayısını düşmüştür. *Pb2*'de  $\alpha$  katsayısının değerleri *Pb1*'e göre daha düşük ve kontrole göre sadece L20 dozunda artış gözlenmiştir. *Pb1*'de  $\alpha$  katsayıları için hesaplanan hava giriş değerinde ise kontrole göre L5, L10 ve L20 uygulamalarında sırayla; % 56.25, 50.00 ve 35.41 artışlar belirlenirken, *Pb2*'de sadece L20'de % 30.66 artış belirlenmiştir. Bu durum, L uygulama dozu artış ile *Pb1*'de hava giriş değerlerinde düşüş ise *Pb2*'de sadece L20 dozunda hava giriş değerinde artış gözlenmiştir., kumlu toprağa kireç uygulaması toprağın doymun hidrolik iletkenliği ve tarla kapasitesini düşürür ve toprağın faydalı su içeriği ve hava giriş değerlerinde bir artış meydana getirdiğini kaydedilmişlerdir (Farhadi ve ark., 2018).  $n$  katsayısı her iki *Pb*'de L uygulama dozu artış ile *Pb2*'de L20 dozu hariç tutulursa artmıştır.  $m$  katsayısı ( $m \neq 1$ ) ise *Pb1*'de L



uygulama dozları kontrole göre fazla fark belirlenmemiştir,  $Pb^{2+}$ 'de ise kontrole göre L uygulama dozui artış ile sınırlı düzede artmıştır.



**Çizelge 4.19.** Kumlu Tın toprağa kireç (L) uygulamasıyla iki farklı hacim ağırlığında (1.50 ve 1.70 g cm<sup>-3</sup>) ölçülen ve hesaplanan nem sabiteleri.

Özellikler	(Pb 1.50 g cm <sup>-3</sup> )					(Pb 1.70 g cm <sup>-3</sup> )					
	Kontrol	L 5	L10	L20	P	Kontrol	L5	L10	L20	P	
<b>Ölçülen</b>	<b>θs</b> cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.39±0.01	0.41±0.01	0.40±0.01	0.40±0.01	NS	0.37±0.01a	0.37±0.00a	0.36±0.00b	0.36±0.01b	**
	<b>θTK</b> cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.24±0.01ab	0.25±0.01a	0.25±0.01a	0.23±0.01b	**	0.28±0.01a	0.27±0.01a	0.27±0.01a	0.25±0.00b	**
	<b>θSN</b> cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.12±0.00a	0.11±0.00b	0.10±0.00c	0.10±0.00c	***	0.13±0.00a	0.12±0.00b	0.12±0.00b	0.11±0.00c	***
	<b>θFS</b> cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.12±0.00b	0.14±0.00a	0.15±0.00a	0.13±0.00b	***	0.15±0.00a	0.15±0.01a	0.15±0.00a	0.14±0.01b	***
	<b>θr</b> cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.051±0.01	0.050±0.00	0.050±0.00	0.050±0.00	NS	0.051±0.01	0.050±0.00	0.050±0.00	0.050±0.00	NS
<b>Hesaplanan</b>	<b>θs</b> cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.39±0.01	0.39±0.00	0.39±0.02	0.39±0.01	NS	0.35±0.00	0.35±0.00	0.35±0.00	0.34±0.00	NS
	<b>θr</b> cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0.038±0.00a	0.034±0.00b	0.034±0.00b	0.032±0.00b	***	0.037±0.00a	0.036±0.01a	0.035±0.00b	0.033±0.00b	***
	<b>α</b> cm <sup>-1</sup>	0.0208±0.00a	0.0133±0.00c	0.0138±0.00c	0.0154±0.00b	***	0.0072±0.00b	0.0071±0.00b	0.0070±0.00b	0.0110±0.00a	**
	<b>1/α</b> cm	48±1.52c	75±2.00a	72±2.08a	65±2.64b	***	139±1.53b	141±1.00ab	143±1.54a	95±2.00c	***
	<b>n</b>	1.32±0.02b	1.36±0.01a	1.36±0.00a	1.36±0.01a	**	1.37±0.01b	1.38±0.01ab	1.39±0.02a	1.36±0.01b	*
	<b>m=1-1/n</b>	0.24	0.26	0.26	0.26		0.27	0.28	0.28	0.26	-
	<b>m=1-2/n</b>	0.51	0.47	0.47	0.48		0.46	0.44	0.44	0.47	-
<b>m≠1</b>	0.21	0.22	0.21	0.20		0.19	0.21	0.26	0.21	-	

**θ<sub>TK</sub>** (Tarla kapasitesi), **θ<sub>SN</sub>**, (Solma noktası), **θ<sub>FS</sub>** (Faydalı su içeriği), **θ<sub>r</sub>** (Kalan su içeriği), **θ<sub>s</sub>** (Doygun su içeriği), **α**, **n** ve **m** katsayılar, **1/α** hava giriş değeri, \* (p<0.05), \*\* (p<0.01) ve \*\*\* (p<0.001)

#### 4.7.2. Farklı m katsayı sınıfına göre toprak su tutma eğriesinin tahmini

Farklı dozda L uygulanan, iki farklı hacim ağırlığında sıkıştırılan killi toprağın, farklı m katsayılarına göre hesaplanan optimum nem ( $\theta_i$ ) ve strüktürel indis ( $S_{IN}$ ) ile ölçülen ve hesaplanan TSTE'ye ait parametreler arasındaki korelasyon katsayıları ( $R^2$ ) ve normalleştirilmiş hata kareler ortalamasının karekökü (NRMSE) Çizelge 4.20'te verilmiştir. Buna göre, killi toprağa L uygulamalarının ve her iki Pb'nin m=1 ( $m_3$ ) için  $\theta_i$ G (Gardner, 1958) parametreleri aralarındaki farklılıklara etkisi önemsiz, diğer  $\theta_i$  ve  $S_{IN}$  parametreler aralarındaki farklılıklara etkileri ise istatistiksel olarak önemli belirlenmiştir. Pb1'de, m=1-1/n ( $m_1$ )'e göre;  $\theta_i$  0.34-0.37  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ,  $S_{IN}$  0.10-0.13, m=1-2/n ( $m_2$ )'e göre;  $\theta_i$  0.34-0.40  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ,  $S_{IN}$  0.07-0.11,  $m_3$ 'e göre;  $\theta_i$  0.29-0.31  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ,  $S_{IN}$  0.16-0.19, m $\neq$ 1 ( $m_4$ )'e göre;  $\theta_i$  0.36-0.39  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  ve  $S_{IN}$  0.08-0.10 aralarında değişmiştir. Pb2'de,  $m_1$ 'e göre;  $\theta_i$  0.33-0.35  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ,  $S_{IN}$  0.11-0.15,  $m_2$ 'ye göre;  $\theta_i$  0.36-0.48  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ,  $S_{IN}$  0.07-0.09,  $m_3$ 'e göre;  $\theta_i$  0.28-0.30  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ,  $S_{IN}$  0.16-0.20,  $m_4$ 'e göre;  $\theta_i$  0.34-0.38  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  ve  $S_{IN}$  0.08-0.11 aralarında değişmiştir. Ölçülen ve hesaplanan TSTE'ye ait parametreler arasındaki korelasyon katsayıları en düşük  $m_3$ 'de (0.91-0.96) ve en yüksek  $m_4$ 'te (0.98-0.99) hesaplanırken, en düşük NRMSE değerleri ise yine  $m_4$ 'te (0.35-1.09) hesaplanmıştır. Ayrıca killi toprağa L uygulamalarının Pb1 ve Pb2'de ölçülen ve hesapla bulunan TSTE'sine etkilere Şekil 4.18: A, B, C ve D'de ve Şekil 4.19: A, B, C ve D'de verilmiştir. Buradan da görüleceği gibi ölçülen değerlerden elde edilen su tutma eğrileri hesapla bulunan eğrilerde önemli ölçüde değişkenlik göstermiştir. Bu sonuçlardan da anlaşılacağı üzere hem L uygulamalarında ve hem de farklı hacim ağırlıklarında killi toprağın nem sabitelerini belirlemede  $m_4$  eşitliği kullanılarak yapılan hesaplamayı daha yüksek doğrulukta sonuçlar vereceği bulunmuştur. Diğer taraftan, Pb1'de killi toprağa uygulanan L dozu arttıkça  $m_4$ 'te  $\theta_i$  ve  $S_{IN}$  değerleri önemli düzeyde ( $p<0.001$ ) düşmüş, Pb2'de uygulana L dozu artması ile de  $\theta_i$  değeri önemli düzeyde ( $p<0.001$ ) düşüş göstermiş,  $S_{IN}$  değerinde ise önemli ( $p<0.05$ ) artış belirlenmiştir. L20 dozunda, Pb1 ve Pb2 değerlerinde kontrol ile kıyaslandığında  $\theta_i$  değerinde sırayla % 5.13 ve % 10.52 bir düşüş ölçülmüştür. Bu durumda Pb2'de Pb1'den  $\theta_i$  değerleri daha düşük çıkmıştır.  $S_{IN}$  değerleri Pb1'de kontrole göre uygulanan L'in dozundaki artış ile L10'a kader  $S_{IN}$  değerleri artmış, ancak L20'de bu değeri düşmüştür. Pb2'de ise  $S_{IN}$  değerleri kontrole göre L uygulamalarının dozundaki artış ile sabit oranda artmıştır. Sonuç olarak L uygulamaları killi toprağın tav değerini her iki

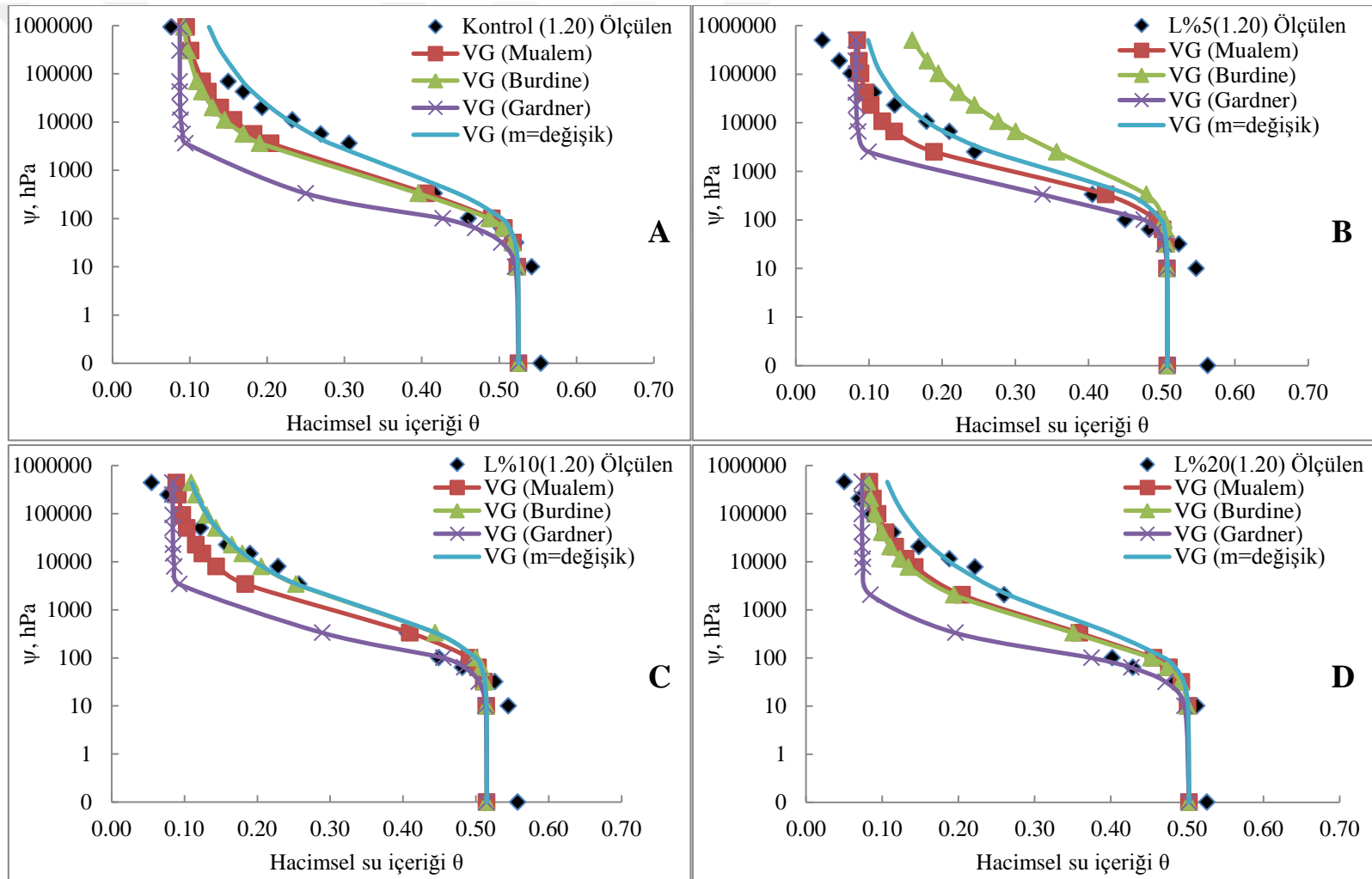
*Pb*'de de düşürerek olumsuz yönde etkilemiş, diğer taraftan *Pb1*'de L20 dozu hariç strüktürle indeksi artırarak olumlu yönde etki etmiştir.



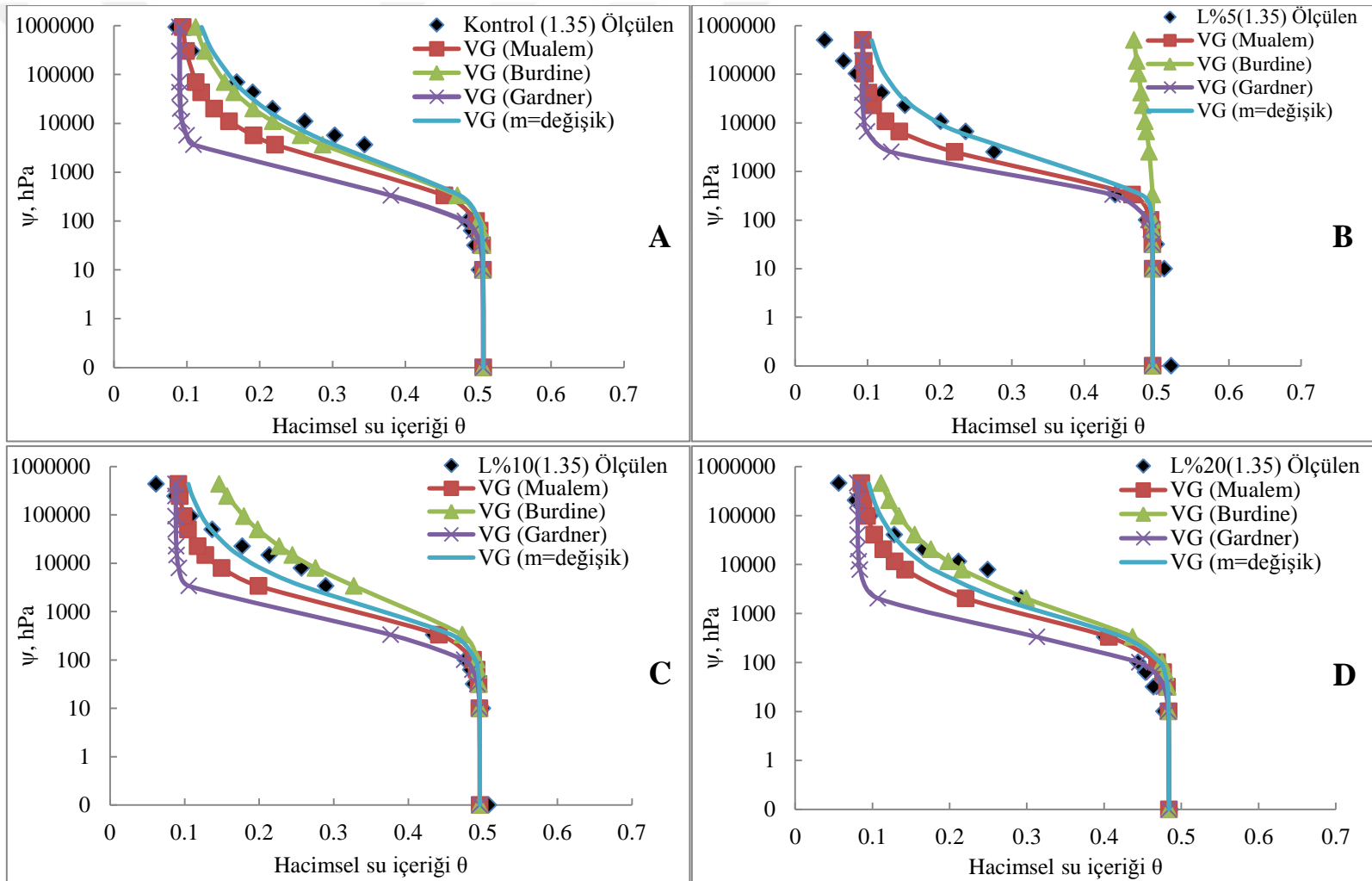
**Çizelge 4.20.** Killi toprağa kireç (L) uygulamasıyla iki farklı hacim ağırlığında (1.20 ve 1.35 g cm<sup>-3</sup>) farklı (m) katsayılarına göre hesaplanan optimum nem ( $\theta_i$ ), strüktürel indeksi ( $S_{IN}$ ) değerleri ile ölçülen ve tahmin edilen nem sabiteleri arasındaki korelasyon katsayıları ( $R^2$ ) ve normalleştirilmiş hata kareler ortalamasının karekökü (NRMSE)

(m) formülü	Özellikler	(Pb 1.20 g cm <sup>-3</sup> )					(Pb 1.35 g cm <sup>-3</sup> )				
		Kontrol	L5	L10	L20	P	Kontrol	L5	L10	L20	P
m=1-1/n	$\theta_i$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.37±0.01a	0.34±0.00b	0.35±0.00b	0.35±0.01b	**	0.35±0.01a	0.33±0.00b	0.33±0.01b	0.33±0.01b	**
	$S_{IN}M$	0.10±0.01b	0.13±0.00a	0.12±0.01ab	0.10±0.01b	**	0.11±0.00b	0.15±0.02a	0.12±0.01b	0.11±0.01b	*
	$R^2$	0.98	0.98	0.98	0.98		0.97	0.98	0.97	0.97	
	NRMSE	1.81	1.23	1.36	1.18		1.99	1.37	1.98	1.82	
m=1-2/n	$\theta_i$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.36±0.00bc	0.40±0.01a	0.37±0.00b	0.34±0.00c	***	0.37±0.01b	0.48±0.02a	0.38±0.01b	0.36±0.01b	***
	$S_{IN}B$	0.11±0.00a	0.07±0.00c	0.09±0.00b	0.10±0.01ab	***	0.09±0.01 a	0.07±0.00 b	0.07±0.01 b	0.08±0.01 b	*
	$R^2$	0.97	0.99	0.99	0.97		0.99	0.96	1.00	0.99	
	NRMSE	2.37	5.73	0.76	1.38		0.68	51.82	1.68	0.73	
m=1	$\theta_i$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.31±0.02	0.30±0.00	0.30±0.00	0.29±0.00	NS	0.30±0.02	0.29±0.00	0.29±0.00	0.28±0.00	NS
	$S_{IN}G$	0.16±0.00b	0.19±0.00a	0.17±0.00b	0.16±0.00b	***	0.17±0.00b	0.20±0.00a	0.17±0.00b	0.16±0.00a	***
	$R^2$	0.93	0.96	0.95	0.93		0.91	0.95	0.94	0.93	
	NRMSE	8.45	3.15	4.42	5.67		9.17	2.97	4.85	5.43	
m≠1	$\theta_i$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.39±0.00a	0.36±0.00d	0.38±0.00b	0.37±0.00c	***	0.38±0.00a	0.36±0.00d	0.36±0.00b	0.34±0.00c	***
	$S_{IN}VG$	0.08±0.00c	0.10±0.00a	0.09±0.00b	0.08±0.00c	***	0.08±0.00c	0.11±0.00a	0.10±0.00b	0.10±0.00b	*
	$R^2$	0.99	0.99	0.99	0.98		0.99	0.99	0.99	0.98	
	NRMSE	0.55	1.00	0.78	1.09		0.35	0.62	0.52	0.74	

\* m=1-1/n,  $S_{IN}M$  (Mualem, 1976), m=1-2/n,  $S_{IN}B$  (Burdine, 1953), m=1,  $S_{IN}G$  (Gardner, 1958), ve m≠1,  $S_{IN}VG$  (van Genuchten, 1980), \* P<0.05, \*\* P<0.01, \*\*\* P<0.001.



**Şekil 4.18.** A, B, C ve D, killi toprağa kireç (L) uygulamalarında,  $1.20 \text{ g cm}^{-3}$  hacim ağırlığında ölçülen ile farklı modellerden tahmin edilen su tutma eğrileri



Şekil 4.19. A, B, C ve D, killi toprağa kireç (L) uygulamalarında,  $1.35 \text{ g cm}^{-3}$  hacim ağırlığında ölçülen ile farklı modellerden tahmin edilen su tutma eğrileri

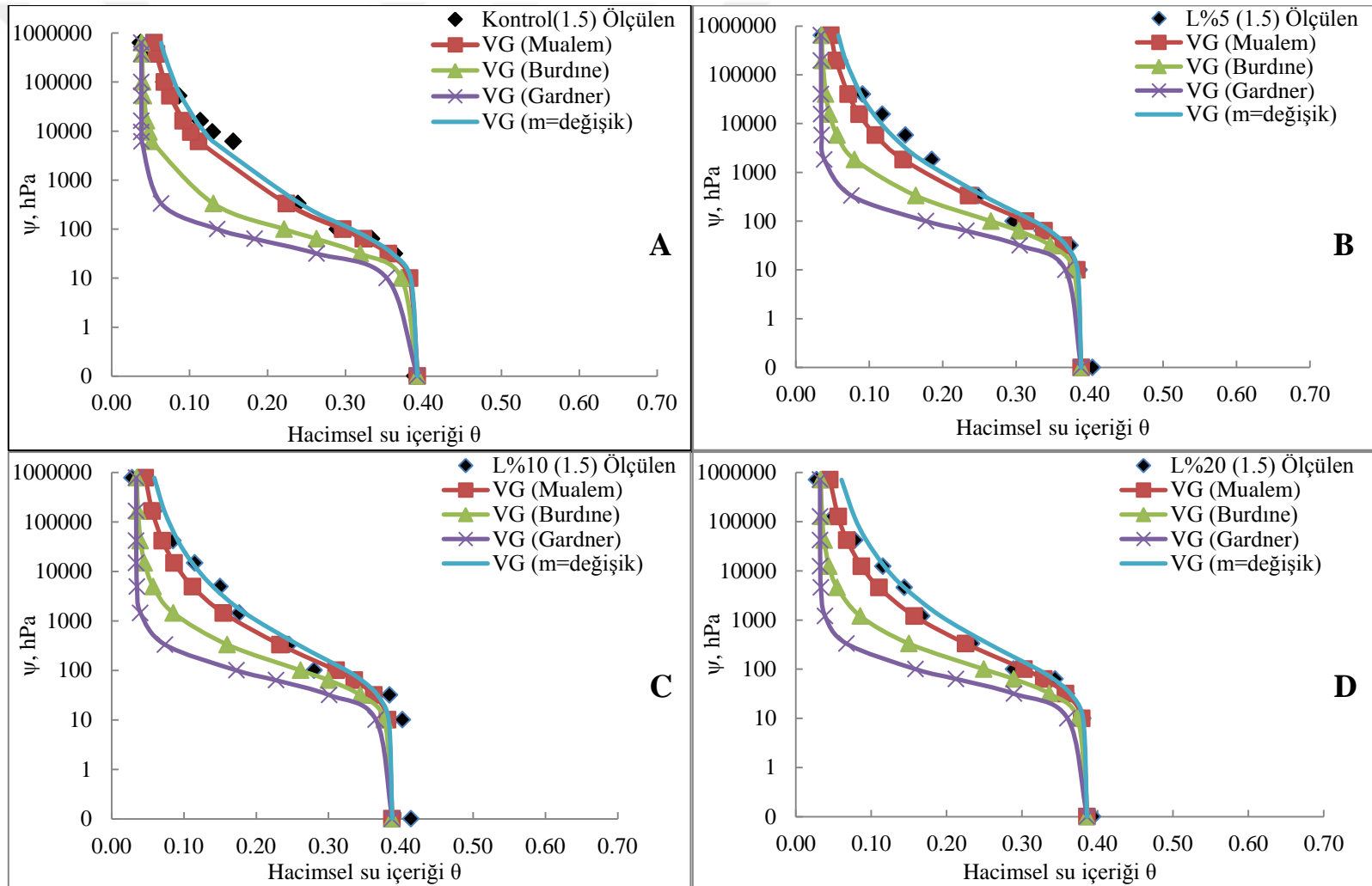
Farklı dozda L uygulanan, iki farklı hacim ağırlığında sıkıştırılan kumlu tın toprağın, farklı m katsayılarına göre hesaplanan optimum nem ( $\theta_i$ ) ve strüktürel indis ( $S_{IN}$ ) ile ölçülen ve hesaplanan TSTE'ye ait parametreler arasındaki korelasyon katsayıları ( $R^2$ ) ve normalleştirilmiş hata kareler ortalamasının karekökü (NRMSE) Çizelge 4.21'de verilmiştir. Buna göre, kumlu tın toprağa L uygulamalarının ve Pb1'nin  $m=1-1/n$  ( $m_1$ ) için  $\theta_iM$  ve  $S_{IN}$  (Mualem, 1976) ve Pb2'nin  $m \neq 1$  ( $m_4$ ) için  $\theta_iV$  ve  $S_{IN}$  parametreleri aralarındaki farklılığa etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur, diğer  $\theta_i$  ve  $S_{IN}$  parametreler aralarındaki farklılığa etkileri ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Pb1'de ( $m_1$ )'e göre;  $\theta_i$  0.27-0.28  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  0.06-0.07, ( $m_2$ )'e göre;  $\theta_i$  değerleri hep 0.24  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  tüm değerleri 0.09,  $m_3$ 'e göre;  $\theta_i$  0.21-0.22  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  tüm değerleri 0.12, ( $m_4$ )'e göre;  $\theta_i$  değerleri hep 0.28  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  değerleri hep 0.06 değişmiştir. Pb2'de,  $m_1$ 'e göre;  $\theta_i$  değerleri hep 0.24  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  değerleri hep 0.06,  $m_2$ 'ye göre;  $\theta_i$  0.21-0.22  $cm^3 cm^{-3}$  arasında,  $S_{IN}$  değerleri hep 0.08,  $m_3$ 'e göre;  $\theta_i$  değerleri hep 0.19  $cm^3 cm^{-3}$ ,  $S_{IN}$  0.10-0.11 arasında,  $m_4$ 'e göre;  $\theta_i$  0.24-0.26  $cm^3 cm^{-3}$  arasında ve  $S_{IN}$  değerleri hep 0.05 değişmiştir. Ölçülen ve hesaplanan TSTE'ye ait parametreler arasındaki korelasyon katsayıları en düşük  $m_3$ 'de (0.89-0.93) ve en yüksek  $m_4$ 'te (0.98-1.00) hesaplanırken, en düşük NRMSE değerleri ise yine  $m_4$ 'te (0.35-1.09) hesaplanmıştır. Ayrıca kumlu tın toprağa L uygulamalarının Pb1 ve Pb2'de ölçülen ve hesapla bulunan TSTE'ye etkileri Şekil 4.20: A, B, C ve D'de ve Şekil 4.21: A, B, C ve D'de verilmiştir. Buradan da görüleceği gibi ölçülen değerlerden elde edilen su tutması tutma eğrileri hesapla bulunan eğrilerde önemli ölçüde fark bulunmuştur. Bu sonuçlardan da anlaşılacağı üzere hem L uygulamalarında ve hem de farklı hacim ağırlıklarında kumlu tın toprağın nem sabitelerini belirlemede  $m_4$  eşitliği kullanılarak yapılan hesaplamayı daha yüksek doğrulukta sonuçlar verdiği bulunmuştur. Diğer taraftan, Pb2'de kumlu tın toprağa uygulanan L dozu arttıkça  $m_4$ 'te  $\theta_i$  değeri önemli düzeyde ( $p < 0.001$ ) düşmüş, ancak  $S_{IN}$  değeri önemli düzeyde de ( $p < 0.01$ ) sadece L10 uygulama dozunda artış belirlenmiştir. Bu durum Pb2'de Pb1'dan  $\theta_i$  değerleri daha düşük çıkmıştır.  $S_{IN}$  değerleri Pb1'de kontrole göre değişmemiş Pb2'de ise  $S_{IN}$  değerleri kontrole göre L uygulama dozu artış ile L10 hariç tutulursa değişim gözlenmemiştir.



