

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**GÖLETLERDEKİ KİL ÇEKİRDEĞİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

Zeki GÖKALP

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

**ANKARA
2006**

Her hakkı saklıdır

Prof. Dr. Cengiz OKMAN danışmanlığında, Zeki GÖKALP tarafından hazırlanan bu çalışma 20.04.2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile TARIMSAL YAPILAR ve SULAMA Anabilim Dalı'nda DOKTORA tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Cengiz OKMAN
Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü

Üye : Prof. Dr. Mustafa Y. KILINÇ
Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Üye : Prof. Dr. Fazlı ÖZTÜRK
Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü

Üye : Prof. Dr. Metin OLGUN
Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü

Üye : Prof. Dr. Mehmet KARA
Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ülkü MEHMETOĞLU
Enstitü Müdürü

ÖZET

Doktora Tezi

GÖLETLERDEKİ KİL ÇEKİRDEĞİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Zeki GÖKALP

**Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Cengiz OKMAN

Bu çalışmada, ülkemizde yaygın olarak bulunan ve bu nedenle gölet çekirdeklerinin inşasında kullanılan montmorillonit grubu killi toprağın mekanik özelliklerini iyileştirebilmek için içersine katılabilecek optimum kum miktarının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlasından elde edilen killi toprak, hacim esasına dayalı olarak %10, 20, 30, 40 ve 50 oranında yıkanmış ve elenmiş kum ile karıştırılmıştır. Killi toprak ve belirli oranlarda kum karıştırarak elde edilen karışımların kıvam limitleri, sıkışma karakteristikleri, permeabilite katsayısı, şişme potansiyeli, şişme basıncı ve kayma mukavemetleri bulunmuştur. Bu amaçla yapılan denemeler, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Denemelerden elde edilen sonuçlar, kum karışım oranları arttıkça kıvam limitlerinde bir azalma olduğunu göstermiştir. Proctor testlerinde optimum nem içeriğinin kum karışım oranındaki artışla birlikte azaldığı buna karşılık maksimum kuru birim ağırlığın arttığı gözlenmiştir. Kil-kum karışımlarının permeabilite değerleri, kum miktarına paralel olarak bir artış göstermiş ve %30 karışım oranından sonra permeabilitede aşırı bir artış olduğu saptanmıştır. Şişme potansiyeli ve şişme basıncı değerleri de kum karışım oranındaki artışa bağlı olarak bir azalma göstermiştir. Benzer şekilde, kohezyon kuvvetleri de kum karışım oranındaki artışla birlikte bir düşüş göstermiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, denemelerin hemen hemen hepsinde değişim eğilimi açısından %30 luk kum karışım oranı belirgin bir durum göstermektedir. Araştırmada aynı zamanda şişme potansiyeli ve şişme basıncı ile temel mühendislik karakteristikleri (likit limit, plastik limit, büzülme limiti, plastisite indeksi, likidite indeksi, büzülme indeksi, maksimum kuru birim ağırlık, optimum nem miktarı, kohezyon kuvveti) arasında ampirik ilişkiler de geliştirilmiştir.

Araştırmadan elde edilen bulgular ışığı altında, şişme miktarını büyük ölçüde içindeki boşluklarda tuttuğundan ve permeabilitede önemli bir artış yapmadığı için gölet gövdelerinin yapımında kullanılan montmorillonit grubu killi toprağa, %30 kadar kum karıştırılarak kullanılmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

2006, 139 sayfa

Anahtar Kelimeler: Toprak Dolgu Baraj, Gölet, Kil Çekirdek, Montmorillonit, Permeabilite, Şişme,

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

IMPROVING THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF CLAY CORES IN EARTH-FILL DAMS

Zeki GÖKALP

**Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Farm Structures and Irrigation**

Supervisor: Prof. Dr. Cengiz OKMAN

In this study, effects of different sand mixture rates on engineering characteristics of clay core construction materials used in earth-fill dams were investigated and the optimum rate were tried to be found. Sand was mixed with clayey soil samples with montmorillonite dominant clay mineral at five different rates (10, 20, 30, 40 and 50%). Montmorillonit dominant clayey soils are the most widely found clayey soil group in Turkey. Soil samples were obtained from experiment fields of Ankara University Agricultural Faculty and experiments were carried out at Foundation Engineering and Soil Mechanics Laboratory of Gazi University Civil Engineering Department. Basic soil classification tests (grain size distribution and consistency limits), Proctor compaction tests, falling head permeability tests, consolidation tests and triaxial shear tests were carried out both on original and mixed soil samples.

Consistency limits of soil samples decreased with the increasing sand mixture rates. Based on compaction tests results, it was seen that optimum moisture contents decreased and maximum dry unit weights increased with increasing sand mixture rates. Permeability values of samples increased with increasing mixture rates. Both swelling potential and swelling pressure decreased with increasing sand mixture rates. Cohesion forces also decreased with increasing sand mixture rates. Based on the above-specified findings, it was seen that 30% mixture rate was distinctive in almost all of these test results. Also in this study, empirical relations were investigated between swell potential - swelling pressures and some engineering characteristics of the soil samples including liquid limit, plastic limit, shrinkage limit, plasticity index, liquidity index, shrinkage index, maximum dry unit weight, optimum water content and cohesion forces.

Based on the results obtained from the engineering characteristics tests, it may be concluded that 30% sand mixture rate could be the optimum mixture rate for clayey soils with montmorillonite dominant clay mineral. This rate of sand mixture both keeps the permeability between the allowable limits and absorbs almost all the swell among the voids in itself.

2006, 139 pages

Key Words: Earth-Fill Dams, Clay Core, Montmorillonite, Permeability, Swelling

TEŞEKKÜR

Bana bu konuda araştırma olanağı sağlayan ve araştırmanın her aşamasında çalışmalarımı yöneten ve yönlendiren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Cengiz OKMAN'a, araştırmam süresince Tez İzleme Komitelerinde beni yönlendiren hocalarım Sayın Prof. Dr. Fazlı ÖZTÜRK ve Prof. Dr. Mustafa Y. KILINÇ'a, Tez Savunma Jürimde yer alıp tezimi değerlendiren Sayın Hocalarım Prof. Dr. Metin OLGUN ve Prof. Dr. Mehmet KARA'ya, laboratuvar denemelerinde bana imkanlarını sunan ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Murat MOLLAMAHMUTOĞLU ve laboratuvar sorumlusu Sayın Aziz ASMA'ya ve doktora eğitimim süresince benimle birlikte her türlü zorluğa katlanan ve her defasında engin bir anlayış sergileyen sevgili eşim ve çocuklarıma teşekkürlerimi sunarım.

Zeki GÖKALP
Ankara, Nisan 2006

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜRLER	iii
SİMGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	6
3. MATERYAL VE YÖNTEM	33
3.1 Materyal	33
3.1.1 Toprak örneklerinin alınması	33
3.1.2 Kumun elde edilmesi	34
3.2 Yöntem	34
3.2.1 Killi toprağın denemeye hazırlanması	35
3.2.2 Kumun denemeye hazırlanması	35
3.2.3 Kile karıştırılan kum miktarları	35
3.2.4 Kil minerali tipinin belirtilmesi	36
3.2.5 Toprağın tane dağılımının belirtilmesi	37
3.2.5.1 Elek analizi	37
3.2.5.2 Hidrometre analizi	39
3.2.6 Kıvam limitleri	40
3.2.6.1 Likit limit	41
3.2.6.2 Plastik limit	43
3.2.6.3 Büzülme limiti	44
3.2.7 Toprağın sıkışma karakteristiklerinin belirtilmesi	47
3.2.8 Permeabilite katsayılarının belirtilmesi	50
3.2.9 Konsolidasyon miktarı	51
3.2.9.1 Şişme deneyi	52
3.2.9.2 Şişme basıncı deneyi	52
3.2.10 Üç eksenli kesme testi	53
3.2.11 Ampirik ilişkilerin belirtilmesi	55
3.2.11.1 Killi toprağın likit limiti ile şişme parametreleri arasındaki ilişki	55
3.2.11.2 Killi toprağın plastik limiti ile şişme parametreleri arasındaki ilişki ..	56
3.2.11.3 Killi toprağın büzülme limiti ile şişme parametreleri arasındaki ilişki	56
3.2.11.4 Killi toprağın plastisite indeksi ile şişme parametreleri arasındaki ilişki	57
3.2.11.5 Killi toprağın likidite indeksi ile şişme parametreleri arasındaki ilişki	57

3.2.11.6 Killi toprağın b�z�lme indeksi ile ŐŐme parametreleri arasındaki ilişki	58
3.2.11.7 Killi toprağın sıkışma karakteristikleri ile ŐŐme parametreleri arasındaki ilişki	58
3.2.11.8 Killi toprağın kohezyon kuvveti ile ŐŐme parametreleri arasındaki ilişki	59
4. BULGULAR	60
4.1 Araştırmada Kullanılan Kil Mineralinin Tipi	60
4.2 Killi Toprağın Tane Dağılımı	61
4.3 Kıvam Limitleri Sonuçları	63
4.4 Sıkışma Deneyi Sonuçları	77
4.5 Permeabilite Deneyi Sonuçları	88
4.6 Konsolidasyon Deneyi Sonuçları	89
4.7 Üç Eksenli Kesme Deneyi Sonuçları	92
4.8 Ampirik İlişkiler	100
4.8.1 Likit limiti ile ŐŐme parametreleri arasındaki ilişki	100
4.8.2 Plastik limiti ile ŐŐme parametreleri arasındaki ilişki	102
4.8.3 B�z�lme limiti ile ŐŐme parametreleri arasındaki ilişki	104
4.8.4 Plastisite indeksi ile ŐŐme parametreleri arasındaki ilişki	107
4.8.5 Likidite indeksi ile ŐŐme parametreleri arasındaki ilişki	109
4.8.6 B�z�lme indeksi ile ŐŐme parametreleri arasındaki ilişki	112
4.8.7 Sıkışma karakteristikleri ile ŐŐme parametreleri arasındaki ilişki	114
4.8.8 Kohezyon kuvveti ile ŐŐme parametreleri arasındaki ilişki	119
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	122
KAYNAKLAR	128
ÖZGEÇMİŞ	139

SİMGELER DİZİNİ

LL	Likit Limit
PL	Plastik Limit
SL	Büzölme Limiti
LI	Likidite İndeksi
PI	Plastisite İndeksi
SI	Büzölme İndeksi
AI	Aktivite İndeksi
SP	Şişme Potansiyeli
SWP	Şişme Basıncı
M _w	Yaş toprak ağırlığı, gr
M _D	Kuru toprak ağırlığı, gr
M _{SL}	Büzölme limiti kabı ağırlığı, gr
M _{SL+Hg}	Büzölme limiti kabı + civa ağırlığı, gr
M _{SL+WS}	Büzölme limiti kabı + yaş toprak ağırlığı, gr
M _{SL+DS}	Büzölme limiti kabı + kuru toprak ağırlığı, gr
M _{G+Hg}	Cam civa kabı + civa ağırlığı, gr
M _{G+Hg+DS}	Cam civa kabı + civa + kuru toprak ağırlığı, gr
V _w	Yaş toprak hacmi, cm ³
V _D	Kuru toprak hacmi, cm ³
V _{molt}	Proctor moltu hacmi, cm ³
M _{molt}	Proctor moltu ağırlığı, gr
M _{molt+W}	Proctor moltu + yaş toprak ağırlığı, gr
R ₁ , R ₂	Konsolidometre gösterge okumaları
H	Konsolidometre numune boyu, cm
A	Permeabilite numunesi kesit alanı, cm ²
L	Sızma yolu uzunluğu, cm
a	Permeabilite saydam boru kesit alanı, cm ²
h _{1,2}	Saydam borudaki su yükseklikleri, cm
t _{1,2}	Sızma süresi başlangıcı ve sonu, s
k	Permeabilite katsayısı, cm/s
w	Nem İçeriği, %
w _{opt}	Optimum nem içeriği, %
γ _w	Suyun birim hacim ağırlığı, g/cm ³
γ _{ws}	Yaş toprak birim hacim ağırlığı, g/cm ³
γ _{dmak}	Maksimum kuru birim ağırlık, g/cm ³

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1	Tek yönlü serbest şişme ile şişme basıncı ilişkisi	17
Şekil 3.1	Killi toprak örneklerinin alındığı toprak katmanı	34
Şekil 3.2	Standart Cassagrande aleti	41
Şekil 3.3	Büzülme limiti aleti	44
Şekil 3.4	Proctor aleti	48
Şekil 3.5	Sabit tip konsolidasyon aleti	51
Şekil 3.6	Üç eksenli deney aleti	54
Şekil 4.1	X-ışını kırınımı testi sonucu	60
Şekil 4.2	Toprak örneği tane dağılım grafiği	62
Şekil 4.3	Killi toprağın likit limit grafiği	64
Şekil 4.4	Hacim olarak %10 kum verilmiş toprağın likit limit grafiği	65
Şekil 4.5	Hacim olarak %20 kum verilmiş toprağın likit limit grafiği	66
Şekil 4.6	Hacim olarak %30 kum verilmiş toprağın likit limit grafiği	67
Şekil 4.7	Hacim olarak %40 kum verilmiş toprağın likit limit grafiği	68
Şekil 4.8	Hacim olarak %50 kum verilmiş toprağın likit limit grafiği	69
Şekil 4.9	Likit limit değerlerindeki değişim	71
Şekil 4.10	Plastik limit değerlerindeki değişim	72
Şekil 4.11	Büzülme limiti değerlerindeki değişim	73
Şekil 4.12	Plastisite indeksi değerlerindeki değişim	74
Şekil 4.13	Likidite indeksi değerlerindeki değişim	75
Şekil 4.14	Büzülme indeksi değerlerindeki değişim	76
Şekil 4.15	Killi toprağın sıkışma eğrisi	78
Şekil 4.16	Hacim olarak %10 kum verilmiş toprağın sıkışma eğrisi	79
Şekil 4.17	Hacim olarak %20 kum verilmiş toprağın sıkışma eğrisi	81
Şekil 4.18	Hacim olarak %30 kum verilmiş toprağın sıkışma eğrisi	82
Şekil 4.19	Hacim olarak %40 kum verilmiş toprağın sıkışma eğrisi	83
Şekil 4.20	Hacim olarak %50 kum verilmiş toprağın sıkışma eğrisi	84
Şekil 4.21	Optimum sıkışma eğrilerindeki değişim	85
Şekil 4.22	Optimum nem içeriği değişimi	86
Şekil 4.23	Maksimum kuru birim ağırlık değişimi	87
Şekil 4.24	Permeabilite katsayılarındaki değişim	89
Şekil 4.25	Şişme potansiyeli değişimi	90
Şekil 4.26	Şişme basınçlarındaki değişim	91
Şekil 4.27	Killi toprağın kesme dayanımı grafiği	92
Şekil 4.28	Hacim olarak %10 kum verilmiş toprağın kesme dayanımı grafiği	93
Şekil 4.29	Hacim olarak %20 kum verilmiş toprağın kesme dayanımı grafiği	94

Şekil 4.30	Hacim olarak %30 kum verilmiş toprağın kesme dayanımı grafiği	95
Şekil 4.31	Hacim olarak %40 kum verilmiş toprağın kesme dayanımı grafiği	96
Şekil 4.32	Hacim olarak %50 kum verilmiş toprağın kesme dayanımı grafiği	97
Şekil 4.33	Kohezyon kuvvetlerindeki değişim	99
Şekil 4.34	İçsel sürtünme açılarındaki değişim	99
Şekil 4.35	Likit limit – şişme potansiyeli ilişkisi	101
Şekil 4.36	Likit limit – şişme basıncı ilişkisi	102
Şekil 4.37	Plastik limit – şişme potansiyeli ilişkisi	103
Şekil 4.38	Plastik limit – şişme basıncı ilişkisi	104
Şekil 4.39	Büzülme limiti – şişme potansiyeli ilişkisi	105
Şekil 4.40	Büzülme limiti – şişme basıncı ilişkisi	106
Şekil 4.41	Plastisite indeksi – şişme potansiyeli ilişkisi	108
Şekil 4.42	Plastisite indeksi – şişme basıncı ilişkisi	109
Şekil 4.43	Likidite indeksi – şişme potansiyeli ilişkisi	110
Şekil 4.44	Likidite indeksi – şişme basıncı ilişkisi	111
Şekil 4.45	Büzülme indeksi – şişme potansiyeli ilişkisi	113
Şekil 4.46	Büzülme indeksi – şişme basıncı ilişkisi	114
Şekil 4.47	Maksimum kuru birim ağırlık – şişme potansiyeli ilişkisi	115
Şekil 4.48	Maksimum kuru birim ağırlık – şişme basıncı ilişkisi	116
Şekil 4.49	Optimum nem içeriği – şişme potansiyeli ilişkisi	118
Şekil 4.50	Optimum nem içeriği – şişme basıncı ilişkisi	119
Şekil 4.51	Kohezyon kuvveti – şişme potansiyeli ilişkisi	120
Şekil 4.52	Kohezyon kuvveti – şişme basıncı ilişkisi	121

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1	Çeşitli kil minerallerinin aktivite indeksleri	11
Çizelge 2.2	Şişme karakteristikleri	12
Çizelge 2.3	Büzülme indeksine bağlı şişme potansiyeli sınıflandırması	19
Çizelge 3.1	Killi toprağa karıştırılan kum miktarları	36
Çizelge 3.2	Mekanik analizde kullanılan elekler	38
Çizelge 4.1	Elek analizi sonuçları	61
Çizelge 4.2	Hidrometre analizi sonuçları	61
Çizelge 4.3	Killi toprağın likit - plastik limit sonuçları	63
Çizelge 4.4	Hacim olarak %10 kum verilmiş toprağın likit limit - plastik limit sonuçları	64
Çizelge 4.5	Hacim olarak %20 kum verilmiş toprağın likit limit - plastik limit sonuçları	65
Çizelge 4.6	Hacim olarak %30 kum verilmiş toprağın likit limit - plastik limit sonuçları	66
Çizelge 4.7	Hacim olarak %40 kum verilmiş toprağın likit limit - plastik limit sonuçları	68
Çizelge 4.8	Hacim olarak %50 kum verilmiş toprağın likit limit - plastik limit sonuçları	69
Çizelge 4.9	Büzülme limiti sonuçları	70
Çizelge 4.10	Likit limit değerleri	71
Çizelge 4.11	Plastik limit değerleri	72
Çizelge 4.12	Büzülme limiti değerleri	73
Çizelge 4.13	Plastisite indeksi değerleri	74
Çizelge 4.14	Likidite indeksi değerleri	75
Çizelge 4.15	Büzülme indeksi değerleri	76
Çizelge 4.16	Killi toprağın sıkışma deneyi sonuçları	77
Çizelge 4.17	Hacim olarak %10 kum verilmiş toprağın sıkışma deneyi sonuçları	79
Çizelge 4.18	Hacim olarak %20 kum verilmiş toprağın sıkışma deneyi sonuçları	80
Çizelge 4.19	Hacim olarak %30 kum verilmiş toprağın sıkışma deneyi sonuçları	81
Çizelge 4.20	Hacim olarak %40 kum verilmiş toprağın sıkışma deneyi sonuçları	83
Çizelge 4.21	Hacim olarak %50 kum verilmiş toprağın sıkışma deneyi sonuçları	84
Çizelge 4.22	Optimum nem içeriği	86
Çizelge 4.23	Maksimum kuru birim ağırlık	87
Çizelge 4.24	Permeabilite deneyi sonuçları	88
Çizelge 4.25	Şişme potansiyeli	89
Çizelge 4.26	Şişme basınçları	91
Çizelge 4.27	Killi toprağın üç eksenli kesme deneyi sonuçları	92
Çizelge 4.28	Hacim olarak %10 kum verilen toprağın üç eksenli kesme deneyi	93

Çizelge 4.29	Hacim olarak %20 kum verilen toprağın üç eksenli kesme deneyi	94
Çizelge 4.30	Hacim olarak %30 kum verilen toprağın üç eksenli kesme deneyi	95
Çizelge 4.31	Hacim olarak %40 kum verilen toprağın üç eksenli kesme deneyi	96
Çizelge 4.32	Hacim olarak %50 kum verilen toprağın üç eksenli kesme deneyi	97
Çizelge 4.33	Kohezyon kuvveti ve içsel sürtünme açısı	98
Çizelge 4.34	Likit limit – şişme potansiyeli değerleri	100
Çizelge 4.35	Likit limit – şişme basıncı değerleri	101
Çizelge 4.36	Plastik limit – şişme potansiyeli değerleri	102
Çizelge 4.37	Plastik limit – şişme basıncı değerleri	103
Çizelge 4.38	Büzülme limiti – şişme potansiyeli değerleri	105
Çizelge 4.39	Büzülme limiti – şişme basıncı değerleri	106
Çizelge 4.40	Plastisite indeksi – şişme potansiyeli değerleri	107
Çizelge 4.41	Plastisite indeksi – şişme basıncı değerleri	108
Çizelge 4.42	Likidite indeksi – şişme potansiyeli değerleri	109
Çizelge 4.43	Likidite indeksi – şişme basıncı değerleri	111
Çizelge 4.44	Büzülme indeksi – şişme potansiyeli değerleri	112
Çizelge 4.45	Büzülme indeksi – şişme basıncı değerleri	113
Çizelge 4.46	Maksimum kuru birim ağırlık – şişme potansiyeli değerleri	114
Çizelge 4.47	Maksimum kuru birim ağırlık – şişme basıncı değerleri	116
Çizelge 4.48	Optimum nem içeriği – şişme potansiyeli değerleri	117
Çizelge 4.49	Optimum nem içeriği – şişme basıncı değerleri	118
Çizelge 4.50	Kohezyon kuvveti – şişme potansiyeli değerleri	119
Çizelge 4.51	Kohezyon kuvveti – şişme basıncı değerleri	121

1. GİRİŞ

Hayat için gerekli en önemli maddelerden biri olan suyun, ihtiyacı karşılayacak miktarda temin edilmesi zorunlu bulunmaktadır. Ancak yağışlar birçok faktörün birlikte etkisi ile meydana geldiği için miktar ve tekrarlanma aralıkları bakımından oldukça farklılıklar gösterir. Buna bağlı olarak su kaynaklarının verimi, yağışlı sürelerde artar ve kurak sürelerde azalır.

Ülkemizde su kaynakları verimi ile talep edilen suyun zamana göre dağılımı genellikle uyum göstermez. Bu durum, sulama suyu talebinin bulunduğu dönemlerde daha belirgin bir hal alır.

Su kaynaklarının verimi ile talep edilen suyun zamana göre dağılımı uyum göstermediği zaman akarsu depolanır. Bu şekilde akarsuyun talepten fazla olan miktarı, su talebinin karşılanamadığı süreye aktarılmış olur. Depolama ihtiyacı içme, kullanma, sulama ve elektrik enerjisi elde etmek için gerekli olan su ile taşkın miktarları göz önüne alınarak belirtilir.

Akarsuları depolamak için inşa edilen yapılara baraj denir. Ancak, bir yıl içinde tutulan suyu aynı yıl boyunca kullanmak amacıyla inşa edilen yapılar genellikle gölet olarak tanımlanır. Akarsular ihtiyaç duyulan suyun birikmesine, diğer bir deyişle istenen hacimde bir rezervuarın oluşmasına topoğrafik olarak uygun olan ve aynı zamanda zemin yönünden yeterli bulunan yerlerde depolanır.

Akarsuyu depolamak için akış yönüne dik olacak şekilde ve ihtiyaç duyulan suyu depolayacak yükseklikte bir yapı inşa edilir ve buna gövde denir. Gövdenin yüksekliği gölet yerinin topografyasına bağlı olarak değişir. Baraj olarak belirtilen yapılar suyun depolanma amacı, gövdenin hidrolik projelenmesi ve gövde yapımında kullanılan malzemeye göre farklı şekillerde sınıflandırılırlar.

Su depolama yapılarının gövdeleri ekonomik analizlere dayalı olarak beton veya topraktan homojen veya zonlu olarak inşa edilir. Gölet gövdeleri genellikle topraktan

yapılır. Sulama, içme ve kullanma suyu sağlama, taşkın kontrolü, rekreasyon alanı oluşturma ve balık üretimi amacıyla inşa edilen ve gölet olarak adlandırılan su depolama yapılarında başlıca yapı malzemesi olarak inşaat alanından veya çevreden temin edilen killi toprak kullanılır.

Topraktan yapılan su depolama yapıları, yapıldıkları malzemenin karakterine ve malzemenin gövdede dağılışı biçimine göre homojen, zonlu (bölge) ve perdeli olmak üzere üç bölüme ayrılabilir (Arthur 1961). Uygulamada en çok bölge gövde yapılır (Aküzüm ve Öztürk 1996). Böyle bir gövde, orta kısımda geçirimsiz bir çekirdek ve bunun iki yanında geçirgen malzemeden inşa edilir.

Zeminler katı-sıvı-gaz gibi üç değişik maddeden meydana geldiği için diğer yapı malzemelerine göre davranışlarının anlaşılması daha zordur (Özaydın 1989). Yerkabuğunun zemin olarak belirtilen katmanı, kendine özgü mekanik özellikleri nedeniyle birçok inşaat malzemesinden farklı özellikler gösterir. Zemindeki suyun miktarı, mekanik özelliklere önemli derecede etki eder (Okman 1998). Kohezyonlu topraklar nem içeriğine bağlı olarak likit, plastik, yarı katı ve katı halde bulunurlar (Das 1993).

Suyun depolanmasını sağlayan ve topraktan inşa edilen gölet gövdesi ile zeminden olan sızma, bu amaca uygun olarak inşa edilen yapılar ile önlenir. Gövdenin içinden olan sızmaya karşı inşa edilen yapıya çekirdek adı verilir. Buna karşılık zeminden olabilecek sızma, perde duvarı, kazık duvar (kazıklı perde) veya çekirdek hendeği olarak tanımlanan yapılar ile kontrol edilir. Göletlerin gövdesi ile zeminden olabilecek sızmayı önleyen yapılar büyük bir çoğunlukla kilden yapılır ve kil çekirdek olarak adlandırılır.

Göletlerin gövdesinde bulunan çekirdeğin temel amacı, suyun depolanmasını sağlamak olduğu için, buradan olan sızmalar ile zarar görmeyecek şekilde inşa edilmesi gerekir (Anonymous 1986). Gölet çekirdeğinin inşa edildiği malzemenin önemli mühendislik karakteristikleri arasında permeabilite, erozyon ve kilin şişme ve büzülmesine bağlı olarak yarıkların meydana gelmemesi sayılabilir. Uzun süreli su depolayan göletler için, oldukça düşük permeabiliteli çekirdek malzemesi kullanılır. Buna karşılık taşkın

sularının depolandığı haznelerde, orta derecede permeabiliteye sahip toprak kullanılabilir. Göletin gövdesinden olan sızmaya bağlı olarak ortaya çıkan borulanma miktarının tespit edilmesinde erozyon dayanımı göz önünde bulundurulmaktadır.

Göletlerin gövdesindeki çekirdek, rezervuardaki suyun sızmasını önleyecek şekilde inşa edilir. Buna karşılık zemindeki sızmaya karşı inşa edilen çekirdek hendeğinin, sızma kuvvetini borulanma yapmayacak bir düzeye düşürecek derinlikte yapılması gerekir. Gölet olarak belirtilen su depolama yapılarının gövdesi ve zemindeki çekirdek bir bütün olarak inşa edilir. Ancak gövde ve zemindeki çekirdeğin enine kesiti, gövdenin tabanına doğru artar.

Kil çekirdek, gölet gövdelerinin memba yüzeyinde fakat çoğunlukla gövdenin ortasında inşa edilir. Böylece zeminden olan sızmayı önleyen yapı ile bir bütünlük sağlanmış olur. Gövdenin ortasında inşa edilen kil çekirdeğin stabilitesini sağlamak amacıyla, bunun mansap ve memba yüzeyleri, dış tarafa doğru kaba toprak tanelerinden oluşan katmanlar ile örtülür. En dışta kalan katmanların yüzeyleri, taş ile uygun bir şekilde kaplanır.

Göletlerin gövdesi ile zemininden olan sızmayı önlemek amacıyla inşa edilen ve çekirdek olarak adlandırılan yapının inşaatında, dolgu malzemesi olarak permeabilite katsayısı oldukça düşük olan killi toprak kullanılır (Knappen and Lowe 1952). Bu amaçla kullanılmak üzere seçilen killi toprak, optimum nem içeriğinde sıkıştırılarak önce zemindeki ve sonra da gövdedeki kil çekirdek inşa edilir.

Kil taneleri silisyum, magnezyum, alüminyum ve demirin kompleks silikatları olup silisyum-alüminyum tetrahedronu ile alüminyum veya magnezyum oktahedronu olmak üzere başlıca iki birimden meydana gelmiştir (Holeman 1965). Kil olarak belirtilen tanelerin fiziksel özellikleri, mineralojik ve kimyasal yapılarına göre farklılık gösterir ve kil minerallerinin yapısının analizinde X-ışını kırınımı testi kullanılmaktadır (Whitting and Allardice 1986).

Kil olarak tanımlanan taneler su aldıklarında mekanik yönden çok farklı özellikler sergiler. Öte yandan bazı kil mineralleri su alınca genişir ve kuru duruma gelince

büzülür. Bunun bir sonucu olarak gövdenin içi ile zeminde bulunan kil çekirdekte derin yarıklar ortaya çıkar. Bu yarıklardan kuşkusuz hızlı bir sızma meydana gelir. Buralardan olan sızma, rezervuardaki suyun azalmasına neden olmakla birlikte, kritik hidrolik eğimden sonra zeminde borulanmaya sebep olur. Borulanma olan zemin, yük taşıyamayacağı için üzerindeki gövde yıkılır. Bu durum ancak çekirdeğin inşaatında kullanılan kilin gösterdiği genişlemenin, çekirdeğin içindeki boşluklarda kalmasıyla önlenabilir. Bunun için gövdenin içinden bunun altındaki zemine kadar uzanan çekirdeğin inşaatında kullanılan killi toprak, belirli oranda kum ile karıştırılır. Ancak killi toprağa karıştırılan kumun, inşa edilen çekirdeğin permeabilitesini izin verilen sınırların üzerine çıkarmayacak fakat kilin gösterdiği şişmeyi, kum tanelerinin arasındaki boşluklarda tutacak miktarda olması gerekir.

Göletlerde depolanan suyun seviyesi, giren ve çıkan akış miktarına bağlı olarak yıl içinde değişim gösterir. Su seviyesinde meydana gelen bu durum, göletin çekirdeğinin nem içeriğinde sürekli değişimlere neden olur. Gölet çekirdeğinin yapımında kullanılan montmorillonit grubu kil, su alınca şişer ve alınan suyu verdikten sonra başlangıçtaki duruma döner, diğer bir deyişle büzülür. Şişen kilin aldığı suyu verip başlangıçtaki duruma dönmesi bir süre sonra gerçekleşir. Bu süre, kilin dönüşümü olarak belirtilebilir.

Toprak barajlarda, gövde ve zeminin farklı düzeylerde oturması, rezervuarın dolması ve sismik etkiler sonucunda yarıklar meydana gelir. Gövdede yarıklar oluşumunu en aza indirebilmek için dolgunun proje aşamasında ileride ortaya çıkabilecek tüm olumsuz durumlar göz önünde bulundurulmalı ve bunların etkilerini en aza indirecek bir yol izlenmelidir.

Yarıklar çapraz, enine ve boyuna olmak üzere genellikle üç tipte ortaya çıkarlar. Özellikle geçirimsiz kil çekirdekte meydana gelen çapraz yarıklar, fazla miktarda sızmalara neden olur ve buna bağlı olarak akış yolları meydana getirdiği için son derece önemlidir. Böyle yarıklar, dolgu veya temelde meydana gelen farklı oturmalardan kaynaklanır.

Gölet çekirdeğinde meydana gelen enine yarıklar ise söz konusu çekirdeğin inşasında kullanılan toprağın, gövdenin diğer kesimlerinde kullanılan malzemeden çok daha fazla sıkıştırılabilir karakteristikte olmasından kaynaklanır. Bu durumda, kil çekirdek yapımında kullanılan malzeme, daha az sıkışan malzemeden yapılan dış kısımlara doğru bir kavis oluşturma eğilimi gösterir. Enine yarıklar dışarıdan gözle görülemez ancak gövdede bir takım zarara neden olabilir.

Boyuna yarıklar, memba tarafı geçiş bölgesinde, haznenin ilk saturasyonu veya ani su çekilmesi nedeniyle meydana gelen oturmalar sonucu ortaya çıkar. Aynı zamanda, bunun bitişiğindeki malzemede meydana gelen farklı oturmalar veya sismik hareketler sonucu da boyuna yarıklar meydana gelebilir. Boyuna yarıklar, geçirimsiz çekirdek boyunca sürekli akış kanalları oluşturmadığı için borulanmaya da neden olmaz. Ancak bu durumda, dolgu stabilitesi etkilenir ve şev stabilitesi bozulur (Anonymous 1994).

Kuşkusuz topraktan yapılan göletlerin gövdesi ile zemininden olan sızma tamamen önlenemez. Ancak bu sızma, önemli miktarda bir su kaybı ve borulanmaya neden olmayacak şekilde kontrol edilebilir. Bunun için göletin gövdesi ile zeminde yapılan kil çekirdeğin, bu durumu sağlayacak mekanik özelliklere sahip olan malzemelerden inşa edilmesi zorunlu olmaktadır.

Bu araştırma, ülkemizde yaygın olarak bulunan ve bu nedenle gölet çekirdeğinin yapımında kullanılan montmorillonit grubu killi toprağın şişme ve büzülmesine bağlı olarak meydana gelen yarıkları önlemek, diğer bir deyişle söz konusu hacimsel değişimleri kil çekirdeğin içindeki boşluklarda tutmak amacıyla ilave edilmesi gereken kum miktarının tespit edilmesi amacıyla yapılmıştır.

Bunun için, kum karıştırılmamış durumda ve belirli oranlarda kum karıştırılarak hazırlanmış toprak numunelerinin temel mühendislik karakteristikleri belirtilmiştir. Araştırmada aynı zamanda, montmorillonit grubu kil içeren toprağın, temel toprak parametreleri ile şişme potansiyeli ve şişme basıncı arasında bir takım ampirik ilişkiler de geliştirilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde araştırma ile ilgili daha önce yapılmış olan yerli ve yabancı literatürlerin özetleri verilmiştir.

Anonymous (2001), göletlerin projelendirmede temel prensibin, tüm inşaat aşamalarında ve depolama esnasında emniyetli ve fonksiyonel bir yapı ortaya çıkarmak olduğunu belirtmiştir. Bu amaçla aşağıda verilen unsurların gerçekleştirilmesini önermişlerdir:

- Gövde dolgusu, aşırı taşkınlarda yeterli savak kapasiteleri ile emniyetli bir depolama temin etmelidir.
- Gövde dolgu şevleri ani dolup boşalmalara karşı emniyetli olmalıdır.
- Gövde dolgusu, temel zemini üzerine aşırı gerilmeler yüklemeyecek şekilde tasarlanmalıdır.
- Gövde dolgusu içinden ve temelden olan sızmalar kontrol altında tutularak erozyona ve şevlerde kaymalara neden olmamalıdır.
- Gövde dolgusunun memba şevi dalga etkisine karşı korunmalı ve mansap şevi ise rüzgar ve yağış etkisine karşı emniyetli olmalıdır.

Li and Desai (1983), toprak dolgu barajlarda gerilme ve sızma analizlerine yönelik sonlu eleman modeli geliştirmişler ve söz konusu model ile sızma, gerilme ve stabilite analizleri yaparak elde ettikleri bulguları klasik yöntemlerle hesaplanan ve ayrıca arazi gözlemleri ile elde edilmiş değerlerle karşılaştırdıktan sonra model verilerinin, direkt gözlemler ve analitik bulgularla iyi bir korelasyon sergilediğini ortaya koymuşlardır.

Mejia and Seed (1983), farklı kanyon geometrilerine sahip iki adet toprak dolgu barajda iki ve üç-boyutlu dinamik analizleri karşılaştırarak hangi koşullarda üç-boyutlu davranışın önemli olduğunu ve toprak dolgu barajların dinamik davranışının incelenmesinde, iki-boyutlu analizlerin ne denli kullanılabilir olduğunu ortaya koymuşlardır.

Walker and Duncan (1984), Amerika Birleşik Devletlerinde inşa edilmiş ve önemli düzeyde yanal deformasyon sergileyen iki toprak dolgu baraj üzerinde bazı denemeler yaparak her iki dolguda da aşırı doygunluk nedeniyle ortaya çıkan yanal deformasyonların veya yanal bel vermelerin dolgu malzemesinin optimumdan daha yüksek bir nem içeriğinde sıkıştırılmasından kaynaklandığını ve aşırı doygunluğun artan yükleme ile birlikte aşırı bir boşluk suyu basıncı geliştirdiğini belirtmişlerdir.

Öte yandan, toprak dolgu barajların çoğunun inşaat esnasında bir kısım yanal deformasyon sergilediğini ve bu deformasyonun boyutunun dolgu malzemesinin gerilme-uzama karakteristiklerine dayalı olduğunu öne sürmüşlerdir.

Bilgiç (1986), toprak dolgu göletlerde oluşan sorunlar ve çözüm şekilleri ile ilgili olarak yaptığı çalışmada, göletlerde ortaya çıkabilecek sorunlara bağlı olarak kullanılabilecek farklı iyileştirme yöntemlerini ve bunların uygulanış şekillerini ortaya koymuştur.

Sherard (1986), homojen dolgulu ve zonlu (ortasında kil çekirdeği olan) torak dolgu barajlarda ortaya çıkan yarıklar ve bunlara bağlı olarak meydana gelen sızmalara ilişkin yaptığı çalışmalar sonunda, yarıkların genellikle farklı seviyelerde oturmalarından ve içsel gerilme transferlerinden kaynaklandığını ve yarık genişliğinin giren su basıncına ve yarık üzerindeki su derinliğine bağlı olduğunu ifade etmiştir.

Aküzüm ve Erözel (1988), göletlerde dolgu inşaatı ve kontrolü üzerine gerçekleştirdikleri araştırmada, dolgu inşaatı ve denetimi sırasında yapılması gereken işlemleri ortaya koymuşlar ve son yıllarda gölet sayısındaki artışa paralel olarak karşılaşılan sorunların da arttığını ve bunun da dolguda kullanılan malzemelerin istenilen özelliklerde olmamasından ve gövde dolgusunun iyi sıkıştırılmamasından kaynaklandığını ortaya koymuşlardır.

Leroueil *et al.* (1988), toprak dolgu barajlarda ölçülen permeabilite değerleri ile laboratuvar deneylerinden elde edilen permeabilite sonuçlarını karşılaştırmışlar ve yerinde tespit edilen permeabilite değerlerinin laboratuvarda ölçülenden biraz daha fazla olduğunu ifade etmişlerdir.

Erözel ve Öztürk (1989), su depolama yapılarında kullanılan dolgu toprağının farklı mühendislik özellikleri arasındaki ilişkilerin belirtmek için yaptıkları çalışmada, 288 adet dolgu toprağının 15 farklı mekanik özelliğine ilişkin deneme sonuçlarını esas alarak çoklu korelasyon ve çoklu regresyon analizleri gerçekleştirmişler ve dolgu topraklarının değişik mühendislik özelliklerinin tahmininde ve deney sonuçlarının kontrolünde kullanılabilecek bazı ampirik eşitlikler geliştirmişlerdir.

Aktaş (1992), Balıkesir Altınova Marda barajı kil dolgu malzemelerinin geoteknik özellikleri üzerine gerçekleştirdiği çalışmada baraj dolgusunda kullanılması planlanan malzemenin dolguda kullanmaya elverişli olup olmadığının denemeler ile saptanması gerektiğini belirtmiştir.

Fırat (1992), Gaziantep'e içme suyu sağlayan Çataltepe barajının çekirdeğinin yapımında kullanılan malzemenin temel mühendislik özelliklerini belirtmek için yaptığı araştırmada, kil örneklerinin dağılma özelliği taşımadığını, geçirgenlik katsayılarının 10^{-7} ile 10^{-8} civarında değiştiğini ve söz konusu malzemenin geçirimsiz çekirdek dolgusunda kullanılabilir özellikte olduğunu ifade etmiştir.

Talbot and Deal (1993), toprak dolgu barajlarda kil çekirdekte meydana gelen yarıkların, yaygın bir problem olduğunu ifade etmişler ve yarık meydana gelen gövdelerde yaptıkları çalışmalar sonunda, özellikle suya hassas malzemelerden inşa edilen dolgularda uygun filtre ve drenaj sistemlerinin inşası ile yarık problemlerinin büyük ölçüde önüne geçilebileceğini belirtmişlerdir.

Tosun (1994), dağılabilen killerin toprak dolgu barajların inşasında yeterince tanımlanmadan ve gerekli önlemler alınmadan kullanılması durumunda sonradan çözümü zor problemlere neden olabileceğini belirtmiş ve Devlet Su İşleri tarafından gerçekleştirilen 17 projeye ait 161 numune üzerinde yaptığı iğne deliği ve dağılma deneyi sonuçlarını kullanarak killerin dağılma özelliklerini ortaya koymuştur.

Morh *et al.* (1994), toprak dolgu bir barajın haznesinin dolması sırasında ilk nem koşullarının ve göllenme hızının, baraj stabilitesi üzerine etkisini ortaya koymak için

gerçekleştirdikleri araştırmada, sonlu eleman modeli kullanarak doygun ve doygun olmayan sızma ve gerilme-deformasyon analizi gerçekleştirdikten sonra sızma, etkili gerilme ve baraj stabilitesi arasındaki ilişkileri ortaya koymuşlardır.

Araştırma sonunda, hazne dolum hızının toprak dolgu baraj stabilitesi üzerine önemli düzeyde etkili olduğunu ve göllenme hızı yüksek olduğu zaman barajın memba yüzü karakteristiklerinde hızlı bir değişim olduğunu ve emniyet faktörünün düştüğünü öne sürmüşlerdir.

Bayoğlu (1995), kil-kum karışımlarının kayma dayanımı ve sıkışma özelliklerini belirtmek amacıyla yaptığı çalışmada, %5, %15, %35, %50, %75 ve %100 olmak üzere 6 farklı oranda ince malzeme içeren örnekler üzerinde direkt kesme ve üç eksenli basınç deneyleri gerçekleştirdikten sonra, direkt kesme deneylerinden elde edilen kayma dayanımı açılarının %50 karışım oranına kadar genel olarak 30-38 derece arasında değiştiğini ve ince malzeme yüzdesinin artmasıyla beraber düşerek 10 dereceye kadar indiğini ortaya koymuştur. Öte yandan, üç eksenli basınç deneylerinin elde edilen kayma dayanımı açılarının, birbirine yakın olduğunu ve ince malzeme miktarından bağımsız bir davranış gösterdiğini öne sürmüştür.

Azizoğlu ve Altunok (1995), DSİ VII. Bölge Müdürlüğü sorumluluğunda inşa edilen Demirdöven ve Kuzgun Barajı inşaatlarında kullanılan geçirimsiz dolgu malzemelerinde karşılaşılan problemleri belirtmek amacıyla yaptıkları çalışmada, planlama aşamasında uygun görülen malzeme alanlarındaki zeminin doğal nem içeriği ile optimum nem içeriği arasında oldukça değişken farklılıkların olduğunu ve killi toprağın istenen özellikleri taşıması için drenaj ve kurutma çalışmalarının yapılması gerektiği ifade etmişlerdir.

Kılıç ve Yıldırım (2000), Alibey Barajı temel zemini parametrelerinin belirtilmesi amacıyla gerçekleştirdikleri araştırmada, gerilme, şekil değiştirme ve konsolidasyon davranışını incelemişler ve gerekli malzeme parametrelerini bularak araştırmada kullandıkları sayısal modelin kalibrasyon yöntemini ortaya koymuşlardır.

Hosseini (2002), toprak dolgu barajlarda kil çekirdeğin baraj stabilitesi ve sızma kontrolü açısından önemli bir rol oynadığını, ince taneli çekirdek malzemeleri ile daha kaba taneli olan ve örtüde kullanılan malzemelerinin dayanımları arasındaki farklılıkların bir takım inşaat zorluklarına ve projelendirme aşamasında bazı problemlere neden olduğunu ve kil malzeme içine, bir kısım kaba tane ilave edilmesinin dayanımı arttırıp toprak dolgunun zonları arasındaki davranış farklılıklarını azalttığını belirttikten sonra, toprak dolgu bir barajın kil çekirdeğinin inşasında kullanılacak kil-kum karışımının geoteknik ve fiziksel özelliklerini inceleyen bir araştırma gerçekleştirmiştir.

