



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

**ŞİŞEN KİLLERİN İYİLEŞTİRİLMESİNDE JİPS KOLONU
PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASINA İLİŞKİN
LABORATUVAR MODEL ÇALIŞMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Büşra ERGENOĞLU
201392082021**

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Işık YILMAZ

**SİVAS
Şubat, 2018**

Büşra ERGENOĞLU' nun hazırladığı "**ŞİŞEN KİLLERİN İYİLEŞTİRİLMESİNDE JİPS KOLONU PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASINA İLİŞKİN LABORATUVAR MODEL ÇALIŞMASI**" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI'** nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Işık YILMAZ
(Tez Danışmanı) Cumhuriyet Üniversitesi



Prof.Dr. Hüseyin YALÇIN
(Jüri Üyesi) Cumhuriyet Üniversitesi



Yrd.Doç.Dr. İnan KESKİN
(Jüri Üyesi) Karabük Üniversitesi



Bu tez Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. İsmail ÇELİK
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)' nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.



Bu tez Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından M- 580 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.



Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Büşra ERGENOĞLU, 2018

ETİK

Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

06.02.2018

Büşra ERGENOĞLU

ÖZET

**ŞİŞEN KİLLERİN İYİLEŞTİRİLMESİNDE JİPS KOLONU
PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASINA İLİŞKİN LABORATUVAR
MODEL ÇALIŞMASI
Büşra ERGENOĞLU**

Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Işık YILMAZ

2018, 50+xii sayfa

Killi zeminler üzerine inşa edilen özellikle hafif yapıların temel tasarımlarında dikkate alınması gereken en önemli zemin davranışı şişme özelliği ve buna bağlı olarak yüzeyde meydana gelecek zemin kabarmalarıdır. Bu nedenle, bu yapılarla ilgili zemin araştırmalarında söz konusu killi zeminin şişme özelliklerinin ve uygun iyileştirme yönteminin belirlenmesi çok büyük önem taşımaktadır. Literatürde kireç, çimento, uçucu kül, jips, bitüm, reçine, kimyasallar, vb. ile ilgili birçok zemin iyileştirme yöntemlerine sıklıkla rastlanmaktadır. Şişen zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılan bu yöntemlerin başında iyileştirme kimyasalları ve finansal boyutun önemi büyüktür. Bu nedenle düşük maliyette en iyi iyileştirmenin yapılması birincil amaçtır. Bu çalışma kapsamında killi zeminlerin iyileştirilmesinde jips kolonlarının performansının araştırılmasına ilişkin bir laboratuvar model çalışmasının gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Amaca yönelik olarak; laboratuvarda hazırlanan bir arazi modeline yerleştirilen jips kolonu ile kolondan itibaren mesafeye bağlı olarak zeminin şişmesinde meydana gelen değişimler belirlenmiştir. Elde edilen model verilerine dayalı olarak da jips kolon tekniğinin iyileştirme performansı araştırılmış ve tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Killi zeminler, iyileştirme, şişme, jips kolonu, laboratuvar model.

ABSTRACT

A LABORATORY MODEL STUDY RELATED WITH THE DETERMINATION OF GYPSUM COLON PERFORMANCE IN TREATMENT OF EXPANSIVE SOILS

Büşra ERGENOĞLU

Master of Science Thesis, Department of Geological Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Işık YILMAZ

2018, 50+xii pages

The most important soil behaviour in order to consider in foundation designs of specially light structures built on clay soils is swelling properties of the soil and accordingly soils heave which occurs on soil surface. For this reason, in surveys related to this kind of soils, it is quite important to determine the swelling properties of soils and appropriate stabilisation methods. Literature contains a vast number of stabilising techniques such as; lime, cement, fly ash, bitume and resin for treatment of expansive soils. Financial perspective of these techniques is very important. Therefore, the primary purpose is low cost for the best treatment. In this study, a laboratory model study was conducted in order to determine the performance of gypsum colon technique on treatment of clay soils. For this purpose, gypsum colon was built in a field model which built in the laboratory and the changes on swelling of the soil was determined depending on the distance from the colon. By using the obtained model data, the performance of gypsum colon technique was analyzed and discussed.

Key words: Clay soils, stabilization, swell, gypsum colon, laboratory model.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin tez konusunun belirlenmesini sağlayan, çalıőmalarım süresince bana titizlikle ve sabırla destek sağlayan, bilgi, deneyim ve kaynaklarından yararlandığım, sayın hocam Prof. Dr. Işık YILMAZ' a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Çalıőmamın her aőamasında fikir ve katkılarından yararlandığım değerli hocam Arő. Gör. Dr. Derya TOKSÖZ hocama gösterdiği ilgiden dolayı teőekkürü bir borç bilirim.

Bu tez kapsamındaki laboratuvar çalıőmalarımda ve yazım aőamalarında, fikirlerinden faydalandığım Jeo. Yük. Müh. Mustafa YILDIRIM' a ve yazım aőamalarında teşekkür ederim.

Ayrıca öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen AİLEME sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1.GİRİŞ	1
1.1. Önceki Çalışmalar	3
1.1.1. Şişen zeminlerin katkı maddeleri ile iyileştirilmesi ile ilgili çalışmalar.....	3
1.1.2 Şişebilen zeminlerin jipsle iyileştirilmesi ile ilgili çalışmalar.....	8
2. GENEL BİLGİLER	10
2.1 Killerin Özellikleri.....	10
2.1.1 Killerin Sınıflandırılması	13
2.2 Şişen Killer	16
2.2.1 Şişme Potansiyeli.....	18
2.2.2 Şişme Basıncı	18
2.2.3 Şişmenin Mekanizması.....	18
2.2.4 Şişen Killerin Sınıflandırılması	19
2.2.5 Şişme Deneyleri	22
2.2.5.1 Serbest Şişme Deneyi	22
2.2.5.2 Potansiyel Hacim Değimi Deneyi (PVC).....	22
2.2.5.3 Şişme İndeksi Deneyi	23
2.2.5.4 Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR).....	24
2.2.5.5 Lineer Genişleme Katsayısı (COLE)	24
2.2.6 Şişen Killerin İyileştirilmesi	25
2.2.6.1 Şişen Zemini Kaldırma ve Yerdeğiştirme	25
2.2.6.2 Kompaksiyon.....	26
2.2.6.3 Ön Islatma	26
2.2.6.4 Su İçeriğini Sabit Tutmak	26
2.2.6.5 Temeller ve Döşemeler İnşa Edilmesi	26
2.2.6.6 Şişen Zeminlerin Katkı Maddeleri ile İyileştirilmesi... ..	26
2.2.6.6.1 Şişen Killerin Kireç ile İyileştirilmesi	27
2.2.6.6.2 Şişen Killerin Uçucu Kül ile İyileştirilmesi.....	27
2.2.6.6.3 Şişen Killerin Çimento ile İyileştirilmesi.....	27
2.2.6.6.4 Şişen Killerin Jips ile İyileştirilmesi	28
3. MATERYAL VE METHOD	31
3.1 Kullanılan Bentonitin ve Jipsin Özellikleri.....	31
3.1.1 Bentonit.....	31
3.1.1.1 Optimum Su İçeriği ve Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlığı.....	32
3.1.1.2 Atterberg Sınırları.....	33

3.1.1.3 Şişme.....	34
3.1.1.4 Dayanım.....	34
3.1.2 Jips.....	35
3.2 Laboratuar Modelinin Oluşturulması.....	36
4. BULGULAR.....	39
5.SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR.....	43
KAYNAKLAR.....	45
ÖZGEÇMİŞ	



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. (a) Silis tetrahedron, (b) silikat tabakası	11
Şekil 2.2. (a) Aluminyum oktahedron, (b) alumina tabakası.....	11
Şekil 2.3. Tetrahedral katmanın üstten görünümü.....	12
Şekil 2.4. a) İki katmanlı TO (1:1) b) üç katmanlı TOT (2:1) kil tabakaları (Ustaoğlu, 2007).....	12
Şekil 2.5. Montmorillonit minerali.....	17
Şekil 2.6. Killerde kristaller arası şişme (Gillot, 1968; Kasapoğlu, 1989)	19
Şekil 2.7. Zeminlerin çeşitli parametrelere bağlı olarak, şişme sınıflaması	21
Şekil 2.8. KDK ve likit limite bağlı olarak şişme potansiyeli sınıflaması (Yılmaz, 2006).....	21
Şekil 2.9. Jipsin suda çözünübilirliği üzerine parçacık boyutunun etkisi (FAO, 1990).....	29
Şekil 3.1. Kullanılan bentonite ait karakteristik XRD difraktogramı (Civelekoğlu, 2009)	32
Şekil 3.2. Bentonite ait maksimum kuru birim hacim ağırlık (γ_{kmax}) ve optimum su içeriğini (w_{opt}) gösteren kompaksiyon eğrisi.....	33
Şekil 3.3. Serbest basınç deneyi gerçekleştirilen numuneler.....	35
Şekil 3.4. Mohr dairesi ve sonuçlarının değerlendirilmesi.	35
Şekil 3.5. Kullanılan jipse ait karakteristik XRD difraktogramı.....	36
Şekil 3.6. Oluşturulan laboratuvar modelinin kesiti.....	37
Şekil 3.7. Oluşturulan laboratuvar modeli.....	37
Şekil 3.8. Modele su girişinin sağlanması.....	38
Şekil 3.9. Laboratuvar modelinden örnek alım düzeninin kesiti.	38
Şekil 3.10. Laboratuvar modelinden örnek alım düzeni.....	38
Şekil 4.1. Plastisite indeksi değerlerinin kolondan itibaren olan mesafe ile değişimi.....	40
Şekil 4.2. Jips kolonundan itibaren tek eksenli basınç dayanımdaki değişim.....	40
Şekil 4.3. Jips kolonundan itibaren kohezyon değerlerindeki değişim.....	41
Şekil 4.4. Jips kolonundan itibaren serbest şişmedeki değişim.....	42
Şekil 4.5. Jips kolonundan itibaren su içeriğindeki değişim.....	42

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Amerika’da şişen zeminlerden kaynaklanan yıllık hasar (Jones ve Holtz 1973; Jones ve Jones 1987).....	1
Çizelge 2.1. Kil minerallerinin tabaka tipi ve tabaka yüküne göre sınıflandırılması (Önalp, 1997).....	14
Çizelge 2.2. Belirli kil minerallerinin özellikleri.....	15
Çizelge 2.3. Şişen zeminlerin sınıflandırılması (O’Neil ve Poormoayed, 1980).....	20
Çizelge 2.4. Zeminlerin şişme potansiyeli sınıflaması (Holtz ve Gibbs, 1969).....	20
Çizelge 2.5. Plastisite indeksi ve şişme potansiyeli arasındaki ilişki (Yılmaz ve Acar, 1994).....	20
Çizelge 2.6. Bazı kil minerallerinin KDK değerleri (Grim, 1968).....	22
Çizelge 2.7. Şişme indeksi değerlerine göre şişme potansiyelleri.....	23
Çizelge 2.8. LE/Kil yüzdesi oranının kil mineralojisi ile ilişkisi.....	25
Çizelge 2.9. Jipsin fiziksel ve kimyasal özellikleri (Filiz, 2008).....	28
Çizelge 3.1. XRD (Tüm Kayaç) analizi sonuçları ve kullanılan bentonitin kimyasal bileşimi (Yılmaz ve Civelekoğlu, 2009)	32
Çizelge 3.2. Kullanılan bentonitin Atterberg sınırları değerleri.....	33
Çizelge 3.3. Kullanılan bentonite ait serbest basınç deneyi sonuçları.....	34
Çizelge 4.1. Jips kolonundan itibaren alınan numunelere ait Atterber limitleri değerleri.....	39
Çizelge 4.2. Jips kolonundan itibaren alınan numunelerin serbest basınç dayanımı ve kohezyon değerleri.....	39
Çizelge 4.3. Jips kolonundan itibaren alınan numunelerin serbest şişme değerleri.....	41
Çizelge 4.4. Jips kolonundan itibaren alınan numunelerin su içeriği değerleri.....	42

1.GİRİŞ

Yeryuvarı üzerinde sıkça karşılaşılan zemin sorunları arasında çökme, şişme, dispersif özellik gösteren zeminler bulunmaktadır. Sorunlu zeminler zemin mekaniği açısından ciddi sorunlar teşkil etmektedir. Özellikle şişebilen killi zeminlerde hafif yapıların temel tasarımlarında dikkate alınması gereken en önemli zemin davranışı şişme özelliği ve buna bağlı olarak yüzeyde meydana gelecek zemin kabarmalarıdır. Bu nedenle, bu yapılarla ilgili zemin araştırmalarında söz konusu killi zeminin şişme potansiyeli, şişme sonucunda oluşacak maksimum basınç düzeyi ve buna bağlı olarak zemin yüzeyinde oluşacak kabarma miktarının belirlenmesi ve öngörülmesi çok büyük önem taşımaktadır.

Killi zeminlerin belirli türleri, ıslatıldıklarında şişerler ve kuruduklarında büzülürler. Bunlara şişen zeminler adı verilir, bu tür zeminler sorunlu zeminler olarak adlandırılır. Bu zeminler örneğin sadece Amerika’ da binalara, yollara, hava alanlarına ve diğer tesislere bir yılda yaklaşık 9 milyar dolar zarar vermektedir. Bu miktar depremlerden, taşkınlardan, kasırgalardan ve hortumlardan kaynaklanan hasarın neredeyse iki katıdır (Jones ve Holtz 1973). Bir kıyaslama yapılması amacıyla Çizelge 1.1’ de Amerika’da şişen zeminlerden kaynaklanan yıllık hasar miktarları verilmiştir.

Çizelge 1.1. Amerika’da şişen zeminlerden kaynaklanan yıllık hasar (Jones ve Holtz 1973; Jones ve Jones 1987).

Kategori	Yıllık Hasar (U.S. \$)
Karayolları ve caddeler	4 550 000 000
Ticari binalar	1 440 000 000
Müstakil evleri	1 200 000 000
Yaya yolları, taşıt yolları ve park alanları	440 000 000
Gömülü kamu kuruluşları ve servisleri	400 000 000
Çok katlı binalar	320 000 000
Havaalanı tesisleri	160 000 000
Yerleşim alanı heyelanı	100 000 000
Diğer	390 000 000
<i>Toplam yıllık hasar (1987)</i>	<i>9 000 000 000</i>

Şişebilen killi zeminlerin şişme potansiyelleri; üzerlerinde bulunan örtü gerilmesine, yük kaldırılmasına veya su içeriğindeki artışlara bağlıdır. Bell ve Maud (1995), Yılmaz ve Karacan (1997) ve Yılmaz (2007) özellikle hafif yapıların şişme ile meydana gelen zemin kabarmalarına karşı yeterli miktarda mukavemet gösterememelerinin yapı üzerinde çok şiddetli hasarların oluşmasına neden olduğunu belirtmişlerdir.

Bir zemini problemlili olarak değerlendiren mühendis aşağıdaki yöntemlere başvurur;

1. Problemlili zemin kaldırılarak yerine daha uygun özellikteki zemin uygun tekniklerle yerleştirilir. Bu yöntem zemin hacmi büyüdükçe ekonomiklikten uzaklaşmaktadır.
2. Mühendislik projesinin boyutlarını zeminin durumuna uygun olarak seçmek veya sorunlu zemini aşarak yapıyı alttaki sağlam zemine taşıtmak. Bu yöntem de bazen ekonomiklikten uzaktır.
3. Zeminin özelliklerini istenilen yönde değiştirmek. Bu tür uygulamalar yüzyıllardan beri uygulanmakta olup zemine kimyasal maddeler katmak, zemini ısıtmak, dondurmak, sıkıştırmak gibi işlemlerle zeminin özellikleri iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Bu yöntem ekonomik olup yaygın olarak kullanılmaktadır (Tüdeş, 1996). Şişen zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılan yöntemlerin başında iyileştirme kimyasalları ve finansal boyutun önemi büyüktür. Bu nedenle düşük maliyette en iyi iyileştirmenin yapılması birincil amaçtır.

Zemin iyileştirilmesi çok eski zamanlardan beri kullanılmakta olup mekanik iyileştirmenin yeterli olmadığı durumlarda kimyasal iyileştirme tercih edilmektedir. Kimyasal iyileştirmede zemine çeşitli katkı maddeleri katılarak zeminin özellikleri iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Bugüne kadar reçineden mermer tozuna kadar pek çok katkı maddesi denenmiş olmakla birlikte literatürde en sık kullanılan katkı maddeleri kireç, uçucu kül, çimento olarak sayılabilir (Van Impe 1989).

Zeminlerin katkı maddeleri ile iyileştirilmesi sırasında katkı maddesi zeminle yüzeysel olarak karıştırılır ya da zemin içerisinde kolonlar oluşturulur. Kolon uygulamasındaki temel amaç katkı maddesinin kolonu çevreleyen zemine zamanla difüzyonu ile zeminin özelliklerini iyileştirmesidir. Literatürde en sık olarak kireç kolonu tekniği kullanılmakla beraber uçucu kül ve çimentonun kullanıldığı kolon uygulamaları da mevcuttur.

Bu tez çalışması kapsamında şişen killi zeminlerin iyileştirilmesinde jips kolonunun performansının araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla bir laboratuvar model çalışmasının gerçekleştirilmesi planlanmıştır.

1.1. Önceki Çalışmalar

Şişen zeminlerle ilgili geniş bir literatür taraması yapılmıştır. Bu bölüm kapsamında şişen zeminlerin jips ve diğer katkı maddeleri kullanılarak iyileştirilmesi ile ilgili çalışmalar sunulmaya çalışılmıştır.

1.1.1. Şişen zeminlerin katkı maddeleri ile iyileştirilmesi ile ilgili çalışmalar

Şişebilen sorunlu zeminleri iyileştirme amacıyla yapılan çalışmalar incelenmiş ve killi zeminlerin iyileştirilmesinde en yaygın olarak kullanılan katkı maddelerinin kireç, uçucu kül çimento olduğu görülmüştür.