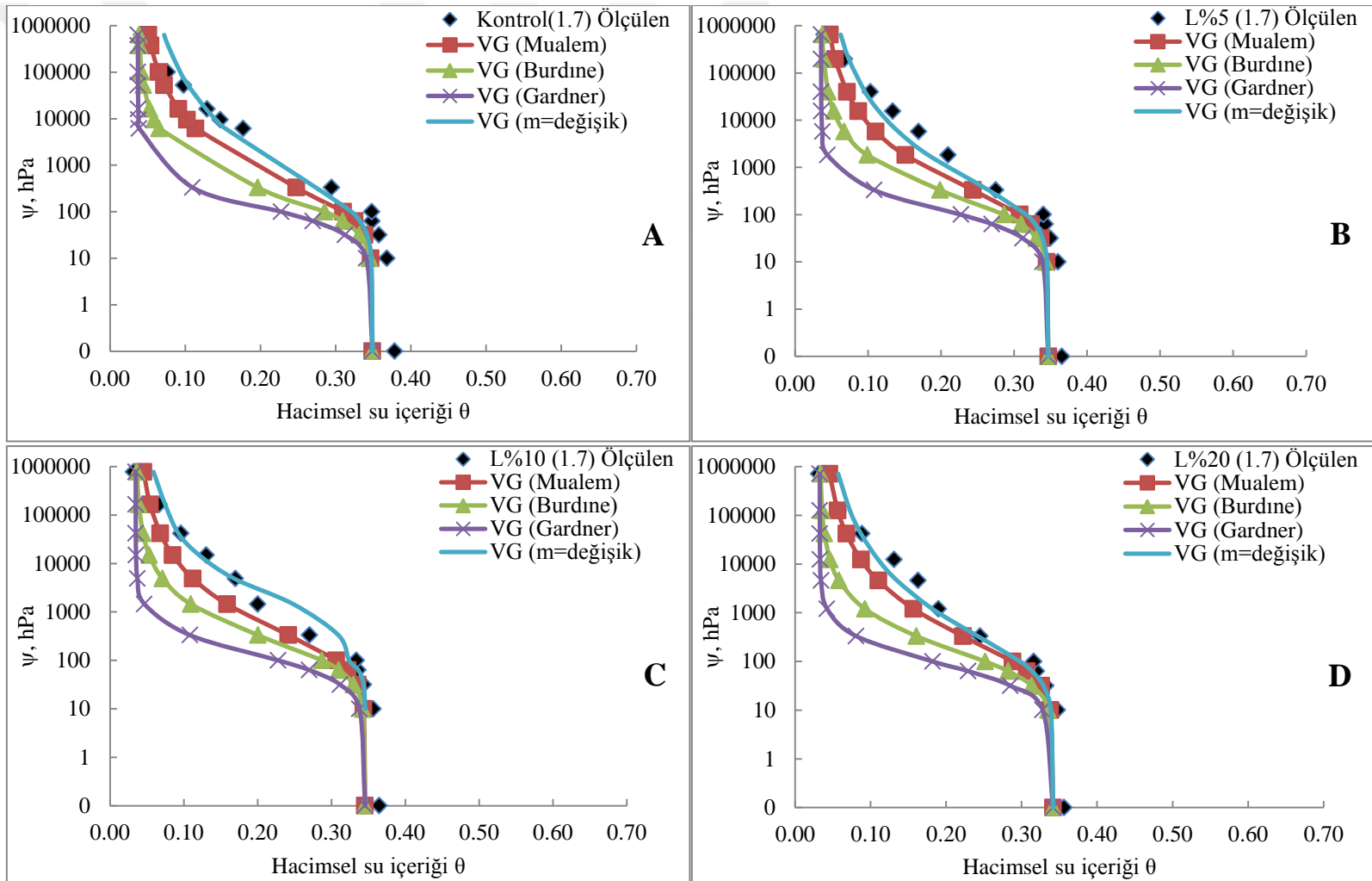
**Çizelge 4.21.** Kumlu tın toprağa kireç (L) uygulamasıyla iki farklı hacim ağırlığında (1.50 ve 1.70 g cm<sup>-3</sup>) farklı (m) katsayılarına göre hesaplanan optimum nem ( $\theta_i$ ), strüktürel indis ( $S_{IN}$ ) değerleri ile ölçülen ve tahmin edilen nem sabiteleri arasındaki korelasyon katsayıları ( $R^2$ ) ve normalize edilmiş hata kareler ortalamasının karekökü (NRMSE)

(m) formülü	Özellikler	(Pb 1.50 g cm <sup>-3</sup> )					(Pb 1.70 g cm <sup>-3</sup> )				
		Kontrol	L5	L10	L20	P	Kontrol	L5	L10	L20	P
m=1-1/n	$\theta_i$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.28±0.01a	0.27±0.00b	0.27±0.00b	0.27±0.00b	**	0.24±0.00	0.24±0.00	0.24±0.00	0.24±0.00	NS
	$S_{IN}M$	0.06±0.00b	0.07±0.00a	0.07±0.00a	0.07±0.00a	***	0.06±0.00	0.06±0.00	0.06±0.00	0.06±0.00	NS
	$R^2$	0.99	0.99	0.99	0.99		0.99	0.99	0.99	0.99	
	NRMSE	0.34	0.43	0.45	0.24		1.17	1.20	0.92	0.73	
m=1-2/n	$\theta_i$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.24±0.00	0.24±0.00	0.24±0.00	0.24±0.00	NS	0.22±0.02	0.22±0.00	0.22±0.01	0.21±0.00	NS
	$S_{IN}B$	0.09±0.00	0.09±0.00	0.09±0.00	0.09±0.00	NS	0.08±0.00	0.08±0.00	0.08±0.00	0.08±0.00	NS
	$R^2$	0.96	0.97	0.98	0.97		0.97	0.96	0.97	0.96	
	NRMSE	3.84	2.98	2.71	2.66		3.91	3.91	3.12	3.90	
m=1	$\theta_i$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.22±0.02	0.21±0.01	0.21±0.01	0.21±0.01	NS	0.19±0.00	0.19±0.00	0.19±0.00	0.19±0.00	NS
	$S_{IN}G$	0.12±0.00	0.12±0.00	0.12±0.00	0.12±0.00	NS	0.11±0.00	0.11±0.00	0.11±0.01	0.10±0.01	NS
	$R^2$	0.89	0.92	0.93	0.91		0.92	0.90	0.91	0.89	
	NRMSE	9.38	8.21	7.74	8.29		8.52	9.55	8.57	9.54	
m≠1	$\theta_i$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.28±0.00	0.28±0.00	0.28±0.00	0.28±0.00	NS	0.26±0.00a	0.25±0.00b	0.24±0.00c	0.25±0.00b	***
	$S_{IN}VG$	0.06±0.00	0.06±0.00	0.06±0.00	0.06±0.00	NS	0.05±0.00b	0.05±0.00b	0.06±0.00a	0.05±0.00b	**
	$R^2$	0.98	0.99	0.99	1.00		1.00	0.99	0.99	0.99	
	NRMSE	0.20	0.20	0.37	0.34		0.45	0.35	0.65	0.25	

\* m=1-1/n,  $S_{IN}M$  (Mualem, 1976), m=1-2/n,  $S_{IN}B$  (Burdine, 1953), m=1,  $S_{IN}G$  (Gardner, 1958), ve m≠1,  $S_{IN}VG$  (van Genuchten, 1980), \*\* P<0.01, \*\*\* P<0.001.



**Şekil 4.20.** A, B, C ve D, kumlu tın toprağa kireç (L) uygulamalarında,  $1.50 \text{ g cm}^{-3}$  hacim ağırlığında ölçülen ile farklı modellerden tahmin edilen su tutma eğrileri



**Şekil 4.21.** A, B, C ve D, kumlu tın toprağa kireç (L) uygulamalarında,  $1.70 \text{ g cm}^{-3}$  hacim ağırlığında ölçülen ile farklı modellerden tahmin edilen su tutma eğrileri

#### 4.8. Toprak Nem Sabitelerine $Pb$ 'ye göre değişimi

Daha önceki bölümde, her bir uygulamanın (SG, BK ve L) ayrı ayrı killi ve kumlu tın toprağın nem sabitelerine etkileri incelenmiştir. Bu bölümde ise SG, BK ve L uygulamalarının toprakların nem sabiteleri üzerine birlikte etkileri değerlendirilecektir.

##### 4.8.1. Killi toprak ( $Pb1: 1.20 \text{ g cm}^{-3}$ )

Kil tekstürlü toprağın düşük hacim ağırlığında ( $Pb1: 1.20 \text{ g cm}^{-3}$ ) nem sabitelerine tüm uygulamaların etkisi Çizelge 4.21'te verilmiş, buna göre, yapılan tüm uygularlar kil tekstürlü toprağın nem sabitleri üzerinde istatistiksel olarak önemli ( $P<0.001$  ve  $P<0.01$ ) etkiler oluşturmuştur. Killi toprağın  $\theta_{TK}$ ,  $\theta_{SN}$ ,  $\theta_{FS}$ ,  $\theta_r$ ,  $\theta_s$ ,  $1/\alpha$  ve  $\theta_i$  değeri üzerine uygulanan maddeler ve dozları farklı etkiler göstermiştir. Kontrol ile kıyaslandığında SG1, SG2, BK1, BK2, BK4, L5 ve L10 dozları önemli farklılık oluşturmamken, SG4 dozu kontrole göre artış, L20 dozu ise  $\theta_{TK}$  değerinde azalış meydana getirmiştir. SG uygulamaları ortalama olarak  $\theta_{TK}$  değerini kontrole göre artırırken ( $0.45 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), BK uygulamaları değiştirmemiş ( $0.42 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), L uygulamaları ise  $\theta_{TK}$  değerini düşürmüştür ( $0.39 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ).  $\theta_{SN}$  değerinde kontrol ile kıyaslandığında SG2, BK1, BK2 ve BK4 uygulamalarında önemli bir farklılık oluşmazken, SG1, SG4, L5, L10 ve L20 dozlarında kontrole göre ise azalışlar meydana getirmiştir.  $\theta_{SN}$  değerinin SG uygulamaları ortalaması  $0.19 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , BK uygulamaları ortalaması  $0.20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken L uygulamaları ortalaması ise belirgin olarak daha düşük çıkıp  $0.16 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  olarak ölçülmüştür.  $\theta_{FS}$  değerinde kontrol ( $0.21 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) ile kıyaslandığında SG1, BK1, BK2, BK4, L10 ve L20 uygulamalarında önemli bir farklılık oluşmazken, SG2, SG4 ve L5 dozlarında kontrole göre artışlar meydana getirmiştir.  $\theta_{FS}$  ( $\theta_{FS} = \theta_{TK} - \theta_{SN}$ ) değerinin SG uygulamaları ortalaması  $0.27 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken BK uygulamaları ortalaması  $0.22 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  ve L uygulamaları ortalaması ise  $0.24 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  çıkmıştır. SG uygulamaları  $\theta_{FS}$  üzerinde bir taraftan  $\theta_{TK}$  değerini artırarak ve bir taraftan da  $\theta_{SN}$  düşürerek etkili olurken, L uygulaması ise özellikle  $\theta_{SN}$  değerini düşürerek etkili olmuştur.  $\theta_r$  değerinde kontrol ( $0.083 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) ile kıyaslandığında tüm SG, BK ve L uygulamalarının dozundaki artış meydana getirmiştir.  $\theta_r$  değerinin SG uygulamaları ortalaması  $0.086 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken BK uygulamaları ortalaması  $0.087 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  ve L uygulamaları ortalaması ise  $0.086 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  çıkmıştır. SG uygulamaları ortalama olarak  $\theta_s$  değerini kontrole göre artırırken, SG2 ve SG4 uygulamalarında bu artış sırasıyla % 9 ve % 11 iken diğer

uygulamaların etkisi önemsiz çıkmıştır. Hava giriş değeri olan  $1/\alpha$  değeri ise SG ve BK uygulama dozu artış ile artmış, L uygulama dozu artış ile azalmıştır. SG4, BK4 ve L20 uygulamalarında sırasıyla kontrole göre yaklaşık +3.6, +1.5 ve -1.3 kat değişiklikler elde edilmiştir.  $\theta_i$  değeri üzerinde, L5 ve L20 uygulamaları hariç, tüm uygulamaların etkisi önemsiz çıkmış, bu uygulamalarda kontrole göre sırasıyla yaklaşık % 7.7 ve % 5.1'lik düşüşler bulunmuş, özellikle düşük ve yüksek kireç dozlarının toprağın optimum tav değerini düşürdüğü anlaşılmıştır.

Bu durum daha önce de ifade edildiği gibi; SG'nin kolloidal yapısı ve su tutma özelliğinin yanında strüktür gelişimini teşvik ederek toprağın gözenek yapısının değiştirmesi, BK uygulamalarının etkili olmamasının ise yüzey alanının sınırlı kalması ile killi bir toprağın yüzey alanına ve su depolanmasında sorumlu gözeneklere katkısının yetersiz kalması, kirecin ise toprak tarafından tutulan suyun dizilimini bozması, ayrıca sadece adezyonla yüzeyinde ve gözeneklerde zayıf olarak suyun tutulması ile açıklanabilecektir (Zhang ve ark., 2017)

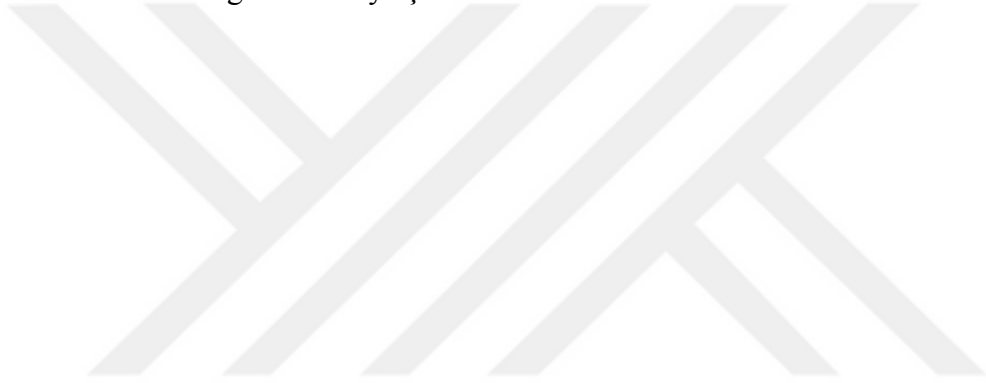
**Çizelge 4.21.** Kil tekstürlü toprağın düşük hacim ağırlığında ( $1.20 \text{ g cm}^{-3}$ ) nem sabitelerine tüm uygulamaların etkisi

		C / Pb 1.20						
Ör.		$\theta_{TK} (\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3})$	$\theta_{SN} (\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3})$	$\theta_{FS} (\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3})$	$\theta_r (\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3})$	$\theta_s (\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3})$	$1/\alpha (\text{cm})$	$\theta_i (\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3})$
1	Kontrol	0.42±0.00bc	0.21±0.01a	0.21±0.02c	0.083±0.01f	0.55±0.00bc	232±2.00h	0.39±0.00a
2	SG1	0.42±0.02bc	0.19±0.01bc	0.23±0.01bc	0.086±0.01cd	0.56±0.01b	244±1.00e	0.38±0.01ab
3	SG2	0.46±0.01b	0.20±0.01ab	0.26±0.01b	0.084±0.01e	0.60±0.00a	526±4.51b	0.38±0.02ab
4	SG4	0.48±0.01a	0.17±0.01cd	0.31±0.00a	0.088±0.01ab	0.61±0.01a	833±1.00a	0.38±0.01abc
5	BK1	0.41±0.01c	0.20±0.02ab	0.21±0.01c	0.085±0.01de	0.55±0.00bc	222±2.00i	0.38±0.01ab
6	BK2	0.43±0.01bc	0.20±0.02ab	0.23±0.01bc	0.086±0.01cd	0.55±0.01bc	332±2.52f	0.38±0.00abc
7	BK4	0.43±0.02bc	0.20±0.01ab	0.23±0.00bc	0.089±0.01a	0.54±0.02bc	357±3.06d	0.38±0.00ab
8	L5	0.41±0.02c	0.15±0.01e	0.26±0.01b	0.087±0.01bc	0.55±0.01bc	416±1.15c	0.36±0.00c
9	L10	0.41±0.01c	0.18±0.01bc	0.23±0.01bc	0.085±0.01de	0.56±0.01b	312±1.53g	0.38±0.00ab
10	L20	0.36±0.01d	0.16±0.01de	0.20±0.00c	0.085±0.01de	0.53±0.01c	178±1.53j	0.37±0.00bc
	P<	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.01
	St Sap.	0.00966	0.00894	0.01355	0.00042	0.00845	2.28	0.00689

#### 4.8.2. Killi toprak ( $Pb2: 1.35 \text{ g cm}^{-3}$ )

Kil tekstürlü toprağın düşük hacim ağırlığında ( $Pb2: 1.35 \text{ g cm}^{-3}$ ) nem sabitelerine tüm uygulamaların etkisi Çizelge 4.22'de verilmiş, buna göre, yapılan tüm uygularlar kil tekstürlü toprağın nem sabitleri ( $\theta_i$  hariç) üzerinde istatistiksel olarak önemli ( $P < 0.001$ ) etkiler oluşturmuştur. Killi toprağın  $\theta_{TK}$ ,  $\theta_{SN}$ ,  $\theta_{FS}$ ,  $\theta_r$ ,  $\theta_s$ ,  $1/\alpha$  ve  $\theta_i$  değeri üzerine uygulanan maddeler ve dozları farklı etkiler göstermiştir. Kontrol ile kıyaslandığında SG1, BK1, BK2, BK4, L5 ve L10 dozları önemli farklılık oluşturmamken, SG2 ve SG4 dozları kontrole göre artış, L20 dozu ise  $\theta_{TK}$  değerinde azalış meydana getirmiştir. SG uygulamaları ortalama olarak  $\theta_{TK}$  değerini kontrole göre artırırken ( $0.48 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), BK uygulamaları değiştirmemiş ( $0.45 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), L uygulamaları ise  $\theta_{TK}$  değerini düşürmüştür ( $0.42 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ).  $\theta_{SN}$  değerinde kontrol ile kıyaslandığında BK1, BK2 ve BK4 uygulamalarında önemli bir farklılık oluşmazken, SG1, SG2, SG4, L5, L10 ve L20 dozlarında kontrole göre ise azalışlar meydana getirmiştir.  $\theta_{SN}$  değerinin SG uygulamaları ortalaması  $0.21 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , BK uygulamaları ortalaması  $0.23 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken L uygulamaları ortalaması ise belirgin olarak daha düşük çıkıp  $0.18 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  olarak ölçülmüştür.  $\theta_{FS}$  değerinde kontrol ( $0.21 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) ile kıyaslandığında BK1, BK2, BK4 ve L20 uygulamalarında önemli bir farklılık oluşmazken, SG1, SG2, SG4, L5 ve L10 dozlarında kontrole göre artışlar meydana getirmiştir.  $\theta_{FS}$  değerinin SG uygulamaları ortalaması  $0.27 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken BK uygulamaları ortalaması  $0.22 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  ve L uygulamaları ortalaması ise  $0.24 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  çıkmıştır. SG uygulamaları  $\theta_{FS}$  üzerinde bir taraftan  $\theta_{TK}$  değerini artırarak ve bir taraftan da  $\theta_{SN}$  düşürerek etkili olurken, L uygulaması ise özellikle  $\theta_{TK}$  değerini düşürerek etkili olmuştur.  $\theta_r$  değerleri kontrol ( $0.083 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) ile kıyaslandığında  $Pb1$ 'deki gibi tüm SG, BK ve L uygulamalarının dozundaki artış meydana getirmiş ve değerlerinin aynı SG uygulamaları ortalaması  $0.086 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken BK uygulamaları ortalaması  $0.087 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  ve L uygulamaları ortalaması ise  $0.086 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  çıkmıştır. SG uygulamaları ortalama olarak  $\theta_s$  değerini kontrole göre artırırken, SG2 ve SG4 uygulamalarında bu artış sırasıyla % 6 ve % 4 iken diğer uygulamaların etkisi önemsiz çıkmıştır. Hava giriş değeri olan  $1/\alpha$  değeri ise SG uygulama dozu artış ile artmış, BK ve L uygulama dozları artış ile azalmıştır. SG4, BK4 ve L20 uygulamalarında sırasıyla kontrole göre yaklaşık +2.2, -1.5 ve -1.4 kat değişiklikler elde edilmiştir.  $\theta_i$  değeri üzerinde tüm uygulamaların etkisi önemsiz çıkmıştır.

Sığır gübre uygulamalarının dozundaki artması ile toprağın su tutulması ve muhafazası artırma nedeni toprak üzerine uygulanan tansiyona karşı sıkışmadan dolayı artmış ve daha sıkı bir şekilde suyu muhafaza edilebilmektedir (Quiroga ve ark., 1999). Biyokömürün dozu arttıkça kontrole göre su tutma kapasitesinde düşüş meydana gelmiş, bunun nedeni biyokömür toprağa su infiltrasyonu ve geçirgenliği artırır (Novak ve ark., 2015) ve böylece sıkışma miktarı artması ile topraktaki havalanma durumu ve strüktürel özellikleri iyileştirmektedir. Kireç uygulama dozları da arttıkça hava giriş değeri düşmüş, zira kireç daha önce açıklanmış gibi toprağın ağırlığı ve makrogözenekleri artırır ve su hareketli ve hava girişi kolaylaştırılmaktadır.





