İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ

ŞİŞEN ZEMİNLERİN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ VE İMAR PLANLAMASINA ETKİSİ

ADVİYE MARAL ACAR

UZMANLIK TEZİ

NİSAN 2017

İLBANK
TÜRKİYE'NİN YAPICI GÜCÜ

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ

ŞİŞEN ZEMİNLERİN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ VE İMAR PLANLAMASINA ETKİSİ

ADVİYE MARAL ACAR

UZMANLIK TEZİ

Tez Danışmanı (Kurum) **Kuddusi KARAKUŞ**

Tez Danışmanı (Üniversite) **Doç. Dr. Nihat Sinan IŞIK**

ETİK BEYAN

"İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ Uzmanlık Tezi Yazım Kuralları"na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Adviye MARAL ACAR

04/04/2017

Şişen Zeminlerin Jeoteknik Özellikleri ve İmar Planlamasına Etkisi

(Uzmanlık Tezi)

Adviye MARAL ACAR

İLBANK A.Ş.

Nisan 2017

ÖZET

Şişme potansiyeline sahip zeminler mühendislik yapılarında ciddi hasarlara sebep olmaktadır. Bu tür zeminler bünyesine su aldığında hacminde artış, bünyesinden su uzaklaştırıldığında hacminde azalma görülen kil türlerinden meydana gelir. Bu nedenle şişme özelliği gösteren killi zeminler üzerinde, İller Bankası A.Ş. tarafından uygulanacak projelerin tasarım ve planlama aşamasının doğru yapılması, ilerde meydana gelebilecek hasar ve ekonomik kayıpların engellenmesi açısından önemlidir. Bu amaçla şişen killerin jeoteknik özellikleri, şişmeye neden olan faktörler ile şişen zeminleri iyileştirme yöntemleri ile ilgili Ülkemizde ve uluslararası literatürde yapılan çalışmalar irdelenmiştir. Ayrıca İller Bankası A.Ş. tarafından ihalesi yapılan iki adet İmar Planına Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt Raporu, şişme potansiyelinin değerlendirilmesi açısından ele alınarak, her iki raporda da şişme potansiyelini tespit etmek amacıyla uygulanan arazi ve laboratuar çalışmaları detaylı olarak incelemiştir. İmar planlaması çalışmalarında doğru yöntemler ve metotlar uygulanarak şişen zeminlerin önceden tespit edilmesi durumda hem maliyet hem de zaman açısından ülke ekonomisine sağlayacağı katkılar belirlenerek, şişen zeminlerin planlamaya etkilerine yer verilmiştir. Yapılan tüm analiz ve değerlendirmeler sonucunda şişen zeminlerde İller Bankası A.Ş. tarafından yaptırılacak her türlü üstyapı ve altyapı tesisleri için alınması gereken önlemler ile dikkat edilmesi gereken hususlar vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler	:	Şişen zeminler, kil, jeoteknik etüt, imar planı,
Sayfa Adedi	:	85 (seksenbeş)
Tez Danışmanı	:	Kuddusi KARAKUŞ (Kurum)
	:	Doç Dr. Nihat Sinan IŞIK (Üniversite)

Geotechnical Properties of Expansive Soils and Its Impact on Zoning Plan

(Expertise Thesis)

Adviye MARAL ACAR

ILBANK A.S.

April 2017

ABSTRACT

Expansive soils cause serious damages on engineering projects. Such soils that occur clay types have an increase in volume when they get water and they have an decrease in volume when they lost water. For this reason correct design and planning stages on engineering projects that implemented by Iller Bankası A.S. are important in terms of preventing damage over time and economic losses. For this purpose studies which are related to properties of expansive clays, factors of swelling and methods for improving of expansive soils in our country and international literature have been examined. Besides two geological and geotechnical survey reports based on zoning plan that tendered by Iller Bankası A.S. are examined in detail to evaluate swelling potential, both reports are analyzed to realize previous laboratory experiments and field studies are used to detect swelling. If expansive soils determined in advance by applying the right methods in zoning plan studies, the contributions to the country's economy in terms of both cost and time are detected and the effects of planning the expansive soils are given. As a result of all analyzes and evaluations, on expansive soils precautions to be taken and the points to be considered for all types of superstructure and infrastructural works will be constructed by Iller Bankası A.S. are emphasized.

Key Words : Expansive soils, clay, geotechnical survey, zoning plan
Page Numbers : 85 (eightyfive)
Supervisor : Kuddusi KARAKUŞ (Corporate)
: Assoc. Prof. Nihat Sinan IŞIK (University)

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım sırasında değerli zamanlarını bana ayıran, önerileriyle çalışmalarımı yönlendiren, bu tezin oluşmasında çok önemli bir yere sahip olan tez danışmanlarım Sn. Kuddusi KARAKUŞ'a "İller Bankası A.Ş.", Sn. Doç. Dr. Nihat Sinan IŞIK 'a "Gazi Üniversitesi" ve hayatımın her aşamasında desteklerini esirgemeyen aileme ve eşime içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i

ABSTRACT ii

TEŞEKKÜR iii

İÇİNDEKİLER iv

ÇİZELGELERİN LİSTESİ vii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ ix

RESİMLERİN LİSTESİ xi

SİMGELER VE KISALTMALAR xii

GİRİŞ 1

1. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 3
1.1. Literatür çalışmaları 3
1.2. İller Bankası A.Ş. Erzurum Bölge Müdürlüğü Bünyesinde Yapılan Çalışmalar 7

2. ZEMİN OLUŞUM MEKANİZMASI 11
2.1. Zemin Tanımı 11
2.2. Zemin Oluşumu 11
2.2.1. Fiziksel ayrışma 12
2.2.2. Kimyasal ayrışma 12
2.3. Zemin Türleri 13

3. ŞİŞEN ZEMİNLER 17
3.1. Şişen Zeminlerin Orijini ve Oluşumu 19
3.2. Kil Minerallerinin Kristal Yapısı ve Türleri 19
3.2.1. Kaolinit grubu kil mineralleri 21
3.2.2. İllit grubu kil mineralleri 23
3.2.3. Montmorillonit grubu kil mineralleri 24
3.2.4. Klorit grubu kil mineralleri 27
3.3. Şişmeye Etki Eden Faktörler 28
3.3.1. Mineralojik yapı 29

Sayfa

3.3.2. Başlangıç su muhtevası 30
3.3.3. Kuru birim hacim ağırlığı 32
3.3.4. Örtü yükü (sürşarj) 34
3.3.5. Nem etkileşimi ve kristal yapısı 35
3.3.6. Kompaksiyon 36
3.3.7. Şişmeye etki eden diğer faktörler 36
3.4. Şişme Mekanizması 37
3.4.1. Kil minerallerinin difüz (elektriksel) çift tabaka özelliği 37
3.4.2. Katyon değişim kapasitesi 39
3.4.3. Şişmenin aşamaları 39
3.5. Şişen Zeminlerin Belirlenmesi 41
3.5.1. Ampirik yöntemler 41
3.5.2. Direk deney yöntemleri (ödometre yöntemleri) 47
3.6. Şişen Zeminleri İyileştirme Yöntemleri 50
3.6.1. Şişen zemini kaldırma ve yer değiştirme 50
3.6.2. Kompaksiyonun kontrol edilmesi 50
3.6.3. Ön ıslatma 51
3.6.4. Su muhtevası kontrolü 51
3.6.5. Kimyasal stabilizasyon 52
3.6.6. Organik bileşiklerle zemin ıslahı 53
3.6.7. Diğer yöntemler 54

4. İMAR PLANLAMASINA ŞİŞEN ZEMİNLERİN ETKİSİ VE İMARA ESAS ÖRNEK ÇALIŞMALAR 57
4.1. İmar Planlaması Çalışmaları 57
4.2. İmara Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt Çalışmaları 58
4.3. Arpaçay (Kars) İmar Planına Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt Raporu Örneği 58
4.3.1. Arazi çalışmaları 59
4.3.2. Laboratuvar deneyleri 61
4.3.3. Zeminin şişme özellikleri 64
4.3.4. İnceleme alanının şişme potansiyelinin değerlendirilmesi üzerine tartışma ve öneriler 65
4.4. Ulalar (Erzincan) İmar Planına Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt Raporu Örneği 67

Sayfa

4.4.1. Arazi çalışmaları....68
4.4.2. Laboratuar deneyleri....69
4.4.3. Zeminin şişme özellikleri....71
4.4.4. İnceleme alanının şişme potansiyelinin değerlendirilmesi üzerine tartışma ve öneriler....72

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER....75

KAYNAKLAR....79

ÖZGEÇMİŞ....85

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi 14

Çizelge 2.2. Birleştirilmiş zemin sınıflandırmasında kullanılan semboller 14

Çizelge 2.3. Amerikan karayolları zemin sınıflandırma sistemi 15

Çizelge 3.1. Kil minerallerinin iklim ve ana kaya koşullarına göre oluşumu 19

Çizelge 3.2. Bazı kil minerallerinin genel özellikleri 27

Çizelge 3.3. Değişebilir katyon cinsinin şişmeye olan etkisi 29

Çizelge 3.4. Şişmeye etki eden faktörler 37

Çizelge 3.5. Kil minerallerinin katyon değişim kapasite değerleri 39

Çizelge 3.6. Etkili endeks özellikleri ile şişme derecesinin belirlenmesi 42

Çizelge 3.7. Killerin aktivite değerlerine göre sınıflandırılması 43

Çizelge 3.8. PVC oranlarına göre şişme kriterleri 45

Çizelge 3.9. Chen (1988)'e göre şişme potansiyelinin plastisite indisine göre değişimi .. 47

Çizelge 4.1. SK- 6 ve SK-8 no'lu sondaj kuyularının litoloji bilgileri 61

Çizelge 4.2. SK-6, SK-8, SK-19, SK-20 no'lu sondaj kuyularına ait elek analiz deneyine ait veriler 62

Çizelge 4.3. SK-6, SK-8, SK-19, SK-20 no'lu kuyuların indeks ve fiziksel özelliklerini gösterir laboratuvar sonuçları. 63

Çizelge 4.4. Birimlerin üç eksenli basınç, doğal birim hacim ağırlık ve konsolidasyon deneyi sonuçlarını gösterir laboratuvar sonuçları. 64

Çizelge 4.5. SK-8 nolu kuyuda gözlenen şişme yüzdesi 64

Çizelge 4.6. Şişen killerde muhtemel hacim değişiklikleri 65

Çizelge 4.7. SK-8 no'lu kuyudan alınan örneklerdeki hacim değişim aralıkları 66

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.8. SK-8 no'lu kuyudaki plastisite indisi ile şişme potansiyeli arasındaki ilişki.. 67

Çizelge 4.9. Jeoteknik sondaj kuyularına ait genel bilgiler 69

Çizelge4.10.Zemin index-fiziksel ve mekanik özelliklerini gösterir laboratuvar sonuçları 70

Çizelge 4.11. Şişme potansiyeli tanımı..... 71

Çizelge 4.12. Konsolidasyon deney sonuçları ve şişme potansiyeli..... 72

Çizelge 4.13.SK-3, SK-4, SK-8, SK-13 no'lu sondaj kuyularının LL ve PI değerleri..... 72

Çizelge 4.14. SK-3, SK-4, SK-8, SK-13 no'lu kuyuların şişme potansiyeli sınıflaması... 73

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Zemin profilinin şematik gösterimi 11

Şekil 2.2. Kaya zemin kaya basit dönüşüm çemberi 13

Şekil 3.1. Tetrahedron tabakası (a) silis tetrahedron (b) tetrahedral tabaka (c) silika tabakasının temsili gösterimi 20

Şekil 3.2. Oktahedron tabakası (a) alüminyum oktahedron (b) oktahedral tabaka (c) alümina tabakasının temsili gösterimi 20

Şekil 3.3. Kaolinitin şematik taslağı 22

Şekil 3.4. Kaolinitin şematik görünümü 22

Şekil 3.5. İllit türü minerallerin şematik görünümü 23

Şekil 3.6. İllitin şematik taslağı 24

Şekil 3.7. Montmorillonitin şematik görünümü 25

Şekil 3.8. Montmorillonitin şematik taslağı 26

Şekil 3.9. Kloritin şematik taslağı 28

Şekil 3.10. Difüz çift tabaka teorisine göre bir kil partikül yüzeyine bitişik anyon ve katyonların dağılımı 30

Şekil 3.11. Su içeriğinin hacim değişimine etkisi 31

Şekil 3.12. Başlangıç su içeriğinin şişme yüzdesine etkisi 31

Şekil 3.13. Başlangıç su içeriğinin şişme basıncına etkisi 32

Şekil 3.14. Kuru birim hacim ağırlığının hacim değişimine etkisi 33

Şekil 3.15. Kuru birim hacim ağırlığın şişme yüzdesine etkisi 33

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.16. Kuru birim hacim ağırlığın şişme basıncına etkisi 34

Şekil 3.17. Şişme yüzdesi - sürşarj yük ilişkisi..... 34

Şekil 3.18. Killerde kristallerarası şişme 35

Şekil 3.19. Kompaksiyon yönteminin şişmeye olan etkisi 36

Şekil 3.20. Kil mineralinin difüz (elektriksel) çift tabaka özelliği 38

Şekil 3.21. Şişme mekanizması 40

Şekil 3.22. Seed ve diğerleri (1962) tarafından önerilen sınıflandırma sistemi..... 44

Şekil 3.23.Van Der Merve (1964) tarafından önerilen sınıflandırma abağı 44

Şekil 3.24. Lambe (1960)'a göre şişme indisi-potansiyel hacim değişim ilişkisi 45

Şekil 3.25. Şişme potansiyeli sınıflandırma kartı 48

Şekil 3.26. Serbest şişme, likit limit ve su içeriği korelasyon kartı 49

Şekil 4.1. SK-8 nolu kuyudan alınan örneklerdeki şişme potansiyeli 66

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 3.1. Zemindeki şişmeye bağlı tek katlı yapıda ve bahçe duvarında meydana gelen çatlama 17

Resim 3.2. Şişen zeminlerin oluşturduğu zararlara örnekler 18

Resim 3.3. Zeminde görülen şişme ve kabarmanın yapılara verdiği zarar 18

Resim 3.4. Kaolinitin elektron mikroskoptaki görüntüsü 22

Resim 3.5. İllitin elektron mikroskoptaki görüntüsü 24

Resim 3.6. Montmorillonitin elektron mikroskoptaki görüntüsü 27

Resim 3.7. Yüzey sel suların yapı temelinden uzaklaştırılması..... 52

Resim 3.8. Şişen zeminlerin kireçle iyileştirilmesi..... 53

Resim 4.1. İnceleme alanına ait genel görünüm 59

Resim 4.2. İnceleme alanına ait genel görünüm 68

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılan kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
Å	Angstrom
Al	Alüminyum
$	Dolar
µm	Nanomikron
Ca	Kalsiyum
$CaCO_3$	Kalsiyum Karbonat
gr/cm^3	gram/santimetreküp
H	Hidrojen
kg/cm^2	kilogram/santimetrekare
kN/m^2	kilonewton/metrekare
kPa	kilopaskal
m	metre
m^2/gr	metrekare/gram
meq	miliekivalen
Mg	Magnezyum
mm	milimetre
Na	Sodyum
O	Oksijen
OH	Hidroksit
Si	Silis
Psi	Pounds per square inch
Psf	Pounds per square foot
t/m^3	ton/metreküp
t/cm^2	ton/santimetrekare
TL	Türk Lirası
%	Yüzde

Kısaltmalar	Açıklamalar
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials (Amerikan Karayolları Sınıflandırma Sistemi)
ASTM	American Society Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzeme Enstitüsü)
A.Ş.	Anonim Şirketi
ÖA	Önlemli Alan
SPT	Standart Penetrasyon Deneyi
USCS	Unified Soil Classification System (Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi)
UD	Örselenmemiş Numune
vb.	Ve Benzeri

GİRİŞ

Şişen zeminler su içeriği arttığında şişen, su içeriği azaldığında büzüşen, mühendislik yapılarında ciddi sorunlara neden olan zemin türleridir. Diğer bir ifadeyle değişen nem koşulları altında zemin veya kaya malzemesinin şişme veya büzülme potansiyeli, şişen zemin olarak ifade edilir. Bu tür zeminler genellikle kil mineral gruplarından oluşmakla birlikte, her bir mineral grubunun davranışının birbirinden farklı olması sebebiyle mineral tiplerinin belirlenmesi ve böylece killi zeminlerin endeks özellikleri ortaya konularak davranışı hakkında bilgi sahibi olunması ve kilin içerdiği mineral oranlarının ve türlerinin belirlenmesi de mekanik davranışlarının anlaşılabilmesi açısından önem taşır.

Şişme potansiyeline sahip zeminler, mühendislik yapılarında ciddi hasarlara sebep olduğundan sadece ülkemizde değil dünya çapında da problem teşkil etmektedir. Örneğin Amerika Birleşik Devletleri'nde 1987 yılında yapılan bir araştırmada şişen zeminlerin; binalara, havaalanlarına, yollara, kaldırımlara, otopark alanlarına, boru hatlarına ve diğer tesislere verdiği yıllık zarar 9 milyar dolar olarak tespit edilmiştir (Jones and Holtz, 1973).

Şişen zeminlerdeki hareketler ve meydana getirdikleri hasarlar genel olarak çok yavaş gelişir, depremler, seller, heyelanlar kadar ani ve hızlı gelişmez. Ayrıca can kaybına değil de daha çok mal kayıplarına ve ciddi ekonomik kayıplara sebep olurlar. Bu nedenle şişmeye neden olan zemin türünün doğru tespit edilerek, tasarım ve planlama aşamasının doğru yapılıp, bu tür zeminlerde uygulanacak mühendislik yapısının uygun koruyucu önlemler alınarak tasarlanması önem arz etmektedir.

Killerin fiziko-kimyasal özellikleri ile kıvam özelliklerinin ve kilin mineral türünün birtakım deneylerle tespit edilmesi, kilin davranışı hakkında ipuçları vererek, planlama aşamasında veya sonrasında meydana gelebilecek olumsuzlukların önüne geçilmesinde yol gösterici olmaktadır. Bu tez çalışması bu bağlamda ele alınmış olup ayrıca İller Bankası A.Ş. İnsan Kaynakları yönetmeliğinin 36.'ıncı maddesine dayanılarak hazırlanan "İller Bankası A.Ş. Teknik Uzman Yardımcılığı ve Uzman Yardımcılığı Giriş ve Yeterlik Sınavları ile Teknik Uzmanlığa ve Uzmanlığa Atanma, Yerleştirilme, Görev, Yetki ve Sorumlulukları Hakkında Yönetmeliğinin" 20. maddesinde belirtilen Teknik Uzman Yardımcılığından Teknik Uzmanlığa yükselebilmek amacıyla hazırlanmıştır. Bu kapsamda

ilk bölümde şişen zeminlerle ilgili hem ülkemizde hem de uluslararası literatürde geçmiş yıllarda yapılan teorik ve uygulamalı çalışmalar incelenerek, elde edilen veriler ve bulgular ortaya konmuştur. Ayrıca İller Bankası A.Ş. Erzurum Bölge Müdürlüğü kontrollüğünde geçmiş yıllarda yapılan imar planına esas jeolojik-jeoteknik etüt çalışmaları kapsamında şişme ile ilgili yapılan çalışmaların bazılarından kısaca bahsedilmiştir. İkinci bölümde zeminlerin hangi şartlarda ve nasıl oluştuğu hakkında bilgi verilerek, zemin sınıflaması yapılmıştır. Üçüncü bölümde zeminde görülen şişmenin nasıl meydana geldiği, hangi tür zeminlerin şişmeye yatkın olduğu ve zemin şişmesine sebep olan faktörlerin neler olduğu belirtilerek bu tür zeminleri iyileştirme yöntemlerinden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde İller Bankası A.Ş. tarafından daha önceden yaptırılan Arpaçay (Kars) ve Ulalar (Erzincan) İmar Planına Esas Jeolojik - Jeoteknik Etüt Raporları'nda şişme ile ilgili yapılan çalışmalardan ve sonrasında şişme potansiyeline sahip bu tür zeminlerin imar planı çalışmalarına etkisinden bahsedilerek, son kısımda yapılan çalışmalar değerlendirilerek önerilerde bulunulmuştur.

1. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

1.1. Literatür çalışmaları

Şişen zeminlerle ilgili olarak birçok teorik ve uygulamalı çalışma yapılmış olup, bu çalışmaların bir kısmı özet olarak aşağıda sunulmaktadır:

Wise and Hudson (1971) Teksas'ta şişen kil zeminlerdeki problemleri tespit etmek amacıyla incelemeler yapmıştır. Ayrıca killerdeki şişmeyi kontrol etmek için ekonomik ve etkili metotlar üzerinde araştırmalar yaparak, şişmenin farklı yöntemlerle önlenebileceğini ve ileride de bunlara ilaveten yeni teknikler geliştirileceğini vurgulamıştır.

Dakshanamurthy and Raman (1973) şişen killerin tanımlanması üzerine daha önceden yapılmış çalışmaları irdeleyerek killerin Likit Limit, Plastik Limit ve Büzülme Limiti değerlerini içeren plastisite şemasının; şişen killeri, diğer killerden ayırmak için kullanılan basit ve güvenilir bir yöntem olduğu sonucunu çıkarmıştır.

Fredlund (1975) Kanada'nın Saskatchewan bölgesinde şişme özelliği gösteren killerin mühendislik özelliklerini incelemiş ve bu bölgeki killerin; şişme potansiyeli fazla, yüksek plastisite özelliğine sahip Ca (Kalsiyum) Montmorillonit türü kil olduğunu tespit ederek burada inşa edilecek herhangi bir mühendislik yapısında alınması gereken önlemleri belirlemiştir.

Yılmaz ve Karacan (1998) zeminlerin şişme özellikleri, zemin sınıflamaları, şişen zeminlerde temel tasarımı ve şişen zeminlerin üzerine inşaat uygulamaları ile ilgili değerlendirmeler yapmıştır.

Yıldırım (2002) şişen killerin tespitinde emme kapasitesi ve şişme basıncının hesaplanması çok uzun zaman aldığından, şişme basıncına etki eden Kuru Birim Hacim Ağırlık, PI (Plastisite İndisi) ve Başlangıç Su Muhtevası gibi hesaplanması çok zor olmayan zemin özellikleri kullanarak, şişme basıncı ve emme deneyleri yapılmadan şişme basınçlarının ve emme kapasitelerinin belirlenmesi amacıyla çalışmalar yapmıştır.

Anmanm (2003) belirli bir bölgedeki killer ile, farklı türlerdeki killerin ve kil

minerallerinin adsorpsiyon bilgilerini korele ederek, KDK (Katyon Değişimi Kapasitesi) üzerine çalışmalar yapmıştır.

Çelik, Orhan ve Ongun (2005) tarafından Ankara Çukurambar ve Karakusunlar civarındaki killer ile Balgat ve Etimesgut bölgesindeki killerin zemin parametrelerini ve indeks özelliklerini tespit etmek amacıyla deneyler yapılmış ve sonucunda Büzülme Limiti, Büzülme Oranı ve Likit Limit değerlerinin iki bölge arasında farklılık gösterdiği, ancak Sıkışma Katsayısı, Elastisite Modülü ve Plastik Limit için farklılık göstermediği tespit edilmiştir.

Kassa (2005) Addis Ababa (Etiyopya) 'daki şişen killerin konsolidasyon ve şişme karakteristikleri arasındaki ilişkileri incelemiş ve şişen killerin konsolidasyon karakteristiğinin şişmeden etkilendiği sonucunu çıkarmıştır.

Lucian (2006) Kibaha (Tanzanya)' daki şişme özelliği gösteren zeminlerin ve zemin üzerindeki binaların jeoteknik özelliklerini incelemiş ve binalarda şişmeden dolayı oluşan hasarları engellemek veya oluşabilecek hasarları en aza indirmek için yapılması gereken çalışmaları anlatmıştır.

Türköz (2006) tarafından Eskişehir-Meşelik killlerinin şişme özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla, farklı noktalardan alınan değişik sönmüş kireç katkı yüzdeleri kullanılarak kil numuneleri üzerinde ödometre cihazı ile şişme yüzdesi deneyleri yapılmıştır. Bunun sonucunda sönmüş kireç katkısının % 3 seviyesinden sonra, killerin şişme potansiyelini azaltmada etkili olduğu belirlenmiştir.

Avşar, Ulusay ve Sönmez (2008) tarafından Ankara Öveçler, Söğütözü, Karakusunlar ve 100. yıl civarındaki killerin şişme anizotropisi (yönselliği) iki farklı laboratuvar yöntemiyle incelenip karşılaştırılmış ve her iki yöntemde de şişme parametrelerinin birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Ayrıca her iki deney sonucunda da şişme basıncının düşey yönde daha büyük olduğu saptanmıştır.

Kumor (2008) Kuzey Polonya'daki şişme özelliği gösteren, Tersiyer - Pliyosen yaşlı killerin jeoteknik özellikleri üzerine araştırmalar yaparak, burada inşa edilen binaların şişmeden nasıl etkilendiğini, yaptığı birtakım çalışmalarla ortaya koymuştur.

Başer (2009) şişen zeminlerin atık mermer tozu kullanılarak stabilizasyonu üzerine birtakım çalışmalar yapmış ve çalışma sonucunda bu uygulamanın, şişen zemin üzerindeki şişme hızının artmasına ve şişme yüzdesinin düşmesine pozitif katkıları olduğunu belirlemiştir.

Genç (2009) tarafından şişen zeminlerin hacim artışını etkileyen faktörleri incelemek amacıyla bentonit ve kaolin kili belirli oranlarda karıştırılıp, farklı deney yöntemlerine göre ödometrede şişme deneyleri yapılmış ve bu karışımların şişme özellikleri araştırılarak, sonuçta karışımdaki bentonit oranı arttıkça şişme yüzdesinin de arttığı gözlenmiştir.

Yıldırım (2009) şişen killerin tünel tasarımına ve tünel yapılarına etkilerini inceleyerek bu tür zeminlerde yapılması planlanan tüneller için alınması gereken önlemleri ve önerileri belirtmiştir.

Küçükali (2011) Ankara-Batıkent civarındaki yüksek plastisiteli killerin şişme ve dayanım özelliklerinin farklı oranlarda kireç ve jips karışımları kullanılarak iyileştirme yöntemlerini araştırmış ve karışım oranına göre sonuçların farklılık gösterdiğini tespit etmiştir.

Özalp ve Sağlamer (2011) tarafından, şişen zeminlerde meydana gelen yanal yöndeki şişme basıncının belirlenmesi amacıyla daha önceden Komorik ve Zeitlin (1956, Aktaran: Özalp ve Sağlamer) ‘in geliştirdiği üç eksenli basınç tespitinde kullanılan deney aleti üzerinde değişiklikler yapılarak yeniden üretilmiştir. Geliştirilen deney aleti ile yapılan şişme basıncı deneyinden elde edilen sonuçlar, önceki çalışmalarda yapılanlarla kıyaslanarak, tartışılmıştır.

Ali, Khan and Shah (2012) şişen killerin mermer tozu ve atık kül kullanılarak iyileştirilmesi üzerine çalışmalar yapmışlar ve yaptıkları deneyler sonucunda her iki maddenin de yaklaşık % 10 civarında eklenmesi ile, killerin Likit Limit, Plastik Limit, Plasitisite İndisi ve Şişme İndisi değerlerini azalttığını ve dolayısıyla zemin iyileştirilmesinde hem mermer tozunun hem de atık küllerin etkili olduğunu ve ekonomik açıdan da ciddi ölçüde katkı sağladığını tespit etmişlerdir.

Özer, Ulusay ve Işık (2012) tarafından Ankara kili üzerine inşa edilmiş Gazi Üniversitesi yerleşkesinde hafif yapılarda meydana gelen kusurların ve devrilen duvar yapılarının sebeplerini araştırmak amacıyla, bu yapıların hemen yakınlarında araştırma çukurları, yatayda ve dikeyde sondajlar açılarak numuneler alınmıştır. Bu numuneler üzerinde yapılan laboratuvar analizleri sonucunda hafif yapılarda meydana gelen zararların (duvarlarda oluşan çatlaklar vb.) temel nedeninin şişmeden kaynaklı olduğu ve yatay doğrultudaki şişme basınçlarının, düşey doğrultudakinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca şişmeye sebep olan etkenlerin kurak- yarı kurak iklim, zayıf drenaj, kötü inşaat yöntemleri ve yetersiz önlemler olduğu belirlenmiştir.