Townsend ve Kylv (1966) ve Brandl (1981) killerin iyileştirilmesine yönelik kullanılacak katkı maddesini kireç olarak belirlemişlerdir. Killerin iyileştirilmesi sırasında geçirimsizlik değerinin yükseldiğini belirlemişler ve bunun nedeni olarak kullandıkları kireç katkı maddesini sebep olarak göstermişlerdir.

Handy ve Williams (1967), kil dolgulu bir şevin duraylılığını sağlamak amacıyla 150 mm çapında sönmemiş kireç kolonlarını kullanmışlardır. Kireç kolonları 1,5 m aralıklarla aktif zonu geçecek şekilde yerleştirilmişlerdir. Kolonların inşasından 2 yıl sonra kolon çevresinden alınan örnekler üzerinde yapılan deneyler sonucu zeminin kayma dayanımının arttığı ve şevin duraylılığının sağlandığı gözlenmiştir.

Tystovich vd. (1971), sönmemiş kireç kullanılarak inşa edilen kireç kolonlarının kolon çevresindeki zeminin sıkıştırılmasına katkıda bulunduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar tarafından yapılan çalışmada sönmemiş kireç kolonlarının çaplarında zaman içerisinde %26-60 oranında ve hacimlerinde %160-260 oranında artış olduğu gözlenmiştir. Bunun sonucu olarak kolon çevresindeki killi zeminde radyal çatlakların oluştuğu görülmüş ve bu durumun zeminin daha kolay sıkışmasına olanak sağladığı belirtilmiştir.

Broms ve Boman (1979), kireç katkı maddesini kullanarak zeminler üzerinde yaptıkları deneylerde makasla dayanımı, sıkışabilirlik ve geçirimsizlik üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Yapılan bu araştırmanın sonucunda kireçle iyileştirmenin mümkün olduğunu belirlemişlerdir.

Terashi vd. (1980) ile Locat vd. (1990) ise killeri iyileştirme materyali olarak kireç ve uçucu kül katkısını kullanmışlardır. Kireç ve uçucu kül katkısının killi zeminleri iyileştirdiği ve geçirimsizliğin azaldığını gözlemlemişlerdir

El-Rawi ve Awad (1981), koheyonlu zeminlerde yaptıkları iyileştirme çalışmasının sonucunda; plastisite indeksi, dispersivite ve şişmede azalma, geçirimsizlik ve dayanımda artış kaydetmişlerdir. Bell ve Coultherd (1990)'ın yaptıkları çalışmada ise killerin kireç katkısıyla iyileştirilmesi amacıyla yapılan çalışma kirecin şişmede etkin iyileştirme etkisi gözlenmiştir.

Holm ve Broms(1981), baı yapıların temel sistemi için kireç kolonu tekniğini önererek kireç kolonlarının zaman zaman beton kazık temellerinin yerine kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Kitsugi ve Azakami(1982), kireç kolonlarının inşasında taneler halinde sönmemiş kireç kullanmışlar ve kimyasal kireç kolonu yöntemini tanımlamışlardır. Stabilizasyon sürecinde kireç kolonu çevresinde dehidratasyon ve yanıl genişleme meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Ruenkrairegsa ve Pimsan (1982), Tayland'daki killi şeyl dolgularının üzerinde yaptıkları çalışmada 150mm çaplı, 3 m arayla açılan kuyulara kireç ve su karışımı konulmuştur. Elde ettikleri numuneler üzerinde zemin örneklerinde kayma dayanımın parametlerinde artış olduğunu gözlemlemişlerdir.

Transportation Research Board (1987), Kamon ve Nontanandh (1991), Basma ve Tuncer (1991) dünyanın değişik bölgelerinde zeminlerin uçucu kül ve kireç-uçucu kül karışımıyla iyileştirilmesi yöntemiyle gerçekleştirdikleri deneylerde etkin stabilizasyon sonuçları elde etmişlerdir.

Kennedy vd. (1987), kireç ve çimento ile stabilizasyonun şişen zeminler üzerindeki etkisini şişme potansiyelindeki azalmayla ifade etmişlerdir. Mathew ve Narasimha (1997), çimento ve kireç katkısını kullanarak zemini stabilize etmişler ve iyileştirme sistemini açıklamışlardır.

Güler ve Erdinçliler (1993), yapmış oldukları çalışmada kil ve kireci karıştırmaksızın kireci kil numunelerinin üzerine yüzeyden kireç serpererek taşıma gücündeki artışı incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, kirecin difüzyonu sonucu kilin üst kısmında

taşıyıcı bir kabuk tabakasının oluştuğu görülmüştür. Araştırmacılar dayanımdaki artışın derinlikle azaldığını görmüşlerdir. Ayrıca, kilin dayanım değerindeki artışın kilin su içeriğine serpilene kireç miktarına ve zamana bağlı olarak değişiklik göstereceğini belirtmişlerdir.

Ferguson (1993), yaptığı çalışmada altı farklı zemini uçucu kül ile iyileştirilmesi üzerine çalışmıştır. Çalışma sonucunda, kullanılan bütün zeminlerin şişme potansiyelinde bir düşüş olduğu görülmüştür. Ayrıca, şişme potansiyeli %14 olan kil zemine %16 uçucu kül katkısının zeminin şişme potansiyelini %0.8 değerine kadar düşürdüğü gözlenmiştir.

Nicholson ve Kashyap (1993), yüksek şişme potansiyeline sahip bir kilin uçucu kül ve kireç kullanılarak iyileştirilmesi üzerine yaptıkları çalışmada zeminin CBR değerinde artma, sıkışma özelliklerinde iyileşme ve şişme potansiyelinde azalma olduğu görülmüştür.

Uysal (1993), zemin iyileştirme çalışmalarının ilki olan Manisa Öğretmen Evi'nin zemininde yer alan düşük plastisiteli CL inorganik killerin sönmüş kireçle tozu ile stabilizasyonun etkisi kanıtlanmıştır.

Popescu vd. (1997), Uluslararası Bükreş-Otopeni Havaalanı'nın platformunun inşası sırasında şişen temel zeminine kireç katkı maddesi eklenerek zeminin kireçle stabilizasyonu incelemişlerdir. Sonuç olarak kireç oranı arttırıldıkça splastisite indeksinin azaldığı, tek eksenli basınç dayanımının arttığını kaydetmişlerdir.

Basma vd. (1998), yaptıkları çalışmada yüksek şişme potansiyeline sahip killi bir zemini iyileştirmek için kum, kireç, çimento ve tuz kullanmışlardır. Bu amaçla değişik miktarlardaki kum, kireç, çimento ve tuz 10 nolu elekten geçirilen killi zeminle ayrı ayrı karıştırılarak elde edilen örnekler kalıpların içerisine yerleştirilmiş ve sıkıştırılmıştır. Tuz hariç bütün iyileştirme maddeleri killi zeminin şişmesini değişik miktarlarda azaltmışlardır.

Edral (1999), uçucu külün şişebilen zeminlere karıştırılması ile şişme basıncında önemli oranda düşüş olduğunu kaydetmiştir. Muntohar ve Hantoro(2000); zeminlerin uçucu kül ve pozolan malzemeler kullanarak zeminde iyileşme olduğunu belirtmişlerdir. Nalbantoğlu ve Güçbilmez (2001), Kıbrıs adasında temel de önemli sorunlar teşkil eden şişebilen killeri iyileştirmek üzere katkı maddesi olarak uçucu külü

kullanmış ve elde ettikleri sonuçlar şişmenin düştüğünü ve geçirimsizliğin arttığını göstermiştir.

Okagbue ve Onyeobi (1999), yaptıkları çalışmada killi zeminlerin deformasyona olan direncini mermer tozu kullanarak arttığını ve iyileştirme de kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir.

Zorluer ve Usta (1999), artık mermer tozunun şişebilen zeminlerde iyileştirme özelliği olduğunu kaydetmişlerdir.

Akawwi ve Kharabsheh (2000)' in şişme özelliği gösteren Amman killeri üzerinde kireçle iyileştirme üzerine yaptıkları çalışmada, % 3.5-5 arasında katkı miktarı ile etkin bir iyileştirme düzeyine ulaştıklarını belirtmişlerdir.

Ji-ru ve Xing (2002) de katkı maddesi olarak kireç ve uçucu külü kullanarak şişebilen zeminleri iyileştirmişlerdir.

Tono vd. (2003), laboratuvar ortamında kireç kolonları sistemi oluşturarak fiziksel, dayanım, şişme ve konsolidasyon özelliklerinin geliştirilmesindeki performans üzerinde çalışmışlardır. Çalışmanın sonucunda, şişme basıncında %40-75 arasında artış belirlemişlerdir.

Yeşilbaş (2004), yaptığı çalışmada şişen zemin numunesi olarak laboratuvarda hazırladığı kaolin ve bentonit karışımı üzerinde agrega artığı, taş unu, ve kireç kullanarak şişen zeminin stabilizasyonu hakkında çalışmıştır. Kireç ağırlıkça %0-9 arası oranında, agrega artığı ve taş unu da ağırlıkça % 0-25 arası oranlarında kılınmıştır. Örneklerin tane çapı dağılımı, kıvam limitleri, şişme yüzdeleri ve şişme hızı tespit edilmiştir. Bunlara 7 ve 28 günlük kürlere uygulanmış ve bunun sonu olarak iyileştirme, şişme potansiyeli değerinde azalmaya neden olmuş, şişme yüzdesi katkı miktarı arttıkça azalmıştır.

Gürer vd. (2004), inşaat endüstrisinde geri dönüşüm ve bir hammadde kaynağı olarak farklı yapı malzemelerinin yeniden değerlendirilmesi adlı çalışmasında artık mermer tozunun zemin iyileştirilmesinde kullanılabilirliğini belirtmişlerdir.

Ülker (2005), karayolu altyapısında zeminlerin kireçle iyileştirilmesi çalışmalarında iki tip killi zemini (CH ve CL) , farklı yüzdelerde (%1, 3, 5, 10) kireçle karıştırmıştır.

Çalışmanın sonucunda; katılan kirecin, iki tip zeminde de dayanım artışında ve fiziksel özelliklerde gelişmeye önemli oranda katkıda bulunduğunu gözlemlemiştir.

Amu vd. (2005), % 9 çimento +% 3uçucu kül katkı maddesi ile killi zeminde taşıma gücü ve makaslama dayanımında optimum iyileştirme elde etmişlerdir. Bu sonucu uçucu kül kullanmadan % 12 çimento ile elde edilen sonuçla karşılaştırarak, iyileştirme uygun oranda uçucu küle kireç eklenmesinin de iyileştirmeye önemli ölçüde katkı sağladığını belirtmişlerdir.

Süt (2006)' nın kohezyonlu zeminler de kireçle iyileştirme yönteminin CBR (Kaliforniya Taşıma Oranı) değeri üzerindeki etkisinin araştırılması adlı çalışmada, zemin numunesi olarak yüksek plastisiteli kil kullanılmıştır. Zemin kuru ağırlığının % 2, 4, 6, ve 8' i kadar sönmüş kireçle karıştırılmıştır. Artan kireç içeriğinin değerleri baz alınarak değişen; CBR, serbest basınç dayanımı ve şişme potansiyelindeki değişimlere göre şişme potansiyelindeki değerler incelenmiştir. CBR ve serbest basınç deneylerinin sonuçları beraber değerlendirilerek zeminin iyileşmesini sağlayan optimum kireç miktarı belirlenmiştir.

Taşpolat vd. (2006), geçirimsiz kil tabakaları üzerinde yaptıkları çalışmada çevresel koşullara karşı % 10 ve 15 mermer tozu eklenmesiyle zemin mukavemetinin arttığını kaydetmişlerdir.

Aruntaş (2006), inşaat sektöründe uçucu küllerin kullanım potansiyeli konulu çalışmasında uçucu jeoteknik uygulamalarda uçucu kül dolgu maddesi ve stabilizasyonu sağlamak üzere kullanıldığının belirtmiştir.

Zha vd. (2008), şişebilen zeminlerin uçucu küle stabilizasyonu adlı çalışmalarında şişen zemini Hefei kilinin uçucu kül ve uçucu kül- kireç karışımı ile stabilize edilmiştir. Şişen zemine 0, 3, 6, 9, 12 ve %15'e kadar uçucu kül eklenmiştir. 0, 1, 2, ve %3 oranlarında eklenen kireç ile şişebilen zemin stabilizasyonunda uçucu külün ne kadar verimli olduğu anlaşılmaya çalışılmıştır. Uçucu kül ve kireç eklenmiş şişen zemin serbest şişme deneyine tabi tutularak 7 günlük kür uygulanmış ve optimum katkı maddesi %9-12 olarak belirlenmiştir ve sonuç olarak şişme yüzdesi düşmüş ve şişme hızında artış gözlenmiştir.

1.1.2 Şişebilen zeminlerin jipsle iyileştirilmesi ile ilgili çalışmalar

FIPR (1988), fosfatik zemin numunelerini jipsle karıştırıp 360 günlük kürede bekleterek zeminin dayanımında artış kaydetmiştir. Bell ve Maud (1994), toprak dolgu baraj inşaatında özellikle dispersif zeminlerin stabilizasyonunda jipsin etkisinden bahsetmişler ve yaklaşık toz halindeki jipsin iyileştirme malzemesi olarak kullanımının suda çözünürlüğünden dolayı göreceli olarak daha ekonomik olacağını düşünmüşlerdir.

Çetiner (2004), Çayırhan uçucu kül ve desülfojips kullanılarak şişen zeminlerin stabilizasyonu üzerinde çalışmışlardır. Uçucu kül ve desülfojipsin şişen zemine aşamalı olarak % 30'a kadar eklenmiştir. Uçucu kül ve desülfojipsin şişen zemin stabilizasyonunda verim değerini anlamak için kireç kullanılmış ve şişen zemine aşamalı olarak % 8'e kadar ekleme yapılmıştır. Uçucu kül, desülfojips ve kireç eklenmiş numuneler 7 günlük ve 28 günlük küreler uygulanmış ve bunun sonunda numuneler serbest şişme deneyine tabi tutulmuştur. Katkı maddelerinin artmasıyla şişme yüzdesi düşmüş ve şişme hızı artmıştır. Kür, daha çok şişme yüzdesinde düşüşe ve şişme hızında artışa sebep olmuştur.

Çokça ve Baytar (2005), uçucu kül ve desülfojipsin Çayırhan zemininin jeoteknik özellikleri üzerindeki etkileri adlı çalışmalarında uçucu kül ve desülfojips eklenen numuneler üzerinde çökme potansiyellerinde çok belirgin bir değişiklik gözlenmemiş de, stabilizasyondan dolayı serbest basınç dayanımlarında artış olduğunu kaydetmişlerdir.

Ameta vd. (2007), şişme basınçlarının düşürülmesi için kireç-jips karışımlarının kullanımını ekonomik açıdan araştırmışlardır. Araştırma sonucunda kireç-jips karışımının ekonomik olarak iyileştirme kullanılabilirliğini göstermişlerdir.

Yılmaz ve Civelekoğlu (2009) şişebilen killi zeminlere doğal jips katkısı uygulayarak şişme potansiyeli ve dayanım performansını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda %5'lik bir jips katkısı ile şişen kilin plastisite indeksinin %186,9'dan %33,6'ya düştüğü görülmüştür. Ayrıca kilin şişme yüzdesinde %69,1'lik bir düşüş, serbest basınç dayanımında ise %31,9'luk bir artış gözlemlenmiştir. Araştırmacılar, şişebilen killi zeminlerin jipsle etkin bir şekilde iyileştirilebileceğini ve jipsin iyi bir katkı maddesi olduğunu vurgulamışlardır.

Küçükali (2011), üst pliyosen yaşlı yüksek plastisiteye sahip killerin kireç ve jips katkı maddeleri kullanılarak şişme ve dayanım parametrelerinde ki etkilerini araştırmıştır. Çalışma sonucunda %12 oranında kireç ve 90 günlük kür süresinin en yüksek basınç dayanımını sağladığı görülmüştür. Jipsin ise %3 oranında katılması durumunda kilin şişme ve dayanım özelliklerini olumsuz olarak etkilediği, kireç içerisine jips katılması halinde iyileştirme performansının azaldığı gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmalardan da görüldüğü üzere jipsin katkı maddesi olarak kullanılabilirliğine ilişkin çalışmalar oldukça sınırlı miktardadır. Ayrıca zeminlerin jips kolonu kullanılarak iyileştirilmesi ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu açıdan bu tez çalışması ile hem jipslerin katkı maddesi olarak şişebilen zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılabilirliğine ilişkin yakın zamanda gerçekleştirilmiş çalışmalara devamı olarak katkı konulması, hem de oldukça ucuza mal edilebilen jipsle iyileştirmenin “jips kolonu” uygulaması ve performansının ortaya konulması ile arazi uygulamaları bakımından altlık oluşturması amaçlanmıştır.

2.GENEL BİLGİLER

Yapılan literatür taramasından da görüldüğü üzere şişebilen killi zeminlerin yol açtığı problemlerin iyileştirilmesinde kullanılan katkı maddelerinin genel olarak kireç, çimento ve uçucu kül ile sınırlıdır. Alternatif katkı maddelerinin kullanımına ilişkin çalışmaların sınırlı miktarda olduğu görülmektedir. Bu tez çalışması kapsamında şişebilen killi zeminlerin iyileştirilmesinde jips kolonunun kullanılabilirliğinin araştırılması hedeflenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalara geçmeden önce konu ile ilgili genel bilgiler literatürden derlenerek aşağıda sunulmuştur.

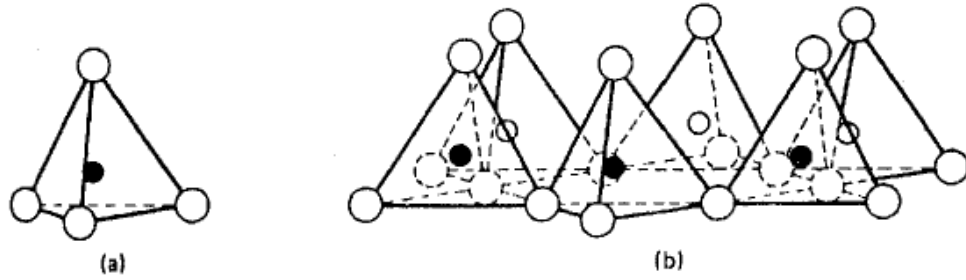
2.1 Killerin Özellikleri

Killer belirli bir miktar su katıldığında plastikliği artan, alümina ve silis içeriği yüksek tane boyutu 0.02 mm'den daha küçük taneli sedimanlardır. Killer sedimanter ve/veya hidrotermal ortam koşulları altında sırasıyla; çökeltme veya volkanojenik kayaların bozunma/bozuşmasından itibaren oluşur. Kilin türü, zeminin geçirimsizliğini, şişme-büzülme davranışını, sıkışabilirlik ve kayma direnci gibi önemli özellikleri doğrudan etkilemektedir.