**Çizelge 4.22.** Kil tekstürlü toprağın düşük hacim ağırlığında ( $1.35 \text{ g cm}^{-3}$ ) nem sabitelerine tüm uygulamaların etkisi

		C / Pb 1.35						
Ör.		$\theta_{TK} (\text{cm}^3 \text{cm}^{-3})$	$\theta_{SN} (\text{cm}^3 \text{cm}^{-3})$	$\theta_{FS} (\text{cm}^3 \text{cm}^{-3})$	$\theta_r (\text{cm}^3 \text{cm}^{-3})$	$\theta_s (\text{cm}^3 \text{cm}^{-3})$	$1/\alpha (\text{cm})$	$\theta_i (\text{cm}^3 \text{cm}^{-3})$
1	Kontrol	0.45±0.01bc	0.24±0.00a	0.21±0.01e	0.083±0.01f	0.51±0.01bc	556±4.04e	0.38±0.01
2	SG1	0.47±0.00ab	0.21±0.01bc	0.26±0.01bc	0.086±0.01cd	0.53±0.00ab	833±1.00c	0.37±0.01
3	SG2	0.49±0.01a	0.23±0.01b	0.26±0.00bc	0.084±0.01e	0.54±0.01a	1111±4.36b	0.37±0.02
4	SG4	0.48±0.01a	0.20±0.01cd	0.28±0.00a	0.088±0.01ab	0.53±0.01a	1250±5.57a	0.37±0.01
5	BK1	0.45±0.00bc	0.23±0.00ab	0.22±0.01de	0.085±0.01de	0.50±0.08cd	588±4.73d	0.37±0.02
6	BK2	0.45±0.00bc	0.23±0.01ab	0.22±0.00de	0.086±0.01cd	0.50±0.02cd	588±3.21d	0.37±0.02
7	BK4	0.45±0.00bc	0.23±0.01ab	0.22±0.01de	0.089±0.01a	0.49±0.01cd	370±1.53g	0.36±0.05
8	L5	0.44±0.01cd	0.17±0.00e	0.27±0.01ab	0.087±0.01bc	0.51±0.02bc	833±2.00c	0.36±0.04
9	L10	0.43±0.00d	0.20±0.01cd	0.23±0.01cd	0.085±0.01de	0.50±0.01cd	556±1.15e	0.36±0.04
10	L20	0.40±0.02e	0.18±0.02de	0.22±0.01de	0.085±0.01de	0.49±0.01d	400±2.89f	0.34±0.03
P<		0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	NS
St Sap.		0.00739	0.00966	0.00727	0.00042	0.00957	3.68	0.03645

#### 4.8.3. Kumlu tın toprak ( $Pb1:1.50 \text{ g cm}^{-3}$ )

Kumlu tın tekstürlü toprağın düşük hacim ağırlığında ( $Pb1: 1.50 \text{ g cm}^{-3}$ ) nem sabitelerine tüm uygulamaların etkisi Çizelge 4.23'de verilmiş, buna göre, yapılan tüm uygulamalar kil tekstürlü toprağın nem sabitleri üzerinde istatistiksel olarak önemli ( $P<0.001$ ) etkiler oluşturmuştur. Kumlu tın toprağın  $\theta_{TK}$ ,  $\theta_{SN}$ ,  $\theta_{FS}$ ,  $\theta_r$ ,  $\theta_s$ ,  $1/\alpha$  ve  $\theta_i$  değeri üzerine uygulanan maddeler ve dozları farklı etkiler göstermiştir. Kontrol ile kıyaslandığında  $\theta_{TK}$  değerinde BK1, L5, L10 ve L20 dozları önemli farklılık oluşturmamken, SG1, SG2, SG4, BK2 ve BK4 uygulama dozları kontrole göre artış, BK1, L5, L10 ve L20 dozları ise azalış meydana getirmiştir. SG uygulamaları ortalama olarak  $\theta_{TK}$  değerini kontrole göre artırırken ( $0.31 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), BK uygulamaları da artmış ( $0.28 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), L uygulamaları ise  $\theta_{TK}$  değerini düşürmüştür ( $0.24 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ).  $\theta_{SN}$  değerinde kontrol ile kıyaslandığında SG1 ve BK2 uygulamalarında önemli bir farklılık oluşmazken, SG2, SG4, BK1, BK4 uygulama dozları kontrole göre artış, L5, L10 ve L20 dozlarında kontrole göre ise azalışlar meydana getirmiştir.  $\theta_{SN}$  değerinin SG uygulamaları ortalaması  $0.13 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , BK uygulamaları ortalaması  $0.14 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken L uygulamaları ortalaması ise belirgin olarak daha düşük çıkıp  $0.10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  olarak ölçülmüştür.  $\theta_{FS}$  değerinde kontrol ( $0.12 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) ile kıyaslandığında BK1 ve L20 uygulamalarında önemli bir farklılık oluşmazken, SG1, SG2, SG4, BK2, BK4, L5 ve L10 dozlarında kontrole göre artışlar meydana getirmiştir.  $\theta_{FS}$  değerinin SG uygulamaları ortalaması  $0.18 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken BK uygulamaları ortalaması  $0.14 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  ve L uygulamaları ortalaması ise  $0.14 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  çıkmıştır. SG ve BK uygulamaları  $\theta_{FS}$  üzerinde bir taraftan  $\theta_{TK}$  değerini artırarak ve bir taraftan da  $\theta_{SN}$  fazla değişmeyerek BK4 dozu hariç ise etkili olurken, L uygulaması ise özellikle  $\theta_{SN}$  değerini düşürerek etkili olmuştur.  $\theta_r$  değerinde kontrol ( $0.051 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) ile kıyaslandığında BK2 ve BK4 uygulamaları hariç, tüm uygulamaların etkisi önemsiz çıkmış, bu uygulamalarda kontrole göre her ikisinde yaklaşık % 5.9'lik artışlar bulunmuştur.  $\theta_r$  değerinin SG uygulamaları ortalaması  $0.051 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken BK uygulamaları ortalaması  $0.053 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  ve L uygulamaları ortalaması ise  $0.050 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  çıkmıştır. SG uygulamaları ortalama olarak  $\theta_s$  değerini kontrole göre artırırken, SG1, SG2 ve SG4 uygulamalarında bu artış sırasıyla % 8 % 18 ve % 21 iken diğer uygulamaların etkisi önemsiz çıkmıştır. Hava giriş değeri olan  $1/\alpha$  değeri ise SG, BK ve L tüm uygulama dozu artış ile artmıştır. SG4, BK4 ve L20

uygulamalarında sırasıyla kontrole göre yaklaşık +7.4, +2.0 ve +1.4 kat değişiklikler elde edilmiştir.  $\theta_i$  değeri üzerinde, BK1 ve BK4 uygulamaları hariç, tüm uygulamaların etkisi önemsiz çıkmış, bu uygulamalarda kontrole göre sırasıyla yaklaşık % 3.6 ve % 7.1'lik düşüşler bulunmuştur. Sığır gübre uygulamalarının dozundaki artması ile kumlu tın toprağın su tutma kapasitesi artırma nedeni daha önce de ifade edildiği gibi; SG'nin kolloidal yapısı ve su tutma özelliğinin yanında strüktür gelişimini teşvik ederek toprağın gözenek yapısının değiştirtmesi, biyokömür uygulamada da kontrole göre su tutma kapasitesinde artış ölçülmüş, bunun nedeni biyokömürün yüksek yüzey alanı ve kumlu tın toprağın zayıf strüktürel özellikleri iyileştirmesi le beraber su tutma kapasitesi artırmıştır (Lehmann ve Joseph, 2009). Kireç kumlu tın toprakta kil ve kolloidal maddeleri çok düşük ise taneler ile bağlar oluşmamış ve  $Ca^{+2}$  iyonları toprakta hakim olarak itme gücü artırmış ve ayırmak etkisi oluşmuştur.

**Çizelge 4.23.** Kumlu tın tekstürlü toprağın düşük hacim ağırlığında ( $1.50 \text{ g cm}^{-3}$ ) nem sabitelerine tüm uygulamaların etkisi

		SL / Pb 1.50						
Ör.		$\theta_{TK} (\text{cm}^3 \text{cm}^{-3})$	$\theta_{SN} (\text{cm}^3 \text{cm}^{-3})$	$\theta_{FS} (\text{cm}^3 \text{cm}^{-3})$	$\theta_r (\text{cm}^3 \text{cm}^{-3})$	$\theta_s (\text{cm}^3 \text{cm}^{-3})$	$1/\alpha (\text{cm})$	$\theta_i (\text{cm}^3 \text{cm}^{-3})$
1	Kontrol	0.24±0.01d	0.12±0.00c	0.12±0.00g	0.051±0.01bc	0.39±0.00c	48±1.53g	0.28±0.00c
2	SG1	0.28±0.00c	0.12±0.00c	0.16±0.01cd	0.051±0.01bc	0.42±0.00b	110±2.08c	0.28±0.00c
3	SG2	0.31±0.01b	0.13±0.00b	0.18±0.00b	0.051±0.01bc	0.46±0.01a	184±4.04b	0.28±0.00c
4	SG4	0.34±0.01a	0.13±0.00b	0.21±0.00a	0.051±0.01bc	0.47±0.01a	357±4.16a	0.28±0.00c
5	BK1	0.25±0.01d	0.13±0.00b	0.13±0.00fg	0.052±0.01b	0.40±0.01bc	58±2.00f	0.29±0.00b
6	BK2	0.28±0.01c	0.12±0.00c	0.16±0.00cd	0.054±0.01a	0.40±0.01bc	111±2.00c	0.28±0.00c
7	BK4	0.30±0.01bc	0.16±0.00a	0.14±0.00ef	0.054±0.01a	0.40±0.01bc	97±1.53d	0.30±0.01a
8	L5	0.25±0.00d	0.11±0.00d	0.14±0.00ef	0.050±0.01c	0.40±0.00bc	75±2.00e	0.28±0.00c
9	L10	0.25±0.01d	0.10±0.00e	0.15±0.00de	0.050±0.01c	0.40±0.02bc	72±2.08e	0.28±0.00c
10	L20	0.23±0.00d	0.10±0.00e	0.13±0.00fg	0.050±0.01c	0.40±0.01bc	65±2.65f	0.28±0.01c
	P<	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	St Sap.	0.00727	0.00244	0.00434	0.00042	0.00993	2.57	0.00316

#### 4.8.4. Kumlu tın toprak ( $Pb_2: 1.70 \text{ g cm}^{-3}$ )

Kumlu tın tekstürlü toprağın düşük hacim ağırlığında ( $Pb_2: 1.70 \text{ g cm}^{-3}$ ) nem sabitelerine tüm uygulamaların etkisi Çizelge 4.24'de verilmiş, buna göre, yapılan tüm uygulamalar kumlu tın tekstürlü toprağın nem sabiteleri üzerinde istatistiksel olarak önemli ( $P < 0.001$ ) etkiler oluşturmuştur. Kumlu tın toprağın  $\theta_{TK}$ ,  $\theta_{SN}$ ,  $\theta_{FS}$ ,  $\theta_r$ ,  $\theta_s$ ,  $1/\alpha$  ve  $\theta_i$  değeri üzerine uygulanan maddeler ve dozları farklı etkiler göstermiştir. Kontrol ile kıyaslandığında BK1, BK2, L5 ve L10 dozları önemli farklılık oluşturmamken, SG1, SG2, SG4 ve BK4 dozları kontrole göre artış, L20 dozu ise  $\theta_{TK}$  değerinde azalış meydana getirmiştir. SG uygulamaları ortalama olarak  $\theta_{TK}$  değerini kontrole göre artırırken ( $0.31 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), BK uygulamaları değiştirmemiş ( $0.29 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), L uygulamaları ise  $\theta_{TK}$  değerini düşürmüştür ( $0.26 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ).  $\theta_{SN}$  değerinde kontrol ile kıyaslandığında SG1, BK1, BK2, L5 ve L10 uygulamalarında önemli bir farklılık oluşmazken, SG2, SG4 ve BK4 dozlarında kontrole göre artış, L20 dozu kontrole göre azalış meydana getirmiştir.  $\theta_{SN}$  değerinin SG uygulamaları ortalaması  $0.15 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , BK uygulamaları ortalaması  $0.15 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken L uygulamaları ortalaması ise belirgin olarak daha düşük çıkıp  $0.12 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  olarak ölçülmüştür.  $\theta_{FS}$  değerinde kontrol ( $0.15 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) ile kıyaslandığında BK2, L5 ve L10 uygulamalarında önemli bir farklılık oluşmazken, SG1, SG2, SG4 kontrole göre artışlar, BK1 ve L20  $\theta_{FS}$  değerinde azalış meydana getirmiştir.  $\theta_{FS}$  değerinin SG uygulamaları ortalaması  $0.17 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken BK uygulamaları ortalaması  $0.14 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  ve L uygulamaları ortalaması ise  $0.15 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  çıkmıştır. SG uygulamaları  $\theta_{FS}$  üzerinde bir taraftan  $\theta_{TK}$  değerini sınırlı düzede artırarak ve bir taraftan da  $\theta_{SN}$  diğerlerinde BK4 hariç ise değişmeyerek etkili olurken, L uygulaması ise özellikle  $\theta_{TK}$  değerini düşürerek etkili olmuştur.  $\theta_r$  değerleri kontrol ( $0.051 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) ile kıyaslandığında  $Pb_1$ 'deki gibi BK2 ve BK4 uygulamaları hariç, tüm uygulamaların etkisi önemsiz çıkmış, bu uygulamalarda kontrole göre her ikisinde yaklaşık % 5.9'lik artışlar bulunmuştur.  $\theta_r$  değerinin SG uygulamaları ortalaması  $0.051 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  iken BK uygulamaları ortalaması  $0.053 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  ve L uygulamaları ortalaması ise  $0.050 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  çıkmıştır.  $\theta_s$  değerini kontrole göre sadece SG2 uygulamasında % 5 artmış ise diğer uygulamaların etkisi önemsiz bulunmuştur. Hava giriş değeri olan  $1/\alpha$  değeri ise L5 uygulamasında önemli bir farklılık oluşmazken, SG1, SG2, SG4, BK2 ve L10 uygulama dozu artış ile artmış, BK1, BK4 ve L20 uygulama dozları artış ile azalmıştır. SG4, BK4 ve L20 uygulamalarında sırasıyla kontrole göre

yaklaşık +1.6, -1.2 ve -1.5 kat değişiklikler elde edilmiştir.  $\theta_i$  değeri üzerine L10 uygulaması hariç, tüm uygulamaların etkisi önemsiz çıkmış, bu uygulamada kontrole göre yaklaşık % 7.7'lik düşüşler bulunmuştur. Sığır gübre uygulamalarının dozundaki artması ile sıkışmış kumlu tın toprağın su tutma kapasitesi artırma nedeni daha önce de ifade edildiği gibi; SG'nin koloidal yapısı ve su tutma özelliğinin yanında strüktür gelişimini teşvik ederek toprağın gözenek yapısının değiştirtmesi, biyokömür uygulamada kontrole göre su tutma kapasitesinde değişmemiş, bunun nedeni kumlu tın toprağa biyokömürün ilave edilmesi hem sıkışmadan hem de bu toprağın zayıf strüktürel özellikleri ve negatife yük kaynağı yok ise bu sefer biyokömür etkisiz bir madde gibi olacaktır ve su tutma kapasitesi üzerine etki edilmeyecektir (Jeffery ve ark., 2015). Kireç uygulama dozları ise bu toprağın hava giriş değeri artırması ve su tutma kapasitesi değişmemesi ile olumsuz bir şekilde etki edilmiştir.

**Çizelge 4.24.** Kumlu tın tekstürlü toprağın düşük hacim ağırlığında ( $1.70 \text{ g cm}^{-3}$ ) nem sabitelerine tüm uygulamaların etkisi

		SL / Pb 1.70						
Ör.		$\theta_{TK} (\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3})$	$\theta_{SN} (\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3})$	$\theta_{FS} (\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3})$	$\theta_r (\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3})$	$\theta_s (\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3})$	$1/\alpha (\text{cm})$	$\theta_i (\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3})$
1	Kontrol	0.28±0.01bc	0.13±0.00cd	0.15±0.00c	0.051±0.01bc	0.37±0.01bc	139±1.53e	0.26±0.00ab
2	SG1	0.31±0.01a	0.14±0.01bc	0.17±0.00a	0.051±0.01bc	0.38±0.00ab	263±2.65a	0.26±0.00ab
3	SG2	0.31±0.00a	0.15±0.01b	0.16±0.00b	0.051±0.01bc	0.39±0.01a	227±2.52b	0.26±0.00ab
4	SG4	0.32±0.01a	0.15±0.00b	0.17±0.00a	0.051±0.01bc	0.37±0.00bc	227±2.08b	0.27±0.01a
5	BK1	0.27±0.00c	0.14±0.00bc	0.13±0.00e	0.052±0.01b	0.36±0.00c	90±1.53g	0.26±0.00ab
6	BK2	0.29±0.00b	0.14±0.00bc	0.15±0.00c	0.054±0.01a	0.37±0.01bc	147±2.08c	0.26±0.00ab
7	BK4	0.31±0.01a	0.18±0.00a	0.13±0.00e	0.054±0.01a	0.36±0.00c	114±1.00f	0.27±0.00a
8	L5	0.27±0.01c	0.12±0.00de	0.15±0.00c	0.050±0.01c	0.37±0.00bc	141±1.00de	0.25±0.00bc
9	L10	0.27±0.01c	0.12±0.00de	0.15±0.00c	0.050±0.01c	0.36±0.00c	143±1.53cd	0.24±0.00c
10	L20	0.25±0.00d	0.11±0.00e	0.14±0.00d	0.050±0.01c	0.36±0.00c	95±2.00g	0.25±0.00bc
P<		0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
St Sap.		0.00634	0.00469	0.00160	0.00042	0.00614	1.87	0.00288

## 4.9. Killi Toprakta Makro ve Mikro Gözeneklilik

### 4.9.1. Sığır gübresi uygulamalarının etkileri

Kil tekstürlü toprağın her iki hacim ağırlığı için toplam makro gözenek (T.Mak.), ( $\infty$ -50 ve 50-8.6 $\mu$ m) ve toplam mikrogözenek (T.Mik.), (8.6-0.2 ve <0.2 $\mu$ m) ve toplam gözeneklilik oranları (T.Göz.) üzerine SG uygulama dozlarına ilişkin etkileri çizelge 4.25'de gösterilmiştir. *Pb1* değerinde (50-8.6 $\mu$ m) ile (T.Mak.) ve *Pb2*'de ( $\infty$ -50 $\mu$ m) gözeneklerin oranı istatistiksel olarak önemli farklılık oluşturmazken, diğer gözeneklerin oranı önemli ( $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$  ve  $p < 0.001$ ) etkileri gösterilmiştir. *Pb1*'de  $\infty$ -50 $\mu$ m ve <0.2 $\mu$ m değerleri SG uygulama dozların artış ile azalmışken, (8.6-0.2 $\mu$ m), (T.Mik.) ve (T.Göz.) değerlerinde artış ölçülmüştür. En yüksek SG dozunda kontrole göre T.Mak. değeri önemsiz çıkmışken, (T.Mik) ve (T.Göz.) değerlerinde sırayla yaklaşık % 15 ve % 9 artış belirlenmiştir. *Pb2*'de (50-8.6  $\mu$ m), (T. Mak.) ve (<0.2 $\mu$ m) değerleri SG uygulama dozu artış ile düşmüşken, (8.6-0.2 $\mu$ m), (T.Mik.) ve (T.Göz.) değerlerinde de artış belirlenmiştir. En yüksek SG dozu kontrole göre (T.Mak.) değerlerinde yaklaşık % 18 düşüş ölçülürken, (T.Mik) ve (T.Göz.) değerlerinde sırayla yaklaşık sadece % 7 ve % 4 oranlarla artış belirlenmiştir. Buna göre, SG uygulama dozu artış ile her iki toprağın *Pb* değerlerinde (T.Mak.) üzerine etki fazla gözlenmemişken, (T.Mik) değerlerinde artış ve bu artışın neticesinde (T.Göz.) değerleri artmıştır. Ayrıca *Pb1*'de (T.Mak.) ortalaması % 15.65 ise *Pb2*'de % 6.06 olarak yakalaşık yarısına kadar düşürmüştür. Bu durum, sığır gübre organik madde kaynağı olarak toprağa uygulaması toprağın mikro gözenekleri üzerine daha fazla etkilenir ve oranında artış kaydedilmiştir. Çoğu çalışmaların sonucunda organik gübre toprağa uygulanırsa toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirirken, killi toprak gibi ağır tekstürlü toprağın strüktürel özellikleri gelişir ve daha gevşek ve dağılıbilir bir kıvamı verilmesiyle toprağın sıkışama etkisini azaltabilmektedir. Ayrıca daha önce açıklandığı gibi denemedeki kullanılan sığır gübresinin fiber içeriği çok fazla (~% 80) olduğundan dolayı toprak yapısına sanki sünger gibi bir madde uygulanmış ve genel olarak toprağın toplam gözenek miktarını artırılmıştır.



**Çizelge 4.25.** Killi toprağa sığır gübresi uygulamalarının düşük ve yüksek hacim ağırlığında a makro ve mikro gözeneklere etkisi

$Pb \text{ g cm}^{-3}$	% Makro gözenekler (Havalanma ve drenaj gözenekleri)			% Mikro gözenekler (Faydalı ve kalan su tutulan gözenekleri)				
	$\infty - 50\mu\text{m}$	50-8.6 $\mu\text{m}$	T. Mak.	8.6-0.2 $\mu\text{m}$	< 0.2 $\mu\text{m}$	T. Mik.	T. Göz.	
1.20	Kontrol	6.94±1.28ab	7.74±1.13	14.68±1.14	20.48±0.12c	21.17±0.22a	41.65±0.45b	56.33±0.91b
	SG1	6.17±0.45ab	8.69±0.96	14.86±1.25	23.23±0.21c	18.62±0.10b	41.84±0.51b	56.05±1.01b
	SG2	7.59±0.24a	7.61±0.90	15.21±1.09	25.61±0.31b	20.18±0.21a	45.78±1.20a	60.99±1.00a
	SG4	5.87±0.72b	8.00±1.24	13.88±1.54	30.55±0.35a	17.25±0.13b	47.79±1.15a	61.67±1.91a
P<	0.05	NS	NS	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
1.35	Kontrol	1.66±0.66	4.61±0.41a	6.26±0.64ab	21.29±0.15d	23.81±0.71a	45.10±1.20b	51.36±1.21c
	SG1	2.04±0.15	4.60±0.51a	6.64±0.38a	25.67±0.25c	20.91±0.61b	46.58±1.23b	53.21±1.40b
	SG2	2.05±0.72	4.17±0.39a	6.23±0.68ab	26.63±0.16b	22.67±0.51a	49.29±1.34a	55.52±1.31a
	SG4	2.30±0.80	2.82±0.71b	5.12±0.59b	28.88±0.28a	19.55±0.61b	48.43±1.24a	53.55±1.41ab
P<	NS	0.01	0.05	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

T. Mak. (Toplam makro gözenekler); T. Mik. (Toplam mikro gözenekler) ; T. Göz. (Toplam gözenekler)

#### 4.9.2. Biyokömür uygulamalarının etkileri

Kil tekstürlü toprağın her iki hacim ağırlığı için toplam makro gözenek (T.Mak.), ( $\infty$ -50 ve 50-8.6 $\mu$ m) ve toplam mikro gözenek (T.Mik.), (8.6-0.2 ve <0.2 $\mu$ m) ve toplam gözeneklilik oranları (T.Göz.) üzerine BK uygulama dozlarına ilişkin etkileri çizelge 4.26'de gösterilmiştir. *Pb1* değerinde <0.2 $\mu$ m ile (T.Göz.) ve *Pb2*'de  $\infty$ -50, 8.6-0.2 ve <0.2 $\mu$ m ve (T.Mik.) gözeneklerin oranı istatistiksel olarak önemli farklılık oluşturmazken, diğer gözeneklerin oranı önemli ( $p<0.05$ ,  $p<0.01$  ve  $p<0.001$ ) etkileri gösterilmiştir. *Pb1*'de  $\infty$ -50 ve 50-8.6 $\mu$ m ve (T. Mak.) değerleri SG uygulama dozları artış ile azalış ölçülürken, (8.6-0.2 $\mu$ m) ve (T.Mik.) değerlerinde artış ölçülmüş, en yüksek BK dozunda kontrole göre (T.Mak.) değeri yaklaşık % 25 bir azalış oluşurken, (T.Mik.) değerinde yaklaşık % 14 artış ölçmü ve (T.Göz.) değeri ise değişmemiştir. *Pb2*'de 50-8.6  $\mu$ m ve (T. Mak.) değerleri BK uygulama dozları artış ile azalırken, (T.Göz.) değerinde de azalış ölçülmüş, en yüksek dozunda kontrole göre (T.Mak.) değeri yaklaşık % 60 olarak azalış belirlenmişken, (T.Mik.) değerinde etki göstermemiş ve (T.Göz.) değerinde yaklaşık % 7 olarak azalış gözlenmiştir. Buna göre BK uygulama dozları artış ile *Pb1* değeri için aynı anda (T.Mak.)'nin değerleri azaldığında (T.Mik.)'nin değerlerinde artış meydana gelmiştir. Sonuçta (T.Göz.) değerleri üzerine etki önemsiz bulunmuştur. Ancak *Pb2*'de (T.Mak.) değerleri yüksek oranda düşüş belirlenirken, (T.Mik) değerleri üzerine etki bulunmamıştır. Bu durum, biyokömür uygulaması toprağın her iki *Pb* değerlerinde makro gözeneklerin oranı çok önemli düzeyde düşüş belirlenmişken, *Pb2*'de iki ila üç kat arasında daha fazla düşüş belirlenmiştir. *Pb1*'de biyokömürün küçük parçacıkların çapı (0-500 $\mu$ m) arasında değiştiğini belirlerken, toprağın küçük gözenekleri (<0.5 $\mu$ m) ve çatlakları (>500 $\mu$ m)'in hacmini düşürebilmesi ile ilişkilendirilmiştirlerdir (Glağb ve ark., 2016). Ayrıca biyokömürün çoğu çeşitlerin içindeki gözeneklerin % 95'inin 0.002  $\mu$ m çaptan daha az olduğunu önermişlerdir (Major ve ark., 2009). *Pb2*'de biyokömürün uygulamaları arttıkça toprağın sıkışmasına teşvik edilmiş ve makro gözenekleri çok bariz bir şekilde düşürmüştür. Bunun sebebi olarak biyokömürün çok ince parçacıkları (toz halinde) tüm uygulama şekillerinde (depolama, kullanma ve ilave etmek gibi) trafikten dolayı alt toprağa gelen sıkışma riski artılabilmektedir (Verheijen ve ark., 2010). Sonuçta BK uygulamaları yüksek hacim ağırlığında toprağın toplam gözeneklerin miktarı düşürmüştür.