Karışım oranı olarak %70 kil - %30 kum, %60 kil - %40 kum ve %50 kil - %50 kum oranının denendiği araştırma sonucunda permeabiliteyi izin verilen sınırların üzerine çıkarmayan ve malzemeyi çok yumuşak hale getirmeyen %60 kil - %40 kum miktarı uygun karışım oranı olarak tespit edilmiştir.

Araştırmada aynı zamanda, saf kilden inşa edilecek bir çekirdeğe ilişkin analizler gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar, kil-kum karışımından elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldıktan sonra, kum karıştırılarak inşa edilen çekirdeğin, öngörülen görevleri yalnız kilden yapılabilecek oranla daha iyi yerine getirdiği, kil-kum karışımının saf kile nazaran oturmelerde %30, boşluk suyu gelişiminde %33 ve yatay ve düşey yer değiştirmelerde ise (kavislenme) %22 oranında bir azalma sağladığı saptanmıştır.

Reddi and Kakuturu (2003), toprak dolgu barajlarda kil çekirdek ile filtre dreni arasındaki konsantre sızıntıların önlenmesi amacıyla gerçekleştirdikleri çalışmalar sonunda, bu konuya ilişkin matematiksel ve deneysel metotlar önermişlerdir.

Skempton (1953), plastisitenin killi toprakların nem içeriğine bağlı olarak sergiledikleri durum değişikliklerinin önemli bir göstergesi olduğunu belirterek plastisiteyi tanımlayabilmek için aktivite indeksi (AI) kavramını ortaya koymuş ve aktivite indeksini, plastisite indeksinin 0.002 mm den daha küçük tane yüzdesine oranı olarak aşağıda verildiği gibi ifade etmiştir;

$$AI = \frac{PI}{< 2\mu m \text{ kil}}$$

Grim (1962), kil minerallerinin aktivite indekslerini bulmak için gerçekleştirdiği çalışma sonunda, farklı kil minerallerinin aktivite indekslerini Çizelge 2.1’de verildiği gibi belirtmiştir.

Çizelge 2.1 Çeşitli kil minerallerin aktivite indeksleri

Kil Minerali	Aktivite İndeksi
Na ⁺ montmorillonit	3.0-7.0
Ca ⁺² montmorillonit	1.2 – 1.3
İllit	0.3 – 0.6
Kaolinit (zayıf kristalli)	0.3 – 0.4
Kaolinit (güçlü kristalli)	< 0.1

Spangler and Handy (1982), plastisite indeksinin toprak taneleri arasındaki bağların durumunu ortaya koyan ampirik bir gösterge olduğunu öne sürmüşler ve plastisite indeksinin çok yüksek olduğu kum-kil karışımları veya kil-çakıl karışımlarının yağışlı havalarda yumuşama gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

Morris *et al.* (1992), Avustralya ve Kanada’nın kurak bölgelerinde yarık oluşumu ve morfolojisi üzerine yaptıkları çalışmalar sonunda, kuruyan topraklarda meydana gelen yarıkların genellikle dikine gelişim gösterdiğini ve yatay yönde kırık çizgiler şeklinde ortaya çıktığını öne sürmüşler ve ıslanma sonucu kolaylıkla kapanmalarına rağmen kırıklı yapılarını muhafaza ettiklerini ve kurduklarında tekrar eski haline döndüklerini belirtmişlerdir.

Atkinson (1993), plastisite indeksi çok düşük olan toprakların, kurduğu zaman aşınma ve kopmalar gösterdiğini ve bu nedenle de plastisite indeksinin toprakların mühendislik

karakteristiklerinin tanımlanmasında oldukça önemli bir parametre olduğunu ileri sürmüştür.

Trask (1959), belirli bir nem içeriğine sahip kohezyonlu zeminlerin dayanımının, tane büyüklüğü küçüldükçe arttığını ortaya koymuş ve dayanımın silt ve kum parçacıkları katılmasıyla veya kum ve siltin kile oranının artmasıyla azaldığını ifade etmiştir.

Holtz (1959), doğal veya yapay olarak hazırlanmış killerde meydana gelen hacim değişiminin, kil minerali tipi ve miktarı, ilk yoğunluğu, nem içeriğindeki değişim, yükleme koşulları, toprak yapısı ve zaman olmak üzere altı temel faktöre bağlı olduğunu saptamıştır.

Seed *et al.* (1962), killerin şişme karakteristiklerini sınıflama testlerine bağlı olarak belirtmek amacıyla yaptıkları çalışmada, laboratuarda yapay olarak hazırlanmış toprak numunelerinden elde edilen verileri kullanarak toprakta mevcut kil boyutlu tane yüzdesi ve kil aktivitesi ile şişme yüzdesi arasında bir ilişki ortaya koymuşlar ve killi toprakların genişleme derecesini şişme potansiyeline bağlı olarak Çizelge 2.2’de verildiği gibi ifade etmişlerdir.

Çizelge 2.2 Şişme karakteristikleri

Genişleme Derecesi	Şişme Potansiyeli (%)
Düşük	0-1.5
Orta	1.5-5
Yüksek	5-25
Çok yüksek	>25

Gromko (1974), killerin şişme potansiyelinin belirtilmesi amacıyla yaptığı çalışmada, bu amaçla aşağıda belirtilen testlerin kullanılabileceğini öne sürmüştür.

1. Serbest şişme indeksi: Bu test, bilinen bir hacimdeki toprağın suya batırıldıktan sonra hacminde meydana gelecek değişimin bulunmasında kullanılır.

2. Kıvam limitleri: Plastisite indeksi ve özellikle b z lme indeksi, potansiyel genişleme göstergeleridir,       toprak şişmesinin çoğunluğu bu indeksler arasındaki bir nem içeriğinde ortaya çıkar.
3. Kolloid içeriği: Bu test, toprak şişmesine etkin bir şekilde katkıda bulunan ve 1-2   çapından daha k      kolloidal tane içeriğinin bir göstergesidir.
4. Konsolidasyon: Bu test, normal olarak içsel gerilmelerin bir fonksiyonu olarak oturmaları ifade etmekle birlikte toprakların şişme potansiyellerini tespit etmede de kullanılabilir.

Chen *et al.* (1978), şişebilen topraklarda su hareketi ve şişmeden dolayı üzerlerine inşa edilen yapılarda ortaya çıkan deformasyonlara ilişkin gerçekleştirdikleri araştırmada, su hareketi üzerine termal etkileri ve yapılarda ortaya çıkabilecek maksimum zararları inceledikten sonra, mevsimsel değişimlere paralel olarak toprak sıcaklığında ardışık değişimlerin olduğu yörelerde nem içeriğinin de sıcaklık değişimi yönünde bir değişim gösterdiğini belirtmişler ve bu değişimden kaynaklanan ardışık şişme ve büzülmelerin bu tür zeminler üzerine inşa edilmiş hafif yapılarda ortaya çıkarabilecek zararları ortaya koyan bir eşitlik geliştirmişlerdir.

Dakshanamurthy (1979), sıkıştırılmış killi toprakların şişme karakteristiklerini incelemek amacıyla yaptığı araştırmada, söz konusu numunelere üç eksenli kesme aletinde eş yönlü ve eş yönsüz basınç uygulamış ve maksimum hacimsel şişme ile ortalama normal gerilme arasında bir ilişki elde etmiştir. Bu ilişkiden yararlanarak şişme ve konsolidasyon oluşturmayacak basıncın diğer bir deyişle sıfır şişme basıncının bulunabileceği ortaya koymuştur.

Popescu (1980), kırıl an bir yapı gösteren toprakların şişme davranışını belirtmek amacıyla yaptığı araştırmada, nem içeriği ile şişme-b z lme ilişkisini ortaya koymaya çalışmış ve nem içeriğindeki değişime bağlı olarak şişme davranışını etkileyen en önemli faktörün, büyük parçaların daha k      parçalara ayrılması ve kolloidal olarak dağılması olduğunu öne s rm ştir.

El-Sohby and Rabbaa (1981), killi toprakların şişme karakteristiklerini etkileyen temel faktörleri inceledikleri araştırmada, laboratuarda farklı nem içeriklerinde hazırlanmış kum-kil ve silt-kil karışımlarını kullanarak nem içeriği, kuru birim ağırlık, kil minerali tipi ve içeriği ve kaba tane oranı ile şişme potansiyeli ve şişme basıncı arasında bazı ilişkiler ortaya koymuşlardır.

Araştırma sonunda, kilin şişme potansiyelinin kil fraksiyonunun ($<2 \mu\text{m}$) aktivitesi ile yakından ilişkili olduğunu ve kuru birim ağırlık ne kadar yüksekse şişme potansiyeli ve şişme basıncının da o kadar yüksek olduğunu öne sürmüşlerdir.

Can (1983), zeminlerin mineralojik özelliklerinin mühendislik davranışlarına etkisini incelemek amacıyla yaptığı çalışmada, likit limit, plastik limit, plastisite indeksi, doğal nem içeriği, higroskopik nem ve sıkışabilme gibi özelliklerin kil miktarına bağlı olarak arttığını, büzülme limiti ve dayanımın ise artan kil miktarı ile azalma gösterdiğini ifade etmiştir.

El Sohby and Rabbaa (1984), doymun olmayan topraklarda ıslanma sonucu ortaya çıkan durumu belirtmek için kil-kum ve kil-silt karışımlarının şişme ve büzülme davranışı üzerine kuru birim ağırlık, yükleme koşulları, kil ve kaba tane içeriğinin etkisini incelemişler ve aynı koşullar altında %15-40 arasında kil içeren kil-kum karışımlarının silt-kil karışımlarına oranla daha fazla sıkıştığını ortaya koymuşlardır.

Güntekin (1985), uygulamada zeminlerin şişmesi nedeniyle meydana gelen hasarlar ve alınacak önlemler konulu çalışmasında, bu amaçla daha önceden gerçekleştirilen laboratuvar denemelerinden elde ettiği sonuçlara bağlı olarak zeminleri şişme bakımından aşağıda belirtildiği gibi üç gruba ayırmıştır:

1. Su ile temasında şişme özelliği başlayan ve zamanla şişme basıncı ve şişme yüzdesi artan zeminler.
2. Su ile temasından belirli bir zaman sonra şişme özelliği başlayan ve bu özelliği uzun süre artarak devam eden ve hacimsel değişimi büyük olan zeminler.

3. Su ile temasından kısa bir süre sonra şişme özelliği başlayan ve kısa sürede bu özelliğini tamamlayan zeminler.

Chen and Ma (1987), killi toprakların şişme ve büzülme davranışlarını belirtmek için, farklı nem içeriği ve farklı kuru birim ağırlıkta örnekler üzerinde denemeler yapmak suretiyle şişme ile büzülme arasında bir ilişki elde etmişlerdir. Araştırma sonunda, kuru birim ağırlığın büzülme üzerine çok az bir düzeyde etki yaptığını ancak, şişme miktarını kontrol eden bir faktör olduğunu, ayrıca şişme ile büzülmenin birbirine eşit olduğu kritik bir kuru birim ağırlık değerinin de bulunduğunu öne sürmüşlerdir.

Araştırmada aynı zamanda, kuru birim ağırlığın söz konusu değerin üzerinde olduğu zaman şişmenin daha fazla olduğunu, şişme ile büzülme arasında kesin bir ilişkinin söz konusu olmadığını ve bu konuda daha ileri düzeyde araştırmalara ihtiyaç duyulduğunu dile getirmişlerdir.

Bosscher *et al.* (1988), topraklardaki boşlukların sürekliliğinin permeabiliteye etkisini belirtmek amacıyla arazide yaptıkları ölçümler ile elde ettikleri permeabilite sonuçlarını laboratuarda gözenekli bir levha kullanmak suretiyle boşlukları sürekli hale getirilmiş veya boşlukları farklı şekillerde yönlendirilmiş numunelerden elde edilen permeabilite sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar sürekli boşluklara paralel permeabilitenin boşluklara dik yönde permeabiliteden oldukça fazla olduğunu ortaya koymuşlardır.

Daniel (1989), arazide sıkıştırılmış killerin permabilitelerine ilişkin 9 adet farklı metodu incelemiş ve bunları birbirleri ile karşılaştırdıktan sonra uygulamada kullanımlarına ilişkin bazı esaslar ortaya koymuştur.

Kiper ve Mirata (1990), kil dolgularda sıkışma yüzdesinin oturmalarla etkisini incelemek amacıyla yüksek plastisiteli ve orta plastisiteli iki kil örneğinde sıkıştırma enerjisi azaldıkça sıkışabilirliğin nasıl arttığını araştırmışlar ve kil dolgularda aşırı oturmaların önlenmesi için yeterli miktarda sıkıştırma yapılmasının önemini vurgulamışlardır.

Erol (1990), gerçek şişme ve kabarmaları ödometre deneyi ile elde edilen şişme miktarları ile karşılaştırmak amacıyla yaptığı araştırmada, ödometre deneyleri ile hesaplanan şişmelerin arazide gerçekleşen şişme miktarlarından fazla olduğunu saptamıştır. Diğer taraftan, şişmeler arasındaki bu farkın, arazide zeminin ödometre deney koşullarında olduğu kadar elverişli bir ıslanma ortamına sahip olmamasından dolayı daha az su emdiği için ortaya çıktığını, zeminin yapısında bulunan yarık ve dağılmalar gibi yapısal değişimlerin arazide yanal deformasyonlara neden olduğunu ve bu yanal deformasyonların da düşey yönde gerçekleşen şişmeleri azaltıcı bir etkisinin olduğunu ileri sürmüştür.

Lav ve Ansal (1991), killi zeminlerde şişme basıncının ampirik olarak bulunması amacıyla yaptıkları araştırmada, kil taneciklerinin mineralojik özellikleri ve zeminin su emme kapasitesinin killi zeminlerde şişmeye yol açan iki ana faktör olduğunu vurguladıktan sonra şişme basıncı ile indeks özellikleri arasında bazı ilişkiler ortaya koymuşlardır.

Araştırmada, bir zemin örneğinin şişme özelliğini tek bir değişkene bağlı olarak incelemenin doğru bir yaklaşım olmadığını, bunun yerine şişme potansiyeline etki eden değişik özellikleri içeren bir çoklu regresyon ilişkisi kullanılmasının gerekli olduğunu belirtmişlerdir.

Keskin (1991), killerin kıvam limitlerini etkileyen faktörleri belirtmek amacıyla yaptığı çalışmada, yüksek ve düşük plastisiteli kil örneklerinin kıvam limitlerine, su sıcaklığı, sudaki anyon ve katyonlar ve kum ilavesinin etkisini inceledikten sonra, deney suyu sıcaklığının yüksek plastisiteli kil örneklerini düşük plastisiteli kil örneklerine göre daha fazla etkilediğini, buna karşılık anyon ve katyon miktarı ve kum oranı arttıkça killerin kıvam limiti değerlerinde azalma olduğunu saptamıştır.

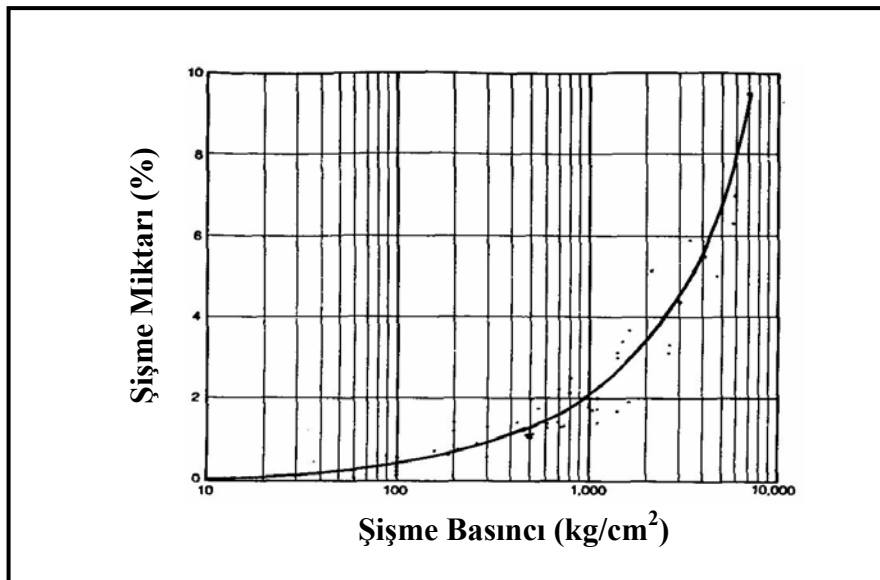
Keskin *et al.* (1992), killi zeminlerin yanal şişme davranışını belirtmek için zemin numunelerinin izotropik ve anizotropik gerilme şartları altında yanal şişme davranışını ortaya koymuşlar ve farklı efektif gerilmelerin uygulanması durumunda, izotropik ve anizotropik gerilme şartları altında şişme basınçlarının efektif gerilmelerdeki artışla ters

orantılı olarak azaldığını ancak anizotropik şartlarda oluşan şişme basınçlarının izotropik şartlarda oluşan şişme basınçlarına oranla daha düşük olduğunu ifade etmişlerdir.

Çokça ve Birand (1992), killi zeminlerde büzülme ve şişme etkisiyle meydana gelen yarık ve dağılmaların oluşum mekanizmalarını ortaya koymak amacıyla yaptıkları araştırmada, bu zeminlerin şişme davranışının zeminin yapısında mevcut yarık ve dağılmaların varlığı ile önemli ölçüde ilişkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Basma (1993), likit limit, plastisite indisi, kil içeriği ve kil aktivitesi değerlerini kullanarak, standart sıkışma deneyi ile maksimum kuru birim ağırlıkta sıkıştırılmış killerin 1 psi (6.9 kPa) basınç altında genişleme derecesini belirtmek amacıyla yaptığı çalışmada söz konusu parametreler arasında bazı ilişkiler elde etmiştir.

Sikh (1993), killerin şişme davranışını belirtmek için yaptığı çalışmada, tek yönlü serbest şişme yüzdesi ile şişme basıncı arasında bir korelasyon ortaya koymuş ve Şekil 2.1’de gösterilen grafiksel ilişkiyi vermiştir. Denemelerden elde edilen şişme yüzdeleri arasında farklılıkların nem içeriği, yoğunluk ve tane dağılımından ileri geldiğini öne sürmüştür.



Şekil 2.1. Tek yönlü serbest şişme ile şişme basıncı ilişkisi

Aytekin (1993), şişme özelliği gösteren killi zeminlerin yanal basınçlarını, zeminin su emme kapasitesinin bir fonksiyonu olarak veren matematiksel bir model ortaya koymuş ve bu modeli sonlu elemanlar yöntemi ile çözerek elde ettiği sonuçları laboratuvar denemelerinden elde edilen sonuçları ile karşılaştırmıştır.

Araştırma sonunda, sayısal model kullanılarak elde edilen yatay basınç dağılımlarının laboratuvar denemelerinden elde edilen yatay basınç dağılımları ile yakın sonuçlar verdiğini ve dolayısıyla zeminlerin malzeme özellikleri iyi bilinmesi halinde söz konusu modelin yanal şişme basınçlarının tahmininde kullanılabileceğini ifade etmiştir.

Keskin *et al.* (1994), aşırı konsolidasyon oranının zeminlerin şişme davranışı üzerine etkisini ortaya koymak amacıyla killi zemin örneklerinin ödometre aletiyle sabit hacimde ve farklı ön yükleme değerlerinde konsolide edilmiş halde şişme basınçlarını saptamıştır.

Araştırmada, zeminlerin şişme basıncının, aşırı konsolidasyon oranından önemli derece etkilendiği belirtildikten sonra killi zeminlerde önemli bir problem olan şişme durumunun olumsuz etkilerinin azaltılabilmesi için, zeminlerin ön yükleme durumlarının önceden belirtilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Howell *et al.* (1997), kil-kum karışımının sıkışma karakteristikleri üzerine kil tipi, bekleme süresi ve karıştırma işleminin etkisini belirtmek amacıyla, granüle bentonit ile karıştırılmış kum, pudra haldeki bentonit ile karıştırılmış kum, atapulgit kili ile karıştırılmış kum, atapulgit kili ve granüle bentonit ile karıştırılmış kum olmak üzere dört farklı toprak karışımı kullanmışlardır.

Araştırmada ayrıca iki farklı karıştırma yöntemi uygulanmıştır. Birinci yöntemde kum, uygun miktarlarda su ile karıştırıldıktan sonra kil ilave edilmiş ve elle karıştırılmıştır. İkinci yöntemde ise kuru kum ve kil karıştırıldıktan sonra su ilave edilmiş ve elle karıştırılmıştır. Karışımlar daha sonra bekleme süresinin etkisini inceleyebilmek için bir ile yedi gün süreyle hava geçirmeyen poşetlerde bekletilmiştir.

Araştırmada, farklı bekleme sürelerinin aynı tür kil içeren örneklerde, optimum nem içeriği ve maksimum kuru birim ağırlık üzerine önemsiz bir etkisinin bulunduğu belirtildikten sonra kuru koşullarda karıştırıp sonradan su ilave edilen numunelerde optimum nem içeriği ve maksimum kuru birim ağırlığın daha yüksek olduğu vurgulanmıştır.

Ranganatham and Satyanarayana (1998), doğal ve laboratuarda yapay olarak hazırlanmış kil numuneleri üzerinde büzülme indeksi ve şişme aktivitesi değerlerini kullanarak şişme karakteristiklerini inceleyip şişme potansiyelini ortaya koymuşlar ve toprakları büzülme indeksine bağlı olarak şişme potansiyeli bakımından Çizelge 2.3'te verildiği gibi sınıflandırmışlardır.

Çizelge 2.3 Büzülme indeksine bağlı şişme potansiyeli sınıflandırması

Sınıflandırma	Büzülme İndeksi Aralığı
Düşük	0-20
Orta	20-30
Yüksek	30-60
Çok yüksek	>60

Blotz *et al.* (1998), killi topraklarda sıkıştırma enerjisi ile oluşan maksimum kuru birim ağırlık ve optimum nem içeriği arasındaki ilişkiyi belirtmek için, iki farklı metot kullanarak likit limit ve sıkışma eğrisi ile sadece likit limit değerini göz önüne alarak bazı ilişkiler geliştirmişlerdir.

Araştırmada, likit limit ve bir sıkışma eğrisi kullanılarak yapılan tahminlerin yalnızca likit limit kullanılarak yapılan tahminlere göre daha duyarlı sonuçlar verdiği belirtildikten sonra optimum nem içeriğinde $\pm\%1$ ve maksimum kuru birim ağırlıkta $\pm\%2$ düzeyinde bir hata olabileceği ifade edilmiştir.

Göksan (1998), beş farklı nem içeriği ve dört ayrı kuru birim hacim ağırlıkta sıkıştırılarak hazırlanmış numuneler üzerinde ödometre deney sistemi kullanarak emme

kapasitesi ve şişme basıncını saptamış ve killi zeminlerde emme kapasitesi ile şişme basıncı arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur.

Bu araştırmada, nem içeriği ile emme kapasitesi arasında doğrusal, buna karşılık nem içeriği ile şişme basıncı arasında üslü bir ilişkinin bulunduğu ifade edildikten sonra plastisite indeksinin artmasıyla emme kapasitesi ve şişme basıncının arttığı öne sürülmüştür.

Yılmaz (1999), katyon değişim kapasitesi, likit limit ve şişme yüzdesi parametreleri arasında bir bağıntının olduğunu belirterek killi zeminlerinde katyon değişim kapasitesi (KDK), likit limit (LL) ve şişme yüzdesi (%S) arasında aşağıda verilen ilişkileri ortaya koymuştur:

$$KDK = e^{(2.63 + 0.02 LL)}$$

$$\%S = 0.084 KDK - 1.30$$

$$\%S = 0.079 LL - 1.79$$

Çokça ve Karahan (1999), emme basıncı ve ödometre metotlarını kullanarak yüksek şişme potansiyeline sahip bentonit ve kaolin karışımlarının şişme potansiyellerini ortaya koymak amacıyla yaptıkları araştırmada, emme basıncı yöntemi kullanılarak elde edilen şişme miktarlarının, ödometre deneylerinden ölçülen şişme değerlerinden daha düşük olduğunu öne sürmüşlerdir

Birand ve Primkulov (2000), killi zeminlerde meydana gelen hacim değişimlerini, bu amaçla geliştirilen ilişkiler ve gerçek ölçmelere göre saptayarak bunları karşılaştırdıktan sonra, suya doygun ve doğal nem içeriğindeki zeminlerin zamana bağlı deformasyonların büzülme ve konsolidasyon teorisi ile modellenebileceğini ancak, ıslanma sonucu oluşan deformasyonların yükleme sırasında oluşan deformasyonlardan

daha uzun bir süre içerisinde oluştuğunu vurgulamışlar ve çökebilen zeminlerde konsolidasyon deformasyonlarının kısa bir zaman içerisinde oluşup toplam deformasyonun büyük bir kısmını oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Yıldırım *et al.* (2000), killi zeminlerin su emme kapasitesi ve şişme basınçlarının plastisite indeksi, kuru birim ağırlık ve nem içeriğine bağlı olarak belirtilmesi amacıyla yaptıkları araştırmada söz konusu parametreler arasında bazı ilişkiler elde etmişlerdir.

Araştırmada elde edilen ilişkilerin uygulamada kullanılabilirliğini belirtmek amacıyla laboratuvarında yaptıkları denemeler sonunda, su emme kapasitesini veren ilişkinin gerçek sonuçlara uyduğunu ancak, şişme basıncında söz konusu uyumun olmadığını ifade etmişlerdir.

Çokça ve Çora (2001), sıkıştırılmış killerde görülen hacim değişikliğinin zemin mekaniği yönünden önemli olduğunu vurguladıktan sonra, sıkıştırılmış killerde optimum nem içeriğinin hacim değişimi üzerine etkisini incelemek amacıyla, optimum nem içeriğinde (%23), optimum nem içeriğinden daha düşük değerlerde (%15.5, %17, %18.5, %20, %21.5) ve optimum nem içeriğinden daha yüksek değerlerde (%24.5) ödometre deneyleri yapmışlar ve şişme basıncının başlangıç nem içeriği arttıkça azaldığını, şişme yüzdesinin söz konusu nem içeriğine bağlı olarak sabit kaldığını ortaya koymuşlardır.

Çinicioğlu *et al.* (2002), kıvam limitleri ve plastisitenin, ince taneli zeminlerin mühendislik özellikleri hakkında önemli bilgiler veren parametreler olduğunu belirterek 67 adet killi zeminin kıvam limitlerini kullanılarak plastisite değerini, likit limit ve kil mineralojisine bağlı olarak veren bir ilişki elde etmişlerdir. Elde edilen ilişkinin, kullanılan 67 adet kil için oldukça iyi sonuçlar verdiğini ancak söz konusu ilişkinin farklı killere ait çok sayıda veri ile doğrulanması gerektiğini ileri sürmüşlerdir.

Keskin *et al.* (2003), kıvam limitlerinin zeminlerin önemli mekanik özellikleri olduğunu belirterek zemin sınıfı ve yapısının belirtilmesinde bu değerlerin kullanılmasının gerekli olduğunu vurguladıktan sonra killi zeminlerde likit limit ve plastik limit arasındaki

ilişkiyi belirtmek amacıyla yaptıkları araştırmada, 41 sondaj noktasından alınan killi zeminler üzerinde yapılan 337 adet deneme verisinden yararlanarak söz konusu parametreler arasındaki bağıntıyı ilişkilerle belirtmişlerdir.

Araştırmada, plastisite indeksi ile likit limit arasında aşağıda verildiği gibi bir ilişkinin bulunduğu belirtilmiştir:

$$PI = 0.8004 \cdot LL - 13.681$$

Briaud *et al.* (2003), nem içeriğindeki değişimlere bağlı olarak şişme ve büzülme gösteren topraklarda, düşey yer değiştirmenin bulunmasında kullanmak amacıyla nem içeriği olarak belirtilen bir metot ortaya koymuşlardır. Araştırmada temel toprak parametresi olarak nem içeriği kullanılmış ve hacimsel değişim ile nem içeriği arasındaki ilişki büzülme testi ile belirtilmiştir.

Söz konusu metot, iki yıl süreyle dört adet temel sömeline gerçekleştirilen yer değiştirmeler ile kontrol edildikten sonra, ölçülen ve ilişkilere göre tahmin edilen yer değiştirmelerin birbirine yakın olduğu saptanmıştır.

Erzin and Erol (2004), plastisite indeksi, nem içeriği, likidite indeksi ve kuru birim ağırlık gibi toprak özellikleri ile şişme basıncı arasındaki ilişkileri inceledikten sonra şişme basıncının bulunmasında kullanmak amacıyla bazı ilişkiler ortaya koymuşlardır. Araştırmada, elde edilen ilişkilerden yararlanarak saptanan şişme basıncı ile ilk kuru birim ağırlık ve plastisite indeksi arasında yüksek bir ilişkinin bulunduğu öne sürülmüş ancak, ilk nem içeriği ile zayıf bir ilişkinin söz konusu olduğu vurgulanmıştır.

Prakash and Sridharan (2004), killi toprakların şişme oranlarından yararlanarak kil minerali tipinin belirtilmesi amacıyla yaptıkları araştırmada şişme oranları kullanılarak kil minerali tipinin tayin edilebileceğini ortaya koymuşlardır.

Allam and Sridharan (1981), ardışık ıslanma ve kuruma döngülerinin toprak örneklerinin kayma dayanımı üzerine etkisini belirtmek amacıyla, toprak örneklerinin

mineral içeriğini, tane dağılımı ve kıvam limitlerini tespit ettikten sonra, toprak örneklerini 3 gün süreyle kurutup 3 gün süreyle ıslatarak söz konusu numunelerin kayma mukavemetini elde etmişlerdir. Araştırmada, ıslanma-kuruma döngüsü sonunda toprağın sertleştiği, sıkışma kabiliyetinin azaldığı ve kayma dayanımının arttığı belirtilmiştir.

Rao and Satyadas (1987), şişme ve kısmi büzülme döngüleri uygulanan toprakların şişme potansiyelinin değişimini belirtmek amacıyla toprak örneklerine kararlı bir duruma ulaşana kadar tam şişme ve kısmi büzülme döngüleri uyguladıktan sonra tane dağılımı ve yapısı ile fiziksel ve çevre koşullarının şişme-büzülme üzerine ne denli etkili olduğunu araştırmışlardır. Araştırma sonunda, toprak örneklerinde ortaya çıkan şişme ve büzülmenin büyük bir bölümünün ilk 4 döngü sonunda meydana geldiğini ifade etmişlerdir.

Osipov *et al.* (1987), killerde şişme mekanizmasını daha iyi ortaya koyabilmek için beş farklı kil numunesi üzerinde ardışık şişme testleri gerçekleştirmişler ve ardışık ıslanma-kuruma döngülerinin etkisi altında kalan killerin serbest şişme, şişme basıncı ve kil kristal yapılarında ortaya çıkan değişimleri incelemişlerdir.

Araştırmada, tekil bir ıslanmadan kaynaklanan serbest şişmenin, kilin taneleri arasındaki yapısal bağlara ve toprağın kompozisyonuna bağlı olduğunu ve çok sayıda döngünün etkisi altında kil mineralleri arasındaki bağların şekil değiştirdiğini, şişmede meydana gelen artışın yavaşladığını belirtmişlerdir. Diğer taraftan, şişme basıncının döngü sayısı ile birlikte arttığını ve bu artışın ilk döngüden sonra en yüksek değere ulaştığını ve daha sonra giderek yavaşladığını öne sürmüşlerdir.

Dif and Bluemel (1991), kuruma ve ıslanma döngüleri etkisi altındaki killi toprak örneklerine arazi koşullarına eşdeğer miktarda yük uygulayarak şişme ve büzülme miktarında meydana gelen değişimi inceledikleri araştırmada, şişen topraklarda şişme büzülme döngülerinin ardından meydana gelen durumun, temel olarak toprak tanelerinin dizilişlerindeki sürekli değişimden, yarık gelişiminin ardından yanal

kuşatmanın kaybolmasından ve topraktaki kil minerali tipinden kaynaklandığını ortaya koymuşlardır.

Fleureau *et al.* (1993), killi toprakların kuruma-ıslanma yüzeylerindeki davranışını incelemek ve toprakların ilk durumları ile bazı faktörlerin bu davranış üzerine etkisini ortaya koymak amacıyla yaptıkları çalışmada, kuru toprakların ıslanma yüzeylerindeki şişme miktarının eşdeğer etkili konsolidasyon basıncı ile birlikte arttığını ifade etmişlerdir.

Day (1994), arazi koşullarına yakın sıcaklıklarda ıslanma ve kuruma döngüleri uygulanan killerin şişme-büzülme davranışını incelemek amacıyla yaptığı çalışmada, 1.5 gün ıslatılan numuneler 2.5 gün süreyle de kurumaya bırakılmış ve bu şekilde şişme-büzülme miktarlarındaki değişim kararlı bir yapıya ulaşana kadar denemelere devam edilmiştir. Araştırmada, ilk döngünün düşük miktarlarda şişme ve büzülme gösterdiği ancak daha sonraki döngülerde bu miktarların hızla arttığı ve tekrarlanan ıslanma kuruma döngülerinin sıkıştırılmış kilin hacminde önemli bir artışa neden olduğu belirtilmiştir.

Al-Homoud *et al.* (1995), ıslanma-kuruma döngülerinin farklı yerlerden aldıkları killerin şişme karakteristikleri üzerine etkisini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada, toprak örneklerini, yüzen tipte hazneli konsolidometre hücresinde 40 saat süreyle su içinde şişmeye bıraktıktan sonra ilk nem içeriğine gelene kadar havada kurutmuşlardır. İstenen nem içeriğine ulaşan numuneler tekrar konsolidometrede şişmeye bırakılmıştır. Bu şekilde, örneklerdeki şişme miktarı sabit bir düzeye ulaşana kadar ıslanma-kuruma döngülerine devam edilmiştir. Denemelerde her bir döngü sonunda şişme potansiyeli ve şişme basıncı ölçülmüştür.

Araştırmada, söz konusu döngüler sonunda toprağın yorgunluk belirtileri gösterdiği ve şişmenin de azaldığı belirtilmiştir. Diğer taraftan, birinci döngünün şişme potansiyelini fazla miktarda azalttığı ve daha sonraki döngülerin de şişme potansiyelinin azalmasına neden olduğu ve azalmanın belirli bir süre sonra kararlı hale geldiği öne sürülmüştür.

Hekimoğlu (1996), killi zeminlerin şişme davranışlarını belirtmek amacıyla yaptığı çalışmada, maksimum kuru birim ağırlık ve optimum nem içeriğinde sıkıştırılarak hazırlanmış numunelere 7 defa ıslanma ve kuruma döngüsü uygulayarak şişme basınçları ve şişme deformasyonlarını ölçmüş ve başlangıç nem içeriğinin artması ile şişme deformasyonları, şişme basıncı, permeabilite katsayısı, likit limit ve plastik limitin azaldığını ortaya koymuştur.

Tan ve İyisan (1996), termik santrallerde üretim atığı olarak ortaya çıkan uçucu küllerin kolay ve ucuza temin edilebilmeleri ve kimyasal özelliklerinden dolayı mühendislik uygulamalarında daha ekonomik çözümler sağlayabileceğini ve çevreye verilen zararların azaltılabileceğini öne sürerek bu küllerin zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılma olanaklarını belirtmek için yaptıkları çalışmada, kile uçucu kül karıştırarak uçucu külün killerin mukavemetine etkisini saptamışlardır. Araştırmada, uçucu külün, kilin kayma mukavemetini önemli miktarda arttırdığı, %20 uçucu kül - % 80 kil karışımının permeabilitesinin 10^{-9} m/s olduğu belirtilmiş ve uçucu küllerin zeminlerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde kullanılabileceği öne sürülmüştür.

Çokça (1999), killi topraklarda şişme karakteristiğinin inşaat mühendisliği açısından çeşitli problemler ortaya çıkardığını belirterek uçucu küllerlin killi toprakların şişme basıncı üzerine etkisini araştırmak amacıyla yaptığı çalışmada, toprak örneğine %0-25 arasında uçucu kül katarak kimyasal ve mineralojik bileşim, tane dağılımı, kıvam limitleri ve şişme basıncı özelliklerine uçucu kül karışımının etkisini incelemiştir.

Araştırmada, uçucu kül miktarına bağlı olarak likit limit ve plasitiste indeksi ve şişme basıncının düşmesine karşılık karışımların aktivite değerinin arttığı ifade edilerek en uygun karışım oranı %20 olarak verilmiştir.

Aksoy ve Haşal (2000), termik santrallerin yan ürünü olan uçucu küllerin zemin dolgularında kullanılabileceğini ileri sürmüş ve uçucu küllerin kimyasal ve mühendislik özelliklerini inceleyerek uçucu kül, çimento ve köpük karışımının hafif dolgu malzemesi olarak kullanım olanaklarını belirtmek amacıyla yaptığı çalışmada, uçucu kül, çimento ve köpük karışımlarını kullanarak elde ettiği örneklerin kayma

mukavemeti, CBR değeri ve permeabilite katsayılarını saptadıktan sonra söz konusu karışımın temel dolgularında kullanılabileceğini belirtmiştir.

Kumar *et al.* (2001), uçucu kül ve uçucu kül-kireç karışımının yol stabilize malzemesi olarak kullanılabilmek için, bu amaçla hazırlanan numunelerin sıkışma karakteristikleri, kayma mukavemetleri ve permeabilitelerini belirtmişlerdir. Araştırmada, %10-15 uçucu kül ilavesinin kesme mukavemetini %35 oranında arttırdığı, buna karşılık düşük miktarlar verilen kirecin söz konusu mukavemetin önemli miktarda artmasına neden olduğu ve karışımların sıkışma miktarının yeterli olduğu öne sürülmüştür.

Kumar and Sharma (2004), killi topraklarda uçucu kül ilavesinin şişme indeksi, şişme potansiyeli, şişme basıncı, plastisite, sıkışma, dayanım ve hidrolik iletkenlik üzerine etkisini belirtmek amacıyla yaptıkları çalışmada, %0, 5, 10, 15 ve 20 oranlarında uçucu kül katılmış örneklerde uçucu kül ilavesi ile birlikte plastisite, hidrolik iletkenlik ve şişme özelliklerinin azalma gösterdiğini ancak, kuru birim ağırlık ile mukavemet özelliklerinin arttığını ortaya koymuşlardır.

Kim *et al.* (2005), uçucu kül - taban külü karışımının geoteknik özelliklerini ortaya koymak için yaptıkları araştırmada, %50, %75 ve %100 olmak üzere üç farklı uçucu kül karışım oranı kullanmışlar ve karışımların sıkışma, permeabilite ve dayanım özelliklerini bulmuşlardır.

Araştırmada, uçucu kül/tabana külü karışımının iyi bir nem içeriği –yoğunluk ilişkisi gösterdiği ve uçucu kül miktarındaki artışla birlikte sıkıştırılmış kül karışımlarının hidrolik geçirgenlik değerlerinin azaldığı ifade edilmiştir. Öte yandan, kül karışımlarının mekanik açıdan normal kumlu topraklarla kıyaslanabilecek düzeyde özellikler gösterdiği ve gerekli unsurlar sağlandığında yüksek miktarlarda uçucu kül karışımının otoyol kaplama altı dolgularında rahatlıkla kullanılabileceği öne sürülmüştür.

Kamon and Nontananandh (1991), amur tarzındaki endüstriyel artıkların killi zeminlerin iyileştirilmesinde kullanıma olanakları üzerine yaptıkları araştırmada, belirli oranlarda kireçle birlikte yakılmış sanayi atıklarının normal imento gibi bağlayıcı özelliğini inceledikten sonra, elde ettikleri atık ürünün, yol stabilize malzemesi olarak kullanılan tınlı toprakların mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Lara *et al.* (1999), farklı oranlarda kireç, jips ve poliüretan karışımlarının killi topraklarda nem içeriğine bağlı hacim değışimleri üzerine etkisini belirtmek amacıyla yaptıkları çalışmada, kuru ağırlık yüzdesi cinsinden beş farklı karışım oranı (%2,4,6,8 ve 10) kullandıktan sonra, söz konusu karışım oranlarının ve karıştırılan maddelerin indeks özelliklerini belirtmişler ve en iyi sonucu %6 lık poliüretan karışımının verdiğini öne sürmüşlerdir.

Akawwi and Al-Kharabsheh (2000), şişme sergileyen toprakların mühendislik özellikleri üzerine kireç stabilizasyonunun etkisini inceledikleri çalışmada, kuru ağırlık cinsinden beş farklı kireç karışım oranını (%0,2,4,6, ve 8) kullandıktan sonra killi toprakların mühendislik karakteristiklerinin iyileştirilmesi açısından en uygun kireç karışım oranı olarak %3.5 – 5 önermişlerdir.

Muntohar and Hantoro (2000), farklı oranlarda pirinç kavuzu külü ve kireç karışımının killi toprakların mühendislik karakteristikleri üzerine etkisini incelemek amacıyla yaptıkları araştırmada, söz konusu karışımlar üzerinde tane dağılımı, kıvam limitleri, sıkışma, serbest basınç, konsolidasyon ve üç eksenli kayma deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Araştırmada, kıvam limitleri ve şişme potansiyeli gibi fiziksel karakteristiklerin pirinç kavuzu külü-kireç karışımı ile birlikte gelişme gösterdiğini, serbest basınç ve kayma dayanımının arttığını ancak, konsolidasyon oturmalarının azaldığını ortaya koymuşlardır.

Tosun ve Türköz (2000), kireç, imento, tuz, uçucu kül ve bazı organik bileşiklerin temel zemininin şişme potansiyeli üzerine etkisini belirtmek amacıyla yaptıkları araştırmada, üç farklı noktadan alınarak standart koşullarında sıkıştırılmış ve farklı

oranlarda (%0, %1, %3 ve %5) kireç katılmış 88 adet kil örneğinin şişme yüzdesini bulduktan sonra, kireç ilavesinin zeminin nem içeriğindeki değişimi azaltarak şişme yüzdesini düşürdüğünü öne sürmüşlerdir.

Lara and Castano (2000), killi toprakların şişme özelliğinde kireç katılarak ortaya çıkarılan iyileştirmenin zamanla değişimini belirtmek amacıyla yaptıkları araştırmada, toprak-kireç reaksiyonun zamanla geliştiğini, kalsiyum karbonat oluşumu devam ettiği sürece devam ettiğini ve ardından sabit bir hal aldığını ortaya koymuşlardır.

Lara *et al.* (2005), kireç katarak killi zeminlerin iyileştirilmesinde, kireç katılması gereken toprak katmanı kalınlığını belirtmek amacıyla yaptıkları araştırmada, 60 cm kalınlığında bir tabakanın yeterli olacağını ortaya koymuşlardır. Bu kalınlıkta bir tabakanın, hava koşullarındaki değişimlerden kaynaklanan nem içeriği değişiminin etkisi altında kalacağını ve altındaki katmanlar için geçirimsiz bir bariyer vazifesi görüp nem içeriğindeki değişimlerin bu tabakanın içerisinde sınırlı kalacağını ve diğer katmanlardaki şişen kili etkilemeyeceğini ifade etmişlerdir.

Turner (1994), katı atıklarının killi toprakların iyileştirilmesinde kullanılma olanaklarını belirtmek amacıyla yaptığı çalışmada, yağtaş atığı ilave edilerek sıkıştırılmış toprakların serbest basınç dayanımlarını, nem-yoğunluk ilişkilerini, ıslanma-kuruma ve donma-çözölmelere karşı mukavemetini inceledikten sonra, yağtaş atığı ilavesinin dayanıklılığı önemli düzeyde arttırdığını ve düşük maliyetli bir yol altyapı malzemesi olarak kullanılabileceğini öne sürmüştür.

Anonymous (1998), polimer lif parçacıklarının killerde kurumaya bağlı olarak ortaya çıkan yarıklar üzerine etkisini belirtmek amacıyla yaptıkları araştırmada, liflerin yarıkları azalttığını ancak, killi toprak ıslanma-kuruma döngülerinin etkisi altında kaldığında liflerin etkinliğinin büyük ölçüde ortadan kalktığını belirtmişlerdir. Öte yandan, lif ilavesinin kilin çekme dayanımını önemli düzeyde arttırarak kile esnek bir yapı kazandırdığını, kilin su erozyonu ile ayrışması üzerine liflerin herhangi bir etkisinin olmadığını vurgulamışlar ve toprak kuru ağırlığının %3'ü kadar bir lif ilavesinin yeterli olacağını öne sürmüşlerdir.