Öztürk (2012) kil minaralleri açısından ince taneli zeminlerin fiziko-kimyasal özellikleri ile kıvam limitleri arasındaki ilişkileri incelemiş, killerin davranışında; fiziko-kimyasal özellik olan katyon değişim kapasitesi ile killerin kimyasal bileşiminin ve özgül yüzey alanının önemli rol oynadığı sonucunu çıkarmıştır.

Yılmaz ve Çelik (2012) Erzurum Oltu civarındaki kil içeriği yüksek zeminlerin konsolidasyon ve şişme basıncı özelliklerine, öğütülmüş kumun ekilerini inceleyerek, killi zemine % 50 oranında öğütülmüş kum eklenmesi sonucunda hacimsel sıkışma katsayısının 2,5 kat azaldığı, şişme basıncının ise 3 kat azaldığı belirlenerek, öğütülmüş kum ilavesiyle; konsolidasyon oturması ile süresinin ve şişme basıncının önemli oranlarda azaltılabileceğini kanıtlamışlardır.

Mehta, Parate and Ruprai (2013) Hindistan'da bulunan ve buraya özgü siyah pamuk olarak adlandırılan şişme özelliği gösteren killerin; uçucu kül ile iyileştirilmesi amacıyla bir takım deneyler yapmışlar ve yaptıkları deneyler sonucunda, uçucu küllerin şişme potansiyelini düşürdüğünü gözlemlemişlerdir.

Radhakrishnan, Kumar and Raju (2014) şişen killerin şişme özelliklerinin uçucu kül ve kimyasallarla iyileştirilmesi üzerine yaptıkları bir takım deneyler ve çalışmalar neticesinde deneyde kullanılan kimyasal ile uçucu kül kombinasyonunun şişen killerdeki şişme basıncını azaltmada oldukça etkili olduğu sonucuna varmışlardır.

Yılmaz (2014) çimento fırını tozu kullanarak şişen zeminlerin şişme potansiyeline etkilerini incelemiş ve olumlu sonuçlar elde ederek şişme hızını yavaşlattığı sonucuna

ulaşmıştır.

Bozkurtoğlu, Şans ve Eyüboğlu (2015) tarafından kohezyonlu zeminlerin şişme potansiyelinin belirlemesi amacıyla literatürde yapılan eski çalışmalar değerlendirilmiş ve kohezyonlu zeminlerdeki Doğal Su İçeriği ve Likit Limit değerlerinden hareketle Avcılar-Esenyurt civarındaki şişme potansiyeline sahip birimler üzerinde çalışmalar yapılarak, şişme yüzdesinin tahminine yönelik yeni bir denklem geliştirilmiştir.

Öztürk, Ünsal ve Akbaş (2015) tarafından Ankara Gölbaşı civarındaki şişme potansiyeli yüksek killerin kireç ile iyileştirilmesi amacıyla deneyler yapılarak şişme yüzdesi ve şişme basınçlarındaki farklılık gözlenmiştir. Kireç katkısının % 5 den fazla olduğu durumlarda şişme basıncı ve şişme yüzdesinin yaklaşık % 85 oranında azaldığı tespit edilerek şişmeyi engellediği belirlenmiştir.

Ünver (2015) problem teşkil eden kil zeminlerin kimyasal katkı malzemeleriyle iyileştirme yöntemleri üzerine çalışmalar yapmış ve bu kapsamda Çatalağzı ve Soma uçucu külünü farklı oranlarda kullanarak, örnekler üzerinde şişme, serbest basınç ve dispersibilite (dağılma) deneyleri yapmıştır. Bunun sonucunda killi zeminin dayanım ve şişme özelliklerinin iyileştiğini gözlemleyerek Soma uçucu külünün Çatalağzı kiline göre daha etkili olduğunu tespit etmiştir.

1.2. İller Bankası A.Ş. Erzurum Bölge Müdürlüğü Bünyesinde Yapılan Çalışmalar

İller Bankası A.Ş. tarafından yaptırılan İmar Planlarına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etütler sonrasında hazırlanan raporlardan İller Bankası Erzurum Bölge Müdürlüğü kontrolllüğünde olanları incelenmiş ve raporlarda şişen zeminlerle ilgili yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda sunulmuştur:

Geoteknik Mühendislik (2010) tarafından hazırlanan Altınbaşak (Erzincan) Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt Raporu'nda çalışma alanında yapılan sondajlardan alınan zemin örneklerinin laboratuvar analiz sonuçları; çalışma alanındaki birimlerin % 35'nin iri taneli; % 65'inin de ince taneli olduğunu göstermiştir. Birleşik Zemin Sınıflamasına göre zeminlere ait 177 örnekten 20'si yüksek plastisiteli kil (CH), 82'si düşük plastisiteli kil (CL), 13'ü düşük plastisiteli silt (ML), 35'i plastik olmayan ince

taneli kum (SM) olup, Likit Limit değerleri % 26,3-61,2 arasında olduğu, Plastik Limit değerlerinin ise % 16,4-26,6 arasında dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Laboratuvarda numuneler üzerinde yapılan konsolidasyon deneyi ile düşük plastisiteli killerin şişme miktarları (mm) ve şişme yüzdeleri bulunarak, Holtz ve Gibbs (1956)'e göre şişme potansiyelleri hesaplanmış ve buna göre laboratuvarda elde edilen sonuçlara göre şişme potansiyelinin düşük şişme özelliğinde olduğu görülmüştür. Killerde yapılan konsolidasyon deney sonuçlarından, çalışma alanındaki zeminlerin genelinde şişme riski beklenmediği ortaya konmuştur.

Araslar Mühendislik (2011) tarafından, Dağpınar (Kars) Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik Jeteknik Etüt çalışmalarında, incelenen sahada 86 adet SPT (Standart Penetrasyon Deneyi) örneği alınmış olup, bu örnekler üzerinde yapılan laboratuvar- analiz sonuçlarına göre Doğal Su İçeriğinin % 8,4 ile 59,5 aralığında olduğu, Atterberg Limitlerinin ise Likit Limit = % 25,4 – 70,3, Plastik Limit = % 14,0 – 30,1 ve Plastisite İndisi = % 10,6 – 42,5 aralığında değişim gösterdiği, Birleştirilmiş Zemin Sınıflamasına göre de alınan örneklerin % 42' sinin yüksek plastisiteli kil (CH), % 45' inin düşük plastisiteli kil (CL), % 5 nin plastik olmayan ince taneli kum (SM), % 8' inin ince taneli plastik kumdan (SC) oluştuğu tespit edilmiştir. Laboratuvarda UD (Örselenmemiş) numuneleri üzerinde yapılan konsolidasyon deneyi sonucunda killerin şişme miktarları (mm) ve şişme yüzdeleri bulunarak, Holtz ve Gibbs (1956)'e göre şişme potansiyeli tanımlanmıştır. Buna göre şişme yüzdesinin % 0,66 ile % 97 arasında değişen değerlerde olduğu ve düşük şişme potansiyeline sahip, normal derecede konsolide killer olduğu belirlenmiştir.

Yüksek İnşaat Mühendislik (2012) İspir (Erzurum) Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt çalışmalarında killi seviyelerden alınan 5 numune üzerinde konsolidasyon deneyi yapılmış ve şişme yüzdesi % 1,50-12,80 aralığında, şişme basıncı ise 0,352-4,725 kN/m^2 arasında bulunmuştur. Alınan UD numunelerinin laboratuvardan elde edilen sonuçlarına göre ise 2 adet kuyudan alınan kil numunelerinin orta şişme potansiyeline, diğerlerinin ise yüksek şişme potansiyeline sahip olduğu gözlenmiş olup, şişme miktarının Holtz ve Gibbs (1956)'e göre; orta-yüksek çıkmış olmasından dolayı, şişme problemine karşı alınması gereken önlemler vurgulanmıştır.

Afşin Jeoloji Sondaj (2014) Refahiye (Erzincan) Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt Raporu çalışmaları kapsamında toplamda 210,00 m ve 18 adet sondaj yapılmış olup, 66 adet SPT numunesi, 6 adet UD numunesi alınmıştır. Çalışma alanında Alüvyonlar, Refahiye Ofiyolitli Karmaşığı ve Kömür Üyesi Rezidüeli olmak üzere üç formasyon bulunduğu gözlenmiş olup; Alüvyon birimlerden UD alınmadığından laboratuvar deneyleri (kıvam limitleri, şişme yüzdesi) yapılamamış ve şişme potansiyeli hesaplanamamıştır. Refahiye Ofiyolitli Karmaşığı Rezidüeline ait zeminlerin laboratuvar deney sonuçlarından hidrometre deneyi ile elde edilen % kil içeriklerine ve Atterberg Limitleri sonuçlarına göre Plastisite İndisi değerleri % 8,9 – 30,9 arasında, kil yüzdesi % 24,3 – 36,4 arasında, aktivite (A) değerlerinin ise % 0,30 – 1,04 arasında değiştiği belirlenerek, genel olarak normal killer/aktif olmayan killer grubuna dahil oldukları ve düşük, orta, yüksek şişme potansiyeline sahip oldukları belirlenmiştir. İnceleme alanındaki Kömür Üyesi Rezidüelindeki killerin, laboratuvar deney sonuçlarına göre Plastisite İndisinin % 22,0 – 23,9 aktivite değerinin % 0,63-0,89 arasında değiştiği belirlenerek, killerin; normal killer/aktif olmayan killer grubuna dahil oldukları ve aktivite değerlerine göre İllit kil minerallarine sahip oldukları tespit edilmiştir.

Nokta Mühendislik Mimarlık (2015) Halfeli (Iğdır) Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt çalışmaları kapsamında jeoteknik sondaj kuyularından alınan 21 adet örselenmiş örnekten (UD) 14 tanesine doğal birim hacim ağrılık deneyi, 5 tanesine ödometre deneyi ve şişme yüzdesi deneyi yapılmıştır. Buna göre şişme yüzdesi % 0,59 - % 1,37 aralığında değişmekte olup, CL - SM grubunda olduğu ve likit limit değerleri % 26,4-66,6, ince tane oranı ortalama % 50,52 olarak belirlenmiş olup "Şişen killerde muhtemel hacim değişiklikleri (Chen, 1975)'' e göre inceleme alanındaki birimlerin genel olarak şişme derecesi orta- yüksek olarak değerlendirilmiştir.

Duha Jeoloji Jeoteknik (2015) Hamur (Ağrı) Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt çalışmaları kapsamında çalışma sahasında 4 farklı jeolojik birim tespit edilmiştir. Bu birimler Eski Alüvyon, Hamur Volkanitleri, Geç Pliyosen - Pleyistosen yaşlı Tutak Formasyonu Rezidüeli ve Alüvyon Çökelleri olarak belirlenmiştir. Açılan temel sondajlardan alınan örselenmiş ve örselenmemiş (UD) numuneler üzerinde 115 adet su içeriği, 10 adet doğal yoğunluk, 115 adet elek analizi, 61 adet atterberg limitleri, 1 adet tek eksenli basma dayanımı, 5 adet kesme kutusu ve 9 adet konsolidasyon deneyi yapılmış ve yapılan deneyler sonucunda Eski Alüvyon Çökellerin ve Hamur Volkanitlerinin Likit

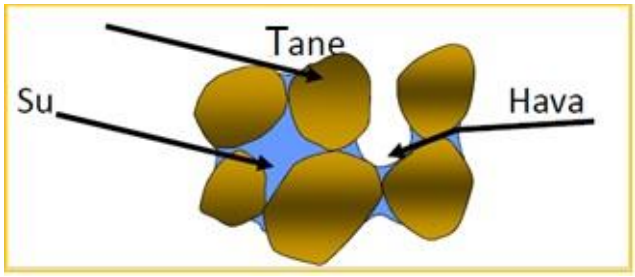
Limit sonuçlarına göre şişme derecesi yüksek, şişme basıncına göre orta - düşük dereceli olduğu, Tutak Volkanitleri Rezidüelinde bulunan killerde ise şişme yüzdesi ve şişme basıncına göre şişme derecesinin düşük olduğu ancak Likit Limit değerine göre de şişme derecesinin yüksek olduğu belirlenmiştir.

Doğu Plan Mühendislik (2015) Hınıs (Erzurum) Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt çalışmaları kapsamında inceleme alanında Yolüstü Formasyonu rezidüelinden alınan UD ve SPT numuneleri üzerinde yapılan Atterberg limitleri analiz sonuçları "Şişen killerde muhtemel hacim değişiklikleri (Chen, 1975)" e göre değerlendirildiğinde Plastisite İndeksi Oranı minimum 2,3, maksimum Plastisite indeksi oranı 32,2 olarak belirlenmiş ve şişme potansiyeli düşük-orta olup, Likit Limit oranı minimum % 29,2, maksimum Likit Limit oranı % 60,3 olarak belirlenmiş ve şişme potansiyeli düşük- orta yüksek olarak tespit edilmiştir.

2. ZEMİN OLUŞUM MEKANİZMASI

2.1. Zemin Tanımı

Zemin; tanelerden oluşan, taneler arası boşluklarında su ve/veya hava bulunduran, çökel ortamlarında çökelmiş fakat diyajeneze (taşlaşma) uğramamış, gevşek tutturulmuş kırıntılı çökellerden meydana gelen doğal malzemelerdir (Şekil 2.1). Zemin diğer bir tanımla katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç fazdan oluşan, izotrop ve homejen özellik göstermeyen, özellikleri; zaman, jeolojik tarihçe ve çevre koşullarına bağlı olarak kayaların ayrışması sonucu büyük değişiklikler gösteren malzemeler olarak da tanımlanabilir (Özaydın, 2011).



Şekil 2.1. Zemin profilinin şematik gösterimi (Özaydın, 2011)

Zemini oluşturan taneler aradaki matriks (çimento) malzemenin etkisiyle birbirine iyice tutturulmuş halde bulunuyorsa (taşlaşma süreçlerini tamamladıysa) o zaman kaya adını alır.

2.2. Zemin Oluşumu

Yer yüzeyindeki zeminler, oluşum mekanizmasına göre taşınmış (transported) zeminler ve yerinde oluşmuş artık (residüel) zeminler olarak ikiye ayrılır:

Yerinde oluşmuş zeminler; kayaların yer değiştirmeden fiziksel ve kimyasal etkenlerle daha ufak parçalara ufalanarak ayrılması yoluyla oluşur. Bu tür zeminler killi, granüler (taneli) veya karışık malzemeden oluşabilir. Granüler zeminler çakıllı veya kumlu olup, çimentolaşmamış malzemenin çökelmesi ile oluşur. Killi zeminler ise silikat içeren kayaçların bozuşması, kireçtaşlarındaki $CaCO_3$'ların çözülmesi, şeyllerin ufalanması

sonucu oluşmaktadır. Residüel zeminler oluştuktan sonra organik maddeler, iklim ve su ile biyolojik etkileşimde bulunarak organik zeminlere dönüşebilir.

Taşınmış zeminler; kayaların aşınarak yer değiştirmesi ve taşındığı ortamda çökelmesi sonucu oluşur. Bu taşınmayı sağlayan en önemli faktörlerden biri akarsulardır. Akarsuların etkisiyle taşınan malzeme herhangi bir deniz ya da göle ulaştığında kaba taneliler önce, ince taneliler daha sonra olmak üzere derecelenerek çökelir. Bu çökelimler alüvyal zemini oluşturarak akarsu yatağının üst kesiminde kaba taneliler, (kum çakıl gibi) alt kesimlerinde ise daha ince (kil, silt gibi) malzemelerin çökelimini sağlar. Bunun dışında rüzgarların etkisi sonucu aşınmış kayaların taşınarak çökelmesi sonucu oluşan eolin zeminler (rüzgar kumulları), gravite etkisi sonucu dağların eteklerinde ve yamaçlarda çökelmesi sonucu kolüviyal (moloz) zeminler, buzulların etkisiyle akarsu yataklarına taşınarak gelen ve burada çökelerek oluşan buzul zeminler (till ve morenler), volkanik lavların çeşitli faktörlerle çökelmesiyle oluşan piroklastik zeminler taşınmış zeminlere örnektir.

Zemin, kayaçların mekanik ve kimyasal koşullar altında binlerce yıl içerisinde ayrışıp parçalanması sonucu oluşmaktadır. Bu parçalanma işlemi kimyasal ayrışma/çözünme veya fiziksel parçalanma/ufalanma yolları ile gerçekleşmektedir (Şekil 2.2).

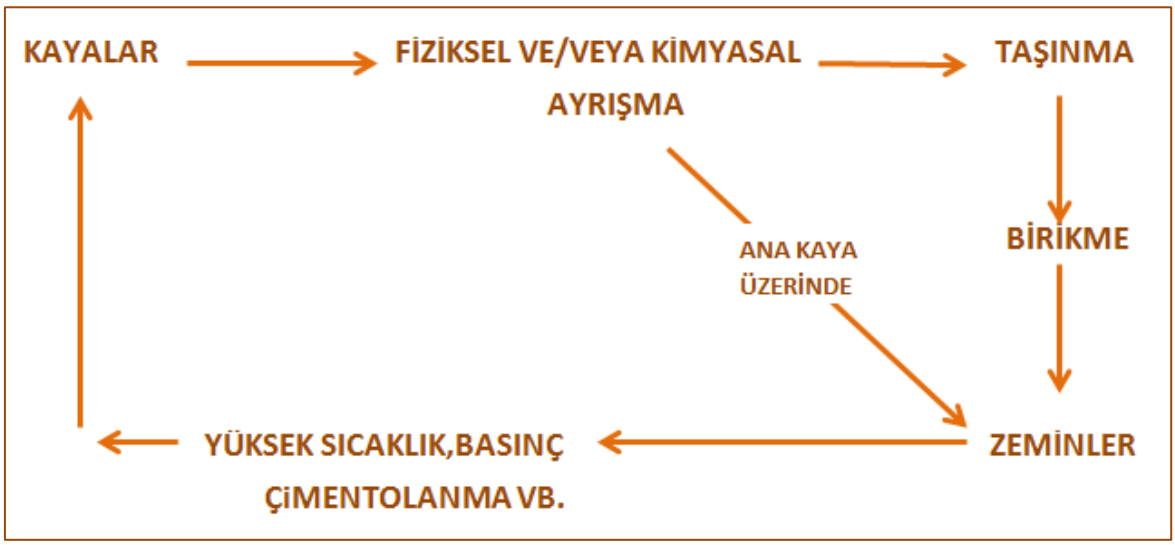
2.2.1. Fiziksel ayrışma

Zeminlerin fiziksel ayrışması zeminin kimyasal yapısı bozulmadan mekanik yollarla daha küçük parçalara ayrılmasıyla olur. Buna da sebep olan en önemli etken basınç değişimleridir. Bu basıncın değişme nedenleri: buzullar, rüzgar, erozyon, don olayları, sıcaklık farkları, yer çekimi, akarsular, bitki ve ağaç kökleri ile canlı organizmalardır.

2.2.2. Kimyasal ayrışma

Yağmur suları havada bulunan Oksijen (O_2) ve Karbondioksiti (CO_2) eriterek, yüzeydeki toprakta bulunan asitlerle birlikte kayalarda kimyasal tepkimelere neden olur. Ayrıca bitkilerin ve organizmaların faaliyetleri sonucu oluşan bakterilerin salgıladığı

asitler de kayaların kimyasal ayrışmasına yol açar. Böylece farklı türlerde zeminler ortaya çıkar.



Şekil 2.2. Kaya zemin kaya basit dönüşüm çemberi
(https://www.academia.edu/13437202/zemin_mekaniği)

2.3. Zemin Türleri

Zeminler için çeşitli mühendislik uygulamalarına yönelik sınıflandırmalar önerilmiştir. Bunlar arasında Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS) en yaygın olarak kullanılanıdır.

Birleşik Zemin Sınıflandırma Sistemi'nde tane çapına göre tanımlama yapılır. Bu tanımlamaya göre çapı; 300 mm den büyük olanlar blok, 75- 300 mm arasında olanlar kaya , 75 mm- 4,75 mm aralığındakiler çakıl, 4,75 mm ile 0,075 mm aralığındakiler kum, 0,075 mm ile 0,002 mm aralığındakiler silt, tane boyutu 0,002 mm den küçük olanlar ise kil olarak sınıflandırılır (Çizelge 2.1). Ayrıca bu sınıflandırma sisteminde tane boyundan farklı olarak Atterberg limitleri dikkate alındığında killer jeoteknik özelliği itibarıyla, plastisitesi yüksek kil (CH) ve plastisitesi düşük kil (CL) olarak sınıflandırılır ki, bu tür killerin şişme potansiyeline sahip oldukları düşünülür. Bu sınıflandırma sisteminde zeminlerin granülometrik ve plastisite özellikleri kullanılarak ve iki harfli grup sembollerinin birincisi esas zemin tipini, ikincisi ise plastisite özelliklerini ifade etmektedir. Örneğin GP sınıflaması ''kötü derecelenmiş çakılı'', CL ise ''düşük plastisiteli kili''ifade eder (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.1. Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi (USCS)

	Zemin cinsi Veya bileşeni	Sembol	Boyut aralığı
	Kaya parçası	-	>300 mm
	Taş	-	75 mm – 300 mm
(1)	İri daneli zeminler :		
	Çakıl	G	75 mm- 4.75 mm
	İri		75 mm – 19 mm
	İnce		19 mm – 4.75 mm
	Kum	S	4.75 mm – 0.075 mm
	İri		4.75 mm – 2.0 mm
	Orta		2.0 mm – 0.425 mm
	İnce		0.425 mm - 0.075 mm
(2)	İnce daneli zeminler		< 0.075 mm
	Silt	M	Sınıflandırma dane çapına göre değil
	Kil	C	Atterberg Limitleri kullanılarak yapılır
(3)	Organik Zeminler	O	
(4)	Turba	Pt	
	Derecelenme Sembolleri		Likit Limit Sembolleri
	İyi derecelenmiş, W		Yüksek LL, H
	Kötü derecelenmiş, P		Düşük LL, L

Çizelge 2.2. Birleştirilmiş zemin sınıflandırmasında kullanılan semboller

İlk Harf	İkinci Harf
G: Çakıl	W: İyi Derecelenmiş
S: Kum	P: Kötü Derecelenmiş
M: Silt	M: Plastik Olmayan İnce Taneli
C: Kil	C: Plastik İnce Taneli
O: Organik Kil	L: Düşük Plastisiteli
Pt: Turba	H: Yüksek Plastisiteli

Zeminler, Amerikan Karayolları Sınıflandırma Sistemine (AASHTO) göre de Çizelge 2.3' de görüldüğü gibi gruplara ayrılır. Bu sınıflandırma zeminlerin yol, alt yapı malzemesi olarak değerlendirilmesinde kullanılmak amacıyla geliştirilmiştir. Buna göre zeminler yedi temel gruba ayrılmış olup, ayrıca iri taneli zeminler ve kil-silt türü zeminler olmak üzere de iki grupta toplanmıştır. 200 nolu elekten geçenlerin oranı eğer % 35 'den az ise, iri taneli zeminleri; % 35'den fazla olanlar ise kil - silt türü ince taneli zeminleri

oluşturmaktadır. Sınıflamada A6 veya A7 olarak sınıflandırılan zeminlerin şişme potansiyeline sahip oldukları düşünülür.

Çizelge 2.3. Amerikan karayolları zemin sınıflandırma sistemi (AASHTO)

Genel Sınıflandırma		Daneli Zeminler (No.200 Elekten Geçen ≤%35)							Silt-Kil Zeminler (No.200 Elekten Geçen > %35)			
		A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7*
Zemin Grupları		A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Dane Çapı dağılım Özellikleri	No. 10 Elekten Geçen (%)	≤50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	No. 40 Elekten Geçen (%)	≤30	≤50	>50	-	-	-	-	-	-	-	-
	No. 200 Elekten Geçen (%)	≤15	≤25	≤10	≤35	≤35	≤35	≤35	>35	>35	>35	>35
Plastisite Özellikleri	Likit Limit (%)	-	-	-	≤40	>40	≤40	>40	≤40	>40	≤40	>40
	Plastisite İndisi (%)	≤6	≤6	N.P	≤10	≤10	>10	>10	≤10	≤10	>10	>10
Grubu Oluşturan Başlıca Zeminler		Taş parçaları çakıl ve kum		İnce kum	Siltli veya Killi çakıllar ve kumlar				Siltli Zeminler		Killi Zeminler	
Yol Altyapısı olarak Değerlendirilmesi		Çok iyi- İyi							Orta-Kötü			

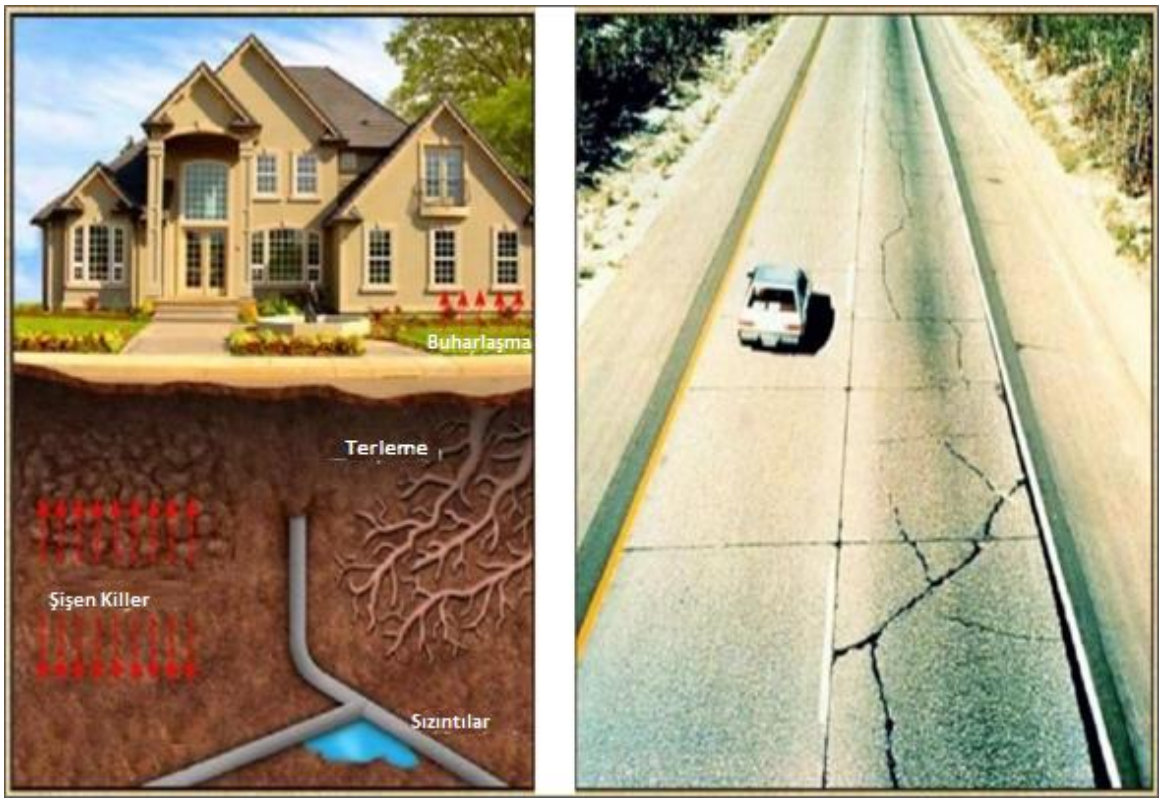
3. ŞİŞEN ZEMİNLER

Genel olarak bünyesine su aldığında hacminde artış, bünyesinden su uzaklaştırıldığında ise hacminde azalma gözlenen zeminler "şişen zeminler'' olarak tanımlanır ve şişen zeminlerin su içeriği yağışın fazla olduğu mevsimlerde artarken yağışın az olduğu kurak mevsimlerde ise buharlaşma sonucu azalır. Bu tür zeminler genellikle montmorillonit tipi kil mineralini bünyesinde bulunduran zeminlerdir ve bu tür killerin büyük oranda şişme özelliği gösterdiği birçok araştırmacı (Holtz and Gibs,1956; Fredlund, 1975; Çokça, 1991; Avşar ve diğerleri, 2009) tarafından ortaya konulmuştur.