**Çizelge 4.26.** Killi toprakta düşük ve yüksek hacim ağırlığında biyokömür uygulamasına göre makro ve mikro gözeneklerin etkilenmesi

<i>Pb g cm<sup>-3</sup></i>	% Makro gözenekleri (Havalanma ve drenaj gözenekleri)			% Mikro gözenekleri (Faydalı ve kalan su tutulan gözenekleri)				
	$\infty$ - 50 $\mu$ m	50-8.6 $\mu$ m	T. Mak.	8.6-0.2 $\mu$ m	< 0.2 $\mu$ m	T. Mik	T. Göz.	
1.20	Kontrol	6.94±1.28a	7.74±1.13ab	14.68±1.14a	20.48±0.02b	21.17±0.61	41.65±1.01b	56.33±1.23
	BK1	5.21±0.30b	9.12±0.30a	14.34±0.41ab	20.39±0.01b	20.17±0.81	40.55±1.03b	54.90±1.11
	BK2	4.60±0.15b	7.88±0.52ab	12.49±0.64ac	22.62±0.00a	20.12±0.23	42.74±0.96a	55.23±1.05
	BK4	4.31±0.19b	6.76±1.31b	11.08±1.40c	23.06±0.00a	20.32±0.34	43.38±1.13a	54.46±1.24
P<	0.01	0.05	0.01	0.01	NS	0.001	NS	
1.35	Kontrol	1.66±0.66	4.61±0.41a	6.26±0.64a	21.29±0.42	23.81±0.41	45.10±1.35	52.36±1.21a
	BK1	1.96±0.55	3.88±0.74a	5.84±0.45ab	22.02±0.31	22.70±0.54	44.72±1.32	50.55±1.41b
	BK2	1.18±0.49	3.50±0.58a	4.68±0.97b	22.79±0.20	22.62±0.61	45.41±1.21	50.88±1.31b
	BK4	1.15±0.29	1.83±0.59b	2.98±0.76c	22.61±0.18	22.86±0.44	45.46±1.36	48.44±1.40c
P<	NS	0.001	0.001	NS	NS	NS	0.001	

T. Mak (toplam makro-gözenekler); T. Mik (toplam mikro-gözenekler) ; T. Göz (toplam gözenekler)

#### 4.9.3. Kireç uygulamalarının etkileri

Kil tekstürlü toprağın her iki hacim ağırlığı için toplam makro gözenek (T.Mak.), ( $\infty$ -50 ve 50-8.6 $\mu$ m) ve toplam mikro gözenek (T.Mik.), (8.6-0.2 ve <0.2 $\mu$ m) ve toplam gözeneklilik oranları (T.Göz.) üzerine L uygulama dozlarına ilişkin etkileri çizelge 4.27’de göstermiştir. *Pb1* değerinde (50-8.6 $\mu$ m) ve *Pb2*’de ( $\infty$ -50, 50-8.6 ve 8.6-0.2  $\mu$ m) gözeneklerin oranı istatistiksel olarak önemli farklılık oluşturmazken, diğer gözeneklerin oranı önemli ( $p<0.05$ ,  $p<0.01$  ve  $p<0.001$ ) etkileri gösterilmiştir. *Pb1*’de ( $\infty$ -50 $\mu$ m) ve (T. Mak.) değerleri L uygulama dozların artış ile artış belirlenmiştir. (8.6-0.2 ve <0.2 $\mu$ m), (T.Mik.) ve (T.Göz.) değerlerinde azalış bulunmuş ve L20 dozunda kontrole göre (T.Mak.)’in değeri yaklaşık % 13 olarak artış belirlenirken, (T.Mik.) ve (T.Göz.) değerlerinde sırayla yaklaşık % 14 ve % 7 olarak düşüş gözlenmiştir. *Pb2*’de ise sadece (T. Mak.) L20 değeri L uygulama dozu artış ile artış ölçülürken, (<0.2 $\mu$ m), (T.Mik.) ve (T.Göz.) değerleri L uygulama dozu artış ile azalış bulunmuş ve L20 dozunda kontrole göre (T.Mak.) değeri yaklaşık % 22 olarak artış oluşurken, (T.Mik.) ve (T.Göz.) değerlerinde sırayla yaklaşık % 14 ve % 5 olarak düşüş belirlenmiştir. *Pb1*’de (T.Mak.) ortalaması % 15.61 ise *Pb2*’de % 6.85 bulunmuştur. Sıkışma miktarı artması ile toprağın makro gözeneklerin oranı yaklaşık yarısına kadar düşürmüştür. Bu durum, kireç kısa süreli olarak toprağa uyguladığı zaman kil koloidallerinde dispersiyon ve kaymak tabakası formasyonuna teşvik edilmekte ile birebir toprağın pH’sini artırır ve sonuçta kil koloidallerinin yüzeyindeki negatif yükü artırmakta olup tanelerin arasındaki oluşan itme gücü hâkim ettiğini belirlenmiştir (Haynes ve Naidu, 1998). Bu nedenlerden dolayı toprağın her iki *Pb* değerlerinde kireç uygulaması artırırken makro gözeneklerin artırdığını olabilmektedir. Toprağın mikro gözenek oranında düşme nedeni daha önce belirlenmiş olduğu gibi kirecin küçük gözeneklerinde girmiş tıkanıp ve kapanmış sonuçta sayısı düşürebilmiştir (Russo ve Modoni, 2013). Genellikle, killi toprağın mikro gözenekleri hâkim olursa sonuçta toprağın toplam gözenekler düşmesine neden olmuştur.

**Çizelge 4.27.** Killi toprakta düşük ve yüksek hacim ağırlığında kireç uygulamasına göre makro ve mikro gözeneklerin etkilenmesi

$Pb \text{ g cm}^{-3}$	% Makro gözenekleri (Havalanma ve drenaj gözenekleri)			% Mikro gözenekleri (Faydalı ve kalan su tutulan gözenekleri)				
	$\infty - 50\mu\text{m}$	50-8.6 $\mu\text{m}$	T. Mak.	8.6-0.2 $\mu\text{m}$	< 0.2 $\mu\text{m}$	T. Mik.	T. Göz.	
1.20	Kontrol	6.94±1.28b	7.74±1.13	14.68±1.14b	20.48±1.02b	21.17±0.01a	41.65±1.23a	56.33±1.21a
	L5	8.08±0.62ab	7.37±0.59	15.46±1.04ab	25.84±1.00a	14.70±0.01c	40.53±1.33a	55.99±1.13ab
	L10	8.34±1.06ab	7.34±0.68	15.69±0.47ab	22.98±1.01ab	17.60±0.01b	40.57±1.20a	56.27±1.04a
	L20	9.69±0.76a	6.94±0.81	16.63±0.40a	19.92±1.03b	15.90±0.01c	35.81±0.98b	52.44±1.11b
P<	0.05	NS	0.05	0.05	0.001	0.001	0.05	
1.35	Kontrol	1.66±0.66	4.61±0.41	6.26±0.64b	21.29±0.23	23.81±1.35a	45.10±1.36a	51.36±1.01a
	L5	2.44±0.48	4.46±0.73	6.90±1.21ab	22.75±0.27	16.54±1.23b	44.28±1.62b	51.18±1.21a
	L10	1.58±1.52	4.99±1.01	6.57±0.71b	23.63±0.34	19.81±1.42b	43.44±1.42b	50.00±0.94ab
	L20	3.10±0.22	5.44±0.61	7.62±0.81a	22.22±0.19	17.86±1.35b	40.07±1.42c	48.61±1.02b
P<	NS	NS	0.05	NS	0.001	0.001	0.01	

T. Mak (toplam makro-gözenekler); T. Mik (toplam mikro-gözenekler) ; T. Göz (toplam gözenekler)

## 4.10. Kumlu Tın Toprakta Makro ve Mikro Gözeneklilik

### 4.10.1. Sığır gübresi uygulamalarının etkileri

Kumlu tın tekstürlü toprağın her iki hacim ağırlığı için toplam makro gözenek (T.Mak.), ( $\infty$ -50 ve 50-8.6 $\mu$ m) ve toplam mikro gözenek (T.Mik.), (8.6-0.2 ve <0.2 $\mu$ m) ve toplam gözeneklilik oranları (T.Göz.) üzerine SG uygulama dozlarına ilişkin etkisi çizelge 4.28'de göstermiştir. Her iki *Pb* değerinde sadece ( $\infty$ -50 $\mu$ m) aralıktaki gözeneklerin oranı istatistiksel olarak önemli farklılık gözlenmezken, diğer gözeneklerin oranı önemli ( $p<0.05$ ,  $p<0.01$  ve  $p<0.001$ ) etkileri gösterilmiştir. *Pb1*'de sadece SG4 dozu (50-8.6) ile (T. Mak.) değerlerinde azalış belirlenirken, SG uygulama dozu artış ile (8.6-0.2, <0.2 $\mu$ m), (T.Mik.) ve (T.Göz.) değerleri artmışlardır. SG4 uygulama dozu kontrole göre (T.Mak.) değeri yaklaşık % 23 olarak düşüş bulunurken, (T.Mik) ve (T.Göz.) değerlerinde sırayla yaklaşık % 46 ve % 19 artış belirlenmiştir. *Pb2*'de de sadece SG4 dozu (50-8.6) ile (T. Mak.) değerlerinde SG uygulama dozu artış ile düşüş bulunurken, (8.6-0.2 $\mu$ m), (T.Mik.) ve (T.Göz.), SG4 hariç tutulursa değerlerinde artış gözlenmiştir. SG4 uygulama dozu kontrole göre (T.Mak.) değeri yaklaşık % 36 olarak azalış bulunurken, (T.Mik) ve (T.Göz.) değerlerinde sırayla yaklaşık sadece % 12 ve % 1 artış belirlenmiştir. Buna göre SG uygulama dozu artış ile *Pb1* değerinde (T.Mak.) değeri düşürürken, (T.Mik) değerleri artırmıştır. Nitekim (T.Göz.) değerleri de artmıştır. *Pb2* değerinde SG uygulama dozu artış ile (T.Mak.) değeri sadece SG4 uygulama dozunda düşüş bulunurken, (T.Mik) değerleri sınırlı düzeyde artırmıştır. Sonuçta (T.Göz.) değerleri SG4 uygulama dozu hariç tutulursa sınırlı düzede artırmıştır. *Pb1*'de (T.Mak.) ortalaması % 13.97 ise *Pb2*'de % 7.07 olarak bulunmuştur. Sıkışma derecesi artış ile toprağın makro gözeneklerin oranı yaklaşık yarısına kadar düşürmüştür. Buna göre, Toprağa SG uygulaması genellikle toprağın su tutma kapasitesini artırır. Bunun nedeni, organik madde ilavesinin, toprak parçacıkları birbirine "yapıştırarak" ya da toprak organizmaları için uygun yaşam koşulları yaratarak, topraktaki mikro gözeneklerin ve makro gözeneklerin sayısını arttırdığını bildirmişlerdir (Bot ve Benites, 2005). Ancak denemedeki kumlu tın toprağın makro ve drenaj gözeneklerin sayısı zaten fazla ve topağa organik madde kaynağı olarak uygulanmış olduğunu SG uygulamasının fiber içeriği fazla olduğundan dolayı toprağın mikro gözeneklerin miktarı artırmış ve büyük boşlukları

organik madde parçacıkları ile doldurulmuş, sonuçta SG oranı arttıkça makrogözeneklerin oranı düşmüştür.



**Çizelge 4.28.** Kumlu tın toprakta düşük ve yüksek hacim ağırlığında sıgır gübre uygulamasına göre makro ve mikro gözeneklerin etkilenmesi

<i>Pb</i> g cm <sup>-3</sup>	% Makro gözenekleri (Havalanma ve drenaj gözenekleri)			% Mikro gözenekleri (Faydalı ve kalan su tutulan gözenekleri)			Toplam gözenekler	
	∞ - 50µm	50-8.6 µm	T. Mak.	8.6-0.2 µm	< 0.2µm	T. Mik.		
1.50	Kontrol	5.04±0.50	9.67±0.22a	14.70±0.53a	12.06±0.50d	11.61±0.70b	23.68±0.65c	38.38±0.89c
	SG1	5.25±0.70	9.20±1.29ab	14.46±0.80a	15.69±0.41c	12.36±0.94b	28.04±1.02b	42.49±0.90b
	SG2	5.38±0.67	10.05±1.79a	15.43±1.76a	17.88±0.24b	12.92±0.49a	30.80±1.03b	46.22±0.00a
	SG4	4.30±0.94	7.00±0.46b	11.29±0.96b	21.01±0.45a	13.47±0.71a	34.48±1.21a	45.76±0.01a
P<	NS	0.05	0.01	0.001	0.01	0.001	0.001	0.001
1.70	Kontrol	2.77±0.36	5.65±0.29a	8.41±0.47a	14.90±0.65c	13.34±0.00b	28.24±0.86b	36.65±1.01b
	SG1	2.69±0.26	4.35±0.91ab	7.04±1.13ab	17.37±0.46a	13.98±0.01ab	31.35±0.47a	38.38±1.11a
	SG2	2.55±0.48	4.95±1.14a	7.50±1.54ab	16.46±0.62ab	14.62±0.00a	31.26±0.68a	38.76±1.22a
	SG4	2.15±0.35	3.21±0.38b	5.36±0.60b	16.42±0.71ab	15.34±0.00a	31.76±0.87a	37.11±1.21ab
P<	NS	0.01	0.01	0.001	0.05	0.01	0.01	0.05

T. Mak (toplam makro-gözenekler); T. Mik (toplam mikro-gözenekler) ; T. Göz (toplam gözenekler)



#### 4.10.2. Biyokömür uygulamalarının etkileri

Kumlu tın tekstürlü toprağın her iki hacim ağırlığı için toplam makro gözenekler (T.Mak.), ( $\infty$ -50 ve 50-8.6 $\mu$ m) ve toplam mikro gözenekler (T.Mik.), (8.6-0.2 ve <0.2 $\mu$ m) ve toplam gözeneklilik oranları (T.Göz.) üzerine BK uygulama dozlarına ilişkin etkileri çizelge 4.29'de gösterilmiştir. Her iki Pb değerlerinde sadece (T.Göz.) değerleri istatistiksel olarak önemli farklılık bulunmazken, diğer gözeneklerin oranı önemli ( $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$  ve  $p < 0.001$ ) etkileri gösterilmiştir. Pb1 için ( $\infty$ -50 $\mu$ m) (50-8.6 $\mu$ m, BK4) ve (T. Mak., BK4) değerleri BK uygulama dozu artış ile artırırken, (8.6-0.2 ve <0.2 $\mu$ m) ve (T.Mik.) değerlerinde de artış belirlenmiştir. BK4 dozunda kontrole göre (T.Mak.) değeri yaklaşık % 31 olarak düşüş bulunurken, (T.Mik.) değerinde yaklaşık % 28 olarak artış belirlenmiştir. Pb2 için ( $\infty$ -50 $\mu$ m, BK4) (50-8.6 $\mu$ m, BK4) ve (T. Mak., BK4) değerleri BK uygulama dozların artış ile azalış belirlenirken, (8.6-0.2, BK2 ve <0.2 $\mu$ m, BK2) hariç tutulursa (T.Mik.) değeri sadece BK4 uygulama dozunda artış bulunmuştur. BK4 uygulama dozu kontrole göre (T.Mak.)'in değeri yaklaşık % 41 bir düşüş belirlenirken, (T.Mik.) değerinde yaklaşık % 10 olarak artış belirlenmiştir. Pb1'de (T.Mak.) ortalaması % 13.22 ise Pb2'de % 7.43 olarak bulunmuştur. Yine sıkışma miktarı artması ile toprağın makro gözeneklerin oranı yaklaşık yarısına kadar düşürmüştür. Buna göre, kumlu tın toprağın her iki Pb değerleri için BK uygulama dozu artış ile hem makro gözenekler hem de mikro gözenekleri eşit bir şekilde artırması için toprağın toplam gözeneklerin oranı üzerine etki gözlenmemiştir. Biyokömür uygulaması kumlu tın toprağın gözenek büyüklüğü dağılımı değişmiş ve aşırı düzede bulunan makro gözeneklerin oranı mikro gözeneklere dönüştürerek toprağın suyun tutulma kapasitesi artıracak ve tansiyon yükselmesine katkı daha fazla su muhafaza edilebilmektedir. Benzer çalışma sonuçlarında (Jones ve ark., 2010) yaptıkları çalışmada biyokömür kumlu toprağa uyguladığı zaman toprağın makro gözeneklerin önemli derecede düşürürken, mezo ve mikro-gözenekleri genel olarak önemli derecede artırmasıyla toprağın su tutma kapasitesini artırıldığını bildirmişlerdir. Mezo ve makro gözeneklerin artma nedeni biyokömür parçacıkları toprağın kum tanelerin arasındaki bulunan büyük boşlukları doldurmasından dolayı açıklanmışlardır. Biyokömür uygulamasıyla toprak su tutuma kapasitesinde bir artış olduğunun nedeni ya biyokömürün

polaritesi ya toprak agregasyonu gelişimi veya mikro gözenekleri bir artıştan kaynaklandığı düşünülmüşlerdir (Novak ve ark., 2009).



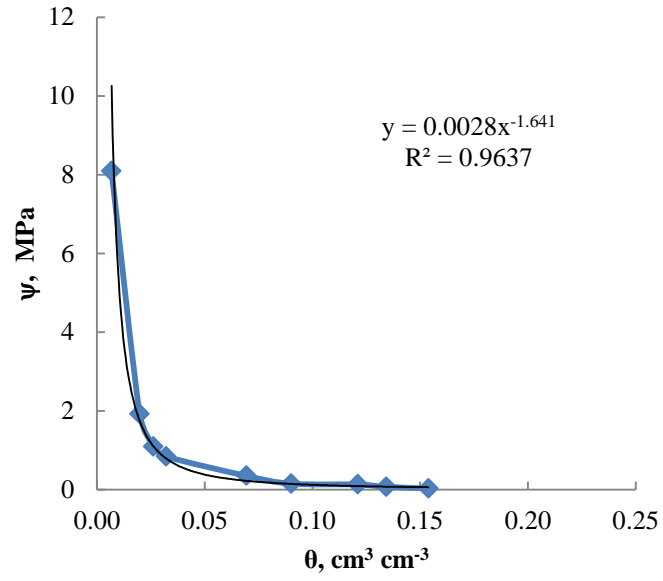
**Çizelge 4.29.** Kumlu tın toprakta düşük ve yüksek hacim ağırlığında biyokömür uygulamasına göre makro ve mikro gözeneklerin etkilenmesi

<i>Pb</i> g cm <sup>-3</sup>		% Makro gözenekleri (Havalanma ve drenaj gözenekleri)			% Mikro gözenekleri (Faydalı ve kalan su tutulan gözenekleri)			Toplam gözenekler
		∞ - 50µm	50-8.6 µm	T. Mak.	8.6-0.2 µm	< 0.2µm	T. Mik.	
1.50	Kontrol	5.04±0.50a	9.67±0.22a	14.70±0.53a	12.06±0.41c	11.61±0.55d	23.68±0.96c	38.38±0.91
	BK1	4.05±0.75ab	10.79±0.27a	14.84±0.88a	15.77±0.29a	12.58±0.40c	25.39±0.56bc	40.23±1.21
	BK2	3.32±0.18bc	9.95±1.27a	13.27±1.34a	14.72±0.32b	11.90±0.10b	27.67±0.78b	40.93±0.91
	BK4	2.88±0.39c	7.18±1.03b	10.07±0.84b	14.23±0.44b	15.61±0.41a	30.32±0.47a	40.39±1.10
	P<	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	NS
1.70	Kontrol	2.77±0.36ab	5.65±0.29a	8.41±0.47a	14.90±0.61a	13.34±0.00c	28.24±0.67b	36.65±1.23
	BK1	2.27±0.20ab	6.01±0.50a	8.28±0.33a	13.06±0.41b	14.31±0.00b	27.37±0.98b	35.65±1.09
	BK2	2.82±0.51a	5.25±1.03a	8.07±0.66a	15.10±0.55a	13.49±0.00c	28.59±0.75b	36.66±1.13
	BK4	2.08±0.26b	2.88±0.35b	4.96±0.53b	13.46±0.62b	17.69±0.00a	31.15±0.71a	36.10±1.21
	P<	0.05	0.001	0.001	0.001	0.001	0.01	NS

T. Mak (toplam makro-gözenekler); T. Mik (toplam mikro-gözenekler) ; T. Göz (toplam gözenekler)

#### 4.10.3. Kireç uygulamalarının etkileri

Kumlu tekstürlü toprağın her iki hacim ağırlığı için toplam makro gözenekler (T.Mak.), ( $\infty$ -50 ve 50-8.6 $\mu$ m) ve toplam mikro gözenekler (T.Mik.), (8.6-0.2 ve <0.2 $\mu$ m) ve toplam gözeneklilik oranları (T.Göz.) üzerine L uygulama dozlarına ilişkin etkileri çizelge 4.30'de göstermiştir. Pb1 için (T.Mak.) ile (T.Göz.) ve Pb2'de ( $\infty$ -50 $\mu$ m) gözeneklerin oranı istatistiksel olarak önemli farklılık bulunmazken, diğer gözeneklerin oranı önemli ( $p<0.05$ ,  $p<0.01$  ve  $p<0.001$ ) etkileri gösterilmiştir. Pb1 değerinde ( $\infty$ -50 $\mu$ m), (T.Mak.,L5) ve (8.6-0.2 $\mu$ m) değerlerinde artış ölçülürken, (50-8.6 $\mu$ m, L10) ve (<0.2 $\mu$ m) değerlerinde azalış belirlenmiştir. L20 dozunda kontrole göre (T.Mak.) değeri yaklaşık % 8 olarak artış oluşurken, (T.Mik.) ve (T.Göz.) değerlerinde etki gözlenmemiştir. Pb2'de ise (50-8.6 $\mu$ m, L20) ve (T.Mak., L20) değerlerinde L uygulama dozların artış ile artırırken, (8.6-0.2 $\mu$ m, L20), (<0.2 $\mu$ m, L20), (T.Mik, L20) ve (T.Göz, L20) değerleri L uygulama dozu artış ile düşüş belirlenmiştir. L20 dozunda kontrole göre (T.Mak.) değeri yaklaşık % 25 olarak artış oluşurken, (T.Mik.) ve (T.Göz.) değerlerinde sırayla yaklaşık % 13 ve % 5 olarak düşüş gözlenmiştir. Pb1'de (T.Mak.) ortalaması % 15.57 ise Pb2'de % 9.25 bulunmuştur. Sıkışma miktarı artması ile toprağın makro gözeneklerin oranı yaklaşık -1.7 kat düşürmüştür. Bu durum, kireç uygulaması kumlu tın toprağın her iki hacim ağırlığında toplam makro gözeneklerin miktarı bazı dozlarda nispeten artırma nedeni, kirecin yüksek dozlarda Ca<sup>+2</sup> konsantrasyonu artar ve neticede toprak çökeltesindeki iyonik gücü artırırken elektrik çift katmanı sıkıştırır ve flokülasyonu teşvik edilmektedir (Haynes ve Naidu, 1998). Denemedeki kullanılan saf kireç maddesi için tarla kapasitesinden kalan su içeriğine kadar su tansiyona karışı kalan hacimsel su içeriğinin hesap edilmiş ve elde edilen sonuç aşağıdaki 4.22 şekilde gösterilmektedir. Bu analize göre kirecin tarla kapasitesi 0.15, solma noktası 0.02 ve faydalı su içeriği ise 0.13 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> olarak belirlenmiştir. Elde edilen kirecin değerleri denemedeki tüm sonuçlarından daha çok az gelmiş ve en düşük nem içeriği sadece 8.09 MPa'ta (~ pF 4.92), ancak tüm tarla kapasitesi noktalarında en yüksek nem 0.03 MPa (~ pF 2.53) tansiyonunda ölçülmüştür. Bu yüzden kullanılan kireç kumlu tın toprakta su tutma eğrisini değiştirilerek tarla kapasitesinde tutulan nemi artırırken solma noktasında tutulan nemi bir miktarını düşürerek faydalı suyun miktarında artış oluşturmuştur.