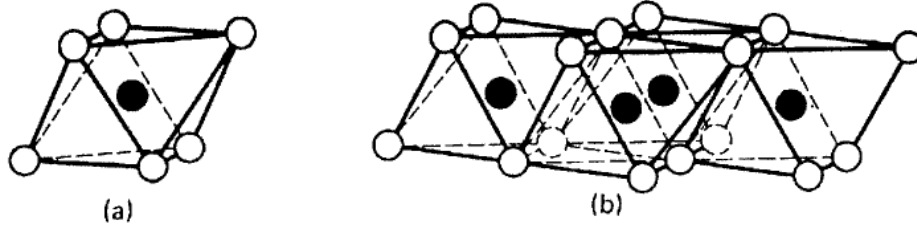
Kayacın kile dönüşmesiyle, kil belirli şartlar altında karakterini oluşturmaya başlar. Bu şartlar; ortam sıcaklığı, nemlilik, yağış, yer altı su seviyesi ve drenaj koşulları, pH ve tuzluluk, bitki örtüsü, eğim ve ana kayaç türü olup killerin oluşumunda önemli rol oynamaktadır. Ortam şartlarına göre oluşan kil mineralinin yapısının ortam koşulları ve kökenleri ile birlikte değerlendirilmesi, zemin yapısını tanımak ve oluşabilecek mühendislik problemlerini tahmin etmek yönünden önemlidir. (Mollamahmutoğlu ve Taşkıran, 2000).

Birbirinden çok farklı iki doğal ortam kil minerallerinin oluşmasını sağlar. Birinci ortam yüzeye yakın, ayrışma ve yıpranmanın etkin olduğu bölgedir. Burada atmosfer basıncı ve normal sıcaklıklar sürdüğünde su genellikle sıvı fazdadır. Bundan çok farklı ikinci ortam ise derinlerde hidrotermal koşulların sürmesi durumudur. Su büyük basınç altında ve buhar olarak bulunmaktadır. Birinci ortamda kilin oluşumu eriyiklerden kristalleşme, kayaçtaki silikat minerallerinin ayrışması, iyon değişimi ve yeniden sertleşme mekanizmaları ile tamamlanır. Hidrotermal ortamda kil oluşumu yukarıdaki koşullara oranla daha azdır.

Toprağın ayrışması sonucu ortaya çıkan kil mineralleri iyi kristalize olmuş, OH (hidroksil) içeren alüminosilikatlardır. Kil minerali yapısında iki ana yapı bloğu vardır. Bunlar tetrahedron ve oktahedron birimleridir. Silis tetrahedronunda bir silisyum iyonu dört oksijen atomu ile birleşmiştir. Silis tetrahedronlarının oksijenleri paylaşarak birleşmesiyle silikat tabakası oluşur (Şekil 2.1). İkinci elemenda alüminyum ve magnezyum iyonu altı hidroksil iyonu ile bağlı olup sekiz yüzlü oktahedron oluşturmuştur. Oktahedronların diğer oktahedronlarla paylaşılması sonucu ise alümina tabakası oluşur (Şekil 2.2).

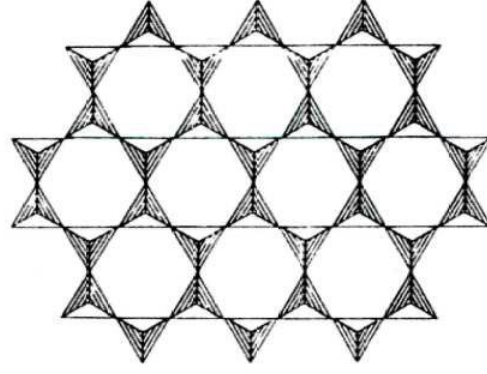


Şekil 2.1. (a) Silis tetrahedron, (b) silikat tabakası (Grim, 1968).



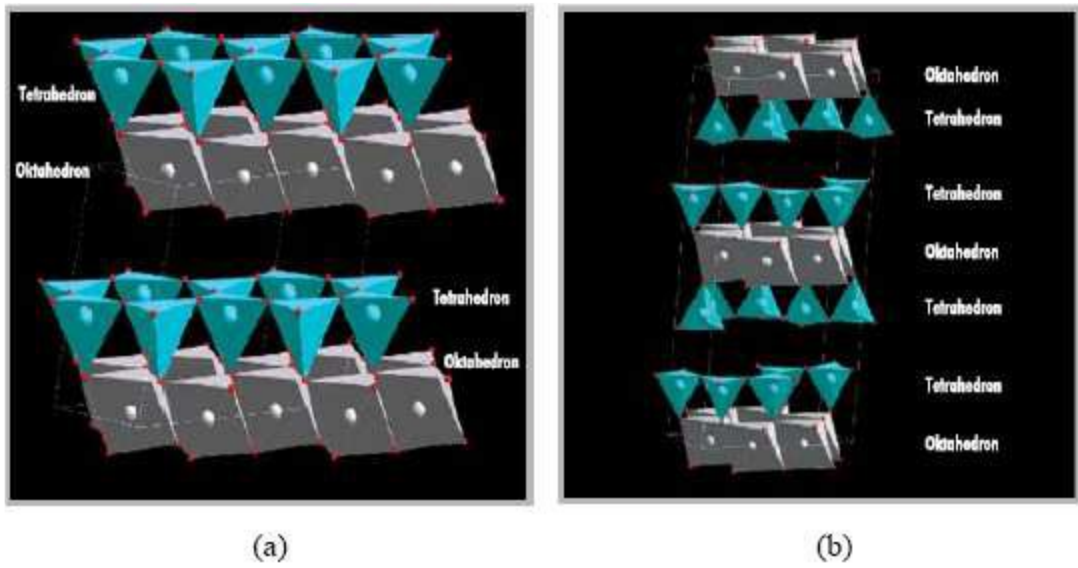
Şekil 2.2. (a) Alüminyum oktahedron, (b) alümina tabakası (Grim, 1968).

İki silisyum tetrahedralin arasına bir alüminyum oktahedralinin girmesi sonucu dioktahedral birim katmanı oluşur ve bu yapı kısaca TOT şeklinde simgelenir. Çok sayıda dioktahedral birim katmanlarının üst üste yerleşmesi sonucunda ise dioktahedral mineral tanecikleri (montmorillonit, baydelit, nontronit) oluşur. Şekil 2.3' de tetrahedral katmanın üstten görünümü verilmiştir.



Şekil 2.3. Tetrahedral katmanın üstten görünümü (Grim, 1968).

Tetrahedron ve oktahedron katmanlarının üst üste ve yan yana dizilimi şeklinde bir araya gelmesi ve ortak kullanılan oksijen iyonlarının birbirine bağlanmasıyla kil tabakaları oluşmaktadır. Bir tetrahedron ve bir oktahedron katmanının bağlanmasıyla 0.72 mm kalınlığında iki katmanlı kil tabakası (1:1), bir oktahedron katmanının iki tarafına birer tetrahedron katmanının bağlanmasıyla kalınlığı 1 mm olan üç katmanlı kil tabakası(2:1) oluşur. Aynı atom gruplarının bulunduğu yüzeye düzlem, birim yapı taşlarının birbirine bağlanmasıyla oluşan yapıya da katman 2 (TO), 3(TOT) ve 4 (TOT-O) gibi katmanların birbirine bağlanmasıyla oluşan yapılara tabaka adı verilir. Şekil 2.4’ de iki katmanlı 1:1 (TO) ve üç katmanlı 2:1 (TOT) kil minerallerinin oluşumu sunulmuştur.



Şekil 2.4. a) İki katmanlı TO (1:1) b) üç katmanlı TOT (2:1) kil tabakaları ((Grim, 1968).

2.1.1.Killerin sınıflandırılması

Kil minerallerinin sınıflandırılmasında killerin fiziksel, kimyasal, mineralojik özellikleri değerlendirilmeye alınarak sınıflandırma şekilleri geliştirilmiştir. Kil mineralleri karmaşık bir dizilim yapısına sahiptirler. Bu şekilde bir dizilime sahip olduklarından dolayı birçok sınıflandırılma şekline sahiptirler. Bu sınıflandırma içinde bulduklarını yabancı maddenin cinsine, oluşum yeri ve şekline göre değişkenlik göstermektedir.

Kil mineralleri genel olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir (Grim, 1968' den):

Mineralojik Özelliklerine Göre Killer

- Kaolin Grubu
- Smektit (Montmorillonit) Grubu
- Mika Grubu
- Klorit Grubu
- İllit Grubu
- Attapulgit Grubu

Yapılarına Göre Killer

- Amorf Grup
- Kristal Grup

Kimyasal İçeriklerine Göre Sınıflandırma

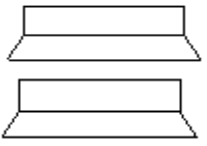
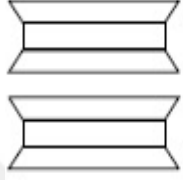
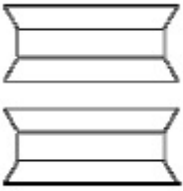
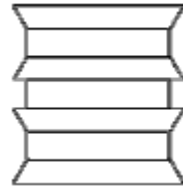
- Yüksek alüminyum içerikli
- Boksit içerikli
- Silikat içerikli
- Demir içerikli
- Kalsit içerikli
- Karbonat içerikli

Fiziksel Sınıflandırma

- Plastik özelliğine göre
- Tane boyutuna göre
- Refrakter özelliğine göre
- Renk özelliğine göre

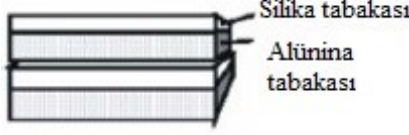
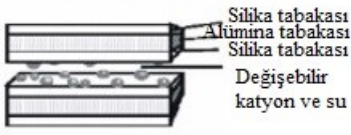
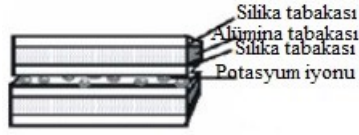
Ayrıca, Çizelge 2.1’ de tabaka tipi ve yüküne göre yapılan bir sınıflama verilmiştir.

Çizelge 2.1. Kil minerallerinin tabaka tipi ve tabaka yüküne göre sınıflandırılması (Grim, 1968’ den).

TABAKA SAYISI	GRUP VE BİRİM YÜK	ALT GRUP	KİLİN TÜRÜ	TEMEL YAPISI
1:1	Kaolonit-Serpantinit	Kaolinit	Kaolinit, dictit	
	X≈0	Serpantin	Lizardit halloysit	
2:1	Profillit-Talk X≈0	Profillitler	Profillit	
	Simektit yada montmorillonit Saponit X≈0.2-0.6	Talklar	Talklar	
		Dioktoedral smektit	Montmorillonit beidellit nonronit	
		Trioktoedral smektit	Saponit hektorit	
		Yada saponit		
	Vermikülit X≈0.6-0.9	Dioktoedral vermikülit	Dioktoedral vermikülit	
2:1		Trioktoedral vermikülit	Trioktoedral vermikülit	
	Mika X≈1	Dioktoedral mika	Muskovit	
		Trioktoedral mika	Biyotit	
	Gevrek mika X≈2	Dioktoedral gevrek mika	Margarit	
		Trioktoedral gevrek mika	Klintonit	
	Klorit	Dioktoedral klorit	Donbasit	
2: 1:1	X-değişken	Di/Tri oktoedral klorit	Sudoit	
		Trioktoedral klorit	Klinoklor	

Mühendislik jeolojisinde kil mineralleri arasında en yaygın olanları kaolin, illit ve montmorillonit olup söz konusu kil minerallerinin özellikleri Çizelge 2.2’de sunulmuştur.

Çizelge 2.2. Belirli kil minerallerinin özellikleri.

Kilin Türleri	Özellikleri
<p style="text-align: center;">Kaolin</p>  <p style="text-align: center;">$Al_2[(OH)_2(Si_2O_5)]$</p>	<p>Kaolin partikülleri yaklaşık 1 pm çapında ve 0,1 pm kalınlığındadır.</p> <p>Şişme özelliği göstermez.</p> <p>Seramikler için kullanılır.</p>
<p>Montmorillonit (simektit)</p>  <p style="text-align: center;">$Si_8(Al_{3,31}Mg_{0,66})O_{20}(OH)_4M^{+}_{0,66}nH_2O$</p> <p>$M^{+}$: Değişebilir Katyonlar n: katmanlar arası suyun mol olarak miktarı</p>	<p>Na-montmorillonit partikülleri oldukça küçük taneciklerdir ve genellikle tek kristal tabakası şeklindedir ve kalınlığı yaklaşık 1pm’ dir.</p> <p>Ca-montmorillonit partikülleri Na-montmorillonite göre daha büyüktür ve 8-10 kristal tabakası şeklindedir ve kalınlığı yaklaşık 20-30 pm’ dir.</p> <p>Na-montmorillonit şişme özelliği gösterir.</p> <p>Ca-montmorillonit daha az şişme özelliği gösterir.</p>
<p>İllit</p>  <p style="text-align: center;">$KAl_2[(OH)_2(AlSi_3O_{10})]$</p>	<p>Birim katmanında, iki silika tabakası arasında alümina tabakası yer alır ve tabakalar arasında K^{+} kasyonu bulunur. İllit partikülleri oldukça küçük ve genellikle 10 pm boyutundadır.</p> <p>Şişme özelliği göstermez.</p>

Montmorillonit (Mg, Ca) $Al_2O_3 \cdot 5SiO_2 \cdot 8H_2O$ formülü ile gösterilen bir kil mineralidir. Baydelit ise $Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot H_2O \cdot nH_2O$ formülü ile gösterilen smektit grubu kil minerallerinin alüminyumca zengin bir üyesidir. Ana minerali sodyum montmorillonit olan killere sodyum bentonit (Na-B), kalsiyum montmorillonit olan

killere ise kalsiyum bentonit (Ca-B) denir. Na-B ve Ca-B karışımı olan bentonitlere de “*ara bentonit*” olarak adlandırılır.

Montmorillonit; iki silisyum tetrahedralinin arasına alüminyum oktahedralinin girmesiyle oluşan üç tabakalı bir mineraldir. Birim hücreler birbirlerini Van der Waals bağlarıyla tutarlar. Bu bağların çok zayıf olması sonucu kolay ayrılabilir ve elde sabun gibi kaygan bir his bırakırlar. Montmorillonit içeren killer yüksek plastiklik özeliği taşır.

2.2. Şişen Killer

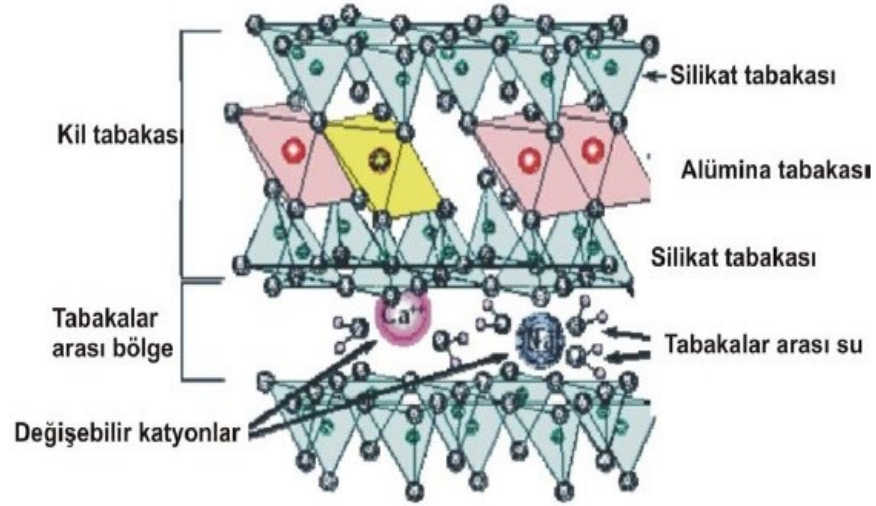
Şişen zeminler suyla karıştırıldıklarında hacim değişimi gösteren ve üzerinde bulunan yapılara ve kazık destek sistemlerine zarar verebilen, yarı kurak veya kurak iklimlerde oluşmuş killerdir. Şişme özelliğinin montmorillonit ve illit tipi killere özgü bir olay olduğu söylenebilir. Bazı durumlarda killer tek, bazılarında ise üç boyutta şişme özelliği göstermektedir. Bazen de zeminlerde yanal şişme basıncı düşey yöndeki değerinin iki katına çıkabilmektedir (Yıldırım, 2009).

Toplam su içeriği ve su tutma enerjisi killerin, tüm özelliklerini etkileyen en önemli iki faktördür. Su içeriği; kıvam, dayanım ve yoğunluk, su tutma enerjisi ise hacimsel değişim, konsolidasyon ve hidrolik iletkenlik gibi temel özellikleri etkiler. Killer üzerindeki mühendislik uygulamalarının hemen hepsi kildeki doğal su içeriğini bozar. Kil üzerine uygulanan gerilmeler, doğal ve yapay yükler kilin yapısında nem hareketine neden olur ve killerdeki hacimsel değişimler genellikle bu nem hareketi ile kontrol edilir. Killerde nem hareketi, kil-su sistemi içerisinde içsel eğimden kaynaklanan kuvvetlerle oluşur. İçsel eğim, sıcaklık değişmesi, doyunluğun artması ve kimyasal bileşimdeki değişimlerden kaynaklanır. Killerde kuruma sonucu büzülme, su emme sonucu şişme gibi istenmeyen sonuçlar nem hareketlerinden dolayı oluşur.