Çinicioğlu ve Öztoprak (1999), asitlerin killi zeminin şişme ve mekanik özellikleri üzerine etkisini belirtmek amacıyla yaptıkları araştırmada, farklı nem içeriklerinde ve kuru birim ağırlıklarda sıkıştırılmış killerde tane dağılımı, kıvam limitleri, konsolidasyon ve kesme deneyleri ile kil-su ve kil-asit etkileşiminin genel zemin davranışı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

Araştırmada, killerin şişme davranışında ve şişme potansiyelinde en önemli etkenin kil mineralojisi olduğu ancak, kille temas eden sıvının kimyasal özelliklerinin de önemli derecede etkili olduğu vurgulanmış ve suyla yapılandırıldıktan sonra asitle karşılaşan kilde %40 ile %90 arasında değişen oranlarda şişme basıncı artışı olduğunu ortaya konulmuştur.

Al-Rawas *et al.* (2002), farklı oranlarda çimento tozu, bakır cürufu, cüruf-çimento ve granüle fırın cürufu karışımlarının killi toprakların şişme özelliği üzerine etkisini belirtmek amacıyla yaptıkları çalışma sonunda, kullanılan tüm katkı maddelerinin toprağın katyon değişim kapasitesini arttırdığını, bakır cürufu katkısının toprak örneklerinin şişme potansiyeli ve şişme basıncını arttırdığını ve diğer katkı maddelerinin ise şişme potansiyelinde değişen miktarlarda azalmaya neden olduğunu ortaya koymuşlardır.

Özbayoğlu (1988), farklı oranlarda bentonit katkısının kumlu-killi ve kumlu zeminleri stabilize edici etkisini belirtmek amacıyla yaptığı araştırmada, bentonit katkılı ve katkısız doğal numune üzerinde serbest basınç, standart sıkışma, hidrolik geçirgenlik ve direkt kesme deneyleri yaparak mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimleri incelemiştir.

Araştırmada, kumlu zemine hacim olarak %5 bentonit katıldığında maksimum kuru birim ağırlığının yaklaşık %10 arttığı ancak, killi-kumlu zeminin sıkışma değerlerinde bentonit kili katkısının olumsuz etkilerinin olduğu ortaya konmuştur. Öte yandan, bentonit kilinin kayma mukavemeti üzerindeki olumlu etkisinin bentonit kili oranının artması ile birlikte azaldığı öne sürülmüştür.

Özbayoğlu (1993), zeminlerin şişme potansiyelinin kil içeriği ve tipine bağlı olduğunu vurgulayarak %5, %10, %15 ve %20 oranında bentonit kili ile karıştırılmış kumun saf su, tuzlu su, HCL ve NaOH çözeltileri içinde şişme davranışını belirtmek amacıyla yaptığı çalışmada, su içinde gerçekleştirilen deneylerden elde edilen şişme değerlerinin diğer çözeltilere nazaran daha fazla olduğunu ve bu değerlerin bentonit katkı miktarlarıyla orantılı olarak artış gösterdiğini ortaya koymuştur.

Stern and Shackelford (1998), kum-bentonit karışımların permeabilite değerlerinde bentonit miktarına bağlı olarak meydana gelen değişimleri belirtmek amacıyla yaptığı çalışmada, en düşük permeabilite değerinin %20 oranında bentonit içeren kum-bentonit karışımından elde edildiğini ifade etmişlerdir.

Magistris *et al.* (1998), düşük miktarlarda bentonit ilavesinin siltli-kumun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkisini belirtmek amacıyla yaptıkları araştırmada, farklı oranlarda bentonit karıştırılmış numunelerin indeks ve standart mühendislik karakteristiklerini saptayarak bentonitin plastisite indeksi ve konsolidasyon katsayısını arttırdığını ancak, maksimum kuru birim ağırlık ve permeabiliteyi düşürdüğünü öne sürmüşlerdir.

Sarıkaya *et al.* (2001), bentonit kilinin katyon değişim kapasitesi ile şişmesi potansiyeli arasındaki ilişkiyi belirtmek amacıyla yaptıkları çalışmada, bentonit kilinin 2:1 tabakaları arasındaki katyonların yerine hidrojen iyonlarının girmesiyle şişmenin büyük ölçüde düştüğünü ve şişmenin elektrostatik etkileşimden çok 2:1 tabakalarının yüzeyleri ile su molekülleri arasındaki bağ kuvvetlerinden kaynaklandığını ortaya koymuşlardır.

Koyuncu (2003), kireç, çimento, zeolit, uçucu kül, lastik ve kum karışımının bentonit kilinin şişme potansiyeli üzerine etkini belirtmek amacıyla yaptığı araştırmada, söz konusu karışımlar standart koşullarda sıkıştırılmış ve 7-28 gün süreyle beklemeye bırakıldıktan sonra şişme yüzdesi ve şişme basıncı bulunmuştur.

Araştırmada, %10 kireç karıştırılmış ve 28 gün süreyle bekletilmiş örneklerin en az şişme yüzdesine sahip olduğu ve kireç ilaveli örneklerde oluşan serbest şişme miktarları

ile şişme basınçlarının büyük bir bölümünün kısa bir zaman dilimi içinde meydana geldiği gözlenmiştir.

Yeo *et al.* (2005), bentonit karışımının toprağın permeabilitesine etkisini belirtmek amacıyla yaptıkları araştırmada, %89 kil ve %5 bentonit ile karıştırılmış kumdan oluşan model bir perde duvar üzerinde denemeler yapmışlardır. Araştırmada, kum-bentonit karışımının daha yüksek bir hidrolik iletkenlik katsayı verdiği ve 1 m kalınlığında bir kum-bentonit karışımı duvarın %68 oranında daha az hidrolik yük etkisi altında kalacağı ifade edilmiştir.

Stavridakis (2005), çimento katılmış bentonit-kaolin-kum karışımının mühendislik özellikleri üzerine kil içeriğinin etkisini belirtmek amacıyla yaptığı araştırmada, kaolin ve bentonit miktarındaki artışın, karışımların mukavemet ve dağılma özelliklerini olumsuz yönde etkilediğini, karışımındaki kum miktarı ile birlikte mukavemetin ve dağılma özelliğinin de arttığını ve %30 oranında bentonit içeren karışımın oldukça yüksek bir dağılma gösterdiğini ortaya koymuştur.

Prakasha and Chandrasekaran (2005), deniz kumu-kil karışımlarının statik ve dinamik koşullarda davranışını belirtmek amacıyla yaptıkları araştırmada, hacim olarak %10-90 arasında değişen oranlarda kum içeren numunelerin konsolidasyon ve kayma mukavemetlerini saptadıktan sonra, kumun kil taneleri arasındaki boşluk hacmini azalttığını, sürtünmeyi ve boşluk basıncını arttırdığını ve bunun sonucunda drenajsız kayma dayanımını azalttığını ifade etmişlerdir.

Juran and Riccobono (1991), yapay olarak çimentolanmış sıkıştırılmış kum kolonlarının, yumuşak toprakların güçlendirilmesinde kullanılma olanaklarını belirtmek amacıyla yaptıkları çalışmada, kum kolonlarının yumuşak temel topraklarının yük taşıma kabiliyetini arttırdığını ve oturmaları hızlandığını öne sürmüşlerdir.

Lawton *et al.* (1989), sıkıştırılmış toprakların nem içeriğindeki değişimler sonucu ortaya çıkan hacim değişimleri üzerine sıkıştırma metodu, sıkıştırmada kullanılan nem içeriği, düşey gerilme ve sıkışma sonrası yükleme ve ıslanma koşullarının etkisini belirtmek

amacıyla yaptıkları araştırmada sonunda, ıslanma kaynaklı çökme üzerine sıkıştırma metodunun oldukça az bir etkisinin olduğunu, şişme ve çökmelerin optimum nem içeriğinin ıslak tarafında sıkıştırma gerçekleştirildiğinde azalma gösterdiğini belirtmişlerdir.

Lawton *et al.* (1991), sıkıştırılmış topraklarda meydana gelen oturmalar üzerine gerilme oranının etkisini belirtmek amacıyla yaptıkları çalışmada, gerilme durumundan veya nem artışından kaynaklanan hacim değişiminin, toplam normal gerilmeye bağlı ancak, temel gerilme oranından bağımsız olduğunu ve normal toplam gerilme artışı ile birlikte eksenel oturmaların arttığını ve yanal oturmaların ise azaldığını ifade etmişlerdir.

Lawton *et al.* (1992), killerde nem içeriğindeki değişmeye bağlı olarak meydana gelen oturmaların yapılar ve temellerinde zararlara, toprak dolgularda yarılmalara, şev satabilitesinin bozulmasına, su depolama yapılarında borulanmalara ve sızma kayıplarına neden olduğunu ifade ederek bu konularda daha önceden gerçekleştirilmiş çalışmaları incelemişler ve sıkıştırılmış kil dolgularda oturmaların genellikle kilin yumuşamasından ve yapısındaki değişimden kaynaklandığını ve %10-40 arasında kil içeren sıkıştırılmış toprakların en fazla oturma gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Göletlerde suyun depolanmasını sağlayan gövdenin içinde bulunan ve killi topraktan yapılan çekirdeğin mekanik özelliklerinin geliştirilme olanaklarını ortaya koymak amacıyla yapılan bu araştırmada, kullanılan materyal ve uygulanan yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

3.1 Materyal

Göletlerin kil çekirdeği, killi olarak sınıflandırılan topraktan yapılır. Bu araştırmanın temel amacı, söz konusu kil çekirdeğin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi olduğu için, materyal olarak kullanılan kil içeriği yüksek toprak ile buna karıştırılan kumun elde edilmesi aşağıda açıklanmıştır.

3.1.1 Toprak örneklerinin alınması

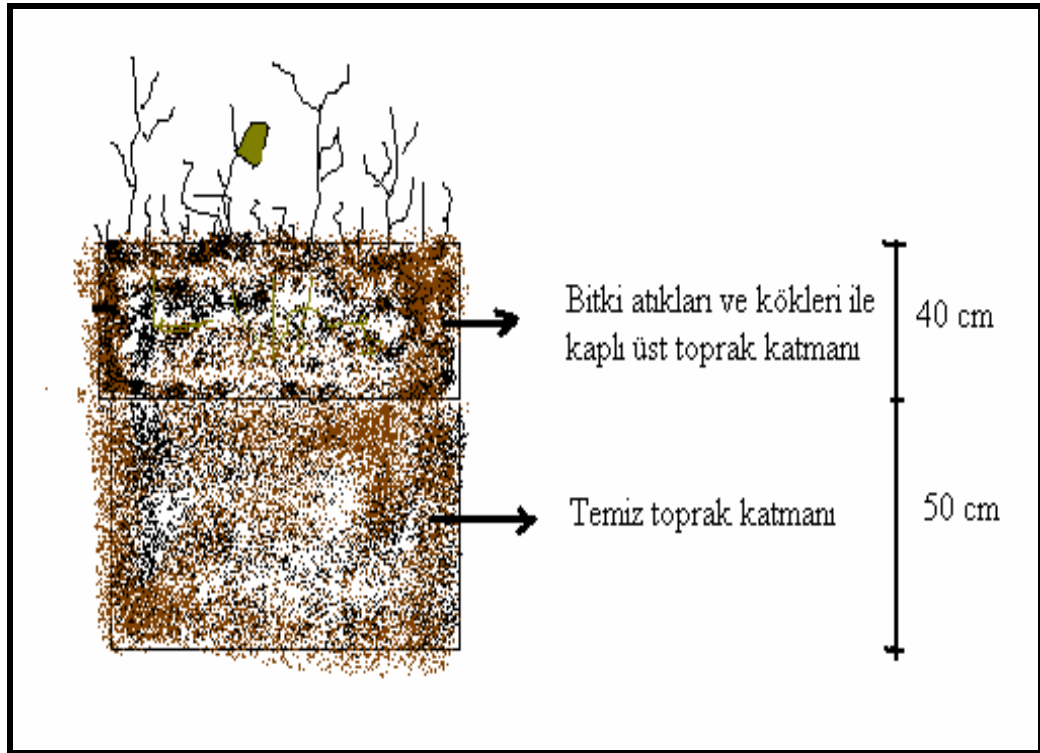
Araştırmada, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlasından alınan toprak kullanılmıştır. Bu tarlanın topraklarının, daha önce bu amaçla yapılan analizler sonunda killi olduğu saptanmıştır (Okman 1981). Killi toprak numunelerinin alındığı arazi Çubuk çayının su toplama havzasında yer alır ve jeolojik yönden de, sedimantasyon ile meydana gelmiştir. Üst toprak katmanı killi-tın, alt toprak katmanı ise killi bünyeye sahiptir.

Araştırmada kullanılan söz konusu örnekleri almak için önce, tarlanın yüzeyindeki bitki kökleri ile kaplı 40 cm kalınlığındaki üst toprak kaldırılmış ve bunun altında kalan 50 cm derinliğindeki katmandan bozulmuş örnekler alınmıştır (Şekil 3.1).

Elde edilen bu toprak örnekleri, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü zemin mekaniği laboratuvarında kurumaya bırakılmıştır. Kurutulan toprak örneklerinin içindeki büyük kesekler küçük parçalara ayrılmıştır.

3.1.2 Kumun elde edilmesi

Göletlerdeki sızmayı önlemek amacıyla yapılan kil çekirdeğin şişme ve büzülmesini gövdenin içindeki boşluklarda tutmak amacıyla kullanılan kum, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yapı İşleri Bölümünün malzeme depolarından elde edilmiştir.



Şekil 3.1 Killi toprak örneklerinin alındığı toprak katmanı

3.2 Yöntem

Bu bölümde, killi toprak ve buna katılan kumun denemeye hazır hale getirilmesi, kil ile kumun karıştırılması, killi toprak ile belirli oranlarda kum karıştırılmış örneklerin mekanik özelliklerinin belirtilmesinde kullanılan yöntemler açıklanmıştır.

Araştırma için gerekli olan ve aşağıda açıklanan denemeler, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Temel Mühendisliği ve Zemin Mekaniği laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

3.2.1 Killi toprağın denemeye hazırlanması

Göletlerin kil çekirdeğinin yapımında, geçirgenliği düşük ince taneli yani kil boyutlu toprak kullanılır. Bunun için, kullanılan killi toprağın mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla uygulanan denemeler yapılmadan önce, materyal olarak kullanılan ve Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlasından alınarak laboratuvarda kurutulan toprak örnekleri göz açıklığı 2.00 mm olan diğer bir deyişle ASTM (Amerikan Malzeme ve Test Kuruluşu) tarafından geliştirilen standart 10 nolu elekten geçirilmiştir. Böylece killi toprak örneği içindeki 2.00 mm den daha büyük çaplı taneler elenerek ayrılmıştır.

3.2.2 Kumun denemeye hazırlanması

Araştırmada kullanılan killi toprağa karıştırılmak amacıyla Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi malzeme depolarından elde edilen kum, içinde bulunan topraklardan arındırılması amacıyla yıkanmıştır. Yıkanan kum kurumaya bırakılmıştır.

Değişik boyutlu kum tanelerinin, mekanik özelliklere yaptığı farklı etkileri ortadan kaldırmak amacıyla yıkanan ve daha sonra kurutulan kum örnekleri ASTM standart 10 nolu elekten geçirilmiş ve kum örneğindeki 2.00 mm den daha büyük çaplı taneler ayrılmıştır. Böylece araştırmada kullanılan kil-kum karışımının yeknesak olması sağlanmıştır.

3.2.3 Kile karıştırılan kum miktarları

Toprak tanelerinin çapı arttıkça bunların arasındaki boşluklar fazlalaşır. Bu nedenle, araştırmada kullanılan killi toprağa hacim esası üzerinden kum katılmıştır. Bunun için kilin içerisine, daha önce yapılan araştırmaların ışığı altında (Hosseini 2002), Çizelge 3.1’de verilen oranlarda kum katılarak her iki malzemenin iyice karışması sağlanmıştır

Çizelge 3.1 Killi toprağa karıştırılan kum miktarları

Toprak (%)	Kum (%)
90	10
80	20
70	30
60	40
50	50

3.2.4 Kil minerali tipinin belirtilmesi

Kil mineralleri, silisyum ve alüminyum atomlarının belli düzenlerde birbirleri ile bağlanmaları sonucu meydana gelmiş kristal birimlerden oluşan homojen bileşiklerdir. Bu kristal birimler silisyum ve alüminyum katmanlarının 1:1 (iki katmanlı) veya 2:1 (üç katmanlı) şeklinde bağlanması ile oluşur. Bunlardan 1:1 şeklinde yapı oluşturan ve kaolin olarak adlandırılan grupta bulunanlar genleşme göstermemesine karşılık 2:1 şeklinde bulunan ve montmorillonit olarak belirtilen kristal birimlerin arasına su girince hacimlerinin yaklaşık 2-3 katı kadar şişer ve kuruyunca büzülürler (Holeman 1965). Özellikle 2:1 şeklinde olan montmorillonit grubu killeri yüksek oranda şişme gösterir (Özbayoğlu 1993). Buna bağlı olarak kilden yapılan gövdede yarıklar oluşur. Bu bakımdan gölet çekirdeğinin yapımında kullanılan kil tipinin belirtilmesi önemli bulunmaktadır.

Araştırmada kullanılan ve Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlasından elde edilen killi toprakta bulunan kilin tipi, X-ışını tekniği kullanılarak belirtilmiştir. Söz konusu deney, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü (MTA) Kil Mineralojisi laboratuvarlarında yapılmıştır.

Killi toprak numunesi ASTM standart 200 nolu elekten geçirildikten sonra X-ışını kırınımı testine hazır hale getirilmiştir. Bu şekilde eleme sonucu hazırlanan kil örneği, X-ışını aletine yerleştirilmiş ve örnek üzerine X-ışını uygulanmıştır.

Killi örneğe çarpan bu ışınlar, belirli açılarda kırıldıktan sonra yansıma göstermiştir. Herhangi iki mineral birbiri ile tam anlamıyla aynı atom uzaklığında olmadıkları için yansıyan ışınların açısı diğer bir deyişle kırınım açıları, her minerale özgü farklılık göstermiştir.

Söz konusu alete yerleştirilen kil örneğine uygulanan X-ışınlarının kırılması bir grafik üzerinde belirtilmiştir. Bu grafiklerden yararlanarak kil mineralinin tipi belirtilmiştir.

3.2.5 Toprağın tane dağılımının belirtilmesi

Toprağın fiziksel özelliklerine en çok tane boyutu ile bunların miktarı etki eder. Bu nedenle tane büyüklüğü ile ilgili karakteristikler, toprağın mühendislik davranışı yönünden sınıflandırılmasında kullanılır. Araştırmada kullanılan killi toprağın tane boyutları ile bunların miktarlarını belirtmek amacıyla uygulanan yöntem, diğer bir deyişle mekanik analiz, elek ve hidrometre yöntemlerine göre belirtilmiştir.

3.2.5.1 Elek analizi

Gölet çekirdeğinin yapımında kullanılan killi toprakta bulunan ve mekanik özelliklere önemli derecede etki eden tanelerin boyut ve bunların miktarını belirtmek amacıyla gerçekleştirilen elek analizi, ASTM D422 (Anonymous 2000)'de verilen yöntemle yapılmıştır.

Bu amaçla, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlasından alınan topraktan 500 gram kadar örnek alınmıştır. Alınan toprak örneği etüve konmuş ve 105 °C sıcaklıkta 24 saat süreyle kurutulmuştur. Elde edilen fırın kuru topraktan 200 gram kadar tartılarak karıştırıcı kabına konulmuştur. İçerisine toprak örneği yerleştirilen karıştırıcı kabı 2/3 oranında saf su ile doldurulmuştur. Bu örneklerin içindeki tanelerin ayrışması için toprak örneği, 24 saat süreyle su içinde bırakılmıştır. Bu bekleme süresinin ardından numune, bulunduğu kapta 15 dakika süreyle karıştırılmıştır.

Karıştırılan örnek yüksek kenarlı 200 nolu elek (0.074 mm) üzerine konulduktan sonra basınçlı su ile yıkanmıştır. Kullanılan 200 nolu eleğin yırtılmasını önlemek için, üzerine 10 nolu elek takıldıktan sonra karışım dökülmüştür. Bundan sonra 10 nolu elek üstündeki örneğe basınçlı su verilerek söz konusu tanelerin 200 nolu eleğe geçmesi sağlanmıştır.

Daha sonra 10 nolu elek, üzerinde kalan toprakla birlikte çıkartılmış ve 200 nolu elek üzerinde kalan toprak taneleri, çıkan su berrak bir hale gelene kadar diğer bir deyişle elek üzerinde 0.074 mm den daha küçük boyutlu tane kalmayana kadar yıkama işlemine devam edilmiştir. Her iki elek üzerinde kalan malzeme başka bir kaba alınmış ve kurutma fırınına yani etüve konmuştur. Etüve konan örnekler 105 °C sıcaklıkta 24 saat kurumaya bırakılmıştır. Bu amaçla kullanılan fırında kurutulan killi toprak, Çizelge 3.2’de standart numaraları ve göz açıklıkları verilen elek takımına konmuş ve bu takım, her bir elek üzerinde, söz konusu eleğin göz açıklığından daha küçük çaplı hiçbir tane kalmayana kadar sallanarak toprak tanelerinin alta geçmesi sağlanmıştır. Bu işlem sonunda göz açıklığından büyük olan taneler, eleğin üzerinde kalmasına karşılık, söz konusu göz açıklığından daha küçük boyutlu olanlar alttaki eleğe geçmiştir.

Her bir eleğin üzerinde kalan miktar tartılmış ve buna göre her bir elekten geçen toprak yüzdeleri saptanmıştır (Mertdoğan 1991). Her bir elekten geçen yüzde toprak miktarı dik koordinat sisteminin ordinat ekseninde ve elek açıklıklarına karşılık gelen tane çapları logaritmik apsis ekseninde olacak şekilde işaretlenmiştir. İşaretlenen noktaları en iyi niteleyen eğri çizilmiştir. Böylece denemede kullanılan toprakta kohezyon kuvveti ile birbirine bağlı olmayan tanelerin dağılımının değişimini gösteren grafik elde edilmiştir.

Çizelge 3.2 Mekanik analizde kullanılan elekler

Elek No	Elek Açıklığı, (mm)
16	1.19
30	0.59
60	0.250
100	0.149
200	0.074

3.2.5.2 Hidrometre Analizi

Kohezyon kuvvetiyle bağılı tanelerin büyüklük dağılımı elek analizi ile belirtilemez. Bu şekildeki tanelerin büyüklük gruplarını belirtmek için aralarındaki çekim kuvvetinin ortadan kaldırılması diğer bir deyişle tanelerin bağımsız hale getirilmesi gerekir. Bu nedenle, araştırmada kullanılan toprakta bulunan söz konusu kohezyonlu tanelerin büyüklük grupları hidrometre analizi ile tayin edilmiştir.

Toprakta bulunan tanelerin boyut ve miktarının belirtilmesinde kullanılan tane dağılımı analizinin bir parçası olan hidrometre analizi, 200 nolu elek açıklığından daha küçük çaplı tanelerin dağılımının belirtilmesinde kullanılmıştır. Bu analiz ASTM D422 (Anonymous 2000) standart testinde belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir.

Hidrometre analizi için, 200 nolu elek altına geçen numuneden 50 gram kadar alınmıştır. Alınan bu örnekteki taneler sodyum hekza meta fosfat çözeltisi katılarak bir gün süreyle bekletilmiştir. Böylece tanelerin tamamen ayrışması sağlanmıştır. Bu sürenin ardından örnek, mekanik karıştırıcı kabına konmuştur. Karıştırıcı kabı hacminin 2/3 üne gelene kadar saf su konmuştur.

Örnek, ayrıştırıcı madde içinde bir gece bekletilip tanelerin iyice ayrışması sağlandıktan sonra, 1 dakika süreyle mekanik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Karıştırılan bu örnek, 1000 cm³ lük dereceli silindire boşaltılmıştır.

Bundan sonra, 1000 cc işaretine kadar saf su konmuştur. Bu amaçla kullanılan çubuk ile standartlara uygun olarak 30 defa karıştırılarak homojen hale getirilmiştir. Homojen hale getirilen karışımda, ilgili standartta belirtildiği gibi sırasıyla 0.25, 0.50, 1, 2, 5, 10, 20, 40, 60, 120 ve 1440 dakikada aralıklarla hidrometre ile okuma yapılmıştır.

Yukarıda verilen sürelerin sonunda hidrometre ile yapılan ve karışımın yoğunluğunu veren hidrometre okumalarından yararlanarak, her bir zaman diliminden sonra çöken tanelerin çapları ve yüzdeleri Mertdoğan (1991)'da belirtildiği gibi elde edilmiştir. Tane çaplarına karşılık gelen yüzde miktarlar, elek analizinden elde edilen değerlere

göre çizilen koordinat sisteminde işaretlenmiştir. Böylece 200 nolu elek altına geçen malzemenin de tane dağılımı grafiği elde edilmiştir. Elde edilen ve birbirinin devamı niteliğinde olan iki eğrinin birleştirilmesi ile araştırmada kullanılan toprağı oluşturan tanelerin boyutu ve bunların miktarları yani tane dağılım eğrisi elde edilmiştir.

3.2.6 Kıvam limitleri

Killi toprakların mukavemeti, su ile önemli derecede değişir. Mukavemet yönünden önemli olan bu değişim kıvam limitleri olarak belirtilir (Das 1983). Araştırmada kullanılan killi topraklarda, tanelerin nem içeriğine bağlı davranış değişikliğini ortaya koyabilmek için kıvam limitleri saptanmıştır.

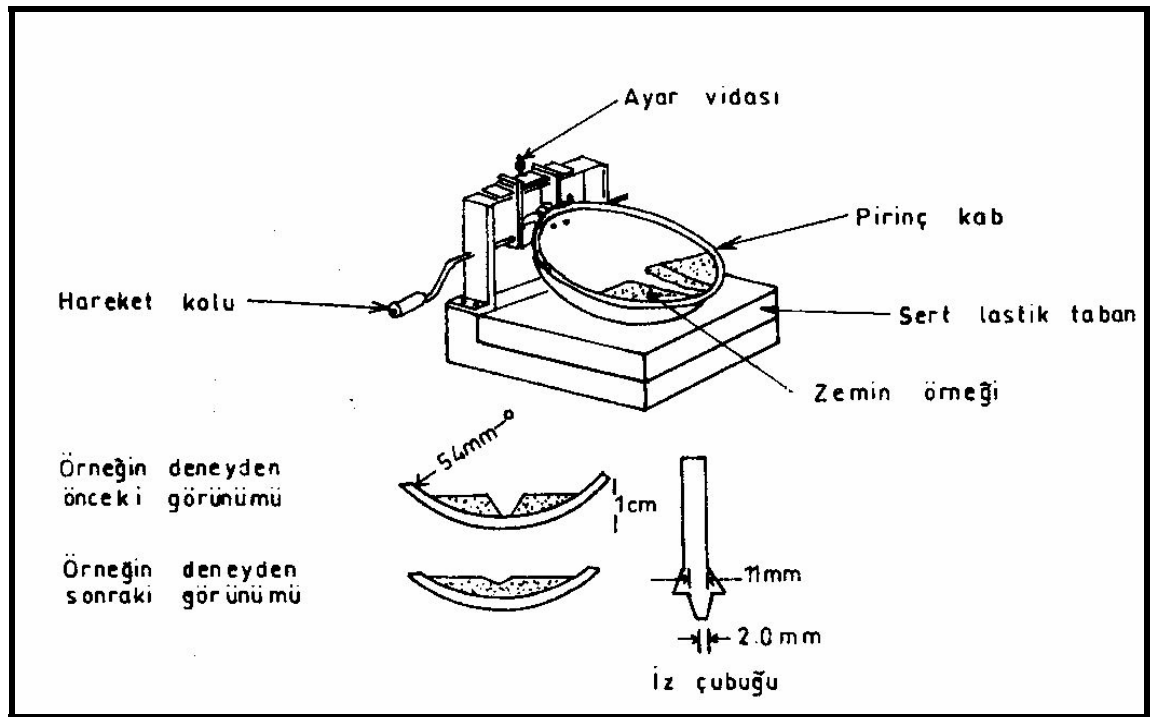
Araştırmada kullanılan killi toprak ile buna Çizelge 3.1’de verilen oranlarda kum karıştırılarak elde edilen karışımın likit limit (LL), plastik limit (PL) ve büzülme limiti (SL) değerleri bulunmuştur. Ardından, elde edilen bu kıvam limiti değerlerinden yararlanarak, killi topraklarda önemli kıvam parametrelerinden olan plastisite indeksi (PI), likidite indeksi (LI) ve büzülme indeksi (SI) değerleri elde edilmiştir. Bu amaçla uygulanan yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

3.2.6.1 Likit limit

Araştırmada materyal olarak kullanılan killi toprağın likit limiti, ASTM D4318 (Anonymous 2000) standart testinde belirtilen yöntemle göre elde edilmiştir. Bu amaçla, araştırma kullanılmak üzere alınan killi toprak öncelikle ASTM standart 40 nolu (0.42 mm) elekten geçirilmiştir. Standart 40 nolu elekten geçirilen ve hava kurusu olarak tanımlanan topraktan yaklaşık 200 gram alınarak bir macun kıvamına gelecek şekilde su ilave edilmiştir. Macun kıvamına gelen killi toprak Şekil 3.2 de gösterilen likit limit, diğer bir deyişle Cassagrande aletinin kabına üst yüzeyi düz ve kaptaki derinliği yaklaşık 1 cm olacak şekilde yerleştirilmiştir.

Söz konusu aletin kabındaki örnek, bu amaç için kullanılan standart iz çubuğu kullanılarak tam ortasından iki eşit parçaya ayrılmıştır. Açılan yarığın derinliği yaklaşık 1 cm olmuştur.

Likit limit aletinin kabında bulunan killi toprak örneği, aletin plastik yüzeyine yaklaşık 1 cm yükseklikten saniyede iki defa düşecek şekilde kol çevrilmiştir. Böylece Cassagrande aletinin kabında bulunan ve sert plastik tabana çarpan toprak örneği, bu hareket sonucu alt kısmından kapanmaya başlamıştır. Bu kapanma yaklaşık 1.3 cm olana kadar kol çevrilmiş ve aletin plastik yüzeye düşmesi sayılmıştır. İki toprak kütlesi arasında yaklaşık 1.3 cm birleşme gerçekleştiği zaman, denemeye son verilmiştir. Bu durumdaki toprakta bulunan suyun miktarını belirtmek için örnek alınmıştır. Alınan örnek, bu amaç için kullanılan kaplara konup yaş ağırlığı bulunmuştur.



Şekil 3.2 Standart Cassagrande aleti

Bu amaçla yapılan ilk denemede, düşüş sayısının 30-50 arasında olması istenir (Mertdoğan 1991). Daha sonra, likit limit aletinin kabından alınan örneğe kıvamı biraz artana kadar su ilave edilmiş ve deneme tekrarlanmıştır. Aynı şekilde iz çubuğu ile iki

eşit parçaya ayrılan toprak örneği alt kısmından 1.3 cm kapanana kadar aletin kolu çevrilerek toplam düşüş sayısı belirtilmiş ve nem içeriğini tayin etmek için örnek alınarak tartılmıştır. İkinci denemede ise düşüş sayısının 20-30 arasında olması arzu edilir Aynı toprak örneğine biraz daha kıvamlı hale gelene kadar su verilerek bu işlem üçüncü kez tekrarlanmış ve bu durumdaki toprağın nem içeriğini belirtmek için örnek alınarak tartılmıştır.

Söz konusu denemeden alınan ve tartılan örnekler kurutma fırınına diğer bir deyişle etüve yerleştirilmiş ve 105 °C sıcaklıkta 24 saat süreyle kurumaya bırakılmıştır. Etüvde kurutulan örnekler tekrar tartılarak kuru ağırlıkları bulunmuştur.

Bu örneklerin, etüve konmadan önce belirtilen yaş ağırlığı ve fırında kurutulduktan sonra elde edilen kuru ağırlığından yararlanarak her bir likit limit denemesinde, örnekte bulunan nem miktarı kuru ağırlığa göre saptanmıştır. Bunun için, söz konusu örneklerin yaş ağırlığından kuru ağırlığı çıkartılmış ve elde edilen fark kuru ağırlığa bölünerek yüzde olarak belirtilmiştir. Böylece kuru ağırlığa göre nem miktarı elde edilmiştir (Lambe 1967).

Böylece araştırmada kullanılan killi toprağın, üç farklı düşüş sayısına karşılık gelen kuru ağırlığa göre nem içerikleri tayin edilmiştir. Bu değerlerin grafiğini çizmek için dik koordinat sistemi kullanılmıştır. Bunun için logaritmik apsis ekseninde nem içerikleri, milimetrik ordinat ekseninde ise düşüş sayıları işaretlenmiş ve böylece söz konusu üç noktanın yeri belirtilmiştir. İşaretlenen bu üç noktayı en iyi niteleyen doğru çizilmiş ve likit limit diğer bir deyişle akış grafiği elde edilmiştir. Bu grafik kullanılarak Lambe (1967)'de belirtildiği gibi 25 düşüşe karşılık gelen nem içeriği alınmış ve bu değer likit limit değeri olarak kullanılmıştır.

Araştırmada kullanılan killi toprağa Çizelge 3.1'de belirtilen oranlarda kum karıştırılarak hazırlanmış örneklerin de yukarıda tanımlandığı gibi standart likit limit değerleri elde edilmiştir.

3.2.6.2 Plastik limit

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlasından alınan killi toprağın plastik limit parametreleri ASTM D4318 (Anonymous 2000) standart testinde verilen yöntemle göre belirtilmiştir. Bunun için, killi toprak öncelikle ASTM standart 40 nolu elekten geçirilmiştir. Sözü edilen 40 nolu elekten geçirilen ve hava kurusu olarak tanımlanan topraktan, 20 gram kadar alınarak ele yapışmayacak kıvamda bir macun olacak şekilde su verilmiştir.

Macun kıvamına gelen killi toprak, kalın buzlu cam levha üzerine konarak avuç altında hafif bir kuvvet uygulamak suretiyle yuvarlatılmış ve böylece sicimlerin meydana gelmesi sağlanmıştır. Bu işlem esnasında sicim şekline gelen toprak, sürekli olarak nem kaybettiği için bir süre sonra ufalanmaya başlamıştır. Yaklaşık 3 mm kalınlığındaki ipçiklerde ufalanma ve çatlama başlayana kadar işleme devam edilmiştir.

Ufalanmış toprak parçacıklardan, nem içeriğinin tayini için iki tekrarlamalı örnek alınmış ve rutubet kaplarına konduktan sonra tartılarak yaş ağırlıkları bulunmuştur. Tartılan numuneler etüve konarak 105 °C sıcaklıkta 24 saat süreyle kurumaya bırakılmıştır. Etüvde kurutulan örnekler tekrar tartılarak kuru ağırlıkları bulunmuştur.

Yaş ve kuru ağırlıkları bulunan örneklerin kuru ağırlık cinsinden nem içerikleri saptanmıştır. Bunun için söz konusu örneklerin yaş ağırlığından kuru ağırlığı çıkartılmış ve elde edilen fark kuru ağırlığa bölünerek yüzde olarak belirtilmiştir. Böylece kuru ağırlığa göre nem miktarı elde edilmiştir

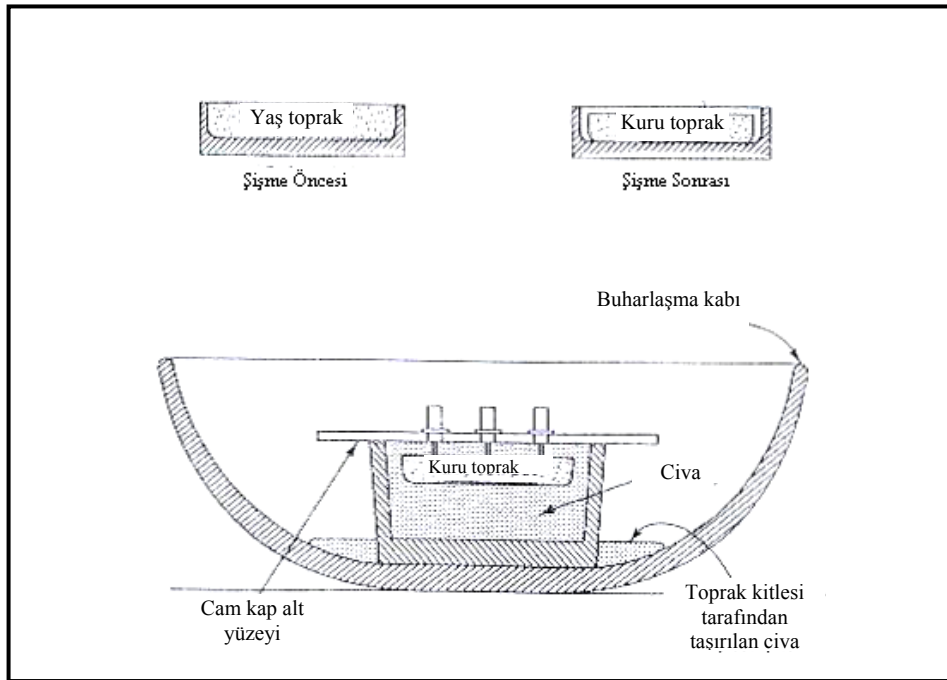
Yukarıda belirtildiği gibi elde edilen kuru ağırlığa göre nem miktarı değerlerinin birbirine yakın olması gerekir. Söz konusu nem içerikleri arasındaki farkın %2 den daha fazla olduğu durumda denemelerin tekrarlanması önerilmektedir (Lambe 1967). Ancak bu denemede elde edilen nem içerikleri arasındaki fark %2'den küçük olduğundan denemelerin tekrarına gerek duyulmamış ve iki nem içeriğinin ortalaması killi toprağın plastik limit değeri olarak alınmıştır.

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlasından alınan killi toprağa Çizelge 3.1’de verilen oranlarda kum karıştırılarak hazırlanan toprak örneklerinin de plastik limit parametreleri yukarıda belirtildiği gibi elde edilmiştir.

3.2.6.3 Büzülme limiti

Araştırmada materyal olarak kullanılan killi toprağın büzülme limiti değeri ASTM D427 (Anonymous 2000) standart yönteminde belirtildiği gibi Şekil 3.3’de gösterilen büzülme limiti aleti kullanılarak bulunmuştur. Bu amaçla söz konusu killi toprak önce, ASTM standart 40 nolu elekten geçirilmiştir.

Standart 40 nolu elekten geçirilen ve hava kurusu olarak tanımlanan topraktan 50 gram kadar alınmış ve su verilerek toprağın doymun duruma yakın kıvamda, bir çamur haline gelmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.3 Büzülme limiti aleti

Bu amaçla yapılan denemeden önce, büzölme kalıbı yıkanıp iyice kurutulmuştur. Bundan sonra büzölme kalıbının içine ince bir tabaka halinde vazalin sürülmüş ve bu kalıp tartılarak boş ağırlığı (M_{SL}) bulunmuştur. Bu şekilde hazırlanan kap civa ile doldurulmuştur. Düzeltme tablası üstüne bastırılarak fazla civa alınmış ve kalıp + civa ağırlığı (M_{SL+Hg}) belirtilmiştir.

Çamur kıvamındaki killi toprak örneği, belirtilen kalıbın içerisine yerleştirilmiştir. Kalıp içerisine yerleştirilen toprak örneği, içinde hava kabarcığı kalmaması için kalıp hafif döndürülerek sert bir zemine vurulmuştur. Bu şekilde içinde hava kabarcığı kalmayacak şekilde doldurulan kalıbın üstü spatülle düzeltip çevresi temizlendikten sonra tartılmıştır (M_{SL+W}).

Kalıptaki örnek doğrudan güneş radyasyonunun etkisinde kalmayacak şekilde bir gün süreyle kurumaya bırakılarak bir kütle halinde bulunması sağlanmıştır. Bundan sonra etüvde 105 °C sıcaklıkta 24 saat süreyle kurumaya bırakılmış ve fırın kuru örnek tartılarak killi toprak örneğinin kabı ile birlikte kuru ağırlığı (M_{SL+D}) elde edilmiştir.

Daha sonra cam civa kabı civa ile doldurulup düzeltme tablası ile bastırılmak suretiyle fazlası alındıktan sonra tartılmıştır (M_{G+Hg}). Tek parça halinde kuruyan toprak örneği civa dolu kabın içine yerleştirilip hava kabarcığı kalmayacak şekilde düzeltme tablası ile bastırılarak toprak hacmi kadar civanın dışarı taşması sağlanmış ve cam civa kabı-civa-kuru toprak toplam ağırlığı (M_{G+Hg+D}) belirtilmiştir.

Elde edilen değerler Lambe (1967)'de belirtildiği gibi aşağıda verilen eşitliklerde yerlerine konularak büzölme limiti değeri elde edilmiştir.

$$\text{Yaş toprak ağırlığı, } M_W = M_{SL+W} - M_{SL}$$

$$\text{Kuru toprak ağırlığı, } M_D = M_{SL+D} - M_{SL}$$

$$\text{Toprak örneğinin nem içeriği, } w = [(M_W - M_D) / M_D] \times 100$$

Yaş toprak hacmi (V_w) = $(M_{SL+Hg} - M_{SL}) / 13.6$

Kuru toprak hacmi (V_D) = $(M_{G+Hg} - M_{G+Hg+D}) / 13.6$

Bu durumda yüzde büzülme limiti

$$\%SL = w - \{[(V_w - V_D) \gamma_w / M_D] \times 100\}$$

Araştırmada kullanılan killi toprağa Çizelge 3.1’de belirtilen oranlarda kum karıştırılarak hazırlanmış örneklerin de yukarıda verildiği gibi standart büzülme limiti değerleri bulunmuştur.

Araştırmada kullanılan killi toprağın mukavemet yönünden önemli bir parametresi olan plastisite indeksi (PI), likit limit değerinden plastik limit değeri çıkartılarak saptanmıştır (Spangler and Handy 1982).

Denemede kullanılan killi toprağın diğer bir önemli kıvam parametresi olan bağıl kıvam durumu, diğer bir deyişle likidite indeksi (LI), doğal nem içeriği ile plastik limit farkını plastisite indeksine oranlayarak saptanmıştır (Spangler and Handy 1982).

Denemelerde kullanılan kohezyonlu toprağın büzülme davranışını plastik limit değerine bağımlı olarak ortaya koyan kıvam parametresi ise büzülme indeksi (SI) olarak tanımlanmış ve büzülme indeksi, plastik limit ve büzülme limitinin farkı olarak ifade edilmiştir (Spangler and Handy 1982).

Killi toprağa kum karıştırıldıktan sonra kıvam durumunda meydana gelen değişimleri belirtmek amacıyla Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlasından alınan killi toprağa Çizelge 3.1’de verilen oranlarda kum karıştırıldıktan sonra elde edilen karışımların plastisite, likidite ve büzülme indeksi değerleri yukarıda belirtildiği gibi saptanmıştır.

Araştırmada materyal olarak kullanılan killi toprağın sınıfı, tane dağılımı ve kum katılmamış durumda olan killi toprağın kıvam limitleri esas alınarak, ASTM D2487 (Anonymous 2000) de belirtildiği şekilde, birleştirilmiş zemin sınıflama sistemine göre ortaya konmuştur.

3.2.7 Toprağın sıkışma karakteristiklerinin belirtilmesi

Toprağı meydana getiren taneler arasındaki sürtünme, kesme kuvvetine karşı bir mukavemet meydana getirir. Kuşkusuz taneler arasındaki sürtünme fazlalaştıkça kesme kuvvetine karşı gösterilen mukavemet de artar. Toprak taneleri boşluklara kaydıkcı, diğery bir deyişle sıkıştırıldıkları zaman söz konusu sürtünme fazlalaşır. Bu nedenle toprak, kesme kuvvetine karşı mukavemetini arttırmak amacıyla sıkıştırılır.

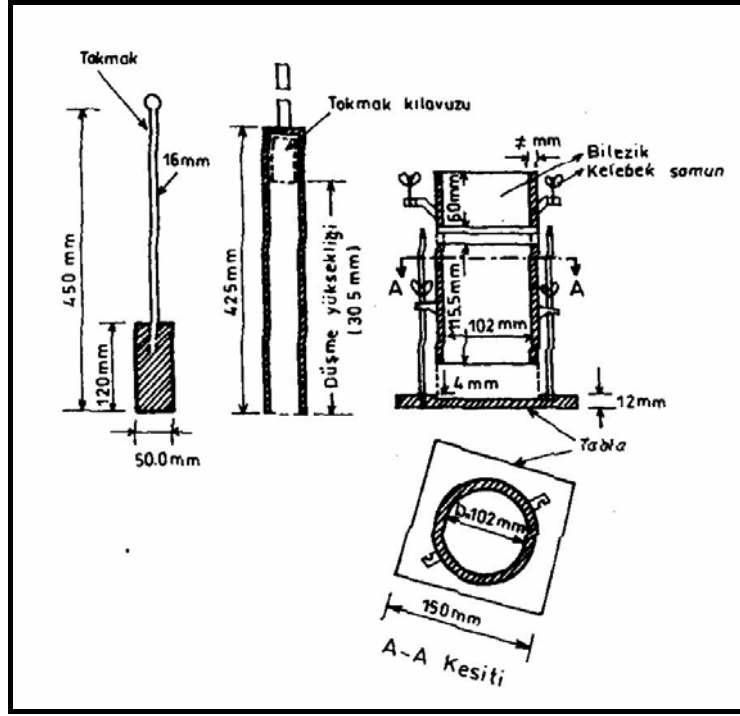
Tanelerin boşluklara kaymasını kolaylaştırmak için toprak ıslatılır. Toprak kütlesine verilen su, toprak taneleri arasındaki boşluklarda tutulur. Bu durumdaki boşluklara daha az tane kayar. Bu nedenle, söz konusu sıkışma, belli bir nem miktarında maksimuma ulaşır. Bu durumda toprakta bulunan nem ve sağlanan hacim ağırlık parametreleri optimum olarak belirtilir.