Şekil 4.22. Kireç için tarla kapasitesinden kalan su içeriğine kadar tansiyona karşı nem içeriği

**Çizelge 4.30.** Kumlu tın toprakta düşük ve yüksek hacim ağırlığında kireç uygulamasına göre makro ve mikro gözeneklerin etkilenmesi

<i>Pb</i> g cm <sup>-3</sup>	% Makro gözenekleri (Havalanma ve drenaj gözenekleri)			% Mikro gözenekleri (Faydalı ve kalan su tutulan gözenekleri)			Toplam gözenekler	
	∞ - 50µm	50-8.6 µm	T. Mak.	8.6-0.2 µm	< 0.2µm	T. Mik.		
1.50	Kontrol	5.04±0.50b	9.67±0.22a	14.70±0.53b	12.06±0.13b	11.61±0.40a	23.68±0.47	38.38±1.01
	L5	7.06±0.53a	9.70±1.38a	16.76±1.26a	14.23±0.24a	10.63±0.41b	24.85±0.89	41.60±0.81
	L10	7.77±0.37a	7.24±0.85b	15.01±0.92ab	14.08±0.32a	10.47±0.25c	24.55±0.78	39.56±0.79
	L20	6.12±1.43ab	9.69±1.42a	15.81±0.25ab	13.68±0.33a	9.66±0.41c	23.33±0.71	39.15±1.15
P<	0.01	0.05	0.05	0.001	0.001	NS	NS	
1.70	Kontrol	2.77±0.36	5.65±0.29b	8.41±0.47b	14.90±0.82a	13.34±0.21a	28.24±0.96a	36.65±1.21a
	L5	2.67±0.31	6.76±0.40ab	9.43±0.61ab	15.12±0.41a	12.38±0.11b	27.49±0.84a	36.92±1.23a
	L10	2.86±0.41	5.82±0.75b	8.67±0.52b	15.22±0.60a	11.82±0.30b	27.04±0.83a	35.70±1.32ab
	L20	3.29±0.46	7.21±0.89a	10.49±1.23a	13.74±0.41b	10.76±0.20c	24.50±0.72b	34.99±1.23b
P<	NS	0.05	0.05	0.001	0.001	0.001	0.01	

T. Mak (toplam makro-gözenekler); T. Mik (toplam mikro-gözenekler) ; T. Göz (toplam gözenekler)

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Yapılan çalışmada kil ve kumlu tın tekstüre sahip topraklara % 0, 1, 2 ve 4 dozlarında SG ve BK uygulamaları ile % 0, 5, 10 ve 20 dozlarında L uygulamalarının, bir aylık inkübasyon sonunda, toprakların nem karakteristikleri ve diğer bazı özellikleri etkileri aşağıda özetlenmiştir.

- 1- Her iki toprakta, SG ve BK uygulama doz artısına bağlı olarak pH değerleri düşmüş ancak L uygulamalarında aksi sonuçlar elde edilmiştir.
- 2- Her iki toprakta, SG ve BK'nın uygulama dozu arttıkça toprağın hacim ağırlığı düşmüş ancak L uygulamaları artışa neden olmuştur.
- 3- Topraklarda SG ve BK'nın uygulama dozu artışlarının toplam gözenekliliği arttırdığı ancak L uygulamaları için uygulama dozu arttıkça killi toprakta toplam gözenek yüzdesi düşerken, kumlu tın toprakta arttığı kaydedilmiştir.
- 4- Killi toprakta SG, BK ve L uygulamaları AOÇ ve AS değerlerini artırmış, fakat L5 uygulaması (+% 13 CaCO<sub>3</sub> orijinal toprakta toplam ~ % 18) ile toplam L miktarının yaklaşık olarak % 18'in üzerine çıktığı durumda AS üzerinde azaltıcı etki göstermiştir.

Kumlu tın toprak ise SG uygulama dozları AOÇ üzerine etki göstermemiş, fakat AS değeri artmıştır. BK dozu arttıkça AOÇ düşerken, AS sadece % 1'lik uygulama dozunda sınırlı olarak artmıştır. L uygulama dozu arttıkça sadece % 20'de (orijinal kireç içeriği ile ~% 32'de) AOÇ artmıştır, fakat AS değeri ise düşmüştür.

- 5- Killi toprakta, SG uygulama dozu artış ile LL üzerine etki bulunmamış, ancak BK dozu arttığında LL değeri artmıştır. PL değeri ise hem SG ve hem de BK uygulama dozu artış ile artmıştır. L uygulaması ise doz arttıkça hem LL hem de PL değerlerini düşürmüştür.

Kumlu tın toprakta, SG ve BK uygulama dozları arttığında LL değerleri artmış, fakat L uygulama dozu arttığında ise LL değerleri düşmüştür.

- 6- Killi toprakta, mineralize edilmiş organik karbon oranı (% Min.OC) SG uygulama dozu artış ile arttığı belirlenmiş, ancak BK uygulaması dozu artış ile kontrole göre % Min.OC genel olarak dozların arasındaki farklılıklar önemsiz belirlenmiştir. L

uygulaması ise kontrole göre, sadece L5 dozunda % Min.OC oranı önemli olarak artmış, fakat diğer dozlar arasında farklılıklar önemsiz bulunmuştur.

Kumlu tın toprakta ise SG uygulaması % Min.OC oranı artmış, ancak dozlar arasında önemli fark gözlenmemiştir. BK uygulama dozu artış ile % Min.OC oranı önemli olarak düşmüştür. L uygulama dozu artış ile kontrole göre % 10'a kadar (toprakta orijinal kireç içeriği ile toplam ~% 22) etkisi bulunmuş, ancak % 20'de (toplam ~% 32) % Min.OC önemli olarak düşmüş ve organik maddenin depolanma kapasitesi yükselmiştir.

- 7- TSTE'de ölçülen nem sabiteleri incelendiğinde, killi toprakta  $Pb1$ 'de ( $1.20 \text{ g cm}^{-3}$ ), kontrole göre faydalı su içeriğini en fazla artıran uygulamanın SG olduğu ve dozu arttıkça faydalı su içeriğinin de arttığı, ayrıca L uygulamasının L5 dozunun da faydalı su içeriğini artırdığı ancak diğer uygulamaların etkisinin önemli olmadığı belirlenmiştir.  $Pb2$ 'de ( $1.35 \text{ g cm}^{-3}$ ) ise yine SG uygulama dozu arttıkça faydalı su içeriğini artmış, ancak BK uygulama dozu etki göstermemiş ve L uygulamalarında ise L5 ve L10 dozları kontrole göre faydalı su içeriğini artmış, diğer uygulamaların etkisi önemsiz belirlenmiştir.

Kumlu tın toprakta ise  $Pb1$ 'de ( $1.50 \text{ g cm}^{-3}$ ) kontrole göre faydalı su içeriğini yine en fazla artıran SG uygulamaları bulunmuştur. BK uygulamalarında BK2 ve BK4 uygulamalarının etkileri önemli gözlenmiş ve faydalı su içeriğinde en fazla artıran doz BK2 uygulama dozudur belirlenmiştir. Yine L5 ve L10 uygulamaları toprağın faydalı su içeriğini önemli ölçüde artırırken, L20 uygulamasının etkisi önemsiz bulunmuştur. BK ve L uygulamalarının toprağın faydalı su içeriğine etkileri doza göre değişmekle birlikte birbirine yakın seviyelerde bulunmuştur. Sıkışma şartlarında, yani  $Pb2$ 'de ( $1.70 \text{ g cm}^{-3}$ ) SG uygulamaları faydalı su içeriğini önemli ölçüde ve diğer uygulamalardan daha yüksek düzeyde artmış, BK2, L5 ve L10 uygulamalarının etkisi önemsiz, diğer uygulamaları ise faydalı su içeriğini önemli ölçüde azaltıcı yönde etki göstermiştir.

- 8- Killi toprakta SG uygulaması, yüksek fiber içeriği nedeniyle ortaya çıkan şişmeden dolayı her iki hacim ağırlığında ölçülen  $\theta_s$  ve  $\theta_r$  değerleri ile RETC programından tahmin edilen  $\theta_s$  ve  $\theta_r$  değerleri birbirine yakın olmasına rağmen, özellikle  $Pb1$   $\theta_s$  ve  $\theta_r$  değerlerindeki farklılıklar artmıştır. Sıkışma etkisi ile şişme sınırlandırıldığından



*Pb2*'de bu farklılıklar daha düşük bulunmuştur. BK uygulaması ise *Pb1*'de ölçülen  $\theta_s$  değerleri, hesaplanan  $\theta_s$  değerlerinden, daha yüksek belirlenmiştir. *Pb2*'de ise gözeneklerin azalmasından dolayı ölçülen  $\theta_s$  değerleri hesaplanan  $\theta_s$  değerleriaradaki farklılık kaybolmuştur. *Pb1*'de ölçülen  $\theta_r$  değerleri hesaplanan  $\theta_r$  değerlerine çok yakın bulunmuş, *Pb2*'de ise BK4 dozunda tahmin edilene göre daha yüksek  $\theta_r$  değeri ölçülürken, diğer uygulamalarda tahmin edilene göre daha düşük  $\theta_r$  değerleri gözlenmiştir. L uygulamalarında *Pb1*'de ölçülen  $\theta_s$  değerleri hesaplanan  $\theta_s$  değerlerinden daha yüksek ilen, *Pb2*'de aradaki farklılık sıkışmadan dolayı kaybolmuştur. *Pb1*'de ölçülen  $\theta_r$  değerleri ile hesaplanan  $\theta_r$  değerleri düzensiz değişkenlik gösterirken, *Pb2*'deki L20 uygulamasında ölçülen  $\theta_r$  hesaplanan  $\theta_r$  değerinden daha yüksek iken, diğer uygulamalarda daha düşük kaydedilmiştir.

Kumlu tın toprakta *Pb1*'de kontrol örneğinde ölçülen ve tahmin edilen  $\theta_s$  değeri aynı iken, SG uygulamaları ile ölçülen değerleler hesaplanan değerlerden daha yüksek belirlenmiştir. Benzer durum *Pb2*'de de görülmüş, ancak aradaki farklılık daha düşük bulunmuştur. Daha önce de ifade edildiği gibi bu durum SG uygulamaları ile meydana gelen şişmeden kaynaklanmış olup, sıkışma şartlarında bu olumlu etkinin azaldığı görülmüştür. Diğer taraftan normal şartlarda toprak rutubet sabitelerinin mevcut modeller kullanılarak yüksek doğrulukta tahminlerini mümkün kılarken, SG uygulamalarında mevcut modellerin tahmin oranlarının düştüğü, bu nedenle yapılacak iyileştirme çalışmaları için mevcut modellerin güncellenmelerinin gerekliliği ortaya çıkmıştır. Tüm örneklerde ölçülen  $\theta_r$  değerleri hem *Pb1*'de ve hem de *Pb2*'de, tahmin edilen  $\theta_r$  değerlerinde daha yüksek belirlenmiştir. Özellikle toprağın tekstürel yapısı ve mineral bileşiminden kaynaklanan bu duruma toprak sıkışmasının etkisi bulunmamıştır. Mevcut araştırma şartları için  $\theta_r$  değerlerinin de yüksek doğruluk için güncellenmesin gerekliliği söz konusudur. BK uygulamalarında, *Pb1* ve *Pb2*'de ölçülen ve hesaplanan  $\theta_s$  değerleri birbirine çok yakın ilen, ölçülen  $\theta_r$  değerleri tahmin edilenlerden bir miktar yüksek gözlenmiştir. L uygulamalarında hem *Pb1*'de ve hem de *Pb2*'de ölçülen  $\theta_s$  değerleri ile hesaplanan  $\theta_s$  değerleri birbirine çok yakın çıkarken,  $\theta_r$  her iki hacim ağırlığında da ölçüm değerleri, tahmin değerlerinden bir miktar yüksek bulunmuştur. Burada

BK ve L uygulamalarının mevcut kumlu tın toprakta toplam gözeneklilikte artış oluşturacak strüktürel yapı ve onaranlarda olmadığı, ancak kuru bölgede ise yüzey alanı ve gözenek yapısından dolayı  $\theta_r$  değerinde artışlar oluşturduğu değerlendirilmiştir. Bu nedenle BK ve L uygulamalarında mevcut modellerin tahmin oranlarını artırmak için kuru bölge nem karakteristikleri için güncellemelerin yapılmasının gerekliliği ortaya çıkmıştır. Özellikle Konya topraklarının orta ve yüksek kireç içeriği değerlendirildiğinde, bölge topraklarımız için kuru bölge nem sabitelerinin belirlenmesi ve buradan elde edilecek verilerin kullanılması, yürütülecek teorik ve pratik çalışmaların doğrulunu ve etkinliğini artıracaktır.

- 9- Toprakların hava giriş değeri olan  $1/\alpha$  değeri, kil tekstürdeki toprağa SG uygulamalarında, diğer uygulamalara göre en yüksek değerleri göstermiş ve dozu arttığında her iki hacim ağırlığında da artışlar meydana gelmiş, ancak  $Pb2'$ de hava giriş değerleri yaklaşık iki kat daha fazla bulunmuştur. BK uygulamalarında ise,  $Pb1'$ de doz arttıkça hava giriş değeri artmıştır, ancak  $Pb2'$ de sadece BK4 dozunda hava giriş değeri düşmüş, kontrol dâhil diğer uygulamaların etkisi aynı seviyede bulunmuş,  $Pb1'$ de BK uygulamasıyla artan hava giriş değerleri hacim ağırlığı artış ile bu etki ortadan kalkmıştır. L uygulamasında  $Pb1'$ de en yüksek hava giriş değeri L5'de belirlenmiş, ancak bu dozun üzerinde hava giriş değeri hızlı bir düşüş göstermiştir.  $Pb2'$ de yine en yüksek hava giriş değeri L5dozunda olmuş ve L dozu arttıkça hava giriş değeri düşürmüş, ancak  $Pb2'$ de  $Pb1'$ e göre iki kat daha fazla hava giriş değerleri bulunmuştur. Toprakta doğal olarak bulunan kireçle birlikte ilave kireç miktarı yaklaşık % 18 civarında olduğunda daha yüksek hava giriş değerleri ölçülürken, bunun dışındaki durumlarda hava giriş değerleri düşüş göstermiştir.

Kumlu tın toprakta SG'nin uygulama dozu arttığında her iki hacim ağırlığında hava giriş değerini artmıştır. BK uygulaması ise,  $Pb1'$ de SG2'ye kadar uygulama dozu arttığında hava giriş değeri arttırmış, BK4'te ise hava giriş değeri düşmüştür. Ancak  $Pb2'$ de BK uygulamalarının etkisi değişkenlik göstermiş, burada önce hava giriş değeri düşmüş, BK2 dozunda artmış ve BK4 dozunda tekrar düşmüştür. L uygulamalarında ise hava giriş değeri her iki  $Pb$  değerleri için da önce artış sonra azalış şeklinde, benzer değişkenlik göstermiştir.  $Pb1'$ de normal hacim

ağırlığında, L20 ilavesinde hava giriş değeri diğer L uygulamalarından daha düşük ancak kontrolün üzerinde, Pb2’de sıkışmış hacim ağırlığında ise kontrolün altında bulunmuştur.

- 10- Toprak su tutma eğrisi ve dolayısıyla toprak nem sabitelerinin en yüksek doğrulukta tahmin edilmesinde ölçülen ve hesaplanan veriler arasındaki ilişkileri değerlendirmede  $R^2$  (en yüksek) ve NRMSE (en düşük) değerleri kullanılmıştır. Buna göre her iki tekstürdeki toprakta ve tüm uygulamalarında van Genuchten denkleminde kullanılan, en uygun ve en yüksek uyuma sahip, m parametresi  $m \neq 1$  olarak bulunmuş ( $R^2:0.98-1.00$ ; NRMSE:0.20-1.42 ), bunu Mualem modeli olan  $m=1-1/n$  takip etmiş ( $R^2:0.97-0.99$ ; NRMSE:0.34-2.18), sonraki model Burdine modeli,  $m=1-2/n$ , ( $R^2:0.95-0.99$ ; NRMSE:0.68-39.56) ve en düşük uyuma sahip model ise Gardner modeli,  $m=1$ , ( $R^2:0.89-0.98$ ; NRMSE:2.40-10.66) olmuştur.
- 11- Killi toprakta,  $m \neq 1$ 'e göre, tavadaki nem içeriği olan  $\theta_i$  değeri üzerine SG uygulamalarının etkisi her iki hacim ağırlığında da önemli belirlenmiştir. Strüktürel stabilitenin göstergesi olan  $S_{IN}$  değeri üzerine etkisi ise önemli bulunmuş, SG uygulama dozu artış ile artış göstermiştir. BK uygulamaları Pb1’de  $\theta_i$  üzerinde sınırlı düzeyde azaltıcı etki oluştururken,  $S_{IN}$  üzerinde ise tersine sınırlı düzeyde artışlar meydana getirmiştir. Pb2’de bu etkiler ortadan kalkmıştır. L uygulamaları hem Pb1’de ve hem de Pb2’de  $\theta_i$  ve  $S_{IN}$  değeri önemli düzeyde etkilemiş, uygulama dozu arttıkça  $\theta_i$  değeri düşmüş,  $S_{IN}$  değeri ise L uygulama dozu artış ile önce artmış sonra bir miktar düşmüştür. En düşük  $\theta_i$  değeri Pb1’de L5 ve L20 uygulama dozunda belirlenmiştir. En yüksek  $S_{IN}$  değeri ise her iki hacim ağırlığında da L5 uygulama dozunda elde edilmiştir.

Kumlu tın toprakta Pb2 hariç tutulursa, S indeksi SG uygulama dozu artış ile artış göstermiştir. Kumlu tın tekstürdeki toprağa SG uygulamaları her iki hacim ağırlığında  $\theta_i$  üzerine etki göstermemiş, ancak Pb1’de doz artış ile  $S_{IN}$  değeri artarken, Pb2’de düşmüştür. BK uygulaması ise, Pb1’de  $\theta_i$  değerini artırırken, Pb2’de etkisi önemsiz gözlenmiştir.  $S_{IN}$  değeri ise Pb1’de BK uygulaması ile sınırlı miktarda düşerken, Pb2’de bu etki ortadan kalkmıştır. L uygulamaları, Pb1’de  $\theta_i$  ve  $S_{IN}$  değeri üzerinde önemli bir etki oluşturmazken, ancak Pb2’de  $\theta_i$  değerlerinde düşüşler ölçülmüştür.

12- Killi toprakta, her iki  $P_b$  değerlerinde SG uygulamalarında diğer uygulamalara göre daha yüksek  $\theta_s$ ,  $\theta_{TK}$ ,  $\theta_{FS}$  ve  $1/\alpha$  bulunmuştur ve SG dozu arttıkça toprakta tutulabilecek (depolanabilecek) nem miktarı da arttırmıştır. BK uygulamaları ise kontrole göre, her iki hacim ağırlığında da doz arttığında,  $\theta_r$  ve  $1/\alpha$  hariç, toprağın hidrodinamik özelliklerine önemsiz düzeyde etkilemiş, doz artış ile orantılı olarak  $\theta_r$  değerleri kısmen yükselmiş,  $1/\alpha$  üzerindeki etkisi değişken olmuştur. L uygulama dozu arttığında her iki hacim ağırlığında da L5 ve L10 dozlarında toprağın hidrolik özelliklerini nispi olarak arttırmış ve toprağın su tutma kapasitesini iyileştirmiştir, fakat L20 dozda toprağın su tutma kapasitesini düşürmüştür.

Kumlu tın toprakta ise her iki  $P_b$  değerlerinde de SG uygulamalarında diğer uygulamalara göre en yüksek  $\theta_s$ ,  $\theta_{TK}$ ,  $\theta_{FS}$  ve  $1/\alpha$  değerleri bulunmuş ve SG dozu arttıkça da toprağın su depolama kapasitesi de arttırmıştır, ancak  $P_{b2}$ 'de sıkışmadan dolayı toprağın hidrolik özellikleri fazla iyileşmemiştir. BK uygulamalarında ise  $P_{b1}$ 'de toprağın hidrolik özellikleri iyileşmiş ve BK2 dozu en iyi sonucu vermiş, fakat  $P_{b2}$ 'de, BK2 dozu hariç, toprağın hidrolik özelliklerine olumsuz bir şekilde etki etmiş ve su tutma kapasitesini düşürmüştür. L uygulaması ise,  $P_{b1}$ 'de kontrole göre toprağın hidrolik özelliklerini çok sınırlı düzeyde iyileştirmiş, ancak  $P_{b2}$ 'de sadece L20 dozunda toprağın hidrolik özelliklerini düşürmüş ve diğer dozların önemli bir etkisi belirlenmemiştir.

13- SG uygulaması, killi toprakta dozu arttığında her iki  $P_b$  değerlerinde T.Mak. yüzdesini istatistiksel açıdan ( $P_{b2}$ , SG4 hariç tutulursa) önemsiz yönde etki edilmiştir, fakat  $P_{b2}$ 'de toprak sıkışmasından dolayı T.Mak.'in yüzdesi yarısına kadar düşmüştür. T.Mik. gözeneklerin yüzdesi ise toprağın her  $P_b$  değerleri için de SG dozu arttığında toprağın faydalı suyu tutan gözeneklerinin yüzdesi (8.6-0.2  $\mu m$ ) ve dolayısıyla mikrogözeneklerin yüzdesi arttırmıştır. Genel olarak, SG dozu arttıkça toprağın her iki hacim ağırlığında T.Göz. yüzdesi artmış, fakat yüksek hacim ağırlığında bu artış daha düşük olmuştur.

Kumlu tın toprağa SG uygulama dozu arttığında her  $P_b$  değerleri için toprağın T.Mak. yüzdesi düşmüş, ancak  $P_{b2}$ 'de  $P_{b1}$ 'e göre sıkışmadan dolayı toplam makro gözeneklerin değerleri de yaklaşık yarısına kadar azalmıştır. Her iki  $P_b$  değerleri için SG dozu arttığında toprakta faydalı suyun tutulduğu gözeneklerin

yüzdesi (8.6-0.2  $\mu\text{m}$ ) artmış ve sonuçta T.Mik.'in yüzdesi artmıştır. Genel olarak, SG dozu arttıkça toprağın her iki *Pb* değerleri için T.Göz. yüzdesi artırmış, fakat *Pb2*'de kontrole göre dozlar arasında önemli farklılık bulunmamıştır.

- 14- BK uygulamaları ile killi toprağın her iki *Pb* değerleri için doz artış ile T.Mak.'in yüzdesi düşürmüş, fakat *Pb2*'de diğerine göre sıkışmadan dolayı değerle yaklaşık yarı yarıya azalmıştır. T.Mik. yüzdesi ise, düşük hacim ağırlığında BK dozu arttıkça artış göstermiş, ancak *Pb2*'de BK dozunun etkisi görülmemiştir. *Pb1*'de T.Göz.'in yüzdesi önemsiz bulunmuş, fakat *Pb2*'de BK dozu arttıkça değeri düşürmüştür.

Kumlu tın toprak ise, her iki *Pb* değerleri için sadece BK4 dozunda T.Mak. yüzdesi düşmüş ve diğer dozların etkisi olmamıştır. T.Mik. ise özellikle BK4 dozunda her iki *Pb* değerlerinde artmıştır. Genellikle, BK uygulama dozu artış ile T.Göz. yüzdesi etki her iki *Pb* değerleri için belirlenmemiştir.

- 15- L uygulaması, killi toprakta, her iki *Pb* değerleri için sadece L20 dozunda T.Mak. önemli düzeyde artmış, fakat diğer dozların arasında önemli bir fark bulunmamıştır. T.Mik.'in yüzdesi ise, her *Pb* değerleri için L dozu arttığında değerini düşmüştür. Sonuç olarak T.Göz. yüzdesi her iki *Pb* değerleri için da düşmüştür.

Kumlu tın toprak ise, her iki *Pb* değerleri için L dozu arttığında toprağın T.Mak. yüzdesi sınırlı düzeyde ve önemli bir artış göstermiştir. T.Mik. yüzdesi üzerine *Pb1*'de L uygulamalarının dozunun etkisi olmamış, ancak *Pb2*'de sadece L20 dozunda miktarı düşmüştür. T.Göz üzerine *Pb1*'de L uygulama dozlarının etkisi olmamış, fakat *Pb2*'de L dozu arttıkça toplam gözeneklerin yüzdesi düşmüştür.

## 5.2 Öneriler

Kil ve kumlu tın tekstürdeki topraklara sığır gübresi ve biyokömür uygulamaları bu toprakların zayıf olan strüktürel ve hidrodinamik özellikleri ile ölçülen diğer özelliklerini iyileştirmiştir. Özellikle uygulama miktarı ve ekonomikliğı dikkate alındığında % 2'lik uygulama dozları yeterli bulunmuştur. Topraklara uygulanan organik materyallerin mineralizasyon hızları kumlu tın toprakta, killi toprağa göre daha yüksek çıktığından, karbon yutağı olarak değerlendirmede kil içeriğı yüksek olan topraklara öncelik verilmeli, ayrıca biyokömürün sığır gübresine göre mikrobiyal parçalanmaya çok daha dirençli olduğu göz önüne alınmalıdır. Kumlu tın topraklarda ise toprak özelliklerinin sürdürülebilir iyileştirilmesi için killi topraklara göre daha sık ve yüksek dozda organik madde ilaveleri yapılmalıdır. Her iki toprağın da dışarıdan ilave ile kireç içerikleri artırıldığında toprak özelliklerinde bozulmalar ortaya çıkmış, bu bozulmalar kumlu tın toprakta daha belirgin olmuştur. Bu nedenle yapılacak toprak amenajmanı çalışmalarında bu durum göz önüne alınmalıdır. İnkübasyon çalışmalarının uygulamaya aktarılması için arazi çalışmaları ile mevcut verilerin desteklenmesi önerilmektedir.