Yeryüzünde meydana gelen buharlaşma killerde kurumaya neden olduğu gibi; yer altı suyu tablasındaki su yükselmesi, yağışlar barajlar gibi mühendislik yapılarından sızan su kaçakları kildeki nem miktarını artırır. Kildeki bu nem miktarındaki değişim genellikle hacimsel değişimlere yol açmaktadır. Nem artışı hacimsel büyümeyi etkilediği gibi nem kaybı da hacimsel küçülmeye neden olur. Nem artışını tetikleyen faktörler arasında basıncın azalması kilin su emmesini tetiklemektedir. Su emmesi için uygun ortam oluştuğunda kil, dengeli gözenek oranına ulaşıncaya kadar devam eder. Killerde su emme sonucu oluşan hacimsel büyüme kilin şişme basıncının bir

fonksiyonudur. (Kasapoğlu, 1989). Bu şişme basıncı kil üzerine etkiyen inşaat yükünü aşarsa zeminde kabarmalar oluşur ve bu da önemli temel sorunlarına neden olur. Zemin kabarmalarını etkileyen en önemli faktörler kilin mineralojisi, dokusu kimyasal bileşimi konsolidasyon miktarıdır. Kil mineralleri arasında şişme potansiyeli en yüksek olan montmorillonittir. İnce tabaka yapısına sahip olan montmorillonit kristalleri içerisinde giren su, tabaka arası yaklaşık 10 Å olan mesafeyi önemli ölçüde büyümesine neden olmaktadır. Bu tür hacimsel büyümeye kristaller arası şişme adı verilmektedir.

Kil mineralinin kristal kimyası killerde şişmeyi etkileyen en önemli faktördür. Örneğin, kristal yapısı bakımından montmorillonit ve illit birbirine çok benzerler. İllit şişmeyen kil olarak tanımlanmasına rağmen birim yüzey alanındaki elektron yükü montmorillonitinkinden daha büyüktür. Buda şu anlama gelir, montmorillonitin katmanlar arası bağı illitin katmanlar arası bağ değerinden düşüktür. Bu sebepten dolayı su, bu zayıf bağları kopararak katmanlar arasına nüfuz etmesi daha kolaydır. Şekil 2.5' de montmorillonit mineralinin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Montmorillonit minerali (Grim, 1968' den).

2.2.1.Şişme potansiyeli

Şişme potansiyeli bir zemin numunesinin belirli bir sürşarj yükü altında doygun hale gelinceye kadar meydana gelen hacim artışının zemin numunesinin başlangıçtaki hacmine oranı olarak tanımlanır ve aşağıdaki şekilde ifade edilir (Uzer ve Olgun, 2006).

$$S_w = (\Delta H/H_0) \times 100$$

(1)

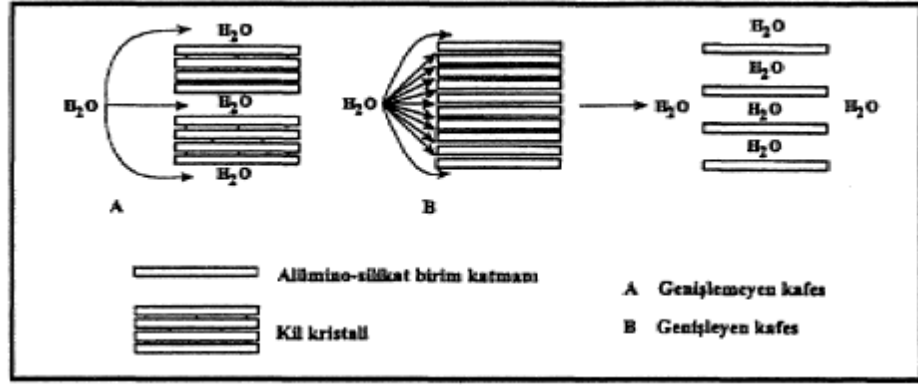
Şişme potansiyelini etkileyen başlıca faktörler; zeminin kil içeriği, kil mineralinin cinsi, arazideki gerilme durumu, kilin gerilme geçmişi, kilin kuru birim hacim ağırlığı, başlangıç su içeriği, boşluk oranı, geçirgenlik, şişen zemin tabakasının kalınlığı olarak sayılabilir (Keskin, 1993).

2.2.2. Şişme basıncı

Şişme olayı gerçekleşirken şişmeyi engelleyici kuvvete karşı şişen zeminin göstermiş olduğu basınca şişme basıncı adı verilir. Killerin şişme basıncını etkileyen faktörler; arazideki su içeriği, arazideki yoğunluk, yöntem ve kompaksiyon derecesi olarak sayılabilir. Ayrıca zeminin türü şişme basıncını etkileyen önemli bir faktördür (Yılmaz ve Karacan, 1998).

2.2.3. Şişmenin mekanizması

Kil zeminlerde şişmeyi daneler arası ve daneler içi olmak üzere ikiye ayırmıştır. Daneler arası şişme, kilin mineralojik kompozisyonundan bağımsız olarak herhangi bir kil zeminde meydana gelebilir. Nispeten kuru olan killerde daneler, kapiler kuvvetlerden kaynaklanan çekimle bir arada tutulurlar. Islanma meydana geldiğinde ise kapiler kuvvetlerin etkisi azalır ve kil zemin genişler. Başka bir deyişle, suyun dıştaki kristal yüzeylere çıkması engellenip, kristallerin arasındaki boşluğu doldurduğunda şişme meydana gelir. Öte yandan daneler içi şişme, montmorillonit mineralinin karakteristik özelliğidir. Bir montmorillonit kristalini oluşturan ayrı ayrı molekül tabakaları zayıf bir şekilde birbirlerine bağlıdırlar. Dolayısıyla ıslanma meydana geldiğinde su sadece kristallerin arasına değil, kristalleri de kapsayan birim tabakaların arasına girer. Şekil 2.6' de tabakalar arası şişme mekanizması görülmektedir.



Şekil 2.6. Killerde kristaller arası şişme (Gillot, 1968; Kasapoğlu, 1989).

Killerin şişmesi birincil olarak elektriksel çift tabakaya bağlıdır. Kil-su sistemindeki değişebilen katyonlar kil üzerinde yer almayıp, yüzeyde farklı uzaklıkta yer alabilirler. Pozitif yüklü iyonlar ve negatif yüklü kil yüzeyi arasındaki elektriksel kuvvet, katyonları yüzeye çeker, fakat termal enerjileri onları yüzeyden uzağa dağıtır. Elektriksel çekme ve termal dağıtım arasındaki denge yüzeydeki yüksek konsantrasyonlu ve yüzeyden düşük uzaklıktaki katyonları dağıtmayı sağlar. Bitişik tanelerin dağılmış iyon tabakalarının birbirleri ile etkileşimi şişme özelliğini açıklayıcı bilgi verir.

2.2.4. Şişen killerin sınıflandırılması

Şişme potansiyeline yaklaşımda bulunmak amacıyla birçok araştırmacı tarafından önerilen sınıflama abakları mevcuttur. Kıvam limitleri şişme potansiyeline yaklaşımda bulunmak amacıyla kullanılan en yaygın parametredir. Çizelge 2.3' de O'Neil ve Poormoayed (1980) tarafından önerilen plastisite indeksi ve likit limite bağlı şişme potansiyeli sınıflaması verilmiştir. Ayrıca, Holtz ve Gibbs (1969), şişen zeminlere yaklaşımda bulunmak amacıyla kolloid içeriği ve kıvam limitlerini kullanmışlardır (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.3. Şişen zeminlerin sınıflandırılması (O’Neil ve Poormoayed, 1980).

Likit Limit	Plastisite İndeksi	Şişme Potansiyeli	Sınıflama
<50	<25	<0.5	Düşük
50-60	25-35	0.5-1.5	Orta
>60	>35	>1.5	Yüksek
Şişme Potansiyeli= Örtü basıncına eşit basınç altındaki düzey şişme			

Çizelge 2.4. Zeminlerin şişme potansiyeli sınıflaması (Holtz ve Gibbs, 1969).

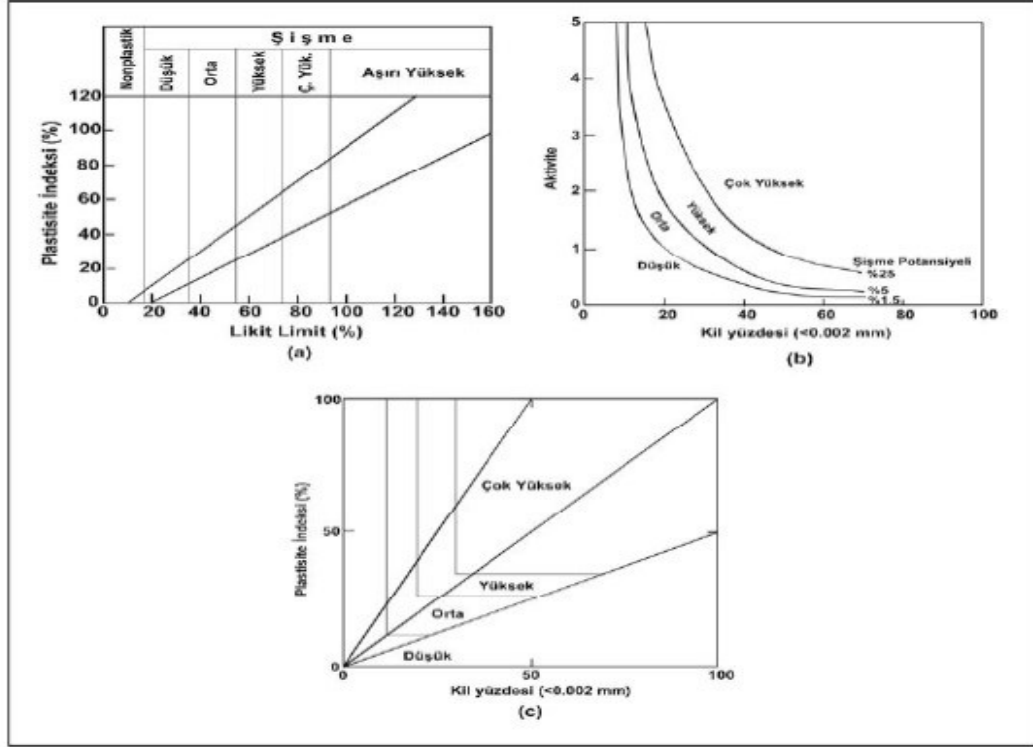
Kolloid içeriği (%)	Plastisite indeksi (%)	Büzülme limiti (%)	Likit limit (%)	Tahmini şişme (%)	Şişme potansiyeli
<15	<18	>15	<39	<10	Düşük
13-23	15-28	10-16	39-50	10-20	Orta
20-31	25-41	7-12	50-63	20-30	Yüksek
>28	>35	<11	>63	>30	Çok yüksek

Yıldırım ve Acar (1994), plastisite indeksine bağlı olarak şişme potansiyeline yaklaşımda bulunmak amacıyla Çizelge 2.5’ deki abağı geliştirmiştir.

Çizelge 2.5. Plastisite indeksi ve şişme potansiyeli arasındaki ilişki (Yılmaz ve Acar, 1994).

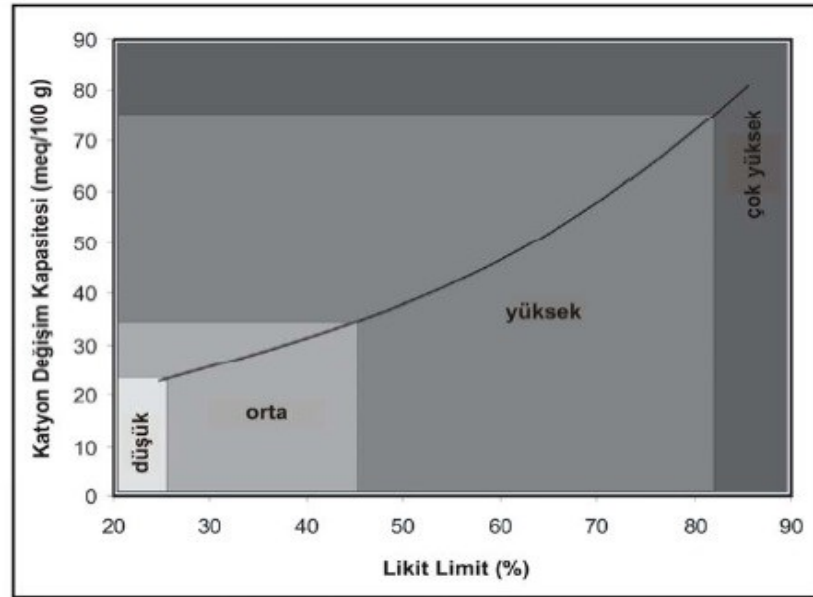
Plastiklik indisi	Şişme potansiyeli
0-15	Düşük
10-35	Orta
20-35	Yüksek
≥35	Çok yüksek

En yaygın olarak kullanılan şişme potansiyeli sınıflama abağı Van der Merwe (1964) tarafından geliştirilen ve Williams ve Donaldson (1980) tarafından modifiye edilen sınıflamadır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Zeminlerin çeşitli parametrelere bağlı olarak, şişme sınıflaması.

Bunların dışında Yılmaz (2006), yapmış olduğu çalışmada katyon değişim kapasitesi ve likit limite bağlı olarak yeni bir sınıflama önermiştir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. KDK ve likit limite bağlı olarak şişme potansiyeli sınıflaması (Yılmaz, 2006).

Katyon değişim kapasitesi, kil taneleri üzerindeki negatif yüklerin dengelenmesi için gerekli değişebilir katyonların miktarıdır ve meq/100 g ile ifade edilir (Demir ve Kılıç, 2010). Katyon değişimi, killi davranışı üzerinde önemli etkilere sahiptir. Zeminlerin KDK değerleri içerdiği kil mineral türüne göre değişim göstermektedir. Aşağıda çeşitli kil minerallerinin KDK değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.6. Bazı kil minerallerinin KDK değerleri (Grim, 1968).

Kil minerali	Katyon Değişim Kapasitesi (meq/100g)
Kaolinit	3-15
Simektit	80-150
İllit ve Klorit	10-40

2.2.5. Şişme deneyleri

Şişen killer dolaylı olarak tanımlanmakla birlikte direkt yöntemlerle de belirlenebilmektedir. Aşağıda şişen killerin tanımlanması için kullanılan şişme deneyleri açıklanmıştır.

2.2.5.1. Serbest şişme deneyi

Serbest şişme deneyi 40 No'lu elekten geçen hacmi bilinen bir kuru zeminin, dereceli bir silindire konularak zeminin tam doygun haldeki hareketinin tamamladıktan sonra şişmiş haldeki hacminin belirlenmesi olarak adlandırılır. Zeminin serbest şişmesi hacimdeki ilk değişimin başlangıçtaki hacmine olan oranı olarak tanımlanır. Yüksek kaliteli ticari amaçla kullanılan bentonitin serbest şişmesi, %1200-2000'dir. Holtz ve Gibs (1956), %100 gibi düşük şişme kapasitesine sahip bir zemine arazide hafif yükleme altında ıslattıklarında önemli miktarda şişmenin meydana geldiğini kaydetmişlerdir.

2.2.5.2. Potansiyel hacim değişimi deneyi (PVC)

PVC metre sıkıştırılmış bir zeminin şişme basıncını belirlemek amacıyla standart haline getirilmiş bir ölçüm aletidir. PVC metre laboratuar ve arazi ortamında kullanılabilir. Bu deneyde örselenmiş numune doğal su muhtevasında Proktor sıkışma enerjisiyle sıkıştırılarak konsolidometre hücresine yerleştirilir. Numune bir yük halkasına karşı ıslatılarak şişmesi sağlanır. Şişme endeksi yük halkasına bağlı olarak kaydedilir. Bu deneyin basitliği ve standart sonuçlar vermesi avantaj olarak

değerlendirilebilir. Bu deney örselenmemiş numune kullanımını içerdiği için arazideki zemin hakkında tasarımda kullanılacak kesin parametreleri içermez bunun sonu olarak bu deney yöntemi tanımlama amacıyla kullanılır.

2.2.5.3. Şişme indeksi deneyi

Şişme indeksi deneyi; 1960'ların sonunda Amerikanın Güney Kaliforniya bölgesinde, bölgede çalışan firmaların kullanılan deneylerin standartlaştırılmasını istemesine bağlı olarak geliştirilmiştir. Kaliforniyadaki beş farklı laboratuvar ortamında istatistiksel olarak yapılan bu deneyler sonucunda USB Standardı No: 29-2 olarak belirlenmiştir. Bu deneyin PVC deneyinden farkı şişmenin sabit bir sursaj yükü altında serbest bırakılmasıdır.

Deney 4 numaralı elekten elenerek ASTM D-1557-66T standardına göre optimum su muhtevasına getirilir. Zemin daha sonra 6-30 saat kür altında tutularak 10.2cm'lik kalıpta sıkıştırılır. Daha sonra numunenin su muhtevası %50'lik doygunluk derecesine göre ayarlanır. Numune üzerine 6.9kPa'lık sursaj uygulanır ve ısıtılır. 24 saat boyunca hacim değişimi incelenir. Şişme indeksi aşağıdaki şekilde hesaplanır ve en yakın değere yuvarlanır.

$$EI=100 \Delta h \times F \text{ (EI=Şişme indeksi)}$$

$$\Delta h= \text{Şişme yüzdesi}$$

$$F=4 \text{ numaralı elekten geçen yüzde}$$

Şişme indeksine bağlı olarak şişme potansiyeli aşağıdaki şekilde belirlenir.

Çizelge 2.7. Şişme indeksi değerlerine göre şişme potansiyelleri.