Şişen zeminlerdeki hacim değişimleri sonucu; hafif yapılar (tek katlı binalar), bahçe duvarları, (Resim 3.1) havaalanları, altyapı tesisleri, yollar, tüneller, park alanları gibi birçok mühendislik yapısı zarar görmektedir (Resim 3.2 ve 3.3). Ayrıca şişmenin yanında ağaçlar, çimler, bitkiler ve geçirgen olmayan zeminler de, zeminin kurumasına sebep olarak, zeminde hacim değişiklikleri yaratıp oturmaya neden olabilir. Ağaç boyunun 1-1,5 katı kadar uzunluğa sahip bir alan bu durumdan etkilenmektedir. Bu yüzden yapı yakınlarında boyları 2 metreyi geçen ağaçların kaldırılması önerilir (Genç, 2009:42).

Resim 3.1. Zemindeki şişmeye bağlı tek katlı yapıda ve bahçe duvarında meydana gelen çatlama (Öztürk, 2015)

Resim 3.2. Şişen zeminlerin oluşturduğu zararlara örnekler (Avşar ve diğerleri, 2009)



Resim 3.3. Zeminde görülen şişme ve kabarmanın yapılara verdiği zarar
(http://www.slideshare.net/SeyfettinBozkurt/zemin-mhendisliine-giri)

3.1. Şişen Zeminlerin Orijini ve Oluşumu

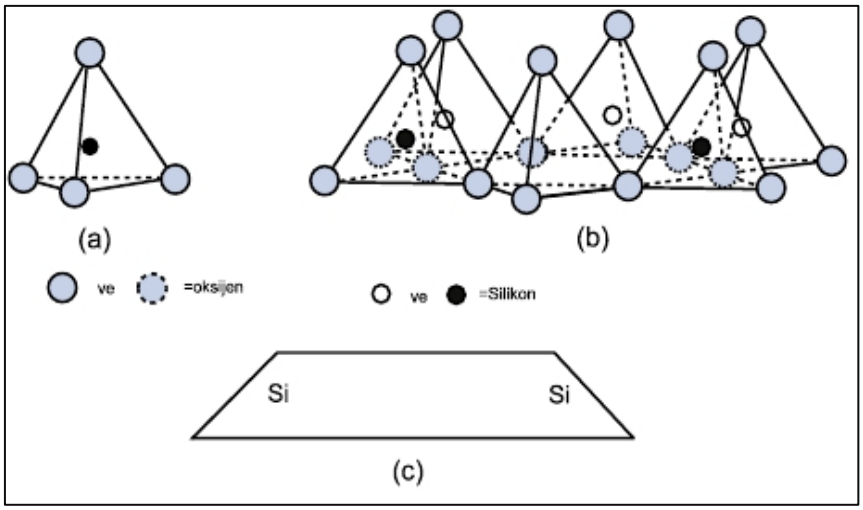
Şişen zeminler genellikle kil içeren veya kilce zengin zeminlerdir. Şişmeye neden olan kil minerallerinin oluşumu, ana kayanın ayrışma şartlarına ve mevsimsel özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Genel olarak kil mineralleri volkanik kökenli ana kayanın kimyasal yollarla ayrışması sonucu oluşmaktadır. Bazı kil minerallerinin iklim ve ana kaya koşullarına göre meydana gelişleri Çizelge 3.1. de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kil minerallerinin iklim ve ana kaya koşullarına göre oluşumu (Genç, 2009)

Kil Minerali	Oluşumu
Kaolinit	Volkanik kayaçların aşınması sonucu genellikle tropik ve astropik alanlarda oluşur.
Klorit	Metamorfik ana kaya alanlarında, genellikle deniz tortularda ve çökelti kayalarda oluşur. Normal olarak yüksek oranlarda bulunmaz.
İllit	Sıcak ve kurak bölgelerde çökelti kayaların aşınması ile oluşur.
Montmorillonit	Zayıf drenaj şartlarında volkanik kül ve kayaların aşınması sonucu, genellikle kurak alanlarda illit ile beraber bulunur.

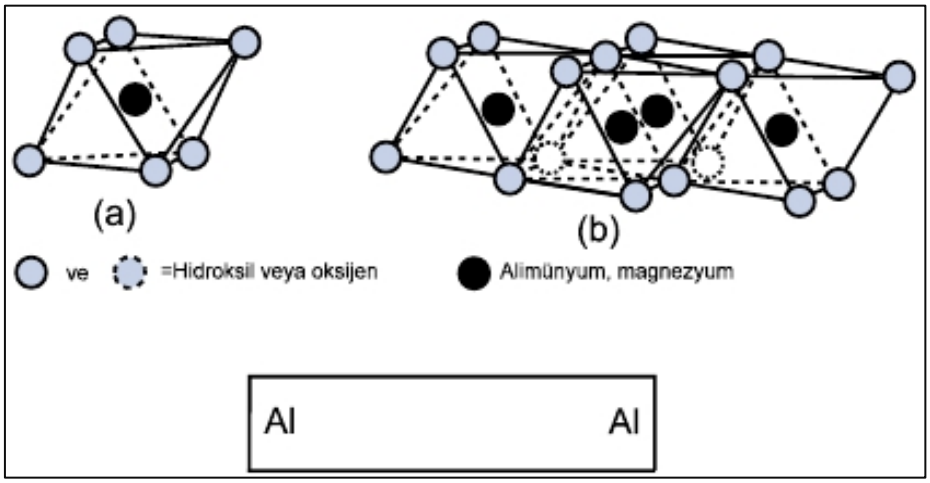
3.2. Kil Minerallerinin Kristal Yapısı ve Türleri

Killerin tane boyutları çok küçük olup sadece elektron mikroskobunda görülebilmektedir. Killer, silis tetrahedron ve magnezyum veya alüminyum oktahedron olmak üzere iki temel kristal yapıdan oluşur. Silis tetrahedron yapısı; merkezinde 1 Si (Silis) iyonu ile 4 O_2 (Oksijen) atomunun birleşmesinden oluşur. Kristal yapısı düzgün dörtyüzlü ve dört köşeden oluşur. Silis tetrahedronlarının birleşmesi sonucu oluşan tabaka "tetrahedron tabakası" veya "silis tabakası" olarak adlandırılır (Ünver,2015:5). Silis tetrahedron ve tetrahedron tabaka yapısı Şekil 3.1' de görülmektedir.



Şekil 3.1. Tetrahedron tabakası (a) silis tetrahedron (b) tetrahedral tabaka (c) silika tabakasının temsili gösterimi (Fell, Macgregor ve Stapledon, 1992)

Alüminyum veya magnezyum oktahedron yapıda; merkezde Mg (Magnezyum) veya Al (Alüminyum) iyonu ile köşelerde bulunan 6 Hidroksil iyonunun birleşmesinden oluşur. Kristal yapısı düzgün sekizyüzlü ve altı köşelidir. Oktahedronların birleşmesi ile de "oktahedron tabaka" veya "alümina tabakası" meydana gelir. Alüminyum oktahedron ve oktahedral tabaka yapısı Şekil 3.2. 'de görülmektedir (Z.Angın ve A.Angın, 2005).



Şekil 3.2. Oktahedron tabakası (a) alüminyum oktahedron (b) oktahedral tabaka (c) alümina tabakasının temsili gösterimi (Fell vd., 1992)

Kil mineralleri kabaca 4 gruba ayrılmış olup, bunlar kaolinit grubu, illit grubu, montorillonit grubu ve klorit grubu killerdir (Ünver, 2015:8).

3.2.1. Kaolinit grubu kil mineralleri

Kaolinit grubu kil mineralleri sulu alüminyum silikatlarıdır. Bu tür kil mineralleri uygun kimyasal ve fiziksel koşullarda feldispatça zengin magmatik kayaçların (granit, gnays, diyorit) ayrışması sonucu oluşur. Ayrıca hidrotermal çözeltilerin etkisiyle uygun koşullarda kendiliğinden (otojenik) mineral olarak da oluşabilirler (Öztürk, 2012:6).

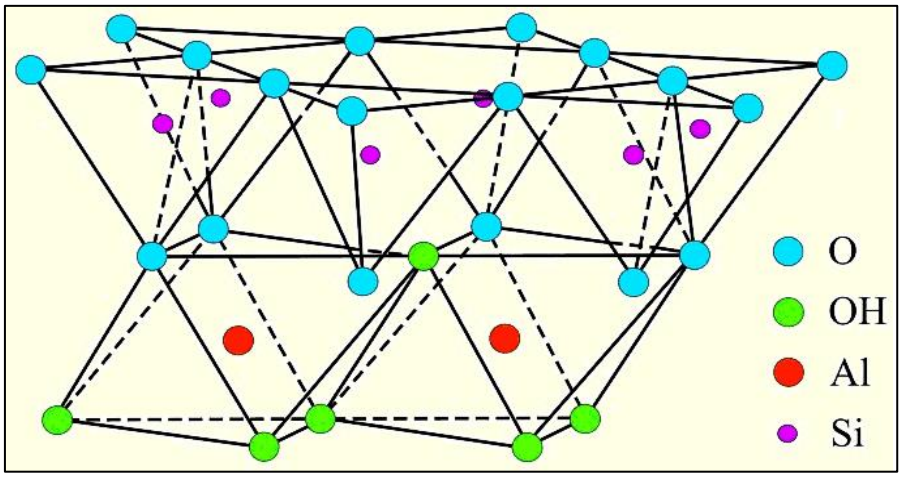
Kaolinit grubu kil mineralleri kendi içerisinde üç gruba ayrılır:

a) Kaolin: $Al_2O_3.2SiO.2H_2O$ veya $Al_2(OH_4)(SiO_2O_5)$

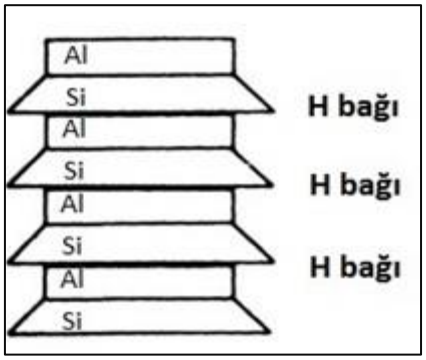
b) Dikit ve Nakrit: Al_2SiO_5 (OH_4) veya $Al_2O_3.SiO_2.$ H_2O

c) Halloysit: $Al_2O_3.2Si_2.4$ H_2O veya Al_2SiO_5 $(OH)4.n$ H_2O

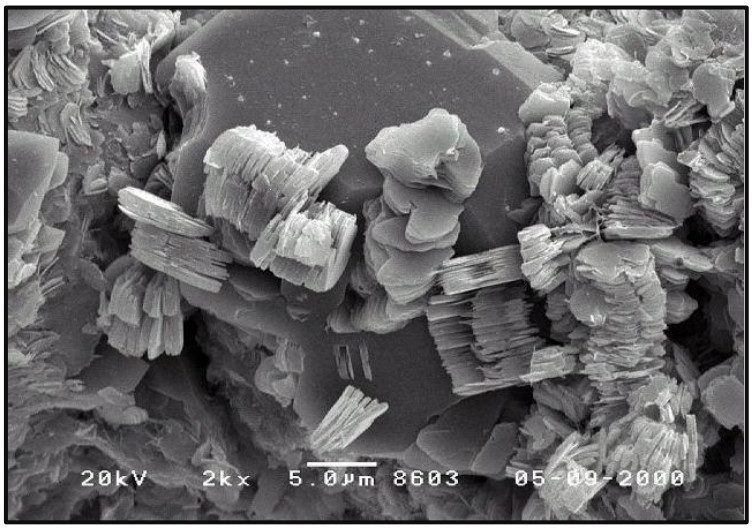
Kaolinit kristalleri levha şeklinde olup, tetrahedron (silika) ve oktahedron (alümina) tabakaları içerir (Şekil 3.3). Tabakaların kalınlığı 72 Å olup, yanal boyutları 1000-20000 Å ve kalınlığı da 100-1000 Å arasında değişmektedir. Bir katman iki tabakanın bir tanesinden oluştuğundan 1:1 kil minerali olarak gösterilir (Şekil 3.4). Tabakaları bir arada tutan bağ Hidrojen Bağları ve Van Der Waals kuvvetleridir. Bağ oldukça güçlüdür dolayısıyla hidrasyonu önler bu nedenle de kil ıslandığında tabakalar arasında şişme görülmez. Kristallerin arasına katyonların ve su moleküllerinin girebilmesi çok zordur. Bunun sonucu olarak katyon değişim kapasitesi diğer kil minerallerine kıyasla düşüktür (3-15 meq/100gr). Kaolinitin kristalleri montmorillonite göre daha büyüktür. Diğer kil minerallerine göre kohezyon, plastiklik, şişme ve büzülme özellikleri kaolinitin çok zayıf olmakla birlikte kaolinit ıslandığında plastisitesi orta dereceli olup, içsel sürtünme açısı diğer kil minerallerinden daha büyük olur. Özgül ağırlığı 2,60-2,68 gr/cm^3, özgül yüzeyi 10 m^2/gr civarındadır. Kaolinitin elektron mikroskobundaki görüntüsü Resim 3.4' de gösterilmektedir (Ünver, 2015:10).



Şekil 3.3. Kaolinitin şematik taslağı (USCS, 2001a)



Şekil 3.4. Kaolinitin şematik görünümü (Başer,2009)



Resim 3.4. Kaolinitin elektron mikroskoptaki görüntüsü (Minerology Database, 2016)

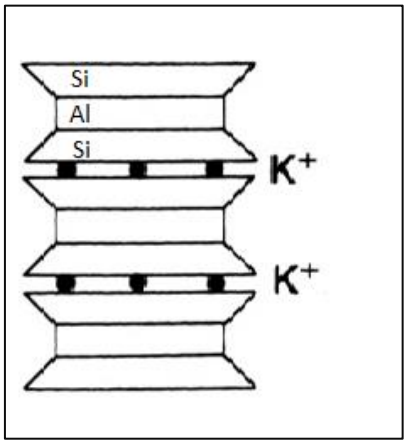
3.2.2. İllit grubu kil mineralleri

Bu tür kil mineralleri feldispat veya mikanın ayrışması ile oluşabileceği gibi herhangi bir çözeltiden çökelti olarak da oluşabilir. Yapı itibariyle montmorillonite benzer fakat tane boyutu daha iridir.

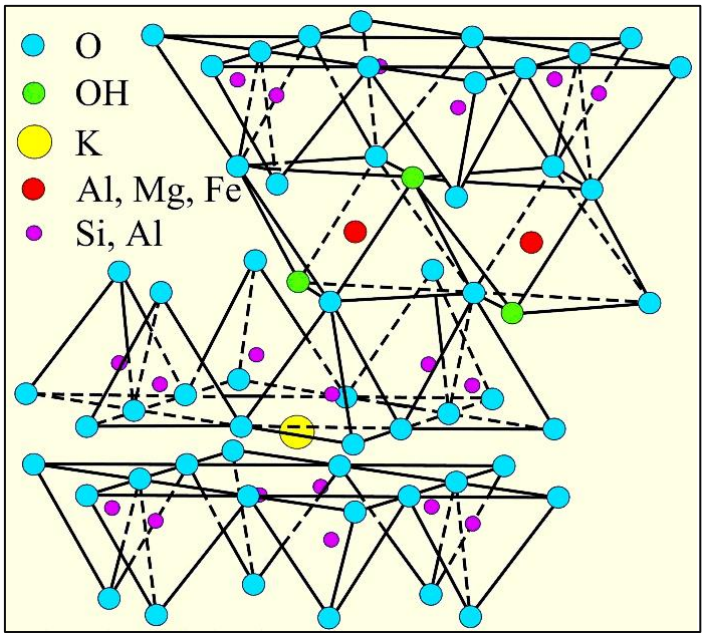
İllit grubu kil mineralleri kendi içerisinde üç gruba ayrılabilir:

a) İllit: $Al_2O_3.OH4K_2$ (Si_6Al_2) $Al4O_2$
b) Muskovit: $K_2O.3Al_2O_3.6SiO_2.2H_2O$
c) Biotit: $K_2O.4MgO.2Al_2O_3.6SiO_2.H_2O$

İllitin temel yapısı iki tabakalı silika tetrahedronlar ile birlikte alümina oktahedronlar tabakasından oluşur. Bu nedenle illitin kristal yapısı 2:1 olarak gösterilir (Şekil 3.5). Oktahedral tabakada Mg (Magnezyum) ve Fe (Demir) ile Al'un (Alüminyum) kısmi yer değiştirmesi; tetrahedral tabakada ise Al ile Si'in (Silis) kismi yer değiştirmesi görülür (Şekil 3.6). Bu birleştirilen tabakalar, arasında tutulan K (Potasyum) iyonlarına bağlı olarak, (değiştirilemeyen) çok zayıf bağlarla bağlanmıştır (Başer, 2009:7).

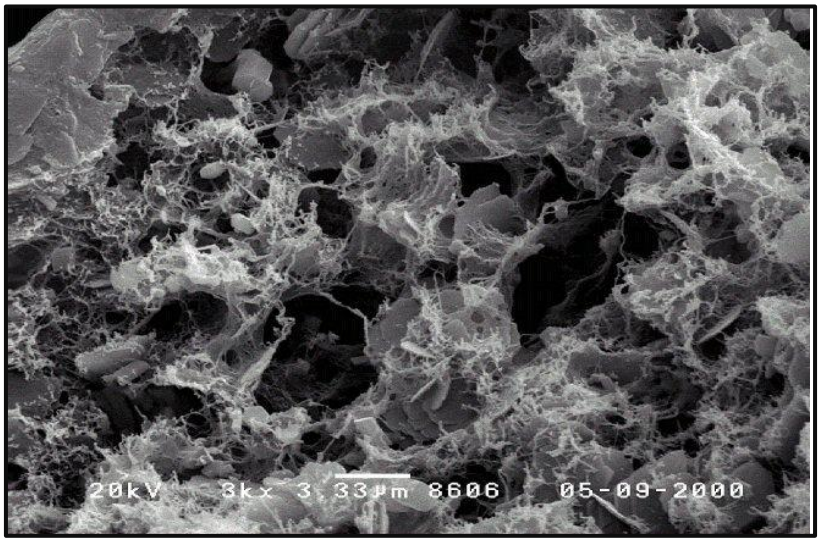


Şekil 3.5. İllit türü minerallerin şematik görünümü (Başer, 2009)



Şekil 3.6. İllitin şematik taslağı (USCS, 2001b)

İllitin içsel sürtünme açısı montorillonitten fazla, şişme kapasitesi azdır. Özgül ağırlığı 2,64- 3,0 gr/cm^3 arasında olup, özgül yüzeyi 80 m^2/ gr civarındadır. İllitin elektron misroskobundaki görünümü Resim 3.5 ’de yer almaktadır.



Resim 3.5. İllitin elektron mikroskoptaki görüntüsü (Minerology Database, 2016)

3.2.3. Montmorillonit grubu kil mineralleri

Montmorillonit çok farklı ortamlarda oluşabildiği gibi en fazla magmatik kayaçların ayrışma ürünü olarak kuru veya çöl iklimlerinde oluşur. Ayrıca montmorillonit

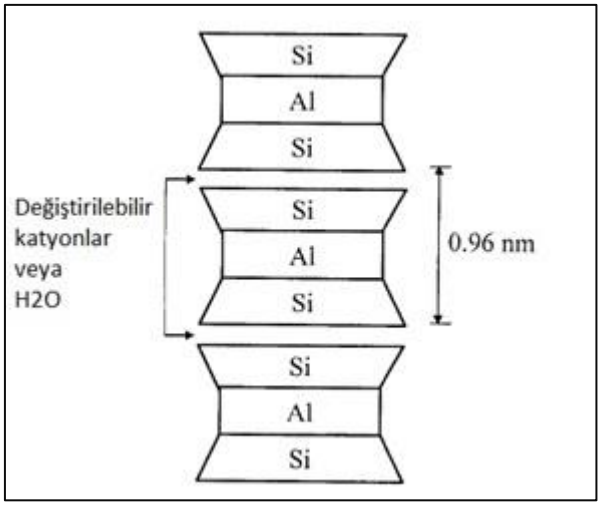
minerali zayıf drenaj koşullarında volkanik küllerin günlenmesi sonucu veya deniz sularında da meydana gelir.

Montmorillonit grubu kil mineralleri kendi içerisinde dört gruba ayrılabilir:

a) Montmorillonit: $Al_2O_3.4SiO_2.H_2O + nH_2O$
b) Baydellit: $Al_2O_3.4SiO_2.nH_2O$
c) Nontronit: $(AlFe)_2O_3.3SiO_2.nH_2O$
d) Saponit (Hektorit): $2MgO.3SiO_2.nH_2O$

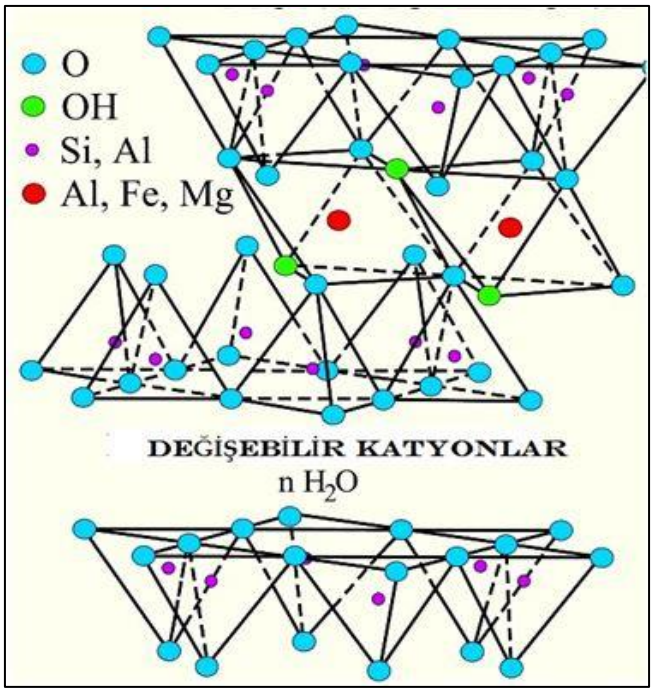
Şişme potansiyeli en fazla olan kil minerali montmorillonit olup sebebi mineralojik yapısındaki önemli farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Özgül spesifik yüzeyi diğer kil minerallerinden çok daha fazla olan montmorillonitin su tutma potansiyeli, hacim değiştirme ve plastisite özelliği yüksek olup doğada plaka şeklinde bulunur (Z. Angın, A. Angın, 2005).

Montorillonit minerali 2 tetrahedral tabakanın arasına 1 oktahedral tabakanın sıkışması ile oluşur. Bu nedenle kristalleri 2:1 olarak gösterilir (Şekil 3.7). Bu tabakalar arasındaki bağ çok zayıf bir bağ olması ve oktahedral levhada (-) negatif yük boşluğu olması sebebiyle su, rahatlıkla tabakalar arasına girer ve tabakaları birbirinden ayırarak zeminde hacim değişikliğine sebep olur. Şekil 3.8.'de montmorillonitin şematik taslağı görülmektedir.



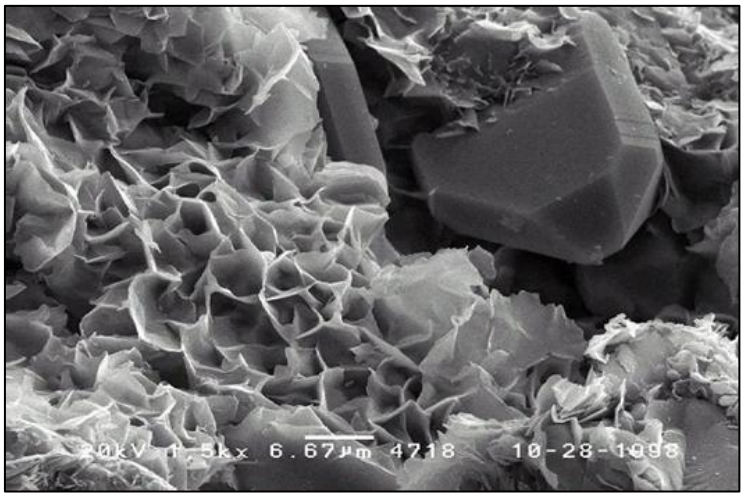
Şekil 3.7. Montmorillonitin şematik görünümü (Başer, 2009)

Montmorillonitin temel yapısındaki tabakalar, K iyonu dışında illitle benzerdir. Boşluklar arasındaki zayıf bağla bağlanmış bağlantılı tabakalar, su molekülleri ve değişebilir katyonlar tarafından doldurulmuştur. Montmorillonitteki ciddi ölçüdeki şişme, bu bağlantılı tabakalar arasında absorbe olmuş ilave su içeriğine bağlı olarak meydana gelir (Başer, 2009:7).



Şekil 3.8. Montmorillonitin şematik taslağı (USCS, 2001c)

Montmorillonit negatif yükle dolu geniş iç yüzeylere sahiptir. Bu nedenle katyon değişim kapasitesi yüksek olup yaklaşık 80-150 meq/100 gr'dır. Montmorillonit suya maruz kaldığından düşük içsel sürtünmeye ve yüksek plastisiteye sahip olur. Kuruduğunda ise çok fazla çatlama büzülme meydana gelir. Özgül ağırlıkları 2,2- 2,3 gr/cm^3 olup, özgül yüzeyleri 800 m^2/gr civarında değişmektedir. Montmorillonitin elektron mikroskobundaki görünümü Resim 3.6'da gösterilmektedir (Ünver,2015:11).



Resim 3.6. Montmorillonitin elektron mikroskoptaki görüntüsü (Minerology Database, 2016)

Montmorillonit, illit ve kaolinit killerinin genel özellikleri Çizelge 3.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.3. Bazı kil minerallerinin genel özellikleri (Ünver, 2015)

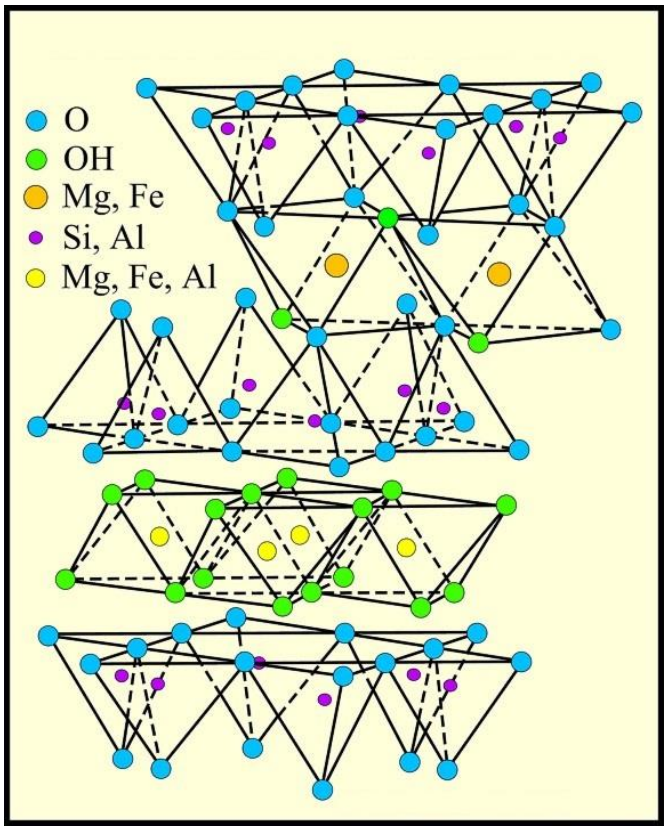
Özellik	Montmorillonit	İllit	Kaolinit
Tane Büyüklüğü	10 A-1	0.1-2	0.1-5
Tane Şekli	Eş boyutlu yaprak	Pul	Altı köşeli pul
Özgül yüzeyi (m^2/g)	50-800	65-100	10-20
Tane Kalınlığı	10A	30A	0.05-2
Likit Limit	110-710	60-120	30-70
Plastisite İndisi	51-100	34-60	26-38
Şişme-Büzülme Yeteneği	Yüksek	Orta	Düşük
Özgül Ağırlık	2.35-2.70	2.60-3.00	2.60-2.95

3.2.4. Klorit grubu kil mineralleri

Kimyasal formulü $(Mg,Fe;Al)_6(Al,Si)_4O_{10}(OH)_8$ olup, klorit grubu kil mineralleri mafik açıdan zengin, düşük dereceli yeşil şist fasiyesindeki metamorfik kayalardan, genel

olarak deniz tortullarında çökelti kayalarından simektit ve K iyonlarının reaksiyonu sonucu oluşur. (Lambe 1960). Klorit taneleri dört katlı (2:1:1) yapısal tabakaya sahiptir (Şekil 3.9). Kloritlerin kristal yapısını mika ve brusit tabakaları meydana getirir (Yalçın, 1997).