Her iki toprakta sığır gübresi, biyokömür ve kireç ilaveleri ve sıkıştırma uygulamaları, hidrodinamik özelliklerde önemli değişimlere yol açmıştır. Sığır gübresi uygulamaları özellikle ıslak bölgede nem parametrelerinin geliştirilmesi üzerinde daha etkili iken bu etki toprak sıkışması ile azalmıştır. Bu nedenle organik gübrelemeler ile ortaya çıkan iyileşmelerin sürdürülebilmesi için toprak sıkışmasını azaltıcı uygulamaların hayata geçirilmesinin son derece önemli olduğu tespit edilmiştir. Toprak su tutma eğrilerinin tahmininde her iki toprak için de  $m \neq 1$  van Genuchten denkleminin yüksek doğrulukta veri sağladığı, killi topraklar için ortalama  $m$  katsayısının 0.24-0.25 arasında, kumlu tın topraklar için ise  $m$  katsayısının ortalama 0.19-0.22 alınabileceğı belirlenmiştir. Bu verilerin bölge topraklarımız için yaygın kullanımının sağlanması için öncelikle toprak tekstür haritalarının derinlik bazında hazırlanması ve buradan elde edilecek verilerin validasyonlarının yapılarak uygulamaya aktarılması gerekmektedir. Diğer toprak tekstürleri için de hazırlanacak modeller kullanılarak, bölgede topraklarımızın nem parametreleri yüksek doğrulukta, kolaylıkla ve düşük maliyetli olarak kullanılabilir.

## KAYNAKLAR

- Achampong, F., Anum, R. ve Boadu, F., 2013, Effect of lime on plasticity, compaction and compressive strength characteristics of synthetic Low Cohesive (CL) and High Cohesive (CH) clayey soils, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4, 2003-2018.
- Adekiya, A., Ojeniyi, S. ve Owonifari, O., 2016, Effect of cow dung on soil physical properties, growth and yield of maize (*Zea mays*) in a tropical Alfisol, *Scientia Agriculturae*, 15 (2), 374-379.
- Agili nategh N, Hemmat A, Sadegi M ve M, V., 2011, The effect long time adding three types of organic matter on the soil density, soil stress during compaction and soil sensitivity on compaction, *Soil and water Res J. Ir.*, 42 (1), 78-98.
- Alaboz, P., 2019, Bazi Toprak Nem Sabitelerinin Penetrasyon Direnci Ölçümleriyle Belirlenebilmesi için Tahmin Modellerinin Geliştirilmesi, *Isparta Üniversitesi, Isparta*, 142.
- Ankeny, M., Kaspar, T. ve Horton, R., 1990, Characterization of Tillage and Traffic Effects on Unconfined Infiltration Measurements, p.
- Anonymous, 1998, Cumhuriyetin 75. Yılında Konya, Konya İl Yıllığı, *Konya Valiliği, Konya*.
- Antal, M. J. ve Grønli, M., 2003, The art, science, and technology of charcoal production, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 42 (8), 1619-1640.
- Arya, N. ve Paris, J. F., 1981, A physioempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45, 1023-1030.
- Assouline, S., Tessier, D. ve Tavares-Filho, J., 1997, Effect of Compaction on Soil Physical and Hydraulic Properties: Experimental Results and Modeling, 61 (2), 390.
- Assouline, S., 2006, Modeling the Relationship between Soil Bulk Density and the Water Retention Curve Contribution of the Agricultural Research Organization, Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, Bet Dagan, Israel, No. 607/05, *Vadose Zone Journal*, 5 (2), 554-563.
- ASTM, 2010, Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils. ASTM International, West Conshohocken, PA, .
- Atalay, İ., 1982, Toprak Coğrafyası, *Ege Üniv. Sosyal Bilimler Fakültesi Yay, İzmir*, p.
- Badalíkova, B. ve Hruby, J., 2006, Influence of minimum soil tillage on development of soil structure. In *Soil management for sustainability*, 35, p.
- Bell, F., 1988, Lime stabilization of clay soils: part 1, basic principles, *Ground Engineering*, 21 (1), 12-15.
- Blake, G. R. ve Hartge, K. H., 1986a, Particle Density<sub>1</sub>, In: *Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods*, Eds: Klute, A., *Madison, WI: Soil Science Society of America, American Society of Agronomy*, p. 377-382.
- Blake, G. R. ve Hartge, K. H., 1986b, Bulk Density<sub>1</sub>, In: *Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods*, Eds: Klute, A., *Madison, WI: Soil Science Society of America, American Society of Agronomy*, p. 363-375.
- Blanco-Canqui, H., 2017, Biochar and soil physical properties, *Soil Science Society of America Journal*, 81 (4), 687-711.
- Bot, A. ve Benites, J., 2005, The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food production, 80, *Food & Agriculture Org.*, p.

- Brantley, K. E., Brye, K. R., Savin, M. C. ve Longer, D. E., 2015, Biochar Source and Application Rate Effects on Soil Water Retention Determined Using Wetting Curves, *Open Journal of Soil Science*, Vol.05No.01, 10.
- Bronick, C. J. ve Lal, R., 2005, Soil structure and management: a review, *Geoderma*, 124 (1-2), 3-22.
- Brooks, R. H. ve Corey, A. T., 1964, Hydraulic properties of porous medium. , *Hydrology Paper , Colorado State University, Fort Collins*, 3.
- Burdine, N. T., 1953, Relative permeability calculations from pore-size distribution data, *Journal of Petroleum Technology*, 5 (03).
- Campbell, G. S., 1974, A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data, *Soil Science*, 117, 311–314.
- Campbell, G. S., Smith, D. M. ve Teare, B. L., 2007, Application of a dew point method to obtain the soil water characteristic, In: *Experimental unsaturated soil mechanics*, Eds: Springer, p. 71-77.
- Cheng, C.-H., Lehmann, J., Thies, J. E., Burton, S. D. ve Engelhard, M. H., 2006, Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes, *Organic Geochemistry*, 37 (11), 1477-1488.
- Chenu, C., 1989, Influence of a fungal polysaccharide, scleroglucan, on clay microstructures, *Soil Biology and Biochemistry*, 21 (2), 299-305.
- Chenu, C., Guérif, J. ve Jaunet, A., 1994, Polymer bridging: a mechanism of clay and soil structure stabilization by polysaccharides, *Transactions*, 3, 403-410.
- Cheshomi, A., Eshaghi, A. ve Hassanpour, J., 2017, Effect of lime and fly ash on swelling percentage and Atterberg limits of sulfate-bearing clay, *Applied Clay Science*, 135, 190-198.
- Chintala, R., Mollinedo, J., Schumacher, T. E., Malo, D. D. ve Julson, J. L., 2013, Effect of biochar on chemical properties of acidic soil, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60 (3), 393-404.
- Danielson, R. E. ve Sutherland, P. L., 1986, Porosity, In: *Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods*, Eds: Klute, A., *Madison, WI: Soil Science Society of America, American Society of Agronomy*, p. 443-461.
- Dexter, A. R., 2004, Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth, *Geoderma*, 120 (3), 201-214.
- Dunjana, N., Nyamugafata, P., Shumba, A., Nyamangara, J. ve Zingore, S., 2012, Effects of cattle manure on selected soil physical properties of smallholder farms on two soils of Murewa, Zimbabwe, *Soil Use and Management*, 28 (2), 221-228.
- Farhadi, M., Pla, C. ve Valdes-Abellan, J., 2018, Improving hydraulic properties of sandy soil with lime powder addition. EGU General Assembly Conference Abstracts: 12195.
- Franzluebbers, A. J., 2011, Stratification of Soil Porosity and Organic Matter, In: *Encyclopedia of Agrophysics*, Eds: Gliński, J., Horabik, J. ve Lipiec, J., *Dordrecht: Springer Netherlands*, p. 858-861.
- Fredlund, D. G. ve Xing, A., 1994, Equations for the soil–water characteristic curve, *Canadian Geotechnical Journal*, 31, 521–532.
- Fungo, B., Lehmann, J., Kalbitz, K., Thiongo, M., Okeyo, I., Tenywa, M. ve Neufeldt, H., 2017, Aggregate size distribution in a biochar-amended tropical Ultisol under conventional hand-hoe tillage, *Soil and Tillage Research*, 165, 190-197.



- Gao, Y. ve Sun, D. a., 2017, Soil-water retention behavior of compacted soil with different densities over a wide suction range and its prediction, *Computers and Geotechnics*, 91, 17-26.
- Gardner, W. R., 1958, Somesteadystate solutions of theunsaturatedmoisture flowequation with application to evaporation from a water table, *Soil Science*, 85, 228–232.
- Gee, G. W. ve Bauder, J. W., 1986, Particle-size Analysis1, In: Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods, Eds: Klute, A., *Madison, WI: Soil Science Society of America, American Society of Agronomy*, p. 383-411.
- Gezgin, S., Dursun, N., Hamurcu, M., Harmankaya, M., Önder, M., Sade, B., Topal, A., Soylu, S., Akgün, N., Yorgancılar, M., Ceyhan, E., Çiftçi, N., Acar, B., Gültekin, İ., Işık, Y., Şeker, C. ve Babaoğlu, M., 2002, Determination of B Contents Of Soils in Central Anatolian Cultivated Lands and its Relations between Soil and Water Characteristics. Boron in Plant and Animal Nutrition, *Kluwer Academic / Plenum Publishers, New York. s.*, 391-400.
- Gholamhossein, S. ve Janatkah, J., 2018, Investigation of the effects of organic matter application on soil compaction, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 28 (2), 175-185.
- Głąb, T., Palmowska, J., Zaleski, T. ve Gondek, K., 2016, Effect of biochar application on soil hydrological properties and physical quality of sandy soil, *Geoderma*, 281, 11-20.
- Gliński, J., Horabik, J. ve Lipiec, J., 2011, Encyclopedia of agrophysics, Springer Heidelberg, p.
- Gugino, B. K., Idowu, O. J., Schindelbeck, R. R., van Es, H. M., Wolfe, D. W., Moebius-Clune, B. N., Thies, J. E. ve Abawi, G. S., 2009, Cornell Soil Health Assessment Training Manual (Second Edition), *Cornell University, Geneva, New York*, p.
- Gupta, S. C. ve Larson, W. E., 1979, Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter content and bulk density, *Water Resour. Res.*, 15, 1633-1635.
- Guruprasad, M. H., Sorganvi, V. ve Hiremath, G. M., 2012, Effect of organic carbon on soil moisture, *Indian Journal Of Natural Sciences*, 3 (15), 1191-1199.
- Hansen, V., Hauggaard-Nielsen, H., Petersen, C. T., Mikkelsen, T. N. ve Müller-Stöver, D., 2016, Effects of gasification biochar on plant-available water capacity and plant growth in two contrasting soil types, *Soil and Tillage Research*, 161, 1-9.
- Hassink, J., 1995, Decomposition rate constants of size and density fractions of soil organic matter, *Soil Science Society of America Journal*, 59 (6), 1631-1635.
- Haynes, R. J. ve Naidu, R., 1998, Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 51 (2), 123-137.
- Herath, H. M. S. K., Camps-Arbestain, M., Hedley, M. J., Kirschbaum, M. U. F., Wang, T. ve van Hale, R., 2015, Experimental evidence for sequestering C with biochar by avoidance of CO<sub>2</sub> emissions from original feedstock and protection of native soil organic matter, *GCB Bioenergy*, 7 (3), 512-526.
- Hillel, D., 2004, Introduction to Environmental Soil Physics, *USA, Elsevier Science*, p.
- Houskova, B., 2004, Soil compaction as a driving force for changes in soil functions, *12-16 June JRC Ispra*.

- Hussain, M. ve Dash, S., 2010, Influence of lime on plasticity behaviour of soils, *Indian Geotechnical Conference–2010, GEOTrendz*, 16-18.
- Ishaq, M., Hassan, A., Saeed, M., Ibrahim, M. ve Lal, R., 2001, Subsoil compaction effects on crops in Punjab, Pakistan, p.
- Jacobs, H., Reed RM, Thien SJ ve LV, W., 1964, Soils laboratory exercise source book, *Madison, WI.*, Amer. Soc. of Agron, p.
- Jahangir, E., Nowamooz, H. ve Masrouri, F., 2012, Effect of Density in the Water Retention Curve of a Compacted Silt-Bentonite Mixture, *Unsaturated Soils: Research and Applications*, Berlin, Heidelberg, 159-163.
- Jahn, R., Blume, H.-P., Asio, V., Spaargaren, O., Schad, P. ve Erdogan, H., 2013, Toprak tanımlama kilavuzu, In, Eds: FAO, p.
- Jain, A. ve Yadav, R. K., 2016, Effect of lime on index properties of black cotton soil, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 3 (11), 749-752.
- Jeffery, S., Meinders, M. B. J., Stoof, C. R., Bezemer, T. M., van de Voorde, T. F. J., Mommer, L. ve van Groenigen, J. W., 2015, Biochar application does not improve the soil hydrological function of a sandy soil, *Geoderma*, 251-252, 47-54.
- Jensen, N. H., Balstrøm, T. ve Breuning-Madsen, H., 2005, The relations between soil water retention characteristics, particle size distributions, bulk densities and calcium carbonate contents for Danish soils, *Hydrology Research*, 36 (3), 235-244.
- Jones, B. E., Haynes, R. ve Phillips, I., 2010, Effect of amendment of bauxite processing sand with organic materials on its chemical, physical and microbial properties, *Journal of Environmental Management*, 91 (11), 2281-2288.
- Jong, R. D., Campbell, C. A. ve Nicholaichuk, W., 1983, Water retention equations and their relationship to soil organic matter and particle size distribution for disturbed samples, *Canadian Journal of Soil Science*, 63 (2), 291-302.
- Kaiser, M., Ghezzehei, T. A., Kleber, M., Myrold, D. D. ve Berhe, A. A., 2014, Influence of calcium carbonate and charcoal applications on organic matter storage in silt-sized aggregates formed during a microcosm experiment, *Soil Science Society of America Journal*, 78 (5), 1624-1631.
- Kay, B. ve VandenBygaart, A., 2002, Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter, *Soil and Tillage Research*, 66 (2), 107-118.
- Keller, T. ve Dexter, A. R., 2012, Plastic limits of agricultural soils as functions of soil texture and organic matter content, *Soil Research*, 50 (1), 7-17.
- Kemmitt, S. J., Wright, D., Goulding, K. W. T. ve Jones, D. L., 2006, pH regulation of carbon and nitrogen dynamics in two agricultural soils, *Soil Biology and Biochemistry*, 38 (5), 898-911.
- Kemper, W. D. ve Rosenau, R. C., 1986, Aggregate Stability and Size Distribution1, In: *Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods*, Eds: Klute, A., *Madison, WI: Soil Science Society of America, American Society of Agronomy*, p. 425-442.
- Khatab, A., 2002, Etude multi-échelles d'un sol argileux plastique traité à la chaux, *Orléans*.
- Khatab, S. ve Al-Taie, L., 2006, Soil-Water Characteristic Curves (SWCC) for Lime Treated Expansive Soil from Mosul City, *Geotechnical Special Publication*, 1671-1682.

- Kinney, T. J., Masiello, C. A., Dugan, B., Hockaday, W. C., Dean, M. R., Zygourakis, K. ve Barnes, R. T., 2012, Hydrologic properties of biochars produced at different temperatures, *Biomass and Bioenergy*, 41, 34-43.
- Klute, A., 1982, Tillage Effects on the Hydraulic Properties of Soil: A Review 1, *Predicting tillage effects on soil physical properties and processes* (predictingtilla), 29-43.
- Klute, A., 1986, Water Retention: Laboratory Methods, In: *Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods*, Eds: Klute, A., *Madison, WI: Soil Science Society of America, American Society of Agronomy*, p. 635-662.
- Kor, Z. ve Eduard, H., 2014, Effects of biochar on water retention in the Interreg Biochar: climate saving soils field trials, *Alterra, Wageningen UR, the Netherlands*.
- Kutilek, M. ve Nielsen, D. R., 1994, Soil hydrology: textbook for students of soil science, agriculture, forestry, geoecology, hydrology, geomorphology and other related disciplines, *Cremlingen-Destedt, Catena Verlag*, p.
- Lado, M., Paz, A. ve Ben-Hur, M., 2004, Organic matter and aggregate size interactions in infiltration, seal formation, and soil loss, *Soil Science Society of America Journal*, 68 (3), 935-942.
- Lehmann, J. ve Joseph, S., 2009, Biochar for environmental management: science, technology and implementation, *Earthscan, London, Routledge*, p.
- Lemaire, K., Deneele, D., Bonnet, S. ve Legret, M., 2013, Effects of lime and cement treatment on the physicochemical, microstructural and mechanical characteristics of a plastic silt, *Engineering Geology*, 166, 255-261.
- Lesturgez, G., Hartmann, C., Tessier, D. ve Poss, R., 2005, Compaction processes in a tilled sandy soil, *Management of Tropical Sandy Soils for Sustainable Agriculture*, 159.
- Lipiec, J. ve Simota, C., 1994, Chapter 16 - Role of Soil and Climate Factors in Influencing Crop Responses to Soil Compaction in Central and Eastern Europe, In: *Developments in Agricultural Engineering*, Eds: Soane, B. D. ve van Ouwerkerk, C.: Elsevier, p. 365-390.
- Liu, Z., Dugan, B., Masiello, C. A. ve Gonnermann, H. M., 2017, Biochar particle size, shape, and porosity act together to influence soil water properties, *PLOS ONE*, 12 (6), e0179079.
- Liyanage, T. D. P. ve Leelamanie, D. A. L., 2016, Influence of organic manure amendments on water repellency, water entry value, and water retention of soil samples from a tropical Ultisol, *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 64 (2), 160-166.
- Loveland, P. ve Webb, J., 2003, Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review, *Soil and Tillage Research*, 70 (1), 1-18.
- Lynn, W. ve Mc Kinzie, W., 1971, Field tests for organic soil materials., *Soil Cons. Serv*, U.S.D.A. , Lincoln, Nebraska.
- Ma, N., Zhang, L., Zhang, Y., Yang, L., Yu, C., Yin, G., Doane, T. A., Wu, Z., Zhu, P. ve Ma, X., 2016, Biochar Improves Soil Aggregate Stability and Water Availability in a Mollisol after Three Years of Field Application, *PLOS ONE*, 11 (5), e0154091.
- Major, J., Steiner C, Downie A ve J, L., 2009, Biochar effects on nutrient leaching In: J Lehmann, S Joseph eds) In: *Biochar for environmental management*, Eds: J Lehmann, S. J., *Earthscan, London: science and technology*, p.

- Majzik, A. ve Tombáč, E., 2007, Interaction between humic acid and montmorillonite in the presence of calcium ions I. Interfacial and aqueous phase equilibria: Adsorption and complexation, *Organic Geochemistry*, 38 (8), 1319-1329.
- Materechera, S. A., 2009, Aggregation in a surface layer of a hardsetting and crusting soil as influenced by the application of amendments and grass mulch in a South African semi-arid environment, *Soil and Tillage Research*, 105 (2), 251-259.
- Mavroulidou, M., Zhang, X., Kichou, Z. ve Gunn, M. J., 2015, A study of the water retention curve of a lime-treated high plasticity clay, In: *Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development*, Eds, p. 3225-3230.
- McCauley, A., Jones, C. ve Olson-Rutz, K., 2017, Soil pH and Organic Matter. Nutrient management modules 8, #4449-8., *Montana State University Extension Service, Bozeman*, p.
- McClean, E. O., 1982, Soil pH and Lime Requirement, In: *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, Eds: Page, A. L., *Madison, WI: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America*, p. 199-224.
- Mertoğlu, S., 1982, Toprak Mekaniği Laboratuvarı El Kitabı, *T.C. Köyişleri ve Kooperatifler Bakanlığı, Topraksu Genel Müd, Ankara*, p.
- Minasny, B. ve McBratney, A. B., 2018, Limited effect of organic matter on soil available water capacity, *European Journal of Soil Science*, 69 (1), 39-47.
- Mualem, Y., 1976, A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media, *Water Resources Research*, 12, 513-522.
- Mualem, Y., 1986, Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils: Prediction and Formulas, In: *Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods*, Eds: Klute, A., *Madison, WI: Soil Science Society of America, American Society of Agronomy*, p. 799-823.
- Nciizah, A., 2011, CATTLE MANURE, SCALPING AND SOIL WETNESS EFFECTS ON SOME PHYSICAL PROPERTIES OF A HARDSETTING SOIL AND ASSOCIATED EARLY MAIZE GROWTH.
- Nelson, R. E., 1982, Carbonate and Gypsum, In: *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, Eds: Page, A. L., *Madison, WI: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America*, p. 181-197.
- Ni, J. J., Chen, X. W., Ng, C. W. W. ve Guo, H. W., 2018, Effects of biochar on water retention and matric suction of vegetated soil, *Géotechnique Letters*, 8 (2), 124-129.
- Ningning, M., Zhang, L., Zhang, Y., Yang, L., Yu, C., Yin, G., Doane, T. A., Wu, Z., Zhu, P. ve Ma, X., 2016, Biochar improves soil aggregate stability and water availability in a mollisol after three years of field application, *PLOS ONE*, 11 (5), e0154091.
- Novak, J., Sigua, G., Watts, D. W., Cantrell, K., Shumaker, P., Szogi, A. A., Johnson, M. ve Spokas, K., 2015, Biochars impact on water infiltration and water quality through a compacted subsoil layer, *Chemosphere*, 142.
- Novak, J. M., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J. W., Steiner, C., Das, K., Ahmedna, M., Rehrach, D., Watts, D. W. ve Busscher, W. J., 2009, Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand, *Annals of Environmental Science*.
- Nyamangara, J., Gotosa, J. ve Mpfu, S. E., 2001, Cattle manure effects on structural stability and water retention capacity of a granitic sandy soil in Zimbabwe, *Soil and Tillage Research*, 62 (3), 157-162.

- Oberlin, A., 2002, Pyrocarbons, *Carbon*, 40 (1), 7-24.
- Ouyang, L., Wang, F., Tang, J., Yu, L. ve Zhang, R., 2013, Effects of biochar amendment on soil aggregates and hydraulic properties, *Journal of soil science and plant nutrition*, 13, 991-1002.
- Peng, X., Zhu, Q. H., Xie, Z. B., Darboux, F. ve Holden, N. M., 2016, The impact of manure, straw and biochar amendments on aggregation and erosion in a hillslope Ultisol, *CATENA*, 138, 30-37.
- Perera, Y. Y., Zapata, C. E., Houston, W. N. ve & Houston, S. L., 2005, Prediction of the soil-water characteristic curve based on grain-size-distribution and index properties, *Geotechnical Special Publication* (130-142 ed), 49-60.
- Pituello, C., Dal Ferro, N., Francioso, O., Simonetti, G., Berti, A., Piccoli, I., Pisi, A. ve Morari, F., 2018, Effects of biochar on the dynamics of aggregate stability in clay and sandy loam soils, *European Journal of Soil Science*, 69 (5), 827-842.
- Pohanish, R. P., 2017, Sittig's handbook of toxic and hazardous chemicals and carcinogens, William Andrew, p.
- Puppala, A. J., Pokala, S. P., Intharasombat, N. ve Williammee, R., 2007, Effects of organic matter on physical, strength, and volume change properties of compost amended expansive clay, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133 (11), 1449-1461.
- Quiroga, A., Buschiazzo, D. ve Peinemann, N., 1999, Soil compaction is related to management practices in the semi-arid Argentine pampas, *Soil & Tillage Research - SOIL TILL RES.* 52: 21-28.
- Radford, B. J., Bridge, B. J., Davis, R. J., McGarry, D., Pillai, U. P., Rickman, J. F., Walsh, P. A. ve Yule, D. F., 2000, Changes in the properties of a Vertisol and responses of wheat after compaction with harvester traffic, *Soil & Tillage Research*, 54 (3/4), 155-170.
- Rajkovich, S., Enders, A., Hanley, K., Hyland, C., Zimmerman, A. R. ve Lehmann, J., 2012, Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil, *Biology and Fertility of Soils*, 48 (3), 271-284.
- Rao, S. M. ve Shivananda, P., 2005, Role of curing temperature in progress of lime-soil reactions, *Geotechnical & Geological Engineering*, 23 (1), 79.
- Rasoulzadeh, A. ve Yaghoubi, A., 2010, Effect of cattle manure on soil physical properties on a sandy clay loam soil in North-West Iran, p.
- Rasoulzadeh, A. ve Yaghoubi, A., 2011, Study of cattle manure effect on soil hydraulic properties using inverse method. 2nd International Conference on Environmental Science and Technology. IPCBEE. Singapore, IACSIT Press. 6.
- Rawls, W. J., D.L. Brakensiek ve Saxton, K. E., 1982, Estimation of soil water properties, *Trans. ASAE*, 25, 1316-1320.
- Rawls, W. J., Pachepsky, Y. A., Ritchie, J. C., Sobecki, T. M. ve Bloodworth, H., 2003, Effect of soil organic carbon on soil water retention, *Geoderma*, 116 (1), 61-76.
- Reynolds, W. D., Drury, C. F., Tan, C. S., Fox, C. A. ve Yang, X. M., 2009, Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality, *Geoderma*, 152 (3), 252-263.
- Rhoades, J. D., 1982, Soluble Salts1, In: Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties, Eds: Page, A. L., *Madison, WI: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America*, p. 167-179.