EI	Şişme potansiyeli
0 – 20	Çok Düşük
21 – 50	Düşük
51 –90	Orta
91 –130	Yüksek
>130	Çok yüksek

2.2.5.4. Kaliforniya taşıma oranı (CBR)

Bu deney yöntemi (CBR) özellikle karayolu tasarımında kullanılan bir penetrasyon direnci deneyidir. Deneyin amacı ince taneli bir zeminin penetrasyon direncini ölçmeden önce düşey şişmenin ölçülmesine dayanır. Zeminler 15.2 çapındaki CBR deney kalıplarında değişik su muhtevalarında farklı yoğunluklarda sıkıştırılır. 4 gün boyunca zeminin arazideki durumuna göre belirlenmiş bir sürsaj yükü altında bekletilir. Numune suda bekletilmeden önce ve suda bekletildikten sonra dial guagelerden okumalar kaydedilir. Penetrasyon yapılmadan önce numune 15 dakika direne olmaya bırakılır.

2.2.5.5. Lineer Genişleme Katsayısı (COLE)

COLE deneyi Amerikan Zemin Koruma Servisi ve Ulusal Zemin İnceleme Servisi tarafından şişen zeminleri tanımlamak için rutin olarak kullanılan bir rötre deneyidir. COLE deneyi örselenmemiş, serbest bir numune üzerine 33kPa'dan etüvde kurutulmuş (150,000psi=1000mPa) emme değerine kadar lineer birim şekil değiştirmesini belirler.

Bu yöntem örselenmemiş numune esnek plastik bir suyu geçirmeyen fakat su buharını geçirme özelliğine sahip reçine ile kaplanır. Örselenmemiş zemin parçaları bir basınç kabında 33kPa emme değerine getirilerek Arşimet kanunları kullanılarak havada ve suda hacim değişikliği ölçülür. Daha sonra numuneler etüvde kurutulur ve hacim değişiklikleri havada ve suda tekrar ölçülür.

COLE numune boyutlarının yaş ve kuru haldeki değişimlerinin ölçüsü olarak tanımlanır ve 5psi emme basıncı ve etüvde kurutulmuş hallerinin yoğunlukları hesaplanarak elde edilir. COLE aşağıdaki şekilde elde edilir.,

$$COLE = \Delta L / \Delta L_D = (Y_{dD} / Y_{dM})^{0.33} - 1$$

$$\Delta L / \Delta L_D = \text{kuru boyutlara bağlı lineer yer değiştirme}$$

$$Y_{dD} = \text{etüvde kurutulmuş numunenin kuru yoğunluğu}$$

$$Y_{dM} = 33\text{kPa'lık emme basıncı altındaki numunenin kuru yoğunluğu}$$

COLE değeri bazen yüzde olarak ifade edilir. Yüzde olarak yada boyutsuz olarak da ifade edilse büyüklüğü COLE değerini belirler.

Amerikan zemin araştırma laboratuvarı(1981), Lineer Genişleme (LE) ifadesini kil mineralojisini belirlemek için kullanmaktadır.LE'nin kil içeriğine oranı mineraloji ile Çizelge 2.8' de ifade edilmiştir.

Çizelge 2.8. LE/Kil yüzdesi oranının kil mineralojisi ile ilişkisi.

LE /Kil yüzdesi	Mineraloji
>0.15	Smektit (montmorillonit)
0.05 – 0.15	Illit
<0.05	Kaolinit

2.2.6. Şişen killerin iyileştirilmesi

Killi zeminlerin bazılarında su etkileşimiyle birlikte kabarmalar meydana gelir ve bu kabarmalar mühendislik yapılarında önemli yapısal ve mekanik hatalara neden olur. Eski zamanlardan beri şişme potansiyelinin kontrolü değişik yöntemler kullanılarak günümüze kadar modernleşerek gelmiştir.

Şişen zeminlerin iyileştirilmesi için kullanılabilen birçok yöntem mevcuttur. Bu yöntemler; şişen zeminin kaldırılması ve yer değiştirilmesi, kompaksiyon, ön ıslatma, su içeriğini sabit tutmak, temeller ve döşemeler inşa edilmesi ve kimyasal katkı maddelerinin kullanılması olarak sayılabilir. Bu metotlardan her birinin uygulanabilirliği söz konusu zeminin şartlarına, inşa edilecek yapının tipine, stabilizasyon malzemelerinin temin edilebilirliğine bağlıdır. İyileştirme işlemlerinin başarılı olması bütün şartların dikkate alınmasına, uygulamadaki titizliğe ve söz konusu yöntemin etkinliğine bağlıdır (Gromko, 1974). Aşağıda söz konusu iyileştirme yöntemleri açıklanmaya çalışılmıştır.

2.2.6.1.Şişen zemini kaldırma ve yer değiştirme

Bu yöntemde temel altındaki sorunlu zemin kaldırılarak yerine şişme özelliğine sahip olmayan zemin uygun tekniklerle serilir. Bazı durumlarda şişen zemin tabakası tamamen kaldırılabilir durumda olabilir. Ancak şişen zemin tabakasını tamamen kaldırmak ve yer değiştirme işlemini ekonomik olarak yapmak için şişen zemin tabakası uygun bir derinlikte olmalıdır. Ayrıca, malzeme taşınmasının getirdiği fazladan maliyetten kaçınmak için dolgu malzemesi inşaat alanına yakın bir bölgede bulunmalıdır. Bu şartlar sağlanmadığı takdirde söz konusu yöntem ekonomiklikten uzaklaşmaktadır.

2.2.6.2.Kompaksiyon

Şişen zeminlerin şişme potansiyeli zeminin kuru birim hacminin düşürülmesiyle azaltılabilir. Holtz ve Gibs (1956), şişen zeminlerin düşük yoğunluklarda ve yüksek su içeriklerinde sıkıştırıldıklarında çok az şişme gösterdiklerini belirtmişlerdir. Dolayısıyla şişen zeminleri iyileştirmek için sorunlu zemin bu özellikleri sağlayacak şekilde sıkıştırılabilir. Arazide bulunan zeminin dolgu malzemesi olarak kullanılmasından dolayı bu uygulama ekonomik olabilir. Ancak zeminin yoğunluğunun düşük olması taşıma gücü problemlerine neden olabilir (Demir ve Kılıç, 2010).

2.2.6.3.Ön ıslatma

Bu yöntemde mühendislik yapısı inşa edilmeden önce şişen temel zemininin şişmesi sağlanmaktadır. Ancak bu yöntemin bazı sakıncaları mevcuttur. Şişen zeminlerin geçirimsizliği genelde çok düşüktür ve bu nedenle zeminin ıslatılması çok uzun bir süre içinde gerçekleşebilir. Ayrıca zeminin su içeriğinin artması durumunda zeminin dayanımının büyük ölçüde azalabileceği göz önüne alınmalıdır. Su zamanla şişen zemin tabakasının altındaki zemini de etkileyecektir. Bu durumun yapı üzerinde beklenmeyen hasarlara neden olabileceği unutulmamalıdır.

2.2.6.4.Su içeriğini sabit tutmak

Zemindeki şişme problemleri zemin içerisindeki su içeriği değişimlerinden kaynaklanmaktadır. Eğer zeminin su içeriğindeki değişimler engellenebilirse zeminlerin şişmesi önemli ölçüde azaltılabilir. Bu amaçla su tutucu bariyerler kullanılabilir. Yapıya yakın bölgelerde geçirimsiz tabakalar oluşturularak yapının altındaki zeminin su içeriği değişimleri kontrol edilebilir.

2.2.6.5.Temeller ve döşemeler inşa edilmesi

Şişen zeminin yapıya verdiği hasarlardan kaçınmak için temeller en büyük nem değişimi bölgesini geçecek şekilde daha büyük derinliklere kadar uzatılabilir. Ayrıca temellere ve döşemelere ilave donatı çeliği konulabilir.

2.2.6.6. Şişen zeminlerin katkı maddeleri ile iyileştirilmesi

Zeminlerin katkı maddeleri ile iyileştirilmesinde zeminin özelliklerinin istenilen yönde değiştirilmesi amaçlanmaktadır. Günümüzde çimento, uçucu kül, kireç katkılı maddeler kullanılarak şişme potansiyeli kontrol altına alınmaya çalışılmaktadır.

Katkı maddeleri ile yapılan zemin iyileştirme çalışmalarında meydana gelen reaksiyonların katyon değişimi, kilin flokülasyonu ve puzolanik tepkimeler olduğu açıklanmıştır. İlk iki tepkime hızlı olur, kürsüz dayanım ve yük-deformasyon özelliklerine ilaveten plastisite, işlenebilirlik ve şişme özelliklerinde ani değişimlere neden olur (Bell, 1988). Oluşan diğer tepkime puzolanik veya bağlayıcı tepkime olup zamana bağlıdır. Aglomeralaşma sonucunda artan yapı bütünlüğü, zeminin ilave su tutma kabiliyetinde düşüşe neden olarak şişme potansiyelinin düşmesini sağlar (Yılmaz ve Civelekoglu, 2009). Aşağıda en sık kullanılan katkı maddeleri olan kireç, çimento, uçucu kül ve ayrıca bu çalışmada katkı maddesi olarak kullanılacak olan jips hakkında bilgiler verilmiştir.

2.2.6.6.1. Şişen killerin kireç ile iyileştirilmesi

Şişen killerin kireçle iyileştirilmesi en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Kireçle iyileştirme yapılırken %3-8 oranında sönmemiş kireç zeminle yüzeysel olarak karıştırılır veya zemin içerisinde kireç kolonları oluşturulur. Kireçle iyileştirilme sırasında oluşan temel reaksiyonlar; katyon değişimi, flokülasyon, karbonatlaşma ve puzolonik reaksiyonlardır. Kireç katkısı ile zeminin dayanımı artarken, plastisite indeksi ve şişme yüzdesi azalır. Böylelikle zeminin çalışabilirliği artar (Demir ve Kılıç, 2010). Kum ve silt ağırlıklı zeminlerde kireç ile iyileştirme iyi sonuç vermeyebilir. Zemine kireç ile birlikte uçucu kül katkısı da zemin özelliklerini olumlu yönde etkileyecektir (Çetin, 2003).

2.2.6.6.2. Şişen killerin uçucu kül ile iyileştirilmesi

Uçucu kül puzolonik bir malzemedir. Puzolonik malzeme, kendi kendine bağlayıcılık özelliği olmayan veya çok az olan ancak uygun su içeriğinde kireç ile reaksiyona girerek bağlayıcı özelliği olan ürünler açığa çıkaran silisli ve alüminli malzemelerdir (ASTM-C 618). Uçucu kül bu özelliği ile zemin iyileştirme işlemlerinde kireç ile birlikte kullanılarak kil ve kireç arasındaki puzolonik reaksiyonları arttırmak için kullanılır (Taşçı, 2011). Bunun yanında, yapısında kireç içeren uçucu küller de vardır.

2.2.6.6.3. Şişen killerin çimento ile iyileştirilmesi

Zeminlerin çimento ile iyileştirilmesi sırasında kireç stabilizasyonuna benzer reaksiyonlar oluşur. Ancak, çimento yüksek plastisiteli killerin iyileştirilmesinde kireç kadar iyi sonuçlar vermemektedir. Çimento ile iyileştirme zeminin kirece karşı reaktif olmadığı durumlarda kullanılmaktadır. Çimento stabilizasyonu sonucu, zeminin likit

limit, plastisite indeksi ve şişme potansiyeli azalırken büzülme limiti ve kayma dayanımı artar (Chen, 1988). Çimento stabilizasyonu sırasında yapılan zemin ile karıştırma işlemi kireç stabilasyonundaki karıştırma tekniğine benzerdir. Ancak çimento daha kısa hidrasyon ve priz süresine sahip olduğu için karıştırma işlemi daha çabuk yapılmalıdır (Aytekin, 2009).

2.2.6.6.4. Şişen killerin jips ile iyileştirilmesi

Bölüm 1’de bahsedildiği gibi zeminlerin jips ile iyileştirilmesi son yıllarda kullanılmaya başlayan bir tekniktir ve bu konu hakkında sınırlı sayıda araştırma vardır.

Jips, kurak iklim bölgelerindeki göllerde veya iç denizlerde, açık denizlerle bağlantıları zaman zaman setlerle kesilen sığ denizlerin koy ve körfezlerinde, buharlaşma hızının yüksek düzeylere erişmesi sonucu oluşan yaygın evaporitik bir mineraldir (Schmalz, 1969). $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ kimyasal bileşiminde olup, monoklin kristalli, renksiz, şeffaf ancak kil veya demir oksit ile karışmış hali gri, sarı veya kırmızı renkli olabilir. Çizelge 2.9’ da jipsin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir.

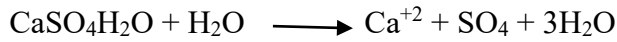
Çizelge 2.9. Jipsin fiziksel ve kimyasal özellikleri (Deer vd., 1992).

Jips	Özellikler
Kimyasal Formülü	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ Jips’in % 22.3’ü kalsiyum (Ca), %18.6’sı ise kükürt (S) dür.
Renk	Renksiz, saydam, beyaz, gri, sarımsı, kırmızı, kahve, siyah, şeffaf-yarı şeffaf, çizgi rengi beyazdır.
Parlaklık	Sedefsi, camsı, kendine özgü inci parlaklıktadır
Yapı	Amorf (şekilsiz), tsel veya gelişi güzel kristaller şeklindedir. Kristal biçimi ince-kalın, levhamsı kristalli; kısa-uzun, prizmatik, iğnemsî, masif, taneseldir.
Dilinim	Çok iyidir, üç yönde dilinimi vardır
İkizlilik	Yüzeyinde kırlangıç kuyruğu, mızrak ve kelebek ikizleri oldukça tipiktir.
Sertlik	2 (Mohs)
Özgü ağırlık	2.32 (g.cm-3)
Ekivalent ağırlığı	86 (g)
Çizilme durumu	Tırnak ile çizilir
Kristal sistemi	Monoklinal
Ayırıcı özelliği	Düşük sertliği ve dilinimi

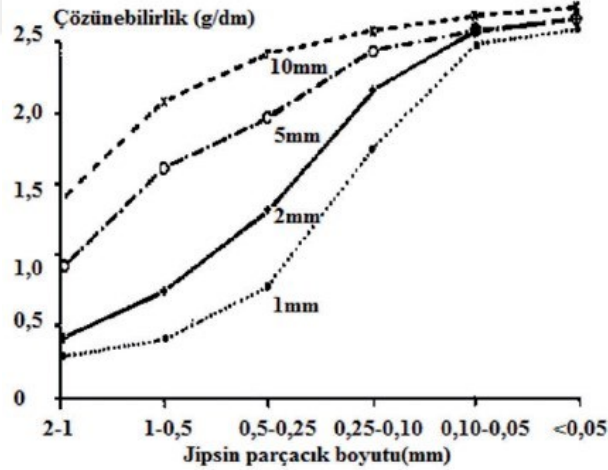
Doğada jips iri veya küçük kristalli, tsel veya amorf olabilmektedir. Saf olduğu zaman bünyesinde %79,1 kalsiyum sülfat, %20.9 su içermektedir. Jips 500°C veya

1000 °C'ye kadar ısıtılarak pudra haline getirildikten sonra inşaat harcı, suni taş yapımı, jips-beton yapı işleri gibi alanlarda kullanılabilir.

Jips, kireç taşına göre daha hızlı çözülebilen bir kayaç olup, jipslerdeki çözünme yüz yılda bir metreyi bulmaktadır (Waltham ve Fookes, 2005). Ayrıca, nötr civarındaki zeminlerde jipsin kirece göre 200 kat daha fazla çözünebildiği belirtilmiştir (EPRI, 2006). Jips, su ile temas ettiğinde aşağıdaki tepkimeye göre çözünmektedir (White, 1988; Ford ve Williams, 1989).



Bu tepkimeye göre çözünen jips, 1 m³ suda 2.5 kg kadar çözünebilmektedir (James ve Kirkpatrick, 1980). Jipsin suda çözünebilirliği, sulu çözeltinin kimyasına, sıcaklığına ve basınca bağlıdır (Elorzo vd., 1998). 25 °C' de ve 1 atmosfer basınç altında jipsin çözünürlüğü 2400 mg l⁻¹ iken bu değer yağmur suyunda 0-1.500 mg l⁻¹ olmaktadır (Ford ve Williams, 1989). Jipsin suda çözünebilirliği ayrıca parçacık boyutuna da bağlıdır (FAO,1990). Jipsin çözünebilirliğinin parçacık boyutuna göre değişimi Şekil 2.9' da verilmiştir.



Şekil 2.9. Jipsin suda çözünebilirliği üzerine parçacık boyutunun etkisi (FAO, 1990).

Bell ve Maud (1994), özellikle torak dolgu barajların inşaatı sırasında dispersif zeminlerin stabilizasyonu sırasında jipsin etkinliğini vurgulamış ve çok ince toz halindeki jipsin ucuz ve suda uygun çözünebilirliğe sahip olmasından dolayı iyileştirme malzemesi olarak kullanılabileceğini belirtmiştir. Katyon değişimi reaksiyonu oranı eklenen maddenin sudaki çözünebilirliği tarafından kontrol

edilmektedir (Yılmaz ve Civelekoğlu, 2009). Dolayısıyla jipsin suda çözünebilirliği kation değişim reaksiyonlarının miktarını arttırmak suretiyle zeminin iyileştirilmesini olumlu yönde etkileyecektir.

Yılmaz ve Civelekoğlu (2009), yapmış oldukları çalışmada, yüzeysel karıştırma tekniği ile jipsi yüksek şişme potansiyeline sahip olan bentonitin iyileştirilmesinde kullanmışlardır. Çalışma sonucunda kilin şişme yüzdesinde %69,1' lik bir azalma elde etmişlerdir. Araştırmacılar şişmedeki bu azalmanın nedeninin jipsteki Ca^{2+} iyonlarının kildeki Na^+ iyonlarıyla yer değiştirmesi sonucu olduğunu vurgulamışlardır. Şöyle ki bentonitin şişen doğasını dengesiz elektrik yükünün varlığı, sodyum bazlı kil mineralleri ve yüksek KDK oluşturur. Na^+ iyonlarının Ca^{2+} iyonlarıyla yer değiştirmesi daha az kation değişim kapasitesine ve zemin yapısındaki elektrik yükün dengelenmesine sebep olur.