Kloritin kristal yapısında mika benzeri negatif yüklü düzenli katmanlar ile brusit benzeri pozitif yüklü (oktahedral) tabakalar bulunur. Klorit grubu brunsvigit, nimit, diabantit, pennantit, brunsvigit gibi mineralleri içerir.



Şekil 3.9. Kloritin şematik taslağı (USCS, 2001d)

3.3. Şişmeye Etki Eden Faktörler

Şişen zeminlerin hacminin artmasına neden olan birçok faktör bulunmaktadır. Şişme, iç kuvvetlerin etkisiyle zemin suyunda meydana gelen değişiklikler sonucu gerçekleşir. Zeminin değişime uğramadan önceki zemin suyu içeriği, gerilme miktarı değerleri, başlangıçtakine göre çok fazla oranlarda değişiklik gösterirse zeminde ciddi miktarda şişme veya büzülme görülebilir. Zeminin şişme-büzülme potansiyelini etkileyen faktörler aşağıda sıralanmıştır:

3.3.1. Mineralojik yapı

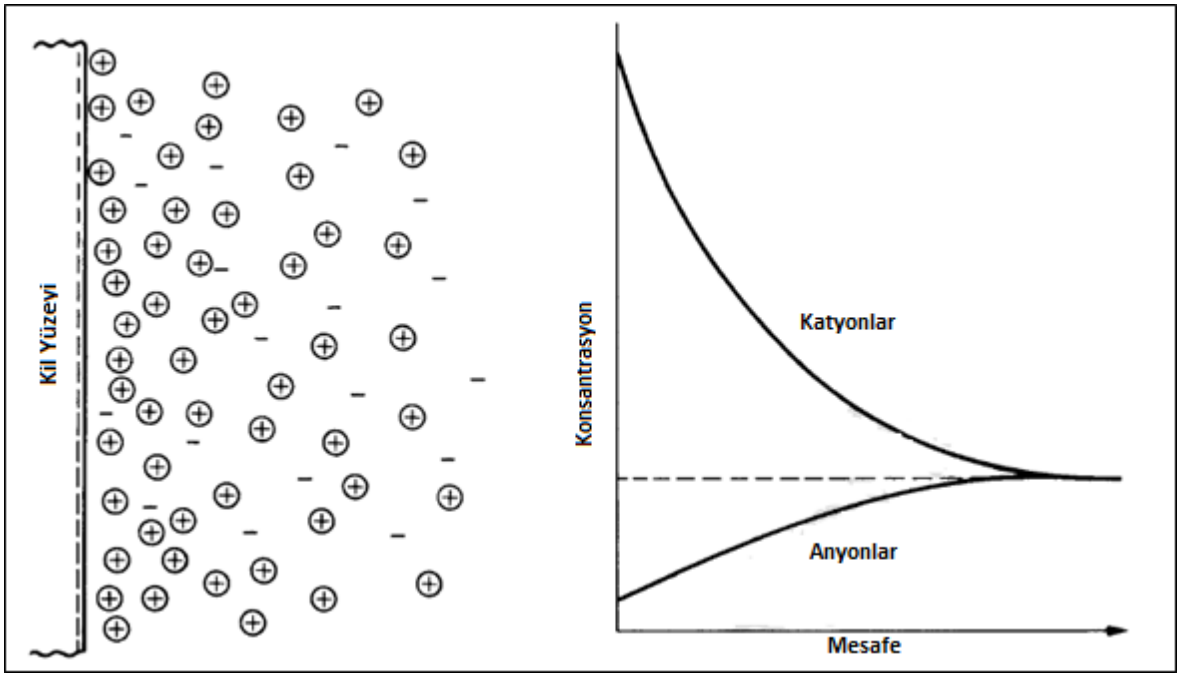
Killerin tane çapı 0.002 mm olarak tanımlanmakta olup killerin şişme miktarını belirleyen en önemli unsur kilin mineralojik özellikleri ve kilin iç yapısıdır.

Kil mineralleri; yapısında değişebilir iyonları tutma ve bu negatif ve pozitif iyonları çekme özelliği gösterir. Bu iyonlar birim silika alümina kil mineralinin dış yüzeyinde tutulur. İyon değişimi silika alümina biriminin yapısını etkilemez. En çok değişme özelliğine sahip pozitif iyonlar Ca^{++}, Mg^{++}, H^{+}, K^{+}, NH^{+4}, Na^{+}'dır. Kilde bu iyonların bulunması kilin çözeltiden iyonları çekebilme kapasitesi olduğuna işarettir. Katyonlar (pozitif iyonlar) anyonlara (negatif iyonlar) kıyasla daha fazla adsorbe edilir. Pozitif bir iyon, tuz çözeltisinden hemen çekilerek kil yüzeyine yapışır fakat bu yapışma geçicidir. Kil eğer potasyum klorit (KCl) çözeltisine konulursa Na^{+}, K^{+} iyonu ile yer değiştirir. Buradaki fazla pozitif iyonların sebep olduğu yer değiştirme katyon değişimi olarak adlandırılır. Killerdeki değişebilir katyonun cinsi, şişme potansiyeli ile ilgilidir. Çizelge 3.3 bu ilişkiyi ifade etmektedir. (Genç, 2009:9)

Çizelge 3.4. Değişebilir katyon cinsinin şişmeye olan etkisi (Genç, 2009)

Katyon Cinsi	Na	Mg	Ca	K	Fe	H
Şişme (%)	29	26	23	21	18	15

Her kil tanesi doğada su ile çevrelenmiş şekilde bulunur. Su moleküllerinin merkezindeki pozitif ve negatif iyonlar moleküle dipol özellik kazandırmakta ve etkileşimi önlemektedir. Bunun doğal sonucu olarak su molekülündeki Hidrojen H_2 (+ yüklü) kil partiküllerinin yüzeyindeki negatif yükler tarafından çekilir. Şekil 3.10' da görüldüğü üzere tane yüzeyine elektriksel çekim ile bağlı su molekülleri, katı ve su arasında bir sınır oluşturur. Etkili bir çekim gücü ile su moleküllerinin yüzeye olan mesafesinin artması engellenir. Böylece birden fazla su molekülü tabakasının yüzeye yapışması sağlanır. Daha sonra kil partikülü elektriksel çekime sahip su molekülü ile çevrilir. Bu su tabakası difüz (elektriksel) çift tabaka olarak adlandırılır. Katyonların yükü sudaki iyon konsantrasyonu, sıcaklık, sıvının dielektirik sabiti, difüz çift tabakanın kalınlığını belirler. (Mitchell and Soga, 2005:153-154)



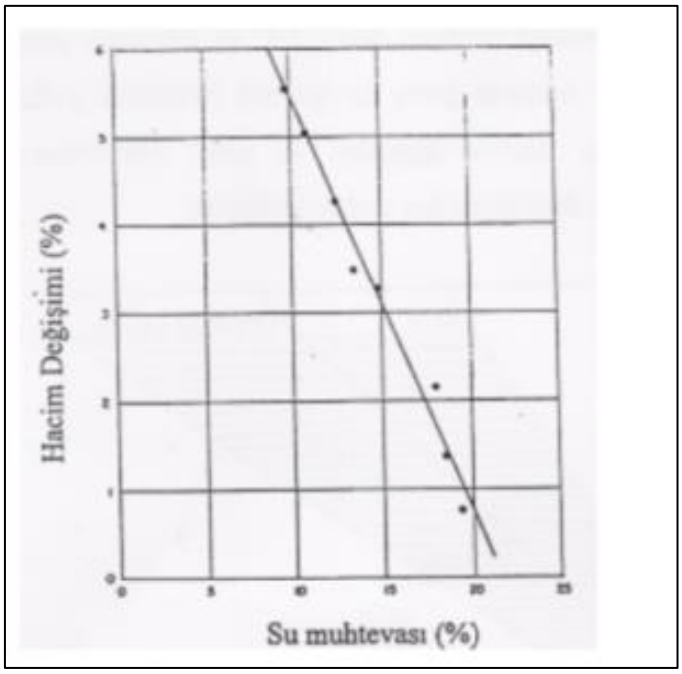
Şekil 3.10. Difüz çift tabaka teorisine göre bir kil partikül yüzeyine bitişik anyon ve katyonların dağılımı (Mitchell and Soga:2005)

3.3.2. Başlangıç su muhtevası

Zeminlerin şişebilmesi için su içeriğinde artış olması gerekmektedir. Kuru olan bir zemin ıslak olana göre daha fazla şişme gösterir. Su içeriği sabit olan killerde su içeriği değişmedikçe hacim değişikliği de beklenmez.

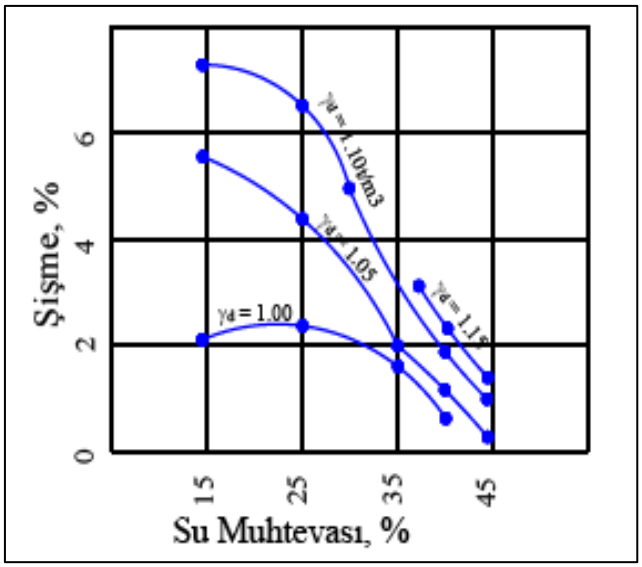
Su içeriği % 15 den az olan kuru killer çok tehlikelidir. Çünkü bu tür killer kolaylıkla % 35 su içeriğine kadar su emebilir ve bu durumda yapılarda hasarlara yol açabilir. Su içeriği %30 u aşan killer doyuma hemen hemen ulaşmıştır ve şişmenin yeteri kadar gerçekleştiğini ve bundan sonraki şişmenin çok az miktarda olacağını işaret eder. Ayrıca bazı killer de çeşitli nedenlerle bünyesindeki su muhtevasını kaybedebilir. Fakat tekrar suya doygun hale gelmeleri sonucu şişme potansiyeli tekrar ortaya çıkar (Yıldırım, 2009:24).

Chen (1975) yaptığı bir takım çalışmalar sonucunda su içeriğinin hacim değişimine etkisini Şekil 3.11 deki gibi ifade etmiştir. Buna göre su içeriği arttıkça hacimsel değişim azalmaktadır.

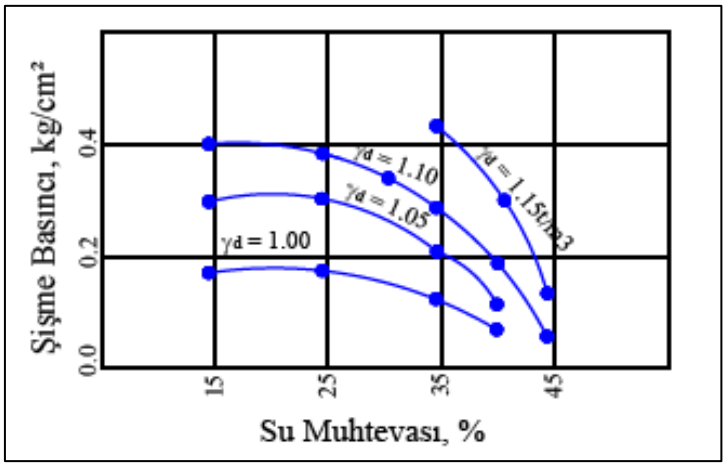


Şekil 3.11. Su içeriğinin hacim değişimine etkisi (Chen, 1975)

Kassiff (1971) başlangıç su içeriğinin şişme yüzdesi (Şekil 3.12) ve şişme basıncına (Şekil 3.13) etkisini araştırmış ve sabit birim hacim ağırlıkta su içeriğindeki artışın şişme basıncı ve şişme yüzdesini azalttığını ortaya koymuştur.



Şekil 3.12. Başlangıç su içeriğinin şişme yüzdesine etkisi (Kassiff, 1971)



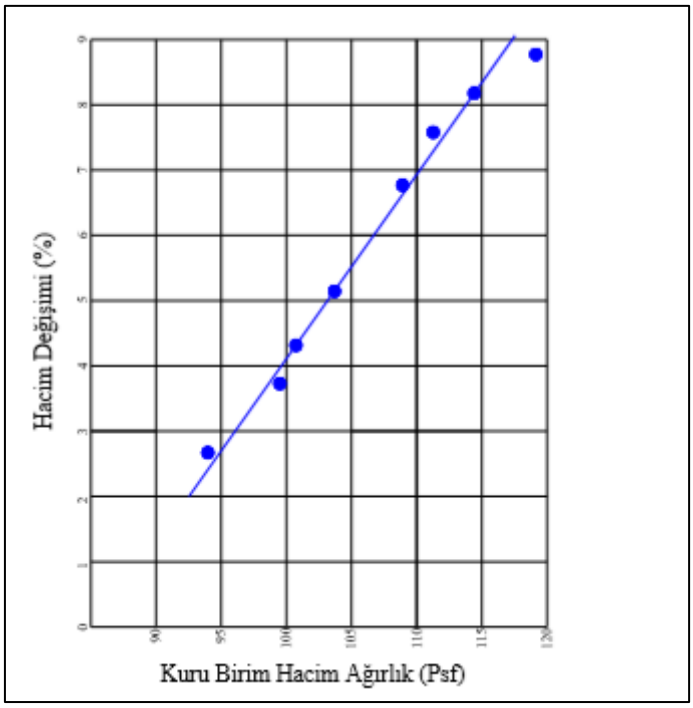
Şekil 3.13. Başlangıç su içeriğinin şişme basıncına etkisi (Kassiff, 1971)

3.3.3. Kuru birim hacim ağırlığı

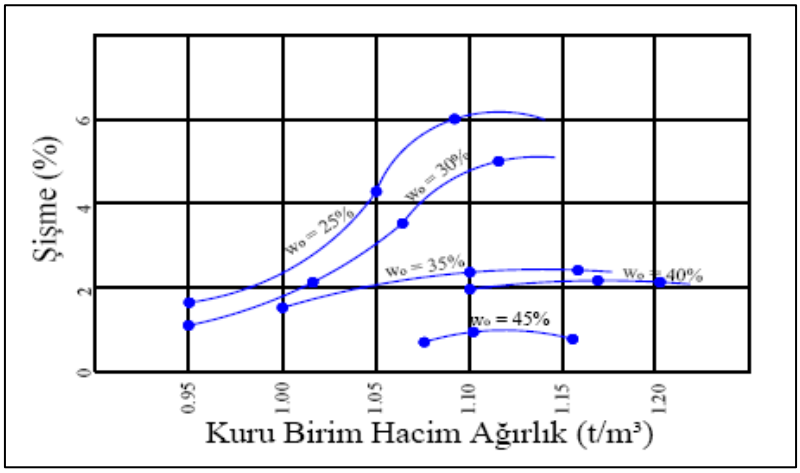
Kuru birim hacim ağırlığı; killerde şişmeye etki eden en önemli faktörlerden birisidir. Aynı su içeriğine sahip killerde başlangıç kuru birim hacim ağırlığı arttıkça şişme basıncı ve şişme potansiyelinin de arttığı farklı araştırmacılar tarafından ortaya konulmuştur. Kil tanecikleri arasındaki mesafenin azalması kuru birim hacim ağırlığı değerlerinin ve dolayısıyla da şişme değerlerinin fazla olduğu anlamına gelir.

Chen (1975) yaptığı çalışmalar neticesinde kuru birim hacim ağırlığının atmasıyla hacim değişiminin de arttığını ortaya koymuştur (Şekil.3.14).

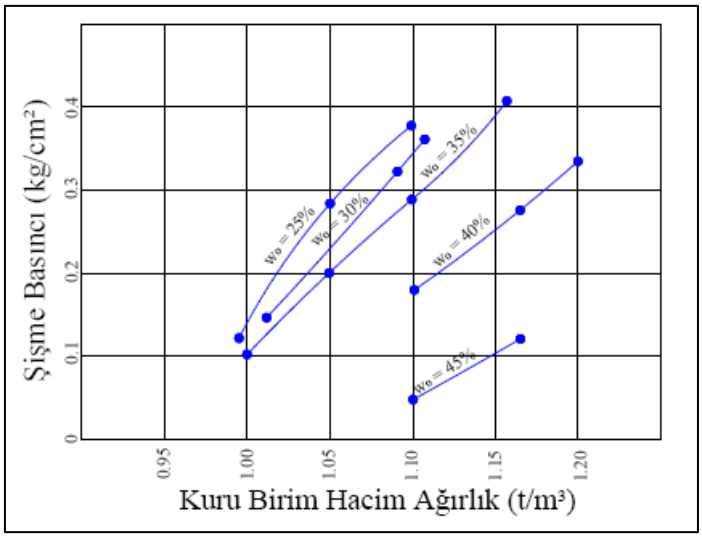
Kassiff (1971) de kuru birim hacim ağırlığın şişme yüzdesine (Şekil 3.15) ve şişme basıncına (Şekil 3.16) etkilerini incelemiş ve Chen ile benzer sonuçları ortaya koymuştur.



Şekil 3.14. Kuru birim hacim ağırlığının hacim değişimine etkisi (Chen, 1975)



Şekil 3.15. Kuru birim hacim ağırlığın şişme yüzdesine etkisi (Kassiff, 1971)

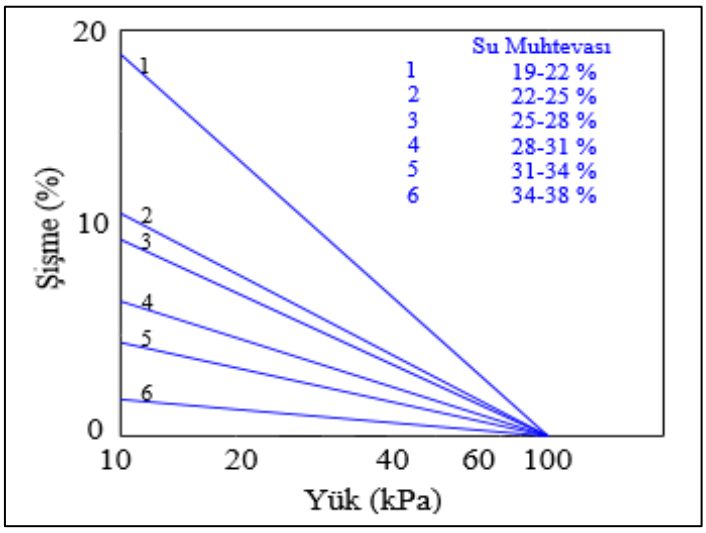


Şekil 3.16. Kuru birim hacim ağırlığın şişme basıncına etkisi (Kassiff, 1971)

3.3.4. Örtü yükü (sürşarj)

Şişme miktarı ile örtü yükü (sürşarj) basıncı ters orantılıdır. Bu nedenle havaalanı kaplamaları, yollar, tüneller, altyapı tesisleri, tek veya birkaç katlı yapılar şişme deformasyonlarından ağır yapılara göre daha çok zarar görürler. (Genç, 2009:14)

Brackley (1975) sıkıştırılmış numuneler için örtü yükü (sürşarj) yükü artırıldığında numunelerin şişmesinin azaldığını ortaya koymuştur. Sürşarj yük ile şişme arasında ters logaritmik bir fonksiyon olduğunu göstermiştir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Şişme yüzdesi - sürşarj yük ilişkisi (Brackley,1975)

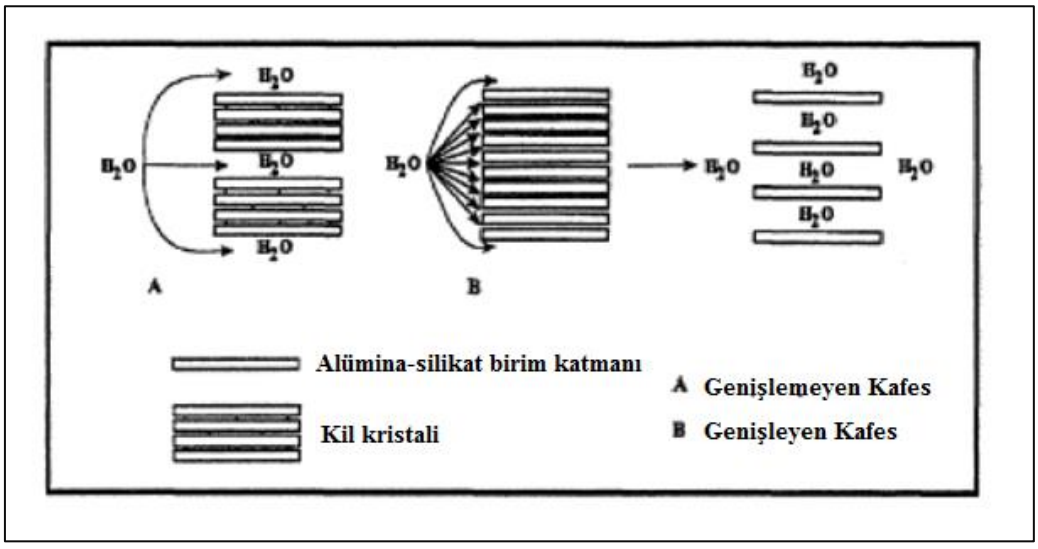
3.3.5. Nem etkileşimi ve kristal yapısı

Zeminlerin ısınması, buharlaşması killerdeki nem oranının azalarak kurumasına; zemindeki yağışlar, mühendislik yapılarından sızan sular ise killerdeki nem oranının artmasına sebep olur. Killerdeki büzülme şişme gibi istenmeyen durumlar bu nem hareketleri sonucu meydana gelmektedir.

Killer üzerine uygulanan yükler, gerilimler kildeki nem yapısının bozularak, hareketine dolayısıyla da hacim değişimlerine sebep olabilir.

Genç (2009) yaptığı çalışmasında killerin su emmesi sonucu oluşan hacimsel büyümenin, kil üzerine etki eden yük ve şişme basıncının bir fonksiyonu olduğunu belirterek, şişme basıncının kil üzerine etki eden inşaat yükünü aşması halinde zeminde oluşacak kabarmanın önemli temel sorunlarına yol açabileceğini belirtmiştir.

Kasapoğlu (1989)' a göre; Montmorillonit şişme miktarı en fazla olan kildir. Sebebi ise çok ince tabaka yapısına sahip olması ve kristalleri arasına giren suyun, tabakalar arasındaki mesafeyi (yaklaşık 10 Å = 10^{-7} cm) ciddi ölçüde arttırarak hacimsel büyümeye sebep olmasıdır (Şekil 3.18). Bu hacimsel büyümeye killer arası şişme adı verilir. Kilin şişmesini etkileyen en önemli unsurlardan biri de kilin kristal kimyasıdır.

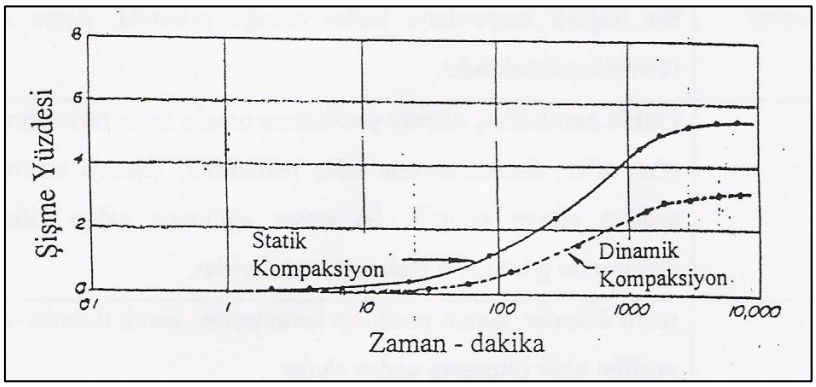


Şekil 3.18. Killerde kristallerarası şişme (Kasapoğlu, 1989)

3.3.6. Kompaksiyon

Zeminlerin sıkıştırılarak boşluk oranının azaltılmasına kompaksiyon adı verilir. Sıkıştırılmış dolgu killerde; zeminin kuru birim hacim ağırlığı, su içeriği, sıkıştırma metodu şişme miktarını kontrol eder. Optimum su içeriğinden düşük su içeriğinde sıkıştırılan killerdeki şişme miktarı daha fazladır. Su içeriği ve hacmi aynı olan zeminlerin örselenmesi şişme basıncını ve şişme potansiyelini artırmaktadır (Genç, 2009:39). Şişme potansiyeli aynı olan iki farklı zemininin değişik metotlarla sıkıştırılmaları sonucu farklı şişme değerleri ortaya çıkmıştır.

Yıldırım (2009) kompaksiyon yönteminin şişmeye olan etkisini araştırdığı '*Şişen Killer ve Tünel Tasarımına Etkisi'* adlı Yüksek Lisans Tezi'nde, dinamik kompaksiyon sonucu elde edilen basınçların statik kompaksiyon sonucu elde edilen basınçlardan daha küçük olduğunu belirlemiştir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Kompaksiyon yönteminin şişmeye olan etkisi (Yıldırım, 2009)

3.3.7. Şişmeye etki eden diğer faktörler

Dhowian, Ruwaih, Youssef ve Erol (1984) şişen zeminlerdeki hacim değişikliklerine sebep olan etkenleri: doğal mikro mekanizmaları; kil partikülleri arasındaki çekim, ozmotik itme basıncı, katyon hidrasyonu, Van Der Waals kuvvetleri ve kapiler emme olarak açıklamışlardır. Şişmeye etki eden faktörler ise Çizelge 3.4.' de görüldüğü gibi ifade edilmiştir.

Çizelge 3.5. Şişmeye etki eden faktörler (Dhowian ve diğerleri, 1984)

Faktör	Tanım
Zeminlerin oluşturduğu mineraller	Aktif kil mineralleri – Montmorillonit ve diğer kil mineralleri Montmorillonit karışımlı tabakaların kombinasyonu
Boşluk suyu tuz konsantrasyonu	Boşluk suyundaki yoğun katyon konsantrasyonunun, zemin ve hacim değişimlerini azaltıcı etkisi vardır. Ozmotik şişmenin uzun süreli etkisi düşünülebilir.
Boşluk suyu bileşimi	Bir değerlikli katyonların baskın olduğu ortamda, şişme ve rötreyi azaltmaktadır.
Yapı	Flokül partiküller, dispers partiküllere oranla daha fazla şişme gösterirler. Sementasyona sahip partiküller, şişmeyi azaltıcı etkiye sahiptir. Su emme eğilimine sahip killer, diğerlerine göre daha fazla şişme gösterirler.
İklim	Kuru iklimler, zemin profilinin kurumasına, nemli iklimler ise profilin ıslak olmasına neden olurlar.
Yer altı suyu	Yer altı su seviyesinin yüksek oluşu ve su seviyesindeki dalgalanmalar, şişme ve kabarmaların ortaya çıkmasına yol açar.
Drenaj	Zayıf yüzey drenajı, nem birikimi ve göllenmelere neden olur.
Bitki Örtüsü	Ağaçlar, çalılar ve otlar, terleme ile zemindeki suyun tüketilmesini sağlar. Bitki örtüsünden arındırılmış alanlarda, nem birikimleri söz konusu olabilmektedir.
Yanal etkiler	Büyük yanal basınçlar şişmenin azalmasına neden olur. Hafriyat nedeniyle açılan yarmalarda şişme görülmesi çok daha olasıdır. Genelde yanal basınç, düşey sürşarj basıncına eşit olmayabilir.
Zemin geçirgenliği	Fisürler, geçirimliliği artırıcı etki yaptığından, şişme artışlarının daha hızlı olmasını sağlar.