- Rifai, S. W., Markewitz, D. ve Borders, B., 2010, Twenty years of intensive fertilization and competing vegetation suppression in loblolly pine plantations: impacts on soil C, N, and microbial biomass, *Soil Biology and Biochemistry*, 42 (5), 713-723.
- Russo, G., Vecchio, S. D. ve Mascolo, G., 2007, Microstructure of a Lime Stabilised Compacted Silt, Berlin, Heidelberg, 49-56.
- Russo, G. ve Modoni, G., 2013, Fabric changes induced by lime addition on a compacted alluvial soil, *Géotechnique Letters*, 3 (2), 93-97.
- Saxton, K. E. ve Rawls, W. J., 2006, Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions, *Soil Science Society of America Journal*, 70 (5), 1569-1578.
- Schnachtschabel, P., Blume, P., Brümmer, G., Hartge, K. H. ve Schwertmann, U., 1999, Toprak Bilimi (Çev.), A-16, Ç.Ü. Ziraat Fak. Genel Yay. Adana., Ders Kitapları Yay. , p.
- Schwen, A., Lawrence-Smith, G. H.-R.-E. J., Sinton, S. M., Carrick, S., Clothier, B. E., Buchan, G. D. ve Loiskandl, W., 2011, Hydraulic Properties and the Water-Conducting Porosity as Affected by Subsurface Compaction using Tension Infiltrimeters, *Soil Science Society of America Journal*, 75, 822-831.
- Şeker, C., 1999a, Penetrasyon Direnci ile Bazı Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler, *Journal of Agriculture and Forestry*, 23 (3), 583-588.
- Şeker, C., 1999b, Farklı toprakların penetrasyon dirençleri üzerine su içeriklerinin etkisi ve regresyon modelleri, *Tr. J. of Agriculture and Forestry*, 23, 467-471.
- Shahgholi, G. ve Janatkah, J., 2018, Investigation of The Effects of Organic Matter Application on Soil Compaction, *YYÜ TAR BİL DERG (YYU J AGR SCI)*, 28 (2), 175-185.
- Sheng, Y. ve Zhu, L., 2018, Biochar alters microbial community and carbon sequestration potential across different soil pH, *Science of The Total Environment*, 622-623, 1391-1399.
- Shiel, R. ve Rimmer, D., 1984, Changes in soil structure and biological activity on some meadow hay plots at Cockle Park, Northumberland, *Plant and Soil*, 76 (1-3), 349-356.
- Six, J., Elliott, E., Paustian, K. ve Doran, J., 1998, Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils, *Soil Science Society of America Journal*, 62 (5), 1367-1377.
- Slavich, P., Sinclair, K., Morris, S., Kimber, S., Downie, A. ve Van Zwieten, L., 2013, Contrasting effects of manure and green waste biochars on the properties of an acidic ferralsol and productivity of a subtropical pasture, *Plant and Soil*, 366 (1-2), 213-227.
- Smith, C. W., Johnston, M. A. ve Lorentz, S. A., 2001, The effect of soil compaction on the water retention characteristics of soils in forest plantations, *South African Journal of Plant and Soil*, 18 (3), 87-97.
- Smith, H. W. ve Weldon, M. D., 1941, A Comparison of Some Methods for the Determination of Soil Organic Matter<sup>1</sup>, *Soil Science Society of America Journal*, 5 (C), 177-182.
- Sollins, P., Homann, P. ve Caldwell, B. A., 1996, Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls, *Geoderma*, 74 (1-2), 65-105.

- Soltani, A., Azimi, M., Deng, A. ve Taheri, A., 2017, A simplified method for determination of the soil–water characteristic curve variables, *International Journal of Geotechnical Engineering*, 1-10.
- Sorensen, L. H., 1981, Carbon-nitrogen relationships during the humification of cellulose in soils containing different amounts of clay, *Soil Biology and Biochemistry*, 13 (4), 313-321.
- Sparks, D. L., 2003, Environmental soil chemistry, Elsevier, p.
- Stakmm, W. P. ve Bishay, B., 1976, Moisture retention and plasticity of highly calcareous soils, *Neth. J. Agr. Sci*, 24, 43-57
- Stanchi, S., Oberto, E., Freppaz, M. ve Zanini, E., 2009, Linear regression models for liquid and plastic limit estimation in Alpine soils, *Agrochimica*, 53 (5), 322-338.
- Sur, H. ve Sidhu, S., 1982, Effect of rice-wheat and corn-wheat rotation on physical properties and root growth of wheat in a sandy loam soil. 12th International Congress Soil Science. New Delhi.
- Tarawally, M. A., Medina, H., Frómota, M. E. ve Itza, C. A., 2004, Field compaction at different soil-water status: effects on pore size distribution and soil water characteristics of a Rhodic Ferralsol in Western Cuba, *Soil and Tillage Research*, 76 (2), 95-103.
- Tasneem, S. ve Zahir, S., 2017, Soil respiration, pH and EC as influenced by biochar, *Soil and Environment*, 36 (1), 77-83.
- Taylor, S. A. ve Ashcroft, G. L., 1972, Physical edaphology. The physics of irrigated and nonirrigated soils, *San Francisco, USA, and Reading, W.H. Freeman and Company.*, p.
- Tinjum, J. M., Benson, C. H. ve Blotz, L. R., 1997, Soil-Water Characteristic Curves for Compacted Clays, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123 (11), 1060-1069.
- TSE, 1987, TS 1900 İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- van Genuchten, M. T., 1980, A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, *Soil Science Society of America Journal*, 44, 892–898.
- van Genuchten, M. T., Leij, F. J. ve Yates, S. R., 1991, The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils, 600/, 2-91/065.
- Vaz, C. M. P., de Freitas Iossi, M., de Mendonça Naime, J., Macedo, Á., Reichert, J. M., Reinert, D. J. ve Cooper, M., 2005, Validation of the Arya and Paris Water Retention Model for Brazilian Soils, *Soil Science Society of America Journal*, 69, 577-583.
- Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A., Van der Velde, M. ve Diafas, I., 2010, Biochar application to soils, *A critical scientific review of effects on soil properties, processes, and functions. EUR*, 24099, 162.
- Wang, D., Fonte, S. J., Parikh, S. J., Six, J. ve Scow, K. M., 2017, Biochar additions can enhance soil structure and the physical stabilization of C in aggregates, *Geoderma*, 303, 110-117.
- Wang, D., Li, C., Parikh, S. J. ve Scow, K. M., 2019, Impact of biochar on water retention of two agricultural soils – A multi-scale analysis, *Geoderma*, 340, 185-191.

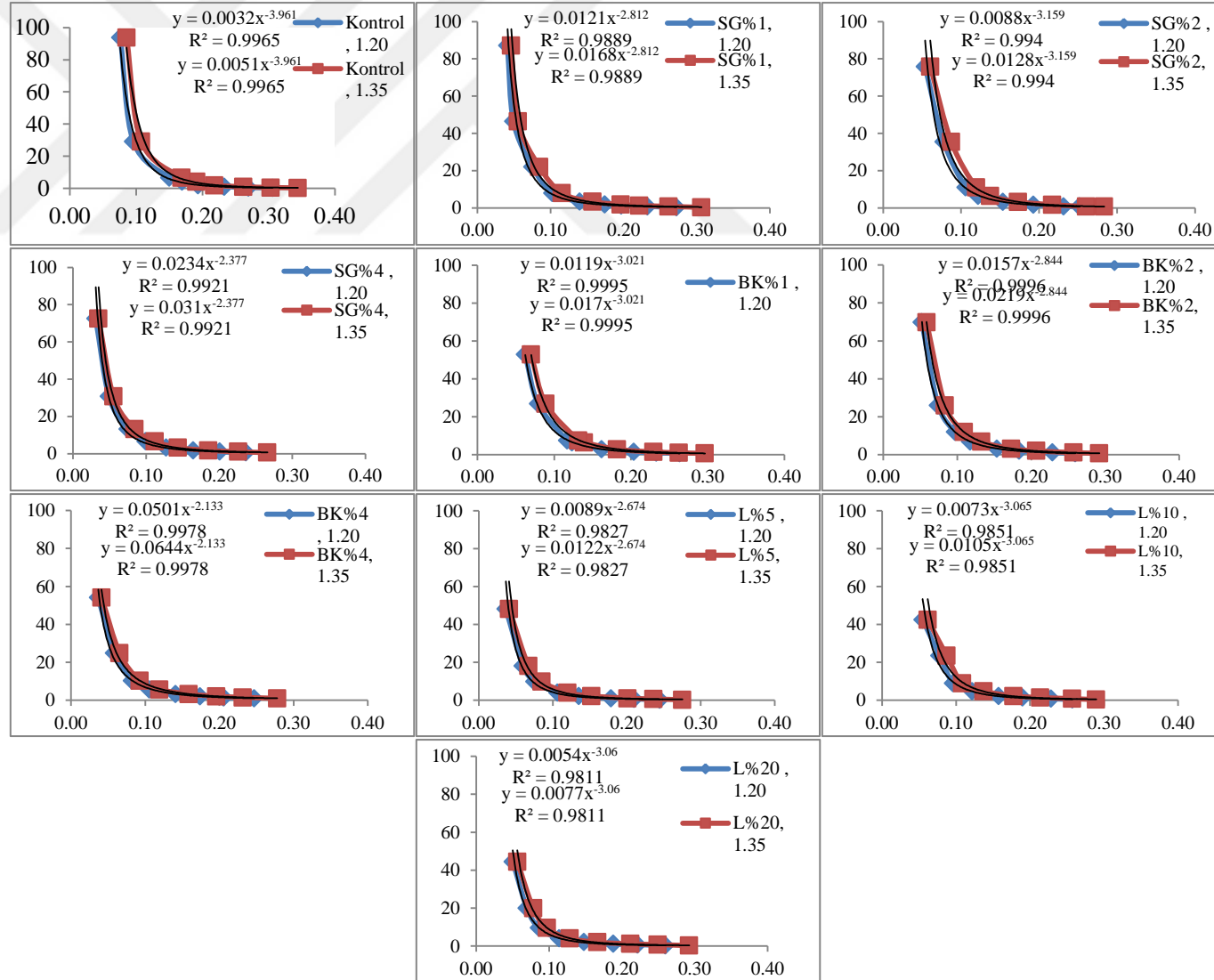
- Wang, F., Tong, Y. A., Zhang, J. S., Gao, P. C. ve Coffie, J. N., 2013, Effects of various organic materials on soil aggregate stability and soil microbiological properties on the Loess Plateau of China, *Plant, Soil and Environment*, 59 (4), 162-168.
- Wang, Y., Cui, Y. J., Tang, A. M., Tang, C. S. ve Benahmed, N., 2015, Effects of aggregate size on water retention capacity and microstructure of lime-treated silty soil, *Géotechnique Letters*, 5 (4), 269-274.
- Wang, Y., Cui, Y.-J., Tang, A. M. ve Benahmed, N., 2016, Aggregate size effect on the water retention properties of a lime-treated compacted silt during curing, *E3S Web Conf.*, 9, 11013.
- Wortmann, C. S. ve Shapiro, C. A., 2008, The effects of manure application on soil aggregation, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 80 (2), 173-180.
- Wosten, J. H. M., Pachepsky, Y. A. ve Rawls, W. J., 2001, Pedotransfer functions : bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics., *J. Hydrol*, 251, 123-150.
- Wright, A. F. ve Bailey, J. S., 2001, Organic carbon, total carbon, and total nitrogen determinations in soils of variable calcium carbonate contents using a Leco CN-2000 dry combustion analyzer, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32 (19-20), 3243-3258.
- Wuddivira, M. ve Camps-Roach, G., 2007, Effects of organic matter and calcium on soil structural stability, *European Journal of Soil Science*, 58 (3), 722-727.
- Xudong, Z., Younan, N. H. ve Hara, C. G. O., 2005, Wavelet domain statistical hyperspectral soil texture classification, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43 (3), 615-618.
- Yanai, Y., Toyota, K. ve Okazaki, M., 2007, Effects of charcoal addition on N<sub>2</sub>O emissions from soil resulting from rewetting air-dried soil in short-term laboratory experiments, *Soil Science & Plant Nutrition*, 53 (2), 181-188.
- Yang, B.-Z., X.-J. Dong, Q. Gao, Z.-M. ve Alateng., L. a. B., 1994, Transpiration and water conditions of the *Artemisia ordosica* communities., *Acta Phytoecol. Sin*, 18, 161-170.
- Zapata, C., N. Houston, W., L. Houston, S. ve Walsh, K., 2000, Soil–Water Characteristic Curve Variability, p.
- Zhang, X., Mavroulidou, M., Gunn, M. ve Cabarkapa, 2011, A study of the water retention characteristics and volume change of lime-treated London Clay, 1.
- Zhang, X., Mavroulidou, M. ve Gunn, M. J., 2017, A study of the water retention curve of lime-treated London Clay, *Acta Geotechnica*, 12 (1), 23-45.
- Zhuang J, Jin Y ve T, M., 2001, Estimating water retention characteristic from soil particle size distribution using a nonsimilar media concept, *Soil Sci*, 166, 308-321.



## EKLER

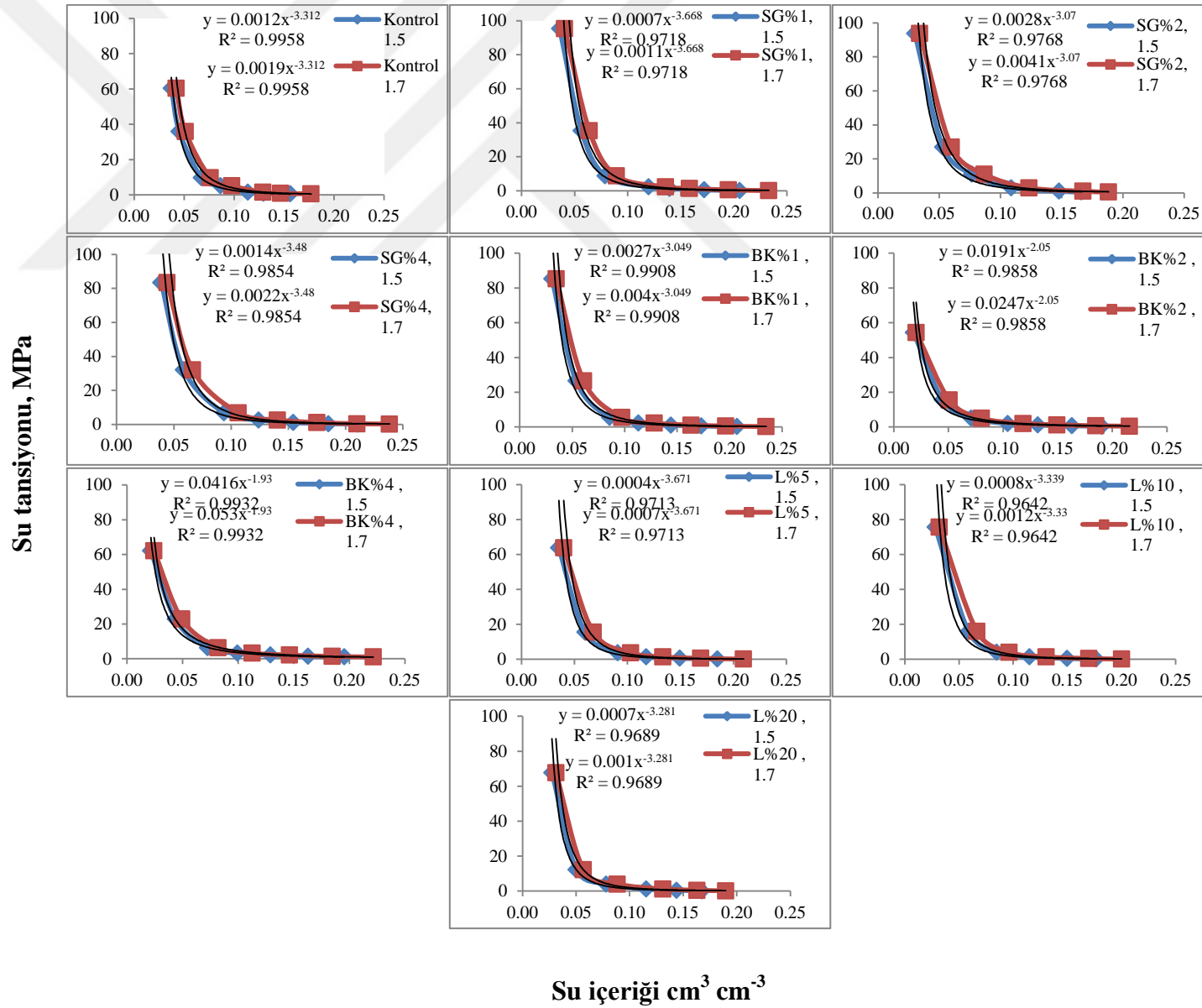
EK-1 Killi toprağın solma noktası ve kalan su içeriğinin hesaplanmasında kullanılan grafikler

Su tansiyonu, MPa



Su içeriği cm³ cm⁻³

EK-2 Kumlu tın toprağın solma noktası ve kalan su içeriğinin hesaplanmasında kullanılan grafikler



**EK-3** ANOVA tabloları

Fiziksel ve kimyasal özellikleri (İnkübasyon denemesi)

Killi toprak, SG uygulaması

**One-way ANOVA: PH**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.032419	0.010806	54.60	0.000
Error	12	0.002375	0.000198		
Total	15	0.034794			

S = 0.01407 R-Sq = 93.17% R-Sq(adj) = 91.47%

**One-way ANOVA: EC**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	38866	12955	37.53	0.000
Error	12	4143	345		
Total	15	43009			

S = 18.58 R-Sq = 90.37% R-Sq(adj) = 87.96%

**One-way ANOVA: CaCO<sub>3</sub>**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	1.474	0.491	1.54	0.255
Error	12	3.827	0.319		
Total	15	5.301			

S = 0.5648 R-Sq = 27.80% R-Sq(adj) = 9.75%

**One-way ANOVA: OC**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	38866	12955	37.53	0.000
Error	12	4143	345		
Total	15	43009			

S = 18.58 R-Sq = 90.37% R-Sq(adj) = 87.96%

**One-way ANOVA: N**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.055864	0.018621	34.53	0.000
Error	12	0.006471	0.000539		
Total	15	0.062334			

S = 0.02322 R-Sq = 89.62% R-Sq(adj) = 87.02%

**One-way ANOVA: C/N**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.106	0.035	0.06	0.981
Error	12	7.361	0.613		
Total	15	7.467			

S = 0.7832 R-Sq = 1.41% R-Sq(adj) = 0.00%

**One-way ANOVA: p**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.0020815	0.0006938	40.58	0.000
Error	12	0.0002052	0.0000171		
Total	15	0.0022867			

S = 0.004135 R-Sq = 91.03% R-Sq(adj) = 88.78

**One-way ANOVA: Pb**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.0287420	0.0095807	163.89	0.000
Error	12	0.0007015	0.0000585		
Total	15	0.0294435			

S = 0.007646 R-Sq = 97.62% R-Sq(adj) = 97.02%

**One-way ANOVA: Pk**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.024202	0.008067	40.72	0.000
Error	12	0.002377	0.000198		
Total	15	0.026579			

S = 0.01408 R-Sq = 91.06% R-Sq(adj) = 88.82

### One-way ANOVA: AOC

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.13257	0.04419	18.20	0.000
Error	12	0.02914	0.00243		
Total	15	0.16172			

S = 0.04928 R-Sq = 81.98% R-Sq(adj) = 77.47%

### One-way ANOVA: AS

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	1315.49	438.50	263.05	0.000
Error	12	20.00	1.67		
Total	15	1335.49			

S = 1.291 R-Sq = 98.50% R-Sq(adj) = 98.13%

### One-way ANOVA: LL

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	9.68	3.23	2.89	0.079
Error	12	13.38	1.11		
Total	15	23.05			

S = 1.056 R-Sq = 41.98% R-Sq(adj) = 27.48%

### One-way ANOVA: PL

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	54.91	18.30	15.52	0.000
Error	12	14.15	1.18		
Total	15	69.06			

S = 1.086 R-Sq = 79.51% R-Sq(adj) = 74.39%

### One-way ANOVA: PI

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	20.47	6.82	2.60	0.101
Error	12	31.50	2.63		
Total	15	51.97			

S = 1.620 R-Sq = 39.38% R-Sq(adj) = 24.23%

## Killi toprak, BK uygulaması

### One-way ANOVA: pH

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.066425	0.022142	136.26	0.000
Error	12	0.001950	0.000162		
Total	15	0.068375			

S = 0.01275 R-Sq = 97.15% R-Sq(adj) = 96.44%

### One-way ANOVA: EC

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	4751921	1583974	851.18	0.000
Error	12	22331	1861		
Total	15	4774252			

S = 43.14 R-Sq = 99.53% R-Sq(adj) = 99.42%

### One-way ANOVA: CaCO<sub>3</sub>

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.692	0.231	0.94	0.452
Error	12	2.944	0.245		

Total	15	3.635			
S	= 0.4953	R-Sq	= 19.02%	R-Sq(adj)	= 0.00%

**One-way ANOVA: OC**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	5.64211	1.88070	617.23	0.000
Error	12	0.03656	0.00305		
Total	15	5.67867			
S	= 0.05520	R-Sq	= 99.36%	R-Sq(adj)	= 99.20%

**One-way ANOVA: N**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.007570	0.002523	9.20	0.002
Error	12	0.003292	0.000274		
Total	15	0.010861			
S	= 0.01656	R-Sq	= 69.69%	R-Sq(adj)	= 62.12%

**One-way ANOVA: C/N**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	42.35	14.12	12.57	0.001
Error	12	13.48	1.12		
Total	15	55.83			
S	= 1.060	R-Sq	= 75.85%	R-Sq(adj)	= 69.82%

**One-way ANOVA: Pb**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.0065038	0.0021679	52.79	0.000
Error	12	0.0004928	0.0000411		
Total	15	0.0069966			
S	= 0.006408	R-Sq	= 92.96%	R-Sq(adj)	= 91.20%

**One-way ANOVA: Pk**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.017356	0.005785	34.60	0.000
Error	12	0.002007	0.000167		
Total	15	0.019363			
S	= 0.01293	R-Sq	= 89.64%	R-Sq(adj)	= 87.05%

**One-way ANOVA: P**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.0012250	0.0004083	14.00	0.000
Error	12	0.0003500	0.0000292		
Total	15	0.0015750			
S	= 0.005401	R-Sq	= 77.78%	R-Sq(adj)	= 72.22%

**One-way ANOVA: AOC**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.02909	0.00970	7.81	0.004
Error	12	0.01489	0.00124		
Total	15	0.04398			
S	= 0.03523	R-Sq	= 66.13%	R-Sq(adj)	= 57.67%

**One-way ANOVA: AS**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	215.27	71.76	58.56	0.000
Error	12	14.70	1.23		
Total	15	229.97			
S	= 1.107	R-Sq	= 93.61%	R-Sq(adj)	= 92.01%

**One-way ANOVA: LL**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	60.402	20.134	25.21	0.000

Error	12	9.585	0.799		
Total	15	69.987			
S = 0.8937    R-Sq = 86.31%    R-Sq(adj) = 82.88%					

**One-way ANOVA: PL**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	29.603	9.868	10.22	0.001
Error	12	11.584	0.965		
Total	15	41.187			
S = 0.9825    R-Sq = 71.87%    R-Sq(adj) = 64.84%					

**One-way ANOVA: PI**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	8.89	2.96	1.67	0.225
Error	12	21.24	1.77		
Total	15	30.12			
S = 1.330    R-Sq = 29.50%    R-Sq(adj) = 11.88%					

**Killi toprak, L uygulaması****One-way ANOVA: PH**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.013819	0.004606	33.00	0.000
Error	12	0.001675	0.000140		
Total	15	0.015494			
S = 0.01181    R-Sq = 89.19%    R-Sq(adj) = 86.49%					

**One-way ANOVA: EC**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.8837	0.2946	26.17	0.000
Error	12	0.1351	0.0113		
Total	15	1.0187			
S = 0.1061    R-Sq = 86.74%    R-Sq(adj) = 83.43%					

**One-way ANOVA: CaCO<sub>3</sub>**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	451.420	150.473	332.95	0.000
Error	12	5.423	0.452		
Total	15	456.843			
S = 0.6723    R-Sq = 98.81%    R-Sq(adj) = 98.52%					

**One-way ANOVA: OC**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.26607	0.08869	26.17	0.000
Error	12	0.04067	0.00339		
Total	15	0.30674			
S = 0.05822    R-Sq = 86.74%    R-Sq(adj) = 83.43%					

**One-way ANOVA: N**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.010935	0.003645	19.65	0.000
Error	12	0.002226	0.000186		
Total	15	0.013161			
S = 0.01362    R-Sq = 83.08%    R-Sq(adj) = 78.86%					

**One-way ANOVA: C/N**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	33.574	11.191	14.92	0.000
Error	12	9.000	0.750		
Total	15	42.574			
S = 0.8660    R-Sq = 78.86%    R-Sq(adj) = 73.58%					

**One-way ANOVA: Pb**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.010929	0.003643	20.52	0.000
Error	12	0.002131	0.000178		
Total	15	0.013060			

S = 0.01333 R-Sq = 83.68% R-Sq(adj) = 79.60%

**One-way ANOVA: Pk**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.011153	0.003718	21.18	0.000
Error	12	0.002106	0.000176		
Total	15	0.013260			

S = 0.01325 R-Sq = 84.11% R-Sq(adj) = 80.14%

**One-way ANOVA: P**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.0006702	0.0002234	7.79	0.004
Error	12	0.0003441	0.0000287		
Total	15	0.0010143			

S = 0.005355 R-Sq = 66.07% R-Sq(adj) = 57.59

**One-way ANOVA: AOC**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.01082	0.00361	2.16	0.146
Error	12	0.02003	0.00167		
Total	15	0.03084			

S = 0.04085 R-Sq = 35.08% R-Sq(adj) = 18.84%

**One-way ANOVA: AS**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	428.940	142.980	146.06	0.000
Error	12	11.747	0.979		
Total	15	440.687			