Bu araştırmada, göletteki çekirdeğın yapımında kullanılan kilin sıkıştırılmasına ilişkin söz konusu parametreler ASTM D698 (Anonymous 2000) standart yönteminde belirtildiğı gibi Şekil 3.4'te detayları verilen ve boyutları standart olan Proctor aletin kullanılarak belirtilmiştir.

Araştırmada kullanılan killi toprağın optimum nem ve hacim miktarını tespit etmek için önce killi toprak, 10 nolu elekten geçirildikten sonra bundan 3 kilogram kadar alınmıştır. Her ne kadar alet kalıbının boyutları sabit olsa da kontrol amacıyla boş halde kalıp boyutları ölçülmüş ve hacmi hesaplanmıştır. Boş kalıp ağırlığı tablası ile birlikte tartılmış ve halkası geçirildikten sonra tablaya yerleştirilmiştir.

Söz konusu deneme için alınan 3 kilogram ağırlığındaki toprak, karıştırma kabına yayılmış ve ölçülü miktarda su verilmiştir. Su dağılımı homojen hale gelene kadar

karıştırılarak denemeye hazır hale getirilmiştir. Daha sonra bu toprak, kalıp içerisinde belirli bir yükseklikten düşen standart tokmak ile üç tabaka halinde sıkıştırılmıştır. Kalıbın üst bileziği çıkartıldıktan sonra üst yüzeyi düzeltilmiştir.



Şekil 3.4 Proctor aleti

Düzeltilme işlemi sırasında kalıptaki toprağın üst yüzeyinde kalan boşluklar toprak ile doldurularak sıkıştırılmıştır. Kalıbın dışındaki toprak parçaları fırça ile temizlendikten sonra tartılmıştır. Daha sonra, sıkışmış toprak itici bir alet yardımıyla kalıptan çıkartılmıştır. Bu durumdaki toprağın nem miktarını tayin etmek için örnek alınmış ve bu örneğin yaş ağırlığı bulunmuştur.

Kalıptan çıkartılan toprak numunesi, karıştırma tavasına alınıp keski ve tokmakla 4 nolu elekten geçecek iriliğe gelene kadar parçalanmıştır. Tavaya yayılan numuneye tekrar aynı ölçüde su ilave edip homojen bir nem dağılımına erişene kadar karıştırılmıştır. Yukarıda açıklanan denemede olduğu gibi, üç tabaka halinde toprak konarak her katman belirli bir yükseklikten serbest bir şekilde düşen tokmak ile sıkıştırılmıştır. Kalıp bileziği çıkartıldıktan sonra kalıp üzerinde kalan toprak tıraşlanmış

ve bu durumdaki toprak, kalıpla birlikte tartılmıştır. Kalıptan çıkarılan numuneden nem içeriği tayini için örnek alınarak yaş ağırlığı bulunmuştur.

Kalıptan çıkarılan toprak, 4 nolu elekten geçecek şekilde parçalanmıştır. Bu durumdaki toprak, yukarıda belirtildiği gibi Proctor kalıbında sıkıştırılmıştır. Elde edilen yaş toprak ağırlıkları artan nem içeriğine bağlı olarak bir süre artmaya devam eder. Ancak toprak örneğine su verildikçe gözenekler dolmuş ve buna bağlı olarak kalıpta sıkıştırılmış toprağın ağırlığı giderek azalmıştır. Denemelere ağırlık artışının sona erip azalma olana kadar devam edilmiştir.

Araştırmada kullanılan ve Proctor aletinde giderek artan miktarlarda su verildikten sonra sıkıştırılan toprak örneklerinin nem miktarını bulmak için alınan örnekler etüve konularak 105 °C sıcaklıkta 24 saat süreyle kurutulduktan sonra tartılarak kuru ağırlıkları bulunmuştur.

Yaş ve kuru ağırlıkları bulunan örneklerin kuru ağırlık cinsinden nem içeriklerini saptamak için, söz konusu örneklerin yaş ağırlığından kuru ağırlığı çıkartılmış ve elde edilen fark, kuru ağırlığa bölünerek yüzde olarak belirtilmiştir. Böylece kuru ağırlığa göre nem miktarı elde edilmiştir.

Kalıpla birlikte yaş toprak ağırlıkları, bu amaçla kullanılan Proctor kalıbının hacmine bölünmüş ve böylece yaş birim hacim ağırlığı bulunmuştur. Bulunan bu değer, Lambe (1967)'de verilen ilişkiye göre nem içeriğinin bir fazlasına bölünmüş ve kuru birim ağırlık elde edilmiştir.

Elde edilen nem içerikleri normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve bunlara karşılık gelen kuru birim ağırlıklar da ordinatta ekseninde olmak üzere işaretlenmiş ve işaretlenen bu noktaları en iyi niteleyen eğri çizilmiştir. Parabole benzeyen bu eğrinin tepe noktasının ordinat eksenini kestiği nokta, numunenin maksimum kuru birim ağırlığı ve bunun apsis eksenindeki karşılığı da optimum nem içeriği olarak alınmıştır.

Gölet çekirdeğinin yapımında kullanılan killi toprağa, Çizelge 3.1’de verilen oranlarda kum karıştırılarak hazırlanmış örneklerin de yukarıda tanımlandığı gibi sıkışma karakteristikleri belirtilmiş ve her bir karışımın maksimum kuru birim ağırlığı ve optimum nem içeriği böylece elde edilmiştir.

3.2.8 Permeabilite katsayılarının belirtilmesi

Araştırmada materyal olarak kullanılan ve Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlasından elde edilen killi toprak örneğinin permeabilite katsayısı, düşen seviyeli permeametre aleti kullanılarak ASTM D5084 (Anonymous 2000)’de belirtilen standart yöntem ve Liu and Evet (1997)’de belirtilen esaslara göre bulunmuştur.

Araştırmanın amacı, göletin kil çekirdeğinin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi olduğu için, permeabilite deneyinde kullanılacak toprak örneğinin, göletlerde kullanılan dolgu koşullarında olmasını sağlamak amacıyla permeabilite denemesi yapılacak toprak örneği, daha önce sıkışma özellikleri bölümünde elde edilen optimum nem içeriği ve maksimum kuru birim ağırlıkta olacak şekilde sıkıştırılmıştır.

Bu amaçla yapılan denemede, numunenin alt ve üst yüzeyine toprak tanelerinin suyla süzülüp uzaklaşmasını engelleyecek şekilde sünger levhalar yerleştirilmiştir. Denemede kullanılan numunenin alt ve üst kısımlarından su sızmasını engelleyebilmek için lastik contalar yerleştirilmiştir. Böylece hazırlanan numune, permeametre aletine yerleştirilmiş ve alt tarafından su verilerek doymun hale gelmesi sağlanmıştır.

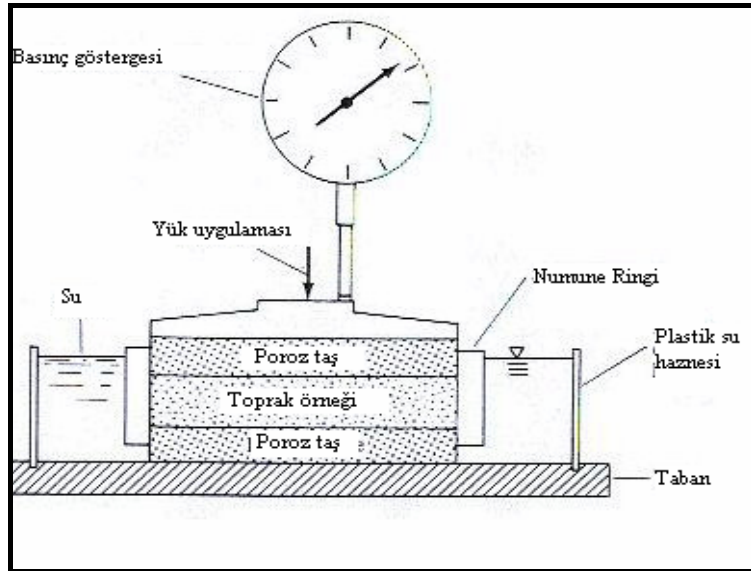
Bu durumdaki toprağa permeametre borusundan su sızdığı için borudaki su seviyesi alçalır. Söz konusu alçalma miktarı ölçülerek bulunmuştur. Böylece, permeametre borusundan ölçülen sızan suyun derinliği göz önüne alınarak permeabilite katsayısı aşağıda verilen Darcy ilişkisi kullanılarak hesaplanmıştır (Spangler and Handy 1982).

$$k = 2.3 \frac{a.L}{A(t_1 - t_2)} \log \frac{h_1}{h_2}$$

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlasından alınan killi toprağa Çizelge 3.1’de verilen oranlarda kum karıştırıldıktan sonra elde edilen karışımların permeabilite katsayıları yukarıda belirtildiği gibi bulunmuştur.

3.2.9 Konsolidasyon miktarı

Araştırmada materyal olarak kullanılan killi toprağın yük altında gösterdiği değişimlerin belirtilmesinde göz önüne alınan şişme potansiyeli ve şişme basıncı parametreleri, serbest şişme yüzdesi ve şişme basıncı denemeleri ile bulunmuştur (Bowles 1978). Bu amaçla Şekil 3.5’de gösterilen sabit tip konsolidasyon aleti kullanılmıştır.



Şekil 3.5 Sabit tip konsolidasyon aleti

Söz konusu parametreleri elde etmek için, araştırmada kullanılan killi topraktan alınan örnek, optimum nem içeriği ve maksimum kuru birim ağırlıkta olacak şekilde Proctor kalıbı içinde sıkıştırılmıştır. Proctor kalıbından çıkan numuneden konsolidasyon aletinin halkası ile örnek alınmıştır. Halkanın alt ve üstü sıkıştırmadan düzeltilmiştir. Halka yüksekliği aynı zamanda örnek yüksekliği (2H) olarak alınmıştır.

Konsolidometreye konan örnek su alırken tanelerinin sürüklenmesini engellemek amacıyla konsolidometre tablası üzerine poroz taş yerleştirilmiştir. Poroz taş üzerine

sırasıyla süzgeç kağıdı, halka ile beraber sıkıştırılmış toprak numunesi ve bunun üzerine tekrar süzgeç kağıdı ve poroz taş yerleştirilmiştir.

Bu örneklerle yükleme boyunduruğu ve gösterge yerleştirildikten sonra deneme yapılmıştır. Aletin kaldırıcı kısmının denge kontrolü yapıldıktan sonra ödometre kısmında örneğe yükü ileten vidalı çubuk aşağıya çekilerek örnek kapağındaki bilyeye değmesi sağlanmıştır. Bundan sonra gösterge yerine takılıp, sıfır ayarı yapılmıştır.

3.2.9.1 Şişme deneyi

Araştırmada kullanılan ve Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlasından elde edilen killi toprak örneği alete konulmuş ve şişme testi yürütülmüştür. Bu amaçla, toprak örneğinin şişme miktarını bulmak için önce aletin numune kutusu, saf su ile doldurulmuştur.

Bundan sonra aletin göstergesi okunmuştur. Bu şekilde hazırlanan numune 24 saat süreyle alette bırakılmış ve aletin göstergesi tekrar okunmuştur. Böylece elde edilen ilk ve son okumalar arasındaki fark hesaplanmış ve bu değerler aşağıda verilen eşitlikte yerine konularak şişme potansiyeli (SP) bulunmuştur (Mertdoğan 1991).

$$\%SP = \frac{R_2 - R_1}{2H} \times 100$$

Şişme potansiyeli, araştırmada kullanılan ve kum karıştırılan topraklar için ayrı olarak hesaplanmıştır. Çizelge 3.1’de verilen oranlarda kum karıştırılarak hazırlanmış örneklerin şişme potansiyeli yukarıda belirtildiği gibi elde edilmiştir.

3.2.9.2 Şişme basıncı deneyi

Göletlerin kil çekirdeğinin yapımında kullanılan killi toprağın şişme basıncı, ASTM D4546 (Anonymous 2000)’de belirtildiği gibi, sabit tip konsolidasyon aleti kullanılarak bulunmuştur.

Araştırmada gölet dolgularında kullanılacak toprağın şişme basıncı karakteristikleri incelendiği için bu denemede kullanılan toprak örneği, önce dolguda kullanılan karakteristiklere getirilmiştir. Bu amaçla toprak örneği optimum nem içeriğinde ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkta olacak şekilde sıkıştırılmış ve örnek fazla sıkışmaya meydan vermeyecek şekilde konsolidasyon halkasına alınmıştır. Örneğin alt ve üst yüzeylerine poroz taş ve süzgeç kağıtları yerleştirildikten sonra su verilmiş ve böylece örneğin kapilarite ile su alması sağlanmıştır.

Şişmesi engellenen konsolidometredeki toprak örneğine, gösterge okuması sürekli sıfır olacak şekilde ağırlık ilave edilerek basınç uygulanmıştır. Gösterge okumasını sıfır da tutan basınç miktarı sabit bir değere ulaşana kadar denemeye devam edilmiştir. Düşey deformasyon göstergesini sıfırda tutmak suretiyle numunenin şişmesine engel olan basınç miktarı elde edilmiş ve değer şişme basıncı (SWP) olarak alınmıştır.

Killi toprakta bulunan kumun şişme basıncına yaptığı etkiyi belirtmek amacıyla araştırmada kullanılan killi toprağa Çizelge 3.1’de verilen oranlarda kum karıştırılmıştır. Bu karışımların şişme basınçları yukarıda açıklandığı şekilde elde edilmiştir.

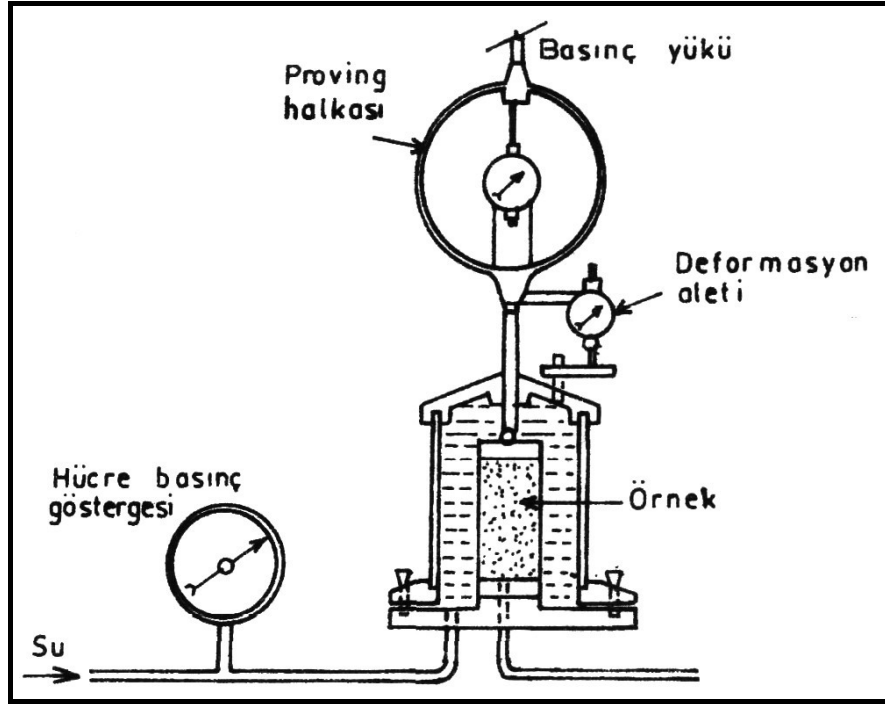
3.2.10 Üç eksenli kesme deneyi

Araştırmada materyal olarak kullanılan killi toprağın kayma mukavemeti, ASTM D4767 (Anonymous 2000)’de belirtilen yöntemle göre bulunmuştur. Bu amaçla Şekil 3.6’da gösterilen üç eksenli kesme aleti kullanılmıştır.

Üç eksenli kesme deneyi, kil çekirdeğin koşullarına getirilen toprak örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bunun için, toprak örneği optimum nem içeriğinde ve maksimum kuru birim ağırlıkta olacak şekilde Proctor kalıbında sıkıştırılmış ve bir kriko yardımıyla üç eksenli kesme aletine yerleştirilmiştir. Toprak örneğinin alt ve üst yüzeyi düzeltilip üst kısmı işaretlenmiştir. Daha sonra numune tartılarak çapı ve boyu ölçülmüştür.

Elde edilen silindirik toprak örneği, üç eksenli deney aletinin örnek haznesine uygun bir şekilde yerleştirildikten sonra gerekli olan bağlantılar yapılmış ve örneğe çevresel

basınç uygulanmıştır. Ardından hız kutusu yardımıyla numuneye üstten yük uygulanmış ve uygulanan yük, kuvvet halkasının ortasındaki göstergeden belirli zamanlarda okunmuştur. Gösterge okumaları giderek artmış ve bir zaman sonra azalma göstermiştir. Gösterge okumaları azalmaya başladığı zaman denemeye son verilmiştir.



Şekil 3.6 Üç eksenli deney aleti

Aynı işlemler, benzer şekilde hazırlanmış diğer bir numune üzerinde ilk numunenin iki katı olacak şekilde farklı bir çevresel basınç altında tekrarlanmıştır. Bu şekilde, iki farklı çevresel basınç ve iki farklı maksimum gerilme değeri elde edilmiştir. Elde edilen çevresel basınç ve maksimum gerilme değerlerinin grafiğini elde etmek için dik koordinat sisteminin apsis ekseninde normal kuvvet ve ordinat ekseninde kesme kuvveti işaretlenmiştir. Bu noktalara göre topraktaki gerilmelerin değişimini gösteren grafik elde edilmiştir. Mohr dairesi olarak belirtilen bu grafiğe çizilen teğetin ordinat eksenini kestiği nokta söz konusu örneğin kohezyon kuvveti olarak alınmıştır. Bu dairelere çizilen teğetin yatayla yapmış olduğu açı ise içsel sürtünme açısı olarak belirtilmiştir.

Gölet çekirdeğinin yapımında kullanılan killi toprağa Çizelge 3.1’de verilen oranlarda kum karıştırılarak hazırlanmış örneklerin de yukarıda tanımlandığı gibi üç eksenli kesme deneyi yapıp her bir karışımın kohezyon kuvveti ve içsel sürtünme açısı değerleri bulunmuştur.

3.2.11 Ampirik ilişkilerin belirtilmesi

Zeminlerin mühendislik yani mekanik yönden önemli olan özellikleri bu amaç için geliştirilmiş olan denemelere göre belirtilir. Söz konusu bazı denemelerin yapılması için oldukça uzun zaman gerekir. Bu nedenle, zeminin kolayca elde edilen parametrelerinden yararlanarak mekanik yönden önemli olan parametrelerini belirtmek amacıyla bazı ilişkiler kullanılır.

Göletlerin kil çekirdeğinin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla yapılan bu araştırmada, aşağıda verilen ampirik ilişkiler geliştirilmiştir.

3.2.11.1 Killi toprağın likit limiti ile şişme parametreleri arasındaki ilişki

Araştırmada kullanılan killi toprağın likit limit değerleri ile şişme potansiyeli ve şişme basıncının bulunmasında kullanmak amacıyla söz konusu parametreler arasında regresyon yöntemine göre ampirik bir eşitlik geliştirilmiştir (Tülücü 1989).

Bu amaçla, killi toprak ve Çizelge 3.1’de verilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımların likit limit değerleri normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve şişme potansiyeli değerleri ordinat ekseninde işaretlenerek belirtilen noktaları en iyi niteleyen grafiğin ilişkisi bulunmuştur. Elde edilen eşitlik, likit limite bağlı şişme potansiyeli ilişkisi olarak belirtilmiştir. Söz konusu koordinat sisteminin apsis ekseninde likit limit değerleri ve ordinat ekseninde şişme basıncı değerleri işaretlenerek belirtilen noktaları en iyi niteleyen grafiğin ilişkisi bulunmuştur. Elde edilen bu eşitlik, likit limite göre şişme basıncının değişimini veren ilişki olarak belirtilmiştir.

3.2.11.2 Killi toprağın plastik limiti ile şişme parametreleri arasındaki ilişki

Araştırmada kullanılan killi toprağın plastik limit değerleri ile şişme potansiyeli ve şişme basıncının bulunmasında kullanmak amacıyla söz konusu parametreler arasında regrasyon yöntemine göre ampirik bir eşitlik geliştirilmiştir.

Bu amaçla, killi toprak ve Çizelge 3.1’de verilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımların plastik limit değerleri normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve şişme potansiyeli değerleri ordinat ekseninde işaretlenerek belirtilen noktaları en iyi niteleyen grafiğin ilişkisi bulunmuştur. Elde edilen eşitlik, plastik limite bağlı şişme potansiyeli ilişkisi olarak belirtilmiştir. Söz konusu koordinat sisteminin apsis ekseninde plastik limit değerleri ve ordinat ekseninde şişme basıncı değerleri işaretlenerek belirtilen noktaları en iyi niteleyen grafiğin ilişkisi bulunmuştur. Elde edilen bu eşitlik, plastik limite göre şişme basıncının değişimini veren ilişki olarak belirtilmiştir.

3.2.11.3 Killi toprağın büzülme limiti ile şişme parametreleri arasındaki ilişki

Araştırmada kullanılan killi toprağın büzülme limiti değerleri ile şişme potansiyeli ve şişme basıncının bulunmasında kullanmak amacıyla söz konusu parametreler arasında regrasyon yöntemine göre ampirik bir eşitlik geliştirilmiştir.

Bu amaçla, killi toprak ve Çizelge 3.1’de verilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımların büzülme limiti değerleri normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve şişme potansiyeli değerleri ordinat ekseninde işaretlenerek belirtilen noktaları en iyi niteleyen grafiğin ilişkisi bulunmuştur. Elde edilen eşitlik, büzülme limitine bağlı şişme potansiyeli ilişkisi olarak belirtilmiştir. Söz konusu koordinat sisteminin apsis ekseninde büzülme limiti değerleri ve ordinat ekseninde şişme basıncı değerleri işaretlenerek belirtilen noktaları en iyi niteleyen grafiğin ilişkisi bulunmuştur. Elde edilen bu eşitlik, büzülme limitine göre şişme basıncının değişimini veren ilişki olarak belirtilmiştir.

3.2.11.4 Killi toprağın plastisite indeksi ile şişme parametreleri arasındaki ilişki

Killi toprağın plastisite indeksi ile şişme potansiyeli ve şişme basıncının bulunmasında kullanmak amacıyla söz konusu parametreler arasında regrasyon yöntemine göre ampirik bir eşitlik geliştirilmiştir.

Bu amaçla, killi toprak ve Çizelge 3.1’de verilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımların plastisite indeksi değerleri normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve şişme potansiyeli değerleri ordinat ekseninde işaretlenerek belirtilen noktaları en iyi niteleyen grafiğin ilişkisi bulunmuştur. Elde edilen eşitlik, plastisite indeksine bağlı şişme potansiyeli ilişkisi olarak belirtilmiştir. Söz konusu koordinat sisteminin apsis ekseninde plastisite indeksi değerleri ve ordinat ekseninde şişme basıncı değerleri işaretlenerek belirtilen noktaları en iyi niteleyen grafiğin ilişkisi bulunmuştur. Elde edilen bu eşitlik, plastisite indeksine göre şişme basıncının değişimini veren ilişki olarak belirtilmiştir.

3.2.11.5 Killi toprağın likidite indeksi ile şişme parametreleri arasındaki ilişki

Killi toprağın likidite indeksi ile şişme potansiyeli ve şişme basıncının bulunmasında kullanmak amacıyla söz konusu parametreler arasında regrasyon yöntemine göre ampirik bir eşitlik geliştirilmiştir.

Bu amaçla, killi toprak ve Çizelge 3.1’de verilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımların likidite indeksi değerleri normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve şişme potansiyeli değerleri ordinat ekseninde işaretlenerek belirtilen noktaları en iyi niteleyen grafiğin ilişkisi bulunmuştur. Elde edilen eşitlik, likidite indeksine bağlı şişme potansiyeli ilişkisi olarak belirtilmiştir. Söz konusu koordinat sisteminin apsis ekseninde likidite indeksi değerleri ve ordinat ekseninde şişme basıncı değerleri işaretlenerek belirtilen noktaları en iyi niteleyen grafiğin ilişkisi bulunmuştur. Elde edilen bu eşitlik, likidite indeksine göre şişme basıncının değişimini veren ilişki olarak belirtilmiştir.

3.2.11.6 Killi toprağın b z lme indeksi ile ŐŐme parametreleri arasındaki ilişki

Killi toprağın b z lme indeksi ile ŐŐme potansiyeli ve ŐŐme basıncının bulunmasında kullanmak amacıyla, söz konusu parametreler arasında regrasyon yöntemine göre ampirik bir eşitlik geliştirilmiştir.

Bu amaçla, killi toprak ve  izelge 3.1’de verilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımların b z lme indeksi değ rleri normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve ŐŐme potansiyeli değ rleri ordinat ekseninde işaretlenerek belirtilen noktaları en iyi niteleyen grafiğın ilişkisi bulunmuştur. Elde edilen eşitlik, b z lme indeksine bağlı ŐŐme potansiyeli ilişkisi olarak belirtilmiştir. Söz konusu koordinat sisteminin apsis ekseninde b z lme indeksi değ rleri ve ordinat ekseninde ŐŐme basıncı değ rleri işaretlenerek belirtilen noktaları en iyi niteleyen grafiğın ilişkisi bulunmuştur. Elde edilen bu eşitlik, b z lme indeksine göre ŐŐme basıncının değişimini veren ilişki olarak belirtilmiştir.

3.2.11.7 Killi toprağın sıkışma karakteristikleri ile ŐŐme parametreleri arasındaki ilişki

Araştırmada kullanılan killi toprağın sıkışma karakteristikleri ile ŐŐme potansiyeli ve ŐŐme basıncının bulunmasında kullanmak amacıyla, söz konusu parametreler arasında regrasyon yöntemine göre ampirik eşitlikler geliştirilmiştir.

Bu amaçla, killi toprak ve  izelge 3.1’de verilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımların maksimum kuru birim ağırlık değ rleri normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve ŐŐme potansiyeli değ rleri ordinat ekseninde işaretlenerek belirtilen noktaları en iyi niteleyen grafiğın ilişkisi bulunmuştur. Elde edilen eşitlik, maksimum kuru birim ağırlığa bağlı ŐŐme potansiyeli ilişkisi olarak belirtilmiştir. Söz konusu koordinat sisteminin apsis ekseninde maksimum kuru birim ağırlık değ rleri ve ordinat ekseninde ŐŐme basıncı değ rleri işaretlenerek belirtilen noktaları en iyi niteleyen grafiğın ilişkisi bulunmuştur. Elde edilen bu eşitlik, maksimum kuru birim ağırlığa göre ŐŐme basıncının değişimini veren ilişki olarak belirtilmiştir.

Aynı şekilde, killi toprak ve Çizelge 3.1’de verilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımların optimum nem içeriği değerleri normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve şişme potansiyeli değerleri ordinat ekseninde işaretlenerek belirtilen noktaları en iyi niteleyen grafiğin ilişkisi bulunmuştur. Elde edilen eşitlik, optimum nem içeriğine bağlı şişme potansiyeli ilişkisi olarak belirtilmiştir. Söz konusu koordinat sisteminin apsis ekseninde optimum nem içeriği değerleri ve ordinat ekseninde şişme basıncı değerleri işaretlenerek belirtilen noktaları en iyi niteleyen grafiğin ilişkisi bulunmuştur. Elde edilen bu eşitlik, optimum nem içeriğine göre şişme basıncının değişimini veren ilişki olarak belirtilmiştir.

3.2.11.8 Killi toprağın kohezyon kuvveti ile şişme parametreleri arasındaki ilişki

Killi toprağın kohezyon kuvveti ile şişme potansiyeli ve şişme basıncının bulunmasında kullanmak amacıyla, söz konusu parametreler arasında regresyon yöntemine göre ampirik bir eşitlik geliştirilmiştir.

Bu amaçla, killi toprak ve Çizelge 3.1’de verilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımların kohezyon kuvveti değerleri normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve şişme potansiyeli değerleri ordinat ekseninde işaretlenerek belirtilen noktaları en iyi niteleyen grafiğin ilişkisi bulunmuştur. Elde edilen eşitlik, kohezyon kuvvetine bağlı şişme potansiyeli ilişkisi olarak belirtilmiştir. Söz konusu koordinat sisteminin apsis ekseninde kohezyon kuvveti değerleri ve ordinat ekseninde şişme basıncı değerleri işaretlenerek belirtilen noktaları en iyi niteleyen grafiğin ilişkisi bulunmuştur. Elde edilen bu eşitlik, kohezyon kuvvetine göre şişme basıncının değişimini veren ilişki olarak belirtilmiştir.

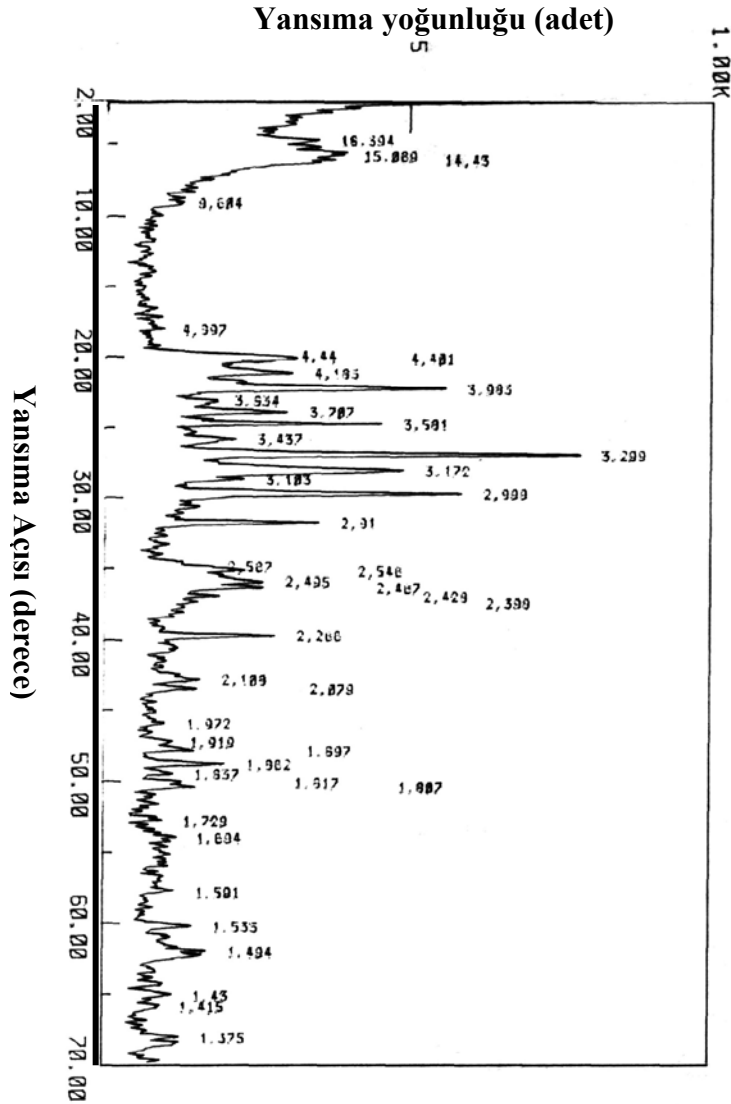
Yukarıda belirtildiği gibi elde edilen bu eşitliklerin güvenilirlik durumu, laboratuvar deneyleri ile bulunan parametrelere göre ortaya konmuştur. Bu amaçla, araştırmada materyal olarak kullanılan toprağın laboratuvarda bulunan parametreleri, bunun ilişkisinde yerine konarak, nicelik belirtildikten sonra bunların ortalaması, söz konusu niceliğin laboratuvarda bulunan değerlerinin ortalamasına göre yüzde olarak belirtilmiştir.

4. BULGULAR

Bu bölümde, araştırmada kullanılan materyallerden elde edilen deneme sonuçları belirtilmiştir.

4.1 Araştırmada Kullanılan Kil Mineralinin Tipi

Araştırmada kullanılan kil mineraline uygulanan X-ışınlarının kırılmasını gösteren grafik Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1 X-ışını kırınımı testi sonucu

4.2 Killi Toprağın Tane Dağılımı

Araştırmada materyal olarak kullanılan ve Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlasından alınan killi toprağın, tane dağılımını saptamak amacıyla yapılan elek analizinden elde edilen sonuçlar, Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Elek analizi sonuçları

Elek No	Elek Açıklığı mm	Elek Üzerinde Kalan Toprak gr	Elek üzerinde kalan %	Toplam Kalan %	Toplam Geçen %
16	1.19	0.54	0.54	0.54	99.46
30	0.59	5.08	5.08	5.62	94.38
60	0.250	6.72	6.72	12.34	87.66
100	0.149	2.71	2.71	15.05	84.95
200	0.074	3.76	3.76	18.81	81.19

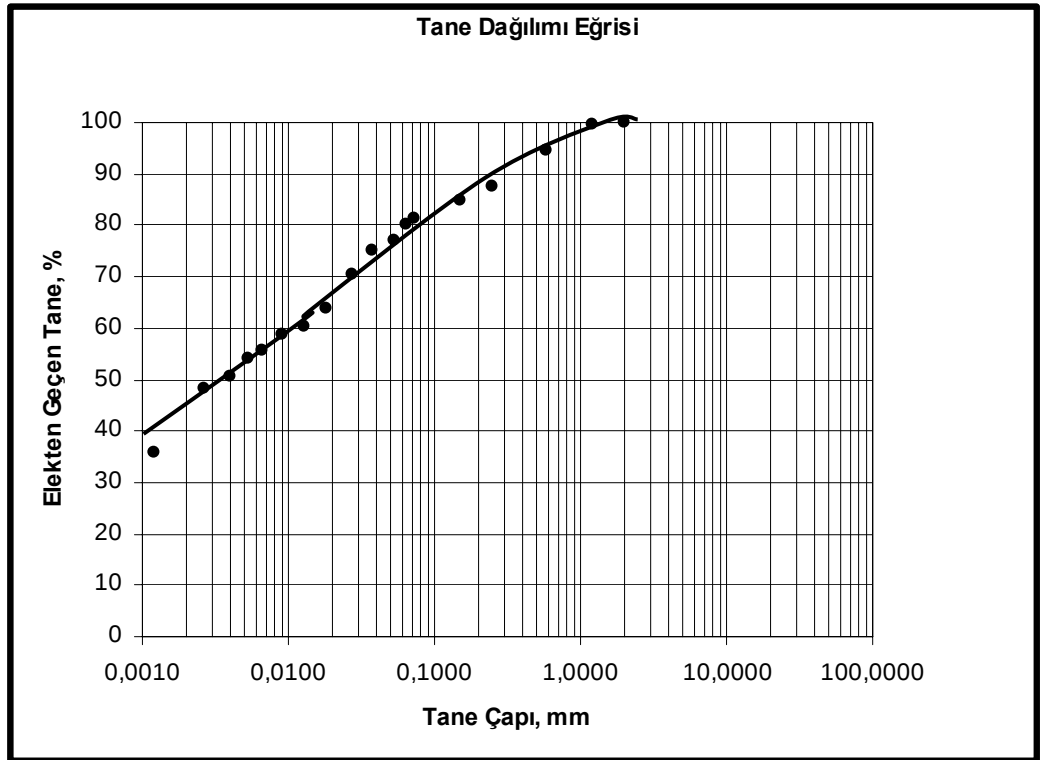
Toprak örneğinin 200 nolu elek altına geçen kısmının tane dağılımını belirtmek amacıyla gerçekleştirilen hidrometre analizi sonuçları, Çizelge 4.2’de de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Hidrometre analizi sonuçları

Zaman	Hidrometre Okuması	Tane çapı, mm	% Çöken tane
0.25	50	0.0738	80.12
0.50	48	0.0533	76.85
1	47	0.0381	75.21
2	44	0.0275	70.31
5	40	0.0181	63.77
10	38.5	0.0130	60.50
20	37	0.0092	58.87
40	35	0.0067	55.60
60	34.5	0.0054	53.96
120	32.5	0.0040	50.69
240	30	0.0027	47.42
1440	23	0.0012	35.97

Göletlerde kil çekirdeğin mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde kullanılan killi toprağın Cetvel 4.1’de verilen elek analizinden elde edilen ve Cetvel 4.2’de verilen hidrometre analizinden bulunan sonuçlardan faydalanarak tane dağılım grafiği elde edilmiştir.

Bu grafiği elde etmek amacıyla yarı logaritmik dik koordinat sistemi kullanılmıştır. Elek ve hidrometre yöntemine göre bulunan tane yüzdesi normal ordinat ekseninde ve bunlara karşılık olan tane boyutları da logaritmik apsis ekseninde alınmıştır. Bu şekilde yarı logaritmik koordinat sisteminde işaretlenmiş noktaları en iyi niteleyen eğri çizilmiştir. Böylece araştırmada kullanılan killi toprağın tane dağılımını gösteren ve Şekil 4.2’de verilen grafik elde edilmiştir.



Şekil 4.2 Toprak örneği tane dağılım grafiği

4.3 Kıvam Limitleri Sonuçları

Araştırmada kullanılan killi toprağın likit limit ve plastik limit deneylerinden elde edilen sonuçlar, Çizelge 4.3’de verilmiştir.

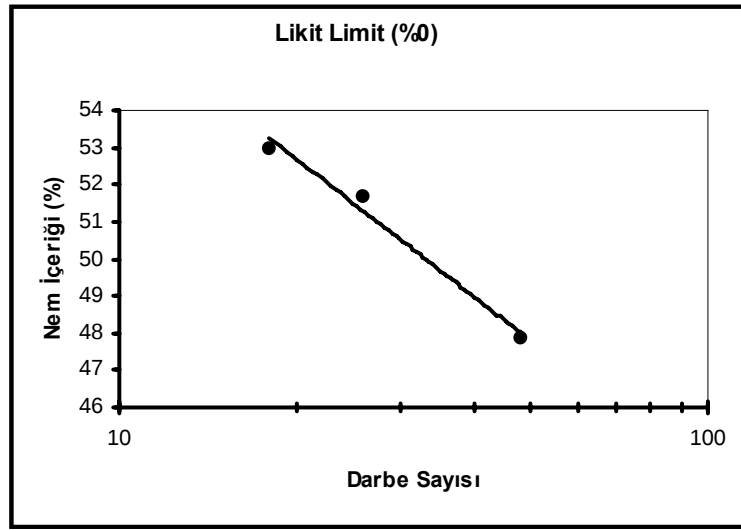
Çizelge 4.3 Killi toprağın likit limit ve plastik limit sonuçları

%0 Kum	LL1	LL2	LL3	PL1	PL2
Kap no	44	86	11	80	02
Darbe sayısı	48	26	18		
Kap+ yaş örnek, gr	45.57	45.43	45.02	41.57	41.50
Kap + kuru örnek, gr	43.00	42.86	42.89	40.37	40.44
Nem, gr	2.57	2.57	2.13	1.20	1.06
Kap ağırlığı, gr	37.63	37.89	38.87	35.98	36.56
Kuru örnek, gr	5.37	4.97	4.02	4.39	3.88
% Nem	47.86	51.71	52.99	27.33	27.32

Çizelge 4.3’de verilen darbe sayısı yarı logaritmik koordinat sisteminin logaritmik apsis ekseninde ve nem içerikleri de normal ordinat ekseninde alınarak çizilen likit limit grafiği Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Bu şekilde elde edilen ve materyal olarak kullanılan toprağın likit limit grafiğinde, 25 darbeye karşılık olan nem içeriği %51.50 olarak bulunmuştur. Bu değer söz konusu örneğin likit limit değeri olarak alınmıştır.

Çizelge 4.3’de verilen plastik limit denemelerinden elde edilen nem içeriklerinin ortalaması, %27.33 olarak bulunmuş ve bu değer söz konusu örneğin plastik limit değeri olarak alınmıştır.

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlasından alınan ve hacim olarak %10 kum verilmiş olan toprağın likit limit ve plastik limitinin belirtilmesi amacıyla yapılan denemelerden elde edilen sonuçlar, Çizelge 4.4’de verilmiştir.



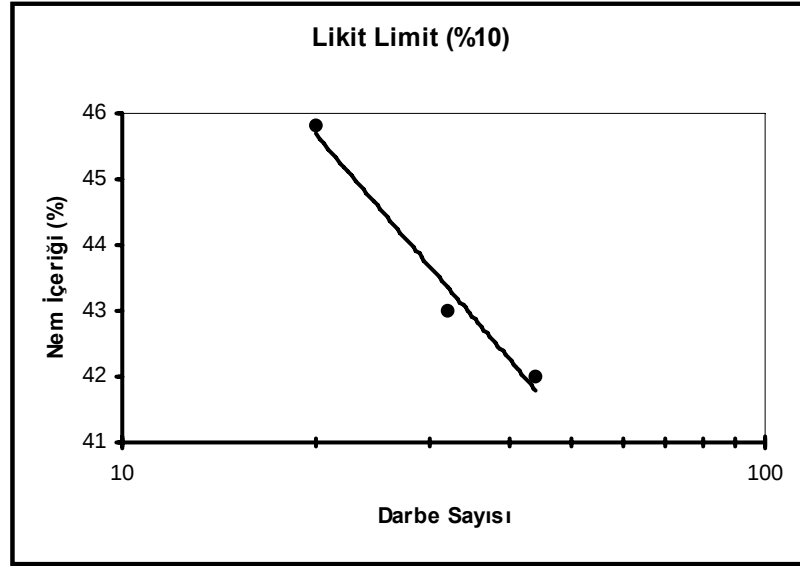
Şekil 4.3 Killi toprağın likit limit grafiği

Çizelge 4.4 Hacim olarak %10 kum verilmiş toprağın likit limit - plastik limit sonuçları

%10 Kum	LL1	LL2	LL3	PL1	PL2
Kap no	200	05	27	55	02
Darbe sayısı	44	32	20		
Kap+ yaş örnek ağırlığı, gr	46.41	43.40	44.22	42.87	44.82
Kap+kuru örnek ağırlığı, gr	44.15	41.74	42.13	41.59	43.15
Nem, gr	2.26	1.66	2.09	1.28	1.67
Kap ağırlığı, gr	38.77	37.88	37.57	36.62	36.56
Kuru örnek ağırlığı, gr	5.38	3.86	4.56	4.97	6.59
% Nem	42.01	43.01	45.83	25.75	25.34

Çizelge 4.4’de verilen darbe sayısı yarı logaritmik koordinat sisteminin logaritmik apsis ekseninde ve nem içerikleri de normal ordinat ekseninde alınarak çizilen likit limit grafiği Şekil 4.4’te gösterilmiştir. Bu şekilde elde edilen likit limit grafiğinde 25 darbeye karşılık olan nem içeriği %44.59 olarak bulunmuştur. Bu değer söz konusu örneğin likit limit değeri olarak alınmıştır.

Çizelge 4.4’de verilen plastik limit denemelerinden elde edilen nem içeriklerinin ortalaması, %25.55 olarak bulunmuş ve bu değer söz konusu örneğin plastik limit değeri olarak alınmıştır.



Şekil 4.4 Hacim olarak %10 kum verilmiş toprağın likit limit grafiği

Göletlerin kil çekirdeğinin yapımında kullanılan ve hacim olarak %20 kum verilmiş toprağın likit limit ve plastik limitinin belirtilmesi amacıyla yapılan denemelerden elde edilen sonuçlar, Çizelge 4.5’de verilmiştir.