Bu tez çalışması kapsamında jips kolonlarının şişen zeminleri iyileştirmedeki performansı incelenmiştir. Zemine jips ilavesi zeminin hidrolik iletkenliğini artırır (Oster ve Frankel, 1980; Hamza ve Anderson, 2002). Bilindiği gibi kolon tekniği ile yapılan zemin iyileştirmelerinde en büyük sorun zeminin düşük geçirimliliğinden dolayı iyonların kolonu çevreleyen zemine olan göçünün sınırlı mesafelerde olmasıdır. Ancak ilk defa bu tez çalışmasında denenecek olan jips kolonu uygulamasında, jipsin zeminin hidrolik iletkenliğini arttırmasından dolayı iyonların daha fazla mesafelere göç etmesini sağlayabileceği düşünölmektedir.

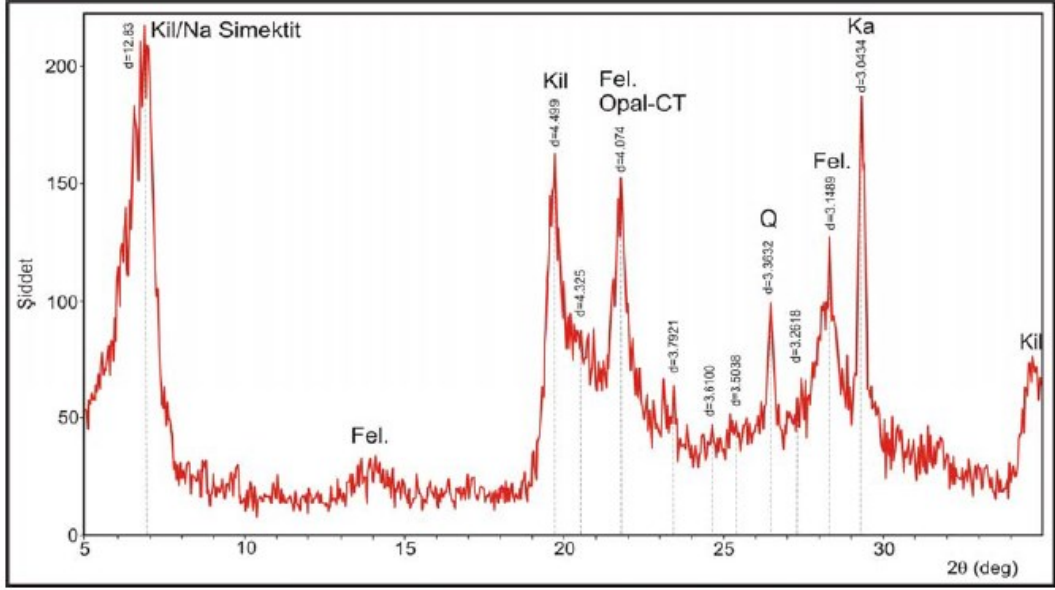
3. MATERYAL VE METOD

3.1. Kullanılan Bentonit ve Jipsin Özellikleri

3.1.1. Bentonit

Bentonitler volkanik kül, tuf ve lavların kimyasal ayrışmasıyla veya bozulmasıyla olmuşlardır. İçerisinde büyük oranda montmorillonit minerali bulundurmasının yanı sıra alüminyum ve magnezyumca da zengin bir kil mineralidir. Bentonit $Al_4Si_8O_{20}(OH)_4 \cdot nH_2O$ genel formülü ile tanımlanmakta olup plastiklik özelliği yüksek, konkoidal yapıda olup kolaylıkla şekil verilebilen bir kil çeşidi olarak bilinmektedir. (Gillson 1960, Grim 1988, Murray 1991). Bentonitin içinde doğal katkı maddesi olarak kaolin ve illit gibi kil mineralleri ile jips kuars rutil kalsit dolomit ve volkanik kül gibi kil dışındaki minerallerde yer alabilmektedir. Bentonitler su ile temas ettiklerinde değişken seviyelerde şişme gösterirler. Şişme özelliklerine ve değişebilen iyonlarına göre 3'e ayrılmaktadır. Bunlar; sodyum bentonit(Na-B), sodyum-kalsiyum bentonit (Na Ca-B) ve kalsiyum bentonit (Ca-B) şeklinde tanımlanırlar. Sodyum bentonitler su ile temas haline geçtiklerinde fazla şişerken, sodyum-kalsiyum bentonitler orta derece de şişme göstermekte, kalsiyum bentonitler ise oldukça az şişmektedir.

Bu tez çalışmasında kullanılan bentonit Reşadiye' nin 25 km kuzeyinde yer alan Samaş A.Ş. tarafından işletilen kil yataklarından alınmıştır. Kullanılan bentonit, doğal, saf ve işlem görmemiş sodyum bazlı malzemeler arasından seçilmiştir. Söz konusu bentonit Civekoğlu (2009) tarafından yapılan çalışmada da kullanılmıştır. Dolayısıyla bentonite ait XRD difraktomu Civekoğlu (2009)'nun çalışmasından elde edilmiştir. Şekil 3.1' de verilen karakteristik difraktogramda da görüldüğü gibi kullanılan bentonit, Na-Simektit (montmorillonit) türü kil minerali içermekte olup çok küçük miktarda feldispat, kalsit ve opal-CT gözlenmiştir. XRD sonuçları Çizelge 3.1' de verilmiştir.



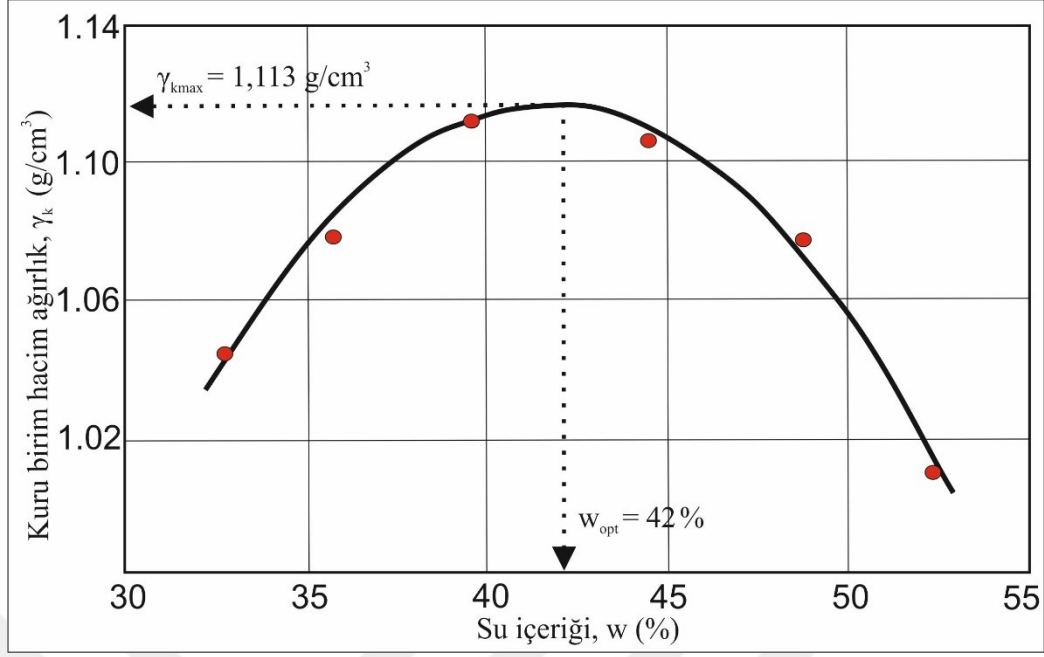
Şekil 3.1. Kullanılan bentonite ait karakteristik XRD difraktogramı (Civelekoğlu, 2009).

Çizelge 3.1. XRD (Tüm Kayaç) analizi sonuçları ve kullanılan bentonitin kimyasal bileşimi (Yılmaz ve Civelekoğlu, 2009).

XRD	
Na-Smektit (%)	81
Feldispat (%)	7
Kuvars (%)	2
Kalsit (%)	2
Opal- CT (%)	8

3.1.1.1. Optimum su içeriği ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı

Çalışmada kullanılan bentonitin optimum su içeriği ve maksimum kuru birim hacim ağırlığını bulmak amacıyla ASTM D-698 (1994) standardına uygun olarak Standart Proktor deneyi yapılmış olup deney sonuçları Şekil 3.2’de sunulmuştur. Deney sonuçlarına göre söz konusu bentonitin optimum su içeriği (w_{opt}) %42, maksimum kuru birim hacim ağırlığı (γ_{kmax}) ise $1,113 \text{ g/cm}^3$ olarak bulunmuştur.



Şekil 3.2. Bentonite ait maksimum kuru birim hacim ağırlık (γ_{kmax}) ve optimum su içeriğini (w_{opt}) gösteren kompaksiyon eğrisi.

3.1.1.2. Atterberg sınırları

Çalışmada kullanılan bentonit üzerinde BS 1377 (BSI, 1975)' ye uygun olarak likit limit (LL) ve plastik limit (PL) deneyleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.2). Elde edilen likit limit ve plastik limit değerleri kullanılarak bentonitin plastisite indeksi (I_p) hesaplanmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre; bentonitin ortalama likit limit değeri %240.2, plastik limiti %57.4 ve plastisite indeksi ise %182,8 olarak bulunmuştur.

Çizelge 3.2. Kullanılan bentonitin Atterberg sınırları değerleri.

Atterberg sınırları	Değerler
Likit limit (%)	240.2
Plastik limit (%)	57.4
Plastisite indeksi (%)	182,8

3.1.1.3.Şişme

Söz konusu bentonitin şişme yüzdesini belirlemek amacıyla optimum su içeriğinde sıkıştırılarak hazırlanmış numuneler üzerinde ASTM D – 4546 (1994) standartlarına uygun olarak şişme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney kapsamında, 0.07 kg/cm² yük altında suya doyurulan 7.5 cm çaplı numunenin maksimum hacimsel şişmesi sağlanmıştır. Deney sonunda elde edilen numune yüksekliğinin ilksel numune yüksekliğine oranı ile şişme yüzdesi (%S) elde edilmiştir. Buna göre söz konusu bentonitin şişme yüzdesi %65 olarak bulunmuştur.

3.1.1.4.Dayanım

Bentonit kilinin dayanımının belirlenmesi amacıyla ASTM- D 2166 (ASTM, 1994) standardına uygun olarak serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Deney kapsamında optimum su içeriğinde sıkıştırılarak hazırlanmış numunelerden alınan 99 mm yükseklikte ve 49,4 mm çaplı örnekler üzerinde yenilme gerçekleşinceye kadar 1 mm/dk sabit yükleme hızı uygulanmıştır. Bu deney üç adet numune üzerinde gerçekleştirilmiş ortalama değer kaydedilmiştir (Şekil 3.3). Deney sonuçları Çizelge 3.3'de sunulmuştur. Deney sonuçlarının ortalaması alındığında kullanılan bentonitin serbest basınç dayanımı 57,1 kPa olarak bulunmuştur.

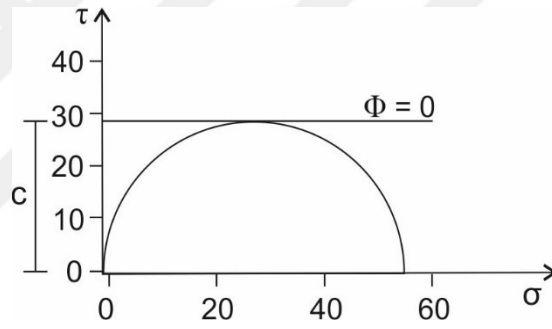
Çizelge 3.3. Kullanılan bentonite ait serbest basınç deneyi sonuçları.

Deney No	F, Kırılma anındaki yük (kg)	A, Yüzey alanı (cm ²)	σ , Gerilme (kg/cm ²)	σ , Gerilme (kPa)
1	10,9	19,156	0,574	56,264
2	11,1	19,156	0,581	57,035
3	11,3	19,156	0,591	58,001

Ayrıca, yenilme anındaki gerilme durumunu gösteren Mohr dairesi ve drenajsız kayma dayanımı zarfı çizilerek örneğin kohezyon değeri bulunmuştur. Buna göre çalışmada kullanılan bentonitin içsel sürtünme açısı (Φ) = 0 ve kohezyonu (c) = 28,55 kPa olarak belirlenmiştir (Şekil 3.4).



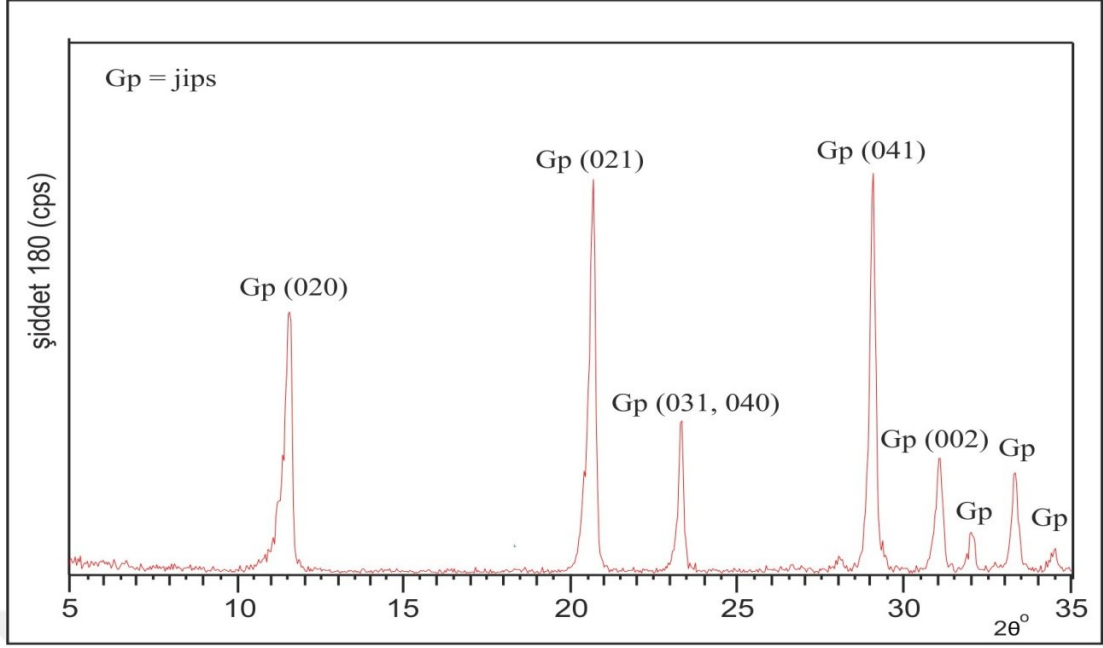
Şekil 3.3. Serbest basınç deneyi gerçekleştirilen numuneler.



Şekil 3.4. Mohr daresi ve sonuçlarının değerlendirilmesi.

3.1.2. Jips

Bu tez çalışmasında kullanılan jipsler, Adana' da bulunan Eker jips ocağından alınmıştır. Jips üzerinde X- Işınları Difraksiyonu (XRD) ile tüm kayaç çözümlenmeleri yapılmış olup, karakteristik difraktogram Şekil 3.5' de görülmektedir. Çözümlenmelere göre, jipsi oluşturan minerallerin tamamı jips olarak değerlendirilmiş olup, jips içeriği %100 dür.

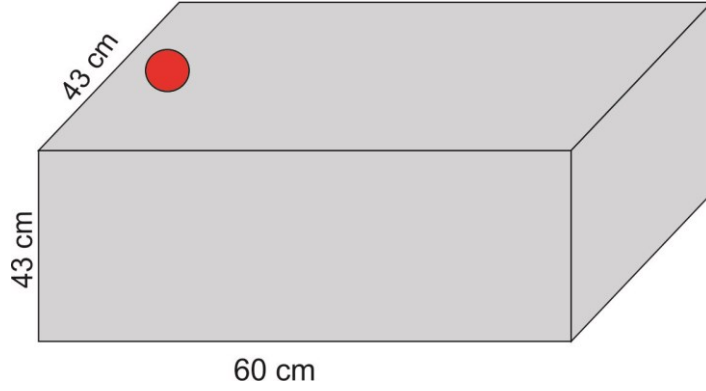


Şekil 3.5. Kullanılan jipse ait karakteristik XRD difraktogramı.

3.2. Laboratuvar modelinin oluşturulması

Tez çalışması kapsamında laboratuvarında model oluşturularak şişen zeminlerin iyileştirilmesinde jips kolonun performansı araştırılmıştır. Laboratuvar modelinin oluşturulması amacıyla ilk olarak bentonit karıştırıcı kazanda optimum su içeriğinde karıştırılarak deney numunesi elde edilmiştir. Elde edilen deney numunesi 43 cm x 60 cm x 43 cm boyutunda çelik bir kasa içerisine benzinli taşınabilir tokmak (zıp zıp) yardımı ile 3 katman halinde sıkıştırılmıştır. Ardından kasanın kısa kenarına yakın bir noktada 50 mm çapında bir delik açılmıştır. Bu deliğe jips doldurularak jips kolonu oluşturulmuştur. Nem kaybı ve dolayısı ile su içeriği değişimini engellemek maksadıyla modelin üzeri jeotekstille hava ile temasını engelleyecek biçimde kapatılmıştır. Oluşturulan laboratuvar modeli ve modelin kesiti Şekil 3.6 ve 3.7’ de verilmiştir.

Zeminlerin iyileştirilmesi amacıyla yapılan kolon uygulaması ile ilgili çalışmalarda kür süresinin 28 gün ve 2 yıl arasında olması gerektiği önerilmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada kür süresi 3 ay olarak seçilmiştir. Oluşturulan modelde kür süresi boyunca kolondan su girişi sağlanarak jipsin kolonu çevreleyen zemine göç etmesi sağlanmıştır. Bu amaçla plastik bir boruda düzenli aralıklarla delikler açılmış ve borunun çevresi filtre kağıdıyla kaplanmıştır. Hazırlanan boru jips kolonunun merkezine yerleştirilerek su girişi sağlanmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.6. Oluşturulan laboratuvar modelinin kesiti.