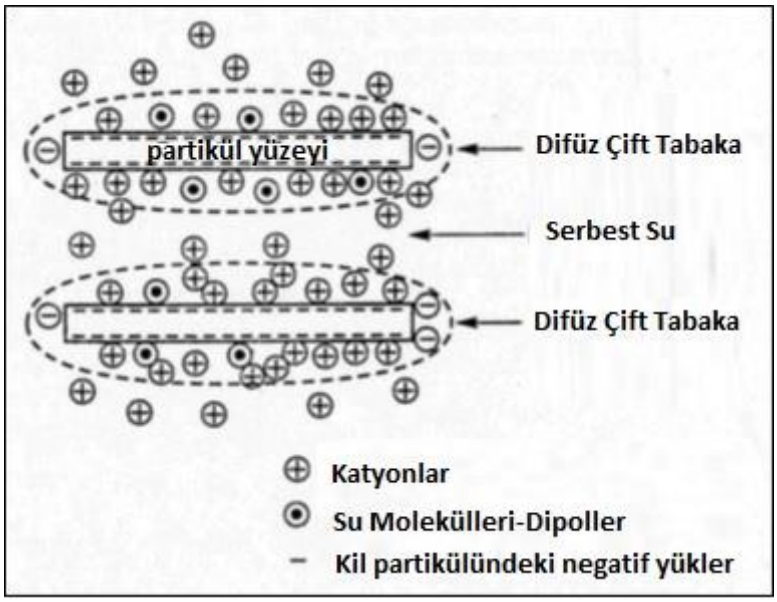
3.4. Şişme Mekanizması

Kil minerallerinin şişmesi direkt olarak difüz (elektriksel) çift tabaka özelliği ve katyon değişim kapasitesi ile ilgilidir:

3.4.1. Kil minerallerinin difüz (elektriksel) çift tabaka özelliği

Kil partikülü üzerindeki negatif yükler ve çözelti içindeki pozitif iyonların konsantrasyonu partikül form ile bağlantılıdır. Buna “Difüz Çift Tabaka” adı verilir (Şekil

3.20). Kil partikülleri arasında çakışan difüz çift tabakalar; parçacıklar arasında, itici güçleri veya mikro ölçekte şişme basıncını oluşturur. Difüz çift tabakanın etkileşimi ve dolayısıyla şişme potansiyeli, difüz çift tabakanın kalınlıklarının artmasıyla artar. Bu kalınlık, katyonların değerliği katyonların konsantrasyonu, sıcaklık ve pH ile ilişkilidir (Başer 2009:9).



Şekil 3.20. Kil mineralinin difüz (elektriksel) çift tabaka özelliği (Başer, 2009)

Katyon Değerliğinin Etkileri: Düşük katyon değerliği, difüz çift tabaka kalınlığının yüksek olmasının sonucudur. Böylece aynı zemin mineralojisi için; değişebilir Na^{+} katyonlarına sahip bir örnekte, Ca^{+2} veya Mg^{+2} katyonları olan bir örneğe göre daha fazla şişme meydana gelir (Mitchell and Soga, 2005:166).

Katyon Konsantrasyonunu Etkisi: Katyonların yüksek konsantrasyonu; kil partikülünün yakın yüzeyinde difüz çift tabaka sistem ile arasında geri itici bir güç yaratır. Genel olarak daha kalın difüz çift tabaka ve daha büyük şişme, daha düşük katyon konsantrasyonları ile ilişkilidir (Başer 2009:10).

Sıcaklığın Etkisi: Sıcaklık artışı difüz çift tabaka kalınlığının artışına neden olur ve bu nedenle sıcaklık değişimlerinin; sıkıştırılabilirlik ve zeminlerin şişmesi üzerinde etkileri vardır (Mitchell and Soga, 2005:460).

pH ın Etkileri : Kil partiküllerinin kenarlarında ve yüzeyinde Hidroksil (OH^-) bulunmaktadır. OH^- ın suda ayrışma eğilimi pH ın güçlü etkileri sonucu olmaktadır. Daha yüksek pH'da çözelti içerisinde H'nin daha fazla ayrışma eğilimi ve partikülün negatif yük etkisi daha fazla olmaktadır. Alümina kil partkülünün kenarında bulunan hem asit hem baz olarak işlev yapabilen bir amfoteriktir**.** Ayrıca düşük pH' da pozitif, yüksek pH'da negatif iyonize olur. Bunun sonucu olarak pozitif difüz tabaka asidik ortamdaki bazı katı kil partiküllerinin kenarında gelişebilir (Başer 2009:10). Ortamdaki H^+ ve OH^- iyonlarının bulunma derecesi pH'ı ifade eder. Yüksek pH değeri; sıkı zemini ve dispersiyonu, düşük pH değeri ise gevşek zemini ve toprakta flokülasyonu belirtir. Killerin adsorbsiyon karakterini pH değeri etkiler. Asitli ortamda adsorpsiyon artar, pH değeri düşük olduğunda kil yüzeyinin elektriksel potansiyeli de azalır (Ünver 2015:15).

3.4.2. Katyon değişim kapasitesi

Sudaki kil partiküllerinin yüzeyindeki net negatif yükü nötralize eden katyonlar diğer katyonlarla değişime hazırdır. Değişim reaksiyonun hızı temelde sudaki katyonların göreceli konsantrasyonuna, anyon ve katyonlara ayrıca kil mineraline bağlıdır. Katyon değişim kapasitesi; kil partikülleri yüzeyindeki negatif yükleri dengede tutmak için gerekli değişebilir katyonların sayısıdır. Katyon değişim kapasitesi; kuru kilin her 100 gramındaki miliekivalen değeri olarak tanmlanır (Çizelge 3.5). Spesifik yüzey alanı arttıkça katyon değişim kapatitesi de artar. (Öget 2014:12)

Çizelge 3.6. Kil minerallerinin katyon değişim kapasite değerleri (Öget, 2014)

Mineral	Katyon Değişim Kapasitesi (meq/100 g)
Kaolinit	3-10
İllit	20-30
Montmorillonit	80-120

3.4.3. Şişmenin aşamaları

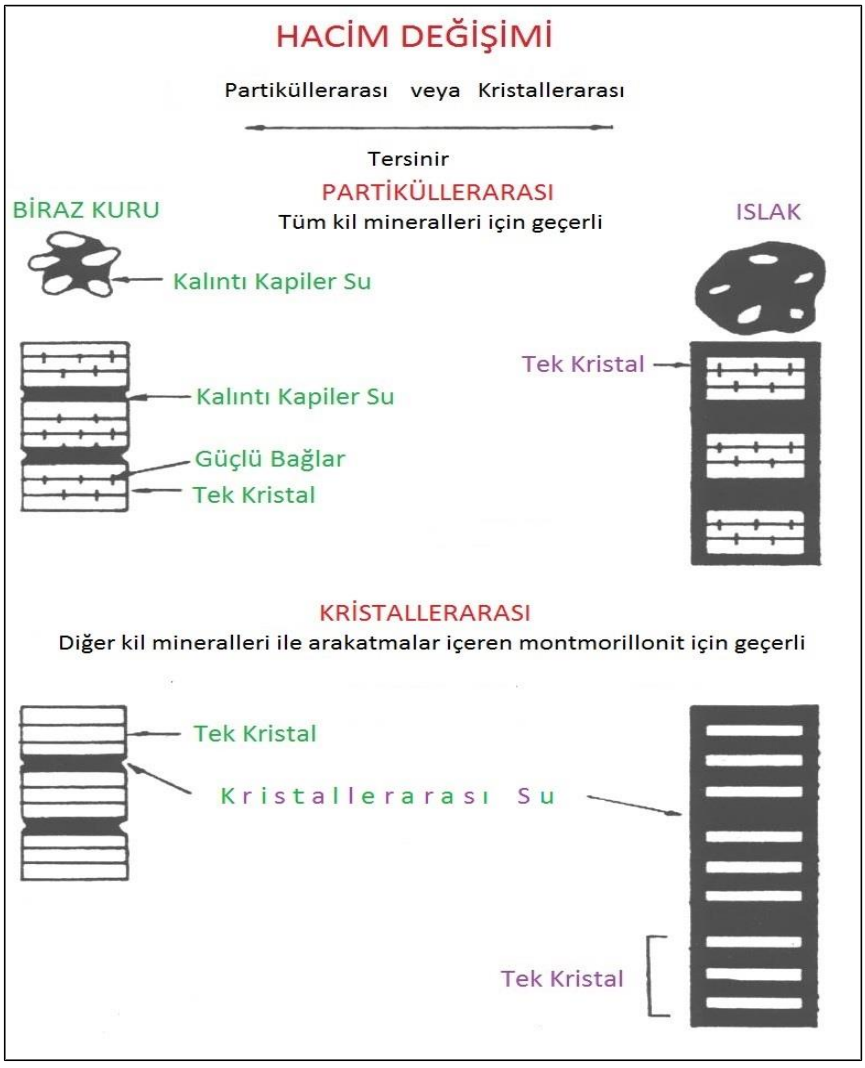
Şişme; tanecikler arası şişme ve kristaller arası şişme olarak basitçe iki mekanizmada gerçekleşir:

Tanecikler arası şişme:

Kil minerallerinin bütün türleri için geçerlidir. Kil yataklarında kalıntı su partikülleri kılcal gerilimlerle bir arada tutar. Islanma sonucu kılcal gerilimler azalır ve kilde şişme gerçekleşir (Başer 2009:10).

Kristaller arası şişme:

Başlıca montmorillonit grubu killer için karakteristiktir. Montmorillonitin tek kristallerinden meydana gelen tabakaları, değişebilir katyonları bir arada tutan su ile zayıf bir şekilde bağlanmıştır. Islanma ile su, sadece tek kristallerin arasına değil aynı zamanda kristallerin oluşturduğu tek tabakaların da arasına girmektedir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Şişme mekanizması (Başer, 2009)

3.5. Şişen Zeminlerin Belirlenmesi

Şişen zeminlerin belirlenmesi amacıyla çok sayıda değerlendirme ve deney yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler iki temel grupta toplanabilir.

İlk grup Ampirik Yöntemler olup, birim hacim ağırlığı, kolloid içeriği, atterberg limitleri vb. parametreler ile karşılaştırmalar yapılarak niteliksel yöntemlerle zeminin şişme potansiyeli düşük, orta, yüksek veya çok yüksek gibi ifadelerle değerlendirilir. İkinci Grup Ödometrik Yöntemler olup, ödometre yardımıyla zeminin tek eksenli şişme değerleri niceliksel olarak belirlenir (Demir ve Kılıç, 2010).

3.5.1. Ampirik yöntemler

Ampirik Yöntemler deney aletinde defalarca yapılan şişme ölçüm sonuçlarının istatistiksel olarak değerlendirilip, kabarma miktarlarına korele edilerek yüksek,orta,düşük gibi ifadelerle değerlendirilmesi şeklinde yapılmaktadır. (Genç, 2009:3)

Jeolojik belirleme

Jeolojik belirleme yönteminde doğruluğu ve güvenilirliği kesin olan jeolojik haritalardan faydalanılmaktadır. Bu haritalarda şişen zeminlerin jeolojik formasyonlarla ilişkisi iyi irdelenip doğru bir şekilde haritaya aktarılırsa şişen zeminlerle ilgili yapılacak daha detaylı araştırmalarda rehber niteliği taşır.

Mineralojik belirleme

Bir zeminin şişme kapasitesi o zemindeki kil minerallerinin miktarı ve türü ile doğrudan ilgilidir. Kil minerallerinin katyon değiştirme kapasiteleri, üzerlerindeki negatif yükler ve tabakalarının arasındaki bağlarının şiddeti vb. özellikler şişme potansiyeli hakkında önemli ipuçları verir. Bu kil mineralinin çeşidini belirlemek amacıyla da birçok yöntem kullanılmasına karşılık en çok kullanılanı X Işını Yayınımı (X-Ray Difraction) metodudur. Diğer kullanılanlar ise; Elektron Mikroskop, Kimyasal Analiz, Farklı Isı Analizi ve Boya Adsorbsiyonu gibi metotlardır.

Gözlemsel belirleme

Şişen zeminleri gözlemsel olarak belirlemek pek mümkün değildir. Ancak içeriğinde kil minerallerini barındıran zeminler şişme özelliği gösterdiğinden bu tür zeminler ilk etapta gözlemsel olarak genel bir bilgi vermesi açısından önemlidir. Kil mineralinin türüne göre şişme değerleri de farklılık göstermektedir.

Killerin kurumaları sonucu kayma mukavemetleri artar. Kuruyan killer, çok katı-katı- çok sert durumlarında bulunur. Islanmaları sonucu da gerilmede azalma olur ve killer de daha az sert hale gelirler. Bu durumda şişen zeminde gözlemsel kıvam değerlendirmesi, zemin kuruyken çok katı- katı, ıslakken de kıvamı yumuşak olmaktadır.

İklimsel açıdan nem değişimleri fazla olan yerlerdeki şişen zeminlerde genellikle kapalı veya açık çatlaklar, mikro çatlaklar ve kırılmalar gözlenir.

USBR sınıflandırma sistemi

Zeminlerin farklı özellikleri dikkate alınarak yorumlandıktan sonra, zeminleri belirlemek amacıyla Holtz ve Gibbs (1956) tarafından yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemde 1 Psi (6.9 kPa) düşey yük altında ödometrede kuru zeminin şişme yüzdesine göre, zeminin şişme derecesi ortaya konulur. Ayrıca Plastisite İndisi, Rötre Limiti, çapları 0,001 mm' den küçük olan tanelerin yüzdesi gibi değerler de belirlenir. Şişen zeminlerle yapılan araştırmalar sonucu, bu özellikleri belirleme kriterleri Çizelge 3.6'da önerilmiştir:

Çizelge 3.7. Etkili endeks özellikleri ile şişme derecesinin belirlenmesi (Holtz ve Gibbs, 1956)

Şişme Derecesi	Şişme Yüzdesi (%)	Rötre Limiti (%)	Plastisite İndisi (%)	0.001'den küçük dane yüzdesi (%)	Serbest Şişme (%)
Çok yüksek	> 30	< 10	> 32	> 27	> 100
Yüksek	20 -30	6 – 12	23 – 45	18 – 37	> 100
Orta	10 – 20	8 – 18	12 – 34	12 – 27	50 – 100
Düşük	< 10	> 13	< 20	< 17	< 50

Aktivite yöntemi

Zeminlerin aktivitesi; değişen nem koşulları altında zeminin su alıp su verme kabiliyeti için kullanılan bir ifade olup, metilen mavisi adsorbsiyonu, kıvam limitleri ve

zeminlerin katyon değişim kapasitesi gibi özelliklerinin tespit edilmesi sonucu bulunabilmektedir. (Öztürk, 2012:26)

Genel olarak kullanılan aktivite formülü; zeminin plastikliği ile zeminin kil boyutu 2 μm'dan küçük olanlarının yüzdesi arasındaki ifadeyi ilişkilendirir. Aktivite formül olarak "Eş. 3.1" deki gibi tanımlanmıştır:

$$A = PI/CC \quad (3.1)$$

A: Aktivite

CC: Kil Yüzdesi (<2 μm)

PI: Plastisite İndisi Değeri (PI= LL-PL)

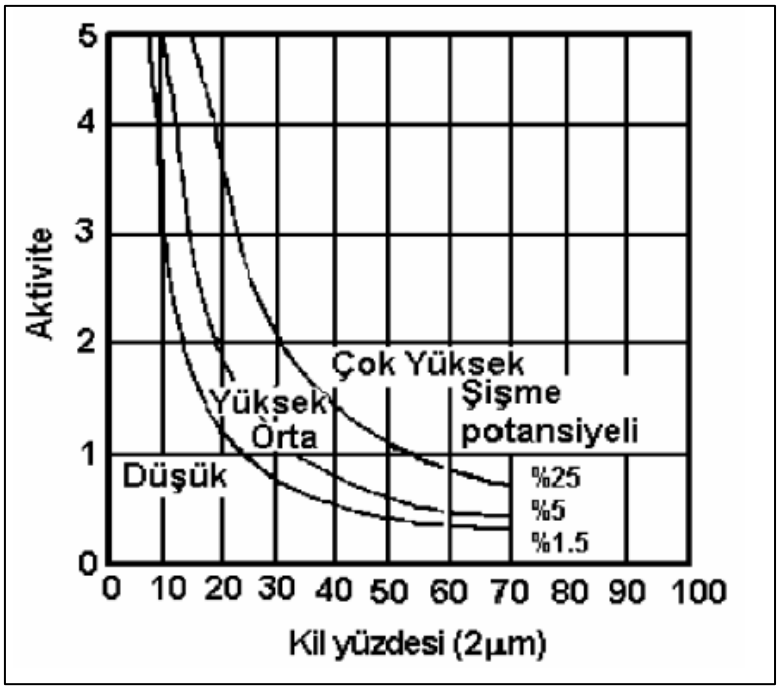
Buna göre aktivite değeri zeminin plastisite indisinin kil yüzdesi oranına bölünmesi ile hesaplanmaktadır (Öget, 2014:20).

Skempton (1953) killerin aktivite değerlerine (A) bağlı olarak killeri üç gruba ayırmış ve montmorillonit türü killeri aktif killer, illit türü killeri normal killer ve kaolinit türü killeri ise aktif olmayan killer olarak gruplandırmıştır. Aktif killer şişme potansiyeline sahip olduğu düşünülen killerdir (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.8. Killerin aktivite değerlerine göre sınıflandırılması (Skempton, 1953) (Öztürk,2012:27)

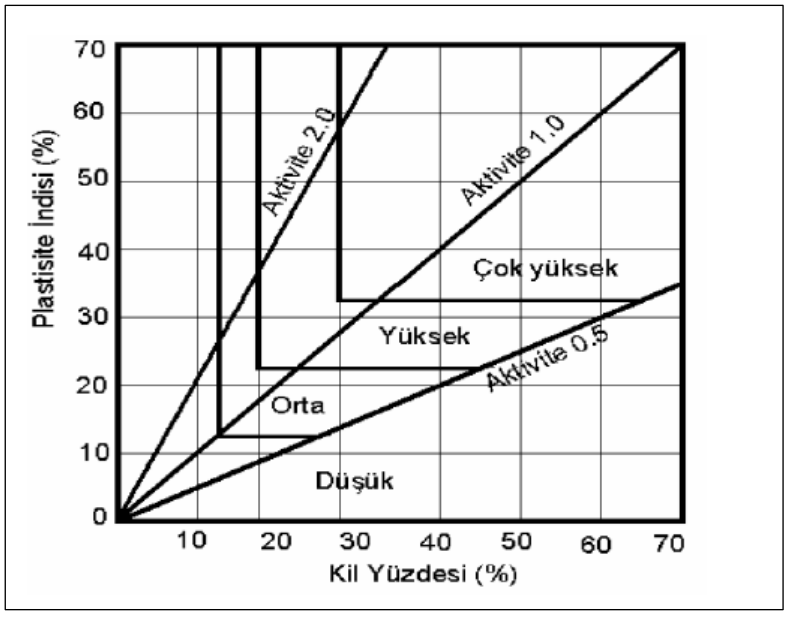
Aktivite (A)	**Sınıflama**
A > 1,25	Aktif killer (montmorillonit)
0,75 < A < 1,25	Normal killer (illit)
A < 0,75	Aktif olmayan killer (kaolinit)

Seed, Woodward and Lundgren (1962) tarafından yapılan çalışmalar neticesinde kil minerallerinin aktivitesi ile şişme katsayısı arasında doğrudan ilişki olduğu belirlenmiştir. Şekil 3.22' de Seed v.d. (1962) tarafından önerilen ve aktivite ile kil yüzdesine (< 2 μm) bağlı olarak verilen sınıflandırma sistemi görülmektedir.



Şekil 3.22. Seed ve diğerleri (1962) tarafından önerilen sınıflandırma sistemi

Şekil 3.23. ‘de plastisite indisi ile kil yüzdesine göre tanımlanmış Van Der Merve (1964), sınıflandırma abağı verilmektedir (Ünver,2015).



Şekil 3.23.Van Der Merve (1964) tarafından önerilen sınıflandırma abağı (Genç, 2009)

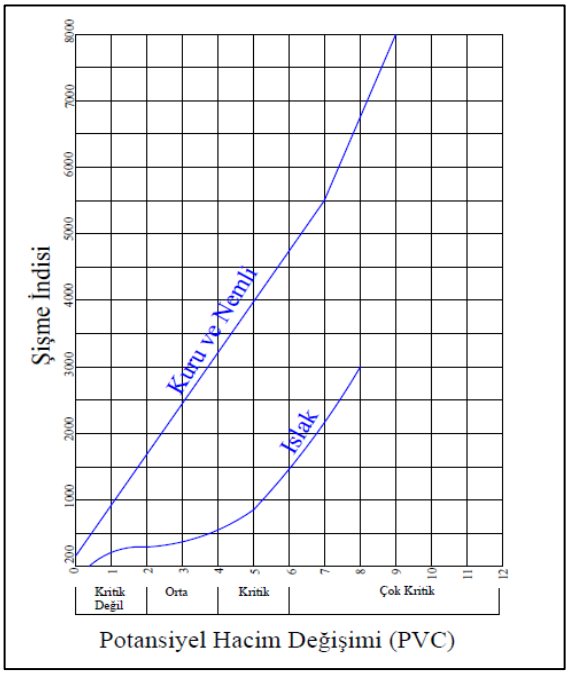
PVC yöntemi

Lambe (1960) tarafından Potansiyel Hacim Değiştirmesi (PVC) deneyi çalışmaları yapılmıştır. Yapılan deneyde örselenmiş numuneler konsolidometre halkasında sıkıştırılarak, üzerlerine 140 t/cm^2 basınç uygulanmış ve numuneye su verilmiştir. İki saat süreyle beklendikten sonra kontrol halkasının okumaları basınca çevrilerek şişme indisi olarak tanımlanmıştır. PVC deneyi ile şişme eğilimi olan zeminlerin karşılaştırılması yapılabilmekte olup, zeminlerin şişme potansiyeli belirlenememektedir (Genç, 2009:29).

Şişme indisi ile PVC arasındaki ilişki Şekil 3.24' de gösterilmektedir. PVC oranlarına göre de zeminlerin şişme kriterleri Çizelge 3.8' de verilmiştir. Buna göre PVC oranı 2 den küçükse şişme indisi kritik değil, 2 ile 4 arasında ise orta, 4 ile 6 arasında kritik, 6'dan büyükse de çok kritik sınıfa girmektedir.

Çizelge 3.9. PVC oranlarına göre şişme kriterleri (Genç, 2009:29)

PVC ORANI	Kategori
< 2	Kritik değil
2-4	Orta
4-6	Kritik
> 6	Çok kritik



Şekil 3.24. Lambe (1960)'a göre şişme indisi-potansiyel hacim değişimi ilişkisi

Zemin su emmesi

Doymuş zeminlerin su içeriği genellikle, zemine uygulanacak yüklerle, yüzeydeki terleme ve buharlaşmanın sebep olduğu kapiler kuvvetler ve gerilmelerle denge halindedir. Fakat zemin yüzeyi dışardan bir kuvvetle veya başka bir nedenle kapandığında terleme ve buharlaşma gerçekleşmeyeceği için zemin yeniden denge oluşturma eğilimine girecektir. Yeni dengenin oluşumu ise sistemde bulunan suyun hareketi ile gerçekleşecektir. Suyun bu şekilde hareket etmesine sebep olan kuvvet zemin su emmesi (soil suction) olarak adlandırılır. Teorik olarak ise yer çekimi potansiyeli, kapiler potansiyel ve osmotik potansiyel toplamı, su emme potansiyelini verir. Pratikte ise yalnızca kapiler kuvvet dikkate alınır. Zemin, serbest dolaşan su ile denge halinde ise su emme miktarı 0 (sıfır) dır. Zemin kurudukça zeminin emdiği su miktarı hızla artar. Zemine yapılacak herhangi bir yüklemede boşluk suyu basıncı hızlı bir şekilde artacağı için su emme miktarında azalma gözlenir. Fakat kazı sırasında suya doygun killi zeminler serbest kalan gerilme sebebiyle su emilmesine maruz kalır ve zeminde kabarmalar oluşur (Genç, 2009:31).

Endeks özellikleri ile belirleme

Şişen zeminlerle ilgili yapılan tüm çalışmalar ve sınıflandırmalar zeminlerin şişme nedenlerini tespit etmek ve temel yapıda meydana gelecek sorunları çözebilmek amacıyla geliştirilmiştir. Endeks özelliklerini belirmek için yapılan çalışmalar da bu amaçla yapılmıştır. Zemin sınıflanırken eğer Likit Limit, Plastik Limit ve Plastisite İndisi değerleri biliniyorsa, diğer zeminlerle kıyaslama yapılarak zeminin sahip olduğu özellikler yaklaşık olarak tahmin edilebilir (Seed ve diğerleri, 1962).

Chen (1988) şişme potansiyeli ile plastisite indisi arasında Çizelge 3.9'daki gibi bir ilişki olduğunu belirlemiştir. Buna göre plastisite indisi yüzde olarak 0 ile 15 arasında ise şişme potansiyeli düşük, 10 ile 15 arasında orta, 15 ile 20 arasında yüksek, 35 ve üstünde ise şişme potansiyeli çok yüksek olarak değerlendirilir.

Çizelge 3.10. Chen (1988)'e göre şişme potansiyelinin plastisite indisine göre değişimi

Şişme Potansiyeli	Plastisite İndisi (%)
Düşük	0-15
Orta	10-15
Yüksek	15-20
Çok Yüksek	35 ve üstü

3.5.2. Direk deney yöntemleri (ödometre yöntemleri)

Bu deneyin amacı şişme parametrelerini belirlemektir. ASTM D4546 (1986) (Standart Test Methods for one Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils) şişme basıncı, şişme yüzdesi ve şişme davranışının belirlenmesi amacıyla üç farklı ödometre deneyi tanımlamaktadır. Bu deneylerden önce şişme yüzdesi (şişme potansiyeli) ve şişme basıncı kavramları tanımlanmıştır:

Şişme Potansiyeli (Şişme Yüzdesi)

Şişme potansiyeli; zemindeki bir numunenin suya doygun hale gelinceye kadar meydana gelen hacim artışının, başlangıç hacmine oranı şişme potansiyelini verir. Şişme yüzdesi değeri "Eş 3.2" de gösterilen formül ile hesaplanır.

$$Sw = [\Delta H/H_0 * 100] \quad (3.2)$$

Sw: şişme yüzdesi

ΔH: yükseklik artışı

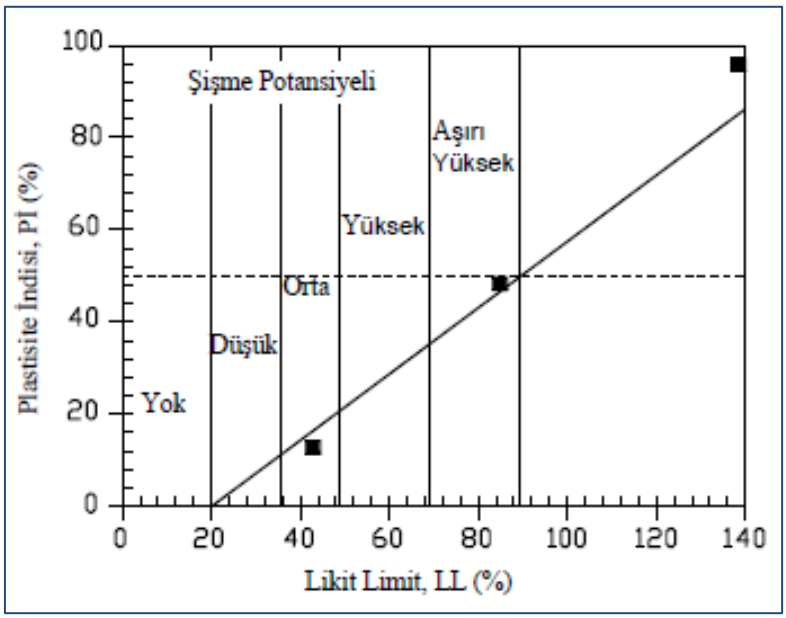
H_0: başlangıç numune yüksekliğini ifade eder.

Hacimsel artış Genç (2009) 'a göre iki farklı şekilde tanımlanır. İlki numune, sabit sürşarj yükü altında doygun hale gelirken, yanal deformasyon sıfır durumundayken meydana gelen düşey boy değişimi olarak tanımlanırken, ikincisi eksenel olarak meydana

gelebilecek deformasyonların engellenmesi durumunda, zeminin yanal şişme yüzdesinin, zemin çapındaki değişime bağlı ifadesi olarak tanımlanır.

ASTM şişme potansiyeli için açık bir tanımlama vermezken, şişme yüzdesini arazideki zemin tabakalarının düşey yüksekliklerindeki değişim oranı olarak tanımlar.

Holtz ve Gibbs (1956) ile Seed ve diğerleri (1962) şişme potansiyelini belirlemek amacıyla yaptıkları birtakım çalışmalarla Plastisite İndisi ve Likit Limit indislerine dayalı Şişme Potansiyeli Sınıflandırma Kartı geliştirerek, bu karta göre zeminlerin şişme potansiyeli değerlerini aşırı yüksek, yüksek, orta ve düşük dereceli olarak sınıflamışlardır (Şekil 3.25).



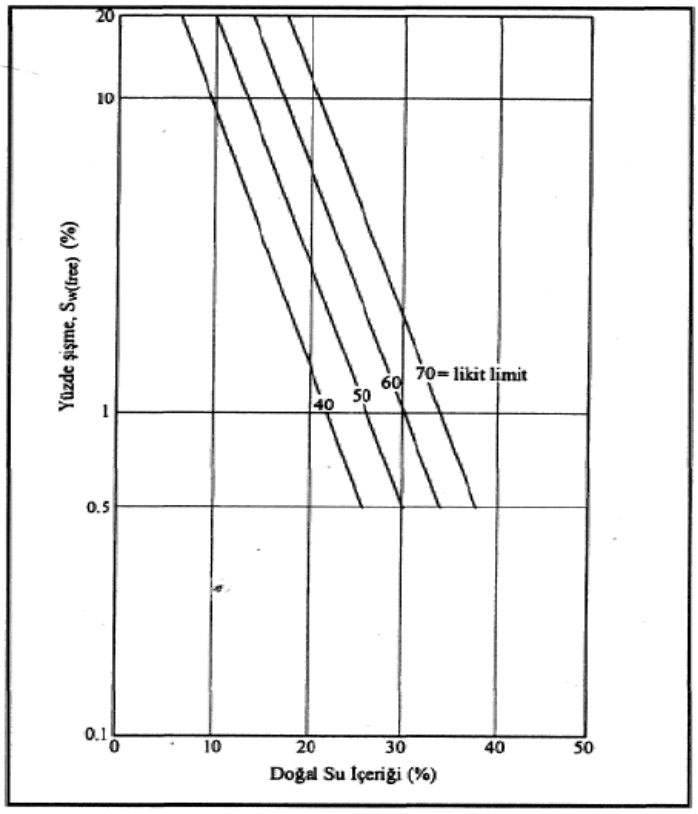
Şekil 3.25. Şişme potansiyeli sınıflandırma kartı (Holtz ve Gibbs, 1956)

Şişme Basıncı

Şişen killi bir zeminin su içeriğinin artması sonucunda oluşacak hacim değişikliğine engel olan basınç, şişme basıncı olarak adlandırılır. Diğer bir ifadeyle zeminin başlangıçtaki hacmini koruyacağı basınçtır. Şişme basıncı başlangıç kuru birim hacim ağırlığına bağlıdır ve belirli bir zemin için sabittir (Genç, 2009:23). ASTM şişme basıncını, şişme olmasına izin vermeyecek şekilde yük arttırılarak şişmenin oluşmadığı durumda ulaşılan basınç veya şişmeye izin verildikten sonra numunenin başlangıç halindeki duruma (boşluk oranı, yükseklik) dönebilmesi için gerekli basınç olarak tanımlamaktadır.

A Yöntemi :Serbest Şişme Deneyi:

Bu yöntemde zeminden alınan numune 1 kPa sürşarj yükü altında suya doygun hale getirilerek şişme tamamlanıncaya kadar beklenir. Daha sonra doğal boşluk oranı elde edilinceye kadar klasik ödometre deneyindeki yük kademeleri altında numune yüklenir. Vijayvergiya ve Ghazzaly (1973), bu yöntemle, farklı zeminlerden elde ettikleri sonuçları kullanarak, Şekil 3.26'da görüldüğü üzere likit limit, serbest şişme ve doğal su içeriğini gösteren korelasyon kartı hazırlamışlardır.



Şekil 3.26. Serbest şişme, likit limit ve su içeriği korelasyon kartı (Vijayvergiya ve Ghazzaly, 1973)

B Yöntemi: Yük Altında Şişme Deneyi:

Zeminden alınan örnek, doğal su içeriğinde sürşarj gerilmesinin temel yükü etkisine eş bir P_0 düşey gerilme altında ödometrede bekletilir. Sonrasında suya doyurularak P_0

gerilmesi altında şişmenin dengelenmesi sağlanır. Daha sonra klasik ödometre yükleme ve boşaltma aşamalarına geçilir.

C Yöntemi:

Şişme basıncının bulunması amacıyla numune suya daldırıldıktan sonra yükseklik sabit kalacak şekilde düşey basınç ayarlanır. Bundan sonra deney yöntemi ASTM D2435'e (Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading) göre konsolidasyon deneyi yapılır. Boşaltma verileri şişme potansiyelini belirlemekte kullanılır.

3.6. Şişen Zeminleri İyileştirme Yöntemleri

Zeminlerin şişme sonucu hacim değiştirme kapasitesine sahip olması mühendislik yapıları uygulamalarında ciddi problemlere sebep olmakta ve büyük hasarlar meydana getirmektedir. Bunu önlemek için bu tür zeminleri iyileştirme yöntemleri geliştirilmiş olup aşağıda bu yöntemler anlatılmıştır (Genç, 2009:39).

3.6.1. Şişen zemini kaldırma ve yer değiştirme

Şişen bir zemin üzerine inşa edilecek mühendislik yapısına ait temelin altındaki zemin ile şişme özelliği olmayan bir zemini yer değiştirmek suretiyle uygulanan bir yöntemdir. Eğer şişen zemin ince bir tabaka halindeyse tamamı kaldırılır, tabaka kalın ise yeterli kalınlık belirlendikten sonra sadece bu kısmın kaldırılması ilkesine dayanır. Doldurulacak kısım çok yüksek yoğunlukta sıkıştırılarak taşıma gücü yüksek bir tabaka elde edilir. Bu yöntemde özel ekipmanlar kullanılmadığından diğer yöntemlere nazaran daha ekonomiktir. Ayrıca uygulanışı da çok zaman almadığından kısa sürede gerçekleştirilebilmektedir. Maliyeti artırmamak adına dikkat edilmesi gereken husus, doldurulacak malzemenin yapıya yakın yerde seçilmesidir (Çetin, 2003).

3.6.2. Kompaksiyonun kontrol edilmesi

Şişen zeminlerin kompaksiyon kontrolü uygulaması kolay ve ekonomik yöntemlerden biridir (Holtz ve Gibbs, 1956). Kompaksiyon yani sıkıştırma ile zemin taneleri birbirlerine yaklaştırılır ve aradaki hava boşlukları azaltılarak daha sıkı bir zemin

elde edilmesi sağlanır. Bu sayede zeminin birim hacim ağırlığı artarak mühendislik özellikleri iyileştirilmiş olur. Kompaksiyon ile zeminin taşıma gücü artar, zeminde olabilecek hacim artışlarının önüne geçilir ve geçirimlilik azalır. Böylece zemin daha kararlı bir hale gelir (Küçükali, 2011).

Kompaksiyon işlemi optimum su muhtevasının % 3' ünün altında yapılırsa aşırı şişmeye neden olur. Temel zeminleri yüksek su içeriğinde (% 3'den fazla) ve düşük birim hacim ağırlığında sıkıştırılırsa çok az şişme gösterir. Bu yöntem şişme basıncını ciddi miktarlarda düşürdüğünden istenilen bir durumdur (Yılmaz, 1998:52).

3.6.3. Ön ıslatma

Ön ıslatmanın temel amacı yapı inşa edilmeden önce, zeminin şişmesini sağlamaktır. Su içeriği fazla olan zeminlerin şişme miktarının daha az olacağı prensibine dayanır. Bölgenin su içerinde kalması sağlanarak veya havuz oluşturularak zemin ıslatılır. Suyun istenilen derinliğe kadar inebilmesi için kilin ince çatlaklı yapıda olması gerekir. Eğer değilse suyun emdirilmesi çok uzun zaman alır. Böyle durumlarda zemin ıslatılmadan önce drenaj kuyusu açılmalıdır. Böylece suyun istenilen derinliğe indirilmesi hızlanır. Islatma işlemi tamamlandıktan sonra kilin üst kısmına % 4 oranında sönmüş kireç veya 10-15 cm kalınlığında kum-çakıl ilave edilerek, buharlaşma engellenir ve zemin üzerinde uygun bir çalışma ortamı sağlanmış olunur (Genç, 2009:40).

3.6.4. Su muhtevası kontrolü

Su muhtevası kontrolünün amacı inşaat temeline etraftan gelebilecek su girişini önlemek ve zemini kuru tutmaktır. Bunun için temel zeminine hem yatayda hem de düşeyde geçirimsiz duvarlar ve drenaj sistemi uygulanır. Böylece temelin altında veya yanında suyun birikmesi engellenir. Yalıtım malzemeleri, hendekler, oluklar, kanal ve menfezler yeraltındaki ve yüzeydeki suların temlden uzaklaştırılmasında kullanılan drenaj yöntemleridir. İnşaat alanının yakın civarındaki yüzey sularının uzaklaştrılması da çok önemlidir. Yeraltında su birikimini önlemek için drenaj hendekleri açılarak temel altındaki zeminin su emmesi engellenir (Bilir, Sülür ve Çıtıroğlu, 2016) (Resim 3.7).

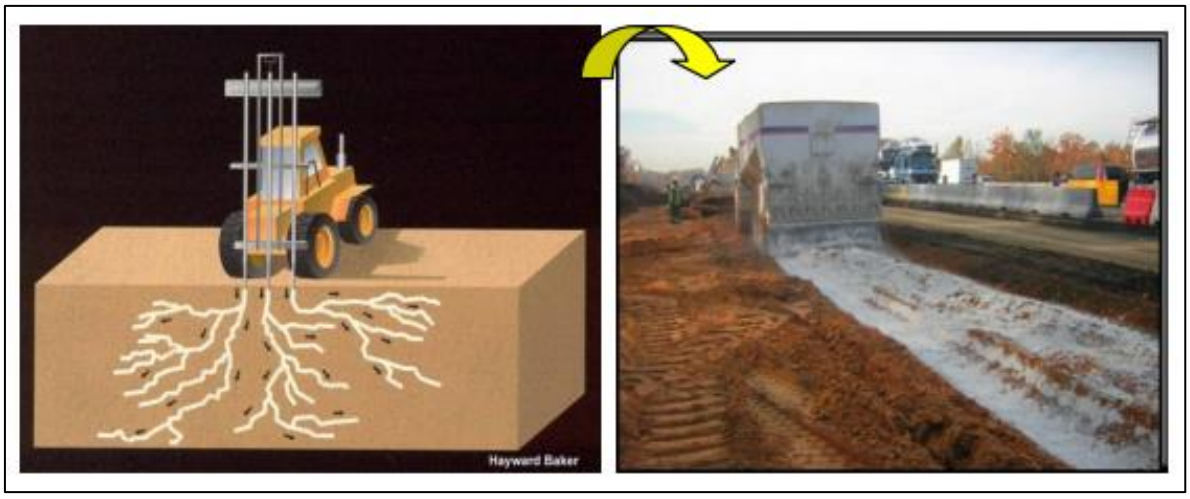
Çevrede bulunan bitkiler ve ağaçlar da zemindeki su hacminde önemli değişikliğe neden olur. Bitki ve ağaçların kökleri 5 metre derinliğe kadar zeminin kurumasına, bu da zeminlerde oturmalara sebep olabilmektedir. Bu nedenlerle yapıların yakınlarına boyları yaklaşık olarak 2 metreyi geçen ağaçların bulunması önerilmez (Genç, 2009:42).

Resim 3.7. Yüzey sel suların yapı temelinden uzaklaştırılması (Bilir ve diğerleri, 2016)

3.6.5. Kimyasal stabilizasyon

Şişen zeminlerin etkilerini azaltmak amacıyla uçucu kül, çimento, kireç gibi kimyasal maddeler uzun yıllardan beri kullanılmaktadır ve etkili sonuçlar elde edilmektedir. Zeminin çimento ile iyileştirilmesi çok kullanılan yöntemlerden biridir. Kilin çimento ile iyileştirilmesinde alınan sonuçlarla kireçte alınan sonuçlar benzerlik gösterir. Fakat kireç ile iyileştirilemeyen zeminlerde çimento kullanımı daha başarılı olmaktadır (Ünver 2015).

Zeminin kireç ile iyileştirilmesinde, zemin sertleşerek plastik kıvamdan katı kıvama geçer ve böylece zeminin plastisite indisi azalır, plastik limit artar, likit limit azalır, böylece zeminin dayanımı artarak deformasyon azalır. Bu metot arazide uygulanırken killi zemin gevşetilerek zemine kireç serilir. Daha sonra zemin karıştırılarak sulama yapılır. En son olarak da zemin silindir yardımıyla iyice sıkıştırılır (Küçükali, 2011) (Resim 3.8).



Resim 3.8. Şişen zeminlerin kireçle iyileştirilmesi (Demir ve Kılıç, 2010)

Yapılan çalışmalarda zeminde kullanılacak % 2 ile % 8 arasındaki oranlarda eklenerek yapılan kireçle stabilizasyon şişmeyi ciddi oranlarda azaltmak dışında, şişen zeminin dayanımını ve optimum su içeriğini artırma gibi önemli katkılar da sağlamaktadır (Genç, 2009).

Zeminde meydana gelebilecek kabarmaları en aza indirmek amacıyla kullanılan uçucu kül, bağlayıcılık özelliği çok az olan, kireç veya su ile karıştırıldıklarında kimyasal reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği kazanan malzemelerdir. Uçucu kül zemine kil ile kireç arasında puzolanik reaksiyon gerçekleşmesini sağlayarak zeminin tane çapını artırmak için eklenir. Böylece zemin yapısı değiştirilerek etkili sonuçlar elde edilir (Ünver, 2015).

3.6.6. Organik bileşiklerle zemin ıslahı

Organik bileşiklerle yapılan zemin ıslahı kireç stabilizasyonuyla yapılandan daha maliyetli olmaktadır. Bu yöntemde organik bileşiklerle suyun geçmesi önlenmekte veya reçine ile sertleştirme yapılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan organik bileşikler: Na (sodyum) silikat, Ca (kalsiyum) hidroksit, sodyum klorit ve kalsiyum klorittir. Bu bileşikler diğer katkı maddeleri ile birlikte kullanılmaktadır. Zeminlerin stabilizasyonu için farklı bileşikler kullanılmaktadır. Örneğin sodyum klorit likit limit değeri fazla olan zeminlerde ciddi etkiye sahiptir. Zemin sodyum klorit ile etkileşime girdiğinde aynı zamanda don kabarmasını da engellemektedir. Kuru zemin ağırlığının % 1'i oranında

kalsiyum klorit kullanılması birçok zeminin stabilizasyonu için yeterli olmaktadır. Arazide uygulamaya geçilmeden önce hangi bileşik türünün kullanılacağının tespiti için arazide birtakım deneyler yapıldıktan sonra zemin türüne göre uygun organik bileşik seçimi yapılmalıdır (Gündüz, 2008).

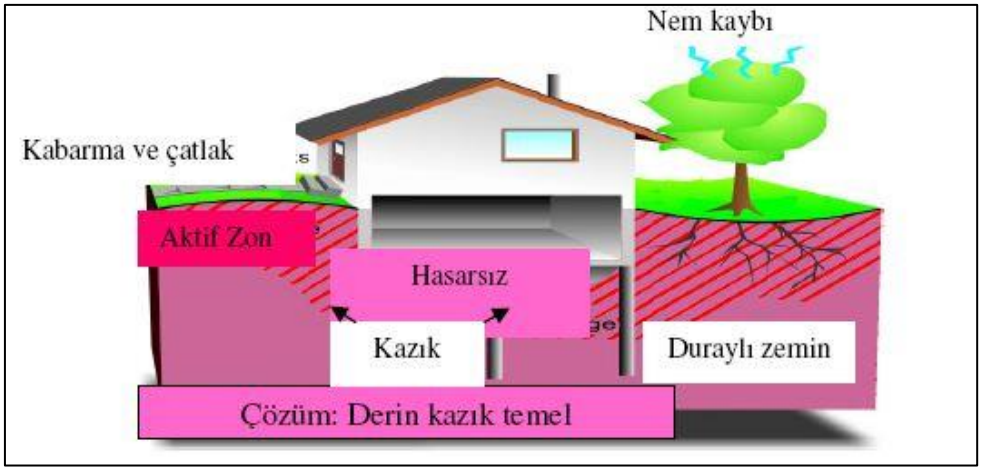
3.6.7. Diğer yöntemler

Zemin ıslahı için uygulanabilecek diğer yöntemler bazı araştırmacılara göre (Demir ve Kılıç, 2010; Genç, 2009; Das,1995; Yılmaz, 1998) şöyle sıralanabilir:

1) Temellerin mevsim farklılıklarından etkilenecek aktif zon derinliğinin daha altına yapılması (Aktif zon derinliği: derinliğe bağlı olarak zeminlerdeki su miktarının mevsimsel olarak değişim gösterdiği zonlara denilir. Bu değişim yaklaşık olarak 3- 4 metre derinlikte sona erer. Bu nedenle temel tasarımı yapılırken bu aktif zon göz önünde bulundurularak, aktif zonun altına yapılması önerilir.)

2) Pabuç veya kazık temel seçilerek, zemin seviyesinin altında olası şişmeyi karşılamak amacıyla boşluk bırakılması ve temelin şişmeden etkilenmeyecek rijit temel olması (Şekil 3.27).

3) Dar sömeler yapılarak şişme basıncını karşılayabilmek amacıyla tabandaki basıncın artırılması,



Şekil 3.27. Şişen zeminin kazık temel ile iyileştirilmesi (Demir ve Kılıç, 2010)

4) Şişmenin engellenmesi amacıyla sürşarj yüklemesinin şişme basıncı değerine yakın bir değerde yapılması,
5) Şişen zemini yaklaşık 200 ^{O}C ye kadar ısıtarak şişme özelliğini kaybetmesinin sağlanması,
6) Elektroozmoz ile şişen zemindeki suyu uzaklaştırarak zeminin sertleşmesinin sağlanması,
7) Tuz ile stabilizasyon özellikle NaCl (sodyum klorür) ve CaCl (kalsiyum klorür), şişme potansiyeline sahip yüksek likit limit değerlerine sahip zeminlerde etkili olması ve suyun donma derecesini düşürmesi sebebiyle donmadan kaynaklı şişme problemlerinin önlenmesinde de faydalı olması,

vb. yöntemler kullanılabilmektedir.

4. İMAR PLANLAMASINA ŞİŞEN ZEMİNLERİN ETKİSİ VE İMARA ESAS ÖRNEK ÇALIŞMALAR

4.1. İmar Planlaması Çalışmaları

İmar planı, insanların nitelikli ve sağlıklı bir çevrede yaşamlarını sağlamak için gerekli kullanım alanını ve yer seçimini belirlemek ve yerleşimin gelişme eğilimlerini toplum yararına uygun olarak yönlendirmek amacıyla hazırlanan yasal bir belgedir (Altuntaş, 2012).

Belediyeler tarafından imar planlarının yapılmasına karar verildikten sonra 3194 sayılı imar yasasının 5. Maddesine göre bir alanın imar planının hazırlanabilmesi için ilk olarak yerleşmenin güncel hale getirilmiş halihazır haritalarının temin edilmesi gerekmektedir. Halihazır haritalar elde edildikten sonra Belediyeler doğrudan kendisi yaptırabileceği gibi, Belediye Meclisi'nde alınan "Yetki Kararı" ile İller Bankası A.Ş.'ye başvurarak İller Bankası A.Ş. aracılığıyla da imar planlarını yaptırabilirler. İmar planı çalışmalarından önce yerleşme yerinde imar planına esas jeolojik jeoteknik etütler yapılır. Bu etütler tamamlandıktan sonra, yerleşmeye ait plan çalışmalarına etki edebilecek diğer kurumlardan ilgili kurum görüşleri alınır. Daha sonra keşif çalışması ve planın yapım şekli belirlenerek, imar planları hazırlanır.

İmar planı yapılmadan önce hazırlanması zorunlu olan jeolojik-jeoteknik etüt çalışmalarının amacı; planlama yapılması düşünülen mevcut yerleşim alanlarının doğal afet tehlikelerini yer bilimsel veriler ışığında bölgesel olarak değerlendirmek, jeolojik-jeoteknik sakıncaları ve bunlara bağlı olası mühendislik problemlerini belirlemek, alanların arazi kullanımı ve yerleşime uygunluk değerlendirmesini yapmak, teknik ve/veya idari gerekçelere bağlı olarak gerekli önlemleri önererek, plana etki edebilecek muhtemel zararları en aza indirmektir.

Ülkemiz jeolojik, topoğrafik ve iklimsel özellikleri ve zemin koşulları nedeniyle depremler başta olmak üzere sel, kaya düşmesi, heyelan ve çığ gibi doğal afetlere maruz kalmaktadır. Afet sonrasında oluşacak zararlar önceden alınacak birtakım önlemler ile azaltılabilir ve engellenebilir. Bu önlemlerden biri de yapılacak imar planı çalışmalarının hem zemin koşullarını hem de doğal tehlikeleri göz önünde bulundurarak yapılmasıdır.

Doğal tehlikelerin yanında, zeminlerin fiziksel veya indeks özelliklerinin de doğru tanımlanmaması veya yanlış yorumlanması nedeniyle sonradan ortaya çıkan, hatta doğal felaketlerden çok daha fazla maddi kayıplara sebep olan şişme, büzülme, sıkışma, sıvılaşma çökme vb. zemin problemlerinin doğru tespit edilmesi gerekmektedir. Bu tespitler günümüzde İmar Planına Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt Raporları ile yapılmaktadır.

4.2. İmara Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt Çalışmaları

Jeolojik jeoteknik etütler; plan çalışmalarına temel oluşturacağından, ihtiyaca uygun ve doğru bir şekilde yapılması çok önemlidir. Bu etütlerin yapılma amacı plan yapılacak alanda yer alan kaya ve zeminlerin mevcut jeolojik ve morfolojik özelliklerinin belirlenmesinin yanında sondaj ve araştırma çukurları yardımıyla alınacak numuneler üzerinde birtakım deneyler yapılarak elde edilecek veriler ışığında olası zemin problemlerini ve o bölgedeki imar planına etki edebilecek doğal tehlikeleri ortaya koymaktır.

Problemli zeminlerin başında, şişme potansiyeline sahip killi zeminler gelmektedir. Bu kapsamda; İller Bankası A.Ş. Erzurum Bölge Müdürlüğü kontrollüğünde geçmiş yıllarda yaptırılan Arpaçay (Kars) ve Ulalar (Erzincan) Belediyelerine ait İmar Planına Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt çalışmalarını içeren iki rapor, şişme potansiyeli olan killi zeminlerin değerlendirilmesi yönünden incelenmiştir.

4.3. Arpaçay (Kars) İmar Planına Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt Raporu Örneği

Arpaçay (Kars) Belediyesi'nin imar planına esas jeolojik-jeoteknik etüt raporu, Belediyenin İller Bankası A.Ş.'ye verdiği yetkiye istinaden ihalesi yapılarak Are Jeoteknik Müh. Müş. İnş. Ltd. Şti. firmasına hazırlatılmış (Are, 2015) ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mekansal Planlama Dairesi Başkanlığı tarafından 30.12.2016 tarihinde onaylanmıştır.

Jeolojik Jeoteknik Etüt çalışmaları kapsamında; arazi gözlemleri ve arazi çalışmaları, sondaj ve jeofizik çalışmalar, laboratuvar deneyleri ile jeolojik - jeoteknik değerlendirmeler yapılarak, planlaması yapılacak alan, yerleşime uygunluk açısından incelenmiştir. Çalışma alanına ait genel görünüm Resim 4.1' de verilmiştir.

Resim 4.1. İnceleme alanaına ait genel görünüm (Are, 2015)

4.3.1. Arazi çalışmaları

İnceleme alanındaki birimlerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile davranış karakteristiklerini ortaya çıkarmakta esas alınacak gerekli verileri elde etmek, yanal ve düşey yöndeki litolojik değişimleri ortaya koymak amacıyla derinliği yaklaşık 15,45 metre olan 21 adet jeoteknik amaçlı sondaj kuyusu açılmıştır. Açılan sondaj kuyularından SK- 6 nolu kuyuda 13,00- 15,45 metreler arasında, SK-8 Nolu kuyuda 8,50 ile 15,45 metreler arasında alınan numunelerde çakıllı kumlu plastisiteli siltli kile; SK-19 nolu kuyuda 0,50-7,50 metreler arasında, SK- 20 nolu kuyuda ise 2,0- 4,50 metreler arasında çakıllı kumlu siltli kile rastlanmıştır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. SK- 6 ve SK-8 no'lu sondaj kuyularının litoloji bilgileri (Are, 2015)

SK NO	Der. (m)		Y	X	YASS (m)	Litoloji	Form.
SK-1	15.45	0.00-0.50	611099	4520827	-	Nebati toprak	TQy
		0.50-11.00				İri bloklu kumlu çakıl	
		11.00-15.45				Kahve renkli killi siltli çakıllı kum	Tkk Rz
SK-2	15.45	0.00-0.50	610914	4521132	-	Nebati toprak	Yol boyu çakıl ve kumu
		0.50-15.45				İri bloklu kumlu çakıl-çakıltaşı (yer yer killi silt seviyeleri geçilmiştir.)	
SK-3	15.45	0.00-0.50	610114	4521449	-	Nebati toprak	Kalkankale Frm. Rez. (Tkk)
		0.50-6.00				Killi siltli kumlu iri çakıl	
		6.00-8.50				Killi siltli çakıllı kum	
		8.50-15.45				Çakıllı kumlu killi silt	
SK-4	15.45	0.00-0.50	610715	4520214	-	Nebati toprak	
		0.50-5.50				Killi siltli kumlu iri çakıl	
		5.50-11.50				Killi siltli çakıllı kum	
		11.50-15.45				Çakıllı kumlu killi silt-siltli çakıl	
SK-5	15.45	0.00-0.50	611513	452419	-	Nebati toprak	
		0.50-5.50				Killi siltli kumlu iri çakıl	
		5.50-15.45				Çakıllı kumlu killi silt (Altere kiltaşı)	
SK-6	15.45	0.00-0.50	611418	4523950	-	Nebati toprak	Alüvyon (Qal)
		0.50-2.50				Killi siltli çakıllı kum	
		2.50-7.50				Killi siltli kumlu iri çakıl	
		7.50-13.00				Çakıllı kumlu killi silt	
		13.00-15.45				Çakıllı kumlu plastisiteli siltli kil	
SK-7	15.45	0.00-0.50	611199	4523061	-	Nebati toprak	Kalkankale Frm. Rez. (Tkk)
		0.50-15.45				Killi kumlu siltli çakıl	
SK-8	15.45	0.00-0.50	611076	4521538	-	Nebati toprak	
		0.50-8.50				Killi kumlu siltli çakıl	
		8.50-15.45				Çakıllı kumlu plastisiteli siltli kil	

Çizelge 4.1. (devam) SK- 19 ve SK-20 no'lu sondaj kuyularının litoloji bilgileri (Are, 2015)

SK NO	Der. (m)		Y	X	YASS (m)	Litoloji	Form.
SK-15	15.45	0.00-0.50	612244	4524737	-	Nebati toprak	Tkk Rz.
		0.50-15.45				Killi çakıllı siltli kum (yer yer kumtaşı bantları içermektedir.) (Ayrışmış kumtaşı)	
SK-16	15.45	0.00-0.50	612017	4524658	-	Nebati toprak	Qal
		0.50-10.50				Killi siltli kumlu çakıl	
		10.50-15.45				Killi çakıllı siltli kum (yer yer kumtaşı bantları içermektedir.) (Ayrışmış kumtaşı)	Kalkankale Frm. Rez. (Tkk)
SK-17	15.45	0.00-0.50	611784	4525083	7.00	Nebati toprak	
		0.50-8.50				Çakıllı kumlu killi silt	
		8.50-15.45				Killi çakıllı siltli kum (yer yer kumtaşı bantları içermektedir.) (Ayrışmış kumtaşı)	
SK-18	15.45	0.00-0.50	611567	4524762	-	Nebati toprak	
		0.50-7.50				Killi çakıllı siltli kum (Altere kumtaşı)	
		7.50-15.45				Çakıllı kumlu killi silt (altere kiltaşı)	
SK-19	15.45	0.00-0.50	611461	4525126	3.00	Nebati toprak	
		0.50-7.50				Çakıllı kumlu siltli kil	
		7.50-12.50				Çakıllı kumlu killi silt	
		12.50-15.45				Kiltaşı	
SK-20	15.45	0.00-0.50	611003	4524899	-	Nebati toprak	
		0.50-2.00				Çakıllı kumlu killi silt	
		2.00-4.50				Çakıllı kumlu siltli kil	
		4.50-7.00				Çakıllı kumlu killi silt	
		7.00-15.45				Çakıllı killi siltli kum-kumlu silt	

4.3.2. Laboratuar deneyleri

Elek Analizi Deneyi

Kuyulardan alınan numuneler üzerinde yapılan elek analizi sonuçlarına göre kil yüzdesi fazla olan SK-6, SK-8, SK- 19 ve SK-20 nolu kuyuların kil+silt, kum ve çakıl yüzdeleri Çizelge 4.2 'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. SK-6, SK-8, SK-19, SK-20 no'lu sondaj kuyularına ait elek analiz deneyine ait veriler (Are, 2015)

Elek Analizi Deney Raporuna Göre	*SK-6*	*SK-8*	*SK-19*	*SK-20*
Derinlik (metre)	*13.50 - 13.95*	*9.00 - 9.45*	*3.00 - 3.45*	*3.00 - 3.45*
Kil +Silt Miktarı (%)	*87.2*	*97.1*	*57.8*	*84.2*
Kum Miktarı (%)	*8.00*	*1.00*	*27.0*	*9.80*
Çakıl Miktarı (%)	*4.80*	*1.90*	*15.2*	*6.00*

Doğal Su İçeriği ve Atterberg Limitleri

Açılan sondaj kuyularından alınan numuneler üzerinde; Su İçeriği, Atterberg Limitleri Deneyleri yapılmıştır. Tüm deneylerde TS-1900 standardı uygulanıp, örnekler Birleştirilmiş Zemin Sınıflamasına (USCS) göre sınıflandırılmıştır. Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma sisteminde CH ve CL, potansiyel olarak şişebilen zeminler olarak ifade edilmektedir. Buna göre deney sonuçlarında zemin sınıfı CH olanlar Çizelge 4.3' de gösterilmektedir.

Çizelge 4.3. SK-6, SK-8, SK-19, SK-20 no'lu kuyuların indeks ve fiziksel özelliklerini gösterir laboratuvar sonuçları (Are, 2015)

Deney Standartı			TS 1900-1				TS 1900-1		TS 1900-1			ASTM D-5731				TS 1900-2			
Numue			Doğal Su Muhtevası (%)	Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	Özgül Ağırlık (Gs)	Hidrometre	Elek Analizi		Atterberg Limitleri			USCS	Nokta Yükleme	Üç Eksenli Basınç (UU)		Konsolidasyon		Proktor	
Sondaj Kuyusu Adı	Numune Tipi ve Adı	Derinlik (m.)					#10 Kalan (%)	#200 Geçen (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)		*Is = P / De2 (kgf/cm2)	*c_{up} (kN/m²)	*ϕ_{up} (°)	Şişme Yüzdesi (%)	Şişme Basıncı (kgf/cm²)	maks. KBHA γ_d	Opt. Su Muh. W_{opt}
SK-7	SPT	6.00-6.45	9.7				46.9	25.3		NP		GM							
"	SPT	7.50-7.95	5.1				62.7	12.6		NP		GM							
"	SPT	9.00-9.45	0.6				92.3	1.7		NP		GP							
"	SPT	10.50-10.95	8.6				52.2	7.9		NP		GM							
"	SPT	12.00-12.45	13.2				47.8	9.7		NP		GM							
"	SPT	13.50-13.95	15.8				30.9	9.6		NP		SM							
"	SPT	15.00-15.45	46.2				50.3	29.6		NP		GM							
SK-8	SPT	1.50-1.95	5.4				71.4	9.2		NP		GM							
"	SPT	3.50-3.95	3.5				81	6.1		NP		GM							
"	SPT	4.50-4.95	0.5				91.6	8.4		NP		GM							
"	SPT	6.00-6.45	5.5				82.3	6		NP		GM							
"	SPT	7.50-7.95	0.5				91.2	8.8		NP		GM							
"	UD	9.00-9.50	57.9	19.1			1.9	97.1	74.5	29.8	44.7	CH		75.3	4	1.25	0.525		
"	SPT	10.50-10.95	58.5			*	0	99.9	76.3	31.2	45.1	CH							
"	SPT	12.00-12.45	63.5				0	96.4	62.5	27.5	35	CH							
"	SPT	13.50-13.95	57				0	93.2	78.9	25.9	53	CH							
"	SPT	15.00-15.45	60				2.3	95.9	79.5	33.1	46.4	CH							
SK-6	SPT	1.50-1.95	12.2				33.4	25.1		NP		SM							
"	SPT	3.00-3.45	15.3				41.3	28		NP		GM							
"	CRZ	7.50-7.95	39.3			*	11.3	83.3	66	37.6	28.4	MH							
"	SPT	9.00-9.45	79.7				0.5	98.8	72.3	35.2	37.1	MH							
"	SPT	10.50-10.95	75.1				2	92.9	75.4	39.5	35.9	MH							
"	SPT	12.00-12.45	74.9			*	4.5	91.1	70	38.1	31.9	MH							
"	SPT	13.50-13.95	69.3				4.8	87.2	59.7	29.4	30.3	CH							
"	SPT	15.00-15.45	52.1				6.6	84.3	63.2	30.2	33	CH							
SK-19	SPT	3.00-3.45	30.7				15.2	57.8	59.2	28.2	31	CH							
"	SPT	4.50-4.95	34.2				16.3	60.3	53.9	27.1	26.8	CH							
"	SPT	6.00-6.45	36.9				12.3	63.9	62.1	29.3	32.8	CH							
"	SPT	7.50-7.95	45.8				18.9	70.5	55.3	32.6	22.7	MH							
"	SPT	9.00-9.45	74.8				25.6	62.7	69.3	35.4	33.9	MH							
"	SPT	10.50-10.95	60.7				19.3	60.1	65.2	32.8	32.4	MH							
"	SPT	12.00-12.45	53.9				22.5	54.3	59.1	34.7	24.4	MH							
"	CR	13.00-15.00											9.15						
SK-20	SPT	1.50-1.95	65.5				5.6	79.7	65.8	36.9	28.9	MH							
"	UD	3.00-3.50	48.7	18.50		*	6	84.2	68.7	32.9	35.8	CH		69.2	4				

Üç Eksenli Basınç ve Konsolidasyon Deneyi

İnceleme alanında açılan sondaj kuyularından alınan örselenmemiş (UD) numuneler üzerinde 3 adet üç eksenli basınç deneyi ile birim hacim ağırlık deneyi ve 1 adet konsolidasyon deneyi yapılmıştır (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Birimlerin üç eksenli basınç, doğal birim hacim ağırlık ve konsolidasyon deneyi sonuçlarını gösterir laboratuvar sonuçları (Are, 2015)

Numune			Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m3)	Üç Eksenli Basınç (UU)		Konsolidasyon		Formasyon
Sondaj Kuyusu Adı	Numune Tipi ve Adı	Derinlik (m.)		c (kgf/cm²)	ϕ (°)	Şişme Yüzdesi (%)	Şişme Basıncı (kgf/cm²)	
SK-8	UD	9.00-9.50	19.15	75.3	4	1.25	0.525	Tkk
SK-17	UD	3.00-3.50	17.45	54.5	3	-	-	
SK-20	UD	3.00-3.50	18.50	69.2	4			

4.3.3. Zeminin şişme özellikleri

Şişme potansiyelinin gözlendiği birimler; zeminin jeolojisini oluşturan Kuvarterner yaşlı Alüvyonal Birimler ve Pliyosen yaşlı Kalkankale Formasyonuna ait rezüdüel birimlerdir.

İnceleme alanında yapılan sondajlardan alınan örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan konsolidasyon deneyi ile birlikte şişme yüzdesi belirlenmiştir. Kalkankale Formasyonunda bulunan SK-8 kuyusundan alınan UD numunesi üzerinde yapılan konsolidasyon deneyinde şişme yüzdesi 1,25 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. SK-8 nolu kuyuda gözlenen şişme yüzdesi

Sondaj No	Şişme Yüzdesi	Formasyon
SK-8	1.25	Tkk (Kalkankale Frm.)

Yapılan deneyler sonucunda zeminin şişme özellikleri değerlendirilerek Kalkankale Formasyonuna ait rezidüel birimlerden alınan şişme yüzdesine, şişme basınç değerlerine, Likit Limit değeri (% 53,9 - 86,6) ve ince tane oranına (% 46,90) göre şişme derecesi "*ortayüksek- çok yüksek*" olarak belirlenmiştir. Alüvyon birime ait killerin, Likit Limit değeri (% 59,7-75,4) ve ince tane oranına (% 44,98) göre şişme derecesi "*orta-yüksek-çok yüksek*" olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Şişen killerde muhtemel hacim değişiklikleri (Chen, 1975)

Laboratuar ve arazi verileri			Şişme yüzdesi	Şişme basıncı (KN/m^2)	Şişme derecesi
200 no'lu elekten geçen	Likit limit %	SPT darbe sayısı			
>95	>60	>30	>10	>1000	*Çok yüksek*
60-95	40-60	20-30	5-10	250-1000	*Yüksek*
30-60	30-40	10-20	1-5	150-250	*Orta*
<30	<30	<10	<1	<150	Düşük

4.3.4. İnceleme alanının şişme potansiyelinin değerlendirilmesi üzerine tartışma ve öneriler

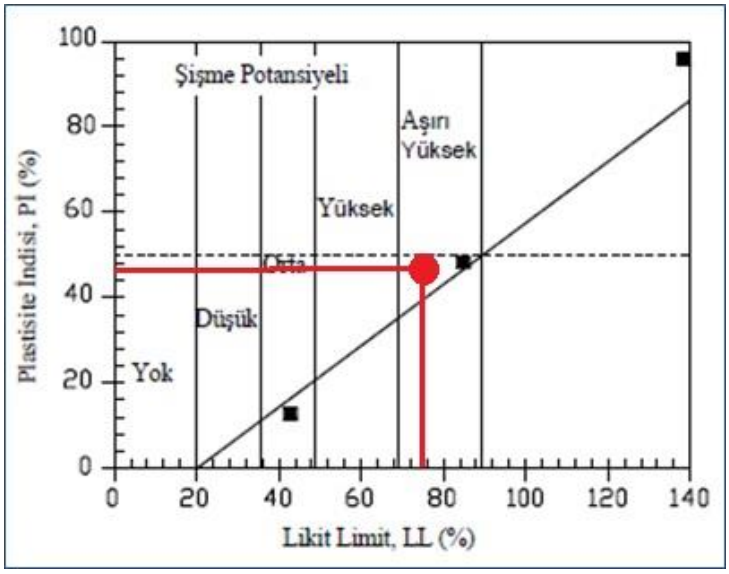
İnceleme sahasında Kalkankale Formasyonunun ayrışmış kesimleri ile Alüvyon birimin oluşturduğu yerlerde zeminlerin şişme derecesi orta-yüksek-çok yüksek olup, killerin yüksek sıkışabilir özellikte olduğu ve bu nedenle şişme ve sıkışabilirlik gibi mühendislik sorunlarının alınabilecek önlemlerle ortadan kaldırılabileceği kanaatine varıldığından bu alanlar yerleşime uygunluk açısında önlem alınabilecek nitelikte şişme, oturma vb. sorunlu alanlar olarak değerlendirilmiştir.

Bu değerlendirme şişme parametrelerini hesaplayabilmek amacıyla zeminden alınan SPT numuneleri üzerinde yapılan Atterberg Limitleri ve UD numuneleri üzerinde yapılan konsolidasyon deneyi sonuçlarına göre yapılmıştır.

UD numunesi SK-8, SK-17 ve SK-20 numaralı kuyulardan birer adet alınmıştır. Bu kuyuların indeks ve fiziksel özelliklerini gösterir laboratuar sonuçları incelendiğinde (Bkz. Çizelge 4.3) alınan UD metrajlarından sonra da kohezyonlu birimlerin (CH, MH) devam ettiği görülmektedir. Bu tür kohezyonlu zeminlerin devamlılığı söz konusu olduğunda, alınan 1 adet UD numunesinden yaklaşık 3 metre sonra 1 adet daha UD numunesinin alınması, yapılan laboratuvar deneylerinin doğruluğunu arttırması açısından önem taşımaktadır.

SK-8, SK-17 ve SK-20 numaralı sondaj numuneleri üzerinde sadece SK-8 numaralı sondaj numunesi üzerinde konsolidasyon deneyi ile şişme yüzdesi ve şişme basıncı hesaplanmıştır. Diğer kuyuların da şişme yüzdesi ve şişme basınçlarının hesaplanabilesi için SK- 17 ve SK- 20 no'lu kuyular üzerinde de konsolidasyon deneyi yapılması gerekmektedir.

Şişme potansiyeli değerlendirilmesi SK-8 no'lu kuyudan alınan numune için yapıldığında; Likit Limit(%74,5) ve Plastisite İndisi (% 44,7) değerlerine göre (Holtz ve Gibbs, 1956) şişme potansiyeli sınıflama kartına bakıldığında aşırı yüksek bölgeye düşmektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. SK-8 no'lu kuyudan alınan örneklerdeki şişme potansiyeli

200 nolu elekten geçen tane miktarı, Likit Limit Değeri, SPT darbe dayısı, Şişme yüzdesi ve şişme basıncı değerlerine göre şişen killerde muhtemel hacim değişiklikleri (Chen, 1975) grafiğine bakıldığında ise; likit limit ve 200 no lu elekten geçen tane değeri ve SPT darbe sayısına göre şişme derecesinin yüksek- çok yüksek; şişme yüzdesi ve şişme basıncı değerlerine göre de şişme derecesi orta- düşük olduğu görülmektedir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. SK-8 no'lu kuyudan alınan örneklerdeki hacim değişim aralıkları

Laboratuar ve arazi verileri			Şişme yüzdesi	Şişme basıncı (KN/m^2)	Şişme derecesi
200 no'lu elekten geçen	Likit limit %	SPT darbe sayısı			
>95	>60	>30	>10	>1000	*Çok yüksek*
60-95	40-60	20-30	5-10	250-1000	*Yüksek*
30-60	30-40	10-20	1-5	150-250	*Orta*
<30	<30	<10	<1	<150	Düşük

200 Nolu elekten geçen %97.1 | LL=75.4 | SPT Darbe Sayısı=26 | Şişme yüzdesi=1.25 | Şişme basıncı=51.98

SK- 8 nolu sondaj kuyusundaki numunenin Plastisite İndisi (% 44,7) olduğundan Plastisite indisiyle şişme potansiyeli arasındaki ilişki (Yıldırım ve Acar, 1994) sınıflamasına göre de şişme potansiyeli çok yüksek çıkmaktadır (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. SK-8 no'lu kuyudaki plastisite indisi ile şişme potansiyeli arasındaki ilişki

Plastisite İndisi	Şişme Potansiyeli
0-15	Düşük
15-20	Orta
20-35	Yüksek
>35	Çok yüksek

Bu durumda SK-8 nolu numunenin alındığı zemin için şişme derecesi ya da şişme potansiyeli, ele alınan kritere veya incelenen grafiğe ya da sınıflama sistemine göre farklılık göstermektedir. Bu nedenle kohezyonlu, kil ve silt içeriği yüksek zeminlerdeki şişme tahmininin doğru yapılabilmesi için aktivite değerinin de bilinmesi gerekmektedir. Akvite değerinin hesaplanabilmesi hidrometre deneyinin yapılmasına bağlıdır. Hidrometre deneyi ile hesaplanacak kil yüzdesi (< 2μm) değerine göre aktivite değeri hesaplanabilmektedir. Ayrıca bu deney ile Atterberg Limiti deneylerinin de doğru yapılıp yapılmadığı kontrol edilebilmektedir.

Sonuç olarak zemin sınıfı tanımlamalarında ve zeminin şişme potansiyelinin tahmininde yapılan hataları en aza indirebilmek için hidrometre deneyinin yapılması ve sondaj sırasında kohezyonlu zeminlerde süreklilik gözleniyorsa UD (örselenmemiş numune) nin en az 3'er metre aralıklarla 2 adet alınması önemlidir.

4.4. Ulalar (Erzincan) İmar Planına Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt Raporu Örneği

Ulalar (Erzincan) Belediyesi'nin imar planına esas jeolojik-jeoteknik etüt raporu, Belediyenin İller Bankası A.Ş.'ye verdiği yetkiye istinaden ihalesi yapılarak Gür Mühendislik Jeoteknik Son. Har. İnş. Mak. Ltd. Şti. firmasına hazırlatılmış (Gür, 2010) ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mekansal Planlama Dairesi Başkanlığı tarafından 07.12.2010 tarihinde onaylanmıştır.

Ulalar (Erzincan) Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt çalışmaları kapsamında; arazi çalışmaları, sondajlar ve laboratuvar deneyleri sonucunda jeolojik-

jeoteknik değerlendirmeler yapılarak, planlaması yapılacak alan, yerleşime uygunluk açısından incelenmiştir. Çalışma alanına ait genel görünüm Resim 4.2' de verilmiştir.

Resim 4.2. İnceleme alanına ait genel görünüm (Gür, 2010)

4.4.1. Arazi çalışmaları

İnceleme alanında birimlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla derinlikleri 8,00-15,00 metre arasında değişen toplam 183,00 metre 18 adet jeoteknik sondaj yapılmıştır. Yapılan sondajlarda geçilen birimlerin alüvyona ait kil ve kum olduğu, ayrıca çalışma alanında yapılan jeoteknik sondajlardan 8'inde yeraltısuyuna rastlandığı ve yeraltısuyu seviyelerinin 1,60-9,40 m arasında değiştiği gözlenmiştir (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9. Jeoteknik sondaj kuyularına ait genel bilgiler (Gür, 2010)

KUYU NO	DERİNLİK	YASS	UD	SPT	LİTOLOJİ
SK1	15,00	-	√	√	Alüvyon
SK2	8,00	-	√	√	Alüvyon
SK3	10,00	-	√	√	Alüvyon
SK4	10,00	-	√	√	Alüvyon
SK5	10,00	-	√	√	Alüvyon
SK6	10,00	-	√	√	Alüvyon
SK7	10,00	-	√	√	Alüvyon
SK8	10,00	9,40	√	√	Alüvyon
SK9	10,00	8,00	√	√	Alüvyon
SK10	10,00	3,40	√	√	Alüvyon
SK11	10,00	2,00	√	√	Alüvyon
SK12	10,00	1,60	√	√	Alüvyon
SK13	10,00	8,20	√	√	Alüvyon
SK14	10,00	8,80	√	√	Alüvyon
SK15	10,00	8,00	√	√	Alüvyon
SK16	10,00	-	√	√	Alüvyon
SK17	10,00	-	√	√	Alüvyon
SK18	10,00	-	√	√	Alüvyon

4.4.2. Laboratuvar deneyleri

Arazide alınan SPT ve UD numunelerinden 49 adedinde Atterberg limitlerinin tayini, 12 adedinde doğal su içeriği ve elek analizi yapılmıştır. Ayrıca 12'si üzerinde üç eksenli basınç deneyi, 4'ünde Konsolidasyon ve şişme deneyleri yapılmıştır (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. Zemin index-fiziksel ve mekanik özelliklerini gösterir laboratuvar sonuçları (Gür, 2010)

Sondaj No.	Numune No	Derinlik (m)	Su İçeriği (%)	Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m^3)	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m^3)	Atterberg Limitleri			Zemin Sınıfı	Üç Eksenli Basınç Deneyi (UU)		Konsolidasyon Deneyi	
						LL (%)	PL (%)	PI (%)		c (kgf/cm^2)	Φ (°)	Şişme Yüzdesi	Şişme Basıncı (kgf/cm^2)
SK-1	SPT-1	1,50	26,5			53,6	22,9	30,7	CH				
"	SPT-2	3,00	14,5			43,2	19,4	23,8	CL				
"	UD-1	4,00	6,0			36,9	18,1	18,8	SC				
"	SPT-3	4,50	14,6			44,6	22,4	22,2	CL				
"	SPT-4	6,00	7,2			37,8	19,4	18,4	CL				
"	UD-2	6,50	9,5			39,8	22,3	17,5	CL				
"	SPT-5	7,50	2,0			28,8	14,1	14,7	SC				
"	SPT-6	9,00	2,3			31,8	16,2	15,6	SC				
"	SPT-7	10,50	1,4			27,3	16,2	11,1	SC				
"	SPT-8	12,00	1,6			34,5	17,7	16,8	SC				
SK-2	SPT-1	1,50	24,5			46,3	21,3	25,0	CL				
"	UD-1	2,50	8,9			32,2	16,2	16,0	SC				
"	SPT-2	3,00	11,3			29,8	18,5	11,3	SC				
"	SPT-3	4,50	6,8				NP		SM				
SK-3	UD-1	2,50	26,2	18,10	14,34	69,6	28,2	41,4	CH	0,65	7	1,19	0,127
"	SPT-2	3,00	19,5			37,4	19,2	18,2	CL				
"	UD-2	3,50	17,8	18,24	15,48	37,2	18,1	19,1	CL	0,72	9		
"	SPT-3	4,50	14,1			39,9	19,4	20,5	CL				
SK-4	SPT-1	1,50	15,5			52,4	26,9	25,5	CH				
"	UD-1	2,50	23,1	18,15	14,74	58,4	25,2	33,2	CH	0,68	8	0,96	0,104
SK-5	SPT-1	1,50	20,1			34,5	17,3	17,2	CL				
"	UD-1	2,50	25,0	18,33	14,67	60,3	27,6	32,7	CH	0,82	10		
SK-6	SPT-1	1,50	9,7			49,9	23,8	26,1	CL				
"	UD-1	2,50	22,7	18,38	14,98	62,7	26,1	36,6	CH	0,90	9		
"	SPT-2	3,00	20,6			59,7	25,1	34,6	CH				
SK-7	SPT-1	1,50	16,9			36,8	18,2	18,6	CL				
"	UD-1	2,50	21,8	18,18	14,92	56,8	25,3	31,5	CH	0,74	7		
SK-8	SPT-1	1,50	13,9			45,5	22,3	23,2	CL				
"	UD-1	2,50	23,2	18,28	14,83	55,6	24,5	31,1	CH	0,77	9	1,22	0,132
SK-9	SPT-1	1,50	18,5			38,9	19,9	19,0	CL				
"	UD-1	2,50	20,8	18,06	14,95	51,3	24,3	27,0	CH	0,59	6		
SK-10	UD-1	1,50	4,9			36,6	19,0	17,6	CL				
SK-11	SPT-1	2,50	10,6			41,5	20,6	20,9	CL				

Çizelge 4.10.(devam) Zemin index-fiziksel ve mekanik özelliklerini gösterir laboratuvar sonuçları (Gür, 2010)

"	UD-1	3,00	6,1			45,8	22,6	23,2	CL				
"	SPT-2	1,50	3,1			30,1	15,0	15,1	SC				
SK-12	SPT-1	2,50	13,8			47,7	25,5	22,2	CL				
"	UD-1	1,50	25,3	18,22	14,54	58,7	26,4	32,3	CH	0,76	8		
SK-13	SPT-1	2,50	22,9			55,5	23,6	31,9	CH				
"	UD-1	2,50	19,0	18,00	15,13	37,1	19,8	17,3	CL	0,56	6	0,87	0,093
SK-14	UD-1	2,50	16,9	18,08	15,47	34,6	17,3	17,3	CL	0,63	6		
SK-15	SPT-1	1,50	18,1			36,3	18,6	17,7	CL				
"	UD-1	2,50	7,4			46,7	23,7	23,0	CL				
SK-16	SPT-1	1,50	13,0			41,7	20,2	21,5	CL				
"	UD-1	2,50	20,3	18,14	15,08	54,8	22,8	32,0	CH	0,66	7		
SK-17	SPT-1	1,50	10,3			44,9	22,4	22,5	CL				
"	UD-1	2,50	10,6			58,5	26,1	32,4	CH				
"	SPT-2	3,00	20,2			30,8	15,4	15,4	CL				
SK-18	SPT-1	1,50	24,1			57,2	24,1	33,1	CH				
"	UD-1	2,50	10,0			35,6	18,3	17,3	SC				

4.4.3. Zeminin şişme özellikleri

Çalışma alanının kuzey ve doğusundaki killi seviyelerde bulunan SK- 3, SK- 4, SK- 8, SK- 13 nolu kuyulardan alınan numuneler üzerinde yapılan konsolidasyon deneyi sonucuna göre (Çizelge 4.13) killerin şişme miktarları (mm) ve şişme yüzdeleri bulunarak Holtz ve Gibbs (1956)'e göre (Çizelge 4.12) şişme potansiyelleri değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.11. Şişme potansiyeli tanımı (Holtz ve Gibbs, 1956)

Serbest Şişme (%)	**Tanım**
0 – 1,5	Düşük
1,5 – 5	Orta
5 – 25	Yüksek
>25	Çok Yüksek

Çizelge 4.12. Konsolidasyon deney sonuçları ve şişme potansiyeli

KUYU NO	ŞİŞME YÜZDESİ (%)	ŞİŞME POTANSİYELİ
SK-3	1.19	Düşük Şişme
SK-4	0.96	Düşük Şişme
SK-8	1.22	Düşük Şişme
SK-13	0.87	Düşük Şişme

Laboratuvarda elde edilen sonuçlardan şişme potansiyelinin düşük şişme özelliğinde olduğu görülmektedir.

4.4.4. İnceleme alanının şişme potansiyelinin değerlendirilmesi üzerine tartışma ve öneriler

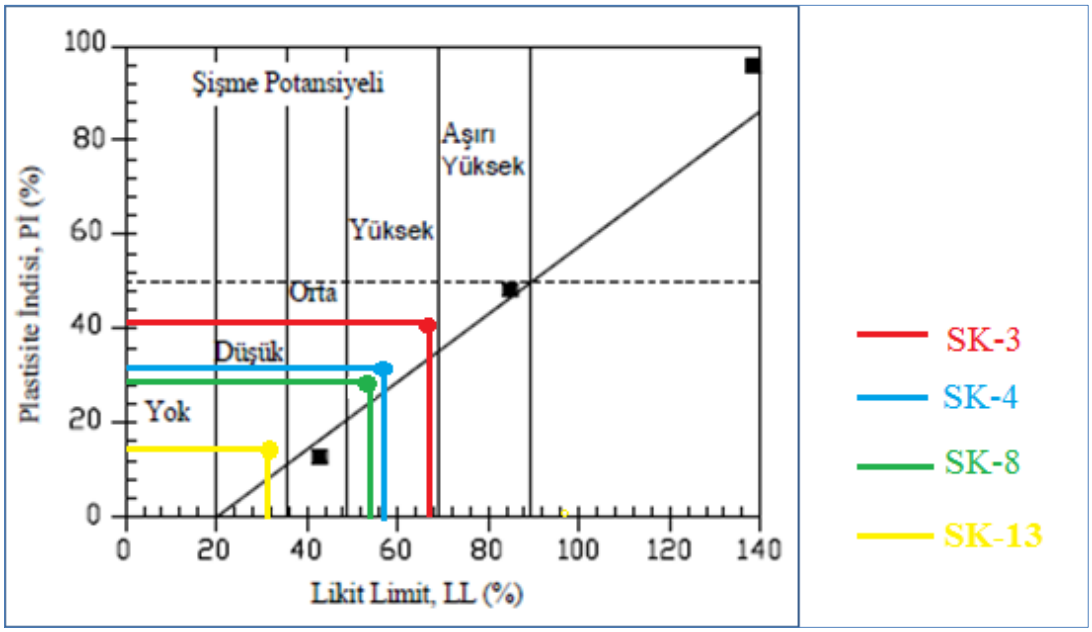
Laboratuvarda elde edilen sonuçlara göre şişme potansiyelinin düşük olması sebebiyle çalışma alanındaki zeminlerin genelinde şişme riski beklenmediği ortaya konulmuştur.

Konsolidasyon deneyleri yapılan SK-3, SK-4, SK-8, SK-13 nolu kuyuların aşağıda verilen Çizelge 4.14'deki Likit Limit (%74,5) ve Plastisite İndisi (% 44,7) değerlerine göre (Holtz ve Gibbs 1956) şişme potansiyeli sınıflama kartına göre değerlendirildiğinde; SK-3, SK-4, SK-8'daki killi seviyelerin yüksek şişme potansiyeline, SK-13'te yer alan killi seviyelerin ise düşük şişme potansiyeline sahip olduğu gözlenmektedir. (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.13.SK-3, SK-4, SK-8, SK-13 nolu sondaj kuyularının LL ve PI değerleri

Sondaj No	LL (%)	PI (%)
SK-3	69,6	41,4
SK-4	58,4	33,2
SK-8	55,6	31,1
SK-13	37,1	17,3

Çizelge 4.14. SK-3, SK-4, SK-8, SK-13 no'lu kuyuların şişme potansiyeli sınıflaması



Raporda şişme potansiyeli düşük olarak belirlendiğinden, zeminde genel olarak şişme riskinin beklenmediği ifade edilmiştir. Yukarıdaki şişme potansiyeli sınıflama kartına göre şişme potansiyeli değerlendirildiğinde SK-3, SK-4 ve SK-8 no lu kuyuların bulunduğu zeminde şişme olabileceği düşünülmektedir. Bu sonuçlara göre şişme potansiyelini tahmin etmek doğru olmayıp, hidrometre deneyi yapılarak elde edilecek kil yüzdesi miktarına göre aktivite değerine de bakıldıktan sonra yorum yapılması önerilmektedir.

İleride şişme sorunu yaratabilecek zeminlerin tespitinin doğru yapılması rapor sonunda hazırlanan yerleşime uygunluk haritalarında "Önlem Alınması Gereken Alanlar" olarak çizilen sınırların doğru belirlenmesine ve sonrasında hazırlanacak imar planlarının da sağlıklı hazırlanmasına öncülük edecektir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında kil içeriği yüksek şişme potansiyeline sahip zeminlerin jeoteknik özellikleri irdelenerek, bu tür zeminleri içeren bölgelerde yapılacak imar planı çalışmalarında dikkat edilmesi gerekenler, bu tür zeminlerin planlamaya etkileri ve planlama öncesinde hazırlanan imara esas jeolojik jeoteknik etütlerin esaslara uygun yapılmasının önemi vurgulanmıştır.

Bu amaçla İller Bankası A.Ş. Erzurum Bölge Müdürlüğü kontrollüğünde daha önceden hazırlanan Arpaçay (Kars) ve Ulalar (Erzincan) İmar Planına Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt Raporları detaylı incelenmiş, şişme ile ilgili yapılan çalışmalar ve sonuçta elde edilen bulgular değerlendirilerek, şişme potansiyelinin belirlenmesinde dikkat edilmesi gereken hususlarla ilgili aşağıdaki tespitler yapılmıştır:

♦ Sondajlar sırasında SPT (Standart Penetrasyon Testi) ile alınan örselenmiş numuneler ve örselenmemiş (UD) numuneler üzerinde yapılan şişme potansiyelini belirlemeye yönelik veriler değerlendirilirken UD numuneleri; zeminden, örselenmeden yani zemin özellikleri korunarak SPT deneyi ile alınan numunelere göre daha fazla dikkate alınmaktadır. Çünkü SPT ile alınan numune, örselenmiş numune olduğundan, SPT ile alınan numuneden zemin özelliklerini tespit etmek, bazen hatalı sonuçlar verebilmektedir. Bu nedenle, UD numuneleri arazideki zemin şartlarını gerçeğe yakın yansıttığından ve zemin tanımlamasındaki hataları en aza indirdiğinden, zeminde kohezyonlu tabakanın devamlılığı söz konusu ise yapılan sondajlar sırasında her bir sondajdan en az iki adet UD numunesi (yaklaşık olarak üçer metre aralıklarla) alınması daha gerçeğe yakın sonuçlar elde etmek için faydalı olacaktır.

♦ Arpaçay (Kars) raporunda şişme tahmini; şişme potansiyeli olduğu düşünülen Alüvyon birimlerden ve Kalkankale Formasyonundan alınan numunelerin geneli üzerinde belirlenen; şişme yüzdesi, şişme basıncı, Likit Limit değeri ve ince tane oranlarına bakılarak yapılmış ve sonuçta her iki birime ait killerin şişme derecesi ‘’orta-yüksek-çok yüksek olarak tespit edilmiştir. Kalkankale Formasyonundaki zemin sınıfı CH çıkan SK-8, SK-19 ve SK-20 nolu kuyulara ait numunelerden sadece SK-8 nolu kuyuya ait numune üzerinde konsolidayon deneyi yapılarak şişme yüzdesi ve şişme basıncı hesaplanmıştır. Diğer kuyuların da şişme yüzdesi ve şişme basınç değerlerinin hesaplanabilmesi için SK-

19 ve SK-20 nolu kuyular üzerinde de konsolidasyon deneyi yapılması gerekmektedir. SK-8 nolu numune için Likit Limit (%74,5) ve Plastisite İndisi (% 44,7) değerlerine göre Holtz ve Gibbs (1956) şişme potansiyeli sınıflama kartına göre; şişme potansiyelinin aşırı yüksek olduğu, Chen (1975)'e göre değerlendirildiğinde ise; Likit Limit ve 200 no'lu elekten geçen tane değeri ve SPT darbe sayısına göre şişme derecesinin yüksek- çok yüksek; şişme yüzdesi ve şişme basıncı değerlerine göre de şişme derecesi orta- çok düşük olduğu tespit edilmiştir.

♦ Ulalar (Erzincan) raporunda ise şişme tahmini; SK-3, SK-4, SK-8, SK-13 nolu kuyulardan alınan numuneler üzerinde yapılan konsolidasyon deneyi sonucunda belirlenen şişme yüzdelerine bakılarak hesaplanmış ve şişme potansiyelinin düşük olduğu belirlenerek çalışma alanındaki zeminlerin genelinde şişme riskinin beklenmediği ortaya konulmuştur. Fakat konsolidasyon deneyleri yapılan SK-3, SK-4, SK-8, SK-13 nolu kuyuların Likit Limit (%74,5) ve Plastisite İndisi (% 44,7) değerlerine göre Holtz ve Gibbs (1956) şişme potansiyeli sınıflama kartına göre değerlendirildiğinde; SK-3, SK-4, SK-8 sondaj kuyularındaki numunelerin yüksek şişme potansiyeline, SK-13 nolu sondaj kuyusundan alınan numunenin ise düşük şişme potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre de şişme potansiyelini belirlemede kesin sonuca ulaşılamamıştır.

♦ Her iki raporda yapılan analizler neticesinde; şişme derecesinin ya da şişme potansiyelinin, ele alınan kriter veya incelenen grafiğe göre farklılık gösterdiği görülmektedir. Bu nedenle kohezyonlu, kil ve silt içeriği yüksek zeminlerdeki (zemin sınıfı CH ve MH olanlar) şişme tahmininin doğru yapılabilmesi için diğer bir yöntem olan aktivite yöntemi ile de hesaplanması yerinde olacaktır. Aktivite değerinin hesaplanabilmesi hidrometre deneyinin yapılmasına bağlıdır. Hidrometre deneyi ile hesaplanacak kil yüzdesi (< 2 μm) değerine göre aktivite değeri hesaplandıktan sonra şişme tahmininin yapılması önerilmektedir.

Ağaçlar, çimler ve bitkiler geçirgen olmayan zeminlerdeki suyu bünyelerine alarak zeminlerin kurumasına ve zeminde hacim değişiklikleri yaratarak oturmaya sebep olmaktadırlar. Bu nedenle imar planı yapılırken şişme potansiyelinin yüksek olduğu bilinen bir alanın yakını ağaçlandırılacak alan, park veya bahçe olarak tasarlanması halinde, zeminde meydana gelecek bu gibi değişikliklere uygun kararlar üretilmelidir. İller Bankası A.Ş. tarafından yapılması planlanan belediye hizmet binaları, otoparklar, atıksu

arıtma tesisleri vb. üstyapı projeleri eğer killi bir zemin üzerine kurulmuşsa bu alanların yakınında boyları 2 metreyi geçen ağaçların dikilmemesine dikkat edilmelidir. Ağaç boyunun 1-1,5 katı kadar uzunluğa sahip bir alanın bu durumdan etkilendiği unutulmamalıdır.

Şişen potansiyeli olan bir zeminde üst yapı inşaatının zorunlu olduğu durumlarda çok katlı bina yapılması önerilmektedir. Çünkü yapı temeli ileride şişmeye maruz kalacağından zeminin şişmesi temel tarafından engellenerek şişme gerilmelerinin oluşmasına sebep olacaktır. Yapı temelindeki yükün bu gerilmeleri karşılayabilmesi ancak çok katlı binalardaki yapı ağırlığı ile sağlanabilmektedir. İmar planlamasında şişme potansiyeli olan ve önlem alınması gereken alan olarak tespit edilmiş yerlerde İller Bankası A.Ş. tarafından yaptırılacak üstyapı projelerinde (Belediye hizmet binası, iş hanı, iş merkezi, turizm ve termal tesisler, otogar, kentsel dönüşüm, sosyal tesis, eğitim tesisleri, spor kompleksleri, konferans ve kültür merkezleri vb.) ilerde oluşabilecek şişme problemlerinin önüne geçmek amacıyla tek katlı hafif yapılar yerine şişme gerilmesini yenecek ağırlıkta yapılar yapılması önerilir.

İmar Planına Esas Jeoloijk Jeoteknik Etüt çalışmaları ile belirlenen şişme potansiyeline sahip zeminler, ilerde oluşabilecek şişme tehlikeleri hakkında detaylı bilgiler sunarak inşaat ve tasarım aşamalarında alınması gereken önlemler konusunda şehir plancılarını, tüm kamu kuruluşlarını ve mal sahiplerini bilgi sahibi yapar. Ayrıca İller Bankası A.Ş. tarafından yaptırılan atıksu arıtma tesisleri, içmesuyu, kanalizasyon gibi altyapı inşaatlarının zemin etütleri yapılmadan önce de, planlama raporlarında bu bilgilere sahip olunması inceleme alanında, örneğin şişmeyle ilgili yapılacak fazladan çalışmaları engeller ve böylelikle Belediyelerin üzerindeki maddi yük de azaltılarak ülke ekonomisine katkı sağlanmış olunur.

Şişen zeminlerde yine İller Bankası A.Ş. tarafından yaptırılacak üstyapılar projelendirilirken temel tasarımlarının, mevsimsel değişimler ve yüzey sularına bağlı olarak bölgeden bölgeye değişim gösteren aktif zon derinliği dikkate alınarak yapılması gerekmektedir. Yapı temellerinin bu değişimlerden etkilenecek derinliğin veya aktif zonun altına yerleştirilmesine ve de zemin şişmesinden etkilenmeyecek rijit temel olmasına ayrıca dikkat edilmelidir.

Son olarak İller Bankası A.Ş. bünyesi altında yaptırılacak İmar Planlarına Esas Jeolojik ve Jeoteknik Etütlerin keşif aşamasında, çalışılacak sahada daha önceden Belediyeler veya İller Bankası A.Ş. tarafından o bölgedeki herhangi bir altyapı veya üstyapı inşaatı için daha önceki yıllarda hazırlanmış zemin raporlarının incelenme imkanı bulunursa keşif sırasında belirlenecek jeolojik-jeoteknik çalışmalar, laboratuar çalışmaları ve varsa eğer paleosismolojik çalışmaların miktarları bu raporlara göre tespit edilerek gereksiz yere yapılacak çalışmalar önlenmiş olur. Bunun için Belediyeler ve İller Bankası A.Ş.'nin arşivinde bulunan raporlara en kolay ve hızlı şekilde erişimin sağlanabilmesi ortak bir veritabanının kurulması ile mümkün olabilir. Bu amaçla İller Bankası A.Ş.'nin ilgili birimleri tarafından Belediyeler ile irtibata geçirilerek, daha önce elde edilmiş verilerin ve dokümanların kolayca erişilebilecek bir veritabanı sistemine aktarılması sağlanmalıdır. Bu yapıldığında (örneğin 20 sondaj yapılması önerilecek bir sahada daha önceden yapılan raporlardaki veriler değerlendirilerek, 10 sondaj yapılması önerilerek) hem maliyet hem de zaman açısından Belediyelere katkı sağlanabilir.

KAYNAKLAR

Afşin Jeoloji Sondaj Laboratuvar Maden Harita Mühendislik İnşaat Ticaret Ltd.Şti. (2014). Refahiye Erzincan Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt Raporu, Adana. 26-71.

Ali, R., Khan, H., Shah, A.A. (2012). Expansive Soil Stabilization Using Marble Dust and Bagasse Ash. *International Journal of Science and Research*, 3(6), 2812-2816.

Altuntaş, A. (2012) Sürdürülebilir Toplumlar ve Metropollerin Baskılarından Kurtulmak için Alternatif Bir Yol: Sürdürülebilir Kentler. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi,* 9(17) 135-148.

Angın, Z. ve Angın, A., (2005). Şişen Killerin Geoteknik Özelliklerinin İyileştirilmesi. Geoteknik Sempozyumunda sunuldu, Adana.

Anmann, L. (2003). *Cation Exchange and Adsorption on Clay and Clay Minerals*, PhD Thesis, Christian Albrechts University, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Kiel.

Araslar Mühendislik. (2011). Dağpınar Kars Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt Raporu, Kars. 28-54.

Are Jeoteknik Mühendislik Müşavirlik İnşaat Taahhüt ve Tic.Ltd. Şti. 2015. Arpaçay Kars Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt Raporu, Ankara. 22-75.

ASTM D:4546 1986. Standart Test Methods for one Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils. *Annual Book of ASTM Standards* 4(8), 992-1100.

Avşar, E., Ulusay, R., Sönmez, H. (2009). Assessments of Swelling Anisotropy of Ankara Clay. *Engineering Geology*, 105, 24-31.

Bilir, M.E, Sürül, S.,Çıtıroğlu, H.K. (2016). Gökçetepe Formasyonu (Zonguldak) Kiltaşlarının Eksenel Şişme Gerilmelerinin Belirlenmesi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi* 6(1), 152-167.

Başer, O. (2009*). Stabilization of Expansve Soils Using Waste Marble Dust.* Master Thesis, Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Civil Engineering, Ankara.

Bozkurtoğlu, E., Şans, G., Eyüboğlu, R. (2015). Kohezyonlu Zeminlerin Şişme Potansiyeli İçin Bir Yaklaşım: Avcılar-Esenyurt Örneği. *Pamukkale Üniverstesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(6), 270-275.

Brackley, I.J.A., (1975) Swell Underload 6th Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Found. Eng. 2, 102-124.

Çelik, M.H., Orhan, M., ve Ongun, Y. (2005). Balgat ve Etimesgut Bölgesi Kilinin Zemin İndekslerinin ve Parametrelerinin Değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 8(1), 87-94.

Chen, F. H. (1975). Foundations on Expansive Soils, Developments in Geotechnical Engineering 12, Elsevier Scientific, New York.

Chen, F. H, (1988). Foundations on Expansive Soils. Elsevier, Amsterdam.

Çetin, M., (2003) *Değişik Çevresel Koşullar Altında, Şişen Zeminlerin Özelliklerinin Belirlenmesi*, Yüksek lisans tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

Çokça, E. (2012, 4-5 Ekim). Şişen Killer. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Ondördüncü Ulusal Kongresinde sunuldu, Isparta.

Dakshanamurty, V., Raman V. (1973). A Simple Method of Identifying an Expansive *Soils and Foundations*, 13(1), 97.

Das, B. M. (1995), Principles of Foundation Engineering PWS Publishing Company,a division of International Thomson Publishing Inc. Boston,U.SA, 828.

Demir, S., Kılıç, M. (2010) Şişen Zeminlerin Tanımlanması ve Zemin İyileştirme Yöntemleri *Gaziosmanpasa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi,* 27(1), 95-104.

Dhowian, A.W., Ruwaih, I.E., Youssef A., and Erol, A.O., (1984) Evaluation of Expansive Soils and Foundation Methodology in Kingdom of Saudi Arabia. *Research Report SANCST*: AT-5-88.

Doğu Plan Mühendislik Ltd. Şti. (2015). Hınıs Erzurum Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt Raporu, Erzurum. 31-102.

Duha Jeoloji Jeoteknik Ltd. Şti. (2015). Hamur Ağrı Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt Raporu, Ankara. 29-102.

Fell, R., Macgregor, P., Stapledon, D., 1992, Geotechnical engineering of embankment dams, Balkema, Rotterdam, 675.

Fredlund, D.G. (1975, October). Engineering Properties of Expansive Clays. Paper presented to the Seminar on Shallow Foundations on Expansive Clays. Regina, Saskatchewan, Canada.

Genç, S. (2009). *Şişen Zeminler ve Bentonit- Kaolin Karışımlarının Şişme Özellikleri* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Geoteknik Mühendislik Son. Har. İnş. Mak. Taah. Ltd. Şti. (2010). Altınbaşak Erzincan Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt Raporu, Ankara. 16-46.

Gündüz, O., (2008). *Şişen zeminlerin tinkal atığı ile stabilizasyonu ve meşelik killerine uygulanması,* Yüksek lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 73s.

Gür Mühendislik Son. Har. İnş. Mak. Taah. San ve Tic. Ltd. Şti. (2010). Ulalar Erzincan Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt Raporu, Ankara. 15-35.

Holtz, W.G., Gibbs, H.J. (1956). Engineering Properties Of Expansive Clays, Transactions, *ASCE*, 121, 641-677.

İnternet: Zemin Mekaniği Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri, URL: https://www.academia.edu/13437202/zemin_mekaniği_fiziksel_ve_mekanik_özellikleri)http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.academia.edu%2F13437202%2Fzemin_mekani%C4%9Fi_fiziksel_ve_mekanik_%C3%B6zellikleri%29+&date=2016-07-23, Son Erişim Tarihi: 23.07.2016.

İnternet: Zemin Mühendisliğine Giriş, URL: http://www.slideshare.net/SeyfettinBozkurt/zemin-mhendisliine-giri http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.slideshare.net%2FSeyfettinBozkurt%2Fzemin-mhendisliine-giri&date=2016-08-30, Son Erişim Tarihi: 30.08.2016.

İnternet: Kaolinite Group (USCS, 2001a),URL: http://pubs.usgs.gov/of/2001/of01-041/htmldocs/clays/kaogr.htm http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fpubs.usgs.gov%2Fof%2F2001%2Fof01-041%2Fhtmldocs%2Fclays%2Fkaogr.htm&date=2016-09-10, Son Erişim Tarihi: 10.09.2016.

İnternet: Mineralogy Database, URL: http://www.webmineral.com,2016 http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.webmineral.com%2C+2016+&date=2016-09-10, Son Erişim Tarihi: 10.09.2016.

İnternet: İllite Group (USCS, 2001b),URL: http://pubs.usgs.gov/of/2001/of01-041/htmldocs/clays/illite.htm http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2F+http%3A%2F%2Fpubs.usgs.gov%2Fof%2F2001%2Fof01041%2Fhtmldocs%2Fclays%2Fillite.htm+&date=2016-09-11, Son Erişim Tarihi: 11.09.2016.

İnternet:Montmorillonite Group (USCS, 2001c),URL: http://pubs.usgs.gov/of/2001/of01-041/htmldocs/clays/smc.htm http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fpubs.usgs.gov%2Fof%2F2001%2Fof01-041%2Fhtmldocs%2Fclays%2Fsmc.htm&date=2016-09-15, Son Erişim Tarihi: 15.09.2016.

İnternet: Chlorite Group (USCS, 2001d),URL: http://pubs.usgs.gov/of/2001/of01-041/htmldocs/clays/chlor.htm http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fpubs.usgs.gov%2Fof%2F2001%2Fof01-041%2Fhtmldocs%2Fclays%2Fchlor.htm&date=2016-09-15, Son Erişim Tarihi: 15.09.2016.

Jones, D.E., and Holtz, W.G. (1973) Expansive Soils - the hidden disaster, *Civil Engineering*, ASCE 43(8), 49-51.

Kasapoğlu, K.E., (1989*). Killerin Jeomühendislik Özellikleri*. IV. Ulusal Kil Sempozyumu Bildiriler Kitapçığı, 3-29.

Kassa, M. (2005). *Relationship Between Consolidation and Swelling Characteristics of Expansive Soils of Addis Ababa*, Master Thesis, Addis Ababa University, Department of Civil Engineering, Addis Ababa.

Kassif, G. (1971) Swelling Potential of Compacted Clay, ASCE, 97.

Kumor, M.K. (2008). Selected Geotechnical Problems of Expansive Clays in the Area of Poland, *Architecture Civil Engineering Environment*, 4/2008, 75-92.

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 Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara.

Lucian, C. (2006). *Geotechnical Aspects of Buildings on Expansive Soils in Kibaha, Tanzania: Preliminary Study*, Licentiate Thesis, Royal Institute of Technology, Department of Civil and Architectural Engineering, Stockholm, Sweden.

Mitchell, J. K. and Soga, K., *Fundamentals of Soil Behavior*, 3rd Edition, John Wiley and Sons Inc., New York, 2005. (153-155)

Mehta, A., Parate, K., Ruprai, B.S. (2013). *Stabilization of black cotton soil by Fly Ash.* Paper presented at Special Issue for National Conference on Recent Advances in Technology and Management for Integrated Growth 2013, India.

Nokta Mühendislik Mimarlık. Ltd. Şti. (2015). Halfeli Iğdır Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt Raporu, Kayseri. 31-50.

Öget, G.D. (2014). *Estimating Swelling Characteristics of Clays Using Methylene Blue Test - A Machine Learning Approach* , Yüksek Lisans Tezi, Middle East Technical University Civil Engineering, Ankara, 12-20.

Özalp, H.K., Sağlamer, A. (2011). Zeminlerin yanal şişme basıncının belirlenmesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi*, 10(4), 163-173.

Özaydın, K. (2011). *Zemin Mekaniği*. (1.Baskı). İstanbul: Birsen Yayınevi, 1-5.

Özer, M., Ulusay, R., Işık, N.S. (2012). Evaluation of damage to light structures erected on a fill material rich in expansive soil, *Bulltein Engineering Geology Environment* (2012) 71, 21–36.

Öztürk, Y.E. (2012). *Kil Mineralleri Açısından İnce Daneli Zeminlerin Fiziko-Kimyasal Özellikleri ile Kıvam Limitleri Arasındaki İlişkiler*, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü ,İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Niğde, 26.

Öztürk, Y.Z., Ünsal, N., Akbaş, S.O. (2015). Gölbaşı (Ankara) Yerleşim Alanı Killerinin Şişme ve Kireç ile İyileştirilme Potansiyellerinin Belirlenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(2), 309-318.

Radhakrishnan, G., Kumar, M.A., Raju, P. (2014). Swelling Properties of Expansive Soils Treated with Chemicals and Flyash. *American Journal of Engineering Research (AJER)* 03(04), 245-250.

Seed, H.B., Woodward, R.J., and Lundgren, R, (1962) Prediction of Swelling Potential of Compacted Clays. *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, American Society of Civil Engineers.* 88(3), 53-87.

Skempton, A. W., (1953). *The Colloidal Activity of Clays*. Paper presented at Proceeding of the 3th international Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Switzerland.

Türköz, M. (2006). Şişen Killerin Kireç Katkısı İle Stabilizasyonu ve Eskişehir - Meşelik Killerine Uygulanması. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,* 19(2), 75-87.

Ünver, E. (2015). *Problemli Kil Zeminlerin Uçucu Kül ile İyileştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnş aat Mühendisliği Geoteknik Bilim Dalı, 5-20.

Vijayvergıya, V.N. and Ghazzaly, O.I. (1973). Prediction of Swelling Potential of Natural Clays. Proceedings, Presented at *Third International Research and Engineering Conference on Expansive Clays*, 227-234.

Wise, J. R., Hudson W. R. (1971). An Examination of Expansive Clay Problems in Texas; Study of Expansive Clays in Roadway Structural Systems Research Project 118-5, The Texas Highway Department, U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, *Austin*, 55.

Yalçın, M., 1997, Çevresel Kirlilik Şartlarının Bentonit Kilinin Şişme Büzülme Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 97.

Yıldırım, H. (2002). Şişme Basıncının Tespiti ve Emme Kapasitesi İlişkisi. *İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi*, 176, 2617-2625.

Yıldırım, Ü.E. (2009). *Şişen Killer ve Tünel Tasarımına Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Anabilim Dalı, İstanbul, 24-25.

Yılmaz , I., Karacan E. (1998). Zeminlerin Şişme Özellikleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi,* TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını, 52, 17-26.

Yılmaz, M.K., Çelik, S. (2012). Kil Zeminin Şişme Basıncı ve Konsolidasyon Özelliklerine Öğütülmüş Kumun Etkisinin Araştırılması. KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15(2), 32-36.

Yılmaz, M.K. (2014). *Improvement of Expansive Soils by Usıng Cement Kiln Dust*. Master Thesis, Middle East Technical University, Civil Engineering Department, Ankara.

Yüksek İnşaat Müh. Mad. Ürt. Paz. San. ve Tic. Ltd. Şti. (2012). İspir Erzurum Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt Raporu, Elazığ. 20-35.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı	:	MARAL ACAR, Adviye
Uyruğu	:	T.C.
Doğum Tarihi ve Yeri	:	22.06.1985 - Ankara
Medeni Hali	:	Evli
Telefon	:	0 (442) 235 50 72
Faks	:	0 (442) 235 50 71
e-mail	:	amaral@ilbank.gov.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Atatürk Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Jeoloji Mühendisliği - Geoteknik	Devam Ediyor
Lisans	Ankara Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Jeoloji Mühendisliği	2009
Lise	Çankaya İncesu (Kırkkonaklar) Anadolu Lisesi-Ankara	2004

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-Halen	İller Bankası Erzurum Bölge Müdürlüğü	Teknik Uzman Yardımcısı
2010-2013	BFS Minerals Co. Ltd. & Enerson Engineering Consulting Ltd. Şti.	Jeoloji Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Fotoğrafçılık, Tenis, Tiyatro, Yüzme, Seyahat

İLBANK
TÜRKİYE'NİN YAPICI GÜCÜ