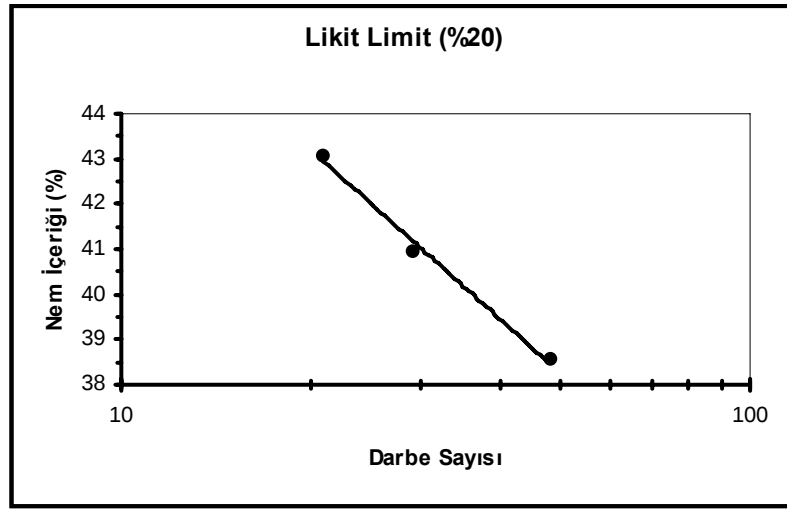
Çizelge 4.5 Hacim olarak %20 kum verilmiş toprağın likit limit - plastik limit sonuçları

%20 Kum	LL1	LL2	LL3	PL1	PL2
Kap no	02	44	80	200	88
Darbe sayısı	48	29	21		
Kap+ yaş örnek ağırlığı, gr	45.40	48.71	46.94	46.27	42.59
Kap+kuru örnek ağırlığı, gr	42.94	45.49	43.64	44.89	41.72
Nem, gr	2.46	3.22	3.30	1.38	0.87
Kap ağırlığı, gr	36.56	37.63	35.98	38.77	37.92
Kuru örnek ağırlığı, gr	6.38	7.86	7.66	6.12	3.80
% Nem	38.56	40.97	43.08	22.55	22.89

Çizelge 4.5’de verilen darbe sayısı yarı logaritmik koordinat sisteminin logaritmik apsis ekseninde ve nem içerikleri de normal ordinat ekseninde alınarak çizilen likit limit grafiği Şekil 4.5’te gösterilmiştir. Bu şekilde elde edilen likit limit grafiğinde 25

darbeye karşılık olan nem içeriği %42.00 olarak bulunmuştur. Bu değer söz konusu örneğin likit limit değeri olarak alınmıştır.

Çizelge 4.5’de verilen plastik limit denemelerinden elde edilen nem içeriklerinin ortalaması, %22.72 olarak bulunmuş ve bu değer söz konusu örneğin plastik limit değeri olarak alınmıştır.



Şekil 4.5 Hacim olarak %20 kum verilmiş toprağın likit limit grafiği

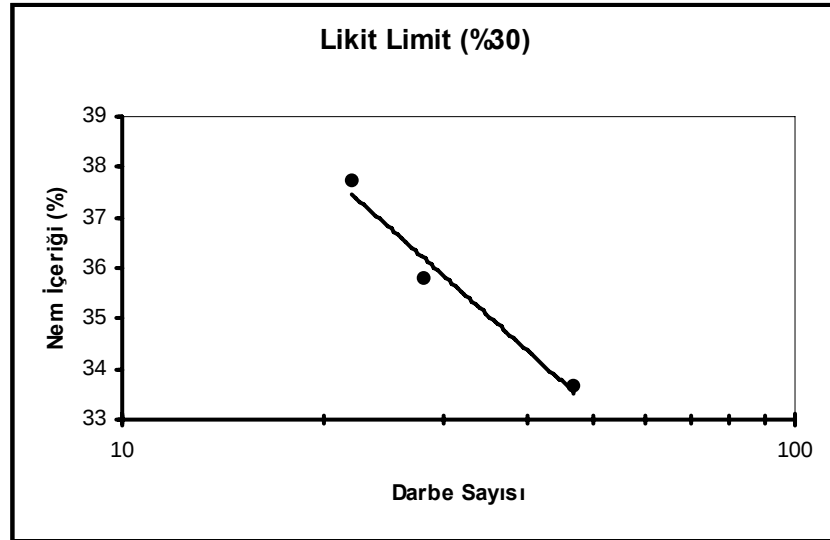
Denemelerde kullanılan killi toprağa hacim olarak %30 kum verilmiş toprağın likit limit ve plastik limitinin belirtilesi amacıyla yapılan denemelerden edilen sonuçlar, Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6 Hacim olarak %30 kum verilmiş toprağın likit limit - plastik limit sonuçları

%30 Kum	LL1	LL2	LL3	PL1	PL2
Kap no	86	80	200	44	55
Darbe sayısı	47	28	22		
Kap+ yaş örnek ağırlığı, gr	48.65	46.45	52.31	45.80	43.85
Kap+kuru örnek ağırlığı, gr	45.94	43.69	48.60	44.53	42.71
Nem, gr	2.71	2.76	3.71	1.27	1.14
Kap ağırlığı, gr	37.89	35.98	38.77	37.63	36.62
Kuru örnek ağırlığı, gr	8.05	7.71	9.83	6.90	6.09
% Nem	33.66	35.80	37.74	18.41	18.72

Çizelge 4.6’da verilen darbe sayısı yarı logaritmik koordinat sisteminin logaritmik apsis ekseninde ve nem içerikleri de normal ordinat ekseninde alınarak çizilen likit limit grafiği Şekil 4.6’da gösterilmiştir. Bu şekilde elde edilen likit limit grafiğinde 25 darbeye karşılık olan nem içeriği %36.80 olarak bulunmuştur. Bu değer söz konusu örneğin likit limit değeri olarak alınmıştır.

Çizelge 4.6’da verilen plastik limit denemelerinden elde edilen nem içeriklerinin ortalaması, %18.57 olarak bulunmuş ve bu değer söz konusu örneğin plastik limit değeri olarak alınmıştır.



Şekil 4.6 Hacim olarak %30 kum verilmiş toprağın likit limit grafiği

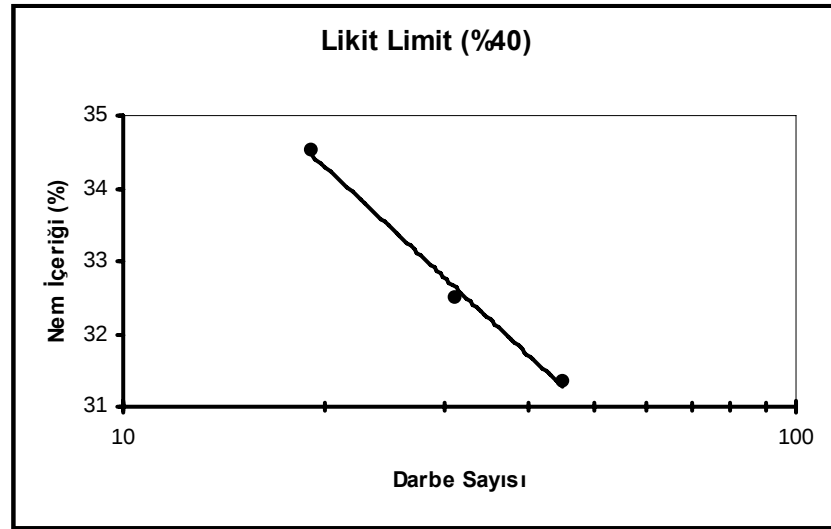
Killi toprağa hacim olarak %40 kum verilmiş toprağın likit limit ve plastik limitinin belirtilmesi amacıyla yapılan denemeden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7’de verilen darbe sayısı yarı logaritmik koordinat sisteminin logaritmik apsis ekseninde ve nem içerikleri de normal ordinat ekseninde alınarak çizilen likit limit grafiği Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Bu şekilde elde edilen likit limit grafiğinde 25 darbeye karşılık gelen nem içeriği %33.45 olarak bulunmuştur. Bu değer söz konusu örneğin likit limit değeri olarak alınmıştır.

Çizelge 4.7’de verilen plastik limit denemelerinden elde edilen nem içeriklerinin ortalaması, %17.80 olarak bulunmuş ve bu değer söz konusu örneğin plastik limit değeri olarak alınmıştır.

Çizelge 4.7 Hacim olarak %40 kum verilmiş toprağın likit limit - plastik limit sonuçları

%40 Kum	LL1	LL2	LL3	PL1	PL2
Kap no	05	11	90	416	160
Darbe sayısı	45	31	19		
Kap+ yaş örnek ağırlığı, gr	48.23	50.89	75.90	71.90	71.83
Kap+kuru örnek ağırlığı, gr	45.76	47.94	72.45	70.66	70.37
Nem, gr	2.47	2.95	3.45	1.24	1.46
Kap ağırlığı, gr	37.88	38.87	62.46	63.64	62.23
Kuru örnek ağırlığı, gr	7.88	9.07	9.99	7.02	8.14
% Nem	31.35	32.52	34.53	17.66	17.94



Şekil 4.7 Hacim olarak %40 kum verilmiş toprağın likit limit grafiği

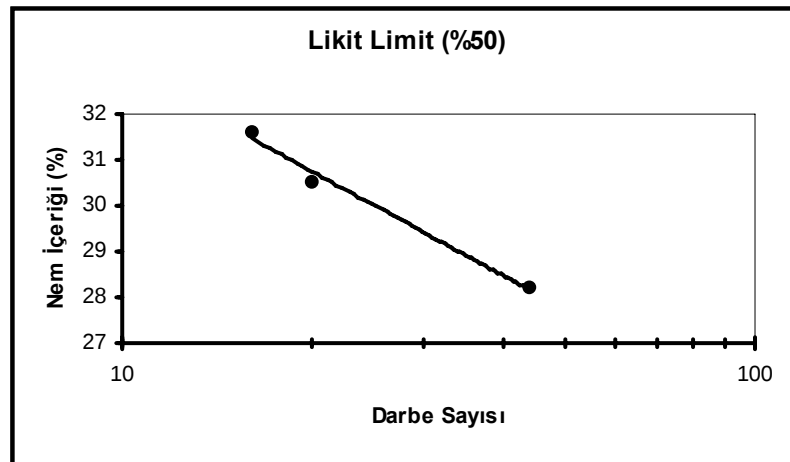
Araştırmada kullanılan ve hacim olarak %50 verilmiş toprağın likit limit ve plastik limitinin belirtilmesi amacıyla yapılan denemelerden elde edilen sonuçlar, Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8 Hacim olarak %50 kum verilmiş toprağın likit limit - plastik limit sonuçları

%50 Kum	LL1	LL2	LL3	PL1	PL2
Kap no	05	55	02	44	88
Darbe sayısı	44	20	16		
Kap+ yaş örnek ağırlığı, gr	47.88	46.84	47.67	43.67	45.51
Kap+kuru örnek ağırlığı, gr	45.68	44.45	45.00	42.77	44.37
Nem, gr	2.20	2.39	2.67	0.90	1.14
Kap ağırlığı, gr	37.88	36.62	36.56	37.63	37.92
Kuru örnek ağırlığı, gr	7.80	7.83	8.44	5.14	6.45
% Nem	28.21	30.52	31.63	17.51	17.67

Çizelge 4.8’de verilen darbe sayısı yarı logaritmik koordinat sisteminin logaritmik apsis ekseninde ve nem içerikleri de normal ordinat ekseninde alınarak çizilen likit limit grafiği Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Bu şekilde elde edilen likit limit grafiğinde 25 darbeye karşılık olan nem içeriği %30.01 olarak bulunmuştur. Bu değer söz konusu örneğin likit limit değeri olarak alınmıştır.

Çizelge 4.8’de verilen plastik limit denemelerinden elde edilen nem içeriklerinin ortalaması, %17.59 olarak bulunmuş ve bu değer söz konusu örneğin plastik limit değeri olarak alınmıştır.



Şekil 4.8 Hacim olarak %50 kum verilmiş toprağın likit limit grafiği

Araştırmada materyal olarak kullanılan killi toprak ve buna Çizelge 3.1’de verilen oranlarda kum katarak elde edilen karışımların büzülme limiti denemelerinden bulunan sonuçlar Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9 Büzülme limiti sonuçları

Kum karışım oranı	%0	%10	%20	%30	%40	%50
Boş büzülme kabı ağırlığı (M_{SL}), gr	18.49	18.55	18.52	18.5	18.42	18.56
Büzülme kabı + Civa ağırlığı (M_{SL+Hg}), gr	224.44	225.64	225.18	225.64	225.29	225.15
Büzülme kabı + Yaş toprak ağırlığı (M_{SL+W}), gr	46.08	44.99	43.86	43.81	44.88	46.22
Büzülme kabı + Kuru toprak ağırlığı (M_{SL+D}), gr	38.52	37.65	36.9	36.96	37.99	39.09
Cam civa kabı + Civa ağırlığı (M_{G+Hg}), gr	610.1	610.1	610.1	610.1	610.1	610.1
Cam civa kabı + Civa + Kuru toprak ağırlığı (M_{G+Hg+D}), gr	487.32	486.38	484.56	485.12	486.23	489.45
Yaş toprak ağırlığı (M_W), gr	27.59	26.44	25.34	25.31	26.46	27.66
Kuru toprak ağırlığı (M_D), gr	20.03	19.1	18.38	18.46	19.57	20.53
Yaş toprak hacmi (V_W), cm^3	15.14	15.23	15.20	15.23	15.21	15.19
Kuru toprak hacmi (V_D), cm^3	9.03	9.10	9.23	9.19	9.11	8.87
Nem içeriği (w), %	37.74	38.43	37.87	37.11	35.21	34.73
Büzülme Limiti, (%)	7.21	6.33	5.42	4.38	4.02	3.95

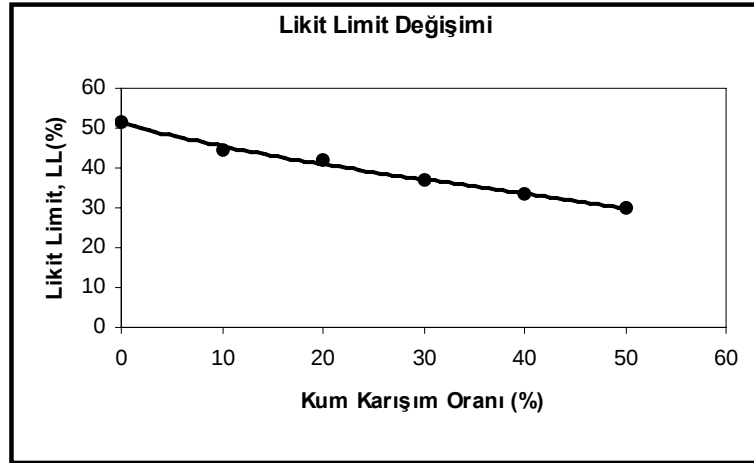
Bu amaçla yapılan denemelerden elde kıvam limitlerinin kum karışım oranına bağlı olarak değişimini incelemek için kum karışım oranlarına karşılık olan kıvam limitleri değerleri normal koordinat sisteminde işaretlenmiş ve bunların değişimi grafik olarak belirtilmiştir.

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlasından alınan montmorillonit grubu killi toprak ve buna Çizelge 3.1’de belirtilen oranlarda kum karıştırarak elde edilen karışımların likit limit değerleri Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.10 Likit limit değerleri

Kum Karışım Oranı (%)	Likit Limit (LL) (%)
0	51.50
10	44.59
20	42.00
30	36.80
40	33.45
50	30.01

Çizelge 4.10’da verilen değerlerden, kum karışım oranları normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve likit limit değerleri de ordinat ekseninde alınarak likit limit değerlerindeki değişimi veren ve Şekil 4.9’da gösterilen grafik elde edilmiştir.



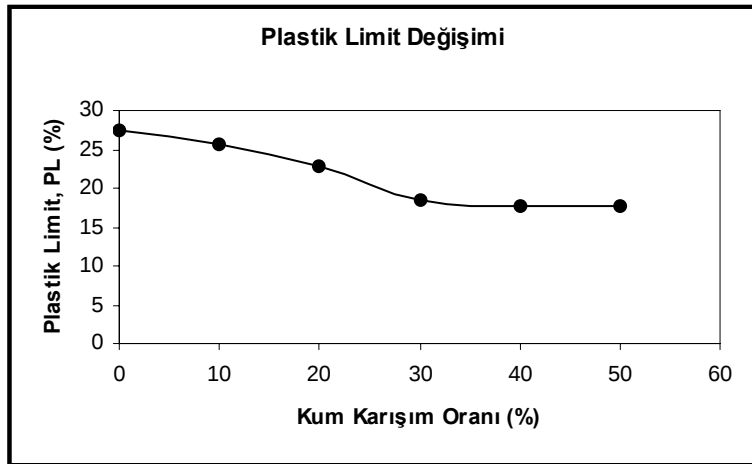
Şekil 4.9 Likit limit değerlerindeki değişim

Göletlerin kil çekirdeğinin yapımında kullanılan killi toprak ve buna Çizelge 3.1’de belirtilen oranlarda kum karıştırarak elde edilen karışımların plastik limit değerleri Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11 Plastik limit değerleri

Kum Karışım Oranı (%)	Plastik Limit (PL) (%)
0	27.33
10	25.55
20	22.72
30	18.57
40	17.80
50	17.59

Çizelge 4.11’de verilen değerlerden, kum karışım oranları normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve plastik limit değerleri de ordinat ekseninde alınarak plastik limit değerlerindeki değişimi veren ve Şekil 4.10’da gösterilen grafik elde edilmiştir.



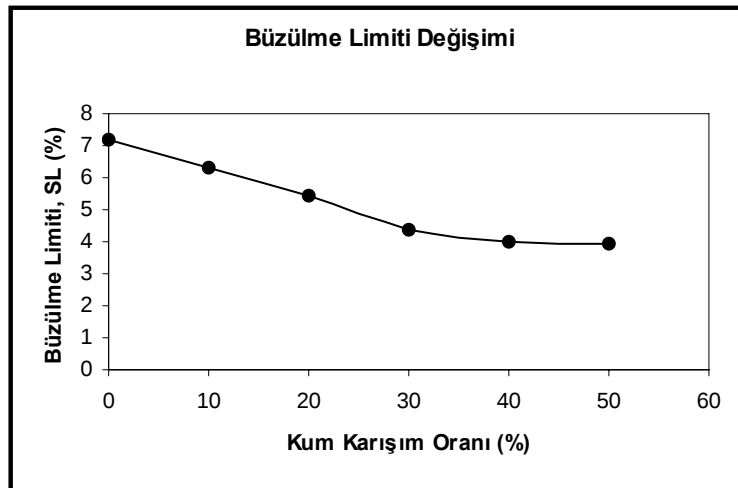
Şekil 4.10 Plastik limit değerlerindeki değişim

Araştırmada materyal olarak kullanılan montmorillonit grubu killi toprak ve buna Çizelge 3.1’de belirtilen oranlarda kum karıştırarak elde edilen karışımların büzülme limiti değerleri Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12 Büzülme limiti değerleri

Kum Karışım Oranı (%)	Büzülme Limiti (SL) (%)
0	7.21
10	6.33
20	5.42
30	4.38
40	4.02
50	3.95

Çizelge 4.12’de verilen değerlerden, kum karışım oranları normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve büzülme limiti değerleri de ordinat ekseninde alınarak büzülme limit değerlerindeki değişimi veren ve Şekil 4.11’de gösterilen grafik elde edilmiştir.



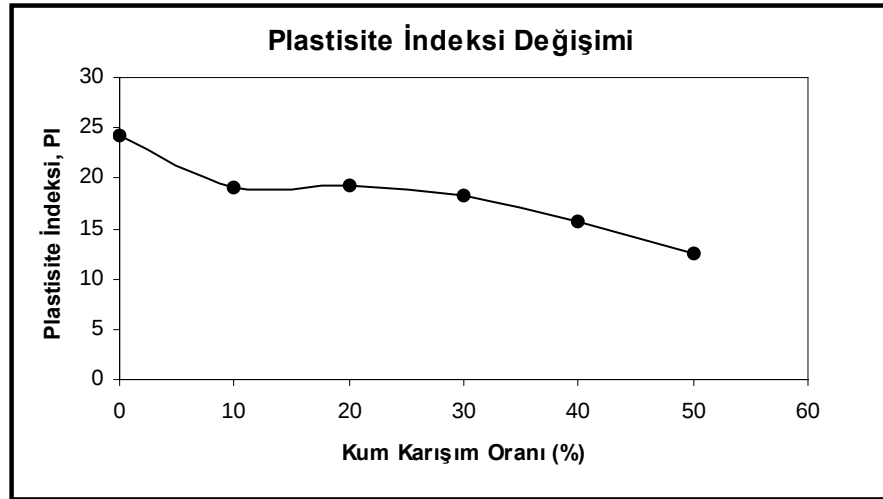
Şekil 4.11 Büzülme limiti değerlerindeki değişim

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlasından alınan killi toprak ve Çizelge 3.1’de verilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımların plastisite indeksi değerleri Çizelge 4.13’de verilmiştir.

Çizelge 4.13 Plastisite indeksi değerleri

Kum Karışım Oranı (%)	Plastisite İndeksi (PI)
0	24.17
10	19.04
20	19.28
30	18.23
40	15.65
50	12.42

Çizelge 4.13’de verilen değerlerden yararlanarak çizilen ve plastisite indeksinin değişimini gösteren grafik Şekil 4.12’de verilmiştir.



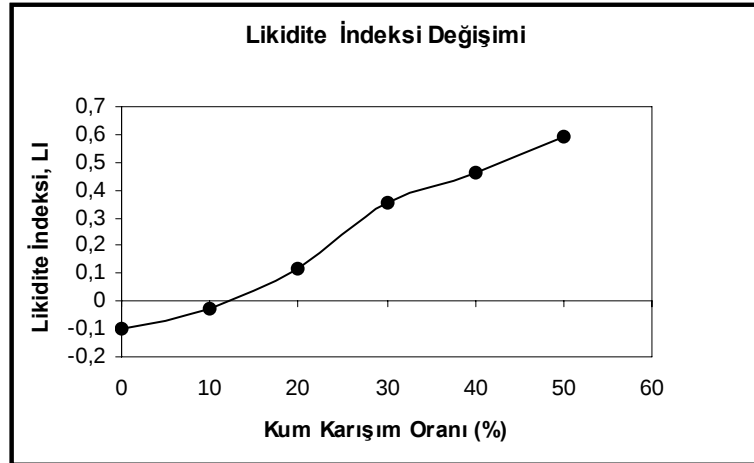
Şekil 4.12 Plastisite indeksi değerlerindeki değişim

Göletlerdeki kil çekirdeğin yapımında kullanılan killi toprak ve Çizelge 3.1’de verilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımların likidite indeksi değerleri Çizelge 4.14’de verilmiştir.

Çizelge 4.14 Likidite indeksi değerleri

Kum Karışım Oranı (%)	Likidite İndeksi (LI)
0	-0.097
10	-0.030
20	0.117
30	0.352
40	0.459
50	0.595

Çizelge 4.14’de verilen değerlerden yararlanarak çizilen ve likidite indeksinin değişimini gösteren grafik Şekil 4.13’de verilmiştir.



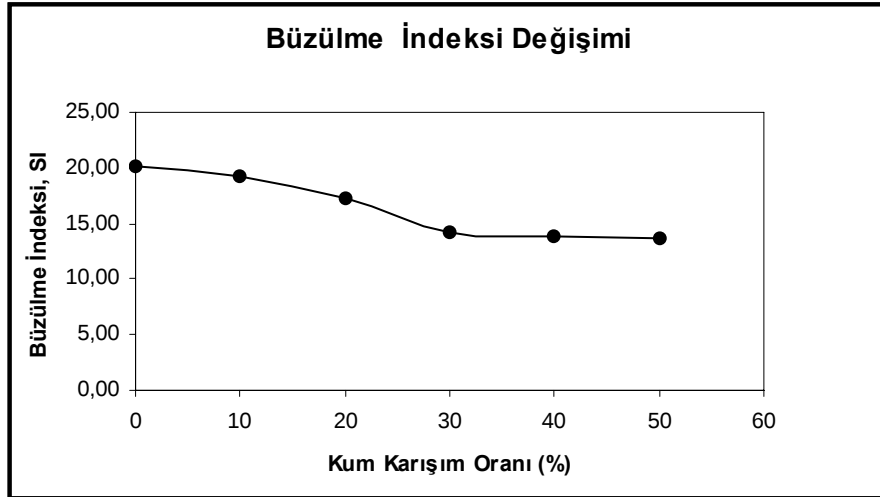
Şekil 4.13 Likidite indeksi değerlerindeki değişim

Araştırmada kullanılan killi toprak ve Çizelge 3.1’de verilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımların büzülme indeksi değerleri Çizelge 4.15’de verilmiştir.

Çizelge 4.15 Büzülme indeksi değerleri

Kum Karışım Oranı (%)	Büzülme İndeksi (SI)
0	20.12
10	19.22
20	17.30
30	14.19
40	13.78
50	13.64

Çizelge 4.15’de verilen değerlerden yararlanarak çizilen ve büzülme indeksinin değişimini gösteren grafik Şekil 4.14’de verilmiştir.



Şekil 4.14 Büzülme indeksi değerlerindeki değişim

Karışımların hazırlanmasında kullanılan toprak örneğinin plastisite indeksi (PI) değeri 24.17 olarak hesaplanmıştır. Buna göre toprak örneğinin birleştirilmiş zemin sınıflama sistemine göre sınıfı CH (yüksek plastisiteli inorganik kil) olarak bulunmuştur.

4.4 Sıkışma Deneyi Sonuçları

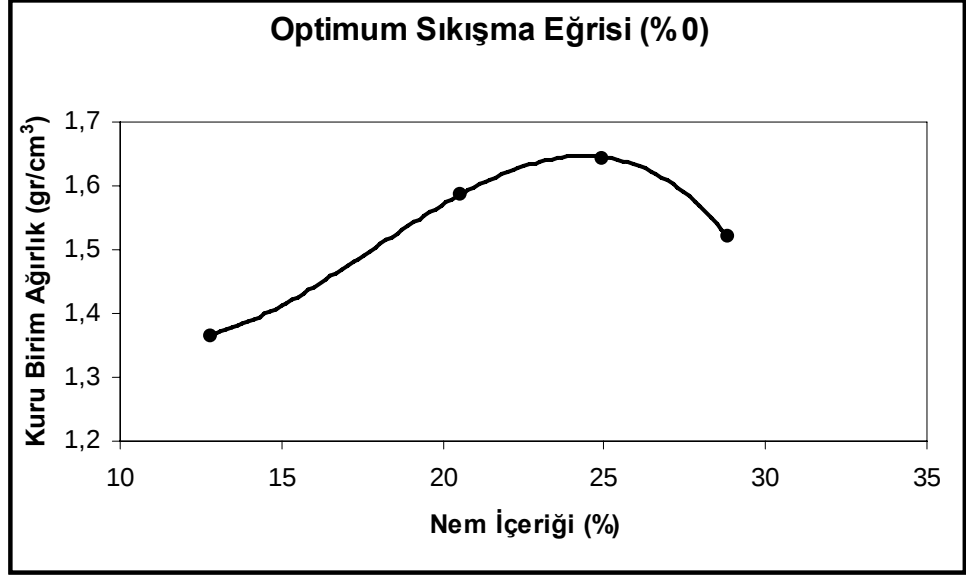
Araştırmada kullanılan killi toprağın sıkışma karakteristiklerini belirtmek için yapılan denemeden elde edilen sonuçlar, Çizelge 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.16 Killi toprağın sıkışma deneyi sonuçları

% 0 Kum Kuru birim ağırlık denemeleri	Denemeler			
	1	2	3	4
Kalıp yüksekliği, cm	11.50	11.50	11.50	11.50
Kalıp çapı, cm	10.20	10.20	10.20	10.20
Kalıp + yaş örnek ağırlığı, gr	5855	6205	6340	6250
Kalıp ağırlığı, gr	4400	4400	4400	4400
Kalıp hacmi, cm ³	944	944	944	944
Yaş birim ağırlık, gr/cm ³	1.541	1.912	2.055	1.960
Kuru birim ağırlık, gr/cm ³	1.366	1.586	1.645	1.522
Nem içeriğinin tespiti				
Kap no	05	44	86	02
Kap ağırlığı, gr	37.88	37.63	37.89	36.56
Kap + yaş örnek ağırlığı, gr	114.09	128.28	152.29	176.30
Kap + kuru örnek ağırlığı, gr	105.46	112.84	129.46	145.03
Nem içeriği, %	12.77	20.53	24.93	28.82

Yukarıda verilen değerlerden, nem içeriği normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve kuru birim ağırlık da ordinat ekseninde alınarak çizilen sıkışma eğrisi, Şekil 4.15’de gösterilmiştir. Bu grafikten, araştırmada materyal olarak kullanılan toprağın maksimum

kuru birim ağırlığı 1.657 gr/cm^3 ve optimum nem miktarı ise %25.01 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.15 Killi toprağın sıkışma eğrisi

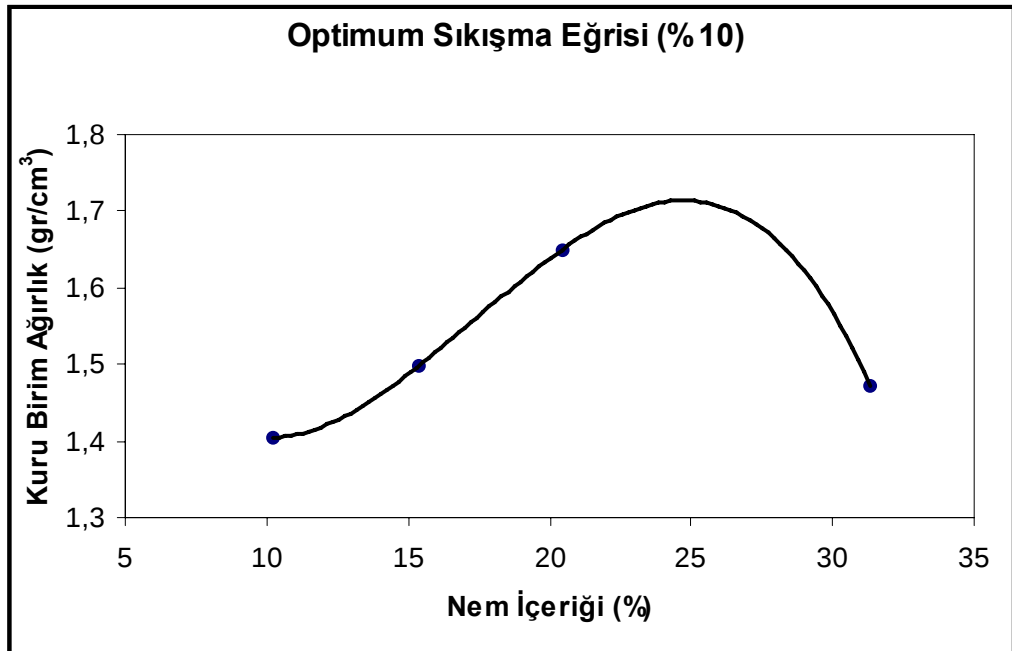
Göletlerdeki kil çekirdek yapımında kullanılan ve hacim olarak %10 kum katılmış toprağın sıkışma karakteristiklerini belirtmek için yapılan denemeden elde edilen sonuçlar, Çizelge 4.17’de verilmiştir.

Çizelge 4.17’de verilen değerlerden, nem içeriği normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve kuru birim ağırlık da ordinat ekseninde alınarak çizilen sıkışma eğrisi Şekil 4.16’da gösterilmiştir. Bu grafikten, söz konusu karışımın maksimum kuru birim ağırlığı 1.718 gr/cm^3 ve optimum nem miktarı ise %24.75 olarak bulunmuştur.

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlasından alınan ve hacim olarak %20 kum katılmış toprağın sıkışma karakteristiklerini belirtmek için yapılan denemeden elde edilen sonuçlar, Çizelge 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4.17 Hacim olarak %10 kum verilmiş toprağın sıkışma deneyi sonuçları

% 10 Kum Kuru birim ağırlık denemeleri	Denemeler			
	1	2	3	4
Kalıp yüksekliği, cm	11.50	11.50	11.50	11.50
Kalıp çapı, cm	10.20	10.20	10.20	10.20
Kalıp + yaş örnek ağırlığı, gr	5860	6030	6276	6226
Kalıp ağırlığı, gr	4400	4400	4400	4400
Kalıp hacmi, cm ³	944	944	944	944
Yaş birim ağırlık, gr/cm ³	1.547	1.727	1.987	1.934
Kuru birim ağırlık, gr/cm ³	1.404	1.497	1.650	1.473
Nem içeriğinin tespiti				
Kap no	02	88	80	200
Kap ağırlığı, gr	36.56	37.92	35.98	38.77
Kap + yaş örnek ağırlığı, gr	156.81	139.68	131.71	155.48
Kap + kuru örnek ağırlığı, gr	145.69	126.14	115.47	127.64
Nem içeriği, %	10.19	15.35	20.43	31.33



Şekil 4.16 Hacim olarak %10 kum verilmiş toprağın sıkışma eğrisi

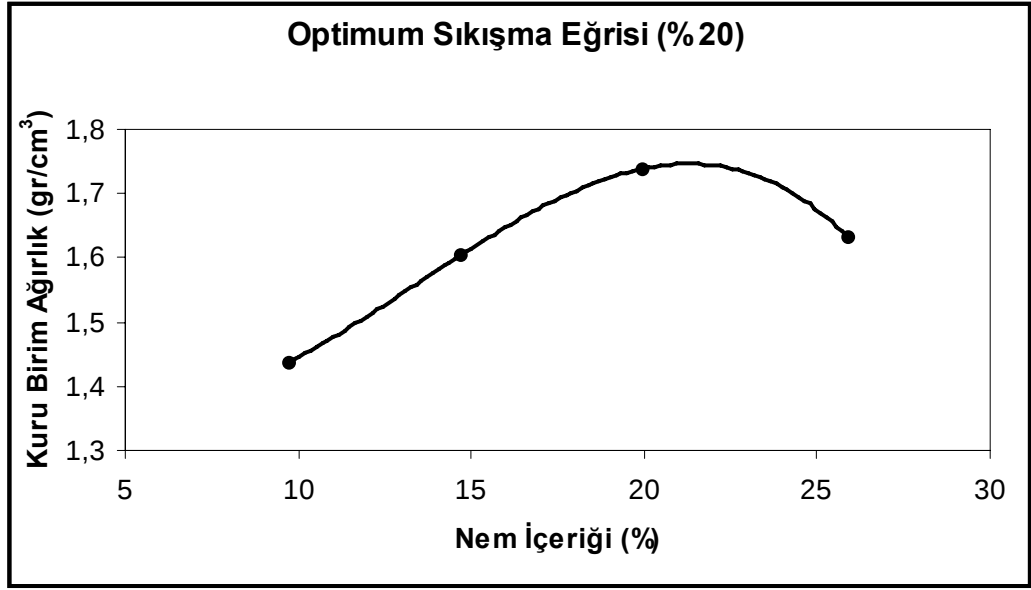
Çizelge 4.18 Hacim olarak %20 kum verilmiş toprağın sıkışma deneyi sonuçları

% 20 Kum Kuru birim ağırlık denemeleri	Denemeler			
	1	2	3	4
Kalıp yüksekliği, cm	11.50	11.50	11.50	11.50
Kalıp çapı, cm	10.20	10.20	10.20	10.20
Kalıp + yaş örnek ağırlığı, gr	5890	6138	6370	6340
Kalıp ağırlığı, gr	4400	4400	4400	4400
Kalıp hacmi, cm ³	944	944	944	944
Yaş birim ağırlık, gr/cm ³	1.578	1.841	2.087	2.055
Kuru birim ağırlık, gr/cm ³	1.438	1.605	1.739	1.632
Nem içeriğinin tespiti				
Kap no	80	02	55	27
Kap ağırlığı, gr	35.98	36.56	36.62	37.57
Kap + yaş örnek ağırlığı, gr	154.81	140.91	133.06	154.47
Kap + kuru örnek ağırlığı, gr	144.27	127.52	117.00	130.42
Nem içeriği, %	9.73	14.72	19.98	25.90

Çizelge 4.18’de verilen değerlerden, nem içeriği normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve kuru birim ağırlık da ordinat ekseninde alınarak çizilen sıkışma eğrisi Şekil 4.17’de gösterilmiştir. Bu grafikten, söz konusu karışımın maksimum kuru birim ağırlığı 1.756 gr/cm³ ve optimum nem miktarı ise %21.30 olarak bulunmuştur.

Denemelerde kullanılan killi toprağa hacim olarak %30 kum verildikten sonra elde edilen karışımın sıkışma karakteristiklerini belirtmek için yapılan denemeden elde edilen sonuçlar, Çizelge 4.19’da verilmiştir.

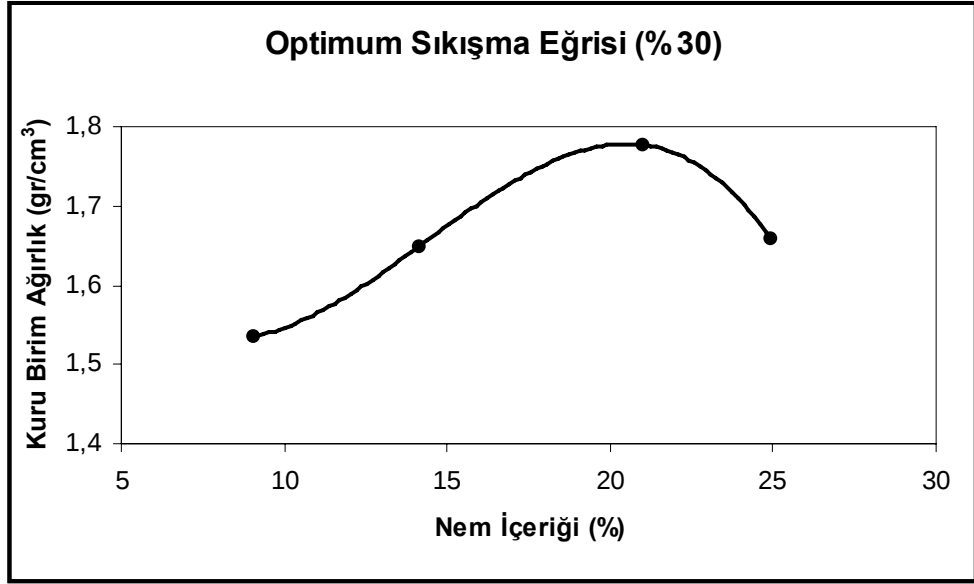
Çizelge 4.19’da verilen değerlerden, nem içeriği normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve kuru birim ağırlık da ordinat ekseninde alınarak çizilen sıkışma eğrisi Şekil 4.18’de gösterilmiştir. Bu grafikten, söz konusu karışımın maksimum kuru birim ağırlığı 1.780 gr/cm³ ve optimum nem miktarı ise %20.50 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.17 Hacim olarak %20 kum verilmiş toprağın sıkışma eğrisi

Çizelge 4.19 Hacim olarak %30 kum verilmiş toprağın sıkışma deneyi sonuçları

% 30 Kum Kuru birim ağırlık denemeleri	Denemeler			
	1	2	3	4
Kalıp yüksekliği, cm	11.50	11.50	11.50	11.50
Kalıp çapı, cm	10.20	10.20	10.20	10.20
Kalıp + yaş örnek ağırlığı, gr	5980	6176	6430	6356
Kalıp ağırlığı, gr	4400	4400	4400	4400
Kalıp hacmi, cm ³	944	944	944	944
Yaş birim ağırlık, gr/cm ³	1.674	1.881	2.150	2.072
Kuru birim ağırlık, gr/cm ³	1.535	1.648	1.777	1.658
Nem içeriğinin tespiti				
Kap no	11	55	05	44
Kap ağırlığı, gr	38.87	36.62	37.88	37.63
Kap + yaş örnek ağırlığı, gr	162.12	136.87	157.83	161.37
Kap + kuru örnek ağırlığı, gr	151.92	124.47	137.04	136.67
Nem içeriği, %	9.02	14.11	20.97	24.94



Şekil 4.18 Hacim olarak %30 kum verilmiş toprağın sıkışma eğrisi

Killi toprağa hacim olarak %40 oranında kum katarak elde edilen toprağın sıkışma karakteristiklerini belirtmek için yapılan denemeden elde edilen sonuçlar, Çizelge 4.20’de verilmiştir.

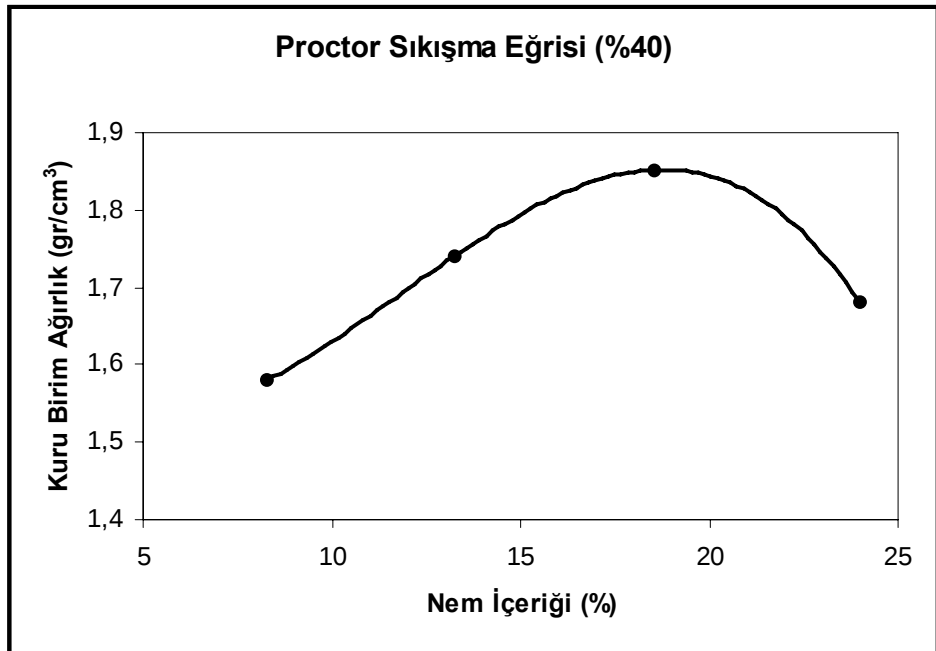
Çizelge 4.20’de verilen değerlere göre çizilen sıkışma eğrisi ise Şekil 4.19’da gösterilmiştir. Bu grafikten, söz konusu karışımın maksimum kuru birim ağırlığı 1.861 gr/cm³ ve optimum nem miktarı ise %19.05 olarak bulunmuştur.