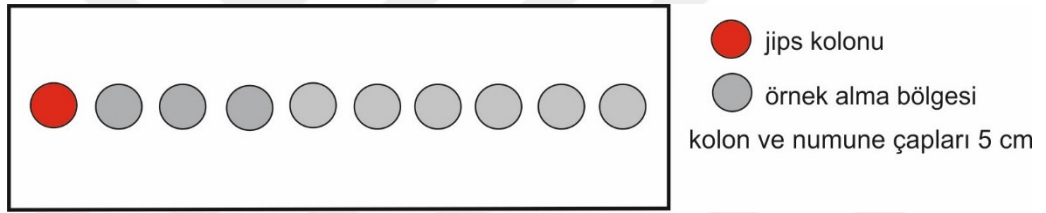
Şekil 3.7. Oluşturulan laboratuvar modeli.

3 aylık kür süresi sonunda laboratuvar modelinin üzeri açılarak jips kolonun performansını incelemek amacıyla kolondan itibaren artan mesafelerde örselenmemiş örnekler alınmıştır. Örnek alım düzeni Şekil 3.9 ve 3.10' de verilmiştir.

Alınan örnekler üzerinde serbest basınç deneyi, serbest şişme deneyi ve Atterberg limit deneyleri yapılmıştır. Ayrıca suyun zemin içerisindeki göç mesafesini gözlemlemek amacıyla alınan örneklerin su içeriği değerleri belirlenmiştir. Şöyle ki jips içerisindeki iyonların kolonu çevreleyen zemin içerisine suyun akışı yardımıyla göç ettiği düşünülmektedir. Dolayısıyla su içeriğindeki değişimler incelenerek jipsin göç mesafesine de yaklaşımda bulunulabilir. Elde edilen deney sonuçları Bölüm 4'de, bu sonuçların değerlendirilmesi ise Bölüm 5' de sunulmuştur.



Şekil 3.8. Modele su girişinin sağlanması.



Şekil 3.9. Laboratuvar modelinden örnek alım düzeninin kesiti.



Şekil 3.10. Laboratuvar modelinden örnek alım düzeni.

4. BULGULAR

Bölüm 3’ de de belirtildiği gibi jips kolonun performansını incelemek amacıyla alınan örnekler üzerinde serbest basınç deneyi, serbest şişme deneyi, Atterberg limit deneyleri yapılmış ve örneklerin su içeriği değerleri belirlenmiştir.

Jips kolonundan itibaren değişik mesafelerde alınan örnekler üzerinde yapılan Atterberg limitleri deneylerinin sonuçları Çizelge 4.1’ de sunulmuştur. Deney sonuçları incelendiğinde, zeminin likit limit değeri kolondan itibaren 3,8 cm’lik bir mesafe içerisinde %240.2’ den %205’ e düşerken plastik limit değeri %57.4’ den %52’ ye düşmüştür. Bu mesafeden sonra ise iyileştirilmemiş zeminin likit limit ve plastik limit değerine yakın değerler gözlenmiştir.

Çizelge 4.1. Jips kolonundan itibaren alınan numunelere ait Atterber limitleri değerleri.

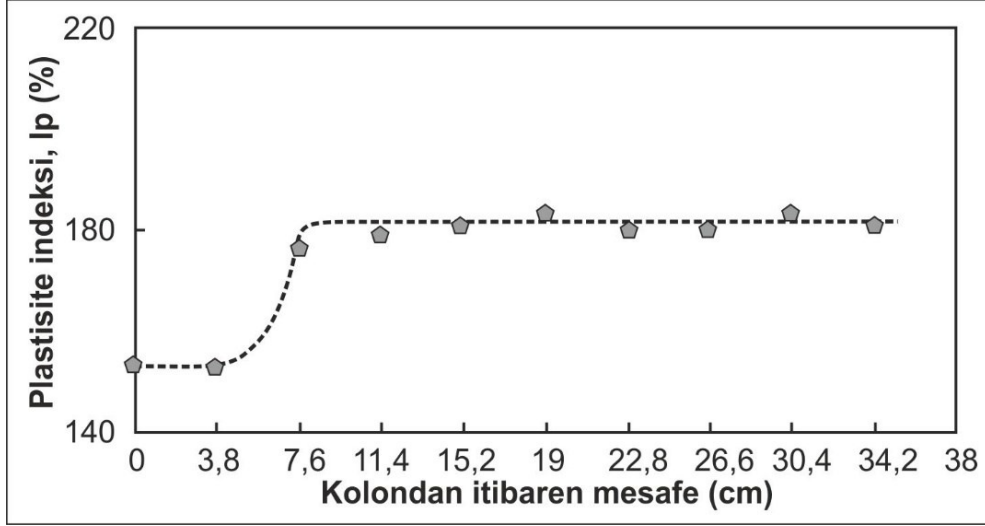
Kolondan itibaren olan mesafe (cm)	3,8	7,6	11,4	15,2	19	22,8	26,6	30,4	34,2
Likit Limit (LL)	205	238	236	241	243	240	238	242	240
Plastik limit (PL)	52	62	57	60	60	61	58	59	59
Plastisite İndeksi (Ip)	153	176	179	181	183	179	180	183	181

Şekil 4.1’de zeminin plastisite indeksi değerlerinin kolondan itibaren olan mesafe ile değişimi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere zeminin plastisite indeksi değerinde kolondan itibaren 3,8 cm’lik bir mesafe içerisinde azalma gözlenirken bu mesafeden sonra tekrar bir artış başlamıştır ve değerler neredeyse sabit bir seyir izlemiştir.

Jips kolonundan itibaren alınan numunelerin serbest basınç dayanımı ve kohezyon değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Jips kolonundan itibaren alınan numunelerin serbest basınç dayanımı ve kohezyon değerleri.

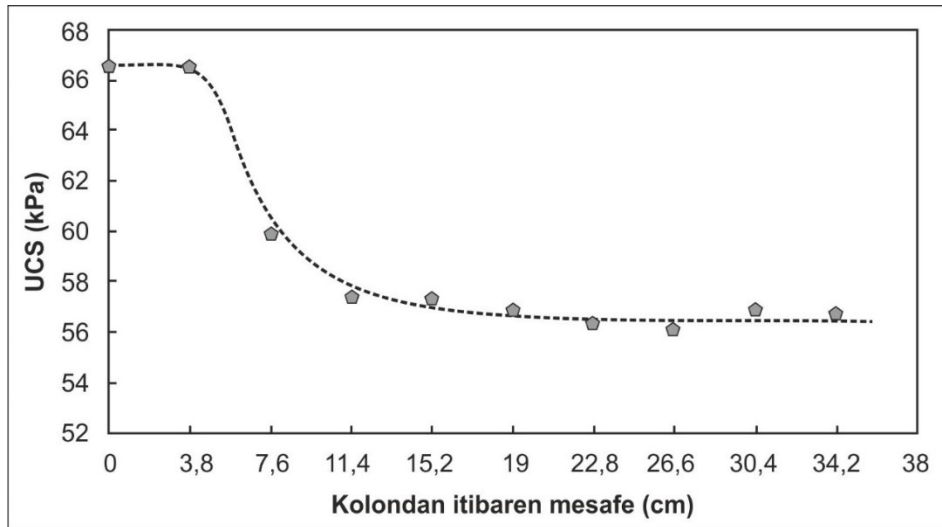
Kolondan itibaren olan mesafe (cm)	3,8	7,6	11,4	15,2	19	22,8	26,6	30,4	34,2
UCS (kPa)	66,45	58,835	57,141	59,034	57,044	56,362	56,049	58,876	56,721
Kohezyon (kPa)	33,22	29,42	28,57	29,52	28,52	28,18	28,02	29,44	28,36



Şekil 4.1. Plastisite indeksi değerlerinin kolondan itibaren olan mesafe ile değişimi.

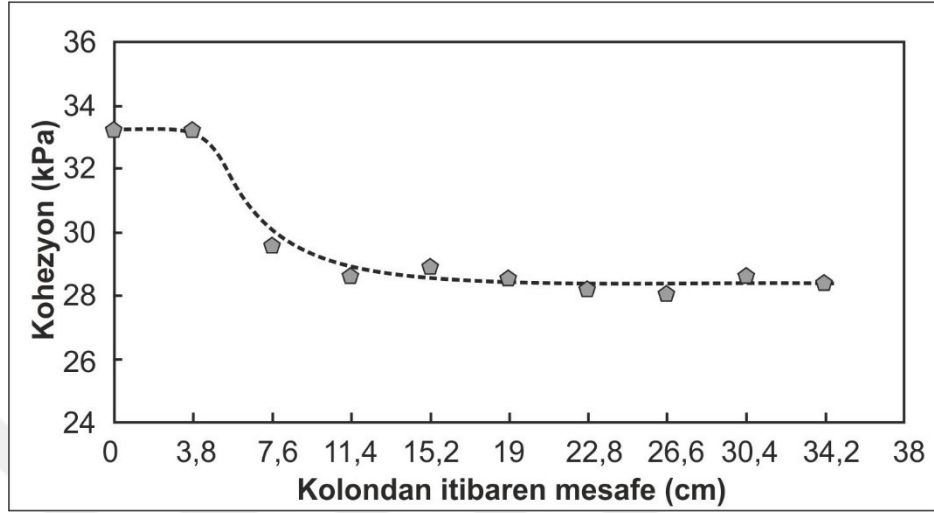
Çizelge 3.3' den hatırlanacağı üzere iyileştirilmemiş zeminin tek eksenli basınç dayanımı 57,1 kPa olarak bulunmuştu. Çizelge 4.2' de verilen sonuçlar incelendiğinde ise zeminin serbest basınç dayanımı değerinin 3,8 cm'lik bir mesafe içerisinde 66,45 kPa' a yükseldiği görülmektedir. Ancak bu mesafeden sonra tekrar azalarak sabit bir değer seyretmiştir.

Serbest basınç dayanımı değerlerinin kolondan itibaren olan mesafe ile değişimi Şekil 4.2'de sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü üzere zeminin tek eksenli basınç dayanımı değeri kolondan itibaren 3,8 cm'lik bir mesafe içerisinde artmakta, bu mesafeden sonra tekrar azalmakta ve iyileştirilmemiş zeminin tek eksenli basınç dayanımına yakın sonuçlar vererek devam etmektedir.



Şekil 4.2. Jips kolonundan itibaren tek eksenli basınç dayanımındaki değişim.

Ayrıca örneklerin kohezyon değerleri incelendiğinde yine kolondan itibaren kolondan itibaren 3.8 cm'lik mesafe içerisinde 28,55 kPa'dan 33,2 kPa' a yükseldiği ancak bu mesafeden sonra tekrar azaldığı gözlenmiştir. Kohezyon değerinin kolondan itibaren değişimi Şekil 2.4' de verilmiştir.



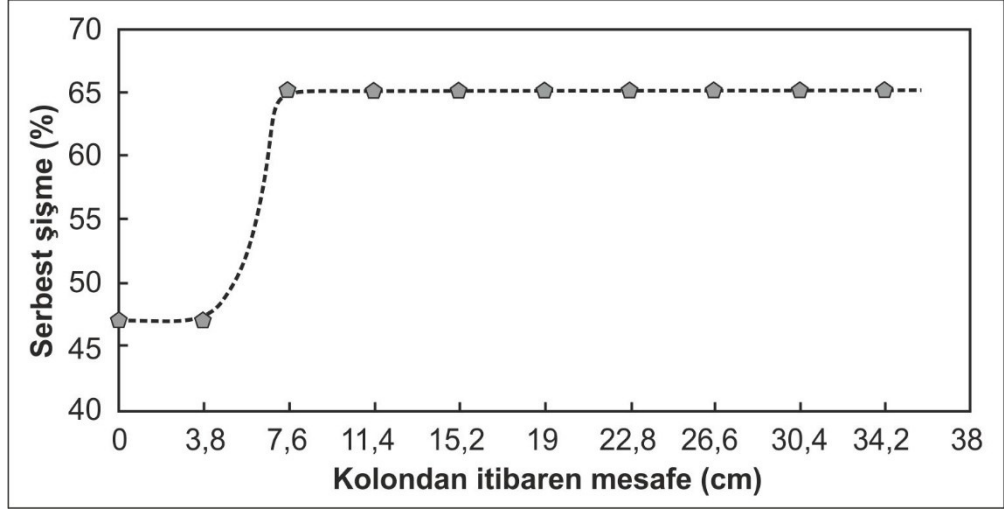
Şekil 4.3. Jips kolonundan itibaren kohezyon değerlerindeki değişim.

Çizelge 4.3. Jips kolonundan itibaren alınan numunelerin serbest şişme değerleri.

Kolondan itibaren olan mesafe (cm)	3,8	7,6	11,4	15,2	19	22,8	26,6	30,4	34,2
Serbest şişme (%)	47	65	65	65	65	65	65	65	65

Zeminin serbest şişme değerindeki değişimler incelendiğinde iyileştirilmemiş zeminin serbest şişme değeri %65 olarak ölçülmüştür. Çizelge 4.3' de verilen sonuçlar incelendiğinde ise zeminin şişme değerinin kolondan itibaren 3,8 cm'lik mesafe içerisinde %47'ye düştüğü görülmektedir.

Zeminin serbest şişme değerlerinin jips kolonundan itibaren olan mesafe ile değişimi Şekil 4.4' de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere kolondan itibaren 3,8 cm'lik bir mesafe içerisinde zeminin şişme değerinde bir azalma gözlenmektedir. Bu mesafeden sonra yine artarak sabit bir seyir izlemiştir.

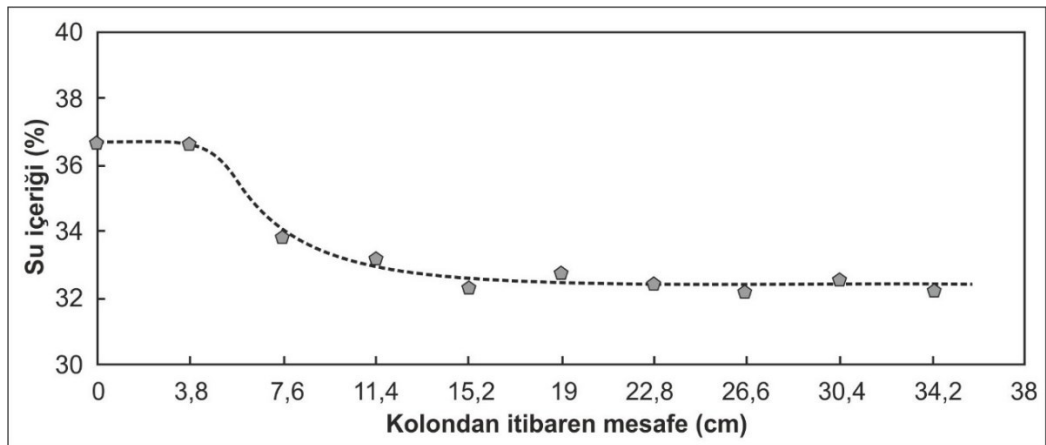


Şekil 4.4. Jips kolonundan itibaren serbest şişmedeki değişim.

Jips içerisindeki iyonların kolonu çevreleyen zemin içerisine olan göç mesafesine yaklaşımda bulunabilmek amacıyla hesaplanan su içeriği değerleri Çizelge 4.4' sunulmuştur. Ayrıca su içeriğinin kolondan itibaren olan mesafe ile değişimi Şekil 4.5' de verilmiştir. Su içeriğindeki değişimler incelendiğinde, diğer deney sonuçlarını doğrulayacak biçimde, kolondan itibaren 3,8 cm'lik bir mesafede yüksek su içeriği değeri gözlenirken bu mesafeden sonra azalarak sabit bir seyir izlemektedir. Dolayısıyla, jips içerisindeki iyonların ancak bu mesafeye kadar göç edebildiği sonucuna varılabilir.

Çizelge 4.4. Jips kolonundan itibaren alınan numunelerin su içeriği değerleri.

Kolondan itibaren olan mesafe (cm)	3,8	7,6	11,4	15,2	19	22,8	26,6	30,4	34,2
Su içeriği (%)	36,6	33,8	33,61	32,29	32,7	32,36	32,16	32,53	32,5



Şekil 4.5. Jips kolonundan itibaren su içeriğindeki değişim.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Bu tez çalışması kapsamında killerin iyileştirilmesinde jips kolonu tekniğinin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla laboratuvar ölçekli bir model oluşturularak jips kolonundan itibaren değişik mesafelerde kilin fiziksel, şişme ve dayanım özelliklerinde meydana gelen değişimler araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiş ve tartışılmıştır.

1. Jips kolonundan itibaren 3,8 cm'lik bir mesafe içerisinde, deneyde kullanılan kilin likit limit değerinde %240,2' den %205' e, plastisite indeksi değerinde ise %182,8' den %153' e bir düşüş gözlenmiştir. . Plastisite indeksi ve likit limit değerlerindeki düşüşün sebebi kildeki tek değerlikli sodyum iyonlarının jipsin içerisindeki kalsiyum iyonlarıyla yer değiştirmesi ile meydana gelen çift tabaka kalınlığındaki azalmadır. Plastisite indeksi ve likit limit değerinde bir düşüş gözlenmesine rağmen zemin hala CH sınıfındadır. Dolayısıyla sınırlı bir iyileştirme söz konusudur. 3,8 cm' lik mesafeden sonra kilin plastisite indeksi ve likit limit değerleri tekrar artmış ve iyileştirilmemiş kilin plastisite indeksi ve likit limit değerlerine yakın değerlerde seyretmiştir.
2. Jips kolonundan itibaren yine 3,8 cm'lik bir mesafe içerisinde kilin şişme yüzdesinin %65'den %47' ye düştüğü gözlenmiştir. Bu mesafeden sonra şişme değerlerinde tekrar bir artış olmuş ve iyileştirilmemiş kilin şişme değerine yakın bir seyir izlemiştir. Kilin şişme yüzdesinde meydana gelen azalmanın sebebi kilin içerisindeki Na^+ iyonlarının jipsin içerisindeki Ca^{2+} iyonu ile yer değiştirmesi sonucu Na-montmorillonitin, Ca-montmorillonite dönüştürülmesidir. Bilindiği üzere, Na-montmorillonit Ca-montmorillonite oranla oldukça fazla şişme özelliği göstermektedir. Şişme yüzdesindeki bu düşüşün kolondan itibaren sadece 3,8 cm' lik bir mesafe içerisinde gözlenmesi Ca^{2+} iyonunun ancak bu mesafeye kadar göç edebildiğini göstermektedir.
3. Kilin dayanımındaki değişimler incelendiğinde, serbest basınç dayanımının kolondan itibaren 3,8 cm' lik bir mesafe içerisinde 57,1 kPa' dan 66,45 kPa' a yükseldiği gözlenmiştir. Bu mesafeden sonra ise serbest basınç dayanımı tekrar azalarak sabit bir seyir izlemiştir.
4. Jips kolonundan itibaren kilin su içeriği değerlerinde ilk 3,8 cm' lik mesafeden sonra düşüş gözlenmiştir. Su içeriğinin bu mesafeden sonra düşmesi suyun

ancak bu mesafeye kadar ulaşabildiğini gösterir. Yapılan literatür araştırmalarına göre killi zeminlerde iyon göçünün olabilmesi için suyun varlığı gerekmektedir. Dolayısıyla jips içerisindeki Ca^{2+} iyonunun göçü suyun ulaşabildiği alanla sınırlı kalmıştır.