S = 0.9894 R-Sq = 97.33% R-Sq(adj) = 96.67

**One-way ANOVA: LL**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	102.313	34.104	85.35	0.000
Error	12	4.795	0.400		
Total	15	107.108			

S = 0.6321 R-Sq = 95.52% R-Sq(adj) = 94.40%

**One-way ANOVA: PL**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	12.19	4.06	2.69	0.093
Error	12	18.11	1.51		
Total	15	30.30			

S = 1.228 R-Sq = 40.23% R-Sq(adj) = 25.29%

**One-way ANOVA: PI**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	44.44	14.81	7.84	0.004
Error	12	22.68	1.89		
Total	15	67.12			

S = 1.375 R-Sq = 66.20% R-Sq(adj) = 57.75%

**Kumlu tın toprak, SG uygulaması****One-way ANOVA: PH**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.233275	0.077758	127.82	0.000
Error	12	0.007300	0.000608		
Total	15	0.240575			

S = 0.02466 R-Sq = 96.97% R-Sq(adj) = 96.21%

#### One-way ANOVA: EC

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	29181	9727	49.61	0.000
Error	12	2353	196		
Total	15	31534			

S = 14.00 R-Sq = 92.54% R-Sq(adj) = 90.67%

#### One-way ANOVA: CaCO<sub>3</sub>

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	6.8690	2.2897	23.82	0.000
Error	12	1.1537	0.0961		
Total	15	8.0227			

S = 0.3101 R-Sq = 85.62% R-Sq(adj) = 82.02%

#### One-way ANOVA: OC

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	1.21289	0.40430	157.05	0.000
Error	12	0.03089	0.00257		
Total	15	1.24378			

S = 0.05074 R-Sq = 97.52% R-Sq(adj) = 96.90%

#### One-way ANOVA: N

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.0161757	0.0053919	167.74	0.000
Error	12	0.0003857	0.0000321		
Total	15	0.0165615			

S = 0.005670 R-Sq = 97.67% R-Sq(adj) = 97.09%

#### One-way ANOVA: C/N

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	5.766	1.922	14.30	0.000
Error	12	1.613	0.134		
Total	15	7.379			

S = 0.3666 R-Sq = 78.14% R-Sq(adj) = 72.68%

#### One-way ANOVA: p

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.0051844	0.0017281	114.79	0.000
Error	12	0.0001807	0.0000151		
Total	15	0.0053650			

S = 0.003880 R-Sq = 96.63% R-Sq(adj) = 95.79%

#### One-way ANOVA: Pb

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.0388396	0.0129465	154.88	0.000
Error	12	0.0010031	0.0000836		
Total	15	0.0398427			

S = 0.009143 R-Sq = 97.48% R-Sq(adj) = 96.85%

#### One-way ANOVA: Pk

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.004428	0.001476	4.29	0.028
Error	12	0.004133	0.000344		
Total	15	0.008560			

S = 0.01856 R-Sq = 51.72% R-Sq(adj) = 39.65%

#### One-way ANOVA: AOC

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.004357	0.001452	1.87	0.188
Error	12	0.009303	0.000775		
Total	15	0.013660			



S = 0.02784 R-Sq = 31.89% R-Sq(adj) = 14.87%

#### One-way ANOVA: AS

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	131.197	43.732	79.71	0.000
Error	12	6.584	0.549		
Total	15	137.781			

S = 0.7407 R-Sq = 95.22% R-Sq(adj) = 94.03%

#### One-way ANOVA: LL

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	14.947	4.982	10.24	0.001
Error	12	5.840	0.487		
Total	15	20.787			

S = 0.6976 R-Sq = 71.91% R-Sq(adj) = 64.88%

### Kumlu tın toprak, BK uygulaması

#### One-way ANOVA: pH

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.094875	0.031625	223.24	0.000
Error	12	0.001700	0.000142		
Total	15	0.096575			

S = 0.01190 R-Sq = 98.24% R-Sq(adj) = 97.80%

#### One-way ANOVA: EC

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	4974290	1658097	752.31	0.000
Error	12	26448	2204		
Total	15	5000738			

S = 46.95 R-Sq = 99.47% R-Sq(adj) = 99.34

#### One-way ANOVA: CaCO<sub>3</sub>

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	1.280	0.427	3.65	0.045
Error	12	1.403	0.117		
Total	15	2.683			

S = 0.3420 R-Sq = 47.69% R-Sq(adj) = 34.61%

#### One-way ANOVA: OC

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	9.41846	3.13949	1257.85	0.000
Error	12	0.02995	0.00250		
Total	15	9.44841			

S = 0.04996 R-Sq = 99.68% R-Sq(adj) = 99.60%

#### One-way ANOVA: N

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.0084126	0.0028042	51.31	0.000
Error	12	0.0006558	0.0000547		
Total	15	0.0090684			

S = 0.007393 R-Sq = 92.77% R-Sq(adj) = 90.96%

#### One-way ANOVA: C/N

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	213.035	71.012	152.37	0.000
Error	12	5.593	0.466		
Total	15	218.628			

S = 0.6827 R-Sq = 97.44% R-Sq(adj) = 96.80%

**One-way ANOVA: Pb**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.0151107	0.0050369	65.73	0.000
Error	12	0.0009195	0.0000766		
Total	15	0.0160302			

S = 0.008754 R-Sq = 94.26% R-Sq(adj) = 92.83%

**One-way ANOVA: Pk**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.004317	0.001439	2.99	0.073
Error	12	0.005774	0.000481		
Total	15	0.010090			

S = 0.02194 R-Sq = 42.78% R-Sq(adj) = 28.47%

**One-way ANOVA: P**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.0020351	0.0006784	52.73	0.000
Error	12	0.0001544	0.0000129		
Total	15	0.0021895			

S = 0.003587 R-Sq = 92.95% R-Sq(adj) = 91.19%

**One-way ANOVA: AOC**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.028648	0.009549	23.05	0.000
Error	12	0.004970	0.000414		
Total	15	0.033618			

S = 0.02035 R-Sq = 85.22% R-Sq(adj) = 81.52%

**One-way ANOVA: AS**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	13.497	4.499	6.38	0.008
Error	12	8.461	0.705		
Total	15	21.958			

S = 0.8397 R-Sq = 61.47% R-Sq(adj) = 51.83%

**One-way ANOVA: LL**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	24.756	8.252	29.82	0.000
Error	12	3.321	0.277		
Total	15	28.077			

S = 0.5261 R-Sq = 88.17% R-Sq(adj) = 85.22%

**Kumlu tın toprak, L uygulamsı****One-way ANOVA: PH**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.035369	0.011790	66.58	0.000
Error	12	0.002125	0.000177		
Total	15	0.037494			

S = 0.01331 R-Sq = 94.33% R-Sq(adj) = 92.92%

**One-way ANOVA: EC**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	1629.2	543.1	9.73	0.002
Error	12	669.8	55.8		
Total	15	2298.9			

S = 7.471 R-Sq = 70.87% R-Sq(adj) = 63.58%

**One-way ANOVA: CaCO<sub>3</sub>**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	756.534	252.178	299.50	0.000

Error	12	10.104	0.842		
Total	15	766.638			
S = 0.9176    R-Sq = 98.68%    R-Sq(adj) = 98.35%					

**One-way ANOVA: OC**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.091906	0.030635	53.34	0.000
Error	12	0.006891	0.000574		
Total	15	0.098797			
S = 0.02396    R-Sq = 93.02%    R-Sq(adj) = 91.28%					

**One-way ANOVA: N**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.0000243	0.0000081	0.61	0.621
Error	12	0.0001592	0.0000133		
Total	15	0.0001834			
S = 0.003642    R-Sq = 13.23%    R-Sq(adj) = 0.00%					

**One-way ANOVA: C/N**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	5.8572	1.9524	22.80	0.000
Error	12	1.0276	0.0856		
Total	15	6.8848			
S = 0.2926    R-Sq = 85.07%    R-Sq(adj) = 81.34%					

**One-way ANOVA: Pb**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.005454	0.001818	17.75	0.000
Error	12	0.001229	0.000102		
Total	15	0.006683			
S = 0.01012    R-Sq = 81.61%    R-Sq(adj) = 77.01%					

**One-way ANOVA: Pk**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.076996	0.025665	75.21	0.000
Error	12	0.004095	0.000341		
Total	15	0.081091			
S = 0.01847    R-Sq = 94.95%    R-Sq(adj) = 93.69%					

**One-way ANOVA: P**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.0022141	0.0007380	48.60	0.000
Error	12	0.0001822	0.0000152		
Total	15	0.0023964			
S = 0.003897    R-Sq = 92.40%    R-Sq(adj) = 90.49%					

**One-way ANOVA: AOC**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0.122964	0.040988	67.78	0.000
Error	12	0.007257	0.000605		
Total	15	0.130222			
S = 0.02459    R-Sq = 94.43%    R-Sq(adj) = 93.03%					

**One-way ANOVA: AS**

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	11.161	3.720	11.11	0.001
Error	12	4.019	0.335		
Total	15	15.180			
S = 0.5787    R-Sq = 73.52%    R-Sq(adj) = 66.91%					

**One-way ANOVA: LL**

Source	DF	SS	MS	F	P
--------	----	----	----	---	---

Factor	3	6.679	2.226	6.61	0.007
Error	12	4.041	0.337		
Total	15	10.720			
S = 0.5803 R-Sq = 62.30% R-Sq(adj) = 52.88%					

Tüm uygulamaların arasındaki ilişkiler (TSTE denemesi)  
Killi toprak 1.20 g cm<sup>-3</sup>

One-way ANOVA:  $\theta_{TK}$

Source	DF	SS	MS	F	P
DESEN	9	0.0257200	0.0028578	30.62	0.000
Error	20	0.0018667	0.0000933		
Total	29	0.0275867			
S = 0.009661 R-Sq = 93.23% R-Sq(adj) = 90.19%					

One-way ANOVA:  $\theta_{SN}$

Source	DF	SS	MS	F	P
DESEN	9	0.0129200	0.0014356	17.94	0.000
Error	20	0.0016000	0.0000800		
Total	29	0.0145200			
S = 0.008944 R-Sq = 88.98% R-Sq(adj) = 84.02%					

One-way ANOVA:  $\theta_{FS}$

Source	DF	SS	MS	F	P
DESEN	9	0.028023	0.003114	16.95	0.000
Error	20	0.003673	0.000184		
Total	29	0.031697			
S = 0.01355 R-Sq = 88.41% R-Sq(adj) = 83.20%					

One-way ANOVA:  $\theta_r$

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	9	0.0000838	0.0000093	52.86	0.000
Error	20	0.0000035	0.0000002		
Total	29	0.0000874			
S = 0.0004198 R-Sq = 95.97% R-Sq(adj) = 94.15%					

One-way ANOVA:  $\theta_s$

Source	DF	SS	MS	F	P
DESEN	9	0.0218750	0.0024306	34.01	0.000
Error	30	0.0021440	0.0000715		
Total	39	0.0240191			
S = 0.008454 R-Sq = 91.07% R-Sq(adj) = 88.40%					

One-way ANOVA:  $1/\alpha$

Source	DF	SS	MS	F	P
DESEN	9	973919.0	108213.2	20810.23	0.000
Error	20	104.0	5.2		
Total	29	974023.0			
S = 2.280 R-Sq = 99.99% R-Sq(adj) = 99.98%					

One-way ANOVA:  $\theta_i$

Source	DF	SS	MS	F	P
DESEN	9	0.0017667	0.0001963	4.14	0.004
Error	20	0.0009487	0.0000474		
Total	29	0.0027154			
S = 0.006887 R-Sq = 65.06% R-Sq(adj) = 49.34%					

Killi toprak 1.35 g cm<sup>-3</sup>One-way ANOVA:  $\theta_{TK}$ 

Source	DF	SS	MS	F	P
DESEN	9	0.0191266	0.0021252	38.89	0.000
Error	20	0.0010929	0.0000546		
Total	29	0.0202194			

S = 0.007392 R-Sq = 94.60% R-Sq(adj) = 92.16%

One-way ANOVA:  $\theta_{SN}$ 

Source	DF	SS	MS	F	P
DESEN	9	0.0172516	0.0019168	20.53	0.000
Error	20	0.0018673	0.0000934		
Total	29	0.0191190			

S = 0.009663 R-Sq = 90.23% R-Sq(adj) = 85.84%

One-way ANOVA:  $\theta_{FS}$ 

Source	DF	SS	MS	F	P
DESEN	9	0.0229691	0.0025521	48.32	0.000
Error	20	0.0010563	0.0000528		
Total	29	0.0240254			

S = 0.007267 R-Sq = 95.60% R-Sq(adj) = 93.62%

One-way ANOVA:  $\theta_r$ 

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	9	0.0000838	0.0000093	52.86	0.000
Error	20	0.0000035	0.0000002		
Total	29	0.0000874			

S = 0.0004198 R-Sq = 95.97% R-Sq(adj) = 94.15%

One-way ANOVA:  $\theta_s$ 

Source	DF	SS	MS	F	P
DESEN	9	0.0123545	0.0013727	15.00	0.000
Error	30	0.0027449	0.0000915		
Total	39	0.0150994			

S = 0.009565 R-Sq = 81.82% R-Sq(adj) = 76.37%

One-way ANOVA:  $1/\alpha$ 

Source	DF	SS	MS	F	P
DESEN	9	2482683	275854	28244.40	0.000
Error	20	195	10		
Total	29	2482878			

S = 3.125 R-Sq = 99.99% R-Sq(adj) = 99.99%

One-way ANOVA:  $\theta_i$ 

Source	DF	SS	MS	F	P
DESEN	9	0.00325	0.00036	0.27	0.975
Error	20	0.02657	0.00133		
Total	29	0.02983			

S = 0.03645 R-Sq = 10.91% R-Sq(adj) = 0.00%

Kumlu tın toprak 1.50 g cm<sup>-3</sup>One-way ANOVA:  $\theta_{TK}$ 

Source	DF	SS	MS	F	P
DESEN	9	0.0325608	0.0036179	68.52	0.000
Error	20	0.0010560	0.0000528		
Total	29	0.0336168			

S = 0.007266 R-Sq = 96.86% R-Sq(adj) = 95.45%

One-way ANOVA:  $\theta_{SN}$ 

Source	DF	SS	MS	F	P
--------	----	----	----	---	---

DESEN	9	0.0079025	0.0008781	147.99	0.000
Error	20	0.0001187	0.0000059		
Total	29	0.0080212			
S = 0.002436 R-Sq = 98.52% R-Sq(adj) = 97.85%					

**One-way ANOVA:  $\theta_{FS}$** 

Source	DF	SS	MS	F	P
DESEN	9	0.0187847	0.0020872	111.02	0.000
Error	20	0.0003760	0.0000188		
Total	29	0.0191607			
S = 0.004336 R-Sq = 98.04% R-Sq(adj) = 97.15%					

**One-way ANOVA:  $\theta_r$** 

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	9	0.0000663	0.0000074	40.78	0.000
Error	20	0.0000036	0.0000002		
Total	29	0.0000699			
S = 0.0004250 R-Sq = 94.83% R-Sq(adj) = 92.51%					

**One-way ANOVA:  $\theta_s$** 

Source	DF	SS	MS	F	P
DESEN	9	0.0207476	0.0023053	23.37	0.000
Error	20	0.0019733	0.0000987		
Total	29	0.0227208			
S = 0.009933 R-Sq = 91.32% R-Sq(adj) = 87.41%					

**One-way ANOVA:  $1/\alpha$** 

Source	DF	SS	MS	F	P
DESEN	9	237900.2	26433.4	4005.05	0.000
Error	20	132.0	6.6		
Total	29	238032.2			
S = 2.569 R-Sq = 99.94% R-Sq(adj) = 99.92%					

**One-way ANOVA:  $\theta_i$** 

Source	DF	SS	MS	F	P
DESEN	9	0.0009099	0.0001011	10.14	0.000
Error	20	0.0001993	0.0000100		
Total	29	0.0011092			
S = 0.003157 R-Sq = 82.03% R-Sq(adj) = 73.94%					

Kumlu tın toprak  $1.70 \text{ g cm}^{-3}$

**One-way ANOVA:  $\theta_{TK}$** 

Source	DF	SS	MS	F	P
DESEN	9	0.0137856	0.0015317	38.13	0.000
Error	20	0.0008033	0.0000402		
Total	29	0.0145890			
S = 0.006338 R-Sq = 94.49% R-Sq(adj) = 92.02%					

**One-way ANOVA:  $\theta_{SN}$** 

Source	DF	SS	MS	F	P
DESEN	9	0.0115192	0.0012799	58.09	0.000
Error	20	0.0004407	0.0000220		
Total	29	0.0119599			
S = 0.004694 R-Sq = 96.32% R-Sq(adj) = 94.66%					

**One-way ANOVA:  $\theta_{FS}$** 

Source	DF	SS	MS	F	P
DESEN	9	0.0054196	0.0006022	234.62	0.000
Error	20	0.0000513	0.0000026		

Total	29	0.0054710			
S	= 0.001602	R-Sq = 99.06%	R-Sq(adj) = 98.64%		

#### One-way ANOVA: $\theta_r$

Source	DF	SS	MS	F	P
DESEN	9	0.0018723	0.0002080	18.41	0.000
Error	20	0.0002260	0.0000113		
Total	29	0.0020983			

S = 0.003362    R-Sq = 89.23%    R-Sq(adj) = 84.38%

#### One-way ANOVA: $\theta_s$

Source	DF	SS	MS	F	P
DESEN	9	0.0030545	0.0003394	9.01	0.000
Error	20	0.0007531	0.0000377		
Total	29	0.0038075			

S = 0.006136    R-Sq = 80.22%    R-Sq(adj) = 71.32%

#### One-way ANOVA: $1/\alpha$

Source	DF	SS	MS	F	P
DESEN	9	97190.67	10798.96	3085.42	0.000
Error	20	70.00	3.50		
Total	29	97260.67			

S = 1.871    R-Sq = 99.93%    R-Sq(adj) = 99.90%

#### One-way ANOVA: $\theta_i$

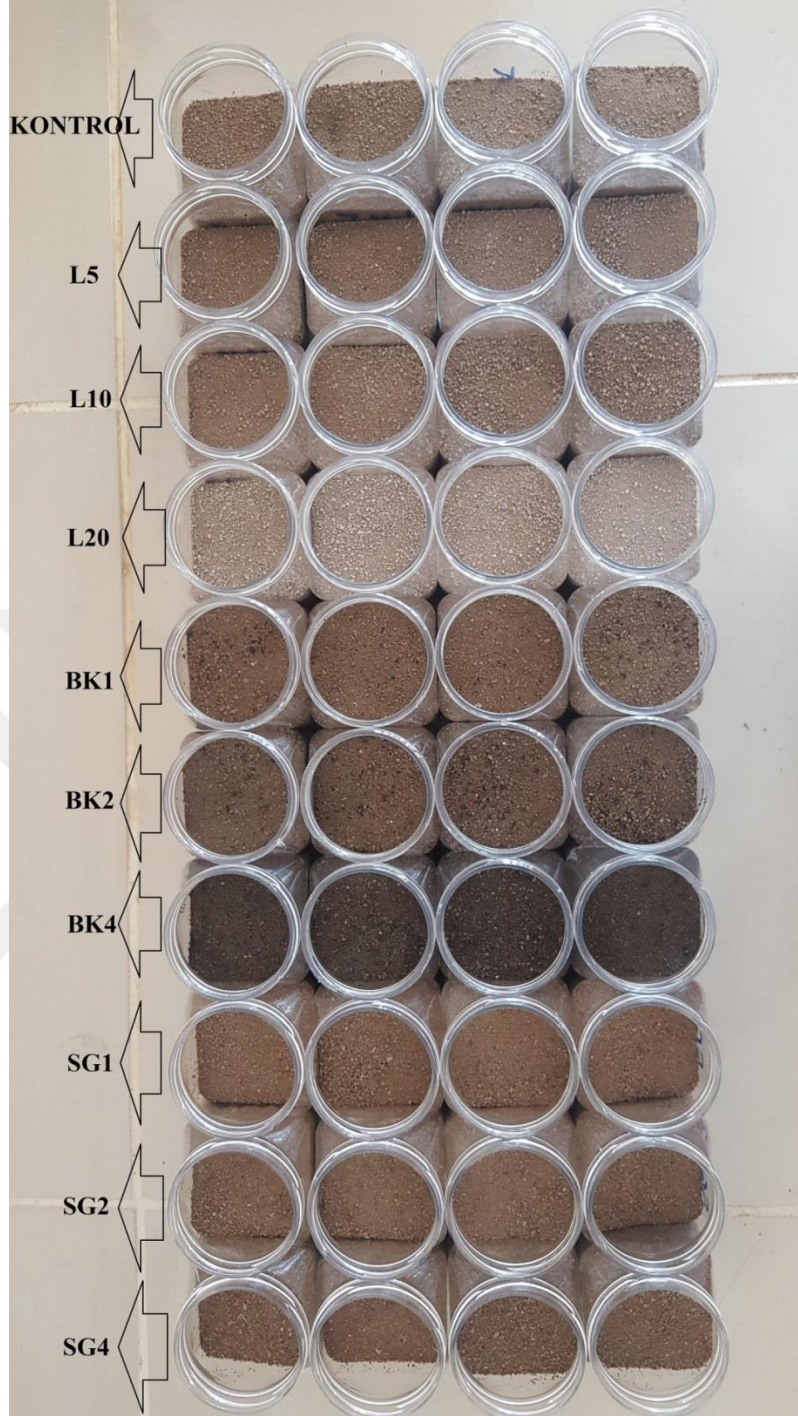
Source	DF	SS	MS	F	P
DESEN	9	0.0019050	0.0002117	25.60	0.000
Error	20	0.0001653	0.0000083		
Total	29	0.0020703			

S = 0.002875    R-Sq = 92.01%    R-Sq(adj) = 88.42%

**EK-4** Denemedeki bazı yürütülen çalışmaların fotoğrafları

**Resim 2.** Denemde kullanılan toprak, sığır gübresi, biyokömür ve kireç





**Resim 3.** Sığır gübresi (SG), biyokömür (BK) ve kireç (L) uygulamaların görünümü



**Resim 4.** İnkübasyon denemesi



**Resim 5.** Proktor testi



**Resim 6.** Örneklerin sıkıştırılması



**Resim 7.** Kum kutusunda 0-2 pF arındaki tutulan nemin ölçülmesi



**Resim 7.** Basınç tablasında 2.52-4.18 pF arısında tutulan nemin ölçmesi



**Resim 8.** WP4C cihazında 6-18 pF arısındaki tutulan nemin ölçmesi



**Resim 9.** Likit limit tayini



**Resim 10.** Soldaki resim yapay yağmur ile agregat stabilitesinin tayini ve sağdaki resim ıslak eğleme ile ağırlıklı ortalama çap tayini

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Qutiba Riyadh ABDULWAHHAB  
**Uyruğu** : Iraklı  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Irak – Mosul – 16/08/1985  
**Telefon** : (Türkiye 0095366516280) (Irak 009647701874040)  
**Faks** : -  
**e-mail** : [gutaiba.riyadh@lisanustu.selcuk.edu.tr](mailto:gutaiba.riyadh@lisanustu.selcuk.edu.tr) ve  
[gutaibariyadh@gmail.com](mailto:gutaibariyadh@gmail.com)

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Okaba bn Nafaa / Tikrit / Salah al deen	2004
Üniversite	: Tikrit Uni. /Tikrit/ Salah aldeen	2008
Yüksek Lisans	: Tikrit Uni. /Tikrit/ Salah aldeen	2011
Doktora	: Selçuk Üniversitesi /Selçuklu / Konya	2020

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011-2012	Irak- Tikrit Üniversitesi/Ziraat Fakültesi/	Araştırma görevi
2012-2013	Irak-Kerkük Üniversitesi/ Ziraat Fakültesi	Araştırma görevi
2013- 2017	Irak- Tarım Bakanlığı - Slah Aldin Ziraat Müdürlüğü /Toprak ve su bölümü.	Bölüm başkanı
2017 - devam	Irak- Tarım Bakanlığı – Tarım Araştırma Dairesi / Tikrit Araştırma Enstitüsü.	Uzman

### UZMANLIK ALANI

**Toprak Bilimi – Toprak Fiziği**

### YABANCI DİLLER

**Türkçe ve İngilizce**

### YAYINLAR

- Abdulwahhab Q.R., 2011. Relation Between Sorptivity of Soil Aggregates , Some Aggregate Stability Parameters and Water Movement by Capillary Rise in Gypsiferous Soil. Tikrit Üniversitesi (Yüksek Lisans Tezi).
- Abdulwahhab, Q.R and R.M. Shihab., 2011. Relation between sorptivity of soil aggregates and some structure parameters of gypsiferous soil. J.Tikrit Univ.Agric.Sci.11 (4):282-291.(Yüksek Lisans Tezinden).
- Shihab, R.M and Q.R. Abdulwahhab., 2013.Estimation of some hydroulic proparties of gypsiferous soil using pedotransfer functions. Iraqi J. Agric. Sci. – 44(4): 518-527. (Yüksek Lisans Tezinden).

- Abdulwahhab Q.R and Şeker C. 2019. Environmental modelling of soil water characteristic curve for two contrasting soil texture. International Symposium for Environmental Science and Engineering Research, 26 Mayıs 2019 (ISESER2019) Konya, Turkey. ( Doktora Tezinden).
- Abdulwahhab Q.R and Şeker C. 2019. Effect of Biochar Applications on Soil Aggregation Status. The 10th International Soil Congress (ISC2019), Successful Transformation toward Land Degradation Neutrality: Future Perspectives 18 June 2019 Ankara, Turkey. ( Doktora Tezinden).