Araştırmada kullanılan ve hacim olarak %50 oranında kum verilerek elde edilen toprağın sıkışma karakteristiklerini belirtmek için yapılan denemeden elde edilen sonuçlar, Çizelge 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.21’de verilen sonuçlara göre çizilen sıkışma eğrisi ise Şekil 4.20’de gösterilmiştir. Bu grafikten, söz konusu karışımın maksimum kuru birim ağırlığı 1.886 gr/cm³ ve optimum nem miktarı ise %17.98 olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.20 Hacim olarak %40 kum verilmiş toprağın sıkışma deneyi sonuçları

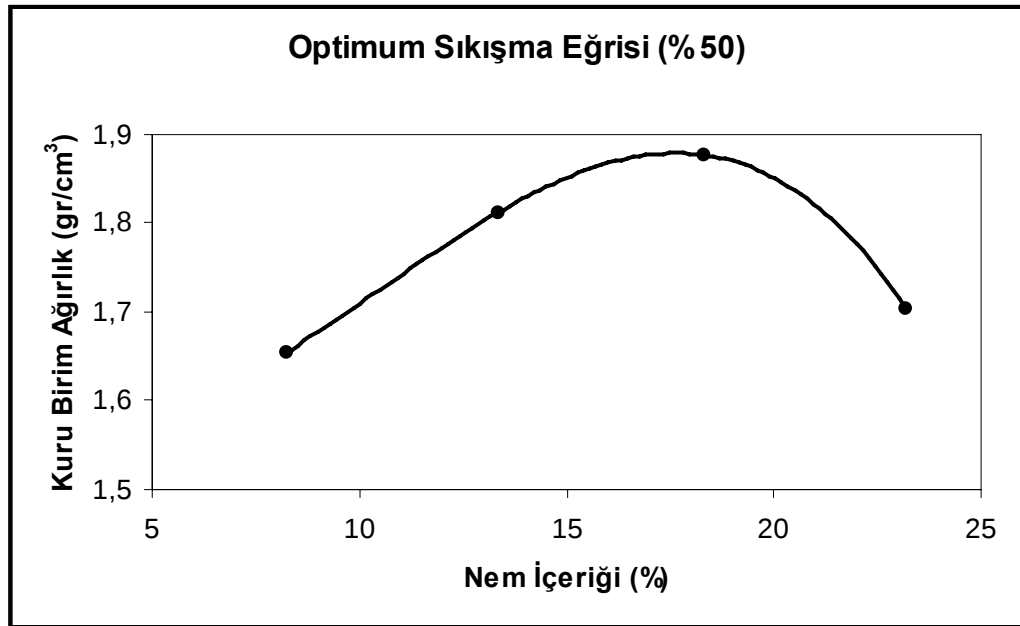
% 40 Kum Kuru birim ağırlık denemeleri	Denemeler			
	1	2	3	4
Kalıp yüksekliği, cm	11.50	11.50	11.50	11.50
Kalıp çapı, cm	10.20	10.20	10.20	10.20
Kalıp + yaş örnek ağırlığı, gr	6015	6260	6472	6368
Kalıp ağırlığı, gr	4400	4400	4400	4400
Kalıp hacmi, cm ³	944	944	944	944
Yaş birim ağırlık, gr/cm ³	1.711	1.970	2.195	2.085
Kuru birim ağırlık, gr/cm ³	1.580	1.740	1.852	1.682
Nem içeriğinin tespiti				
Kap no	02	80	88	27
Kap ağırlığı, gr	36.56	35.98	37.92	37.57
Kap + yaş örnek ağırlığı, gr	170.78	157.25	140.11	131.44
Kap + kuru örnek ağırlığı, gr	160.50	143.07	124.13	113.29
Nem içeriği, %	8.29	13.24	18.54	23.97



Şekil 4.19 Hacim olarak %40 kum verilmiş toprağın sıkışma eğrisi

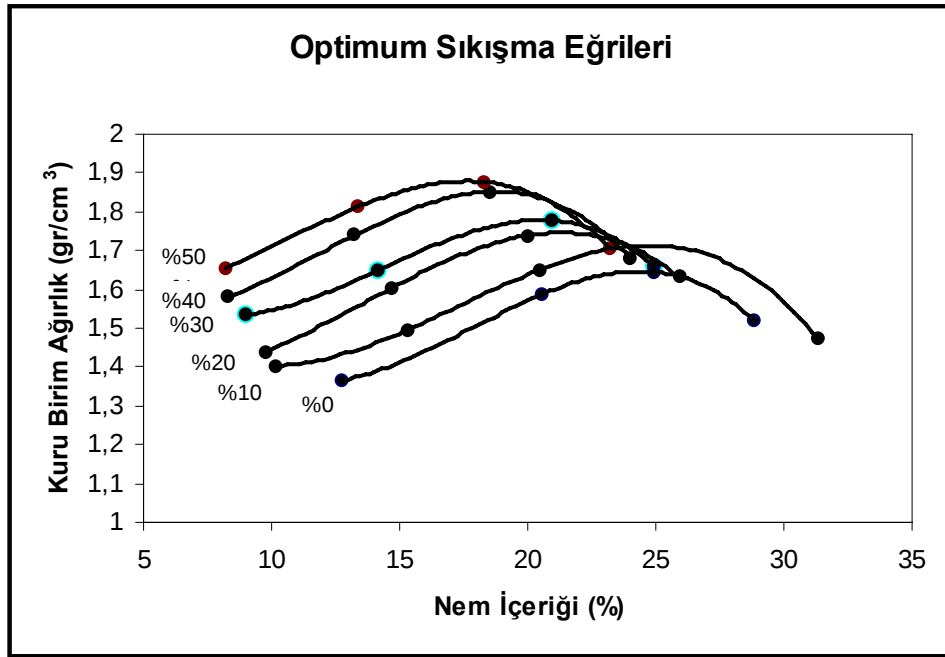
Çizelge 4.21 Hacim olarak %50 kum verilmiş toprağın sıkışma deneyi sonuçları

% 50 Kum Kuru birim ağırlık denemeleri	Denemeler			
	1	2	3	4
Kalıp yüksekliği, cm	11.50	11.50	11.50	11.50
Kalıp çapı, cm	10.20	10.20	10.20	10.20
Kalıp + yaş örnek ağırlığı, gr	6090	6338	6496	6382
Kalıp ağırlığı, gr	4400	4400	4400	4400
Kalıp hacmi, cm ³	944	944	944	944
Yaş birim ağırlık, gr/cm ³	1.790	2.053	2.220	2.100
Kuru birim ağırlık, gr/cm ³	1.654	1.812	1.877	1.705
Nem içeriğinin tespiti				
Kap no	11	44	05	55
Kap ağırlığı, gr	38.87	37.63	37.88	36.62
Kap + yaş örnek ağırlığı, gr	168.17	144.75	138.02	168.53
Kap + kuru örnek ağırlığı, gr	158.34	132.15	122.53	143.70
Nem içeriği, %	8.23	13.33	18.30	23.19



Şekil 4.20 Hacim olarak %50 kum verilmiş toprağın sıkışma eğrisi

Araştırmada kullanılan materyale katılan kum miktarına bağlı olarak optimum sıkışma miktarındaki değişimi belirtmek için, elde edilen verilerden yararlanarak oluşturulmuş ve yukarıda ayrı ayrı verilmiş olan 6 adet optimum sıkışma eğrisi, Şekil 4.21’de aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Böylece optimum sıkışma eğrilerinin tepe noktalarının değişiminin kolayca görülmesi sağlanmıştır.



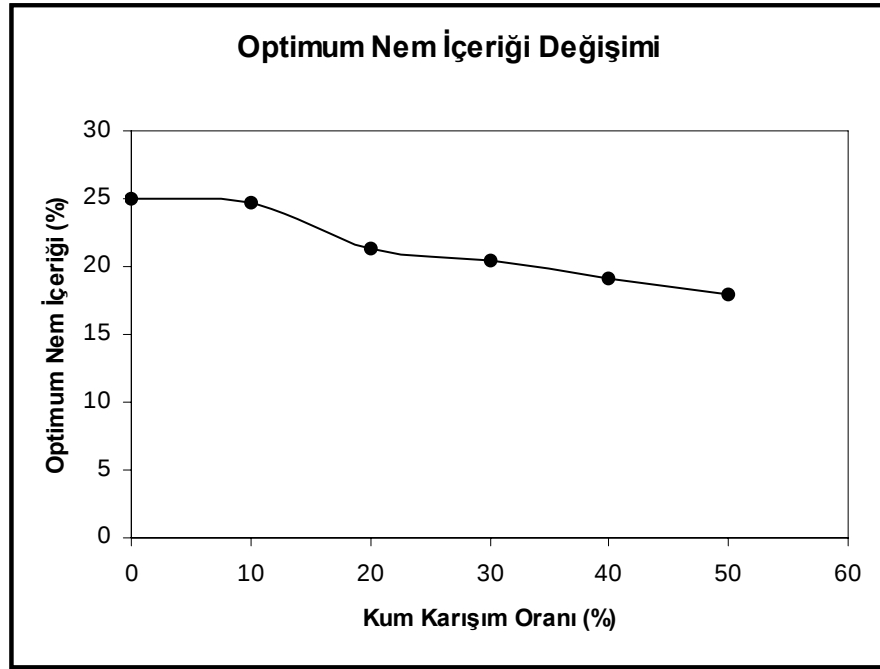
Şekil 4.21 Optimum sıkışma eğrilerindeki değişim

Araştırmada materyal olarak kullanılan toprağın denemeler ile elde edilen optimum nem içeriği ve maksimum kuru birim ağırlık değerlerinde kum karışım oranına bağlı olarak ortaya çıkan farklılaşmayı incelemek için, farklı kum karışım oranlarına karşılık elde edilen optimum nem miktarı ve maksimum kuru birim ağırlık değerleri normal koordinat sisteminde işaretlenmiş ve bunların değişimi grafik olarak belirtilmiştir.

Farklı oranlarda kum karıştırılmış killi toprağın optimum nem içerikleri Çizelge 4.22’de ve kum karışım oranına bağlı olarak optimum nem içeriklerinde meydana gelen değişim ise Şekil 4.22’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.22 Optimum nem içeriği

Kum Karışım Oranı (%)	Optimum Nem İçeriği, w_{opt} (%)
0	25.01
10	24.75
20	21.30
30	20.50
40	19.05
50	17.98

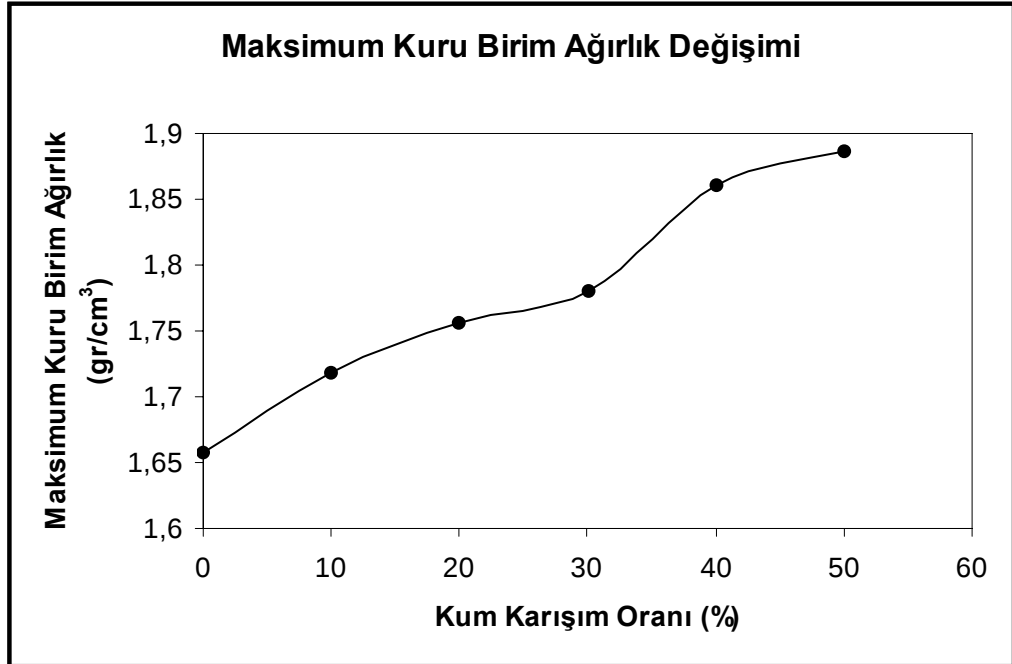


Şekil 4.22 Optimum nem içeriği değişimi

Farklı oranlarda kum karıştırılmış killi toprağın maksimum kuru birim ağırlık değerleri Çizelge 4.23’de ve kum karışım oranına bağlı olarak maksimum kuru birim ağırlıklarda meydana gelen değişim ise Şekil 4.23’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.23 Maksimum kuru birim ağırlık

Kum Karışım Oranı (%)	Maksimum Kuru Birim Ağırlık, γ_{dmak} (g/cm ³)
0	1.657
10	1.718
20	1.756
30	1.780
40	1.861
50	1.886



Şekil 4.23 Maksimum kuru birim ağırlık değişimi

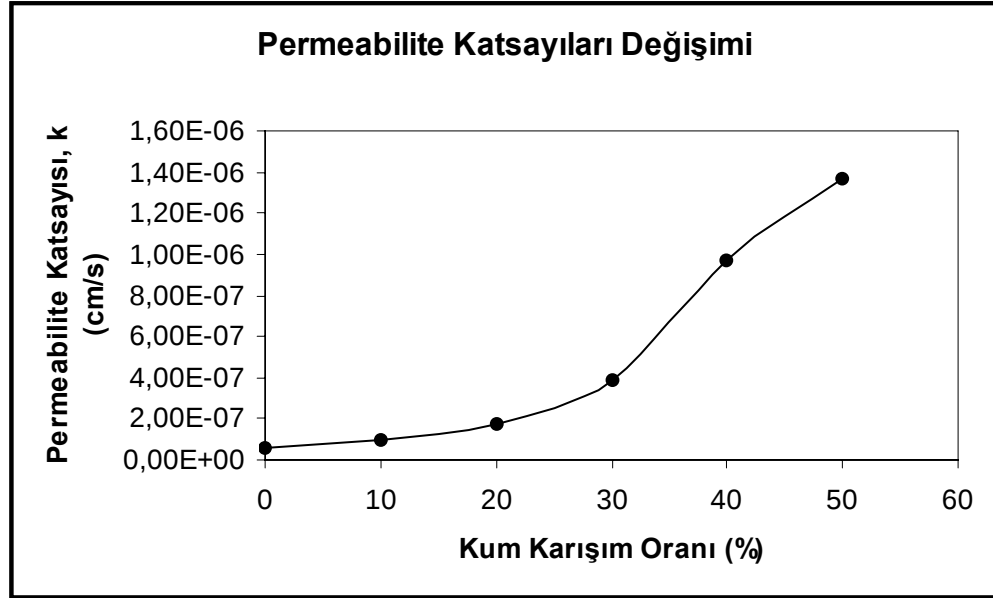
4.5 Permeabilite Deneyi Sonuçları

Araştırmada materyal olarak kullanılan killi toprak ve Çizelge 3.1’de verilen oranlarda kum ilave edilmiş toprakta gerçekleştirilen permeabilite denemelerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.24’de verilmiştir.

Çizelge 4.24 Permeabilite deneyi sonuçları

	Kum karışım oranları					
	%0	%10	%20	%30	%40	%50
Cam boru kesit alanı, cm^2	0.7854	0.7854	0.7854	0.7854	0.7854	0.7854
Sızma yolu uzunluğu, cm	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50
Örnek kesit alanı, cm^2	81.7128	81.7128	81.7128	81.7128	81.7128	81.7128
$t_1 = 0$ saniye okuması	300	300	300	300	300	300
$t_2 = 86400$ saniye	285.9	277.6	261.5	221.7	192.4	103.4
Permeabilite katsayısı, cm/s	6.185×10^{-8}	9.947×10^{-8}	1.759×10^{-7}	3.877×10^{-7}	5.693×10^{-7}	1.366×10^{-6}

Cetvel 4.24’de verilen permeabilite katsayıları dik koordinat sisteminin ordinat ekseninde ve buna karşılık olan kum miktarları ise apsis ekseninde alınarak çizilen ve araştırmada kullanılan toprağın permeabilite katsayısındaki değişimi gösteren grafik Şekil 4.24’de verilmiştir.



Şekil 4.24 Permeabilite katsayılarındaki değişim

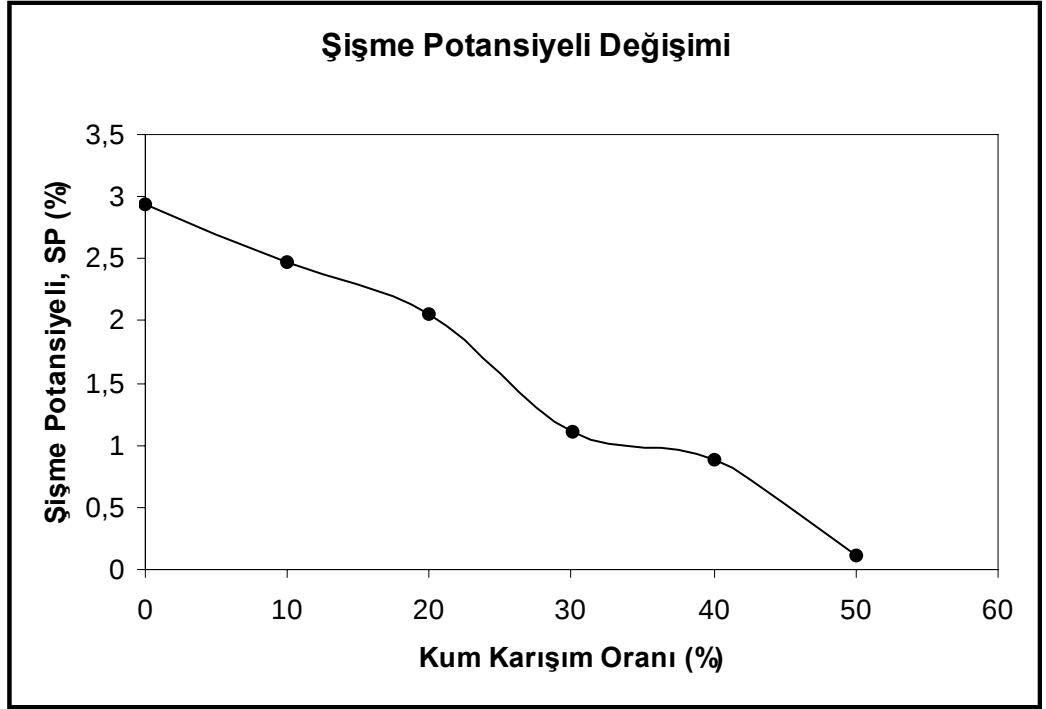
4.6 Konsolidasyon Deneyi Sonuçları

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlasından alınan killi toprak ve Çizelge 3.1’de belirtilen oranlarda kum katılarak elde edilen toprakta yapılan şişme potansiyeli denemesinden elde edilen sonuçlar, Çizelge 4.25’de verilmiştir.

Çizelge 4.25 Şişme potansiyeli

Kum Karışım Oranı (%)	Şişme Potansiyeli, SP (%)
0	2.94
10	2.47
20	2.06
30	1.11
40	0.89
50	0.11

Çizelge 4.25’de verilen değerlerden şişme potansiyeli normal koordinat sisteminin ordinat ekseninde ve kum miktarları ise apsis ekseninde işaretlenmiş ve şişme potansiyellerinde meydana gelen değişim Şekil 4.25’de grafik olarak verilmiştir.



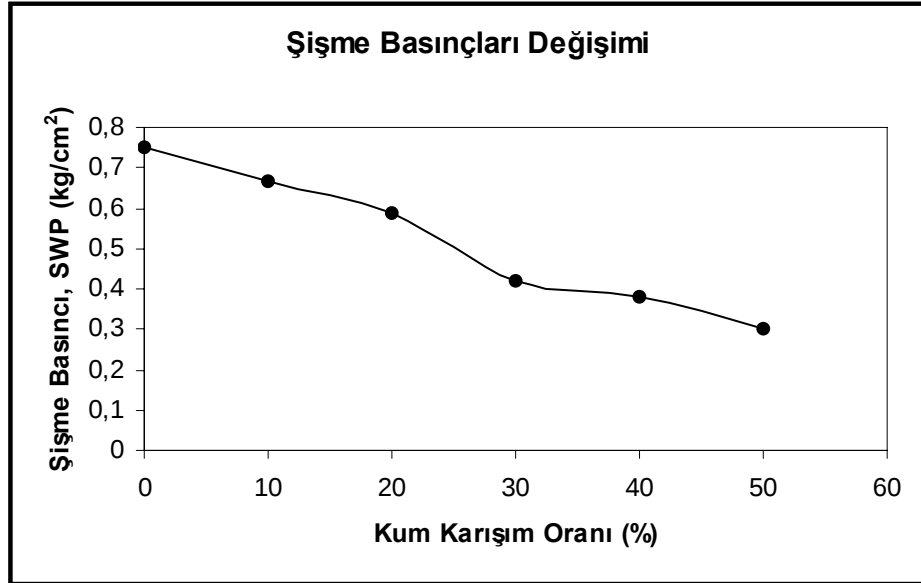
Şekil 4.25 Şişme potansiyeli değişimi

Göletlerdeki kil çekirdeğin yapımında kullanılan killi toprak ve Çizelge 3.1’de belirtilen oranlarda kum katılarak elde edilen toprakta yapılan şişme basıncı denemesinden elde edilen sonuçlar, Çizelge 4.26’de verilmiştir.

Çizelge 4.26’da verilen değerlerden şişme basıncı normal koordinat sisteminin ordinat ekseninde ve kum miktarları ise apsis ekseninde işaretlenmiş ve şişme basıncında meydana gelen değişim Şekil 4.26’da grafik olarak verilmiştir.

Çizelge 4.26 Şişme basınçları

Kum Karışım Oranı (%)	Şişme Basıncı, SWP (kg/cm ²)
0	0.750
10	0.665
20	0.590
30	0.420
40	0.380
50	0.300



Şekil 4.26 Şişme basınçlarındaki değişim

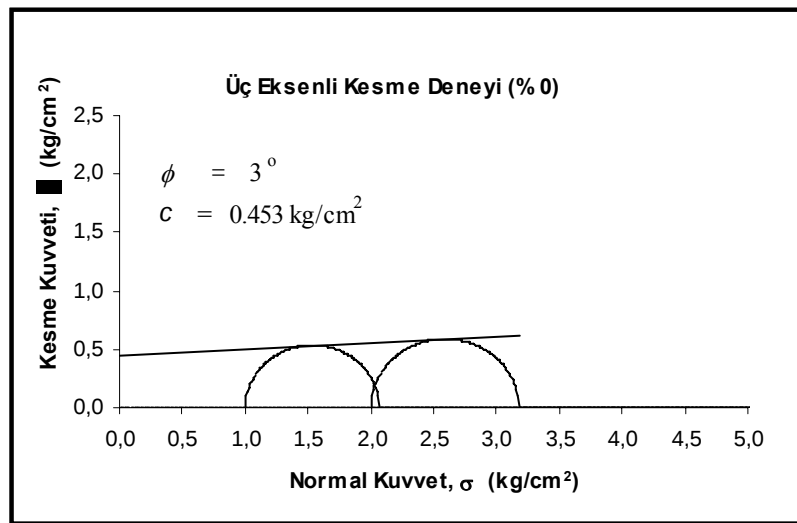
4.7 Üç Eksenli Kesme Deneyi Sonuçları

Araştırmada kullanılan montmorillonit grubu killi toprakta yapılan üç eksenli kesme deneylerinden elde edilen sonuçlar, Çizelge 4.27’de verilmiştir.

Çizelge 4.27 Killi toprağın üç eksenli kesme deneyi sonuçları

% 0 kum	Deney 1	Deney 2
Örnek boyu, cm	7.89	7.91
Örnek çapı, cm	3.50	3.50
Yaş ağırlığı, gr	141.12	141.56
Hücre basıncı, kg/cm^2	1.0	2.0
Boy kısalması (x100), mm	540	605
Yük halkası okuması (x100), mm	59.9	63.5
Halka kalibrasyon katsayısı	0.194	0.194
Deviyator gerilme, kg/cm^2	1.07	1.18
Aksiyal gerilme, kg/cm^2	2.07	3.18
İçsel sürtünme açısı, derece	3	
Kohezyon, kg/cm^2	0.453	

Çizelge 4.27’de verilen değerlere göre elde edilen kesme dayanımı grafiği Şekil 4.27’de gösterilmiştir.



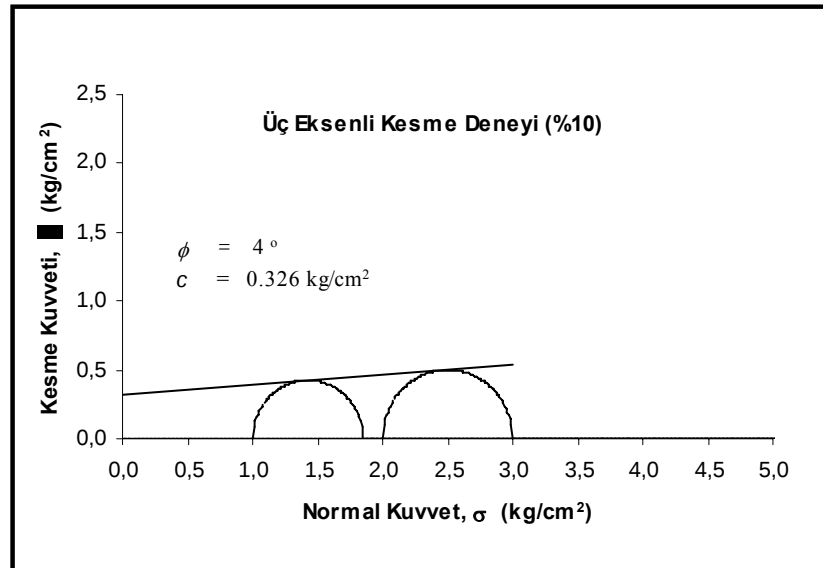
Şekil 4.27 Killi toprağın kesme dayanımı grafiği

Göletlerdeki kil çekirdek inşasında kullanılan killi toprağa hacim olarak %10 oranında kum verilerek elde edilen karışımın üç eksenli kesme deneyi sonuçları, Çizelge 4.28’de verilmiştir.

Çizelge 4.28 Hacim olarak %10 kum verilen toprağın üç eksenli kesme deneyi sonuçları

%10 kum	Deney 1	Deney 2
Örnek boyu, cm	7.65	7.68
Örnek çapı, cm	3.50	3.50
Yaş ağırlığı, gr	138.21	139.03
Hücre basıncı, kg/cm^2	1.0	2.0
Boy kısalması (x100), mm	600	640
Yük halkası okuması (x100), mm	45.8	64.0
Halka kalibrasyon katsayısı	0.194	0.194
Deviyatör gerilme, kg/cm^2	0.85	1.00
Aksiyal gerilme, kg/cm^2	1.85	3.00
İçsel sürtünme açısı, derece	4	
Kohezyon, kg/cm^2	0.326	

Çizelge 4.28’de verilen sonuçlara göre elde edilen kesme dayanımı grafiği Şekil 4.28’de gösterilmiştir.



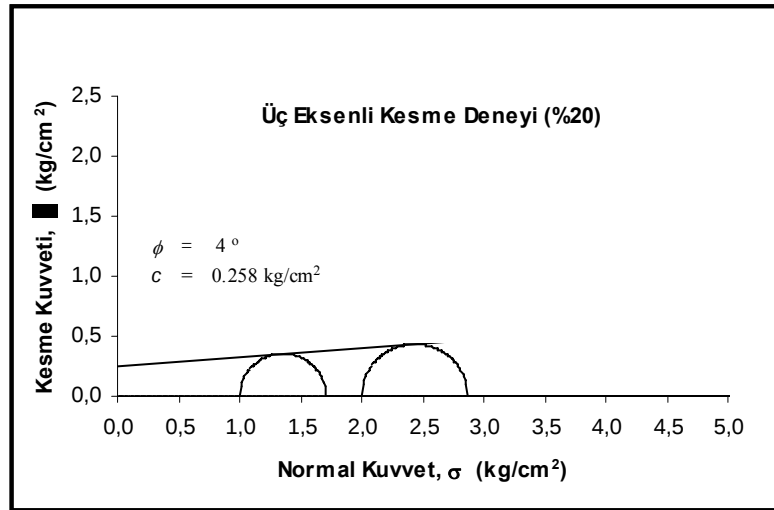
Şekil 4.28 Hacim olarak %10 kum verilen toprağın kesme dayanımı grafiği

Araştırmada kullanılan killi toprağa hacim olarak %20 oranında katarak elde edilen karışımın üç eksenli kesme deneyi sonuçları Çizelge 4.29’da verilmiştir.

Çizelge 4.29 Hacim olarak %20 kum verilen toprağın üç eksenli kesme deneyi sonuçları

%20 kum	Deney 1	Deney 2
Örnek boyu, cm	7.28	7.32
Örnek çapı, cm	3.50	3.50
Yaş ağırlığı, gr	135.26	136.26
Hücre basıncı, kg/cm^2	1.0	2.0
Boy kısalması (x100), mm	620	655
Yük halkası okuması (x100), mm	38.7	47.5
Halka kalibrasyon katsayısı	0.194	0.194
Deviyatör gerilme, kg/cm^2	0.71	0.87
Aksiyal gerilme, kg/cm^2	1.71	2.87
İçsel sürtünme açısı, derece	4	
Kohezyon, kg/cm^2	0.258	

Çizelge 4.29’da verilen değerlere göre elde edilen kesme dayanımı grafiği Şekil 4.29’da gösterilmiştir.



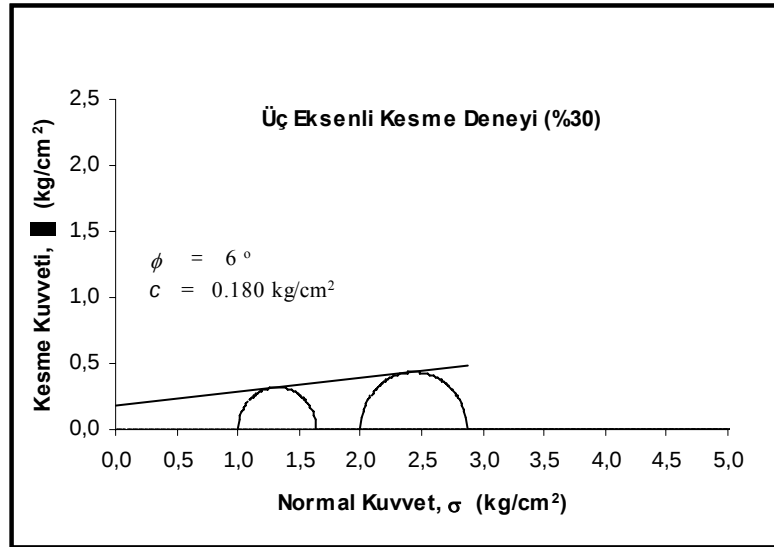
Şekil 4.29 Hacim olarak %20 kum verilen toprağın kesme dayanımı grafiği

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlasından elde edilen killi toprağa hacim olarak %30 oranında kum verilerek elde edilen karışımın üç eksenli kesme deneyi sonuçları, Çizelge 4.30’da verilmiştir.

Çizelge 4.30 Hacim olarak %30 kum verilen toprağın üç eksenli kesme deneyi sonuçları

%30 kum	Deney 1	Deney 2
Örnek boyu, cm	7.00	7.12
Örnek çapı, cm	3.50	3.50
Yaş ağırlığı, gr	131.22	133.57
Hücre basıncı, kg/cm ²	1.0	2.0
Boy kısalması (x100), mm	560	635
Yük halkası okuması (x100), mm	34.3	47.5
Halka kalibrasyon katsayısı	0.194	0.194
Deviyatör gerilme, kg/cm ²	0.64	0.87
Aksiyal gerilme, kg/cm ²	1.64	2.87
İçsel sürtünme açısı, derece	6	
Kohezyon, kg/cm ²	0.180	

Çizelge 4.30’da verilen değerlere göre elde edilen kesme dayanımı grafiği Şekil 4.30’da gösterilmiştir.



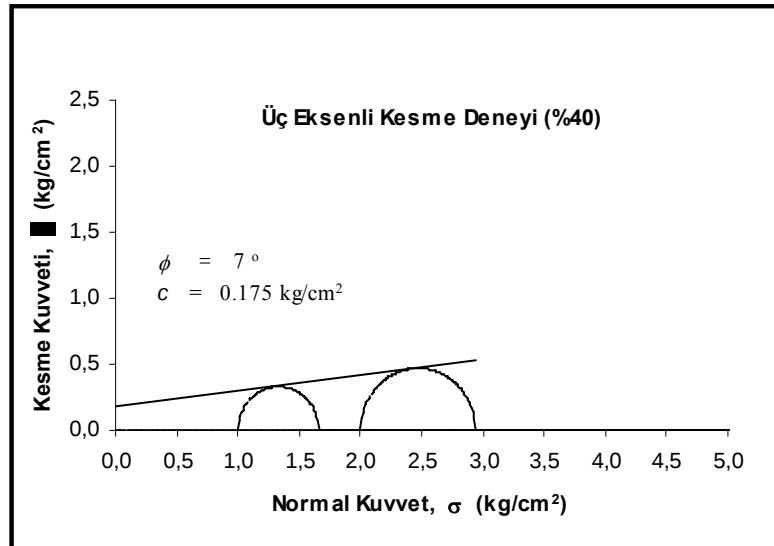
Şekil 4.30 Hacim olarak %30 kum verilen toprağın kesme dayanımı grafiği

Killi toprağa hacim olarak %40 oranında karıştırılarak elde edilen karışımın üç eksenli kesme deneyi sonuçları Çizelge 4.31’de verilmiştir.

Çizelge 4.31 Hacim olarak %40 kum verilen toprağın üç eksenli kesme deneyi sonuçları

%40 kum	Deney 1	Deney 2
Örnek boyu, cm	7.88	7.92
Örnek çapı, cm	3.50	3.50
Yaş ağırlığı, gr	154.49	155.34
Hücre basıncı, kg/cm^2	1.0	2.0
Boy kısalması (x100), mm	565	500
Yük halkası okuması (x100), mm	35.5	49.5
Halka kalibrasyon katsayısı	0.194	0.194
Deviyatör gerilme, kg/cm^2	0.66	0.94
Aksiyal gerilme, kg/cm^2	1.66	2.94
İçsel sürtünme açısı, derece	7	
Kohezyon, kg/cm^2	0.175	

Çizelge 4.31’de verilen sonuçlara göre elde edilen kesme dayanımı grafiği Şekil 4.31’de gösterilmiştir.



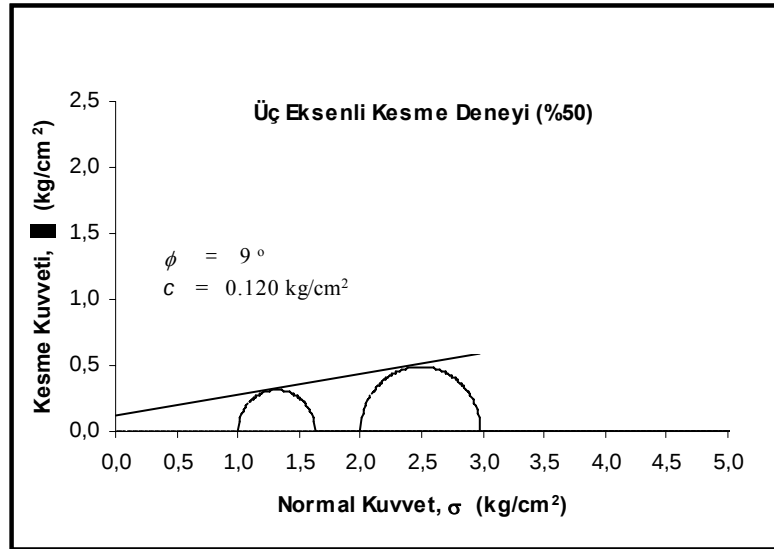
Şekil 4.31 Hacim olarak %40 kum verilen toprağın kesme dayanımı grafiği

Araştırmada materyal olarak kullanılan killi toprağa hacim olarak %50 oranında kum katarak elde edilen karışımın üç eksenli kesme deneyi sonuçları, Çizelge 4.32’de verilmiştir.

Çizelge 4.32 Hacim olarak %50 kum verilen toprağın üç eksenli kesme deneyi sonuçları

%50 kum	Deney 1	Deney 2
Örnek boyu, cm	8.11	8.02
Örnek çapı, cm	3.50	3.50
Yaş ağırlığı, gr	160.73	159.04
Hücre basıncı, kg/cm^2	1.0	2.0
Boy kısalması (x100), mm	480	535
Yük halkası okuması (x100), mm	33.2	52.1
Halka kalibrasyon katsayısı	0.194	0.194
Deviyatör gerilme, kg/cm^2	0.63	0.98
Aksiyal gerilme, kg/cm^2	1.63	2.98
İçsel sürtünme açısı, derece	9	
Kohezyon, kg/cm^2	0.120	

Çizelge 4.32’de verilen değerlere göre elde edilen kesme dayanımı grafiği Şekil 4.32’de gösterilmiştir.



Şekil 4.32 Hacim olarak %50 kum verilen toprağın kesme dayanımı grafiği

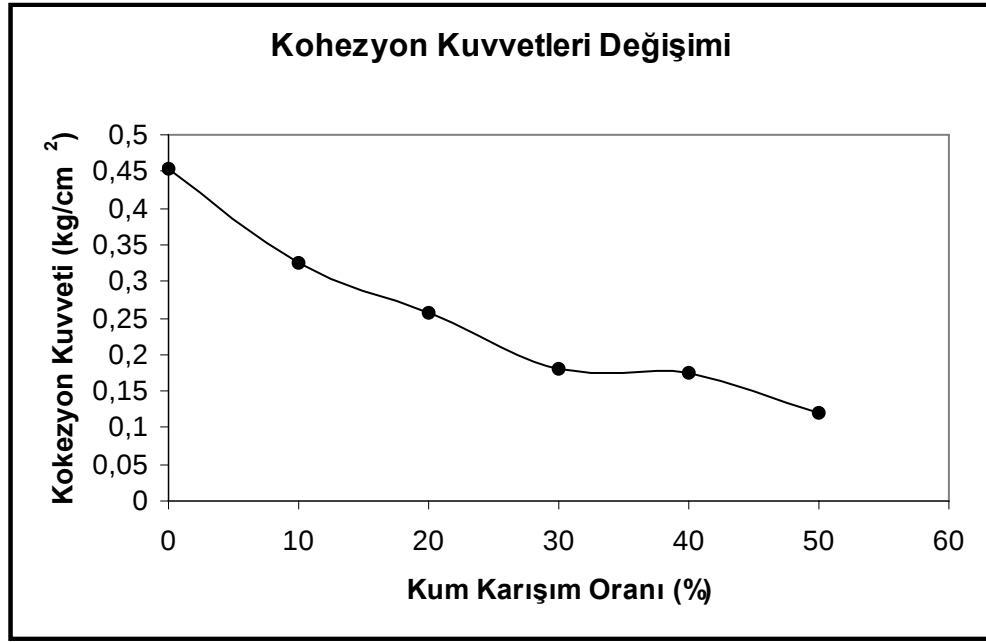
Üç eksenli kesme deneyleri sonucu elde edilen kohezyon kuvvetinde kum miktarına bağlı olarak meydana gelen değişimi göstermek için, kohezyon kuvveti normal koordinat sisteminin ordinat ekseninde ve kum miktarları apsis ekseninde alınarak değişim grafikte gösterilmiştir.

Benzer şekilde, içsel sürtünme açısında kum miktarına bağlı olarak meydana gelen değişimi göstermek için, içsel sürtünme açıları normal koordinat sisteminin ordinat ekseninde ve kum miktarları apsis ekseninde alınarak değişim grafikte gösterilmiştir.

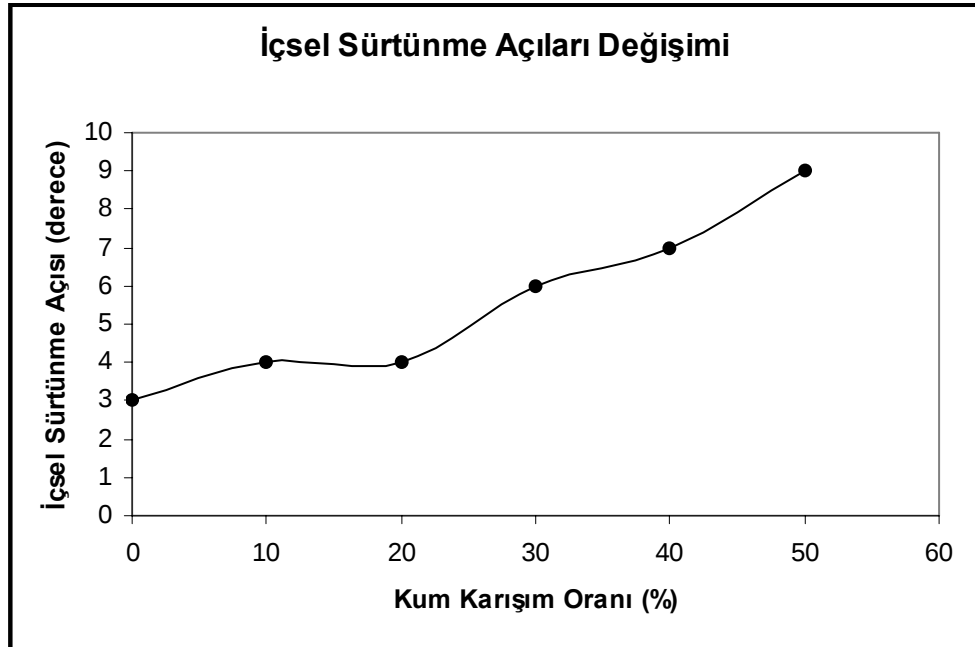
Araştırmada materyal olarak kullanılan killi toprak ve farklı oranlarda kum katılarak elde edilen karışımların kohezyon kuvveti ile içsel sürtünme açıları Çizelge 4.33’de verilmiştir. Kum miktarına bağlı olarak kohezyon kuvvetinde meydana gelen değişim Şekil 4.33’de ve içsel sürtünme açısında meydana gelen değişim ise Şekil 4.34’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.33 Kohezyon kuvveti ve içsel sürtünme açısı

Kum Karışım Oranı (%)	Kohezyon Kuvveti, c (kg/cm ²)	İçsel Sürtünme Açısı (derece)
0	0.453	3
10	0.326	4
20	0.258	4
30	0.180	6
40	0.175	7
50	0.120	9



Şekil 4.33 Kohezyon kuvvetlerindeki değişim



Şekil 4.34 İçsel sürtünme açılarındaki değişim

4.8 Ampirik İlişkiler

4.8.1 Likit limit ile şişme parametreleri arasındaki ilişki

Göletlerin kil çekirdeğinin yapımında kullanılan killi toprak ve Çizelge 3.1’de belirtilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımın likit limit ile şişme potansiyeli değerleri Çizelge 4.34’da verilmiştir.

Çizelge 4.34 Likit limit – şişme potansiyeli değerleri

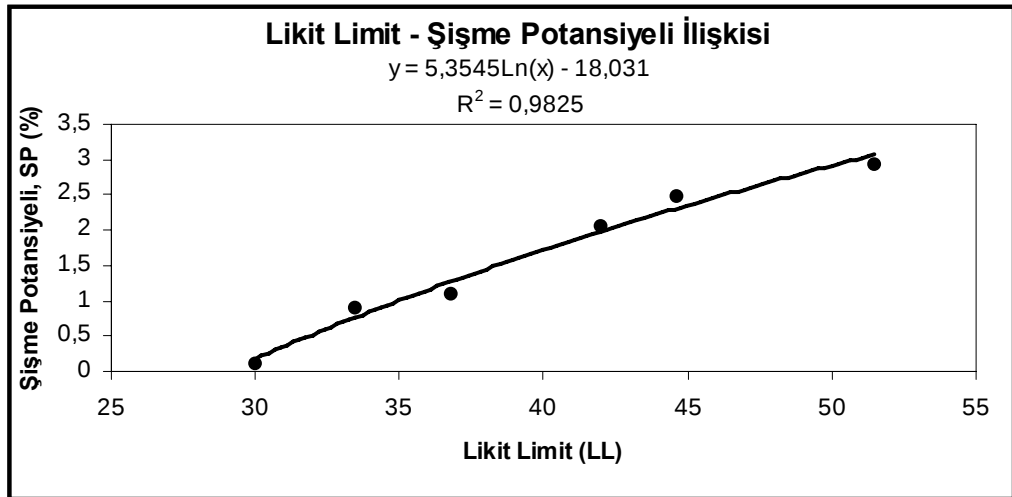
Kum Karışım Oranı (%)	Likit Limit, LL	Şişme Potansiyeli, SP (%)
0	51.5	2.94
10	44.59	2.47
20	42.00	2.06
30	36.80	1.11
40	33.45	0.89
50	30.01	0.11

Çizelge 4.34’de verilen değerlerden, likit limit normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve şişme potansiyeli ordinat ekseninde alınarak bulunan noktaları en iyi niteleyen ve Şekil 4.35’de verilen grafik elde edilmiştir. Bu grafiğin ilişkisi aşağıda verilmiştir.

$$SP = 5.3545 \ln (LL) - 18.031$$

Likit limit parametresine göre şişme potansiyelini veren ve yukarıda belirtilen ilişkinin güvenilirlik durumu % 85.88 olarak saptanmıştır.

Araştırmada materyal olarak kullanılan montmorillonit grubu killi toprak ve Çizelge 3.1’de belirtilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımın likit limit ile şişme basıncı değerleri Çizelge 4.35’de verilmiştir.



Şekil 4.35 Likit limit – şişme potansiyeli ilişkisi

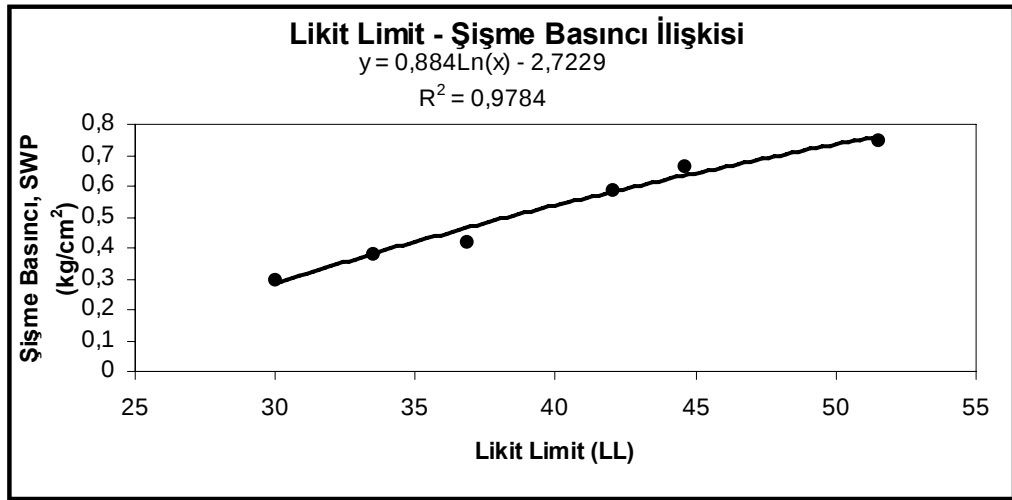
Çizelge 4.35 Likit limit - şişme basıncı değerleri

Kum Karışım Oranı (%)	Likit Limit, LL	Şişme Basıncı, SWP (kg/cm ²)
0	51.50	0.750
10	44.59	0.665
20	42.00	0.590
30	36.80	0.420
40	33.45	0.380
50	30.01	0.300

Çizelge 4.35’de verilen değerlerden, likit limit normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve şişme basıncı ordinat ekseninde alınarak bulunan noktaları en iyi niteleyen ve Şekil 4.36’de verilen grafik elde edilmiştir. Bu grafiğin ilişkisi aşağıda verilmiştir.

$$SWP = 0.884 \ln (LL) - 2.7229$$

Likit limit parametresine göre şişme basıncını veren ve yukarıda belirtilen ilişkinin güvenilirlik durumu % 96.16 olarak saptanmıştır.



Şekil 4.36 Likit limit – şişme basıncı ilişkisi

4.8.2 Plastik limit ile şişme parametreleri arasındaki ilişki

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlasından alınan killi toprak ve Çizelge 3.1’de belirtilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımın plastik limit ile şişme potansiyeli değerleri Çizelge 4.36’da verilmiştir.

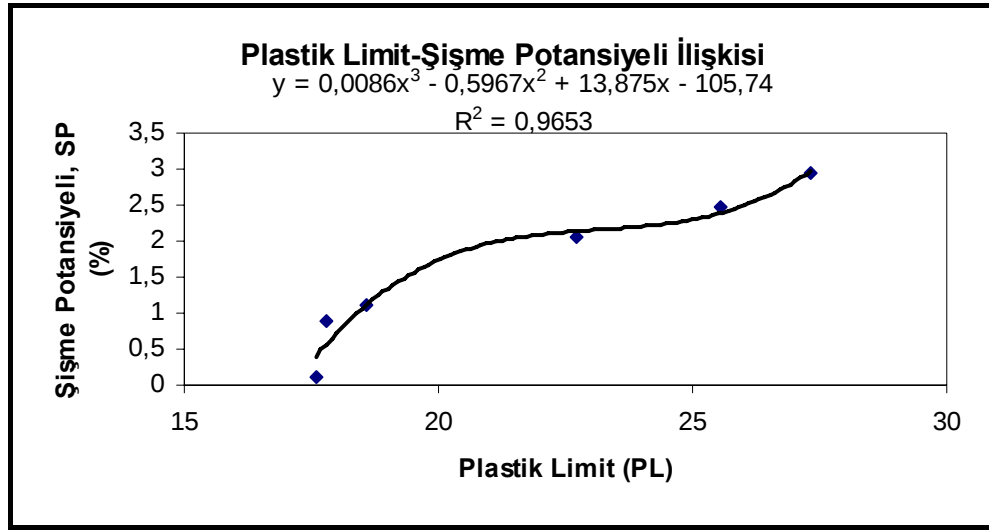
Çizelge 4.36 Plastik limit – şişme potansiyeli değerleri

Kum Karışım Oranı (%)	Plastik Limit, LL	Şişme Potansiyeli, SP (%)
0	27.33	2.94
10	25.55	2.47
20	22.72	2.06
30	18.57	1.11
40	17.80	0.89
50	17.59	0.11

Çizelge 4.36’da verilen değerlerden, plastik limit normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve şişme potansiyeli ordinat ekseninde alınarak bulunan noktaları en iyi niteleyen ve Şekil 4.37’de verilen grafik elde edilmiştir. Bu grafiğin ilişkisi aşağıda verilmiştir.

$$SP = 0.0086 (PL)^3 - 0.5967 (PL)^2 + 13.875 (PL) - 105.74$$

Plastik limit parametresine göre şişme potansiyelini veren ve yukarıda belirtilen ilişkinin güvenilirlik durumu % 86.12 olarak saptanmıştır.



Şekil 4.37 Plastik limit – şişme potansiyeli ilişkisi

Araştırmada materyal olarak kullanılan killi toprak ve Çizelge 3.1’de belirtilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımın plastik limit ile şişme basıncı değerleri Çizelge 4.37’de verilmiştir.

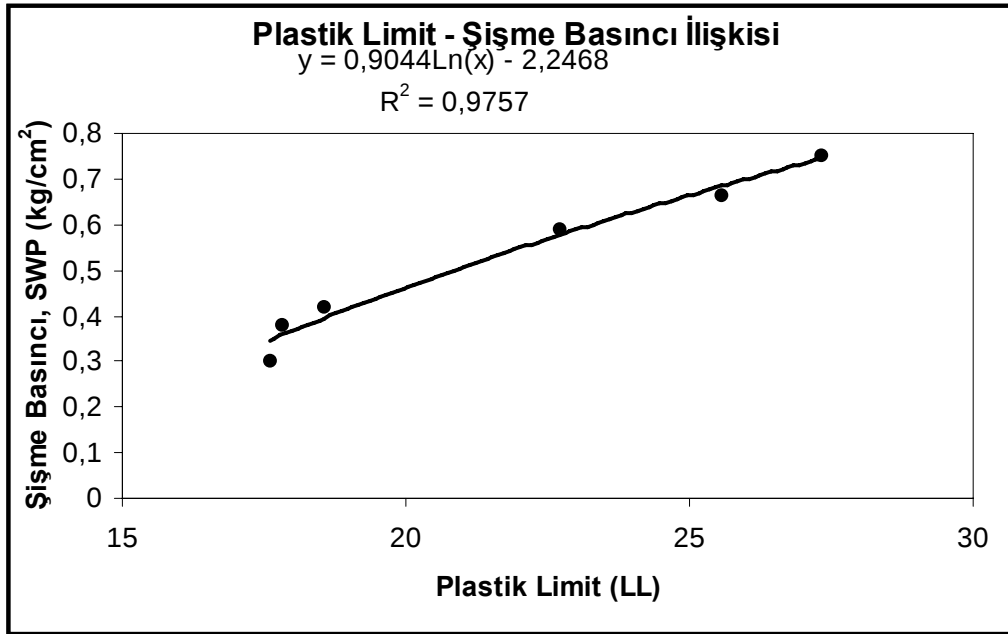
Çizelge 4.37 Plastik limit - şişme basıncı değerleri

Kum Karışım Oranı (%)	Plastik Limit, PL	Şişme Basıncı, SWP (kg/cm ²)
0	27.33	0.750
10	25.55	0.665
20	22.72	0.590
30	18.57	0.420
40	17.80	0.380
50	17.59	0.300

Çizelge 4.37’de verilen değerlerden, plastik limit normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve şişme basıncı ordinat ekseninde alınarak bulunan noktaları en iyi niteleyen ve Şekil 4.38’de verilen grafik elde edilmiştir. Bu grafiğin ilişkisi aşağıda verilmiştir.

$$SWP = 0.9044 \ln (PL) - 2.2468$$

Plastik limit parametresine göre şişme basıncını veren ve yukarıda belirtilen ilişkinin güvenilirlik durumu % 94.51 olarak saptanmıştır.



Şekil 4.38 Plastik limit – şişme basıncı ilişkisi

4.8.3 Büzülme limiti ile şişme parametreleri arasındaki ilişki

Gölet çekirdeğinin yapımında kullanılan montmorillonit grubu killi toprak ve Çizelge 3.1’de belirtilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımın büzülme limiti ile şişme potansiyeli değerleri Çizelge 4.38’de verilmiştir.

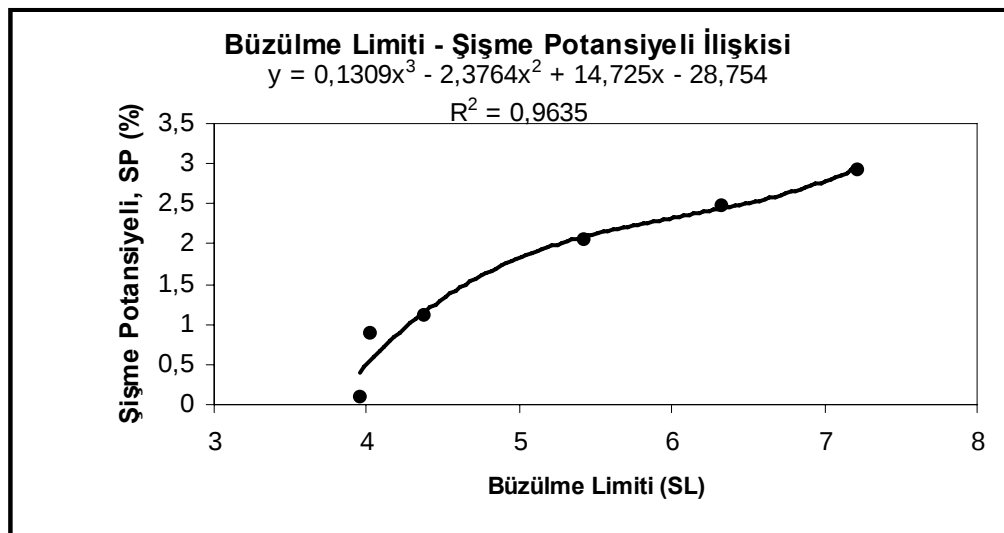
Çizelge 4.38 Büzölme limiti – şişme potansiyeli değerleri

Kum Karışım Oranı (%)	Büzölme Limiti, SL	Şişme Potansiyeli, SP (%)
0	7.21	2.94
10	6.33	2.47
20	5.42	2.06
30	4.38	1.11
40	4.02	0.89
50	3.95	0.11

Çizelge 4.38’de verilen değerlerden, büzölme limiti normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve şişme potansiyeli ordinat ekseninde alınarak bulunan noktaları en iyi niteleyen ve Şekil 4.39’da verilen grafik elde edilmiştir. Bu grafiğin ilişkisi aşağıda verilmiştir.

$$SP = 0.1309 (SL)^3 - 2.3764 (SL)^2 + 14.725 (SL) - 28.754$$

Büzölme limiti parametresine göre şişme potansiyelini veren ve yukarıda belirtilen ilişkinin güvenilirlik durumu % 90.88 olarak saptanmıştır.



Şekil 4.39 Büzölme limiti – şişme potansiyeli ilişkisi

Araştırmada materyal olarak kullanılan killi toprak ve Çizelge 3.1’de belirtilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımın büzülme limiti ile şişme basıncı değerleri Çizelge 4.39’da verilmiştir.

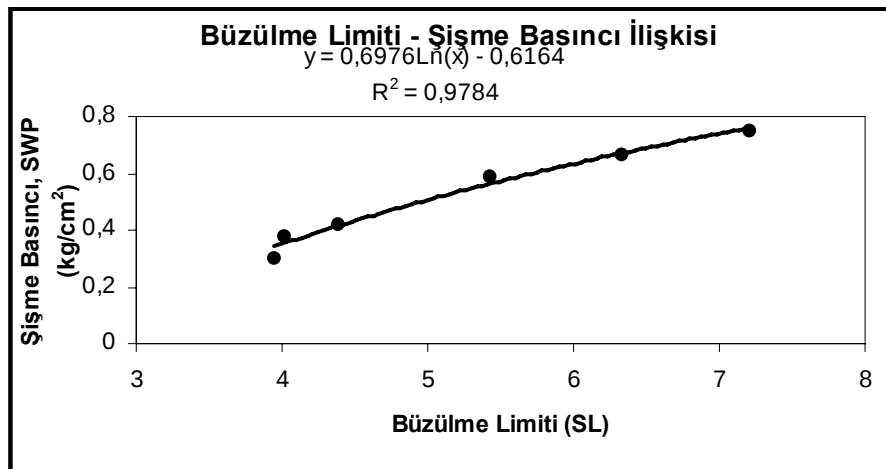
Çizelge 4.39 Büzülme limiti - şişme basıncı değerleri

Kum Karışım Oranı (%)	Büzülme Limiti, SL	Şişme Basıncı, SWP (kg/cm ²)
0	7.21	0.750
10	6.33	0.665
20	5.42	0.590
30	4.38	0.420
40	4.02	0.380
50	3.95	0.300

Çizelge 4.39’da verilen değerlerden, büzülme limiti normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve şişme basıncı ordinat ekseninde alınarak bulunan noktaları en iyi niteleyen ve Şekil 4.40’da verilen grafik elde edilmiştir. Bu grafiğin ilişkisi aşağıda verilmiştir.

$$SWP = 0.6976 \ln (SL) - 0.6164$$

Büzülme limiti parametresine göre şişme basıncını veren ve yukarıda belirtilen ilişkinin güvenilirlik durumu % 95.12 olarak saptanmıştır.



Şekil 4.40 Büzülme limiti – şişme basıncı ilişkisi

4.8.4 Plastisite indeksi ile şişme parametreleri arasındaki ilişki

Araştırmada kullanılan killi toprak ve Çizelge 3.1’de belirtilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımın plastisite indeksi ile şişme potansiyeli değerleri Çizelge 4.40’da verilmiştir.

Çizelge 4.40 Plastisite indeksi - şişme potansiyeli değerleri

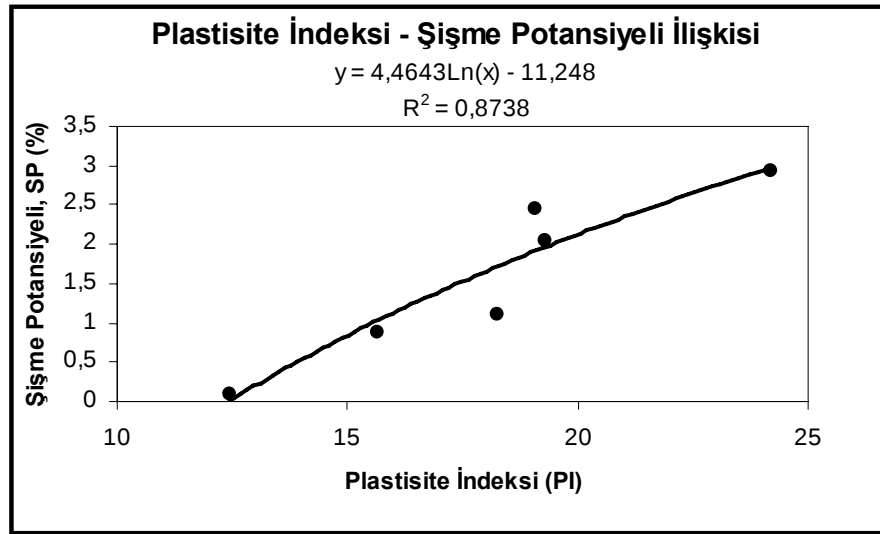
Kum Karışım Oranı (%)	Plastisite İndeksi, PI	Şişme Potansiyeli, SP (%)
0	24.17	2.94
10	19.04	2.47
20	19.28	2.06
30	18.23	1.11
40	15.65	0.89
50	12.42	0.11

Çizelge 4.40’da verilen değerlerden, plastisite indeksi normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve şişme potansiyeli ordinat ekseninde alınarak bulunan noktaları en iyi niteleyen ve Şekil 4.41’de verilen grafik elde edilmiştir. Bu grafiğin ilişkisi aşağıda verilmiştir.

$$SP = 4.4643 \ln (PI) - 11.248$$

Plastisite indeksi parametresine göre şişme potansiyelini veren ve yukarıda belirtilen ilişkinin güvenilirlik durumu % 83.11 olarak saptanmıştır.

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlasından alınan killi toprak ve Çizelge 3.1’de belirtilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımın plastisite indeksi ile şişme basıncı değerleri Çizelge 4.41’de verilmiştir.



Şekil 4.41 Plastisite indeksi – şişme potansiyeli ilişkisi

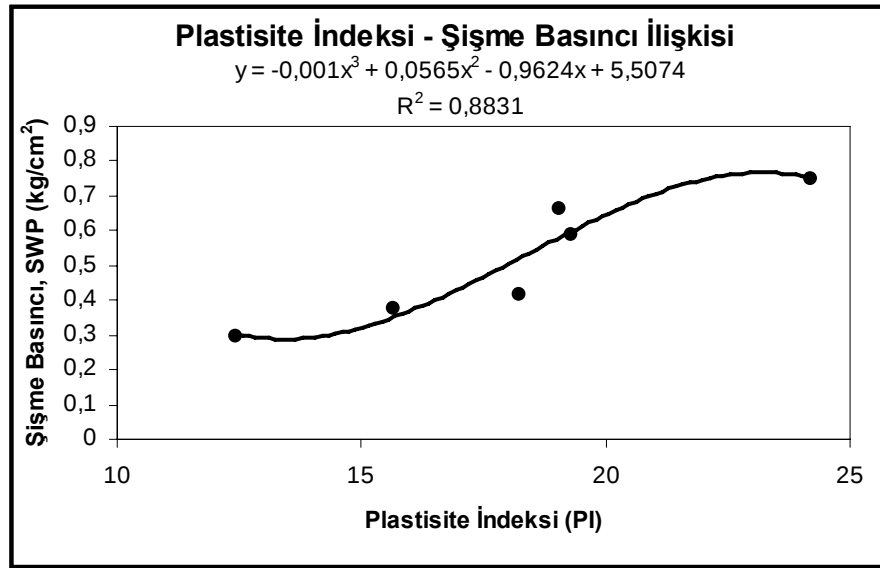
Çizelge 4.41 Plastisite indeksi - şişme basıncı değerleri

Kum Karışım Oranı (%)	Plastisite İndeksi, PI	Şişme Basıncı, SWP (kg/cm ²)
0	24.17	0.750
10	19.04	0.665
20	19.28	0.590
30	18.23	0.420
40	15.65	0.380
50	12.42	0.300

Çizelge 4.41’de verilen değerlerden, plastisite indeksi normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve şişme basıncı ordinat ekseninde alınarak bulunan noktaları en iyi niteleyen ve Şekil 4.42’de verilen grafik elde edilmiştir. Bu grafiğin ilişkisi aşağıda verilmiştir.

$$SWP = -0.001 (PI)^3 + 0.0565 (PI)^2 - 0.9624 (PI) + 5.5074$$

Plastisite indeksi parametresine göre şişme basıncını veren ve yukarıda belirtilen ilişkinin güvenilirlik durumu % 76.48 olarak saptanmıştır.



Şekil 4.42 Plastisite indeksi – şişme basıncı ilişkisi

4.8.5 Likidite indeksi ile şişme parametreleri arasındaki ilişki

Araştırmada kullanılan killi toprak ve Çizelge 3.1’de belirtilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımın likidite indeksi ile şişme potansiyeli değerleri Çizelge 4.42’de verilmiştir.

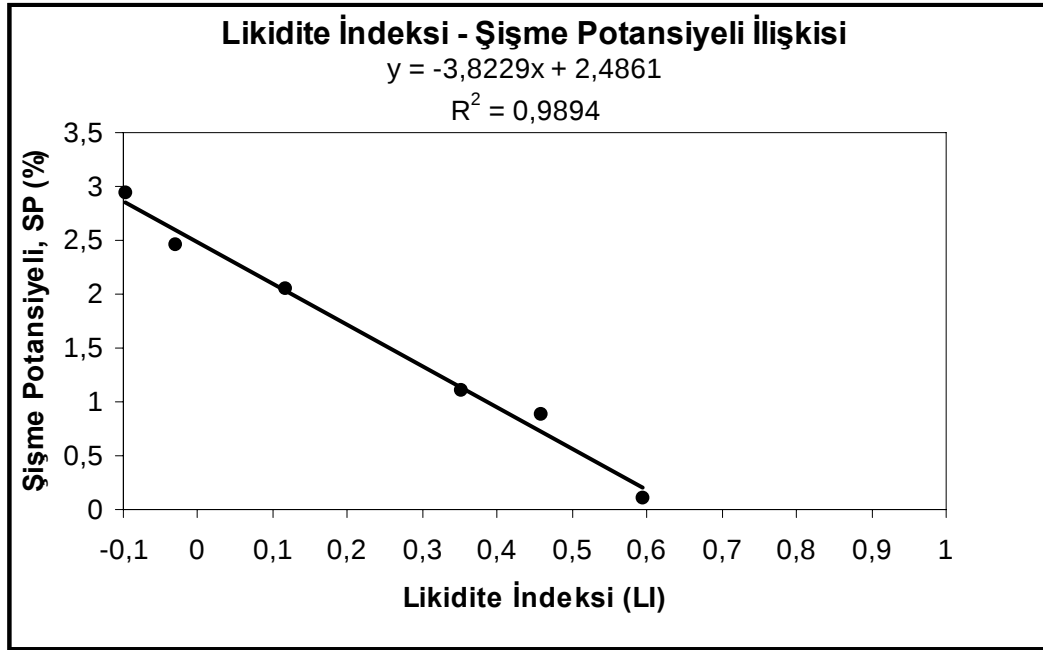
Çizelge 4.42 Likidite indeksi - şişme potansiyeli değerleri

Kum Karışım Oranı (%)	Likidite İndeksi, LI	Şişme Potansiyeli, SP (%)
0	-0.097	2.94
10	-0.030	2.47
20	0.117	2.06
30	0.352	1.11
40	0.459	0.89
50	0.595	0.11

Çizelge 4.42’de verilen değerlerden, likidite indeksi normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve şişme potansiyeli ordinat ekseninde alınarak bulunan noktaları en iyi niteleyen ve Şekil 4.43’de verilen grafik elde edilmiştir. Bu grafiğin ilişkisi aşağıda verilmiştir.

$$SP = -3.8229 (LI) + 2.4861$$

Likidite indeksi parametresine göre şişme potansiyelini veren ve yukarıda belirtilen ilişkinin güvenilirlik durumu % 94.06 olarak saptanmıştır.



Şekil 4.43 Likidite indeksi – şişme potansiyeli ilişkisi

Araştırmada materyal olarak kullanılan ve Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlasından alınan montmorillonit grubu killi toprak ile Çizelge 3.1’de belirtilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımın likidite indeksi ile şişme basıncı değerleri Çizelge 4.43’de verilmiştir.

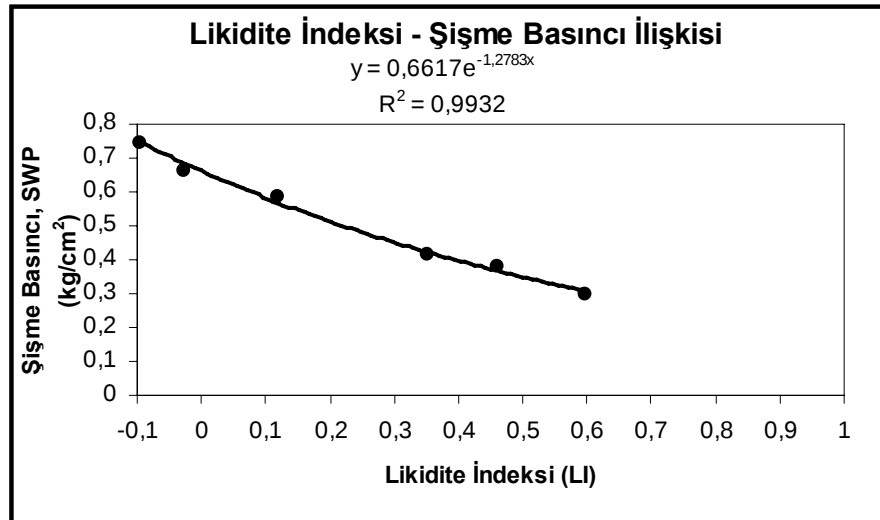
Çizelge 4.43 Likidite indeksi - şişme basıncı değerleri

Kum Karışım Oranı (%)	Likidite İndeksi, LI	Şişme Basıncı, SWP (kg/cm ²)
0	-0.097	0.750
10	-0.030	0.665
20	0.117	0.590
30	0.352	0.420
40	0.459	0.380
50	0.595	0.300

Çizelge 4.43’de verilen değerlerden, likidite indeksi normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve şişme basıncı ordinat ekseninde alınarak bulunan noktaları en iyi niteleyen ve Şekil 4.44’de verilen grafik elde edilmiştir. Bu grafiğin ilişkisi aşağıda verilmiştir.

$$SWP = 0.6617 e^{-1,2783 (LI)}$$

Likidite indeksi parametresine göre şişme basıncını veren ve yukarıda belirtilen ilişkinin güvenilirlik durumu % 97.72 olarak saptanmıştır.



Şekil 4.44 Likidite indeksi – şişme basıncı ilişkisi

4.8.6 Büzölme indeksi ile şişme parametreleri arasındaki ilişki

Killi toprak ve Çizelge 3.1’de belirtilen oranlarda katılarak elde edilen karışımın büzölme indeksi ile şişme potansiyeli değerleri Çizelge 4.44’de verilmiştir.

Çizelge 4.44 Büzölme indeksi - şişme potansiyeli değerleri

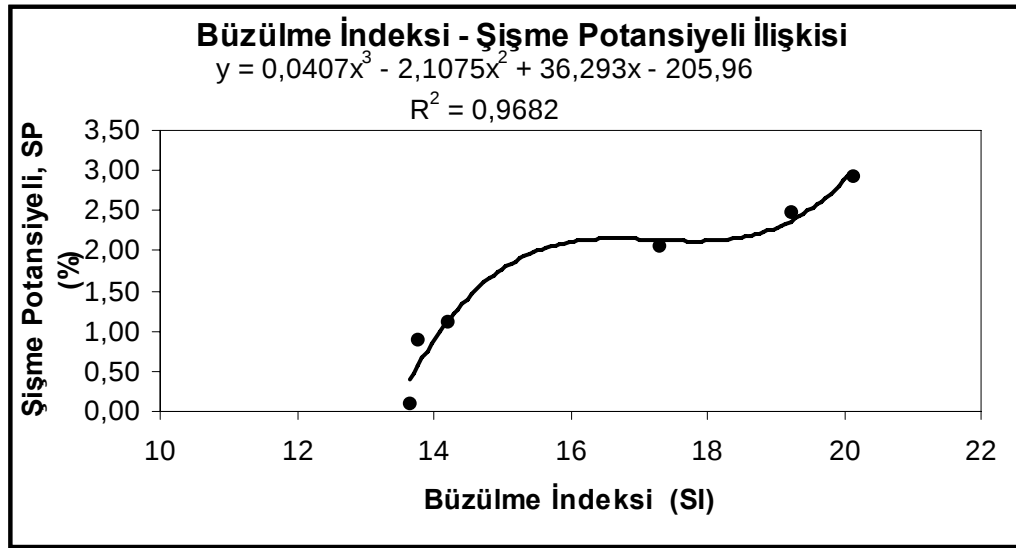
Kum Karışım Oranı (%)	Büzölme İndeksi, SI	Şişme Potansiyeli, SP (%)
0	20.12	2.94
10	19.22	2.47
20	17.30	2.06
30	14.19	1.11
40	13.78	0.89
50	13.64	0.11

Çizelge 4.44’de verilen değerlerden, büzölme indeksi normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve şişme potansiyeli ordinat ekseninde alınarak bulunan noktaları en iyi niteleyen ve Şekil 4.45’de verilen grafik elde edilmiştir. Bu grafiğin ilişkisi aşağıda verilmiştir.

$$SP = 0.0407 (SI)^3 - 2.1075 (SI)^2 + 36.293 (SI) - 205.96$$

Büzölme indeksi parametresine göre şişme potansiyelini veren ve yukarıda belirtilen ilişkinin güvenilirlik durumu % 85.53 olarak saptanmıştır.

Araştırmada kullanılan killi toprak ve Çizelge 3.1’de belirtilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımın büzölme indeksi ile şişme basıncı değerleri Çizelge 4.45’de verilmiştir.



Şekil 4.45 Büzölme indeksi – şişme potansiyeli ilişkisi

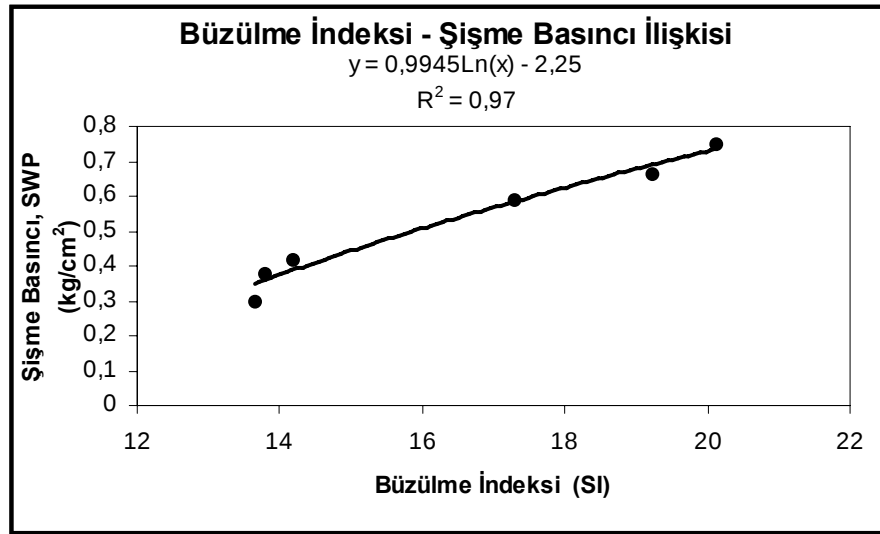
Çizelge 4.45 Büzölme indeksi - şişme basıncı değerleri

Kum Karışım Oranı (%)	Büzölme İndeksi, SI	Şişme Basıncı, SWP (kg/cm ²)
0	20.12	0.750
10	19.22	0.665
20	17.30	0.590
30	14.19	0.420
40	13.78	0.380
50	13.64	0.300

Çizelge 4.45’de verilen değerlerden, büzölme indeksi normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve şişme basıncı ordinat ekseninde alınarak bulunan noktaları en iyi niteleyen ve Şekil 4.46’da verilen grafik elde edilmiştir. Bu grafiğin ilişkisi aşağıda verilmiştir.

$$SWP = 0.9945 \ln (SI) - 2.25$$

Büzölme indeksi parametresine göre şişme basıncını veren ve yukarıda belirtilen ilişkinin güvenilirlik durumu % 91.91 olarak saptanmıştır.



Şekil 4.46 Büzölme indeksi – şişme basıncı ilişkisi

4.8.7 Sıkışma karakteristikleri ile şişme parametreleri arasındaki ilişki

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlasından alınan killi toprak ve Çizelge 3.1’de belirtilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımın maksimum kuru birim ağırlık ile şişme potansiyeli değerleri Çizelge 4.46’da verilmiştir.

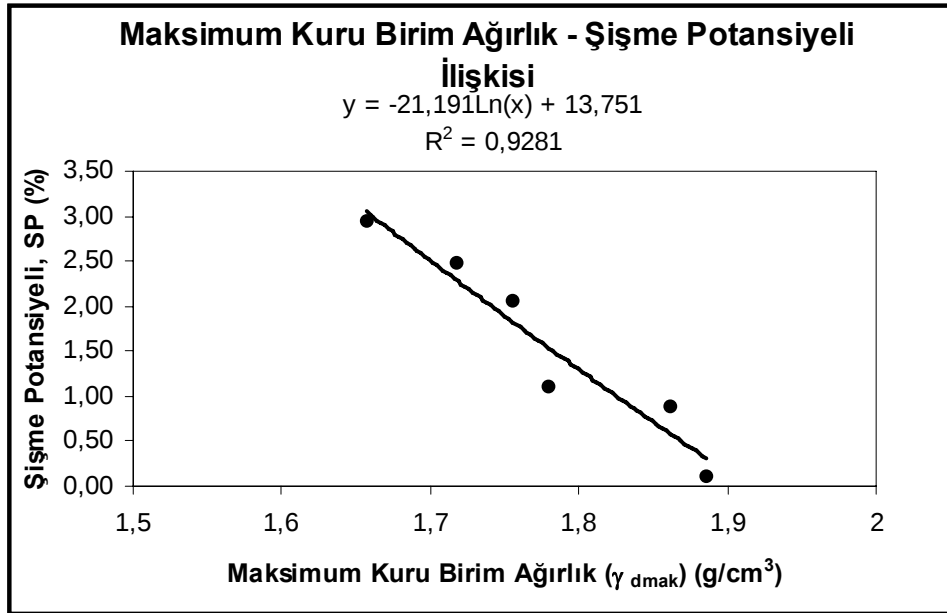
Çizelge 4.46 Maksimum kuru birim ağırlık - şişme potansiyeli değerleri

Kum Karışım Oranı (%)	Maksimum Kuru Birim Ağırlık, γ_{dmak} (g/cm ³)	Şişme Potansiyeli, SP (%)
0	1.657	2.94
10	1.718	2.47
20	1.756	2.06
30	1.780	1.11
40	1.861	0.89
50	1.886	0.11

Çizelge 4.46’da verilen değerlerden, maksimum kuru birim ağırlık normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve şişme potansiyeli ordinat ekseninde alınarak bulunan noktaları en iyi niteleyen ve Şekil 4.47’de verilen grafik elde edilmiştir. Bu grafiğin ilişkisi aşağıda verilmiştir.

$$SP = -21.191 \ln(\gamma_{dmak}) + 13.751$$

Maksimum kuru birim ağırlık parametresine göre şişme potansiyelini veren ve yukarıda belirtilen ilişkinin güvenilirlik durumu % 86.87 olarak saptanmıştır.



Şekil 4.47 Maksimum kuru birim ağırlık – şişme potansiyeli ilişkisi

Göletlerde kil çekirdek yapımında kullanılan killi toprak ve Çizelge 3.1’de belirtilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımın maksimum kuru birim ağırlık ile şişme basıncı değerleri Çizelge 4.47’de verilmiştir.

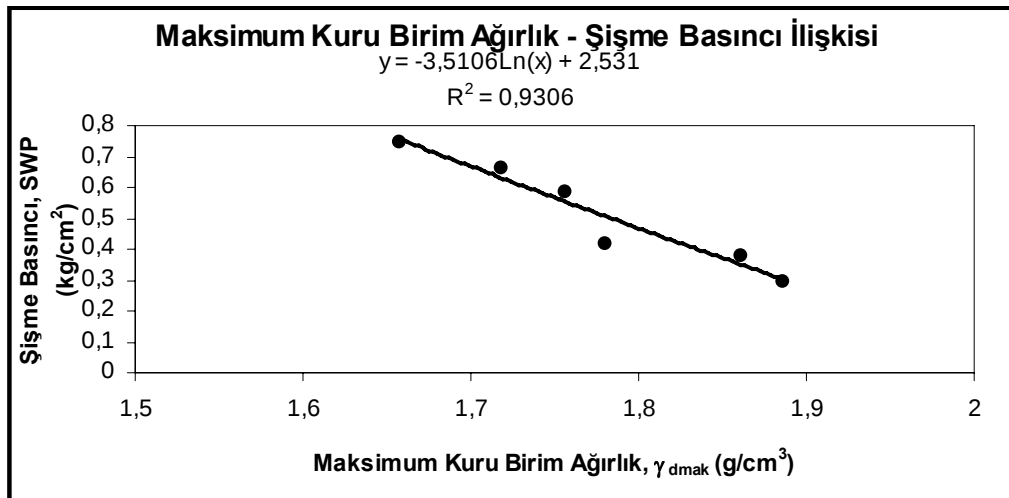
Çizelge 4.47 Maksimum kuru birim ağırlık - şişme basıncı değerleri

Kum Karışım Oranı (%)	Maksimum Kuru Birim Ağırlık, γ_{dmak} , (g/cm ³)	Şişme Basıncı SWP , (kg/cm ²)
0	1.657	0.750
10	1.718	0.665
20	1.756	0.590
30	1.780	0.420
40	1.861	0.380
50	1.886	0.300

Çizelge 4.47’de verilen değerlerden, maksimum kuru birim ağırlık normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve şişme basıncı ordinat ekseninde alınarak bulunan noktaları en iyi niteleyen ve Şekil 4.48’de verilen grafik elde edilmiştir. Bu grafiğin ilişkisi aşağıda verilmiştir.

$$SWP = -3.5106 \ln(\gamma_{dmak}) + 2.531$$

Maksimum kuru birim ağırlık parametresine göre şişme basıncını veren ve yukarıda belirtilen ilişkinin güvenilirlik durumu % 93.40 olarak saptanmıştır.



Şekil 4.48 Maksimum kuru birim ağırlık - şişme basıncı ilişkisi

Araştırmada materyal olarak kullanılan killi toprak ve Çizelge 3.1’de belirtilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımın optimum nem içeriği ile şişme potansiyeli değerleri Çizelge 4.48’de verilmiştir.

Çizelge 4.48 Optimum nem içeriği - şişme potansiyeli değerleri

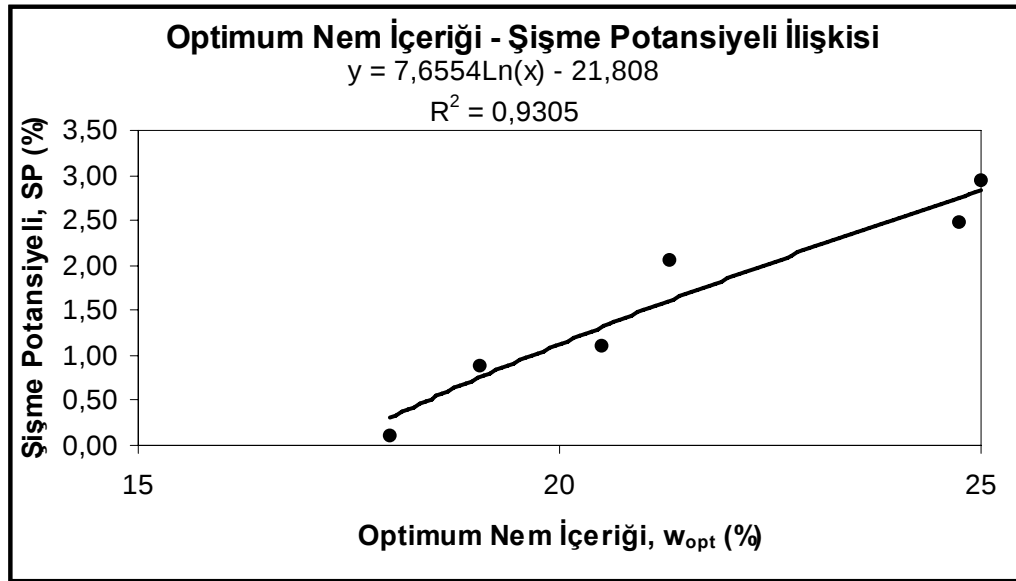
Kum Karışım Oranı (%)	Optimum Nem İçeriği, w_{opt} (%)	Şişme Potansiyeli, SP (%)
0	25.01	2.94
10	24.75	2.47
20	21.30	2.06
30	20.50	1.11
40	19.05	0.89
50	17.98	0.11

Çizelge 4.48’de verilen değerlerden, optimum nem içeriği normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve şişme potansiyeli ordinat ekseninde alınarak bulunan noktaları en iyi niteleyen ve Şekil 4.49’da verilen grafik elde edilmiştir. Bu grafiğin ilişkisi aşağıda verilmiştir.

$$SP = 7.6554 \ln (w_{opt}) - 21.808$$

Optimum nem içeriği parametresine göre şişme potansiyelini veren ve yukarıda belirtilen ilişkinin güvenilirlik durumu % 84.81 olarak saptanmıştır.

Araştırmada materyal olarak kullanılan montmorillonit grubu killi toprak ve Çizelge 3.1’de belirtilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımın optimum nem içeriği ile şişme basıncı değerleri Çizelge 4.49’de verilmiştir.



Şekil 4.49 Optimum nem içeriği - şişme potansiyeli ilişkisi

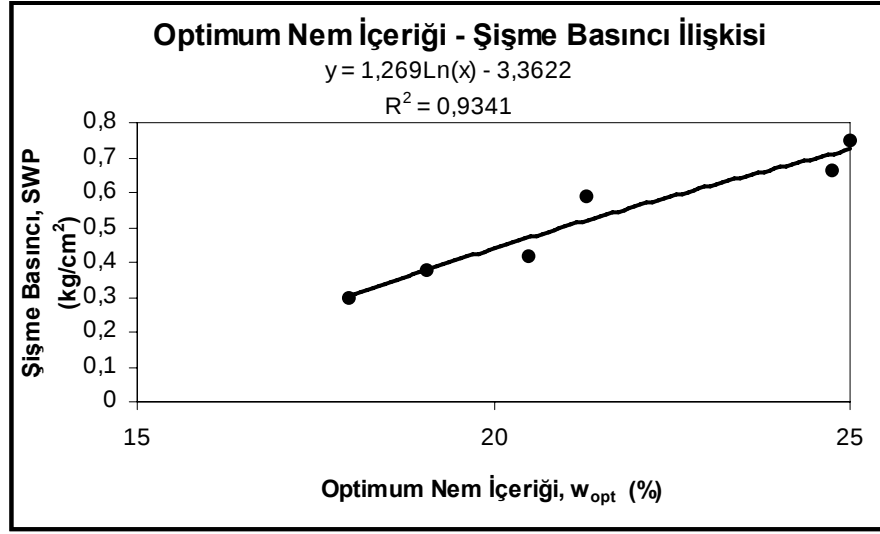
Çizelge 4.49 Optimum nem içeriği - şişme basıncı değerleri

Kum Karışım Oranı (%)	Optimum Nem İçeriği, w_{opt} (%)	Şişme Basıncı, SWP (kg/cm ²)
0	25.01	0.750
10	24.75	0.665
20	21.30	0.590
30	20.50	0.420
40	19.05	0.380
50	17.98	0.300

Çizelge 4.49’da verilen değerlerden, optimum nem içeriği normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve şişme basıncı ordinat ekseninde alınarak bulunan noktaları en iyi niteleyen ve Şekil 4.50’de verilen grafik elde edilmiştir. Bu grafiğin ilişkisi aşağıda verilmiştir.

$$SWP = 1.269 \ln (w_{opt}) - 3.3622$$

Optimum nem içeriği parametresine göre şişme basıncını veren ve yukarıda belirtilen ilişkinin güvenilirlik durumu % 93.92 olarak saptanmıştır.



Şekil 4.50 Optimum nem içeriği -şişme basıncı ilişkisi

4.8.8 Kohezyon kuvveti ile şişme parametreleri arasındaki ilişki

Denemelerde materyal olarak kullanılan killi toprak ve Çizelge 3.1’de belirtilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımın kohezyon kuvveti ile şişme potansiyeli değerleri Çizelge 4.50’de verilmiştir.

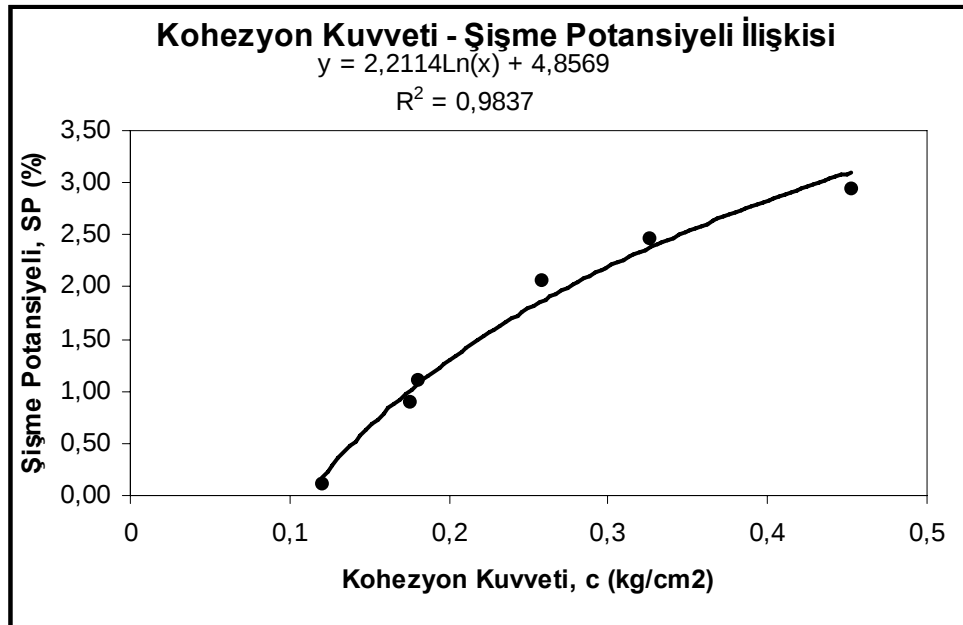
Çizelge 4.50 Kohezyon kuvveti - şişme potansiyeli değerleri

Kum Karışım Oranı (%)	Kohezyon Kuvveti, c (kg/cm ²)	Şişme Potansiyeli, SP (%)
0	0.453	2.94
10	0.326	2.47
20	0.258	2.06
30	0.180	1.11
40	0.175	0.89
50	0.120	0.11

Çizelge 4.50’de verilen değerlerden, kohezyon kuvveti normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve şişme potansiyeli ordinat ekseninde alınarak bulunan noktaları en iyi niteleyen ve Şekil 4.51’de verilen grafik elde edilmiştir. Bu grafiğin ilişkisi aşağıda verilmiştir.

$$SP = 2.2114 \ln(c) + 4.8569$$

Kohezyon kuvveti parametresine göre şişme potansiyelini veren ve yukarıda belirtilen ilişkinin güvenilirlik durumu % 88.34 olarak saptanmıştır.



Şekil 4.51 Kohezyon kuvveti -şişme potansiyeli ilişkisi

Araştırmada kullanılan killi toprak ve Çizelge 3.1’de belirtilen oranlarda kum katılarak elde edilen karışımın kohezyon kuvveti ile şişme basıncı değerleri Çizelge 4.51’de verilmiştir.

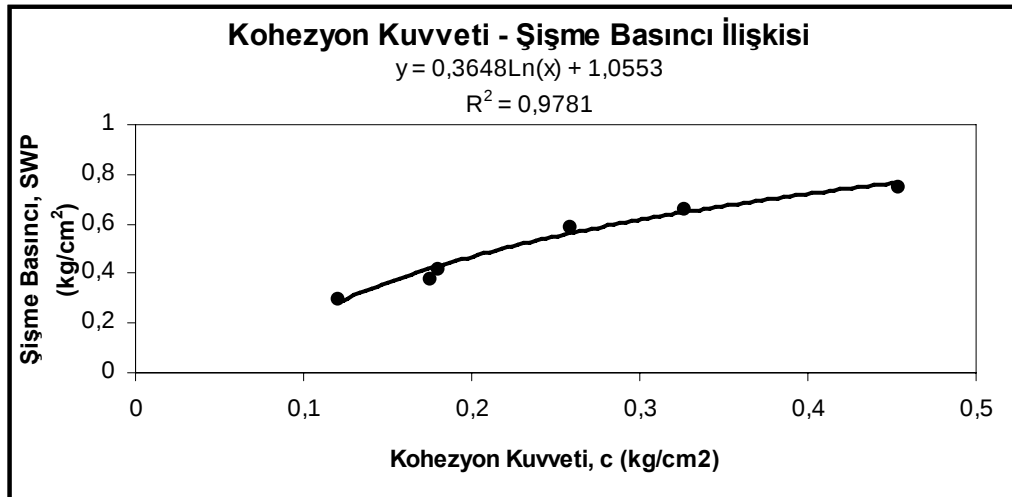
Çizelge 4.51 Kohezyon kuvveti - şişme basıncı değerleri

Kum Karışım Oranı (%)	Kohezyon Kuvveti, c (kg/cm ²)	Şişme Basıncı, SWP (kg/cm ²)
0	0.453	0.750
10	0.326	0.665
20	0.258	0.590
30	0.180	0.420
40	0.175	0.380
50	0.120	0.300

Çizelge 4.51’de verilen değerlerden, kohezyon kuvveti normal koordinat sisteminin apsis ekseninde ve şişme basıncı ordinat ekseninde alınarak bulunan noktaları en iyi niteleyen ve Şekil 4.52’de verilen grafik elde edilmiştir. Bu grafiğin ilişkisi aşağıda verilmiştir.

$$SWP = 0.3648 \ln(c) + 1.0553$$

Kohezyon kuvveti parametresine göre şişme basıncını veren ve yukarıda belirtilen ilişkinin güvenilirlik durumu % 95.28 olarak saptanmıştır.



Şekil 4.52 Kohezyon kuvveti -şişme basıncı ilişkisi

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Göletlerin kil çekirdeğinin inşasında kullanılan montmorillonit grubu killi toprağın mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla yapılan bu araştırma ile ilgili olarak yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ve bunlara ilişkin tartışma aşağıda verilmiştir.

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlasından elde edilen kilin Şekil 4.1’de verilen X-ışını kırınımı grafiğinden görüldüğü gibi montmorillonit grubu olduğu saptanmıştır.

Denemede materyal olarak kullanılan killi toprağın içinde, Şekil 4.2’de verilen grafikten görüldüğü gibi %50 kadar kil boyutlu tane bulunmaktadır. Ayrıca söz konusu grafikten, bu toprağı oluşturan tanelerin, yeknesak bir dağılım gösterdiği söylenebilir.

Araştırmada kullanılan killi toprak ve buna hacim olarak %10, %20, %30, %40 ve %50 kadar kum verildikten sonra sağlanan karışımın likit limit değerleri Çizelge 4.10’da görüldüğü gibi sırasıyla %51.50, %44.59, %42.00, %36.80, %33.45 ve %30.01 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre, killi toprağı verilen kum miktarı arttıkça likit limit değerinin azaldığı söylenebilir. Diğer taraftan, kum miktarı artan killi toprağın daha düşük nem değerlerinde akıcı bir duruma geçtiği söylenebilir.

Araştırmada kullanılan ve montmorillonit grubu kil içeren toprak ve buna hacim olarak %10, %20, %30, %40 ve %50 kadar kum verildikten sonra elde edilen karışımın plastik limit değerleri, Çizelge 4.11’de görüldüğü gibi sırasıyla %27.33, %25.55, %22.72, %18.57, %17.80 ve %17.59 olarak bulunmuştur. Buradan, araştırmada kullanılan montmorillonit grubu killi toprağın kum içeriğı arttıkça plastik limit değerinin azaldığı söylenebilir.

Öte yandan, Şekil 4.10’da verilen plastik limitin değişimini gösteren grafiğı göre, plastik limitin hacim olarak %30 oranında kum karıştırana kadar hızlı bir şekilde azaldığı ve bu miktardan sonra azalmanın yavaşladığı veya kararlı bir duruma geldiği söylenebilir.

Araştırmada materyal olarak kullanılan ve montmorillonit grubu kil içeren toprak ile buna hacim olarak %10, %20, %30, %40 ve %50 miktarında kum ilave edilerek elde edilen karışımın büzülme limiti değerleri Çizelge 4.12’de görüldüğü gibi sırasıyla %7.21, %6.33, %5.42, %4.38, %4.02 ve %3.95 olarak bulunmuştur. Bu cetvelde verilen değerlerden görüldüğü gibi montmorillonit grubu kil içeren toprağa verilen kum miktarı arttıkça, büzülme limitinde bir azalma olmaktadır.

Şekil 4.11’de verilen ve büzülme limiti değerlerindeki değişimi gösteren grafiğe göre, büzülme limiti değerlerindeki azalmanın plastik limit değerlerine benzer bir şekilde %30 oranından sonra oldukça yavaşladığı veya kararlı bir duruma geldiği söylenebilir.

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlasından alınan ve materyal olarak kullanılan toprak ile buna hacim olarak %10, %20, %30, %40 ve %50 oranında kum verildikten sonra elde edilen karışımın optimum sıkışma miktarındaki kuru ağırlığa göre nem miktarları Çizelge 4.22’de görüldüğü gibi sırasıyla %25.01, %24.75, %21.30, %20.50, %19.05 ve %17.98 olarak bulunmuştur.

Şekil 4.22’de verilen ve optimum nem içeriklerindeki değişimi gösteren grafikten görüldüğü gibi, kum ile karıştırılan killi toprağın optimum nem içerikleri kum miktarının artmasıyla birlikte azalmaktadır.

Araştırmada kullanılan killi toprak ve buna hacim olarak %10, %20, %30, %40 ve %50 miktarlarında katılan kum ile elde edilen karışımın optimum nem içeriğindeki sıkışma miktarlarını gösteren maksimum kuru birim ağırlık değerleri Çizelge 4.23’de görüldüğü gibi sırasıyla 1.657, 1.718, 1.756, 1.780, 1.861 ve 1.886 gr/cm³ olarak bulunmuştur.

Kuşkusuz killi toprağa verilen su, boşluklarda tutuldukça toprak örneğinin kuru birim ağırlık değeri giderek artmıştır. Ancak, boşluklar tamamen su ile dolu duruma geldikten sonra söz konusu birim ağırlık azalmıştır. Şekil 4.23’de verilen grafiğe göre, maksimum kuru birim ağırlık değerlerinin %30 oranından sonra hızlı bir artış gösterdiği söylenebilir.

Araştırma toprağının sıkışma durumunu gösteren ve Şekil 4.21’de verilen eğrilere göre, optimum sıkışma miktarının %30 kum karışım oranına kadar birbirine yakın olduğu ve eş değer bir artış gösterdiği, ancak hacim olarak %30 kum karışım miktarından sonra optimum sıkışma değerlerini gösteren kuru birim ağırlıkta, yüksek bir artış olduğu görülmüştür. Buradan, killi toprağın optimum miktarda sıkışması için hacim olarak %30 kum oranının uygun olacağı söylenebilir

Araştırmada materyal olarak kullanılan Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlasından alınan montmorillonit grubu killi toprak ile buna hacim olarak %10, %20, %30, %40 ve %50 miktarlarında kum verilerek elde edilen karışımın permeabilite katsayıları Çizelge 4.24’de görüldüğü gibi sırasıyla 6.185×10^{-8} , 9.947×10^{-8} , 1.759×10^{-7} , 3.877×10^{-7} , 5.693×10^{-7} , 1.366×10^{-6} cm/s olarak bulunmuştur.

Permeabilite sonuçlarını gösteren çizelge incelendiği zaman kum miktarındaki artışa bağlı olarak permeabilite katsayısının arttığı gözlenmiştir. Bu durum, toprağın içinde bulunan tanelerin boyutu ile yakın bir uyum göstermektedir.

Montmorillonit grubu killi toprak ve buna değişik miktarlarda kum verildikten sonra elde edilen karışımın permeabilite katsayılarındaki değişimi gösteren Şekil 4.24’den görüldüğü gibi, permeabilite katsayılarında %30 karışım oranına kadar artışın normal olduğu, %30 kum karışım oranından sonra bunun fazlalaştığı gözlenmiştir. Bu durumda, göletlerde kullanılan montmorillonit grubu killi toprağa hacim olarak %30 oranında kum karıştırmanın uygun olacağı söylenebilir

Araştırmada materyal olarak kullanılan killi toprak ve buna hacim olarak %10, %20, %30, %40 ve %50 oranında kum verildikten sonra edilen karışımın şişme potansiyelleri Çizelge 4.25’de görüldüğü gibi sırasıyla %2.94, %2.47, %2.06, %1.11, %0.89 ve %0.11 olarak bulunmuştur. Bu çizelge de verilen değerler incelendiği zaman, montmorillonit grubu killi toprağa verilen kum miktarı arttıkça şişme potansiyelinde bir azalma olduğu söylenebilir.

Gölet çekirdeğinin yapımında kullanılan killi toprağın büyük oranda şişme göstermesi kuşkusuz istenmeyen bir durumdur. Bu çalışmada kullanılan montmorillonit grubu killi toprağa hacim olarak %30 oranında kum karıştırıldıktan sonra elde edilen şişme miktarı %1.11 olmasına karşılık hacim olarak %50 oranında kum karıştırıldığında bu miktar %0.11'e kadar düşmüştür. Buradan, killi toprağa %50 oranında kum karıştırıldığı zaman şişmenin göz önüne alınmayacak bir düzeye kadar ineceği veya şişme olmayacağı söylenebilir.

Şişme potansiyelinde görülen bu azalmaların temel nedeni olarak, ortaya çıkan şişmenin karıştırılan kumun boşluklarında tutulması gösterilebilir. Kum karışımının %50 olduğu durumda, şişme miktarının neredeyse tamamı kumun içindeki boşluklarda tutulmuş olmasına rağmen bu oran permeabilitede aşırı bir artış ortaya çıkardığından önerilmemiştir. Permeabilitede %50 lik karışıma oranla çok daha az bir artış sağlayan ve şişme miktarını da büyük ölçüde içindeki boşluklarda tutan %30 oranındaki kum, göletin kil çekirdeğinde meydana gelen şişmeyi kontrol eden miktar olarak önerilebilir.

Araştırmada kullanılan montmorillonit grubu killi toprak ile buna hacim olarak %10, %20, %30, %40 ve %50 miktarlarında kum verildikten sonra elde edilen karışımın şişme basınçları Çizelge 4.26'de görüldüğü gibi sırasıyla 0.750, 0.665, 0.590, 0.420, 0.380 ve 0.300 kg/cm² olarak bulunmuştur. Buradan, çalışmada kullanılan killi toprağa katılan kum miktarı arttıkça şişme basıncının azaldığı söylenebilir.

Şişme basıncı değerlerindeki değişimi gösteren ve Şekil 4.26'da verilen grafikten görüldüğü gibi, şişme basıncının %30 kum karışım oranına kadar hızlı bir düşüş gösterdiği ve söz konusu düşüşün bundan sonra oldukça yavaşladığı söylenebilir. Şişme yüzdelерinde olduğu gibi şişme basınçlarındaki azalmaların da başlıca nedeni, ortaya çıkan şişmenin, çalışmada kullanılan kile katılan kumun boşluklarında tutulması ve ortaya çıkacak basınçların da engellenmesi olarak gösterilebilir. Buradan, montmorillonit grubu killi toprağın şişme basıncı yönünden de %30 oranında kum ile karıştırılmasının uygun olacağı öne sürülebilir.

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme tarlasından alınan montmorillonit grubu killi toprak ile buna hacim olarak %10, %20, %30, %40 ve %50 miktarlarında kum verildikten sonra elde edilen karışımın üç eksenli kesme testleri sonucu elde edilen kohezyon kuvvetleri Çizelge 4.33’de görüldüğü gibi sırasıyla 0.453, 0.326, 0.258, 0.180, 0.175, ve 0.120 kg/cm² olarak bulunmuştur.

Kohezyon kuvvetlerinde, killi toprağa karıştırılan kum miktarındaki artışa bağlı olarak ortaya çıkan değişimi gösteren Şekil 4.33’den görüldüğü gibi, diğer denemelerde olduğu gibi %30 luk kum karışım oranı bu denemede de belirgin bir özellik göstermektedir.

Kohezyon kuvveti %30 kum karışım oranına kadar hızlı bir düşüş göstermiş ve bundan sonra söz konusu düşüş yavaşlamıştır. Öte yandan, %30 ile %40 karışım oranları arasında sıfıra yakın bir azalma göstererek sabit kalmıştır.

Kile karıştırılan kumun temel mühendislik karakteristiklerinde yaptığı değişimin incelendiği bu araştırma sonunda, yukarıda verilen değerlendirmelerin ışığı altında, göletlerin kil çekirdeğinin yapımında kullanılan montmorillonit grubu killi topraklara %30 oranında kumun karıştırılmasının uygun olacağı söylenebilir. Söz konusu karışım miktarında, hem permeabilite katsayısı istenen seviyeler içersinde kalmakta hem de şişme miktarının büyük bir bölümü toprağın içindeki boşluklarda tutulmaktadır. Bu şekilde hazırlanan toprağın, çekirdek içersinden meydana gelen sızma miktarını kontrol altında tutacağı ve nem miktarına bağlı olarak meydana gelen şişmeyi de kontrol edeceği söylenebilir.

Araştırmada killi toprağın temel mühendislik karakteristiklerine göre elde edilen şişme potansiyeli ve şişme basıncı ilişkileri incelenmiş ve bu karakteristiklerden yararlanarak şişme potansiyeli ve şişme basıncı tahmininde kullanmak amacıyla bir takım ampirik eşitlikler elde edilmiştir. Likit limit, plastik limit, büzülme limiti, plastisite indeksi, likidite indeksi, büzülme indeksi, maksimum kuru birim ağırlık, optimum nem içeriği ve kohezyon kuvveti ile şişme potansiyeli ve şişme basıncı tahminine yönelik ampirik

eşitlikler incelendiğinde, tümünün hem şişme potansiyeli hem de şişme basıncı tahmininde sağlıklı ilişkiler sergilediği gözlenmiştir.

Bu araştırmada, ülkemizde en yaygın olarak bulunan ve bu nedenle ülkemizin birçok yöresinde inşa edilen toprak dolgu barajların kil çekirdeğinde kullanıldığından, hakim kil minerali montmorillonit olan toprak grubunda, belirli oranlarda kum ilavesinin temel mühendislik karakteristikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu konuda gerçekleştirilebilecek yeni araştırmalarda diğer iki tip hakim kil minerali (illit ve kaolinit) içeren toprak grupları da göz önünde bulundurularak farklı oranlarda kum karışımları kullanılarak kum karışımının mühendislik karakteristiklerinde ortaya çıkaracağı değişimler incelenebilir.

Bunun yanı sıra, kum ile birlikte farklı doğal ve kimyasal katkı maddeleri veya bir takım atık ürünlerin de mühendislik karakteristiklerini iyileştirici etkisi incelenip daha kullanışlı veya daha ekonomik yapı malzemeleri önerilebilir.

KAYNAKLAR

- Akawwi, E. and Al-Kharabsheh, A. 2000. Lime Stabilization Effects on Geotechnical Properties of Expansive Soils in Amman, Jordan. The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 5, <http://www.ejge.com>. Erişim Tarihi: 01.11.2004.
- Aksoy, İ. H. ve Haşal, M. E. 2000. Uçucu Kül – Çimento – Köpük Karışımının Hafif Dolgu Malzemesi Olarak Geoteknik Özellikleri. Zemin Mekaniğı ve Temel Mühendisliğı Sekizinci Ulusal Kongresi, s. 183-192, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Aktaş, M. 1992. Balıkesir-Altınova Marda Barajı Kil Dolgu Malzemelerinin Geoteknik Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek lisans tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 110s., Ankara.
- Aküzüm, T. ve Erözel, Z. 1988. Göletlerde Dolgu Yapım ve Denetim Tekniğı. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 1096, Bilimsel Araştırma ve İncelemeler: 594, Ankara.
- Aküzüm, T. ve Öztürk, F. 1996. Topraksu Yapıları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No:1448, Ders Kitabı: 428, 521s, Ankara.
- Allam, M. M. and Sridharan, A. 1981. Effect of Wetting and Drying on Shear Strength. Journal of the Geotechnical Engineering Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 107(GT4); 421-438.
- Al-Homoud, A. S., Basma, A. A., Malkawi, A. I. H., and Al-Bashabsheh, M. A. 1995. Cyclic Swelling Behavior of Clays. Journal of Geotechnical Engineering, American Society of Civil Engineers, 121(7); 562-565.
- Al-Rawas, A. A., Taha, R., Nelson, J. D., Al-Shab, T. B., and Al-Siyabi, H. 2002. A Comparative Evaluation of Various Additives Used in the Stabilization of Expansive Soils. Geotechnical Testing Journal, American Society for Testing and Materials, 25(1); 199-209.
- Anonymous. 1986. Seepage Control in Embankments. U.S. Department of Army, Engineering Manual (EM) 1110-2-1901, 30 Sep 1986, USA.
- Anonymous. 1994. Embankment Design. U.S. Department of Army, Engineering Manual (EM) 1110-2-2300, 31 Jul 1994, USA.
- Anonymous. 1998. Influence of Short Polymeric Fibers on Crack Development in Clays. U.S. Army Engineer Research and Development Center, Repair-Evaluation-Maintenance-Rehabilitation Technical Note GT-SE-1.8.

- Anonymous. 2000. Annual Book of ASTM Standards. D 422 Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. American Society for Testing and Materials, Section 4, 04.08(1); 10-17.
- Anonymous. 2000. Annual Book of ASTM Standards. D 427 Standard Test Methods for Shrinkage Factors of Soils by Mercury Method. American Society for Testing and Materials, Section 4, 04.08(1); 22-25.
- Anonymous. 2000. Annual Book of ASTM Standards. D 698 Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort. American Society for Testing and Materials, Section 4, 04.08(1); 78-85.
- Anonymous. 2000. Annual Book of ASTM Standards. D 2487 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). American Society for Testing and Materials, Section 4, 04.08(1); 238-248.
- Anonymous. 2000. Annual Book of ASTM Standards. D 4318 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. American Society for Testing and Materials, Section 4, 04.08(1); 546-558.
- Anonymous. 2000. Annual Book of ASTM Standards. D 4546 Standard Test Methods for One-Dimensional Swell of Settlement Potential of Cohesive Soils. American Society for Testing and Materials, Section 4, 04.08(1); 693-699.
- Anonymous. 2000. Annual Book of ASTM Standards. D 4767 Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils. American Society for Testing and Materials, Section 4, 04.08(1); 882-891.
- Anonymous. 2000. Annual Book of ASTM Standards. D 5084 Standard Test Method for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter. American Society for Testing and Materials, Section 4, 04.08(1); 985-992.
- Anonymous. 2001. Design Considerations for Small Earthfill Dams, ProjectAffiliates e-magazine, <http://www.ProjectAffiliates.com>. Erişim Tarihi: 01.11.2004.
- Arthur, H. G. 1961. Earthfill Dams in Design of Small Dams. United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, United States Government Printing Office, 157-223, Washington, USA.
- Atkinson, J. 1993. An Introduction to the Mechanics of Soils and Foundations. McGraw-Hill Book Company Europe, 337 p., London, UK.
- Aytekin, M. 1993. Killi Zeminlerin şişmesiyle Oluşan Yanal Basınçlar. Altıncı Ulusal Kil Sempozyumu, s. 309-321, Boğaziçi Üniversitesi, Bebek, İstanbul.

- Azizoğlu, N. ve Altunok, S. 1995. Demirdöven ve Kuzgun Baraj İnşaatlarında Geçirimsiz Dolgu Malzemelerinde Karşılaşılan Problemler. VII. Ulusal Kil Sempozyumu, Ankara
- Basma, A. A. 1993. Prediction of Expansion Degree for Natural Compacted Clays. Geotechnical Testing Journal, American Society for Testing and Materials, 16(4); 542-549.
- Bayaoğlu, E. 1995. Shear Strength and Compressibility Behaviour of Sand-Clay Mixtures. Yüksek lisans tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 96s., Ankara.
- Bilgiç, K. 1986. Toprak Dolgu Göletlerde Oluşan Sorunlar ve Çözüm Şekilleri. T.C. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Havza Islahı ve Göletler Daire Başkanlığı, Ankara.
- Birand, A. ve Primkulov, A. 2000. Çökebilen Zeminlerin Zamana Bağlı Hacimsel Değişim Davranışı. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi, s. 1-10, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Blotz, L. R., Benson, C. H., and Boutwell, G. P. 1998. Estimating Optimum Water Content and Maximum Dry Unit Weight for Compacted Clay. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, American Society of Civil Engineers, 124(9); 907-912.
- Bosscher, P. J., Bruxvoort, G. P., and Kelley, T. E. 1988. Influence of Discontinuous Joints on Permeability. Journal of Geotechnical Engineering, American Society of Civil Engineers, 114(11); 1318-1331.
- Bowles, J. E. 1978. Engineering Properties of Soils and Their Measurement. Second Edition. McGraw-Hill Book Company, New York, USA.
- Briaud, J. L., Zhang, X., and Moon, S. 2003. Shrink Test-Water Content Method for Shrink and Swell Predictions. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, American Society of Civil Engineers, 129(7); 590-600.
- Can, H. 1983. Ankara Yıldız İmar Planı Kapsamındaki Zeminlerin Mineralojik Özelliklerinin Mühendislik Davranışlarına Etkisi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı, 162s.
- Chen, F. H. and Ma, G. S. 1987. Swelling and Shrinking Behavior of Expansive Clays. 6th International Conference on Expansive Soils, 1-4 December 1987, New Delhi, India; 127-129.
- Chen, X. Q., Lu, Z. W. and He, X. F. 1978. Moisture Movement and Deformation of Expansive Soil. Academy of Building Research. The Construction Technical Regulations for Expansive Soil Region, Beijing, China; 2389-2392.

- Çinicioğlu, S. F. ve Öztoprak, S. 1999. Asitlerin Kil Zeminin Şişme ve Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması. 9. Ulusal Kil Sempozyumu, s. 211-218, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Çinicioğlu, F., Öser, C., Uzman, E., Kutu, S. ve Güler, M. 2002. Killerde Kıvam Parametrelerinin Birbirleriyle İlişkilendirilmesi. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi, s. 117-128, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Çokça, E. ve Birand, A. 1992. Killi Zeminlerde Büzülme ve Şişme Etkisiyle Meydana Gelen Çatlak ve Fisürler. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dördüncü Ulusal Kongresi, s. 1-13, İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa kampüsü, İstanbul.
- Çokça, E. ve Karahan, F. 1999. Emme Basıncı Metodu ile Şişme Yüzdesi Tahmini. 9. Ulusal Kil Sempozyumu, s. 219-224, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Çokça, E. 1999. Effect of Fly Ash on Swell Pressure of an Expansive Soil. The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 4, <http://www.ejge.com>. Erişim Tarihi: 01.11.2004.
- Çokça, E. ve Çora, Ö. 2001. Sıkıştırılmış – Doygun Olmayan ODTÜ Kampus Killerinin Hacim Değiştirme Özellikleri, 10. Ulusal Kil Sempozyumu, s. 371-378, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Dakshanamurthy, V. 1979. A Steress-Controlled Study of Swelling Characteristics of Compacted Expansive Clays. Geotechnical Testing Journal, American Society for Testing and Materials, 2(1); 57-60.
- Daniel, D. E. 1989. In Situ Hydraulic Conductivity Tests for Compacted Clay. Journal of Geotechnical Engineering, American Society of Civil Engineers, 115(9); 1205-1227.
- Das, B. M. 1983. Advanced Soil Mechanics. International Edition, McGraw-Hill Book Company, 511 p., Singapore.
- Das, B.M. 1993. Principles of Geotechnical Engineering. PWS Publishing Company, 712 p., Boston, MA, USA.
- Day, R. W. 1994. Swell-Shrink Behavior of Compacted Clay. Journal of Geotechnical Engineering, American Society of Civil Engineers, 120(3); 618-623.
- Dif, A. E. and Bluemel, W. F. 1991. Expansive Soils under Cyclic Drying and Wetting. Geotechnical Testing Journal, American Society for Testing and Materials, 14(1); 96-102.

- El-Sohby, M. A. and Rabbaa S. A. 1981. Some Factors Affecting Swelling of Clayey Soils. Journal of Geotechnical Engineering, American Society of Civil Engineers, 12; 19-39.
- El Sohby, M. A. and Rabbaa, S.A. 1984. Deformational Behaviour of Unsaturated Soils upon Wetting. Proceedings of Eighth Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Harare, 1984; 129-137.
- Erken, A., İncecik, M. ve Kılıç, C. 1993. Endeks Özellikleri ve Serbest Basınç Direnci. Altıncı Ulusal Kil Sempozyumu, s. 383-393, Boğaziçi Üniversitesi, Bebek, İstanbul.
- Erol, O. 1990. Gerçek Kabarmaların Şişme – Ödometre Metodu ile Karşılaştırılması. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Üçüncü Ulusal Kongresi, s. 1-8, Boğaziçi Üniversitesi, Bebek, İstanbul.
- Erözel, Z. ve Öztürk, F. 1989. Su Depolama Yapılarında Kullanılan Dolgu Toprağında Farklı Mühendislik Özellikleri Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 1133, Bilimsel Araştırma ve İncelemeler: 621, Ankara.
- Erzin, Y. and Erol, O. 2004. Correlations for Quick Prediction of Swell Pressures. The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 9(B), <http://www.ejge.com>. Erişim Tarihi: 01.11.2004.
- Fırat, S. 1992. Gaziantep Acil İçme Suyu Projesi Çataltepe Barajı Dolgu Materyalinin Geoteknik Özellikleri Üzerine Bir Araştırma, Yüksek lisans tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 75s., Ankara.
- Fleureau, J. M., Saoud, S. B., Soemitro, R. and Taibi, S. 1993. Behavior of Clayey Soils on Drying-Wetting Paths. Canadian Geotechnical Journal, 30; 287-296.
- Göksan, T. S. 1998. Killi Zeminlerde Emme Kapasitesi ve Şişme Basıncı İlişkisi. Yüksek lisans tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 55s., Isparta.
- Grim, R. E. 1962. Applied Clay Mineralogy. McGraw-Hill Book Company, New York, USA
- Gromko, G. J. 1974. Review of Expansive Soils. Journal of the Geotechnical Engineering Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 100 (GT6); 667-687.
- Güney, Y. ve Koyuncu, H. 2003. Stabilize Edilmiş Na-Bentonit Kilinin Şişme Potansiyeli ve Zaman İlişkisi. XI. Ulusal Kil Sempozyumu, s. 641-649, Ege Üniversitesi Atatürk Kültür Merkezi, İzmir.

- Güntekin, A. 1985. Uygulamada Zeminlerin Şişmesi Nedeniyle Meydana Gelen Hasarlar ve Alınacak Önlemler. Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekaniği Seminerleri, 6-10 Mayıs 1985, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Daire Başkanlığı, Ankara.
- Hekimoğlu, S. 1996. Kil Zeminlerin Şişme Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek lisans tezi. Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 60s., Eskişehir.
- Holeman, J. N. 1965. Clay Minerals. United States Soil Conservation Service, Department of Agriculture, Technical Release No.28, USA.
- Holtz, W. G. 1959. Expansive Clays. Properties and Problems. Quarterly of the Colorado School of Mines, 54(4); 119-125.
- Hosseini, M. M. 2002. Performance of Mixed-Clay as Core Material for Earth Dams. The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 7(A), <http://www.ejge.com>. Erişim Tarihi: 01.11.2004.
- Howell, J. L., Shackelford, C. D., Amer, N. H. and Stern, R. T. 1997. Compaction of Sand-Processed Clay-Soil Mixture. Geotechnical Testing Journal, American Society for Testing and Materials, 20 (4); 443-458.
- Juran, I. and Riccobono, O. 1991. Reinforcing Soft Soils with Artificially Cemented Compacted-Sand Columns. Journal of Geotechnical Engineering, American Society of Civil Engineers, 117(7); 1042-1060.
- Kamon, M. and Nontananandh, S. 1991. Combining Industrial Wastes with Lime for Soil Stabilization. Journal of Geotechnical Engineering, American Society of Civil Engineers, 117(1); 1-17.
- Keskin, S. N. 1991. Killerin Kıvam Limitlerini Etkileyen Faktörler. 5. Ulusal Kil Sempozyumu, s. 259-269, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Keskin, S. N., Yıldırım, H. ve Ansal, M. A. 1992. Killi Zeminlerde Yanal Şişme Davranışları. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dördüncü Ulusal Kongresi, s. 14-30, İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa kampüsü, İstanbul.
- Keskin, S. N., Yıldırım, H., Acar, C., Ülker, R. ve Ansal, A. M. 1994. Aşırı Konsolidasyon Oranının Zeminlerin Şişme Davranışına Etkisi. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi, s. 70-76, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Keskin, S. N., Çimen, Ö. ve Uzundurukan, S. 2003. Killerde Likit Limit – Plastik Limit Parametrelerinin İlişkilendirilmesi. XI. Ulusal Kil Sempozyumu, s. 515-527, Ege Üniversitesi Atatürk Kültür Merkezi, İzmir.

- Kılıç, H. ve Yıldırım, S. 2000. Alibey Barajı Temel Zemini Parametrelerinin Belirlenmesi. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi, s. 111-120, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Kim, B., Prezzi, M. and Salgado, R. 2005. Geotechnical Properties of Fly and Bottom Ash Mixtures for Use in Highway Embankments. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, American Society of Civil Engineers, 131(7); 914-924.
- Kiper, T. ve Mirata, T. 1990. Kil Dolgularda Sıkılık Yüzdesinin Oturmalar Etkisi. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Üçüncü Ulusal Kongresi, s. 115-120, Boğaziçi Üniversitesi, Bebek, İstanbul.
- Knappen, T. T. and Lowe, J. 1952. Earth Dams in Handbook of Applied Hydraulics by Davis V. Calvin. McGraw-Hill Book Company Inc, pp. 149-206, New York, USA.
- Kumar, S., Puri, V. K., Das, B. M. and Devkota, B. C. 2001. Geotechnical Properties of Fly Ash and Lime-Fly Ash Stabilized Coal Mine Refuse. The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 7, <http://www.ejge.com>. Erişim Tarihi: 01.11.2004.
- Kumar, B. R. P. and Sharma, R. S. 2004. Effects of Fly Ash on Engineering Properties of Expansive Soils. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, American Society of Civil Engineers, 130(7); 764-767.
- Lambe, T. W. 1967. Soil Testing for Engineers. 12. Edition, John Wiley and Sons Inc. New York, USA.
- Lara, T. L., Garrido, J. A. Z. and Castario, V. M. 1999. A comparative Study of the Effectiveness of Different Additives on Expansion Behavior of Clays. The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 4, <http://www.ejge.com>. Erişim Tarihi: 01.11.2004.
- Lara, T. L. and Castano, V. M. 2000. Time Dependency of CaO-Treated Expansive Soils. The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 5, <http://www.ejge.com>. Erişim Tarihi: 01.11.2004.
- Lara, T. L., Zaragoza, J. B. and Cajun, C. L. 2005. Useful Lifetime and Suitable Thickness of Soil-Lime Mixture. The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 10(F), <http://www.ejge.com>. Erişim Tarihi: 01.11.2004.
- Lav, M. A. ve Ansal, A. M. 1991. Killi Zeminlerde Şişme Basıcının Ampirik Olarak Bulunması. 5. Ulusal Kil Sempozyumu, s. 318-329, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Lawton, C. E., Frigaszy, R. J. and Hardcastle, J. H. 1989. Collapse of Compacted Clayey Sand. Journal of Geotechnical Engineering, American Society of Civil Engineers, 115(9);1253-1267.

- Lawton, C. E., Frigaszy, R. J. and Hardcastle, J. H. 1991. Stres Ratio Effects on Collapse of Compacted Clayey Sand. *Journal of Geotechnical Engineering*, American Society of Civil Engineers, 117(5); 715-730.
- Lawton, C. E., Frigaszy, R. J. and Hetherington, M. D. 1992. Review of Wetting-Induced Collapse in Compacted Soil. *Journal of Geotechnical Engineering*, American Society of Civil Engineers, 118(9); 1377-1394.
- Leroueil, S., Diene, M., Tavenas, F., Kabbaj, M. and Rochelle, P.L. 1988. Direct Determination of Permeability of Clay under Embankment. *Journal of Geotechnical Engineering*, American Society of Civil Engineers, 114(6); 645-657.
- Li, G. C. and Desai, C. S. 1983. Stress and Speepage Analysis of Earth Dams. *Journal of Geotechnical Engineering*, American Society of Civil Engineers, 109(7); 946-961.
- Liu, C. and Evett, J. B. 1997. *Soil Properties. Testing, Measurement and Evaluation*. Third Edition. Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Magistris, F. S., Silvestri, F. and Vinale, F. 1998. Physical and Mechanical Properties of a Compacted Silty Sand with Low Bentonite Fraction. *Canadian Journal of Geotechnical Engineering*, 35; 909-925.
- Mejia, L. H. and Seed, H. B. 1983. Comparison of 2-D and 3-D Dynamic Analyses of Earth Dams. *Journal of Geotechnical Engineering*, American Society of Civil Engineers, 109(11); 1383-1399.
- Mertdoğan, S. 1991. *Toprak Mekaniği Laboratuvarı El Kitabı*. T.C. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayın No: 713; 83-93, Ankara.
- Morh, T., Hattori, K. and Hassan, A. K. 1994. Influences of the Impounding Rate and the Initial Moisture Condition on the Stability of Earth Dams during Reservoir Filling. *Journal of Faculty of Agriculture, Tottori University*, 30; 43-49.
- Morris, P. H., Graham, J. and Williams, D. J. 1992. Cracking in Drying Soils. *Canadian Journal of Geotechnical Engineering*, 29; 263-277.
- Muntohar, A. S. and Hantoro, G. 2000. Influence of Rice Husk Ash and Lime on Engineering Properties of a Clayey Sub-grade. *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 5, <http://www.ejge.com>. Erişim Tarihi: 01.11.2004.
- Okman, C. 1981. *Ankara Şartlarında Şeker Pancarının Su İstihlakinin Tayini Üzerine Bir Araştırma*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları:780, 67s. Ankara.
- Okman, C. 1998. *Zemin Mekaniği*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 1502, Ders Kitabı: 456, 271s., Ankara.

- Osipov, V. I., Bik, N. N. and Rumjantseva, N. A. 1987. Cyclic Swelling of Clays. Journal of Applied Clay Science,. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam, Netherlands, 2; 363-374.
- Özaydın, K. 1989. Zemin Mekaniği. Maya Matbaacılık ve Yayıncılık Ltd. Şti., 395 s., İstanbul.
- Özbayoğlu, U. F. 1988. Sodyum ve Kalsiyum Bentonit Killerinin Kumlu Killi ve Kumlu Zemin Örnekleri Üzerindeki Stabilize Edici Etkileri Üzerine Bir Araştırma. Ülkemizin Kalkınmasında Mühendisliğin Rolü Sempozyumu, İnşaat Mühendisliği ve Fotogrametri Mühendisliği Ortak Konular Bildirileri, 20-24 Haziran 1988.
- Özbayoğlu, F. 1993. Belirli Oranlarda Bentonit Katkılı Sıkıştırılmış Kum Örneklerinin Şişme Davranışları Üzerinde Bir Araştırma. Altıncı Ulusal Kil Sempozyumu, s. 295-308, Boğaziçi Üniversitesi, Bebek, İstanbul.
- Popescu, M. 1980. Behaviour of Expansive Soils with Crumb Structure. Proceedeings of Fourth International Conference on Expansive Soils, Denver, CO, June 16-18, 1980; 158-171.
- Prakash, K. and Sridharan, A. 2004. Free Swell Ratio and Clay Mineralogy of Fine-Grained Soils. Geotechnical Testing Journal, American Society for Testing and Materials, 27(2); 220-225.
- Prakasha, K. S. and Chandrasekaran, V. S. 2005. Behavior of Marine Sand-Clay Mixtures under Static and Cyclic Triaxial Shear. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, American Society of Civil Engineers, 131(2); 213-222.
- Ranganatham, B. V. and Satyanarayana, B. 1998. A Rational Method of Predicting Swelling Potential for Compacted Expansive Clays. Proceedings of 6th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1; 92-96.
- Rao, K. S. S. and Satyadas, G. C. 1987. Swelling Potential with Cycles of Swelling and Partial Shrinkage. 6th International Conference on Expansive Soils, 1-4 December 1987, New Delhi, India; 137-142.
- Reddi, L. N. and Kakuturu, S. P. 2003. Self-Healing of Concentrated Leaks at Core-Filter Interfaces in Earth Dams. Geotechnical Testing Journal, American Society for Testing and Materials, 27 (1); 89-98.
- Sarıkaya, Y., Önal, M., Alemdaroğlu, T. ve Noya, H. 2001. Bir Bentonitin Katyon Değiştirme Kapasitesi ile Şişmesi Arasındaki İlişki. 10. Ulusal Kil Sempozyumu, s. 27-31, Selçuk Üniversitesi, Konya.

- Seed, H. B., Woodward, R. J. and Lundgren, R. 1962. Prediction of Swelling Potential for Compacted Clays. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 88(SM3); 53-87.
- Sherard, J. L. 1986. Hydraulic Fracturing in Embankment Dams. Journal of Geotechnical Engineering, American Society of Civil Engineers, 120(10);905-927.
- Sikh, T. S. 1993. Swelling Soils. Journal of Geotechnical Engineering, American Society of Civil Engineers, 119(4); 791-792.
- Skempton, A. W. 1953. The Colloidal Activity of Clays. Proceedings of 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Switzerland, 1; 57.
- Spangler, M. G. and Handy, R. L. 1982. Soil Engineering. Harper&Row Publishers, 819 p., New York, USA.
- Stavridakis, E. I. 2005. Presentation and Assessment of Clay Influence on Engineering Parameters of Cement-Treated Clayey Mixtures. The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 10(A), <http://www.ejge.com>. Erişim Tarihi: 01.11.2004.
- Stern, R. T. and Shackelford, C. D. 1998. Permeation of Sand-Processed Clay Mixtures with Calcium Chloride Solutions. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, American Society of Civil Engineers, 124(3); 231-241.
- Talbot, J. R. and Deal C. E. 1993. Rehabilitation of Cracked Embankment Dams. Proceedings of the Specialty Conference held at North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, April 25-28, Geotechnical Special Publication No. 35.
- Tan, O. ve İyisan, R. 1996. Uçucu Kül ile Zemin Stabilizasyonu. Zemin Mekaniğı ve Temel Mühendisliğı Altıncı Ulusal Kongresi, s. 417-425, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Tosun, H. 1994. Toprak Dolgu Barajlar Yönünden Dispersif Killer ve DSİ Çalışmaları. Zemin Mekaniğı ve Temel Mühendisliğı 5. Ulusal Kongresi, s. 98-110, Orta Doğı Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Tosun, H. ve Türköz, M. 2000. Şişen Killerin Sönmüş Kireç Katkısı ile Stabilizasyonu. Zemin Mekaniğı ve Temel Mühendisliğı Sekizinci Ulusal Kongresi, s. 193-202, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Trask, P. D. 1959. Effect of Grain Size on Strength of Mixtures of Clay, Sand and Water. Geological Society of America Bülteni, 70(5);55-60.
- Turner, J .P. 1994. Soil Stabilization Using Oil-Shale Solid Waste. Journal of Geotechnical Engineering, American Society of Civil Engineers, 120(4);647-660.

- Tölücü, K. 1989. Grafiksel Analiz. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakóltesi Ders Kitabı No: 62, Adana.
- Walker, W. L. and Duncan, J. M. 1984. Lateral Bulging of Earth Dams. Journal of Geotechnical Engineering, American Society of Civil Engineers, 110(7); 923-937.
- Whitting, L. D. and Allardice, W. R. 1986. Methods of Soil Analysis, Part I Physical and Mineralogical Methods, Chapter 12, X-Ray Diffraction Techniques, Madison, WI, USA.
- Yeo, S. S., Shackelford, C. D. and Evans, J. C. 2005. Membrane Behavior of Model Soil-Bentonite Backfills. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, American Society of Civil Engineers, 131(4); 418-429.
- Yıldırım, H., Keskin, S. N., Çimen, Ö. ve Göksan, T. S. 2000. Emme Kapasitesi ve Şişme Basıncının Belirlenmesinde Yaklaşık Çözüm. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi, s. 95-102, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Yılmaz, I. 1999. Killi Zeminlerde Katyon Değişim Kapasitesi, Likit Limit ve Şişme Yüzdesi Arasındaki İlişkiler: Niksar ve Erbaa Ovası Örneği. 9. Ulusal Kil Sempozyumu, s. 39-42, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Zeki GÖKALP
Doğum Yeri : Gerede
Doğum Tarihi : 01.11.1972
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Gerede Lisesi (1986-1989)
Lisans : Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü (1989-1993)
Yüksek Lisans : Iowa State University Agricultural and Biosystems Engineering (1995-1998)

Çalıştığı Kurumlar

Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü (1998-1999)
Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü (1998-1999)

Yayınları

Kendirli, B., Çakmak, B. and Gokalp, Z. 2005. Assessment of Water Quality Management in Turkey. International Water Resource Association, Water International, Volume 30, Number 4, Pages 446-465.

Çakmak, B., Yürdüm, H., Gökalp, Z., Erdoğan, F.C., Demir, G., Kumbaroğlu, Ş. 2005. Sulama Araç, Yöntem ve Organizasyonları. Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi, Cilt 2, Sayfa 911-935.

Çakmak, B., Aküzüm, T., Çiftçi, N., Zaimoğlu, Z., Acar, B., Şahin, M., Gökalp, Z. 2005. Su Kaynaklarının Geliştirme ve Kullanımı. Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi, Cilt 1, Sayfa 191-213.

Çakmak, B., Özüyanık, M., Gökalp, Z., Taş, İ. 2004. Beyşehir Gölü Havzası'nda Kirlilik ve Kirliliğin Değerlendirilmesi, I. Yer altı Suları Ulusal Sempozyumu, 23-24 Aralık 2004, Sayfa 275-285, Konya

Aküzüm, T., Çakmak, B., Gökalp, Z. 2003. Dünyada Su ve Yaklaşan Su Krizi. 2. Ulusal Sulama Kongresi, 16-19 Ekim 2003, Sayfa 145-155, Kuşadası, Aydın.

Yıldırım, M., Gökalp, Z. 2002. Sulu Tarımda Gübrenin Çevre Kirliliğine Neden Olmaksızın Araziye Verilme Yöntemleri. Türk-Koop Ekin Dergisi, Yıl 6, Sayı 20, Nisan-Haziran 2002, Sayfa 52-57, Ankara.