5. Kile ait ölçülen bütün özellikler jips kolonundan itibaren 3,8 cm' lik bir mesafe içerisinde değişiklik göstermektedir. Dolayısıyla, iyileştirme kolon çapının %76'sı diğer bir deyişle kolon çapının 0.76 katı kadar bir mesafe içerisinde sağlanabilmiştir. Bu iyileştirme mesafesi zemin iyileştirme çalışmalarında arzu edilen bir mesafe değildir. İyileştirme mesafesinin bu kadar düşük çıkmasının sebepleri incelendiğinde en önemli sebebin Ca^{2+} iyonunun daha fazla mesafelere göç edememesi olduğu görülür. Bunun en önemli sebebi ise kullanılan bentonitin çok düşük geçirimsizliğe sahip olmasından dolayı suyun zemin içerisindeki akışının sağlanamamasıdır. Dolayısıyla, daha yüksek geçirimsizliğe sahip sorunlu bir zemin kullanıldığı takdirde daha büyük göç mesafeleri sağlanabilir ve daha iyi kolon performansı elde edilebilir. Sonuç olarak, jips kolonun performansı kullanılan zeminin özelliklerine de bağlıdır. Ayrıca, kolon çapı ve kür süresi de kolon performansını etkileyen faktörler arasındadır. Daha büyük kolon çapları kullanılarak ya da daha fazla bir kür süresi seçilerek daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Ancak bu yaklaşımların deneysel verilerle desteklenmesi gerekmektedir. Dolayısıyla yukarıdaki yaklaşımların desteklenmesi için daha ayrıntılı bir çalışma gerçekleştirilerek deneysel veriler elde edilmelidir.
6. Zemin iyileştirme çalışmalarında her ne kadar kireç diğer katkı maddelerine oranla daha yaygın olarak kullanılıyor olsa da jipsin yaygın olarak bulunması ve kirece göre 2-3 kez ucuz olması, jipsle yapılan iyileştirme çalışmalarında önemli bir avantaj oluşturmaktadır.
7. Jips kolonu ile yapılan iyileştirme çalışmalarında jipsin yeraltı suyu kirliliğine sebep olabileceği göz önüne alınmalıdır. Ayrıca jipsin beton yapılarla temas edebileceği durumlarda sülfat etkisine dirençli çimento kullanımına gerek duyulabilir.

KAYNAKLAR

- Akawwi, E., Kharabsheh, A.** (2000). Lime stabilization effects on geotechnical properties of expansive soils in Amman, Jordan. *Journal of Geotechnical Engineering*, 5.
- Ameta, N.K., Prohit, D.G.M., Wayal, A.S., Sandeep, D.** (2007). Economics of stabilizing bentonite soil with lime-gypsum, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, Volume 12, Bundle E.
- Amu, O.O., Fajobi, A.B., Afekhuai, S.O.** (2005). Stabilizing potential of cement and fly ash mixture on expansive clay soils, *Journal of Applied Sciences*, 5, 9, 1669-1673.
- Aruntaş, H. Y.** (2006). Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21, 1, 193-203.
- Ayyar, T.S., and Ramanatha, R.K.** (1989). ‘‘A study of lime columns in an expansive clay’’. *Proc. of Indian Geotechnical Conference*, New Delhi, India, 1, p.185- 189.
- Baytar, A.Ö.** (2005). Uçucu Kül Ve Desülfojipsin Çayırhan Zemininin Geoteknik Özellikleri Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 82s.
- Basma, A.A., Al-Rawas, A., Al-Saadi, S.N., and Al-Zadjali, T.F.** (1998). ‘‘Stabilization of expansive clay in Oman’’ *Environmental and Engineering Geoscience*, IV (4), 503-510.
- Basma, A.A., Tuncer, E.R.** (1991). Effect of lime on volume change and compressibility of expansive clays, *Transportation Research Record*, 1295, 52-61.
- Bell, F., Coultherd, J.** (1990). Stabilization of clay soils with lime, *Municipal Engineer*, 7, 125–140.
- Bell, F.G., Maud, R.R.** (1995). Expansive clays and construction, especially of low-rise structures: a viewpoint from Natal, *South Africa, Environmental and Engineering Geoscience*, 1, 41-59.
- Brandl, H.** (1981). Alteration of soil parameters by stabilization with lime, *Proceedings, 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Stockholm, 587-594.
- Broms, B., and Boman, P.** (1976). ‘‘Lime stabilized columns.’’ *Proc, 5th Asian Regional Conf. on SMFE*, Bangalore, India, (1), 227-234.
- Broms, B., Boman, P.** (1979). Lime columns-a new foundation method, *Journal of Geotechnical Engineering Division*, ASCE, 105, 539-556.

- Çetiner, S. I.** (2004). Şişen Zeminlerin Çayırhan Uçucu Külü Ve Desülfojips İle Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 107 s.
- Çiftçi, G.** (2003). Şişen Zeminlerin Trabzon İçme Suyu Arıtma Tesisi Atık Çamuru Kullanılarak Stabilizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Trabzon, KTÜ,2003.
- Deer, W.A., Howie, R.A. ve Zussman, J.** (1992). An Introduction to the Rock-Forming Minerals. Longman, 696 p..
- Demir, S. ve Kılıç, M.** (2010). Şişen Zeminlerin Tanımlanması ve Zemin İyileştirme Yöntemleri. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(1), 95-104.
- Edral, C.** (1999). Effect of fly ash on swelling pressure of expansive soil, *J Geotech Eng* 4.
- Electric Power Research Institute (EPRI). (2006).** A review of agricultural and other land application uses of Flue Gas Desulfurization products. *EPRI Technical Update Rep.* 101385. EPRI, Palo Alto, CA.
- El-Rawi, M.N., Awad, A.A.A.** (1981). Permeability of lime stabilized soils, *Journal of Transportation Engineering Division*, ASCE, 107, 25-35.
- FAO.** (1990). Management of Gypsiferous Soils. *FAO Soils Bulletin* 62.ISBN 92-5-102948.
- Ferguson, G.** (1993). Use of Self-Cementing Fly Ashes As A Soil Stabilization Agent, Fly Ash for Soil İmprovement, *Geotechnical Special Publication*,No:36, s. 1-15, Ed.:Sharp K.D., ASCE, Newyork.
- FIPR (Florida Institute of Phosphate Research)** (1988). Stabilization of phosphatic clay with lime columns, *Report prepared by Bromwell and Carrier Inc. under a grant sponsored by the Florida Institute of Phosphate Research*, Bartow-Florida, 102 p.
- Gillot, E. J.** (1968). Clay in Engineering Geology, *Elsevier*, Amsterdam, 296 p.
- Gillson, J.L.** (1960). Industrial Minerals and Rocks. The American Institute of Mining. *Metalurgical and Petroleum Engineers*, New York.
- Grim, R.E.** (1968). Clay Mineralogy. *McGraw-Hill*, 596 p.
- Güler, E., and Edinçliler, A.** (1993). Kireç Difüzyonunun Killerin Kayma Mukavemetine Etkisi. *Altıncı Ulusal Kil Sempozyumu, İstanbul*, s.411-418, 1993.
- Gürer, C., Akbulut H. ve Kurklu G.** (2004). Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi, 5. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 13-14 Mayıs, İzmir, 28-36.

- Hamza, M.A., Anderson, W.K. (2002).** Improving soil physical fertility and crop yield on a clay soil in Western Australia. *Aust. J. Agric. Res.* 53: 615–620.
- Handy, R.L., and Williams, N.W. (1967).** "Chemical stabilization of an active landslide" *Civil Engineering*, 37 (8), 62-65.
- Holm, G., and Broms, B.B. (1981).** Lime columns as foundation for light structures." Proceedings of 10th Int. Conf. Soil Mech. Found. Engng., Stockholm, 3, 687-694.
- Holtz, W. G. (1969).** Volume change in expansive clay soils and control by lime treatment, Proceedings of the 2nd International Research and Engineering Conference on Expansive Clay Soils, Texas A&M Press, pp. 157-173.
- Ji-ru, Z., Xing, C. (2002).** Stabilization of expansive soil by lime and fly ash, *Journal of Wuhan University of Technology - Materials Science Edition*, 17, 73-77.
- Jones, D.E., and Holtz, W.G. (1987).** The prediction and performance of structures on expansive soils. *ASCE, Civil Engineering*, 43:87-89.
- Kamon, M., Nontanandh, S. (1991).** Combining industrial wastes with lime for soil stabilization, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 117, 1-17.
- Kasapoğlu, K. E. (1989).** Killerin jeo-mühendislik özellikleri, *IV. Ulusal Kil Sempozyumu Bildiriler Kitapçığı*, 3-29.
- Kennedy, T., Smith, R., Holgreen, R., Tahmoressi, M. (1987).** An evaluation of lime and cement stabilization, *Transportation Research board*, Washington, D.C. TRR (1119), 11–25.
- Kitsugi, K., and Azakami, H. (1982).** "Lime-column techniques for the improvement of clay ground." *Proc. of the Symposium on recent Developments in Ground Improvement Techniques*, Bangkok, 29 Nov.-3 Dec. 1982, 105-115.
- Küçükali, Ö. (2011).** Kireç ve Jipsin, Üst Pliyosen Yaşlı Yüksek Plastisiteli Killerin (Ankara) Şişme ve Dayanım Özelliklerine Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 75s.
- Locat, J., Berube, M.A., Choquette, M. (1990).** Laboratory investigations on the lime stabilization of sensitive clays: shear strength development, *Canadian Geotechnical Journal*, 27, 294-304.
- Mathew, P.K., Narasimha, R.S. (1997).** Effect of lime on cation exchange capacity of marine clay, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 123, 183-185.
- Mollamahmutoğlu M., Taşkiran T. (2000),** Diyarbakır ili, Kayapınar-Yeniköy Bağcılar yöresi kilinin şişme potansiyelinin irdelenmesi, *Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği*, 52s.
- Muntohar, S., Hantoro, G. (2000).** Influence of rice husk ash and lime on engineering properties of a clayey subgrade, *Journal of Geotechnical Engineering*, 5.

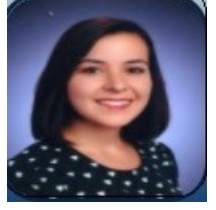
- Murray, H.H.** (1991). Overview-clay mineral applications. *Applied Clay Science*, 5, 379- 395.
- Nalbantoğlu, Z., Güçbilmez, E.** (2001). Improvement of calcareous expansive soils in semi-arid Environments, *Journal of Arid Environments*, 47, 453–463.
- Nicholson, P.O. and Kashyap, V.** (1993). Fly ash Stabilization of Tropic Hawaiian Soils, Fly Ash for Soil Improvement, *Geotechnical Special Publication*, No: 36, s. 15-30, Ed.: Sharp K.D., ASCE, Newyork.
- Okagbue, C.O., Onyeobi, T.U.S.** (1999). Potential of marble dust to stabilise red tropical soils for road construction, *Engineering Geology*, 53, 371–380.
- O'Neill, M.N., and Poormayed, N.** (1980). Methodology for foundations on expansive clays, *Journal of Geotechnical Engineering Division*, ASCE, 106, 1345-1367.
- Oster, J.D., Frenkel, H.** (1980). The chemistry of the reclamation of sodic soils with gypsum and lime. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:41-45.
- Önalp, A.** (1997). Geoteknik Bilgisi 1, Zeminler ve Mekanığı. *Sakarya Üniversitesi Yayın no:27, Adapazarı*, 358-402.
- Popescu, M.E., Constantinescu, T., ferrando C., and Quintavalle, F.,** (1997). Treatment of subgrade expansion soil at the extention of Bucharest-Otopeni International Airport. *Proceedings of the International Symposium on Engineering Geology and the Environment*, Athens, Greece, pp.331-338.
- Rogers, C.D.F., and Glendining, S.** (1997). Improvement of clay soils in situ using lime piles in the UK. *Engineering Geology*, 47, 243–257.
- Reunkrairergsa, T., and Pimsam, T.** 1982. Deep hole lime stabilisation for unstable clay shale embankment. *Proc. of the 7th SE Asia Geotechnics Conf.*, Hong Kong, 22-26th November, 1982, p.631-645
- Süt İ.** (2006). Kohezyonlu Zeminlerin Kireçle İyileştirilmesinin CBR Değeri Üzerindeki Etkisinin İrdelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Taşpolat, L. T., Zorluer İ. ve Koyuncu H.** (2006). Atık Mermer Tozunun Geçirimsiz Kil Tabakalarda Donma - Çözölmeye Etkisi, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi* 2, 11–16.
- Terashi, M., Tanaka, H., Niidome, Y., Sakanoi, H.** (1980). Permeability of treated soils, *Proceedings, 15th Japan Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 773-776.
- Tonoz, M.C., Gokceoglu C. and Ulusay R.** (2003). A laboratory-scale experimental investigation on the performance of lime columns in expansive Ankara (Turkey) Clay, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 62, 91–106.
- Townsend, D.C., Kylm, T.W.** (1966). Durability of lime-stabilized soils, *Highway Research Board Bulletin*, 139, 25-41.

- Transportation Research Board** (1987). Lime stabilization: reaction, properties, design and construction. *Committee on Lime and Lime-fly ash Stabilization, State-of-the-Art-Report*, 5, Washington, D.C., 1-59.
- Tystovich, N.A., Abelev, M.Yu, and Takhirov, I.G.** (1971). Compacting saturated loeses soils by means of lime piles. *Proceedings of the 4th Conf. On Soil Mechanics*, Budapest, p.837-842.
- Unsal, N.** (1993). Sekiz Katlı 3 Üniteli Manisa Öğretmenevi İnşaatında Uygulanan Sönmüş Kireçtozu İle Zemin Islahı, *Bayındırlık Ve İskan Müdürlüğü, Manisa, Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, Sayı 43, 82-84.
- Uzer, A. U. ve Olgun, M.** 2006. Şişen zeminler üzerinde iki farklı şişme yöntemi sonuçlarının değerlendirilmesi. *Journal of Technical-* Online Sayı: 5, No:3.
- Ülker, Ş.** (2005). Karayolu Altyapısında Zeminlerin Kireçle İyileştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Van Impe, W.F.,** (1989). Soil Improvement Techniques and their Evolution. *A.A. Balkema*, Rotterdam, 125 pp.
- Van der Merwe, D.H.** (1964). The prediction of Heave from the Plasticity Index and the Clay Fraction. *Civil Engineering, South Africa vol. 6 no. 6*.
- Williams, A.B., Donaldson, G.W.** (1956), Building on Expansive Soils in South Africa, Proc. *Fourth International Conference on Expansive Soils*, Vol. 2, pp. 834-844.
- White, W.A.** (1958). Some Geomorphic Features Of Central Peninsular Florida, *The Florida Geological Survey*, Tallahassee, August,1958.
- Yeşilbaş, G.** (2004). Şişen Zeminlerin Agregata Artığı, Taş Unu Ve Kireç Kullanılarak Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 112s.
- Yıldırım, Ü.E.** (2009). Şişen Killere ve Tünel Tasarımına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Anabilim Dalı*, İstanbul, 24-25.
- Yılmaz, I.** (2006). Indirect estimation of the swelling percent and a new classification of soils depending on liquid limit and cation exchange capacity. *Engineering Geology*, 85 (3-4), 295-301.
- Yılmaz I.** (2007.b). Mühendislik Jeolojisi – İlkeler ve Temel Kavramlar, *Teknik Yayınevi*, Ankara, 490 s.
- Yılmaz, I.** (2007.a). The effect of swelling clays on a water transport canal between Köklüce HPP and Erbaa HPP (Turkey), *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 66 (4), 467-472.
- Yılmaz, I. Civelekoğlu, B.** (2009). Gypsum: An additive for stabilization for swelling clay soils. *Applied Clay Science* 44 166-172.

- Yılmaz, I, Civelekoğlu, B.** (2009). ŐŐŐen Killi Zeminlerin Doğal Jips Katkısı Kullanılarak İyileştirilmesi. *Cumhuriyet Yerbilimleri Dergisi* 28, 2, 115-134.
- Yılmaz, I. and Karacan, E.** (1997). Geotechnical properties of alluvial soils: an example from south of Sivas (Turkey), *IAEG Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 55: 159-165.
- Zha, F., Liu, S., Du,Y. and Cui, K.** (2008). Behavior of expansive soils stabilized with fly ash, *Springer Science Business Media B.V. Natural Hazards* DOI 10.1007/s11069-008-9236-4.
- Zorluer, İ. ve Usta, M.** (2003). Zeminlerin Atık Mermer Tozu İle İyileştirilmesi, *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu* (Mersem '2003) Bildiriler Kitabı, 18-19 Aralık, 305-311.



ÖZGEÇMİŞ



Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Büşra ERGENOĞLU
Doğum Yeri ve Tarihi	Malatya, 24/01/1989
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140-Sivas
E-posta Adresi	busraergenoglu@gmail.com

Eğitim ve Akademik Durumu

Lisans	Balıkesir Üniversitesi, 2013
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü