

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ŞANLIURFA GERMUŞ (DAĞETEĞİ) YÖRESİ KİLLERİNİN
ÖZELLİKLERİ VE ŞİŞME POTANSİYELİNİN İRDELENMESİ**

Esmer HIŞMANOĞLU

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA

2006

Yrd. Doç. Dr. Reşit GERGER danışmanlığında, Esmer HIŞMANOĞLU' nun hazırladığı “Şanlıurfa Germuş (Dağeteği) Yöresi Killerinin Geoteknik Özellikleri ve Şişme Potansiyelinin İrdelenmesi” konulu bu çalışma 29/11/2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Reşit GERGER

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hanifi ÇANAKÇI

Üye : Yrd. Doç. Dr. Kasım YENİGÜN

Bu Tezin İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım

Prof. Dr. İbrahim BOLAT
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: 698

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
SİMGELER DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
1.1. Killer Hakkında Genel Bilgi	3
1.2. Killerin Fiziksel Özellikleri	6
1.3. Killerin Sınıflandırılması	6
1.3.1. Kaolinit grubu	7
1.3.2. Mika grubu	8
1.3.3. Montmorillonit grubu	9
1.3.4. Kloritler grubu	11
1.3.5. Vermikülit grubu:	11
1.3.6. Smektit grubu:	11
1.3.7. Karışık tabakalı killer	12
1.3.8. Attapujitler ve sepiolitler grubu	12
1.3.9. Alüminyum ve demir oksitler ve hidroksitler	12
1.4. Şişen Kil Zeminlerin Orijini	12
1.5. Şişen Kil Zeminlerin Fiziksel Özellikleri	13
1.6. Killi Zeminlerde Şişme Özelliğinin Tanımlanması	13
1.7. Şişen Zeminlerin Tespiti, Nitel ve Nicel Yöntemlerle Değerlendirilmesi	14
1.7.1. Nitel yöntemler	15
1.7.2. Niceliksel yöntemler	19
1.8. Şişen Zeminlere Etki Eden Faktörler	19
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	23
3. MATERYAL ve YÖNTEM	26
3.1. Materyal	26
3.1.1. Çalışma alanının tanıtımı, coğrafi konumu, morfolojisi, çevre ve İklim özellikleri	26
3.1.2. Çalışma alanının jeolojisi	27
3.1.2.1. Genel jeoloji-tektonik	27
3.1.2.2. İnceleme alanının jeolojisi	28
3.1.2.3. Gaziantep formasyonu (Eosen- Altmiosen)	28
3.1.2.4. Şelmo formasyonu	29
3.1.2.5. Siverek grubu (Pliosen)	29
3.1.2.6. Alüvyonlar (Kuarterner)	29
3.1.3. Zemin ve kaya türlerinin jeoteknik özellikleri	30
3.1.4. Mineralojik incelemeler	31
3.2. Yöntem	31
3.2.1. Çalışma alanında numune alma ve hazırlama	31
3.2.2. Çalışma alanında yapılan deneyler	31
3.2.2.1. Zemin sınıflandırma deneyleri	32
3.2.2.2. Likit limit deneyi	34
3.2.2.3. Plastik limit deneyi	35
3.2.2.4. Konsolidasyon (ödometre) deneyi	36
3.2.2.5. Üç eksenli basınç (UU) deneyi	36
3.2.2.6. Şişme deneyleri	37
3.2.2.7. Standart penetrasyon deneyi (SPT)	37
3.2.2.8. X-Ray difraksiyonu	38
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	39
4.1. Çalışma Alanı, Kil Minerolojisi Üzerine Yapılan Çalışmalar	39
4.2. Çalışma Alanı Kil Olmayan Minerallerin Tanıtılması	40
4.3. Çalışma Alanı Zemininin Geoteknik Özellikleri ve Sınıflandırılması	41
4.4. Çalışma Alanı Kilinin Şişme Karakteristiklerinin Nitel Yöntemler İle Değerlendirilmesi	43

4.5. Çalışma Alanı Kilinin Niteliksel Yöntemler İle Değerlendirilmesi.....	44
4.5.1. Deneysel çalışmalar.....	44
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	46
5.1. Sonuçlar.....	46
5.2. Öneriler.....	48
KAYNAKLAR.....	50
ÖZGEÇMİŞ.....	51
EKLER.....	52
ÖZET.....	85
SUMMARY.....	87

ÖZ

Yüksek Lisans Tezi

ŞANLIURFA GERMUŞ (DAĞETEĞİ) YÖRESİ KILLERİNİN GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ VE ŞİŞME POTANSİYELİNİN İRDELENMESİ

Esmer HIŞMANOĞLU

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Reşit GERGER
Yıl : 2006, Sayfa :88

Kurak ve yarı kurak iklimlere sahip bölgelerde yer alan, suya doymun olmayan killi zeminlerde artan su muhtevası ile ‘şişme’ olarak adlandırılan önemli hacim değışikliğı meydana gelmektedir. Bu zeminlerin şişme potansiyellerinin ve şişme basınçlarının önceden belirlenmesi ve bunlara etkiyen hem mineralojik hem de çevre faktörlerinin zemin davranışına etkisi hakkında bir fikir edinilebilir. Zemin davranışını bilmek uygun temel sisteminin ve oluşabilecek yapı hasarlarının önlenmesini mümkün kılar.

Bu çalışmada Şanlıurfa Germuş (Dağeteğı) Yöresi kilinden alınan 4 tane numune üzerinde zeminin geoteknik özellikleri, şişme değerleri ile kilin X-Ray Difraksiyon analizleri yapıldı. Daha sonra giriş, kısmında killerin şişme potansiyelini belirlemede kullanılan yöntemlerle korelasyonlara gidilerek kilin şişme potansiyeli nitel olarak belirlenen deneysel değerlerle karşılaştırması yapılmıştır. Elde edilen şişme değerleri ile sonuç kısmında şişmenin yapılar (yol, su ve kanalizasyon hatları, 1-2 katlı hafif yapılar vs.) üzerindeki etkisi irdelenmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Killer, Şişme potansiyeli, Şanlıurfa Germuş (Dağeteğı) Yöresi

ABSTRACT

MSc. Thesis

INVESTIGATION OF GEOTECHNICAL PROPERTIES AND SWELLING POTENTIALS OF CLAYS IN GERMUŞ REGION (DAĞETEĞİ) OF ŞANLIURFA

Esmer HIŞMANOĞLU

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

**Supervisor: Assist. Prof. Dr. Reşit GERGER
Year: 2006, Page: 88**

Important volume changes named swelling occur in non-water saturated clay grounds located in region of dry and semi-dry climates due to increasing water content. An idea may be obtained about the early determination of swelling potentials and swelling pressures of these grounds as well as the effects of both mineralogical and environmental factor on ground characteristics knowing the ground characteristics allow one to determine suitable ground system as well as to prevent any probable structural damages.

In this study, geotechnical properties and swelling parameters of ground and X-Ray Diffraction analyses of clays were performed four samples taken from Germuş Region (Dağrteği) of Şanlıurfa. Later, the methods used in determining the swelling potentials of clays were correlated in introduction section in order to obtain the swelling potentials quantitatively and were compared with experimental values.

KEY WORDS: Clay, Swelling potential, Germuş Region (Dağeteği) of Şanlıurfa, geotechnical properties

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının meydana gelmesinde her tŸrlŸ yardımı aldığım, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım değerli danıőmanım sayın Yrd. Do. Dr. Reşit GERGER'e, her tŸrlŸ yardımını benden esirgemeyen değerli arkadaşlarım; Arő. Gör. Veysel GŸMÜŐ'e , Arő. Gör. Hikmet TUTAR'a, Yekbun GERGER'e ve HŸBAK personeline teőekkŸrlerimi sunarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. Tetrahedron kil yapısı.....	3
Şekil 1.2. Oktahedral kil yapısı.....	3
Şekil 1.3. Da linov abağı.....	17
Şekil 1.4. Şişme potansiyeline göre sınıflandırma.....	18
Şekil 3.1. Şanlıurfa ve yakın çevresinin genelleştirilmiş dikme kesiti.....	30

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 1.1. Yaygın zemin deneyleri ile korelasyonlar.....	16
Çizelge 1.2. Endeks özellikleri ve muhtemel hacim değişikliği.....	16
Çizelge 1.3. Plastisite indisi ile şişme potansiyeli arasındaki bağıntı.....	18
Çizelge 1.4. Şişmeyi etkileyen faktörler.....	20
Çizelge 3.1. Amerika ve İngiliz standartlarına göre elekler.....	34
Çizelge 3.2. Çalışma alanında belirlenen SPT-N değerler.....	38
Çizelge 4.1. Çalışma alanına ait deneysel zemin parametreleri.....	42
Çizelge 4.2. Çalışma alanı kiline ait zemin parametrelerine ait ortalama değerler.....	43
Çizelge 4.3. Çalışma alanı kiline ait şişme deneyleri toplu sonuçları.....	45

SİMGELER DİZİNİ

A	Aktivite
Al	Alüminyum
C	Kohezyon
Ca	Kalsiyum
CC	Kolloid muhtevası
CH	Yüksek plastisiteli kil
CL	Düşük plastisiteli kil
e	Boşluk oranı
Fe	Demir
Gs	Bağıl yoğunluk
H	Hidrojen
I _c	Kıvam indisi
I _L	Likitlik indisi
kPa	Kilopascal
Li	Lityum
LL	Likit limit
MH	Yüksek plastisiteli silt
ML	Düşük plastisiteli silt
Mg	magnezyum
Ni	Nikel
O	Oksijen
PI	Plastisite indisi
PL	Plastik limit
RI	Rötre limiti
SC	Kumlu kil
Si	Silisyum
SPT	Standart penetrasyon
Zn	Çinko
W	Doğal su muhtevası
γ _d	Doğal birim hacim ağırlık
γ _k	Kuru birim hacim ağırlık
Ø	İçsel sürtünme açısı

1. GİRİŞ

Killerin, mineral yapıları ile temel mühendislik özellikleri ve davranışları arasındaki ilişki çok sayıda araştırmaya konu olmuştur. Kilin türü; zeminin geçirirmliliğine, şişme-büzülme davranışına, sıkışabilirlik ve kayma direnci gibi önemli özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Kil minerallerinin türü, kökenleri ve oluşma ortamları ile yakından ilgilidir. Kayacın kile dönüşmesi ve kilin karakterini kazanmasında; ortam sıcaklığı, yağış, nemlilik, yer altı suyu seviyesi, drenaj koşulları, pH ve tuzluluk, bitki örtüsü, eğim ve ana kayaç türü önemli rol oynar. Dolayısı ile killerin mineral yapılarının oluşum koşulları ve kökenleri ile birlikte değerlendirmek; zemin yapısını daha gerçekçi tanımak, muhtemel mühendislik problemleri tahmin etmek yönünden önemlidir. Ayrıca, geniş ölçekli alan çalışmalarında çalışmaya yön vermekte ve alanın geoteknik karakterini daha iyi anlamaya imkan tanımaktadır (Mollamahmutoğlu ve Taşkiran, 2000).

Zeminlerin su muhtevalarındaki değişmelerden dolayı hacimlerinde meydana gelen artış şişme olarak adlandırılır. Zemin hacminde meydana gelen bu şişme ile zemin yapısının stabilitesi bozulmakta buna bağlı üst yapıda aşırı deformasyonlar oluşmakta ve dolayısıyla stabilite bozulmaktadır (Siyahi ve Hekimoğlu, 1996).

Killi zeminlerin şişme davranışının incelenmesine yol açan nedenlerden biri şişmeden dolayı meydana gelen zararların çok büyük olmasıdır (Siyahi ve Hekimoğlu, 1996). Şişmeden dolayı Amerika Birleşik Devletleri'nde yılda 2.3 milyar dolar dolaylarında zarar meydana geldiği ve bunun da sel ve fırtınaların oluşturduğu zararlardan daha fazla olduğu raporlarda belirtilmektedir (Gromko,1974).

Uygun iklim koşullarında, buharlaşma ve terlemenin neden olduğu zemin neminin azalması sonucunda, kuruma oluşmakta ve zeminde rötre çatlakları gözlenmektedir. İzleyen dönemlerde düşen yağışlar ile zeminin nem muhtevası artmakta, geçirimsiz alanların altında nem birikmekte, insan faktörü etkenler (su borularından gelen sızıntılar, drenaj sistemlerinin tıkanması, su birikintileri v.s.) sonucunda zemin şişmekte ve hasarlar oluşabilmektedir. Hafif yüklü yapılar, yol ve havaalanı kaplamaları, park alanları, kanal kaplamaları ve su boruları şişen zeminlerin en çok hasar verdiği yapılardır. Kurak ve yarı kurak alanlar, bu tip hasarların en ciddi görüldüğü yerlerdir.

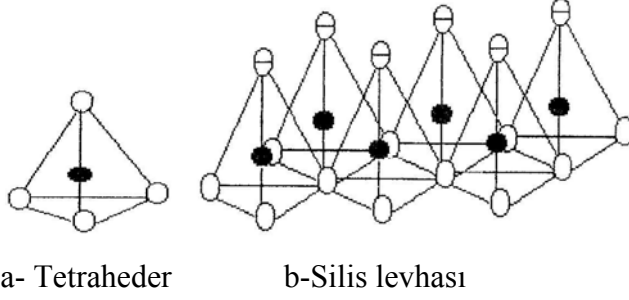
Arazide oluşan gerçek şişme miktarı bir çok faktöre bağlıdır. Zeminin şişme potansiyeli, şişebilir tabaka kalınlığı, zemin neminin beslenme kaynakları, başlangıç yoğunluk ve su muhtevası, sürşarj yükleri, yer altı su seviyesi ve aktif bölge derinliği bu faktörlerin en önemlileridir. Ancak, şişmenin oluşabilmesi için, zeminin şişme özelliğine sahip (potansiyel şişebilir) olması gerekmektedir. Bu nedenle, bu tip zeminlerin farkına varılması ve tanımlanmaları oldukça önemlidir.

Şişme özelliği olan zeminlerin, şişme potansiyellerini ölçmede en sık kullanılan 2 yöntem bulunmaktadır. Bunların ilki niteliksel yöntemler olup, temel zemin parametreleri ile şişme potansiyeli arasında korelasyon kurulması esasına dayanırlar. İkincisi, niceliksel yöntemler olup, ödometre kullanılarak zeminin şişme potansiyelinin deneysel olarak ölçmeye dayanırlar.

Bu çalışmada Şanlıurfa'nın Germuş (Dağeteği) Yöresi kilinin, geoteknik özellikleri ile şişme özelliği araştırılmıştır. Bu kapsamda, söz konusu kili niteliksel ve niceliksel yöntemlerle değerlendirmek amacı ile alınan örselenmemiş numuneler üzerinde zeminin geoteknik özelliklerini belirleme deneyleri, serbest şişme yüzdesi ve sabit hacimli şişme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca x-Ray difraksiyon ile mineral yapısı çözümlenmeleri yapılmış ve minerolojik yapı-şişme ilişkileri kurulmaya çalışılmıştır.

1.1. Killer Hakkında Genel Bilgi

Kil mineralleri çoğunlukla alüminyum silikatları ve/veya demir ve magnezyumdan meydana gelir. Bazıları alkali, veya esas bileşenler olarak toprak alkalileri içerir. Kil minerallerinin çoğu plaka veya tabakalı yapılıdır. Kil mineral yapısında iki temel blok vardır. Bunlardan biri 4 oksijenli tetrahedron yapısıdır. Bu yapıda 4 oksijen atomu ortasında bir silika atomu vardır (Şekil 1.1.).



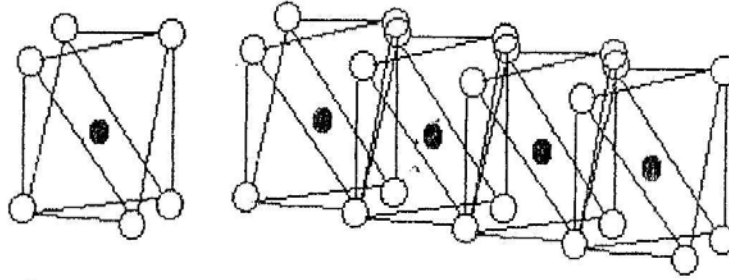
O Oksijen

⊖ Hidroksil

● Silisyum

Şekil 1.1. Tetrahedron kil yapısı

İkinci temel yapıda ise altı oksijen atomu arasında bir alüminyum veya magnezyum atomu bulunur (Şekil 1.2). Metalik atom alüminyum ise Brusit, magnezyum ise Gibsit olarak adlandırılır.



O Hidroksil grubu

● Alimünyum, magnezyum veya demir

Şekil 1.2. Oktahedral kil yapısı

Kil mineralleri nispeten karışık yapılı kristaller şeklinde olup kristallerin arjmanına göre gruplandırılırlar ve aynı gruba ait mineralleri de aşağı yukarı benzer özelliklerle birbirine bağlı olurlar. Alkali mineraller veya alkali metaller, kil minerallerinin esas bileşeni olarak killerin bileşiminde bulunurlar. Bazı killer tek bir

kil mineralinden ibarettir. Killer içerisinde kil mineraline ek olarak, kuvars, kalsit, feldspat ve prit gibi kil olmayan yabancı maddelerde bulunabilir. Bazı killer organik maddeleri ve suda çözünebilen tuzları da içerirler. Killerin oluşturdukları ortamın ısı, basınç değeri ve ortamın asit dengesi meydana gelecek kil minerallerinin cinsini tayin etmektedir. Düşük ısı ve basınç altında ve asidik ortamda kaolinit tipi mineraller oluşmakta, hâlbuki alkali iyonu olarak potasyum mevcutsa ve bunun konsantrasyonu belli bir miktarın üzerinde ise montmorillonit veya mika meydana gelmektedir. Magnezyum varlığı montmorillonitin oluşmasına neden olur. 350 °C'nin üstündeki sıcaklıklarda ve orta dereceli bir basınç altında kaolinit yerine pyrofilite teşekkül eder. Daha yüksek sıcaklık ve basınçlarda diğer alüminyumlu killer meydana gelir. Killerin kimyasal analizleri nadiren kil minerallerinin birbirinden ayırabilmektedir, fakat X ışınları difraksiyonu ve diferansiyel termal analizler gibi yöntemlerle kil mineralleri birbirinden ayıt edilebilirler.

Killer çok nadir olarak saf halde bulunurlar. Diğer yabancı maddelerle karışık killerin fiziksel özellikleri, bu maddelerin etkisi sonucunda daha karmaşık bir hal alır. Fiziko kimyasal özellikler bakımından alkali bazlar, toprak alkalileri ve asitler killerin karakterlerini değiştirirler. Ayrıca killerin morfolojik ve koloidal karakterlerini de göz önünde bulundurmak gerekir. Kolloidlik karakterleri özellikle montmorillonitlerde ve bentonitlerde bariz olarak görülmektedir. Bentonitler kendi ağırlıklarının 6-7 katı su ile şişerler ve jelliklerini arttırırlar. İlkel ayrışmalar sonucunda koloidal şekiller altında silisyum ve alüminyum serbest kalması mümkün olabilir. Silisyum negatif, alüminyum pozitif bir kolloid meydana getirir. Bunların serbest kalması sonucunda karşılıklı pıhtılaşma oluşur ve pıhtı gitgide yavaş fakat sürekli olarak alüminyum hidrosilikat kristaline dönüşür.

Elektronik mikroskopla yapılan incelemeden bu çift manzara görünüşü yani koloidal kristalloidal durumlar yan yana görülebilirler. Killerin koloidal kısımları süspansiyondaki koloidal partikülleri bozmadan koruyan bir eriyik içerisinde kilin sulandırılması ile koloidal olmayan daneli fraksiyonların incecik sırasına göre suyun dibine çökmesi ile koloidal olanların süspansiyonda kalmaları ile birbirinden ayrılırlar. Kil koloidal eriyik haline getirilir ve süspansiyon sulandırıldıktan sonra

olduğu gibi muhafaza edilir. Eğer kullanılan su alkali ise kil, bir parça asit veya bir toprak alkali baz veya anyonları enerjik olan bazı tuzlar (NaCl) ilave edilerek çözülürler.

Killerin başlıca özelliklerinden biri de asıl işlemlerde eski haline gelemeyecek şekilde değişikliğe uğramalarıdır. Killerin diğer bir özelliği de sülfirik asit ile sulandırıldıktan sonra atak yapan alün (çift potasyum sülfat ve kuvvetli alüminyum hidrat) formasyonuna sahip olmalarıdır. Killerin yoğunlukları içerdikleri kristal arası su miktarıyla orantılı olarak değişir. Killerin yoğunlukları genel olarak 2.0-2.3 gr/cm³ arasındadır. Teorik olarak killer geçirgen değildir. Gerçekte ise çok az geçirgendirler ve kil danelerinin arasındaki boşluk çapı 50 milimikronu geçmez. Bu nedenle geçirgen olamadığı halde kilin içerisinde kapilerite yoluyla emilen su daima bulunur.

Killerin değişik cinsleri, oluşum farklılıkları ve mineralleri, killerin özellikle şişme davranışını değiştirmektedir. Şişmeye yol açan killerin ana kaynağı magmatik kayalar, özellikle de bazalttır. Feldspat bulunan metamorfik ve püskürük kayaların kimyasal ayrışması sonucunda ortaya çıkan montmorillonit, şişmeye neden olan en önemli kil mineralidir. Şişmenin ayrışma koşulları ile doğrudan ilişkili olduğu bilinmektedir. Örneğin, montmorillonit ve kaolinit her ikisi de magmatik kayalardan ayrışmasına rağmen, ayrışma koşullarındaki farklılıklar nedeniyle montmorillonit yüksek, kaolinit düşük şişme potansiyeline sahiptir. Ayrışmamış kayalarda ana kil mineral klorittir. Kayaçtaki permeabilitenin düşük olması nedeniyle ayrışma sırasında yıkama oluşur ve klorit smektite dönüşür.

Kristal yapıya sahip kil minerallerinin özgül yüzeyleri büyük, dolayısıyla su tutma kapasiteleri de fazladır. Örneğin illitten sekiz kat, kaolinitten kırk kat fazla özgül yüzeye sahip montmorillonitin su tutma kapasitesi, diğerlerine oranla daha büyüktür. Değişebilir katyon cinsi ve miktarı da önemli bir faktördür. Özellikle kil minerallerinin üzerindeki negatif elektron şarjları, tabakalar arası bağ kuvvetlerini ve katyon değiştirme kapasitesi dolayısıyla kilin potansiyelini bütünüyle arttırmaktadır.

1.2. Killerin Fiziksel Özellikleri

Zeminin su muhtevası değişikliğinden etkilenen emme kapasitesi, killi zeminlerde şişmeye yol açan önemli bir faktördür. Zeminin su muhtevası arttığında, kaolinit ve illitte şişme eğilimi sınırlı iken, montmorillonitte şişme çok fazladır. Su muhtevasının sabit kalması, kilin şişme göstermemesine neden olabilir. Dolayısıyla sabit su muhtevalı killer üzerine inşa edilen yapılar kabarmanın etkisi ile meydana gelecek hareketle karşılaşmayacaktır. Şişme potansiyeline sahip kilin, su muhtevası arttığında hem düşey hem de yatay doğrultuda şişme meydana gelmektedir. Şişen zeminlerin başlangıç su muhtevaları şişme davranışını oldukça etkilemektedir. Tabii su muhtevası %15'in altında olan çok kuru killer, genellikle şişme açısından çok tehlikelidirler. Bu tür killer, su muhtevaları ortalama %35'e kadar su absorbe ederler ve şişerler. Bu da oldukça büyük üst yapı hasarlarına neden olabilmektedir. Tabii su muhtevası %30'un üzerinde olan killer, şişmenin büyük kısmını tamamladıklarından ilave genişlemeye uğramazlar. Başlangıç su muhtevası ile doğrudan ilişkili olan kilin birim hacim ağırlığı, kabarmayı etkileyen bir diğer parametredir. Belli bir kuru birim ağırlığının üzerindeki ($17,6 \text{ KN/m}^3$) killer genellikle daha fazla şişme gösterirler (Siyahi ve Hekimoğlu, 1996). Standart penetrasyon deneyi sonuçlarına göre vuruş sayısı 15'in üzerinde olan zeminler, yüksek şişme potansiyeline sahip zeminler olarak dikkate alınabilir.

1.3. Killerin Sınıflandırılması

Killer kimyasal bileşimlerine veya kristal yapılarına göre sınıflandırılırlar. Kil mineralleri, kristal özelliklerine göre sınıflandırılmıştır. Buna göre,

1. İki tabakalı killer, bir adet silis tetrahedral tabakası ile bir adet alüminyum oktahedral tabakasından oluşur.
2. Üç tabakalı killer, iki silis tetrahedral tabakası ile bir adet merkezi dioktahedral veya trioktahedral tabakasından oluşur.
3. Düzenli karışım tabakalı killer, farklı tiplerin tabakalarının istiflenmişleridir.
4. Zincir yapıları killer, hornblend'e benzer silis tetrahedral zincirleri ile AL ve Mg atomlarının içeren hidrotitroksiller ve oktahedral oksijen grupları ile bağlanır. Siyahi ve Hekimoğlu (1996), killeri sekiz gruba ayırmıştır.

1.3.1. Kaolinit grubu

a) Kaolinit: Kaolinit mineralleri bu grubun en yaygın olanıdır. Bütün kil mineralleri gibi silikat yaprağından oluşmuştur. Yapısal bir oktahedral ve bir tetrahedral yaprağın üst üste dizilmesi ile meydana gelir. Bağlantılar rölatif olarak kuvvetlidirler. Hidrojen bağı tabakaları sınıksız tutmakta ve suyun tabakalar arasına girip şişmesini önlemektedir (Tuncan, 1982). Kaolinit kristali çok sayıda (yaklaşık 100 veya daha çok) yaprağın istiflenmesinden oluşur. Bu yaprakları ayırmak zordur. Kaolinit elektrik yükü bakımından nötrdür, fakat su ile temasa gelince hidroksillerin bazıları ayrışır ve hidrojen atomları kristalleri zayıfca negatif yüklü bırakarak, serbest kalırlar: bu negatif yük topraktaki suyun pozitif iyonları ile dengelenirler. İyon değişimi kaolinitte yüksek, montmorillonitte ise düşüktür. Kaolinit taneciklerinin kenarları üzerindeki iyon değişimi hemen gerçekleştiği halde, montmorillonit tabakaları arasındaki şişme ve tabakalar arası açıklığın artması ile meydana gelir (Siyahi ve Hekimoğlu,1996). Kaolinit orta derece bir plastisiteye sahiptir ve diğer kil minerallerinden daha büyük içsel sürtünmeye sahiptir. Bu gruptaki minerallerin özgül ağırlıkları 2.6-2.68 gr/cm³ ve özgül yüzeyleri 10 m²/gr. civarındadır. Kaolinitin tipik formülü, (Si₄Al₄O₁₀(OH)₈) şeklindedir (Önalp, 1997).

b) Dikit ve Nakit: Bu minerallere ender rastlanır ve genel olarak hidrotermal suların bulunduğu yataklarda rastlanır. Bu iki mineral de kaolinitle aynı kimyasal yapıya sahiptir. Ancak çatı yapıları farklıdır.

c) Hallosit: Yapı olarak kaolinite benzer ve 7a kalınlığındaki aynı ünitelerden meydana gelir. Fakat birbirini takip eden üniteler rastgele gruplanır ve basit bir su molekülü ile birbirinden ayrılırlar. Elektron mikroskobu ile incelendiği zaman, çoğunlukla yaprakların yuvarlanması ile oluşan tüp veya çubuk şeklinde oldukları görülür. Kimyasal bileşimi (Al₂O₃2SiO₂4H₂O) şeklindedir.

d) Düzensiz kaolinitler: Refrakter topraklarda birçok kaolinitlerin yaprak düzenlerinin bozulması ile gelirler.

e) **Serpantinler:** Serpantinler de mineralinin yapısı kaolinitinkine benzer, yalnız serpantinde alüminyum yerine magnezyum bulunur. Yapısı magnezyum hidrosilikatlardan meydana gelmektedir. Serpantin kimyasal formülü kaolinitin formülünde oktahedral tabakadaki (2Al₃Mg) ile yer değiştirerek elde edilir. Serpantin kimyasal formülü (2H₂OMg₃O₃2SiO₂) şeklindedir. Serpantin mineralleri elektron mikroskop ile polirizan mikroskopla rahatça incelendiği gibi bazen de mikroskobik olarak çıplak gözle de etüt edilebilir. Kaolinit grubu mineralleri genellikle montmorillonit, illit ve klorit tipi minerallerden SiO₂/Al₂O₃ oranı ile ayrılırlar. Bu oran kaolinit kilinde 2/1 olduğu halde diğerlerinde 3/1 dir.

1.3.2. Mika grubu

a) **Mikalar:** Mikaların yapıları aşağıdaki gibidir.

- 1- Tetrahedral iki tabaka arasında bir oktahedral tabaka,
- 2- Oktahedral tabaka mika çeşitlerini oluşturan değişik karekterdeki iyonlar tarafından donatılmıştır.
- 3- Tetrahedral tabakada 1 silisyum atomu (+4 değerlikli) 4 oksijen atomu ile birleşir, silisyum yerine +3 değerlikli alüminyum ile yer değiştirmesi halinde dengelenmemiş bir açığı meydana gelir.
- 4- Yukarıda bahsedilen bu açık, büyük iyonlar (genel olarak potasyum iyonları) tarafından doldurulur ki bunlar yapraklar arasında yer alırlar ve bağlantıları sağlamlaştırırlar.

b) **Pyrofilit ve talk:** Pyrofilit ve talk 10A civarında yapraklardan oluşmuşlardır. Kimyasal yapısı, ((OH)₂Al₂Si₄O₁₀) şeklindedir. Talk'ın kimyasal yapısı, ((OH)₂Mg₃Si₄O₁₀) şeklindedir.

c) **İllit:** İllit, mika grubunun en yaygın mineralidir. Genel yapısı montmorillonitinkine benzer, ancak silis yaprağında her zaman silisyum atomları (yaklaşık %20) alüminyum atomları ile yer değiştirir. Bu durumda montmorillonit ünitesindekinden biraz daha büyük, residüel negatif bir yük meydana gelir. Diğer taraftan bu negatif yük, değişmeyen potasyum iyonları (K⁺) tarafından büyük miktarda azaltılır. Bu değişmeyen potasyum iyonları kristali oluşturan illit üniteleri

arasındaki başlıca bağları meydana getirir. Tabakalar arasına giren potasyum iyonları bağın kuvvetlenmesine neden olurlar. Dolayısıyla su ve diğer sıvılar tabakalar arasına giremezler. Biri altta ve diğeri üstte olmak üzere iki silika tabakası ile birleşmiş bir Gibsit tabakasından oluşur. Potasyum iyonlarının dengesi için negatif yük, tetrahedral tabakalardaki silika ile alüminyum yer değiştirmesinden meydana getirirler (Tuncan, 1995). Bunlar montmorillonitlerden daha az, içsel sürtünmeleri ise fazladır. Bu gruptaki kil minerallerinin özgül ağırlıkları $2.64-3.00 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişir. Özgül yüzeyleri $80 \text{ m}^2/\text{gr}$. civarındadır. Bileşimleri mikaya benzer, fakat çok küçük yapraklıdır. Kısmi olarak oktahedral alüminyum iyonları ile Mg , Fe^{++} , Fe^{+++} iyonları sık sık yer değiştirirler. İllitin tipik formülü: $(\text{Si}_4\text{Fe}_4\text{O}_{20}(\text{OH})_4)$ şeklindedir (Özalp, 1997).

d) Politip muskovit: Bunların birçok çeşitleri vardır. Yapılarını oluşturan tabakaların istif şekli ile birbirinden ayrılırlar.

e) Glokonit ve glokoniler: Bunların mineral yapıları mikaya yakındır. Birçok kimyasal analiz bazik lavların aliterasyonundan meydana gelen glokonit ve seladonitleri arasında yapısal bakımından bir fark olmadığı ortaya koymuştur. Yapısal formülleri illitinkine benzer.

1.3.3. Montmorillonit grubu

Bu grubun doğada en çok rastlanan minerali montmorillonittir. Ana bileşimi bir alüminyum levhası ile bunun tarafından gelen iki silis tabakasından oluşur. Bu ünite de levhalar hidroksil ve oksijen tabakaları üst üste gelmek suretiyle meydana gelir. Kalınlığı yaklaşık 10 \AA dır. Diğer iki doğrultudaki boyutları değişiktir. Oktahedral yaprak alüminyum, demir, magnezyum veya bu atomların kombinasyonunu içerebilir. Zemin suyunun içindeki Sodyum (Na^+), Kalsiyum (Ca^{++}), Potasyum (K^+) veya benzeri katyonları üniteleri tarafından çekilirler ve önemli miktarda (yaklaşık %80) negatif yükü azaltır. Bu katyonlar kolayca değişebilir. 10 \AA luk üniteleri bir kitabın yaprakları gibi birbiri üzerine istiflenmiştir. Üniteler arasındaki bağlar değişebilir katyonların karşılıklı bir çekimi ile meydana gelir. Bu çekimde Van der Waals kuvvetleri çok zayıftır. Ca-Montmorillonit kili

relatif olarak şişme potansiyeline sahip değildir. Suyu karşı hassaslığı Na-Montmorillonit kilinden daha azdır. Üniteler arasındaki bağlar zayıftır. Ve genellikle değişebilir. Katyonların cinsine bağlıdır. Bu bakımdan bu gruba mensup kil minerallerinin üniteleri arasına su kolayca etki eder. Böylece montmorillonit miktarı yüksek olan zeminler, içerdikleri değişebilir katyonların doğasına bağlı olarak önemli miktarda şişme veya büzülme gösterebilirler. Montmorillonit yaprakları su ile (su tabakası ile) sarılmış olup ıslandıkları zaman yüksek plastisiteye ve düşük içsel sürtünmeye sahiptir. Kurudukları zaman çok fazla miktarda büzülme ve çatlama gösterirler. Bu gruptaki killerin özgül ağırlıkları 2.2.-2.3 gr/cm³, özgül yüzeyleri ise 800 m²/gr civarındadır. Bu grupta montmorillonitten başka saponit, hektorit, sakonit, nontronit gibi minerallerde vardır. Montmorillonit formülü (Si₈Al₄O₂₀(OH)₄.nHO) şeklindedir. Bir kısım Al yerine Na, Fe, Mg girebilir. NH₂O terimi levhalar arasındaki su tabakasını gösterir. N harfi her biri su molekülü kalınlığındaki suyun kaç tabaka halinde bulunduğunu gösterir. Montmorillonit yaprakları arasındaki bağlar o kadar zayıftır ki; değişik miktarlarda su bu yapraklar arasına girer ve çoğunlukla 14 Å civarında istiflenmeyi mümkün kılar.

a) Bentonit: Büyük şişme özelliği gösteren bentonit bir montmorillonit çeşidi olup, koloidal bir kildir. Su ile temas ettiğinde çok fazla şişer ve tiksotropik jeller teşkil eder. Bentonit koloidal alüminyum hidrosilikattır. Ve hacmi su ile 10-30 misli artar, bu şişme tersinirdir. Bentonitler zayıf konsantrasyondaki alkali çözeltiler tarafından koloidal hale getirilirler ve aksine zayıf konsantrasyonlu asitler, sulandırılmış alkali çözeltiler ve kuvvetli konsantrasyonlu asitler tarafından çözülürler. Eğer bentonit saf su ile şişerse bir alkalın (NaOH) ilave edilirse jel teşekkül eder ve gitgide koyulaşır. Aksine olursa koloidleşme olur ve jel sulanır. Sıcaklık ve şişme özelliği arasında belirli paralellik vardır. Bentonit koloidal özelliklerinden dolayı ayrılma yüzeyini yoğunlaştırır. Özellikle bentonit, yağ emilsiyonlarının veya hidrokarbon bağlayıcıların bağlayıcılık özelliklerini kuvvetlendirir. Aynı nedenden dolayı bentonit, az su ile yüksek bir yapışkanlık özelliğine sahip olabilmektedir. Ağırlık olarak 5/1000 oranında sulandırılmış bentonit süspansiyonu hiçbir çökme olmaksızın stabil kalır. Bentonit negatif bir koloidtir. Bentonit'in tanelerinin %80 kadarı 1 mikrondan daha küçüktürler.

1.3.4. Kloritler grubu

Sedimanter kayalar içerisinde bulunurlar. Bazı sedimanların başlıca bileşenleri kloritler oluşturlar. Kloritlerin yapısını mika ve Brusit tabakaları meydana getirir. Kloritin tipik formülü $((SiAl)_8Mg_6O_8)$ şeklindedir.

1.3.5. Vermikülit grubu

Eş boyutlu genişleyebilen, mika görünüşünde bir mineraldir. Montmorillonitlerden daha az şişme ve tabakaların daha bir istiflenme göstermesi bakımından ayrılırlar. Vermikülit uzun zaman trioktahedral bir mika olarak kabul edilmiştir. Yapısını oluşturan tabakaların arasında su moleküllerinin bulunuşu ile mikadan ayrı bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Vermikülitin yarısı nötr değildir. Yaprakları arasındaki genellikle Mg ve bazen de Ca dan ibaret olan iyonlar vasıtasıyla denge sağlanır. Vermikülit X ışınları ile incelendiğinde, 14 Å luk dane kalınlığına sahip olduğu, fakat bunun sabit olmadığı gözlenmiştir. Kalınlıktaki bu değişiklik katyonların yapraklar arasında yer değiştirmesinden ileri gelir.

1.3.6. Smektit grubu

Smektit grubu mineralleri prototip yapısı, oktahedral tabaka iki silis tabakasının arasına yerleşmiştir. Bu nedenle smektitler, 2:1 tabakalı grubun üyesidirler. Tetrahedronların uçları, kristal birimin merkezine dönüktür. Tabakalar arası bağ Van Der Waals ve katyonlarla sağlandığından oldukça zayıftır. Bu katyonlar, birimin elektriksel yükünü dengelemek amacıyla yapıda yer alırlar. Bu zayıf bağlar, küçük kuvvetlerle veya su emilmesi sonucu kolaylıkla kopabilirler. Bu olay sonucunda, hacimde büyük artışlar olmakta, bu engellendiğinde ise yüksek şişme basınçları oluşmaktadır (Mollamahmutoğlu ve Taşkiran, 2000).

Kristalin teorik yapısı katyonlar hariç $Si_8Al_4O_{20}(OH)_4nH_2O$ dur. Mg, Fe, Zn, Ni ve Li bu katyonlardandır. Bu gruba giren mineraller beidellit, nontronit, hektorit, saponit ve en sıkça rastlanan ise montmorillonit dir. Tabakalar arası katyonun potasyum olması durumunda oluşan K- montmorillonit, illit'e benzemekle beraber, yüksek su alma potansiyelini kaybetmez. Özgül yüzeyleri çok büyük olan smektitler, tabakalar arası yüzey hariç, birincil yüzeyleri 50-150 m²/g iken, kristal kafesin

genleşmesiyle, ikincil yüzeyler belirir ve alan 700-840 m²/g'a yükselebilir (Mollamahmutoğlu ve Taşkiran, 2000).

1.3.7. Karışık tabakalı killer

Zeminler, çoğunlukla birden fazla kil mineralini birlikte ihtiva ederler. Klorit, biotit, vermikülit veya biotit, klorit bulunur. İçerisinde çok sayıdaki yapraklarda illit, montmorillonit, vermikülit ve klorit bulunur. İllit-Montmorillonit (İ-M), Montmorillonit-Vermikülit (M-V), İllit-Vermikülit (İ-V), Montmorillonit-Klorit (M-K), İllit-Klorit (İK9, Vermikülit-Klorit (V-k)), şeklindedir.

1.3.8. Attapujitler ve sepiolitler grubu

a) Attapujitler: Bunların yapısında eşit miktarda Al ve Mg ihtiva eden alümine-magnezyum silikat mevcuttur.

b) Sepiolitler: Sepiolitler hidrotermal damarlarda, göl veya deniz yığınlarında bulunur. Sepiolitlerin yapısı, alüminyumun çoğunlukla aralıklı olarak bulunduğu bir magnezyum silikatıdır.

1.3.9. Alüminyum ve demir oksitler ve hidroksitler

Alüminyum ve demir oksitler ve hidroksitler aliterasyon yığını ve bakımından zengin taşlar içerisinde bulunurlar.

1.4. Şişen Kil Zeminlerin Orijini

Şişmeye yol açan kil minerallerinin ana kaynağı mağmatik kayalar, özellikle de bazalttır. İçerisindeki feldspat bulunan metamorfik ve püskürük kayaların kimyasal ayrışması sonucunda ortaya çıkan montmorillonit, şişmeye neden olan kil mineralidir. Siyahi ve Hekimoğlu (1996), şişmenin ayrışma koşulları ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermişlerdir. Montmorillonit ve kaolinitin her ikisi de mağmatik kayaların ayrışması sonucu oluşan minerallerdir. Ayrışma koşullarındaki farklılıklar nedeni ile montmorillonit yüksek, kaolin ise düşük şişme potansiyeline sahiptir. Ayrışmamış kayalardaki ana kil minerali klorittir. Kayaların permeabilitesinin çok düşük olması nedeni ile ayrışma sırasında yıkama oluşur ve klorit, smektite dönüşür.

Hekimoğlu (1996), bazaltın ayrışma sırasında katyon teminine çalıştığını, bunun da Ca ve Mg olarak montmorillonitin oluşumuna katkıda bulunduğunu belirtmişlerdir.

1.5. Şişen Kil Zeminlerin Fiziksel Özellikleri

Kil danelerinin mineralojik özelliklerinin yanında, zeminin su muhtevası değişikliğinden etkilenen emme kapasitesi de, kil zeminlerde şişmeye yol açan önemli bir faktördür. Doygun bir kil zemin kütlesinde yapılacak bir kazı esnasında ise, zeminde önceden mevcut olan negatif boşluk basıncı etkisi ile gerilme boşalması meydana gelir. Böyle bir durumda su kazı çukuruna akacak ve kabarma meydana geleceği belirtilir.

Şişen zeminlerin başlangıç su muhtevası, şişmenin miktarını kontrol etmektedir. Holtz (1959), yaptığı deney sonuçlarından tabii su muhtevası %15'in altında olan çok kuru killerin genellikle şişme açısından tehlikeli olduğunu belirtmiştir. Bu killerin su muhtevaları %35'e ulaşıncaya kadar su absorbe edip kabardıklarını belirtmiştir. Tam tersine, %30'un üzerinde su muhtevasına sahip killer, kabarmanın çoğunu tamamlamış olduklarından, önemli miktarda ilave bir şişme yapmayacaklarını tespit etmiştir.

1.6. Killi Zeminlerde Şişme Özelliğinin Tanımlanması

Şişme özelliği olan, kısmen doymuş zeminler, su ile karşılaştıklarında, hacim değiştirirler ve şişmelerine engel olmadığı takdirde ise basınç uygularlar. Bu basınç 'şişme basıncı' olarak adlandırılır. Şişen zeminlerin bu özelliklerini ölçmek amacıyla, uygulanan deneysel yöntemler; 'şişme potansiyeli' olarak adlandırılan hacim artışını ya da 'şişme basıncını', suya doymuş hale gelinceye kadar ölçmeye dayanırlar.

'Şişme potansiyeli' laboratuvarlarda belli şartlarda sıkıştırılmış veya tabii (örselenmemiş) bir zemin numunesinin belirli yük altında, sıfır yanal deformasyon durumunda suya doymuş hale gelinceye kadar göstermiş olduğu düşey şişme miktarının, numunenin ilk yüksekliğinin yüzdesi olarak ifadesidir. Bu değer, sıfır yanal deformasyon şartlarında aynı zeminde hacimsel artış yüzdesidir. Şişme

potansiyeli ölçülürken kullanılan ring çapları 50 mm- 112mm, yükseklikleri ise 12mm-37mm arasında değişmektedir. Numuneye uygulanan sürşarj yükleri ise 1 kPa-71,6 kPa arasında değişebilmektedir. Bu farklılıkların sebebi, numune ile ring arasındaki sürtünmenin azaltılması ve numune içine su girişini kolaylaştırmak ise de neticede farklı deneysel süreçlere ve şişme karakteristiklerinin bu farklılıklar göz önüne alınarak tanımlanmasına yol açmıştır. Genellikle, deney başlangıcında numuneye uygulanan basıncın 7 kPa ve daha az olması halinde, elde edilen şişme ‘serbest şişme (free swell)’ olarak alınır. Bundan daha büyük yükler altında elde edilen şişme değerleri; uygulanan gerilmenin yerindeki gerilme civarında olması halinde ‘sürşarj altında şişme (swell under overburden)’, bundan farklı gerilmeler altında ise ‘yükli şişme (swell under load)’ olarak alınır (Mollamahmutoğlu ve Taşkiran, 2000).

Şişme basıncı ise, şişme potansiyeline sahip killi bir zeminin, bir şekilde su muhtevasının artması durumunda, meydana gelecek hacim değişikliğine engel olabilecek basınç, şişme basıncıdır. Buna, zeminin başlangıç hacmini koruyabileceği basınç da denebilir. Şişme basıncı, belli bir zemin için sabittir ve başlangıçtaki kuru birim hacim ağırlığına bağlıdır. Şişme basıncı deneyleri de ödometre koşullarında gerçekleştirilir (Yıldırım ve Acar, 1994).

1.7. Şişen Zeminlerin Tespiti, Nitel ve Nicel Yöntemlerle Değerlendirilmesi

Şişebilir olması için kilin ‘kil muhtevasının’ birleştirilmiş zemin sınıflandırılmasında, muhtemelen CH yada CL (bazı ML, MH ve SC zeminleri dahi şişebilmektedirler) sınıfına ait olması gerekir. Gromko (1974), arazide, potansiyel olarak kabaran bir kilin mevcudiyetinin, onun genellikle fisürlü ve parçalı olan yapısından, parçaların parlak yüzeylerinden anlaşılabileceğini, ayrıca o çevrede mevcut şişen zeminlerin sebep olduğu açıkça belli olan yapısal hasarlardan da tespit edilebileceğini belirtmiştir.

Şişme potansiyeline sahip zeminlerin; kuru mevsimlerde geniş ve derin büzülme çatlaklarına sahip olduklarına, kuru iken kaya gibi sert, ıslanınca yumuşak ve yapışkan bir görünüm verdiklerine dikkat çekmişlerdir. Şişen bir zeminin gözlemsel

olarak bir görünüm verdiklerine dikkat çekmişlerdir. Şişen bir zeminin gözlemsel olarak tanımlanmasında bu hususların dikkate alınmasını önermişlerdir.

Şişme özelliği olan zeminlerin şişme karakteristiklerini ölçmek amacıyla, çok sayıda deney ve değerlendirme yöntemi bulunmasına karşın, bunlardan hiçbiri uluslararası hatta geniş kullanım alanına sahip değildir. Bu mutabakatsızlık hatalara ve sonuçta farklı değerlendirmelere yol açmaktadır (Mollamahmutoğlu ve Taşkiran, 2000).

Bu yöntemler temelde iki grupta toplanabilirler. Bunlardan ilki ‘niteliksel’ yöntemler olup; atterberg limitleri, kolloid içeriği, birim hacim ağırlıkları v.s. gibi yaygın zemin parametreleri ile korelasyonlara gidilerek zeminin şişme potansiyelini ‘düşük’, ‘orta’, ‘yüksek’, ‘çok yüksek’ gibi ifadelerle, ve ampirik yöntemle değerlendirmeye dayanmaktadırlar. İkinci grup ise ‘niceliksel’ yöntemleri içermektedir. Bu yöntemde ise, ödometre kullanılarak zeminin tek eksenli şişme değerleri elde edilir.

1.7.1. Nitel yöntemler

Bu değerlendirme yönteminde, yaygın zemin deneylerinden elde edilen parametreler ile (Atterberg limitleri, kolloid oranı, kil yüzdesi, birim hacim ağırlıkları, başlangıç su muhtevası v.b. gibi) korelasyona gidilmesi esas alınmıştır. Bu korelasyonlar yaklaşık olup, özellikle ön değerlendirme safhasında faydalıdır.

Aşağıda şişen zeminlerin nitel yöntemle değerlendirmek amacıyla en sık kullanılan korelasyonlar verilmiştir.

Temel mühendislik özellikleri ile şişme potansiyeli arasında çok sayıda korelasyon önerilmiştir. Çizelge1.1.’de Mollamahmutoğlu ve Taşkiran (2000), şişme potansiyelinin yaygın zemin deneyleri ile korelasyonu verilmiştir.

Çizelge 1.1. Yaygın zemin deneyleri ile korelasyonlar (Mollamahmutoğlu ve Taşkıran, 2000)

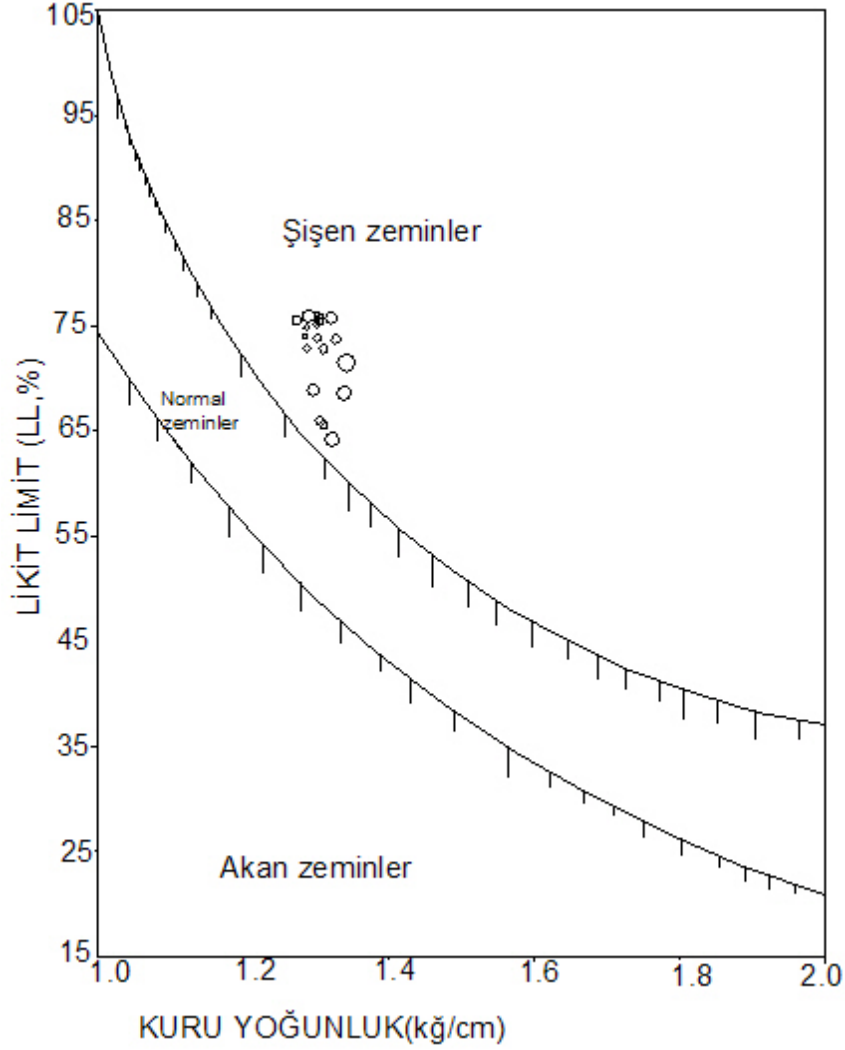
Laboratuvar ve arazi verileri			Şişme dereceleri		
200 nolu elekten geçen	Likit limit	SPT N değeri	Muhtemel Şişme (%)	Şişme Basıncı (kPa)	Şişme potansiyeli
<30	<30	<10	<1	50	Düşük
30-60	30-40	10-20	1-5	150-250	Orta
60-90	40-60	20-30	3-10	250-1000	Yüksek
>95	>60	>30	<10	>1000	Çok yüksek

Şişme potansiyeli, zeminin ihtiva ettiği kil mineralleri ve kil muhtevasına bağlıdır. Çeşitli araştırmacılar, şişme potansiyelini zeminin içerdiği kil tipi veya yüzdesini yansıtan endeks özelliklerine bağlı olarak ifade etmişlerdir. Yıldırım ve Acar (1994), USBR (United States Bureau of Reclamation) tarafından yapılan araştırma sonuçlarını Çizelge 1.2.'de verildiği gibi özetlemişlerdir. Çizelgede görüleceği gibi plastisite indisi ve kolloid içeriği (<0.001 mm) arttıkça şişme potansiyeli artmakta, rötre limiti artarken ise azalmaktadır. Çizelgede korelasyon noktalarının dağınık olmasının nedeni, deneylerin farklı mineral içeriklerine sahip örselenmemiş numuneler üzerinde gerçekleştirilmiş olmasıdır.

Çizelge 1.2. Endeks özellikleri ve muhtemel hacim değişikliği (Yıldırım ve Acar, 1994)

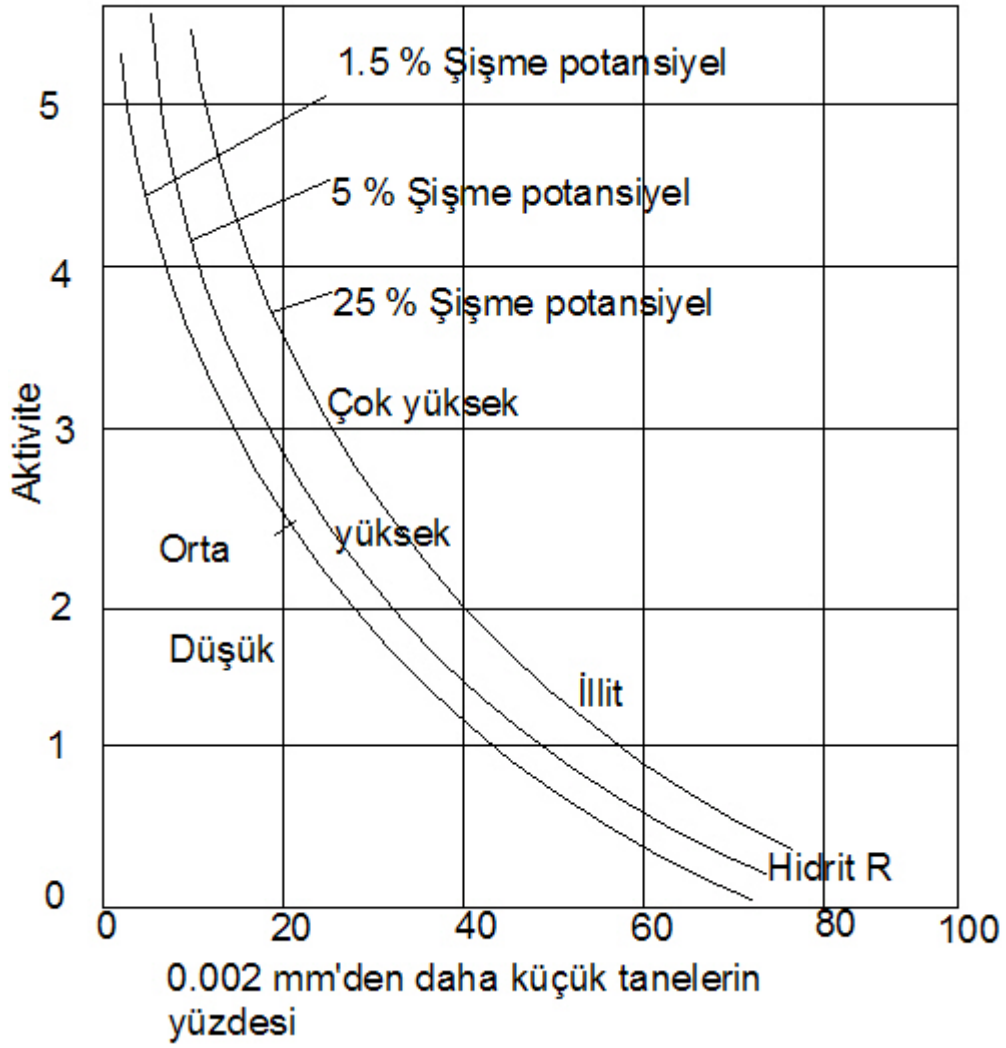
İndeks özellikleri			Muhtemel Şişme (%)	Şişme derecesi
Kolloid Muhtevası <0.001 mm	Plastisite İndisi (PI)	Rötre Limiti (RL)		
>28	>35	<11	>30	Çok yüksek
20-31	25-41	7-12	20-30	Yüksek
13-23	13-28	10-16	10-20	Orta
<15	<10	>15	<10	Düşük

Tosun, Birden ve Diyar (1998), Şekil 1.3.'te şişen ve çöken zeminleri ayırmak amacıyla, likit limit ve kuru yoğunluk değerlerini kullanarak bir sınıflandırma abağı oluşturmuşlardır.



Şekil 1.3. Da linov abağı

Şekil 1.4.'te Seed ve ark. (1962), şişme potansiyeli açısından zeminlerin sınıflandırılmaları için bir abak önermişlerdir.



Şekil 1.4. Şişme potansiyeline göre sınıflandırma (Seed ve ark., 1962)

Şişme potansiyelinin en iyi göstergesi plastisite indisi olarak kabul edilmektedir. Plastisite indisi ve şişme potansiyeli mertebesi tahmini için yaygın olarak kullanılan bağıntı çizelge 1.3.'de verilmiştir.

Çizelge 1.3. Plastisite indisi ile şişme potansiyeli arasındaki bağıntı (Yıldırım ve Acar, 1994)

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

Şekercioğlu (1998), şişme potansiyelini ampirik bir metotla belirlemek için bir bağıntı vermiştir.

$$S=3,6 \cdot 10^{-5} \cdot A^{2,44} \cdot C^{3,44}$$

S=Şişme potansiyeli

A=Aktivite

C=Kil yüzdesi (<0.002 mm)

1.7.2. Niceliksel yöntemler

Niceliksel yöntemlerde; zeminin şişme potansiyeli ödometrik yöntemle elde edilir. Ancak, şişme potansiyeli için birden fazla tanımlama mevcut olup uygulamada ise, çok sayıda farklı deney metodu önerilmiştir. Niceliksel yöntemlerde ödometre kullanılarak, numunelerin çok küçük yükler altında ‘serbest şişme yüzdeleri’ veya numune üzerine nispeten daha büyük yükler konularak ‘yükli şişme’ değerleri elde edilebilir. Sabit hacimli şişme (CVS), Modifiye şişme (MSO), Sürşarj altında şişme (SUO) en çok kullanılan yükli şişme deneyleridir.

1.8. Şişen Zeminlere Etki Eden Faktörler

Bir zeminin arazide şişme gösterip göstermeyeceği pek çok faktöre bağlıdır. Şişme özelliği olmayan bir zemin arazideki şartlar ne olursa olsun şişmeye uğramaz. Öte yandan şişen zeminler, zeminin başlangıçtaki fiziksel durumuna, daha sonra uğrayacağı gerilme ve su içeriği değişikliklerine bağlı olarak az veya çok ve hatta çökme gösterebilir. Mollamahmutoğlu ve Taşkiran (2000), çalışmalarında, şişme olayına etki eden faktörleri sınıflandırmıştır (Çizelge 1.4). Çizelgede sıralanan faktörlerden katı madde içeriği, kil minerallerinin türü ve miktarını yansıtır ve potansiyel hacim değişimini belirler. Geriye kalan zemin özellikleri ve çevresel koşullar şişmenin hızı ve miktarını belirlemede etkili olurlar.

Çizelge 1.4. Şişmeyi etkileyen faktörler

Faktörler	Tanımlama
<u>Zemin özellikleri</u>	
Katı Madde İçeriği:	Montmorillonit içeren aktif kil mineralleri ve montmorillonit ve diğer kil minerallerinin kombinasyonu ile oluşan karışık tabakalı killer
Boşluk Sıvısı Tuz : Kombinasyonu	Boşluk sıvısındaki yüksek katyon konsantrasyonu şişme özelliğini azaltma eğilimindedir. Osmoz yoluyla şişme uzun sürede önem kazanır.
Boşluk Sıvısı İçeriği:	Tek değerlikli katyonların fazlalığı büzülme-şişme özelliğini artırır. İki ve üç değerlikli katyonlar ise büzülme-şişme özelliğini engeller.
Kuru Yoğunluk:	Yüksek kuru yoğunluk, partiküllerinin daha sıkı dizilmelerine ve şişmenin artmasına yol açar.
Yapı:	Foleküler yapılar, dağınık yapılara oranla daha fazla şişerler, çimentolanmış partiküller ise daha az şişerler. Ayrılmış dokular şişmenin artmasına yol açarlar.
İklim:	Kurak iklimler kurumayı artırırken, ılıman iklimler, zeminin nemli kalmasına neden olurlar.
Yeraltı Suyu:	Yüzeysel ve değişken yer altı suyu zemin nemine kaynak oluşturur ve şişmeye yol açar.
Drenaj:	Yetersiz yüzey drenajı nem birikimi ve göllenmeye

	neden olur.
Bitki Örtüsü:	Ağaçlar, çalılar, otlar zemin neminin azalmasına yol açarlar. Bitki örtüsünün alındığı yerlerde ise nem birikimi oluşur.
Yanal Basınç:	Yüksek yanal basınç, şişmenin azalmasına yol açar. Kazı alanları daha fazla şişerler.
Arazi Permeabilitesi:	Figürler, permeabiliteyi önemli ölçüde arttırır ve daha çabuk şişmeye neden olurlar.

Arazide meydana gelen şişmenin miktarı çok sayıda faktöre bağlıdır. Tabaka kalınlığı, zemine gelebilecek suların kaynakları, başlangıç yoğunluğu ve su muhtevası, sürşaj yükü, yer altı su seviyesi ve aktif bölge derinliği bunlar arasında en önemlileridir. Bunların dışında, zemin yüzeyinde geçirimsiz alanların oluşturulması, kırık su borularından gelen sızıntılar v.s. insan faktörü etkenlerde şişme olayında etkilidirler.

Killerin şişme davranışında en etkili 3 parametre; başlangıç su muhtevası, başlangıç kuru birim hacim ağırlık ve sürşaj yüküdür. Zeminlerin su muhtevasında bir artış olmadan zeminin şişmesi beklenmez. Kuru bir zeminin ıslak bir zemine oranla daha fazla şişme göstereceği bilinen bir gerçektir. Dolayısıyla kilin su muhtevasının yüksek olması nispetinde şişme potansiyeli ve şişme basıncı azalacaktır. Sabit su muhtevasında kuru birim hacim ağırlığının artması ile şişme yüzdesi ve şişme basıncının arttığı bilinmektedir. Çeşitli sürşaj yükleri altında ölçülen şişme değerlerinde sıkıştırılmış numuneler için sürşaj yükü arttırıldığında numunelerin şişme potansiyellerini azaltıcı yönde etki yapmaktadır.

Killerin gerilme tarihçesi de nihai şişme miktarını belirleyen faktörlerden biridir. Daha önce aşırı yüklenmiş ve boşaltılmış numuneler ön yükleme almamışlara oranla daha az şişme gösterirler. Ön yükleme işlemi negatif boşluk basıncının azalmasına ve foleküler yapının disper yapıya dönüşmesine yol açmaktadır. Foleküler yapılar şişmeye karşı daha hassastırlar (Mollamahmutoğlu ve Taşkıran 2000).

Kuruma-ıslanma tekrarlarına maruz kalan doğal depozitlerin yığılma ve depolanma süreçlerinde Ca, Mg, Al ve Fe bileşikleri etkili olurlar. Bu tür çimentolanma süreçleri zeminin kırılma özelliğinin artmasına ve bağlanmış kil gruplarının oluşturduğu kümelerin özgül yüzeylerinin azalmasına neden olur. Neticede örselenmemiş killi zeminler, siltli zeminler gibi davranmakta ve benzer durumdaki sıkıştırılmış zeminlere göre daha az şişmektedir. Bu durum şişme yorulması olarak (fatigue of swelling) adlandırılmaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Mollamahmutoğlu ve Taşkiran (2000), çalışma alanından elde edilen tüp numuneler kullanılarak; zemin sınıflandırma, serbest şişme yüzdesi (Free swell), sabit hacimli şişme (Constant volume swell) deneyleri yürütmüş ve X-Ray diffraksiyonu ile mineralojik analizler yapmıştır. Deneysel temel zemin parametreleri ile, farklı araştırmacılar tarafından önerilen korelasyonlara gidilerek, mevcut zeminin şişme özellikleri niteliksel yöntemlerle değerlendirmiştir. Ayrıca çevresel faktörlerin şişme derecesi üzerindeki etkileri irdelenerek, mevcut zeminin köken ve oluşum süreçleri – mineral yapı - şişme ilişkileri araştırmıştır. Çalışmalar sonucunda, mevcut kilin; kökeninin bazalt ve tüflerin oluşturduğu rezidüel karakterli, içerdiği smektit minerallerinin oluşmasına uygun ortam koşullarına sahip şişebilir özellikte (potansiyel şişebilir) olduğunu tespit etmiştir. Niteliksel ve deneysel şişme değerleri elde edilmiş ve bunların, özellikle az katlı yapılar, yol kaplamaları ve su, kanalizasyon dağıtım sistemlerine “orta derecede hasar verebilir” olacağı sonucuna varmıştır.

Yıldırım ve Acar (1994), çalışmalarında zeminlerin şişme potansiyelini etkileyen başlıca faktörler arasında yer alan önceden yüklemenin dolayısıyla aşırı konsolidasyon oranının şişme davranışı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Laboratuarda hazırlanmış aktif kil mineralleri içeren zemin numuneleri üzerinde ödometre aletiyle, sabit hacim şartları altında şişme basınçlarını belirlemiştir. Daha sonra, aynı zemin numunelerini farklı ön yük değerlerinde konsolide etmiş ve şişme basınçlarını tespit etmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen grafikler de aşırı konsolidasyon oranları ile şişme basıncı arasındaki ilişkiyi tartışmıştır.

Pampal ve Gökçe (2001), Ankara ilinin farklı semtlerinden alınan “Ankara kilinin örselenmemiş numuneleri üzerinde yaptığı çalışmada; zemin sınıflandırma,

konsolidasyon, serbest şişme ve üç eksenli (UU) basınç deneylerini yapmıştır. Ve Deneysel numuneleri Viajvergiya and Gazzalay, (1973) tarafından verilen korelasyonlarını yorumlayarak şişme potansiyelini %1.8 olarak belirlemiştir.

Mollamahmutoğlu ve Güngör (2002), Bursa Çevre Otoyolu İnşaatı işi kapsamında, kazılarda karşılaşılan yüksek şişme potansiyeline sahip killerin, yol dolgularında kullanımı amacıyla, Orhaneli Termik Santralinden temin edilen uçucu kül ile ıslahı üzerinde deneysel çalışmalar yürütmüştür. Araştırma sırasında ıslah edilecek kil ile kullanılacak uçucu külün kimyasal, fiziksel ve mineralojik özellikleri tespit etmiş, kile belirli oranlarda uçucu kül katılarak standart proctor deneyleri, şişme basıncı ve şişme yüzdesi deneylerini yapmış, Yollar Fenni Şartnamesini sağlayan minimum kül yüzdesini belirlemiştir. Karışımın kür koşullarında, dayanım ve şişme özellikleri, bu özelliklerin zaman içinde değişimi ile kullanılan uçucu kül ve kilin mineralojik özelliklerinin şişme davranışına olan etkisini araştırmıştır.

Tosun ve ark. (1998), Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) kapsamında kalan Harranovası IV. Kısım Sulaması temel zemininin şişme potansiyeli üzerinde araştırma yapmış ve sulama yapıları yönünden oluşabilecek muhtemel problemleri değerlendirmiş ve konuyla ilgili çözümleri tartışmıştır.

Yıldırım (2002), yüksek emme kapasitesine sahip olan killi zeminlerin yüksek şişme potansiyeli de göstereceklerini, dolayısıyla bu tip zeminlerde yüksek şişme basınçları ve önemli şişme problemleri bekleneceğini belirtmiştir.. Şişme basınçlarının ve bunu etkileyen önemli faktörlerden olan emme kapasitesinin önceden belirlenmesi ile gerekli önlemler alınabileceğini söylemiştir.. Şişme basıncını etkileyen diğer önemli faktörlerden bazıları zeminin kuru birim hacim ağırlığı, plastisite indisi ve başlangıç su muhtevası olduğunu belirterek, şişme basıncının ve emme kapasitesinin belirlenmesinde pek çok deneysel yöntem geliştirilmiştir. Ancak bu deneylerin uzun zaman aldığı bu yüzden, bu çalışmada, şişme basıncını etkileyen plastisite indisi, kuru birim hacim ağırlık ve başlangıç su muhtevası gibi tespitleri kolay zemin özellikleri kullanılarak, şişme basıncı ve emme

deneilerini yapmaya ihtiyaç duyulmadan hem şişme basınçlarını hem de emme kapasitelerini belirlemiştir

3.MATERYAL ve YÖNTEM**3.1. Materyal****3.1.1. Çalışma alanının tanıtımı, coğrafi konumu, morfolojisi, çevre ve iklim özellikleri**

Çalışma alanı; Şanlıurfa Germuş (Dağeteği) Yöresinde yer alan yaklaşık 10 000 dekarlık ilin yeni imar alanıdır. Dağeteği köyünün güneyinde yer alan parsellerin kuzeyinde Doktorlar (Villaşehir) sitesi ve güneyinde ise Şanlıurfa-Viranşehir karayolu, doğusunda Edene köyü yolu ve Aydoğdu köyü, batısında DSİ bazalt ocakları yer almaktadır. Çalışma alanını gösteren harita ekte verilmiştir.

Çalışma alanı coğrafi konum itibariyle Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Şanlıurfa İli Merkez İlçesi Dağeteği köyü mevkiinde Şanlıurfa-Viranşehir karayolunun 10 km. de karayolunun kuzeyinde yer almaktadır. Çalışma alanı; Viranşehir ilçesine yaklaşık 60 km, Şanlıurfa'ya ise 10 km uzaklıktadır. İklim bölgeye has karasal iklimdir. Bölgede kışlar soğuk ve yağışlı, yazlar sıcak ve kurak geçmektedir. Bölgede en soğuk aylar Ocak-Şubat, ortalama sıcaklık derecesi -11.5 °C; en sıcak aylar Temmuz-Ağustos ortalama sıcaklık derecesi 46.3 °C ve yıllık ortalama sıcaklık derecesi ise 18.2 °C'dir.

Çalışma alanı ve çevresi az eğimli (%0-12 civarında) bir arazi kesimidir. Çalışma alanının hakim eğimi ise yatay ve %3 arasında değişmektedir Çalışma alanında jeolojik birimlerin tekdüze bir özellik gösterdiği belirlenmiştir.

3.1.2. Çalışma alanının jeolojisi

3.1.2.1. Genel jeoloji-tektonik

Bölgedeki jeolojik birimler yaşlıdan gence doğru aşağıdaki gibidir. Şanlıurfa ve çevresindeki temel kaya birimi; Eosen-Alt Miyosen yaşlı Midyat grubu oluşturmaktadır. Urfa ve yakın çevresinde Midyat grubu tabanda Eosen-Oligosen yaşlı Gaziantep formasyonu ve bunun üzerinde de Alt Miyosen yaşlı Fırat formasyonu ile temsil edilmektedir. Gaziantep formasyonu bölgede esas olarak tabanda marnlardan ve bunlar üzerinde de çörtlü kireç taşı ve Nummulitli kireçtaşlarından oluşmaktadır. Formasyonun taban kesimlerinde izlenen marnlar beyaz, krem renkli, oldukça dağınık ve ince-orta tabakalıdır. Marnlar üzerine uyumlu olarak gelen çörtlü kireçtaşları kili beyaz renkli, tebeşirli, gevrek, sert yapılı, düzenli kırıklı ve yüksek derecede erime boşlukludur. Yayvan bir coğrafyaya sahip olan kireç taşları orta-kalın tabakalanmalıdır. Formasyonun en üst seviyelerinin ise bol nummulites kavkuları içeren kalın tabakalı, yer yer masif kireç taşları oluşturmaktadır. Oldukça kırıklı ve yüksek derecede boşluklu kireçtaşları, alttaki çörtlü kireçtaşlarına göre zayıf dayanımlıdır.

Gaziantep Formasyonu'nun üzerine uyumlu olarak Alt Miyosen yaşlı Fırat formasyonu gelmektedir. Tamamen karbonatlardan meydana gelen bir istiftten oluşan, tabanında masif, pembe renkli kireçtaşlarından, orta kesimlerde krem-pembe renkli, som ve kalın tabakalı çörtlü kireçtaşlarından üst kesimlerinde ise gri-beyaz-pembe renkli masif kireçtaşlarından oluşmaktadır. Kireçtaşları yatay veya yataya yakın duruşlu, bol kırık ve çatlaklı, aynı zamanda yaygın erime boşlukludur.

Midyat Grubu bir bütün olarak değerlendirildiğinde, başlangıçta nispeten derin (derin şelf), daha sonra giderek sığlaşan (sığ şelf) bir ortamda çökelmiştir.

Midyat grubu üzerinde bölgede Şelmo formasyonu olarak bilinen Üst Miyosen yaşlı bir birim gelmektedir. Akçakale Grabeni içerisinde kalın bir istif sunan bu karasal birim, esas olarak pembe-kırmızı renkli kumtaşı, çakıl taşı ve gölsel kireçtaşlarından oluşmaktadır.

Şelmo formasyonu üzerine özellikle Diyarbakır-Urfa arasında yaygın yüzeylemeler veren Siverek grubu bazaltları uyumsuz olarak gelir. Pliyosen yaşlı olan ve yaklaşık 50-70 m arasında değişen kalınlıklar gösteren bazaltlar esas olarak 4 evrede oluşmuşlardır. İmpaktojen bir riftleşme ürünü olan bu bazaltlar esas olarak alkalin, ender olarak toleyitik karakterde ve tamamen olivinli bazalt karakterindedir.

Bölgenin en genç birimini alttaki birimler üzerine uyumsuzlukla gelen kuvaterner alüvyonlar oluşturmaktadır. Bu çökeller genel olarak tutturulmamış veya zayıf çimentolu silt, kum ve çakıl depolanmalarından oluşmaktadır.

Türkiye'nin neoteknik haritası incelendiğinde önemli fay kuşaklarının ülkemiz sınırları içerisinde yer aldığı görülür.

Bölge tektoniği makro ölçekte değerlendirildiğinde, Urfa çevresi Güneydoğu Anadolu Bindirme Kuşağı'nın güneyinde Arap platformu üzerinde nispeten tektonik bakımdan duraylı bir alan içerisinde yer almaktadır. Arap Platformunun kuzey kesimlerindeki sıkışma tektoniği, platformun iç kesimlerinde açılma tektoniğine neden olmuş ve bu rejime bağlı olarak Urfa ve yakın çevresinde Akçakale ve Suruç grabenleri gelişmiştir. Akçakale ve Suruç grabenleri kenar kesimlerinde çok sayıda normal faylarla sınırlandırılmaktadır. Bunun yanında aynı bölgede Bozova, Samsat ve Kalecik fayları gibi kilometrelerce mesafede izlenebilen doğrultu atımlı faylar söz konusudur. Bu fayların aynı zamanda ihmal edilemeyecek düşey atım bileşenleri de söz konusudur. Bunlara ek olarak bölgede çok sayıda makaslama kırıklarının varlığı da göze çarpmaktadır.

3.1.2.2. İnceleme alanının jeolojisi

İnceleme alanında gözlenen birimler yaşlıdan gence doğru; Gaziantep formasyonu, Şelmo formasyonu, Siverek ve kuarterner alüvyonlardır.

3.1.2.3. Gaziantep formasyonu (Eosen-Altmiyosen)

Çalışma alanında Villaşehir (Doktorlar Sitesi) batısında ve güneyinde gözlenen birimler altta beyaz, krem renkli, yumuşak, tebeşirli ve ince tabakalı marnlar, üstte

krem, gri, pembe renkli, bol çatlaklı, çört bant ve yumrulu sert ve masif kireçtaşı birimleri ile devam etmektedir.

3.1.2.4. Şelmo formasyonu (Üstmiyosen)

Çalışma alanının büyük bir bölümünde gözlenen formasyon esas olarak gri, beyaz, pembe ve kırmızı renkli kumtaşı, çakıltaşı ve gölsel kireçtaşlarından meydana gelmiştir. Ulubağ köyünden kuzeye doğru çalışma alanın yaklaşık %70 ni kapsamaktadır.

3.1.2.5. Siverek grubu (Pliosen)

Pliosen yaşlı Siverek grubu olarak tanımlanan bazalt formasyonu çalışma alanının güneydoğusu ve doğusunda gözlenmektedir. Bazaltlar gri-siyah renkli olup yer yer soğuma derecelerinin farklılığından dolayı değişik sertlikte olup çatlaklı ve kırıklı bir yapı sergilemektedirler.

3.1.2.6. Alüvyonlar (Kvarterner)

Çalışma alanının üst seviyeleri güncel ayrılmış bazalt çakıl bloklarından ve kırmızı renkli killere örtülüdür.

YAS	GRUP	Formasyon	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
		Kuvaterner Alüvyon		Tutturulmuş kum, kil ve çakıl
	Pliyosen	Siverek Grubu		Siyah, gri renkli, sütun eklemli olivinli bazalt
	Ust Miyosen	İsino		Gri, beyaz, pembe ve kırmızı renkli kumtaşı, pakltaşı ve gölsel kireçtaşı
Eosen-Oligosen-Alt Miyosen	Midyat Grubu	Firat		Gri, bej, boz renkli, sert, fosilli masifkireçtaşı
				Bej, pembe, gri renkli, kristalize, orta-kalın tabakalı kireçtaşı
			Krem, pembe, gri renkli, bol çatlaklı, som ve kalın tabakalı çörtü kireçtaşı	
			Krem, pembe, gri renkli, bol çatlaklı, sert, masif kireçtaşı	
	Gaziantep		Krem, gri, pembe renkli, bol çatlaklı, boşluklu, çört bant ve yumrulu, sert, masifkireçtaşı	
			Beyaz, krem renkli, yumuşak, tebeşirli, ince tabakalı mam	

Şekil 3.1. Şanlıurfa ve yakın çevresinin genelleştirilmiş dikme kesiti (Atlas jeoloji, 2001)

3.1.3. Zemin ve kaya türlerinin jeoteknik özellikleri

Çalışma alanında yer alan Pliyosen yaşlı gri-siyah renkli çatlaklı-kırıklı ve çatlakları karbonat dolgulu bazaltların dolgu kalınlıkları 5-10 cm ve ayrışma dereceleri W2-W3 mertebesinde olup kaya kalitesi RQD orta (%50-%65) derecededir. Parseli oluşturan bazaltlar değerlendirildiğinde, tamamen Karacadağ volkanizması ürünü oldukları görülmüştür. Arsada ve yakın çevresinde yapılan incelemelerde bu birimde stabilite yönünden herhangi bir olumsuzluk gözlenmemiştir.

Tüm bu veriler ışığında arazi ve yakın civarında herhangi bir heyelan, kaya düşmesi, kaya devrilmesi v.b. duraysızlıklar söz konusu değildir. Ayrıca zeminden

kaynaklanacak kabarma, akma, çökme veya yayılma gibi normal dışı bir durum mümkün değildir.

3.1.4. Mineralojik incelemeler

Zeminlerin mineralojik yapıları mühendislik davranışlarını kontrol eden en önemli faktörlerdendir. Tane çapı, şekli, fiziksel ve kimyasal özellikler zeminin mineral yapısı temelinde belirlenmektedir. Katı haldeki zemin çeşitli oranlarda kristalli kil minerali ve kil olmayan mineral, kristalleşmemiş kil mineralleri, organik malzeme ve çözelti tuzu ihtiva eder. Zemin muhtevasında kil minerallerinin oranı, diğerlerine nazaran daha düşüktür. Buna rağmen zeminin mühendislik davranışını belirlemede daha etkin rol oynarlar

3.2. Yöntem

3.2.1. Çalışma alanından numune alma ve hazırlama

Çalışma alanı kilinin geoteknik özelliklerini ve şişme özelliklerini tespit etmek amacıyla, ödometre kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Numuneler 1-3 m arası derinliklerden alınmıştır. Numune lokasyonları seçilirken, bu noktaların birbirinden yeterince uzak olmalarına dikkat edilmiştir. Çalışma alanında numune almada UD tüpleri kullanılmıştır. Laboratuara getirilen numuneler, hidrolik kriko yardımı ile ödometre ringlerine direkt olarak aktarılmışlardır. Böylece, doğal su muhtevasında ve örselenmemiş numuneler deneye hazır duruma getirilmişlerdir.

3.2.2. Numuneler üzerinde yapılan deneyler

Çalışma alanı kilinin geoteknik özellikleri, şişme değerleri, mineralojik yapısının belirlenmesi için aşağıdaki deney ve analizler yapılmıştır.

1-Zemin sınıflandırma deneyleri

- a) Elek analizi
- b) Hidrometre yöntemi

2-Kıvam limitleri

- a) Likit Limit
- b) Plastik limit

- 3-Konsolidasyon (ödometre) deneyi
- 4-Üç eksenli basınç deneyi
- Kilin şişme değerleri için
- 5-Şişme deneyleri
- Arazi deneyi olarak;
- 6-Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)
- Kilin minerolojik yapısını belirleme analizi;
- 7-X-Ray Difraksiyon analizi

3.2.2.1. Zemin sınıflandırma deneyleri

Zeminleri sınıflandırmanın amacı, zeminleri özelliklerine göre gruplandırmaktır. Zeminin sınıfı bilindiğinde, özellikleri de genel olarak belli olur. Ayrıca geoteknik alanda yapılan çalışmalar, araştırmalar zeminin sınıfı (zemin cinsi) belirtilerek yayınlanmaktadır. Sınıflandırma sistemlerinin hepsinde, zemindeki tanelerin büyüklüğü ile bunların kuru ağırlık olarak, zemindeki yüzdelерinin bilinmesi gerekir. Bu bilgilerin elde edilmesi için, tane büyüklüğü analizi veya mekanik analiz yapılır. Mekanik analiz; elek analizi ve ıslak (çökeltme, sedimentasyon) analiz olmak üzere iki evrede yapılır. Elek analizi zeminin iri taneli kısmına yönelik iken, ıslak analiz, ince daneli kısma yöneliktir. Bu bakımdan, bir zemin için, her iki analiz de gerekli olabilir ve bunlar birbirini tamamlar.

Elek analizi: Elek analizi için elekler kullanılır. Elekler genellikle kare gözlüdürler ve her eleğin bir adı vardır. İri gözlü elekler inch (1 inch=2.54 cm) olarak adlandırılırken, ince gözlü elekler bir sayı ile adlandırılır. Elekte bir kare gözün kenar uzunluğuna, elek çapı denir ve bu tane çapına karşılık gelir. Çizelge 3.1 de Amerikan (ASTM) ve İngiliz (BS) standartlarına göre elekler ve ilgili bilgiler görülmektedir. Bu çalışmada Amerikan (ASTM) standartları kullanılmıştır. Elek analizi için bir miktar yaş zemin alınır etüvde kurutulur, tanelenir. Böylece hazırlanmış zeminden belli bir miktar zemin bir dizi elekten elenir. Elek dizisinde elekler üstten aşağıya, iri gözlüden, ince gözlüye doğru sıralanır. Ağırlığı belli zemin, dizinin en üstündeki eleğe boşaltılır. Eleme elle veya genellikle bir sarsma makinesi ile yapılır. Eleme

sonunda, her elek üstünde kalan zemin miktarı tartılarak belirlenir. Her bir elek için, geçen yüzde (% P) aşağıdaki bağıntıyla belirlenir.

$$\%P = \frac{\text{Elekten geçen zemin miktarı}}{\text{Elemeye tabi tutulan tüm zemin}} \times 100$$

Elemeye tabi tutulan tüm zemin

Tane çapı dağılım eğrisi; yatay eksenle tane çapı (mm) ve düşey eksenle geçen yüzdeleri olmak üzere çizilen bir eğridir. Yatay eksen logaritmik olup, tane çapı genellikle soldan sağa doğru büyür. Elek göz çapı (tane çapı, D) ve geçen yüzde (% P) değerleri kullanılarak noktalar işaretlenir ve bu noktalar birleştirilerek tane büyüklüğü (çapı) dağılım eğrisi elde edilir. Zeminin gronülometre eğrisi çizildikten sonra 200 No. Ve 4 No. lu eleklerle ait geçen yüzdeleri, zeminin üniformluk sayısı (C_u) ve eğrilik katsayısı C_r , W_L , I_p bilgileri kullanılarak, zemin sınıflandırılır. Zeminin ince taneli kısmı veya ince taneli zeminler, plastisite grafiği kullanılarak sınıflandırılır (TS 1500, Aralık 2000).

b) Hidrometre yöntemi: 200 No lu elekten geçen zeminden bir miktar alınarak, silindirik bir cam kap içinde 1000 cm^3 'lük bir süspansiyon hazırlanır. Deney başlangıcından itibaren, belli süreler sonunda, süspansiyonun birim hacim ağırlığı, hidrometre denilen bir alet yardımıyla ölçülür (Uzuner, 1998).

Bu çalışmada zeminden alınan 4 örnek üzerinde elek-hidrometre yöntemi kullanılarak zeminin sınıflandırılması yapılmıştır. Deney sonuçları ekte verilmiştir.

Çizelge 3.1. Amerikan ve İngiliz standartlarına göre elekler

Amerikan Elekleri ASTM:E 11-1961		İngiliz Elekleri BS:410-1962	
Elek No	Çap (mm)	Elek No	Çap (mm)
2"	50.80	2"	50.80
11" 2	38.10	11" 2	38.10
3/4"	19.00	3/4"	19.00
3/8"	9.51	3/8"	9.51
4	4.76	4	4.76
7	2.83	6	2.8
8	2.38	7	2.4
10	2.00	8	2.00
14	1.41	12	1.40
16	1.19	14	1.20
18	1.00	16	1.00
25	0.707	22	0.710
30	0.590	25	0.600
35	0.500	30	0.500
40	0.420	36	0.420
45	0.354	44	0.355
50	0.297	52	0.300
60	0.250	60	0.250
70	0.210	72	0.210
80	0.177	85	0.180
100	0.149	100	0.150
120	0.125	120	0.125
170	0.088	170	0.0189
200	0.074	200	0.075
230	0.063	240	0.063
325	0.044	350	0.045

3.2.2.2. Likit limit deneyi

Likit limit (WL veya LL); plastik ve likit limit durumlarını birbirinden ayıran sınır su muhtevasıdır. Başka bir deyişle, zeminin kendi ağırlığı altında akabildiği en düşük su muhtevasıdır.

Likit limit birkaç yöntemle belirlenebilir. Bunlardan biri, Casagrande yöntemidir. Bu yöntemde Casagrande tarafından önerilen, standart likit limit aleti kullanılır. Alet, kolu döndürüldüğünde, sert bir lastik blok üzerine, 1 cm yükseklikten düşen yarım küre biçiminde metal (prinç) tas kaptan oluşur. Likit limiti belirlenecek zeminden bir miktar alınarak, kurutulur, tanelenir. Tanelenmiş kuru zemin içindeki iri taneler uzaklaştırılmak için 40 No.lu elek (0.425 mm) ten elenir. Elekten geçen bir zeminden bir miktar alınarak, porselen bir kaba konulur, üzerine bir miktar damıtık su serpilir spatula ile yoğrulur. Yoğrulan zeminden bir miktar alınarak aletin arasına yerleştirilir, üzeri düzlenir. Standart bir oyuk açma bıçağı ile tastaki zemin ikiye bölünür. Oyuk tabanı 2 mm dir. Aletin kolu saniyede 1 dönüş olmak üzere düzgün bir şekilde çevrilir ve bir yandan da döndürme sayıları sayılır. Döndürme işlemi ile içinde bir oyukla iki kısma ayrılmış zemin bulunan kap, 1 cm yükseklikten, standart sertlikteki bir blok üzerine düşer. Bu düşme etkisi altında zeminin iki parçası birbirine kavuşmak ister. Bunların birbirleriyle birleşmesinin yaklaşık 1 cm kadar olduğu durum gözlenerek, bu anda döndürmeye son verilir ve başlangıçtan itibaren yapılan vuruş sayısı kaydedilir (N). Zeminden bir miktar alınarak su muhtevası (W) belirlenir. Aynı işlem zemine artan miktarlarda su katarak, değişik su muhtevalarında tekrarlanır. Deney sonuçları, yatayda vuruş sayıları N, düşeyde su muhtevaları olan bir eksen takımında işaretlenerek, noktalardan yaklaşık bir doğru seçilir. Bu grafikte 25 vuruşa karşılık gelen su muhtevası, o zeminin likit limit değeridir (Uzuner, 1998). Bu çalışmada da 4 adet numune üzerinde Casagrande yöntemi ile zeminin likit limit değerleri belirlenmiştir. Likit limit değerleri 4. bölümde verilmiştir

3.2.2.3. Plastik limit deneyi

Plastik ve yarı katı durumları birbirinden ayıran sınır su muhtevasıdır. Diğer bir deyişle, zeminin, el altında, cam bir yüzey üzerinde, çubuk haline getirilirken, çubukların çapları yaklaşık 3 mm olduğunda, kopmaların meydana geldiği durumdaki su muhtevasıdır (Uzuner, 1998). Bu çalışmada da 4 adet numune üzerinde zeminin plastik limit değerleri belirlenmiştir. Plastik limit değerleri 4. bölümde verilmiştir.

3.2.2.4. Konsolidasyon (ödometre) deneyi

Suya doygun kohezyonlu bir zemin tabakasının konsolidasyon oturmasını tahmin etmek için, tabakadan örselenmemiş zemin örneği alınır. Ucu keskin çelik bir halka içindeki zemin örneği, konsolidasyon aletine yerleştirilir. Çelik halkanın çapı 5-10 cm, yüksekliği de birkaç cm olabilir. Çelik halka, zemin örneğinin yanal deformasyonunu önler. Sıkışma (oturma), sadece düşey doğrultuda olur. Buna bir boyutlu konsolidasyon denir. Zemin örneğinin alt ve üst yüzeylerine, suyun çıkmasına olanak sağlamak üzere, geçirimli taşlar yerleştirilir. Yükleme adım adım (kademe kademe) yapılır. Uygulanan kademe değerleri, 0,25,0,5,1,0,2,4,8,16,32 vb. kg/cm^2 seçilir (TS 1900, Nisan 1987). Her adımda adımın başlangıcından itibaren, belli süreler sonunda (0,25,1,2,4,8,...dak.) oturma değerleri, deformasyon saatleri gözlenerek kaydedilir. Her adımda, oturmalar sona erene kadar (24 saat vb. gibi) beklenir. Yükleme bittikten sonra, boşaltma yapılır ve benzer işlemler uygulanır. Her adımın sonu için, zemin örneğinin boşluk oranı hesaplanır. Deneyden, oturma değerleri, şişme indisi C_s , sıkışma katsayısı (a_v), hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) bulunur (Uzuner, 1998).

Bu çalışmada zeminden alınan 4 örnek üzerinde zeminin konsolidasyon değerleri bulunmuştur. Deney sonuçları ekte verilmiştir

3.2.2.5. Üç eksenli basınç (UU) deneyi

Üç eksenli basınç deneyi, gelişmiş bir kayma direnci deneyi olup, her çeşit (kohezyonlu veya kohezyonsuz) için kullanılır. Deney için silindirik zemin örnekleri kullanılıp, örneklerde boy/çap oranı 2/1 dir. Tipik örnek boyutları 76 mm/38 mm, 100mm/50 mm vb. dir. Kohezyonlu zeminlerden alınan örselenmemiş veya taneli zeminlerden hazırlanan silindirik örneğin üzerine, çevreden su girmesini önlemek üzere ince bir lastik kılıf geçirilir. Drenaj koşullarını kontrol etmek için, zemin örneğinin alt ve üstüne birer geçirimli taş yerleştirilir. Hücreye su gönderilerek, sabit bir hücre basıncı (hidrostatik basınç σ_3) uygulanır. Hücre basıncı sabit tutulurken; sabit bir hızla, düşey bir hareket vasıtasıyla, sıfırdan (0) başlayıp, gittikçe artan bir düşey yük uygulanarak, zemin örneği kırılır. Uygulanan düşey yük, yük halkası vb. ile ölçülür. Zemin örneğinin eksenel boy kısalması, bir deformasyon saati vb. ile

ölçülür. Konsolidasyonsuz-drenajsız (UU deneyi); drenaj suyu vanaları kapatılarak, deney sırasında, zemin örneğinden su çıkışına izin verilmez. Hücre basıncı uygulandıktan hemen sonra, hızlı bir yükleme ile zemin örneği kırılır. Deney sırasında, zemin örneği içinde oluşan boşluksuyu basıncı ölçülmez. Üç eksenli basınç (UU) deneyinde zeminin içsel sürtünme açısı ve kohezyonu bulunmuştur (Uzuner, 1998).

Bu çalışmada zeminden alınan 4 örnek üzerinde zeminin içsel sürtünme açısı ve kohezyonu bulunmuştur. Deney sonuçları ekte verilmiştir

3.2.2.6. Şişme deneyleri

Şişme değerleri ölçülürken kullanılan ring çapları 50 mm- 112mm, yükseklikleri ise 12mm-37mm arasında değişmektedir. Numuneye uygulanan sürşaj yükleri ise 1 kPa–71,6 kPa arasında değişebilmektedir. Bu farklılıkların sebebi, numune ile ring arasındaki sürtünmenin azaltılması ve numune içine su girişini kolaylaştırmak ise de neticede farklı deneysel süreçlere ve şişme karakteristiklerinin bu farklılıklar göz önüne alınarak tanımlanmasına yol açmıştır. Genellikle, deney başlangıcında numuneye uygulanan basıncın 7 kPa ve daha az olması halinde, elde edilen şişme ‘serbest şişme (free swell)’ olarak alınır. Serbest şişme deneyinde konsolidasyon aletinin içine konan numuneye belli aralıklarda su verilerek numunenin şişmesi sağlanır. Deney 24 saat süreyle sürdürülür. Bundan daha büyük yükler altında elde edilen şişme değerleri; uygulanan gerilmenin yerindeki gerilme civarında olması halinde ‘sürşaj altında şişme (swell under overburden)’, bundan farklı gerilmeler altında ise ‘yükli şişme (swell under load)’ olarak alınır (Mollamahmutoğlu ve Taşkiran, 2000).

3.2.2.7. Standart penetrasyon deneyi (SPT)

Standart penetrasyon deneyi (SPT) uygulamada çok yaygın olarak kullanılan bir deneydir. Temel zemini araştırmalarında sondaj deliği içerisinde yapılan bu deneyden elde edilen veriler, zeminin mühendislik özellikleri hakkında bilgi verirken, alınan bozulmuş örnekler üzerinde de laboratuarda tanımlama deneyleri yapılır.

Sondaj kuyularında yapılan bu deneyde, deney yapılması istenen seviyeye gelindiğinde kuyu tabanına ağırlığı 6.8 kg olan bir örnek kaşığı indirilir. Ve 45 cm zemine girinceye kadar çakılır. Çakma için kullanılan tokmak 63.5 kg ağırlığındadır ve düşüş yüksekliği 76 cm dir. Deneyde her 15 cm için gerekli darbe sayısı belirlenir. Son 30 cm giriş için uygulanan darbe sayısı SPT–N sayısı olarak adlandırılır.

Çalışma alanında yapılan SPT-N değerleri numune derinlikleri ile birlikte aşağıdaki çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Çalışma alanında belirlenen SPT-N değerleri

Numune		1	2	3	4
Numune derinliği		3m	2.30m	3 m	1.5
Darbe sayısı	15	6	10	7	7
	30	8	13	10	9
	45	12	19	11	7
	N	20	32	21	16

3.2.2.8. X-Ray difraksiyonu

X-Ray difraksiyonu, kohezyonlu zeminlerin minerallerini ve kristal yapılarını belirlemek için yaygın olarak kullanılır. Temel olarak, montmorillonit, feldspat, klorit, kaolinit gibi standart minerallerden elde edilen çizgilerin şiddetleri ile farklı mineraller için tespit edilen difraksiyon çizgilerinin karşılaştırılmasından ibarettir.

X-Ray analizi, M.T.A'da yapılmıştır. Çalışma alanından alınan 2 numune üzerine yapılan X-Ray difraksiyon analizi sonuçları 4. bölümde verilmiştir. Analiz grafikleri de Ekte verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Çalışma Alanı, Kil Mineralojisi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Zeminlerin mühendislik özellikleri, mineral birleşimleri ile özellikle içerdiği kil minerallerinin yapısıyla doğrudan ilişkilidir. Örneğin killi zeminlerde, kil yüzdesinin ve özellikle montmorillonit gibi şişen killerin artması ile plastisitenin, sıkışabilirliğin ve şişme potansiyelinin artış gösterdiği bilinmektedir (Mollamahmut ve Taşkiran, 2000).

Çalışma alanı kilinin, mineralojik özelliklerini belirlemek ve mineral yapısı ile mühendislik özellikleri arasında bir ilişki kurmak amacıyla, çalışma alanından elde edilen numuneler üzerinde, yapılan mineralojik incelemeler, M.T.A Genel müdürlüğü laboratuvarlarında X-Ray difraksiyonu yöntemi ile yapılmıştır

Yeşilurfa evleri civarında alınan 2 adet numune üzerinde gerçekleştirilen işlemler sonucu elde edilen XRD difraktomlar, yönlendirilmiş XRD difraktomlar, etilen glikolle muamele edilmiş XRD difraktogramları ve 550 C/2H muamele edilmiş difraktogramlar ekte verilmiştir.

Bu sonuçlara göre çalışma alanını temsilen birbirlerine göre uzak yerlerden alınmış numunelerin, içerdikleri kil mineralleri açısından farklılıklar gösterdikleri görülmüştür. Her iki numunede de çokluk sıralaması açısından, kil mineralleri hakim minerallerdir. Örneklerin içerdikleri mineraller ve bunların çokluk sırasına göre diziliş sırası aşağıda verilmiştir.

Sk-3-200cm-250cm: Smektit (Montmorillonit), Kalsit, Kuvars, Klorit, İllit, Amorf Silika, Karışık Tabakalı Kil Mineralleri (Smektit+İllit, Smektit+ Kaolinit)-eser, Feldspat (eser)

Sk-4-100cm-150cm: Smektit (Montmorillonit), Kalsit, Kuvars, Klorit, Kaolinit, İllit, Feldspat Amorf Silika, Karışık Tabakalı Kil Mineralleri (Klorit+Kaolinit, Smektit+İllit)-eser.

Yukarıdaki sonuçlara göre, smektit, illit, kaolinit, Kloritten oluşmuş karışık tabakalı kil ile kil minerallerinin bünyede en fazla olmaları, zemine kil davranışının yön verici olması sonucunu doğurmaktadır. Bu nedenle, özellikle smektit grubu kil minerallerinin, hacim değiştirme kapasitelerinin yüksekliği nedeniyle şişme potansiyeli ve şişme basıncı gibi mühendislik özellikleri önem kazanmaktadır.

Yine yapılan deneylerin sonucunda bu kilin, ikincil olarak kuvars, kalsit, feldspat ve amorf silika ihtiva ettiğini göstermektedir.

Aşağıda çalışma alanı kil mineralleri ve kil olmayan mineraller ile ilgili detaylı bilgi verilmiştir.

4.2. Çalışma Alanı Kil Olmayan Minerallerin Tanıtılması

Kil olmayan malzeme, çoğunlukla kayaç parçacıkları, birincil kayaç minerallerinin taneleridir. Mağmatik kayaçlarda en sık rastlanan malzeme, feldspat (%60 oranında), pyroxenes ve amphiboles (%17 oranında), quartz (%12 civarında), mikalar (%4 civarında) ve diğer minerallerdir. Çoğu zeminde, en çok rastlanan kil olmayan mineraller kuvars, az miktarda feldspat ve bazen de mikadır. Karbonat mineralleri çoğunlukla kalsit ve dolomit olup zeminde topaklar veya çözelti şeklinde bulunurlar

Kuvars, silika tetrahedrallerın spiral şeklinde dizilmeleri ile oluşmuştur. Bütün tetrahedraller oksijen, silikon ile bağ oluşturur. Tetrahedral yapıların stabiliteleri yüksektir. Kuvars yapıda zayıf bağlı iyonlar yoktur ve mineral oldukça serttir. Bu faktörler, kil olmayan mineraller olarak oranları oranında davranışa katılırlar.

Feldspatlar, silika mineralleri olup üç boyutlu iskele yapısındadırlar ve bir kısım silikonlar alüminyum ile yer değiştirirler. Bu yer değiştirmeden oluşan fazla negatif yük Potasyum, Kalsiyum, Sodyum, Baryum gibi katyonlarla dengelenir. Bu katyonlar nispeten büyük olduklarından koordinasyon sayıları da büyüktür. Bu ise açık bir yapı oluşmasına ve birimler arasındaki bağın zayıf olmasına yol açar. Sonuç olarak kopma yüzeyleri, dayanımın orta olması ve feldspatların kolayca kırılmasına yol açar. Bu nedenle feldspatlar magmatik kayalarda, fazla bulunmalarına rağmen zeminlerde daha az oranlarda bulunurlar (Mollamahmutoğlu ve Taşkıran, 2000).

4.3. Çalışma Alanı Zemininin Geoteknik Özellikleri ve Sınıflandırılması

Elek ve hidrometre çözümlerinden elde edilen veriler birleştirilerek, örneklerin tane boyutu dağılımı eğrileri çizilmiştir. Tane dağılım eğrilerine ait verilerden hareketle zemin tanımlanmıştır. Bu sonuçlara göre zeminin yüksek plasisiteli kil (CH) sınıfına girdiği görülmüştür (TS 1500, Aralık 2000). Daha önce 2001 yılında Şanlıurfa belediyesinin şuanda yapımı devam eden Yeşilurfa evleri için Atlas Jeoloji tarafından yaptırılan zemin etüdünde de, bu kilin yüksek plastik kil (CH) sınıfına girdiği belirlenmiştir.

Örneklerin kolloid oranlarının ise %46-%84 aralığında değiştiği ve mevcut kilin yüksek kolloid içerikli olduğu söylenebilir. Plastisite indisine bağlı olarak aktiflik katsayısı $A=PI/<0.002$ mm eşitliğinde yararlanılarak hesaplanmıştır.

Tane boyu çözümleri ile ilgili grafikler ve deney sonuçları ayrıntılı olarak Ekte verilmiştir.

Doğal birim hacim ağırlıkları, şişme deneyleri için hazırlanan numuneler üzerinden hesaplanarak elde edilmiştir. Doğal boşluk oranları ise bağıl yoğunluğa bağlı olarak, $e=(G_s(1+W)/\gamma_d)-1$ eşitliğinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Kuru birim hacim ağırlıkları ise $\gamma_k=G_s/(1+e)$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilmiştir.

Killi zeminlerin şişme, oturma, geçirimsizlik gibi özelliklerini belirleyen mineral yapı ile aktivite arasında direkt bir ilişki bulunmaktadır. Söz konusu çalışma alanı kili, mineral incelemeleri kısmında detaylı olarak verildiği üzere, birincil olarak smektit mineralleri içermesi ve şişme özelliğinin önem kazanması nedeniyle aktivite

değerleri önem kazanmaktadır. Numunelere ait aktivite sayıları çizelge 3.1 de verilmiştir. Hesaplanan bu değerlere bakıldığında, 0.26-0.30 değerleri arasında değiştiği ve literatürde şişme özelliği gösteren kil mineralleri aralığına girdiği görülmektedir.

Zemin üzerinde zeminin kayma direncini belirlemek için Konsolidasyonsuz-Drenajsız (UU) Üç eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Bu deney sonucunda zeminin kayma direnci parametreleri olan; içsel sürtünme açısıyla (ϕ) kohezyonu (C) belirlenmiştir.

Ayrıca zeminin örselenmemiş numuneler üzerinde konsolidasyon deneyi yapılarak yapılan yüklemeler sonucunda her yük kademesine ait boşluk oranı, sıkışma katsayısı ve hacimsel sıkışma katsayıları bulunmuştur. Bu değerler ekte verilmiştir. Aşağıdaki çizelgede çalışma alanına ait her bir numune için deneysel zemin parametreleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Çalışma alanına ait deneysel zemin parametreleri

Numune lokasyonları		1	2	3	4
Doğal su muhtevası		18.56	15.8	11.72	15.24
Tane boyu analizi	#4 geçen %	100	100	89.79	100
	# 200 geçen %	93.98	91.90	67.53	95.59
	<0.002 mm	79.2	77.2	47.2	83.2
Atterberg limitleri	LL	51	52	46	53
	PL	28	28	23	28
	PI	23	24	23	25
Zemin sınıfı		CH	CH	CL	CH
Bağıl yoğunluk G_s		2.65	2.65	2.65	2.65
Doğal birim h. ağırlık gr/cm^3		1.95	1.97	1.94	2.00
Kuru birim h. ağırlık gr/cm^3		1.56	1.87	1.89	1.89

Çizelge 4.1. Çalışma alanına ait deneysel zemin parametreleri

Doğal boşluk oranı, e	0.61	0.56	0.53	0.53	
Aktivite	0.290.	0.26	0.34	0.30	
Likitlik indisi I_L	-0.41	-0.508	-0.490	-0.510	
Kıvam indisi I_c	+1.41	+1.508	+1.490	+1.51	
Mukavemet	ϕ_{uu} (°)	5	7	9	7
Parametreleri	C_{uu} (kN/m ²)	0.69	0.66	0.62	0.71

4.4. Çalışma Alanı Kilinin Şişme Karakteristiklerinin Nitel Yöntemler İle Değerlendirilmesi

Nitel yöntemler, temel mühendislik parametrelerinden yararlanılarak, zeminin sıkışabilirliğini ‘düşük’, ‘orta’, ‘yüksek’ vb. gibi ampirik yaklaşımlarla değerlendirmeye dayanmaktadır. Burada daha önce farklı araştırmacılar tarafından önerilen korelasyonlar ile mevcut kilin şişme potansiyeli niteliksel olarak değerlendirilecektir. Korelasyonlara giderken, indeks özellikleri bölümünde elde edilen zemin parametrelerinin ortalama değerleri kullanılacaktır.

Çizelge 4.2. Çalışma alanı kiline ait zemin parametrelerine ait ortalama değerler

Doğal su muhtevası, %	15
Likit Limit, %	50
Plastik limit, %	26
Plastisite indisi, %	24
# 200 Elekten geçen, %	82
<0.002 mm, %	65
Kolloid muhtevası (<0.001 mm), %	61
Aktivite	0.30
Kuru Birim Hacim Ağırlık, kğ/cm ³	1.8

Şekil 1.3.’te şişen zeminleri tespit etmek amacıyla kullanılan Da Nilov abağına, $\gamma_{kuru}=1.8$ gr/cm³ kuru yoğunluk ve LL=50 değerleri ile girildiğinde mevcut kilin ‘şişen zeminler’ sınıfına girdiği görülmektedir.

Yıldırım ve Acar (1994), USBR (United States Bureau of Reclamation) tarafından yapılan araştırma sonuçlarına göre hazırlanan çizelge 1.2.'de, kolloid muhtevası $CC=61$ girildiğinde şişme potansiyeli çok yüksek çıkmaktadır. Plastisite indisi, $PI=24$ girildiğinde şişme potansiyeli orta derecede çıkmaktadır.

Çizelge 1.1.'de Mollamahmutoğlu ve Taşkiran (2000), tarafından önerilen korelasyona göre #200 elekten geçen %82, $LL=50$, $SPT-N=22$ değerleri girildiğinde,

Muhtemel şişme = %3-%10

Şişme basıncı = 2.5–10 kg/cm^2

Şişme potansiyeli=yüksek

Seed, Woodward ve Lundgren (1962), şişme potansiyeli açısından zeminlerin sınıf-landırılmaları için bir abak önermişlerdir. Bu yazarların önerdiği şekil 1.4.'teki abağa göre çalışma alanı 'yüksek şişme' potansiyeline sahiptir.

Şekercioğlu (1998) nun şişme potansiyelini belirlemek için verdiği bağıntıya göre zeminin şişme potansiyeli, $S=\%3.3$ tür.

Yıldırım ve Acar (1994), şişme potansiyelinin en iyi göstergesi olarak plastisite indisini kabul etmektedirler. Plastisite indisi ve şişme potansiyeli mertebesi tahmini için yaygın olarak kullanılan çizelgeye göre $PI=24$ olarak girildiğinde şişme potansiyeli yüksek çıkmaktadır.

4.5. Çalışma Alanı Kilinin Niteliksel Yöntemler İle Değerlendirilmesi

4.5.1. Deneysel çalışmalar

Laboratuarda deney yapılmaya hazır duruma getirilen numuneler, ödometre aletine alınarak, her lokasyon için birer adet şişme deneyi yapılmıştır. Deneyler 7,5 çap ve 20 mm yükseklikli ödometre ringleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yürütülen deneyler sonucunda elde edilen serbest şişme yüzdeleri ve şişme basıncı değerleri; numunenin alınma derinlikleri, başlangıç su muhtevası, doğal ve kuru birim ağırlıkları ile birlikte çizelge 4.3.'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Çalışma alanı kiline ait şişme deneyleri toplu sonuçları

Numune lokasyonları	1	2	3	4
Deney su muhtevası	18.56	15.80	11.72	15.24
Numune derinliği	2.5	2.5	2.5	1
Numune şekli	Örselenmemiş	Örselenmemiş	Örselenmemiş	Örselenmemiş
Zemin sınıfı	CH	CH	CL	CH
Doğal birim hacim ağırlık	1.95	1.97	1.94	2.00
Kuru birim hacim ağırlık	1.56	1.87	1.89	1.89
Serbest şişme %	6	10	4	12
Şişme basıncı kğ/cm^2	0.4	0.5	0.2	0.5

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

1.Çalışma alanın farklı noktalarından elde edilen örnekler üzerinde zemin sınıflandırma deneyleri gerçekleştirilmiş, bu deneylere ait sonuçlar ve değişim aralıklarını gösteren çizelgeler, bölüm 4 te topluca verilmiştir. Buna göre;

- Numunelerin tümü yüksek plastik kil sınıfına (CH) dahildir.
- Numunelere ait aktivite değerleri, mevcut kilin ‘düşük derecede’ aktif bir kil olduğunu göstermektedir.
- Yaklaşık temel tabanı seviyesinde alınan (1m-3m) numunelerin likitlik indisi değerlerine göre tamamının plastik kıvamda olduğu görülmektedir.
- Numunelere ait ortalama kolloid içeriği değerine bakıldığında, mevcut kilin yüksek kolloid içeriğine sahip olduğu görülmektedir.

2. Söz konusu alandan alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen X-Ray Difraksiyon analizleri; numunelerin tümünde hakim mineral yapının smektit (Montmorillonit), kalsit, kuvars, klorit, illit, kaolinit, amorf silika, feldispat, olduğu görülmekte. Karışık tabakalı kil olarak klorit+kaolinit, smektit+illit, smektit+kaolinit bulunmaktadır.

3. Bu tür zeminler üzerinde inşa edilecek yapılar için inşaat tamamlandıktan sonra meydana gelecek gerilme artışına bağlı olarak oturma hesabının yapılması ve izin verilebilir sınırlar içerisinde olup olmadığının irdelenmesi gerekir.

4. Çalışma alanını kaplayan kil; yüksek plastisitesi, mineralojik yapısı, kolloid içeriği gibi bünyesel özellikleri itibariyle şişme özelliğine sahip bir kildir.

5. Mevcut kilin şişme özellikleri niteliksel yöntemlerle değerlendirilmiş ve bu değerlendirmelere ait genel sonuçlar ilgili bölümde verilmiştir.

- Çalışma alanı kili şişme özelliğine sahip bir kildir.
- Plastik limit, likit limit, kolloid içeriği, aktivite v.b. temel zemin parametreleri ile başvuru korelasyonlarının tümünde ‘yüksek veya orta derecede şişme’ sonuçları elde edilmektedir
- Başvuru korelasyonlarının tümü dikkate alındığında, şişme potansiyeli %1-%10 limitleri arasında kalmaktadır.
- Yine başvuru korelasyonlarının tümü dikkate alındığında, şişme basıncı 1.5–10 kğ/cm² arasında kalmaktadır.

6. Mevcut kilin şişme özelliği niteliksel yöntemlerle değerlendirmek amacıyla doğal su muhtevasına sahip ve örselenmemiş numuneler üzerinde gerçekleştirilen sabit hacimli şişme (CVS) ve serbest şişme (FS) deneylerine ait şişme basıncı ve serbest şişme yüzdeleri ilgili zemin parametreleri ile birlikte Çizelge 4.3 te verilmiştir. Buna göre alınan numunelerin şişme basıncı değerlerinin 0.2-0.5 kğ/cm² değerleri arasında kaldığı ve ortalama 0.4 kğ/cm² değerlerine sahip olduğu şişme yüzdesinin ise %4-%12 değerleri arasında kaldığı ve ortalama %8 değerine sahip olduğu görülmüştür.

7. Deneysel çalışmalar şişme değerlerinin genel olarak derinlik artışı ile birlikte azaldığını göstermektedir. Örneğin 2.5 m derinlikte alınan numunelerde şişme değerleri, 1m derinlikte alınan numuneye göre daha düşüktür.

8. Deneysel çalışmada elde edilen ortalama şişme yüzdesi değerinin niteliksel çalışmada elde edilen aralıklar dahilinde olması niteliksel ve niceliksel sonuçların uyumlu olduğunu göstermektedir.

9. Deneysel çalışmada elde edilen ortalama şişme basıncı değerleri niteliksel çalışmalarda elde edilen aralıklar dahilinde olmadığı için ön çalışmalarda niteliksel değerler çok fazla göz önünde bulundurulmamalıdır.

10. Mevcut kile ait; gerek niteliksel yöntemlerle ve gerekse niceliksel yöntemler ile elde edilen şişme basıncı ve şişme yüzdesi değerleri dikkate alındığında, başta az katlı hafif yapılar, yol kaplamaları ve su boruları gibi imalatlara hasar verebileceği beklenmelidir.

5.2. Öneriler

1. Çalışma alanında inşa edilecek yapıların zemin etüdü aşamasında kil kalınlığının tespit edilmesi, kil kalınlığının az olması durumunda diğer avantajlarında (taşıma gücü ve bodrum yapmak için yer elde etmek) göz önüne alınarak yapı temellerinin ana kayaya indirilmesi gerekir.

2. Yıldırım ve Acar (1994), şişen zeminlerde muhtemel zararları önlemek üzere alınacak önlemler ve temel tasarımını şu şekilde sıralamışlardır.

- Zeminin, yapının inşasından önce su altında bırakarak şişmesinin temin edilmesi,
- Kireç, çimento, asfalt ve kimyasal maddelerle zemin ıslahı,
- İnşaattan sonra yapı altı ve çevresinde su muhtevası değişikliği meydana gelmemesi için yüzey suyu drenajı, binayı çevreleyen geçirimsiz tabaka (kaldırım, kaplama, geçirimsiz membran gibi) yapılması, su kaçaqları meydana gelmemesi için tedbir alınması, kökleri ile aşırı su çekmesi veya sulama dolayısıyla toprak nemini arttırması sebebiyle, bitkisel örtünün kontrolü,
- Temellerin, mevsimlik değişimlerden etkilenecek derinliğin altına yerleştirilmesi; kazık veya ayak temel sistemi seçilerek subasman hatlı, döşeme ve zemin seviyesi arasında muhtemel şişmeyi karşılamak üzere boşluk bırakılması,
- Şişme basıncını karşılamak üzere dar mütemadi sömeller yaparak taban basıncının arttırılması,

- Münferit sömel yapılacaksa, şişen zemin kaldırarak sömel ve döşeme altlarına 1m kalınlıktan az olmamak ve bina çevresine en az 3 m kadar taşmak üzere sıkıştırılmış stabilize malzeme koyulması,
- Yapısal sistemin şişme etkisi karşısında, en iyi şekilde tasarlanması,
- Şişme eğilimli kil dolgu zeminlerin, mümkün olduğu nispette yüksek su muhtevasında ve düşük birim hacim ağırlıkta sıkıştırılması gerekir.

3. Çalışma alanı çok büyük bir alanı teşkil ettiği için sınırlı sayıda numune üzerinde deneyler yapılmıştır. Çalışma alanına yapılacak öneriler hakkında sağlıklı sonuçlar elde edebilmek için daha fazla numune üzerinde deney yapılması daha sağlıklı olacaktır.

KAYNAKLAR

- ATLAS JEOLojİ, 2001. Şanlıurfa Dağeteği Yeşilurfaevleri Zemin Etüt Raporu Şanlıurfa, s.4–19
- GROMKO, G. J., 1974. Review of Expansive soils, Journal of Geotechnical Engineering Division. pp. 97-100
- HOLTZ, W. G. J., 1959. Engineer Properties of Expansive Clays, Transactions ASCE 121, pp. 641–663
- MOLLAMAHMUTOĞLU, M. ve TAŞKIRAN, T., 2000. Diyarbakır İli, Kayapınar-Yeniköy- Bağcılar Yöresi Kilinin şişme Potansiyelinin İrdelenmesi, Yüksek lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği. Ankara, 52 s.
- MOLLAMAHMUTOĞLU, M. ve GÜNGÖR, G., 2002. Bursa Yöresi Şişebilen kil Zeminlerin Yol Dolgularında Kullanılması Amacıyla Uçucu Kül ile İslahı, Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü. Ankara, 76 s.
- ÖNALP, A., 1997. Geoteknik Bilgisi I, Zeminler ve Mekaniği, Sakarya Üniversitesi, 83 s.
- UZUNER, B., 1998. Temel Zemin Mekaniği. Teknik yayınevi. 4.B. Ankara, 376s.
- PAMPAL, S. ve GÖKÇE, A., 2001. Ankara Kili Parametrelerinin Yerel Değişimi ve Şişme Potansiyeli Yorumu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, İnşaat mühendisliği bölümü. Ankara, 75 s.
- SEED, H. B., MOODWARD, R. J., and LUNGREEN, R., 1962. Prediction of Swelling Potential For Compacted Clays, Journal ASCE, Soil Mechanics and Foundations Div., 88 p.
- SİYAHİ, B. ve HEKİMOĞLU, S., 1996. Sıkıştırılmış Kil Zeminin Şişme Büzülme Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümü. Eskişehir, 56 s.
- ŞEKERCİOĞLU, E., 1998. Yapıların Projelendirilmesinde Mühendislik Jeolojisi. Ankara, 229 s.
- TS 1900. Nisan 1987. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuar Deneyleri. 1.B. Ankara.
- TS 1500. Aralık 200. İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin sınıflandırılması. Ankara.
- TUNCAN, A., 1995. Bazı kil Minerallerinin Fizikokimyasal Özelliklerinin Laboratuarda Tayini, VII. Ulusal kil Sempozyumu. Ankara, s.187–200
- TOSUN, H., BİRDEN, K. ve DİYAR, O. S., 1998. Harran Kilerinin (IV. Kısım) Geoteknik Özellikleri ve Şişme potansiyeli, GAP 2. Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı.
- VİAVERGİYA, V. N. and GHAZZALY, O. I., 1973. Prediction of swelling Potential For Natural Clay, Po., Third İnternatiol Conference On Expansive soils. İsrail, June, pp.227–236
- YILDIRIM, H. ve ACAR, C., 1994. ‘Killi Zeminlerin şişme Davranışına Ön Yükleminin Etkisi’, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü. İstanbul, 60 s.
- YILDIRIM, H., 2002. Şişme basıncının Tespiti ve Emme Kapasitesi ile İlişkisi Teknik Dergi, 20(2):13-15

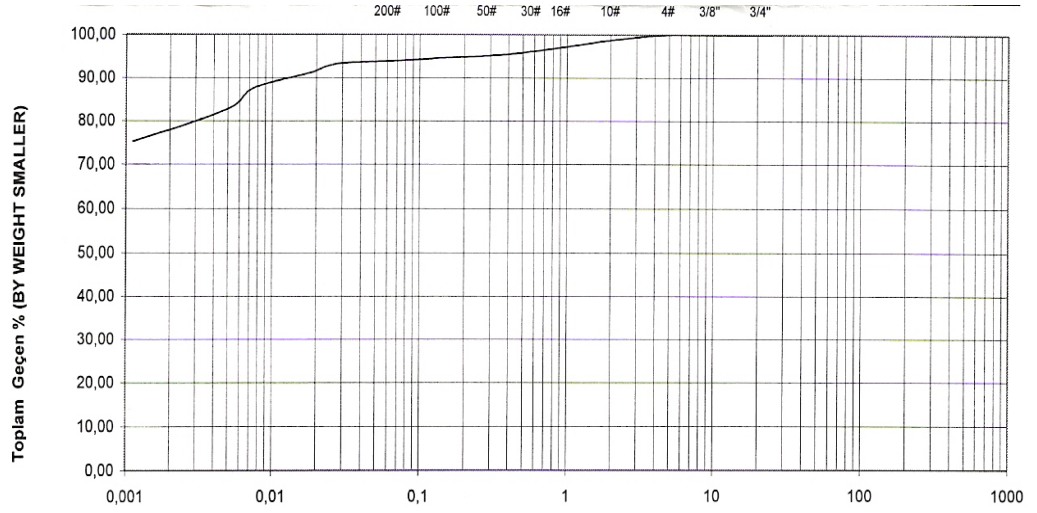
ÖZGEÇMİŞ

15.09.1980 Şanlıurfa'da doğdu. İlköğrenimini Şanlıurfa Şairnabi İlköğretim Okulu'nda, orta öğrenimini Şanlıurfa Merkez Ortaokulu'nda ve lise öğrenimini de Şanlıurfa Özel Fırat Lisesi'nde tamamladı. Daha sonra Harran Üniversitesi İnşaat Mühendisliğini kazandı ve 2003 Haziran döneminde İnşaat Mühendisi unvanı ile mezun oldu. Ardından Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde, 2003–2004 eğitim öğretim bahar döneminde yüksek lisansa başladı. Halen Harran Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisansa devam etmektedir.

EKLER



Ek Şekil 1. Şanlıurfa Germuş Yöresi'nin 1/5000 lik haritası



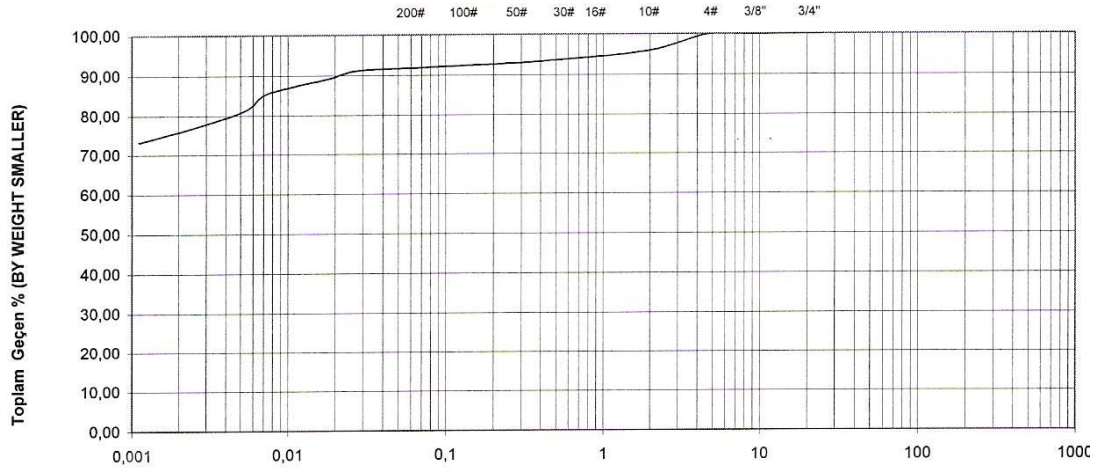
Ek Şekil 2. SK-1 UD 2.50 Elek-Hidrometre grafiği

Ek Çizelge 1. SK-1 UD 2.50 Hidrometre deney sonuçları

Süre(t)(dk)	2	5	15	30	60	250	1440
r	48	47	46	45	43	41	39
T(C°)	25	25	25	25	25	25	25
M	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4
R	46.60	45.60	44.60	43.60	41.60	39.60	37.60
(Gs)	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65
a	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
W _{200 gr}	93.98	93.98	93.98	93.98	93.98	93.98	93.98
W (gr)	46.99	46.99	46.99	46.99	46.99	46.99	46.99
P(mm)	99.17	97.04	94.91	92.79	88.53	84.27	80.02
P1(mm)	93.2	91.2	89.2	87.2	83.2	79.2	75.2
Kn	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
Kg	1	1	1	1	1	1	1
Kl	0.74	0.75	0.75	0.76	0.77	0.78	0.79
D (mm)	0.027824	0.01833	0.010575	0.007144	0.00535612	0.00263952	0.0011139

Ek Çizelge 2. SK-1 UD 2.50 Elek analizi deney sonuçları

TOPLAM GEÇEN %	TANE BOYUTU mm
100.00	25
100.00	19.000
100.00	9.52
100.00	4.750
98.74	2.000
95.59	0.425
94.64	0.149
93.98	0.075
93.20	0.027824
91.20	0.01833
89.20	0.010575
87.20	0.007144
83.20	0.0053561
79.20	0.0026395
75.20	0.0011139



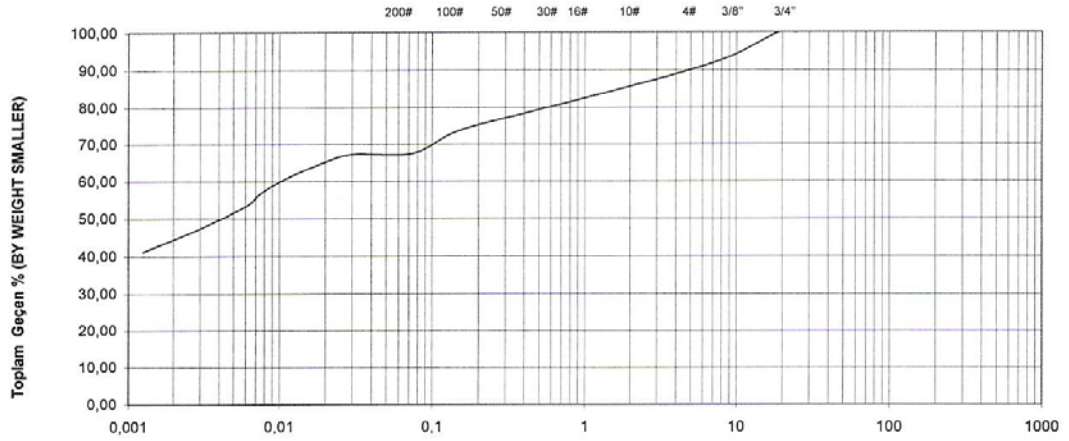
Ek Şekil 3. SK-2 UD 2.50 Elek-Hidrometre grafiği

Ek Çizelge 3. SK-2 UD 2.50 Hidrometre deney sonuçları

Süre(t)(dk)	2	5	15	30	60	250	1440
r	48	47	46	45	43	41	39
T(C°)	25	25	25	25	25	25	25
M	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4
R	45.60	44.60	43.60	42.60	40.60	38.60	36.60
(Gs)	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65
a	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
W _{200 gr}	91.90	91.90	91.90	91.90	91.90	91.90	91.90
W (gr)	45.95	45.95	45.95	45.95	45.95	45.95	45.95
P(mm)	99.24	97.06	94.89	92.71	88.36	84.00	79.65
P1(mm)	91.2	89.2	87.2	85.2	81.2	77.2	73.2
Kn	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
Kg	1	1	1	1	1	1	1
Kl	0.74	0.75	0.75	0.76	0.77	0.78	0.79
D (mm)	0.0282	0.01833	0.010716	0.007144	0.00535612	0.00263952	0.0011139

Ek Çizelge 4. UD 2.50 Elek analizi deney sonuçları

TOPLAM GEÇEN %	TANE BOYUTU mm
100.00	25
100.00	19.000
100.00	9.52
100.00	4.750
95.98	2.000
93.40	0.425
92.42	0.149
91.90	0.075
91.20	0.0282
89.20	0.01833
87.20	0.010716
85.20	0.007144
81.20	0.0053561
77.20	0.0026395
73.20	0.0011139



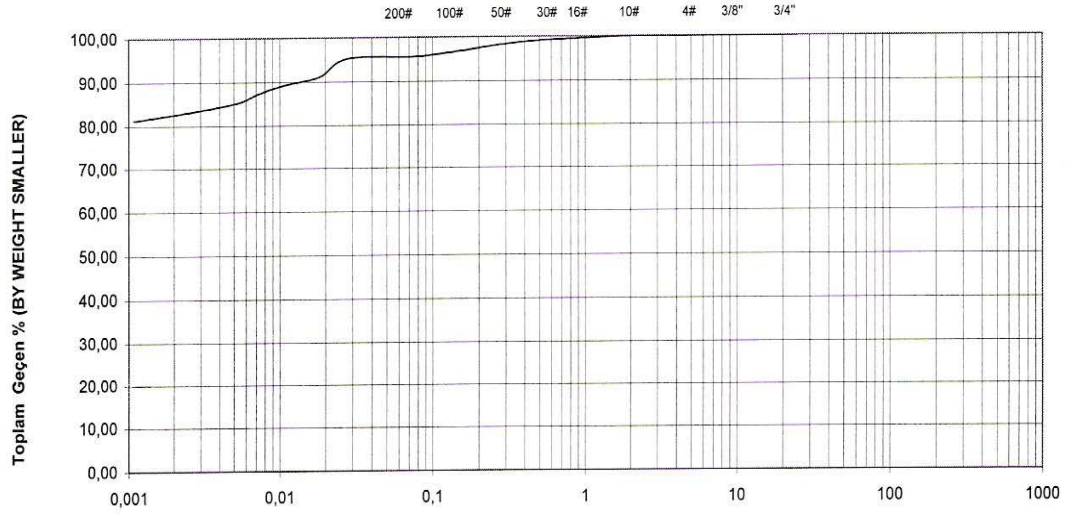
Ek Şekil 4. SK-3 UD 2.50 Elek-Hidrometre grafiği

Ek Çizelge 5. SK-3 UD 2.50 Hidrometre deney sonuçları

Süre(t)(dk)	2	5	15	30	60	250	1440
r	48	47	46	45	43	41	39
T(C°)	35	34	32	30	28	25	22
M	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4
R	33.60	32.60	30.60	28.60	26.60	23.60	20.60
(Gs)	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65
a	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
W _{200 gr}	67.53	67.53	67.53	67.53	67.53	67.53	67.53
W (gr)	67.53	67.53	67.53	67.53	67.53	67.53	67.53
P(mm)	99.51	96.55	90.63	84.70	78.78	69.89	61.01
P1(mm)	67.2	65.2	61.2	57.2	53.2	47.2	41.2
Kn	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
Kg	1	1	1	1	1	1	1
KI	0.81	0.82	0.83	0.84	0.86	0.87	0.89
d (mm)	0.030456	0.0200408	0.011703	0.007896	0.00598216	0.00294408	0.0012549

Ek Çizelge 6. SK-3 UD 2.50 Elek analizi deney Sonuçları

TOPLAM GEÇEN %	TANE BOYUTU mm
100.00	25
100.00	19.000
93.79	9.52
89.79	4.750
85.59	2.000
78.56	0.425
73.64	0.149
67.53	0.075
67.20	0.030456
65.20	0.0200408
61.20	0.011703
57.20	0.007896
53.20	0.0059822
47.20	0.0029441
41.20	0.0012549



Ek Şekil 5. SK-4 UD 1.00 Elek-Hidrometre grafiği

Ek Çizelge 7. SK-4 UD 1.00 Hidrometre deney sonuçları

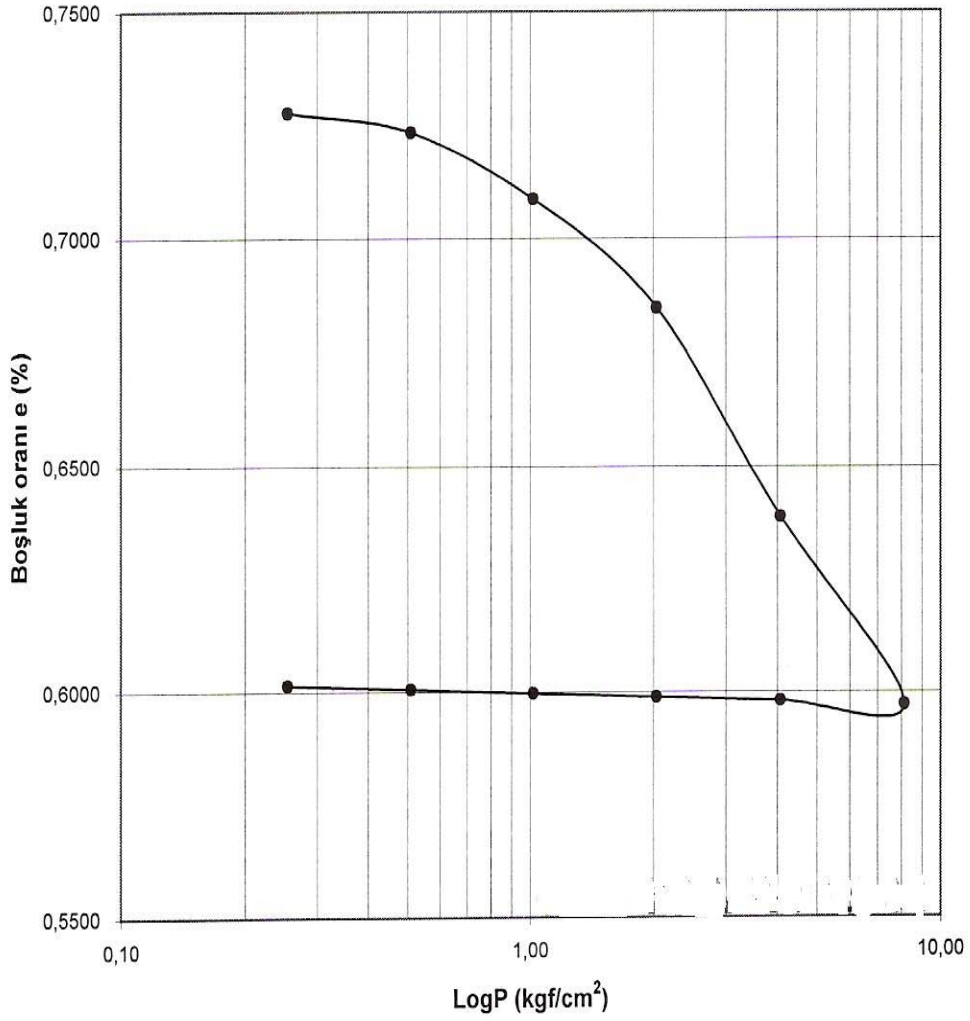
Süre(t)(dk)	2	5	15	30	60	250	1440
r	49	47	46	45	44	43	42
T(C°)	25	25	25	25	25	25	25
M	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4
R	47.60	45.60	44.60	43.60	42.60	41.60	40.60
(Gs)	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65
a	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
W _{200 gr}	95.59	95.59	95.59	95.59	95.59	95.59	95.59
W (gr)	47.80	47.80	47.80	47.80	47.80	47.80	47.80
P(mm)	99.59	95.41	93.32	91.22	89.13	87.04	84.95
P1(mm)	95.2	91.2	89.2	87.2	85.2	83.2	81.2
Kn	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
Kg	1	1	1	1	1	1	1
Kl	0.74	0.75	0.75	0.76	0.76	0.77	0.77
D (mm)	0.027824	0.01833	0.010575	0.007144	0.00528656	0.00260568	0.0010857

Ek Çizelge 8. SK-4 UD 1.00 Elek analizi deney sonuçları

TOPLAM GEÇEN %	TANE BOYUTU mm
100.00	25
100.00	19.000
100.00	9.52
100.00	4.750
100.00	2.000
98.90	0.425
96.75	0.149
95.59	0.075
95.20	0.027824
91.20	0.01833
89.20	0.010575
87.20	0.007144
85.20	0.0052866
83.20	0.0026057
81.20	0.0010857

Ek Çizelge 9. SK-1 UD 2.50 Konsolidasyon Deneý Sonuçları

Numunenin	
Çapı	7.50cm
Boyu	2.00 cm
Yaş ağırlığı	72.95 gr
Kuru ağırlığı	61.21 gr
Su muhtevası	19 %
Tabii kuru birim ağırlık	1.56 gr/cm ³



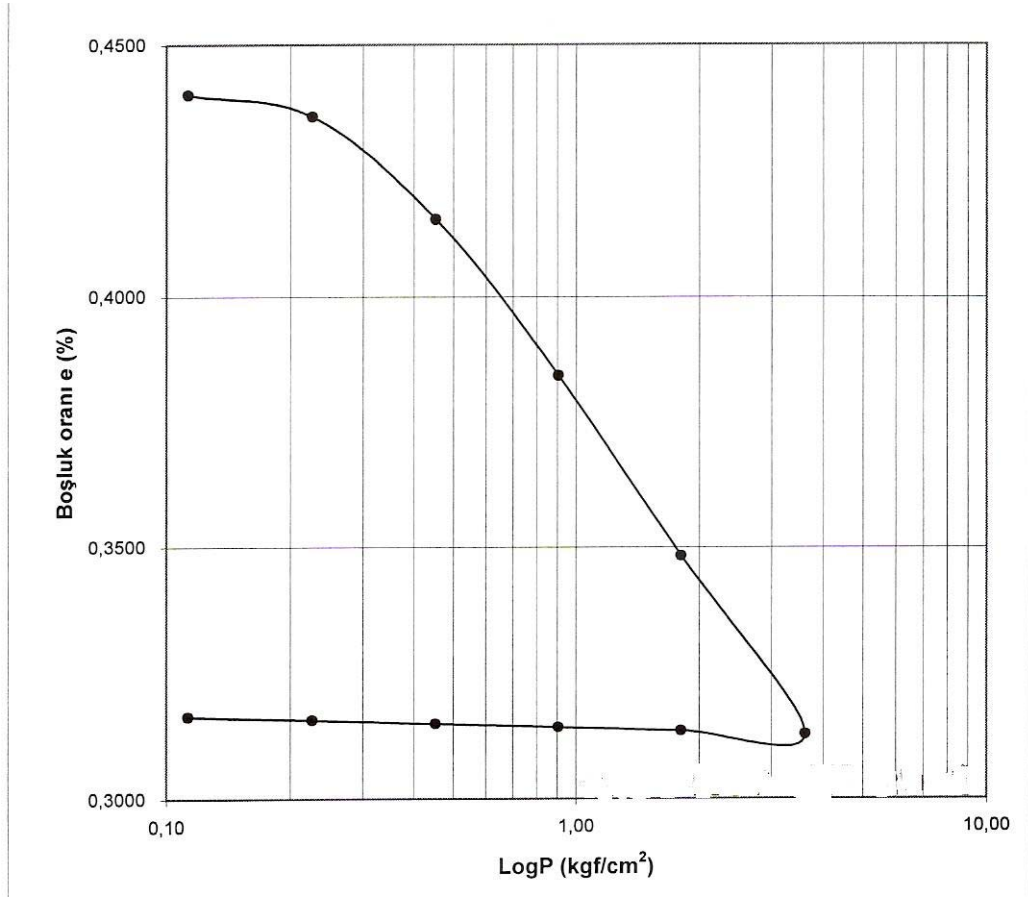
Ek Şekil 6. Boşluk oranı-LogP Grafiği

Ek Çizelge 10. Konsolidasyon Deneyi Oturma Değerleri

Tatbik edilen Basınc (p) cm kg/cm ²	Oturma δ_e cm	Oturma farkı $\Delta\delta_e$ cm	Numune Yüksekliği h cm	Epsilon h/h ₀	Boşluk yüksekliği h _b cm	Boşluk Oranı e %	Boşluk oranı değişimi Δe	Basınc Artışı Kg/cm ²	Sıkışma katsayısı $s_{1\Delta\sigma}$ A _v cm ² /kg	Hacimsel sıkışma Katsayısı M _v Cm ² /kg	1/M _v Kg/cm ²
0.0	0.0000		2.0000	0.0000	0.8454	0.7322					
		0.0050					0.0043	0.2546	0.0170	0.0098	0.0000
0.3	0.0050		1.9950	0.0025	0.8404	0.7279					
		0.0050					0.0043	0.2546	0.0170	0.0098	101.6046
0.5	0.0100		1.9900	0.0050	0.8354	0.7236					
		0.0170					0.0147	0.5093	0.0289	0.0168	59.6176
1.0	0.0270		1.9730	0.0135	0.8184	0.7088					
		0.0280					0.243	1.0186	0.0238	0.0139	71.7744
2	0.0550		1.9450	0.0275	0.7904	0.6846					
		0.0530					0.0459	2.0372	0.0225	0.0134	74.7608
4	0.1080		1.8820	0.0540	0.7374	0.6387					
		0.0480					0.0416	4.0744	0.0102	0.0062	160.5981
8	0.1560		1.8440	0.0780	0.6894	0.5971					
		0.0010									
4	0.11550		1.8450	0.0785	0.6904	0.5980					
		0.0010									
2	0.1540		1.8460	0.0780	0.6914	0.5988					
		0.0010									
1.0	0.1530		1.8470	0.0775	0.6924	0.5997					
		0.0010									
0.5	0.1520		1.8480	0.0770	0.6934	0.6006					
		0.0010									
0.3	0.1510		1.8490	0.0765	0.6944	0.6014					

Ek Çizelge 11. SK-2 UD 2.50 Konsolidasyon Deney Sonuçları

Numunenin	
Çapı	7.50 cm
Boyu	2.00 cm
Yaş ağırlığı	187.00 gr
Kuru ağırlığı	165.00 gr
Su muhtevası	13 %
Tabii kuru birim ağırlık	1.87 gr/cm ³



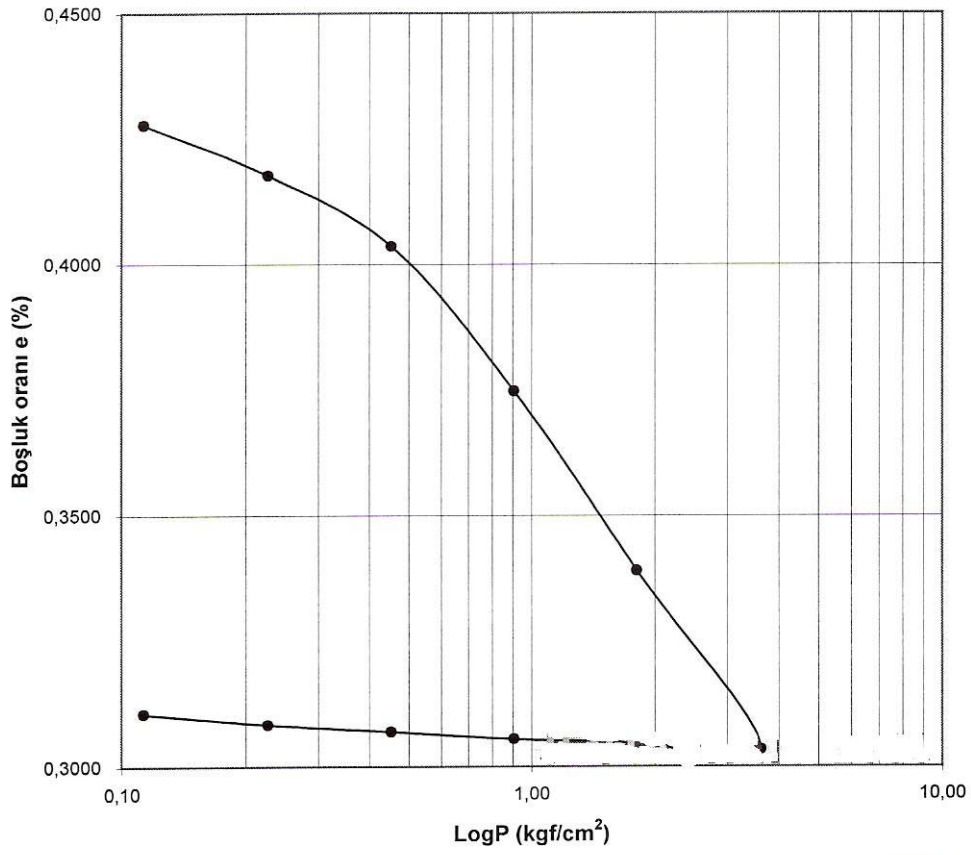
Ek Şekil 7. Boşluk oranı-LogP Grafiği

Ek Çizelge 12. Konsolidasyon Deneyi Oturma Değerleri

Tatbik edilen Basınç (p) cm	Oturma δe cm	Oturma farkı $\Delta \delta e$ cm	Numune Yüksekliği h cm	Epsilon h/ho	Boşluk yüksekliği h_b cm	Boşluk Oranı e %	Boşluk değişimi Δe oranı	Basınç Artışı K_g/cm^2	Sıkışma katsayı $s_{1\Delta\sigma}$ A_v cm^2/kg	Hacimsel sıkışma Katsayısı M_v Cm^2/kg	$1/M_v$ K_g/cm^2
0.0	0.0000		2.0000	0.0000	0.6167	0.4322	0.0058	0.1132	0.0511	0.0353	0.0000
0.1	0.0080	0.0080	1.9920	0.0040	0.6087	0.4279					
0.2	0.0140	0.060	1.9860	0.0070	0.6027	0.4179	0.043	0.1132	0.0383	0.0266	37.5747
0.5	0.0420	0.0280	1.9580	0.0210	0.5747	0.4036	0.0202	0.2264	0.0894	0.0623	16.0550
1	0.0850	0.0430	1.9150	0.0425	0.5317	0.3749	0.0311	0.4527	0.0687	0.0485	20.6140
2	0.1350	0.05000	1.8650	0.0675	0.4817	0.3391	0.0361	0.9054	0.0399	0.0288	34.6774
4	0.1840	0.0490	1.8160	0.0920	0.4327	0.3033	0.0354	1.8108	0.0196	0.0145	68.9224
		0.0010									
2	0.1830		1.8170	0.0925	0.4337	0.30489					
1	0.1820	0.0010	1.8180	0.0920	0.4347	0.3055					
		0.0010									
0.5	0.1810	0.0010	1.8190	0.0915	0.4357	0.3069					
0.2	0.1800	0.0010	1.8200	0.0910	0.4337	0.3083					
0.1	0.1790		1.8210	0.0905	0.4377	0.3105					

Ek Çizelge 13. SK-3 UD 2.50 Konsolidasyon Deney Sonuçları

Numunenin	
Çapı	7.50 cm
Boyu	2.00 cm
Yaş ağırlığı	190.93 gr
Kuru ağırlığı	166.57. gr
Su muhtevası	15 %
Tabii kuru birim ağırlık	1.89 gr/cm ³



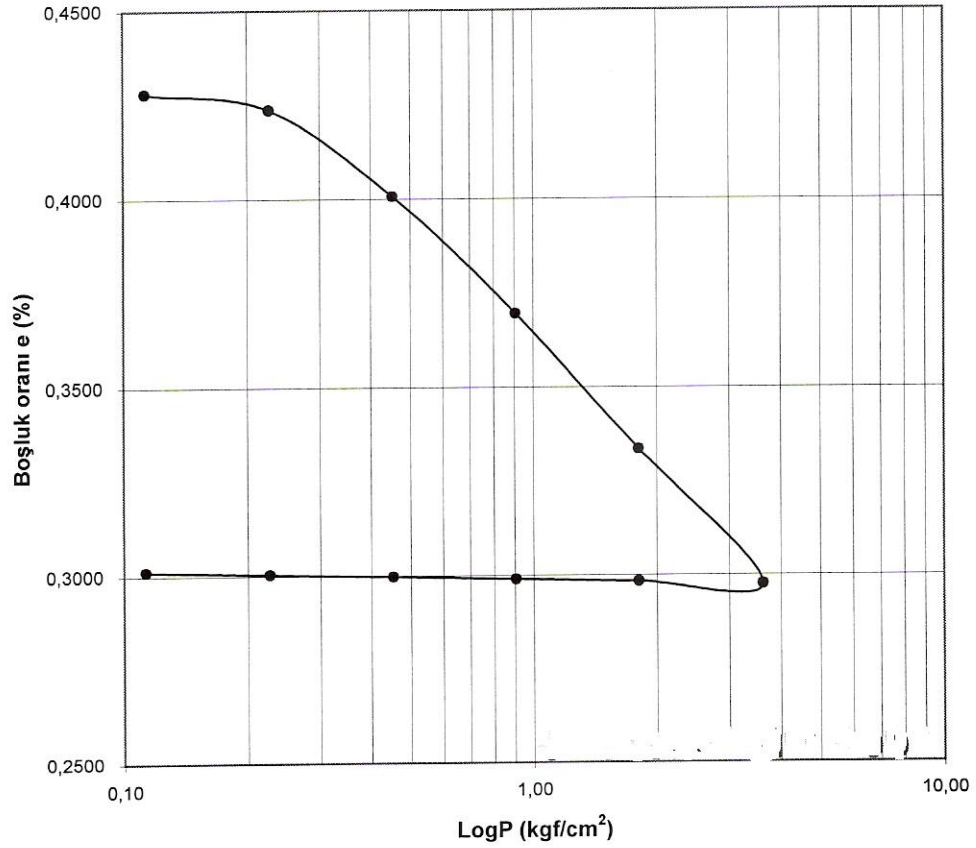
Ek Şekil 8. Boşluk oranı-LogP Grafiği

Ek Çizelge 14. Konsolidasyon Deneyi Oturma Değerleri

Tatbik edilen Basınç (p) cm kg/cm ²	Oturma δ_e cm	Oturma farkı $\Delta\delta_e$ cm	Numune Yüksekliği h cm	Epsilon h/h ₀	Boşluk yüksekliği h _b cm	Boşluk Oranı e %	Boşluk değişimi Δe oranı	Basınç Artışı Kg/cm ²	Sıkışma katsayı $s_{\Delta\sigma}$ A _v cm ² /kg	Hacimsel sıkışma Katsayısı M _v Cm ² /kg	1/M _v Kg/cm ²
0.0	0.0000		2.0000	0.0000	0.6036	0.4322					
		0.0060					0.0043	0.1132	0.0380	0.0265	0.0000
0.1	0.0060		1.9940	0.0030	0.5976	0.4279					
		0.0140					0.0100	0.1132	0.0886	0.0620	16.1196
0.2	0.0200		1.9800	0.010	0.5836	0.4179					
		0.0200					0.0143	0.2264	0.0633	0.0446	22.4090
0.5	0.0400		1.9600	0.020	0.5636	0.4036					
		0.0400					0.286	0.4527	0.0633	0.0451	22.1827
1	0.1300		1.9200	0.0400	0.5236	0.3749					
		0.0500					0.0358	0.9054	0.0395	0.0288	34.7680
2	0.1800		1.8700	0.0650	0.4736	0.3391					
		0.0500					0.0358	1.8108	0.0198	0.0148	67.7251
4	0.1300		1.8200	0.0900	0.4236	0.3033					
		0.0020									
2	0.1780		1.8220	0.0910	0.4256	0.30489					
		0.0010									
1	0.1770		1.8230	0.0905	0.4266	0.3055					
		0.0020									
0.5	0.1750		1.8250	0.0895	0.4286	0.3069					
		0.0020									
0.2	0.1730		1.8270	0.0885	0.4306	0.3083					
		0.0030									
0.1	0.1700		1.8300	0.0870	0.4336	0.3105					

Ek çizelge 15. SK-4 UD 1.00 Konsolidasyon Deney Sonucu

Numunenin	
Çapı	7.50 cm
Boyu	2.00 cm
Yaş ağırlığı	190.93 gr
Kuru ağırlığı	166.57 gr
Su muhtevası	15 %
Tabii kuru birim ağırlık	1.89 gr/cm ³



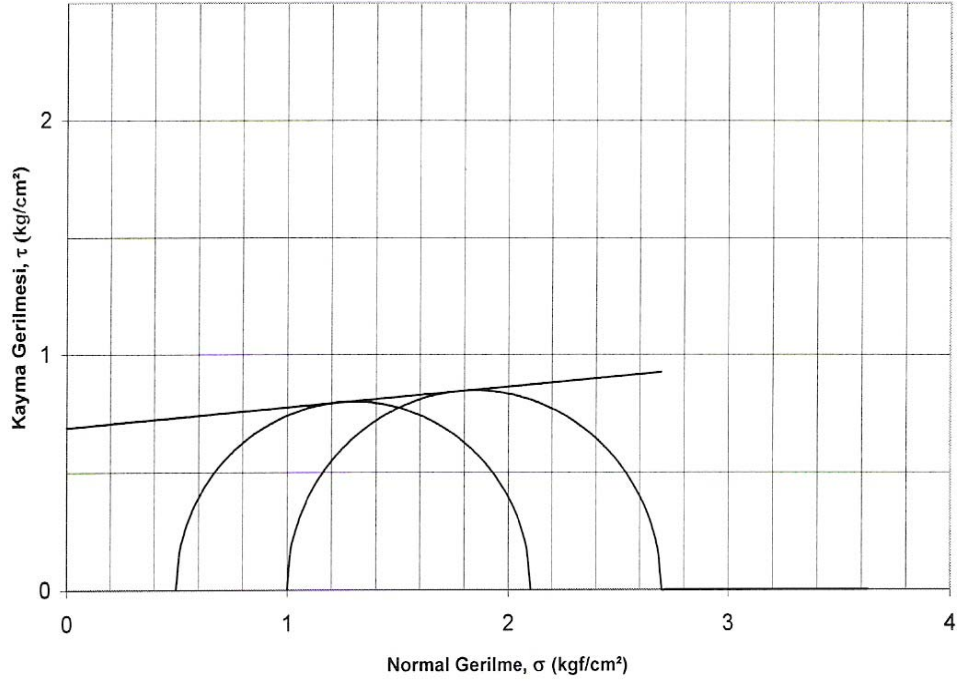
Ek Şekil 9. Boşluk oranı-LogP Grafiği

Ek çizelge 16. Konsolidasyon Deneyi Oturma Değerleri

Tatbik edilen Basınç (p) cm kğ/cm ²	Oturma δ_e cm	Oturma farkı $\Delta\delta_e$ cm	Numune Yüksekliği h cm	Epsilon h/h ₀	Boşluk yüksekliği h _b cm	Boşluk Oranı e %	Boşluk değişimi Δe oranı	Basınç Artışı Kğ/cm ²	Sıkışma katsayı $s_{1\Delta\sigma}$ A _v cm ² /kğ	Hacimsel sıkışma Katsayısı M _v Cm ² /kğ	1/M _v Kğ/cm ²
0.0	0.0000		2.0000	0.0000	0.6036	0.4322					
		0.0060					0.0043	0.1132	0.0380	0.0265	0.0000
0.1	0.0060		1.9940	0.0030	0.5976	0.4279					
		0.0060					0.0043	0.1132	0.0380	0.0266	37.6125
0.2	0.0120		1.9880	0.0060	0.5916	0.4179					
		0.0320					0.0229	0.2264	0.1012	0.0711	14.0622
0.5	0.0440		1.9560	0.0220	0.5596	0.4036					
		0.0440					0.0315	0.4527	0.0696	0.0497	20.1249
1	0.0880		1.9120	0.0440	0.5156	0.3749					
		0.0500					0.0358	0.9054	0.0395	0.0289	34.6231
2	0.1380		1.8620	0.0690	0.4656	0.3391					
		0.0500					0.0358	1.8108	0.0198	0.0148	67.4354
4	0.1880		1.8120	0.0940	0.4156	0.3033					
		0.0010									
2	0.1870		1.8130	0.0945	0.4166	0.30489					
		0.0010									
1	0.1860		1.8140	0.0940	0.4176	0.3055					
		0.0020									
0.5	0.1850		1.8150	0.0935	0.4186	0.3069					
		0.0020									
0.2	0.1840		1.8160	0.0930	0.4196	0.3083					
		0.0030									
0.1	0.1830		1.8170	0.0925	0.4206	0.3105					

Ek Çizelge 17. SK-1 UD 2.50 Üç Eksenli Basınç (UU) Deney Sonuçları

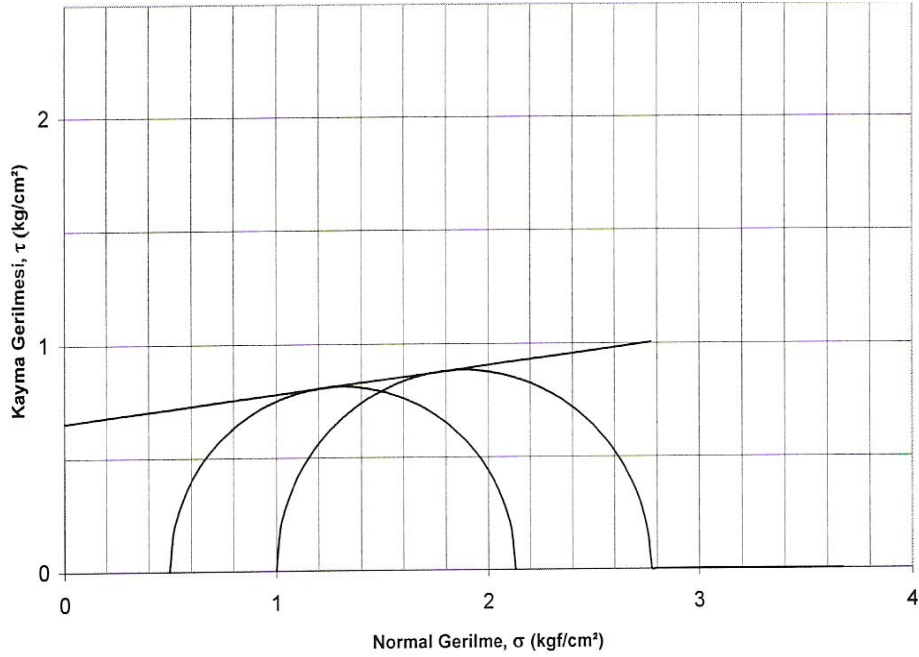
NUMUNE	A	B	
Boy	7.55	7.25	cm
Çapı	3.50	3.50	cm
Yaş ağırlığı (Wn)	141.500	136.00	gr
Doğal Birim Hacim Ağırlığı	1.95	1.95	gr/cm ³
Hücre basıncı	0.5	1	kgf/cm ²
Kırılma anında boy kısalması	480	320	
Kırılma anında yük halkası okuması	80	83	
Ring faktörü	0.206		
Deviyator gerilme	1.60	1.70	kgf/cm ²
Kırılma gerilmesi	2.10	2.70	kgf/cm ²
	1.3	1.8	kgf/cm ²
	0.8	0.8	kgf/cm ²
Kohezyon (c)	0.69 kgf/cm ²		
İçsel sürtünme açısı (Ø)	5 (°)		



Ek Şekil 10. Kayma gerilme-Normal Gerilme Grafiği

Ek Çizelge 18. SK-2 UD 2.50 Üç Eksenli Basınç (UU) Deney Sonuçları

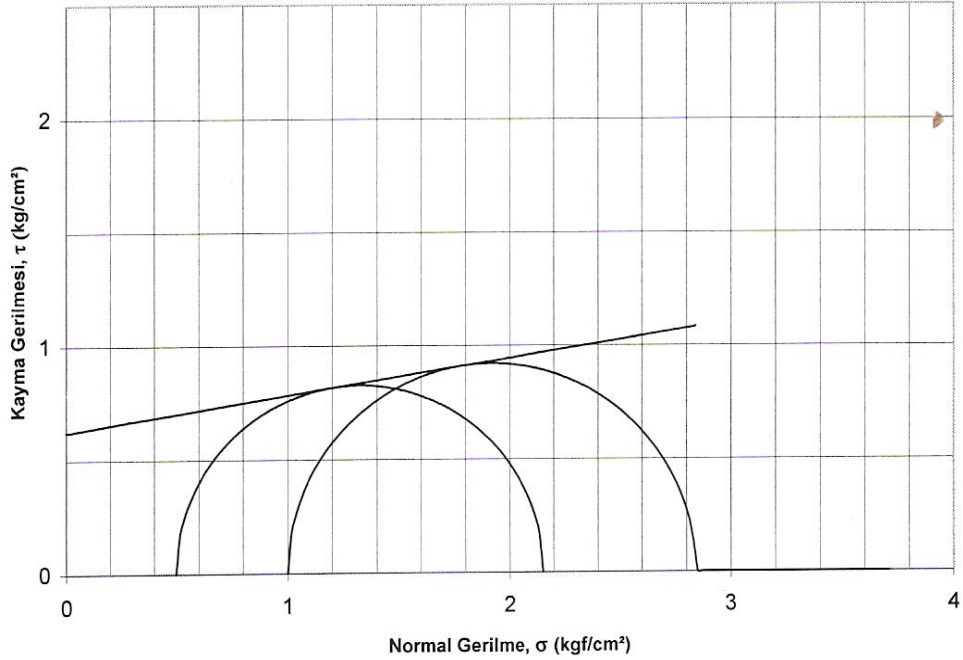
NUMUNE	A	B	
Boy	6.29	6.89	cm
Çapı	3.40	3.40	cm
Yaş ağırlığı (Wn)	114.00	125.00	gr
Doğal Birim Hacim Ağırlığı	2.00	2.00	gr/cm ³
Hücre basıncı	0.5	1	kgf/cm ²
Kırılma anında boy kısalması	440	160	
Kırılma anında yük halkası okuması	82	84	
Ring faktörü	0.206		
Deviyatör gerilme	1.73	1.86	kgf/cm ²
Kırılma gerilmesi	2.23	2.86	kgf/cm ²
	1.4	1.9	kgf/cm ²
	0.9	0.9	kgf/cm ²
Kohezyon (c)	0.66	kgf/cm ²	
İçsel sürtünme açısı (Ø)	7	(°)	



Ek Şekil 11. Kayma gerilme-Normal Gerilme Grafiği

Ek Çizelge 19. SK-3 UD 2.50 Üç Eksenli Basınç (UU) Deney Sonuçları

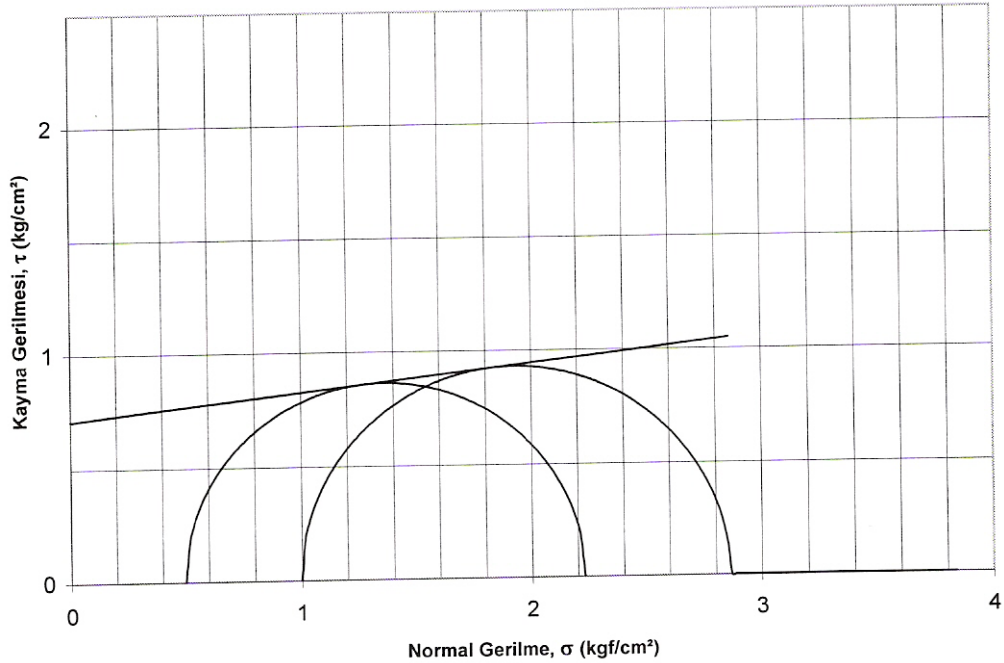
NUMUNE	A	B	
Boy	7.26	7.11	cm
Çapı	3.40	3.40	cm
Yaş ağırlığı (Wn)	128.00	125.00	gr
Doğal Birim Hacim Ağırlığı	1.94	1.94	gr/cm ³
Hücre basıncı	0.5	1	kgf/cm ²
Kırılma anında boy kısalması	480	320	
Kırılma anında yük halkası okuması	78	85	
Ring faktörü	0.206		
Deviyatör gerilme	1.65	1.84	kgf/cm ²
Kırılma gerilmesi	2.15	2.84	kgf/cm ²
	1.3	1.9	kgf/cm ²
	0.8	0.9	kgf/cm ²
Kohezyon (c)	0.62	kgf/cm ²	
İçsel sürtünme açısı (Ø)	9	(°)	



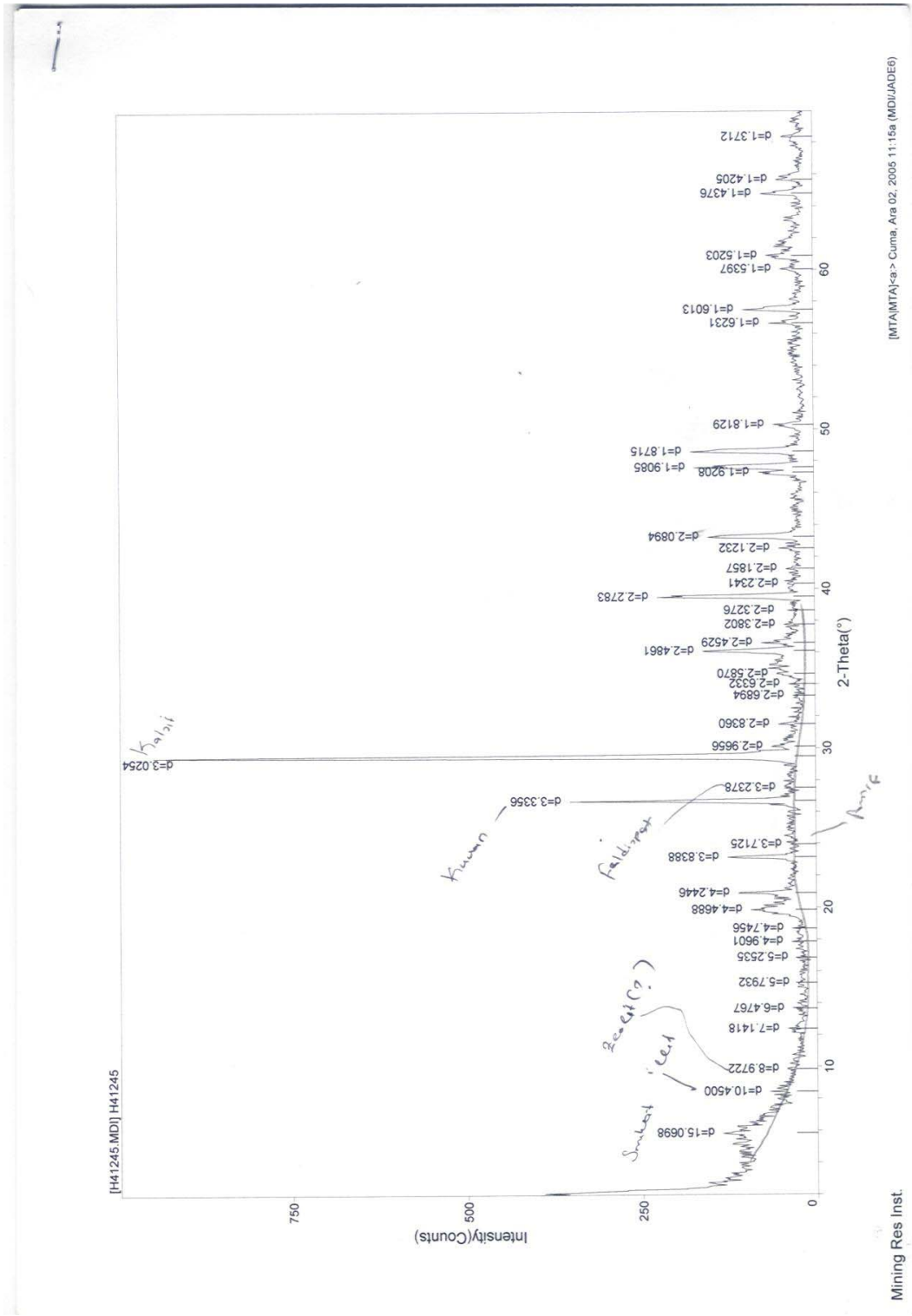
Ek Şekil 12. Kayma gerilme-Normal Gerilme Grafiği

Ek Çizelge 20. SK-4 1.00 UD Üç Eksenli Basınç (UU) Deney Sonuçları

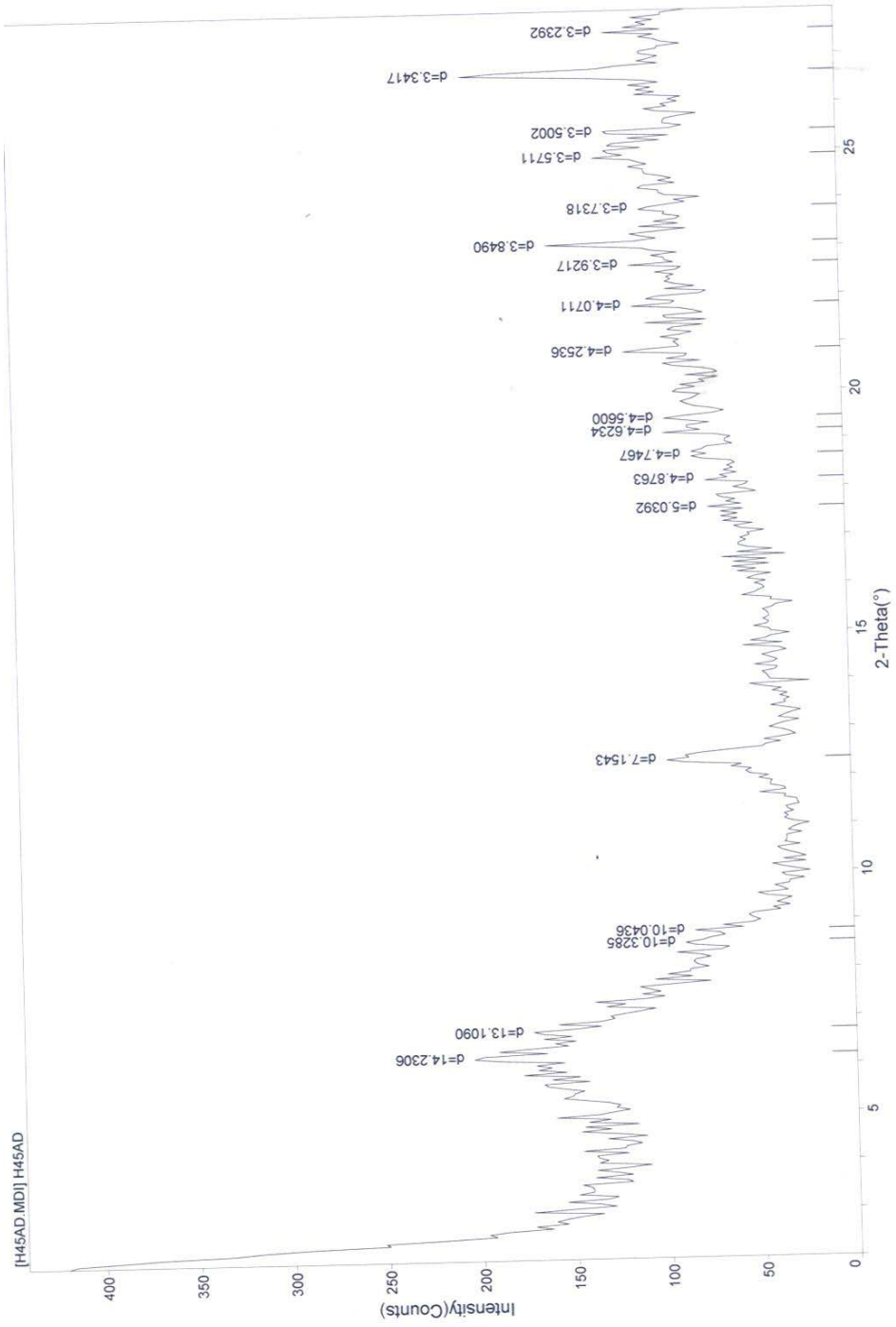
NUMUNE	A	B	
Boyu	6.29	6.89	cm
Çapı	3.40	3.40	cm
Yaş ağırlığı (Wn)	114.00	125.00	gr
Doğal Birim Hacim Ağırlığı	2.00	2.00	gr/cm ³
Hücre basıncı	0.5	1	kgf/cm ²
Kırılma anında boy kısalması	440	160	
Kırılma anında yük halkası okuması	82	84	
Ring faktörü	0.206		
Deviyatör gerilme	1.73	1.86	kgf/cm ²
Kırılma gerilmesi	2.23	2.86	kgf/cm ²
	1.4	1.9	kgf/cm ²
	0.9	0.9	kgf/cm ²
Kohezyon (c)	0.71	kgf/cm ²	
İçsel sürtünme açısı (Ø)	7	(°)	



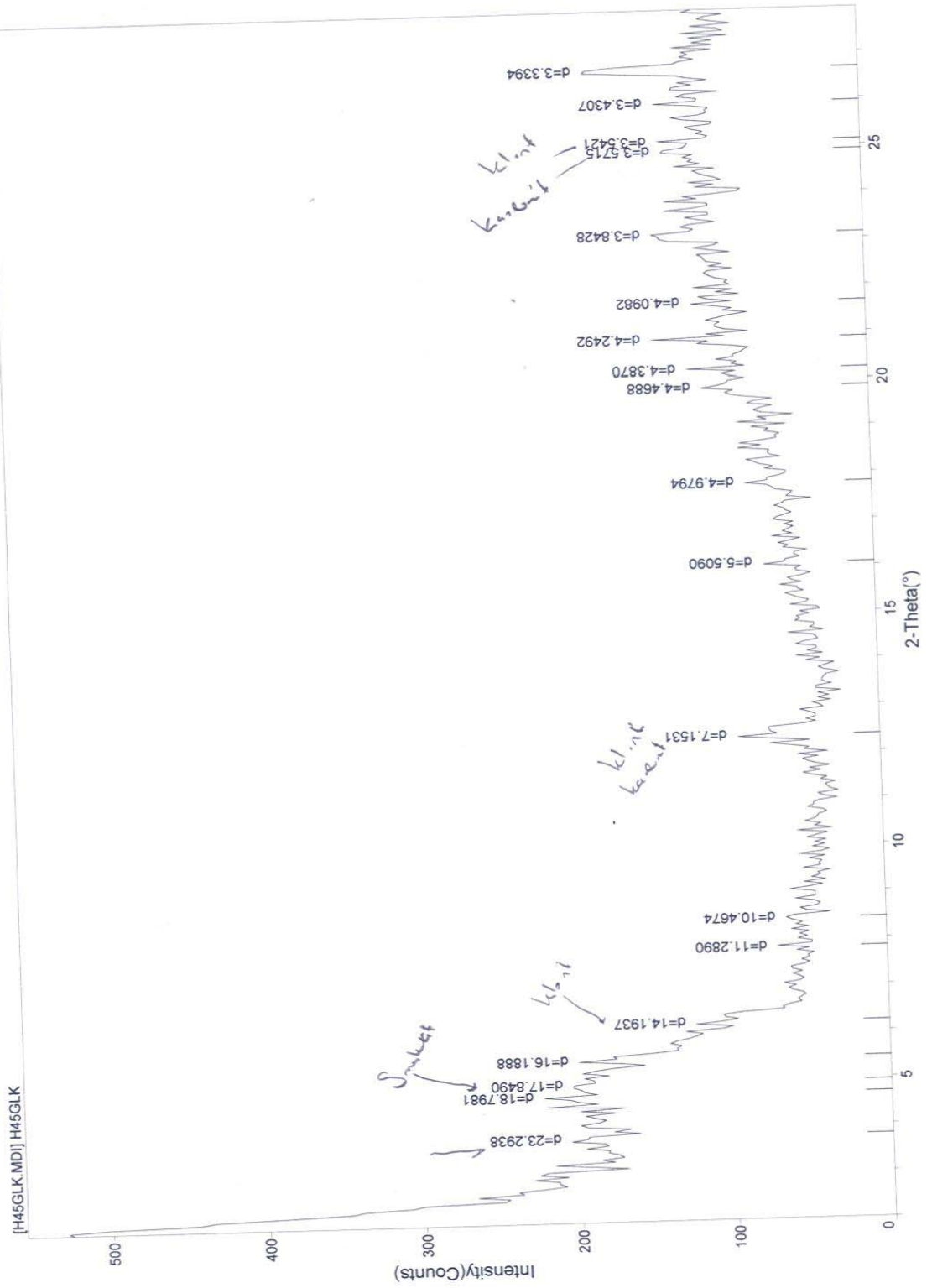
Ek Şekil 13. Kayma gerilme-Normal Gerilme Grafiği



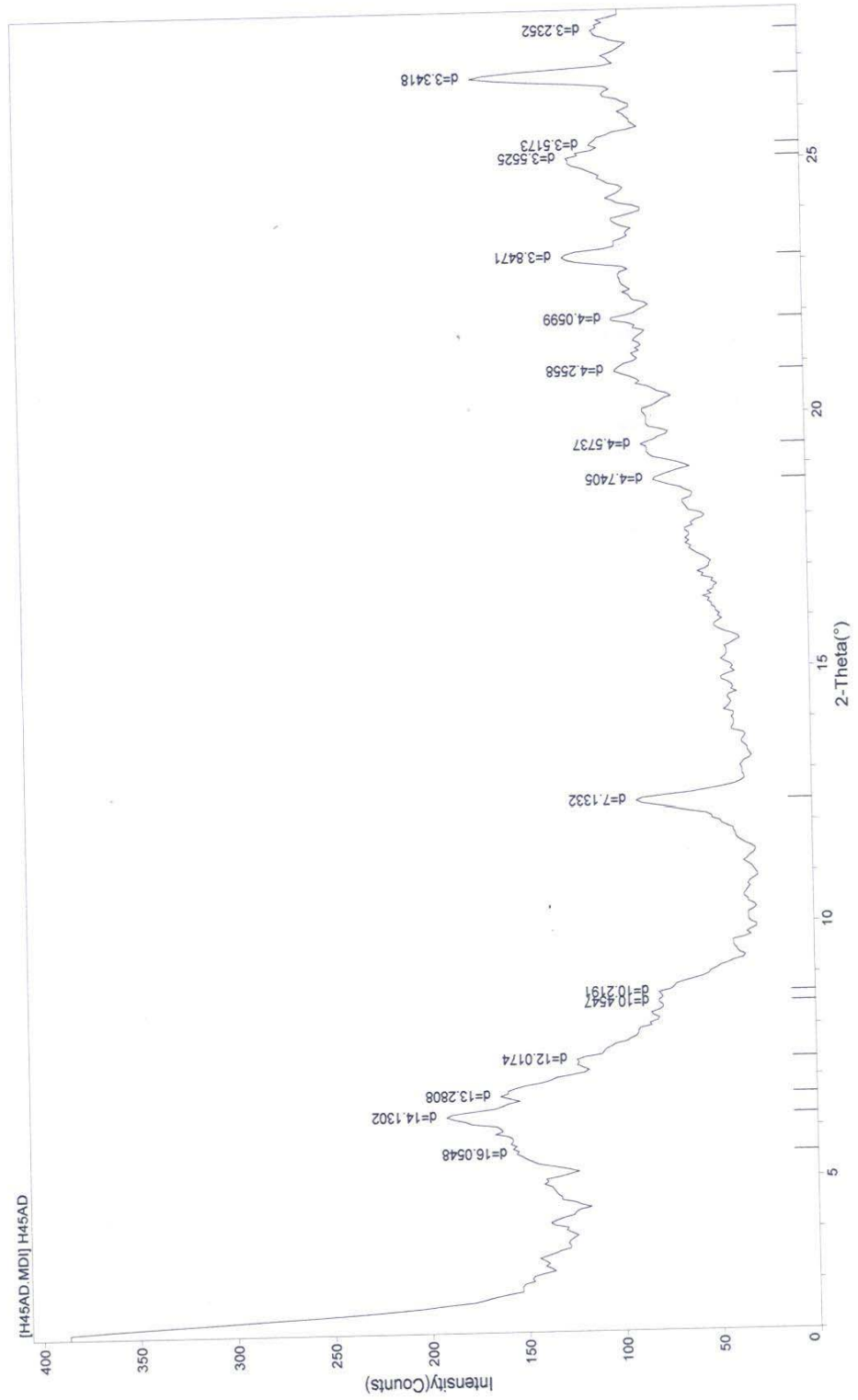
Ek Şekil 14. Kilit X-Ray Analiz Sonuçları



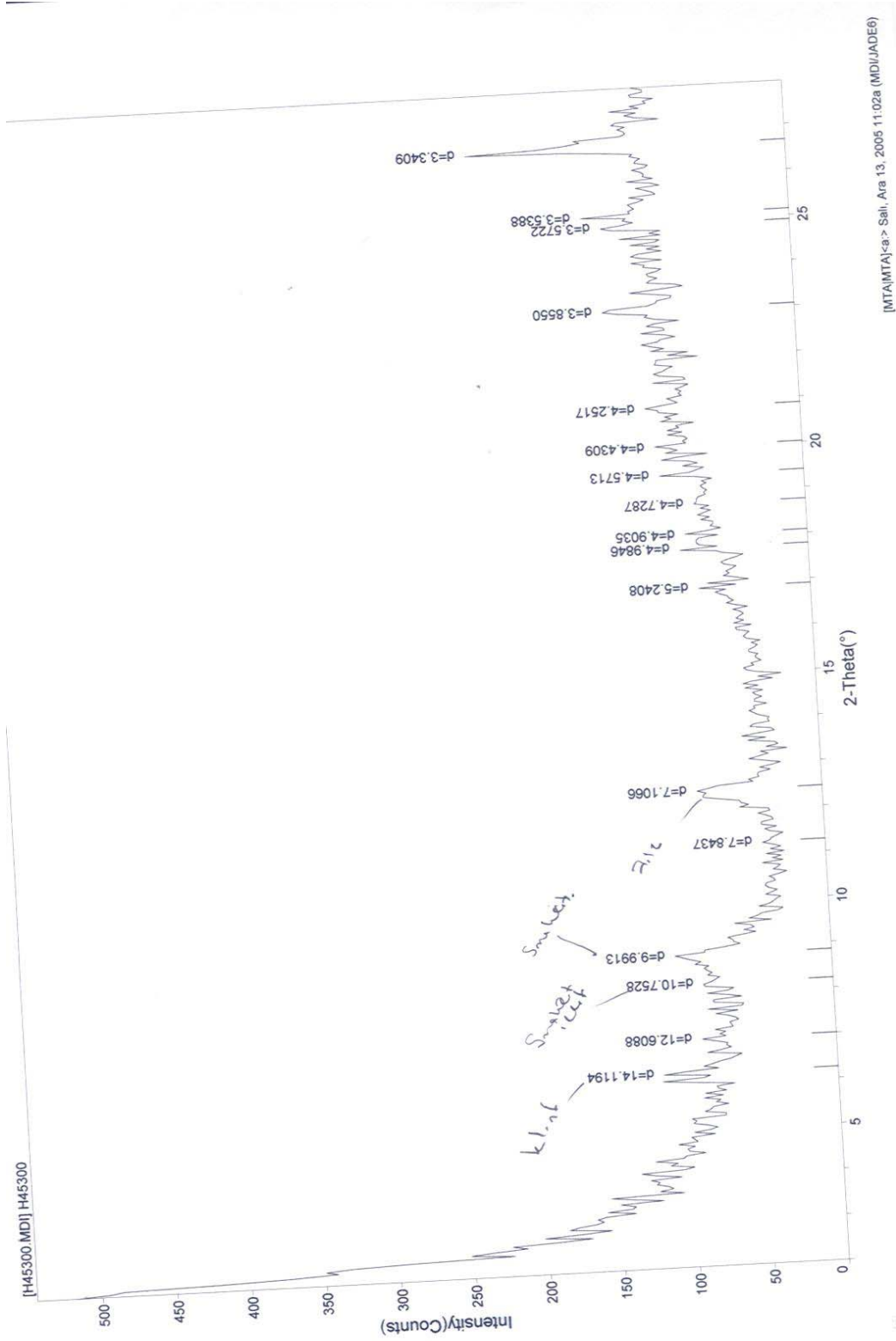
Ek Şekil 15. Kilin X-Ray Analiz Sonuçları



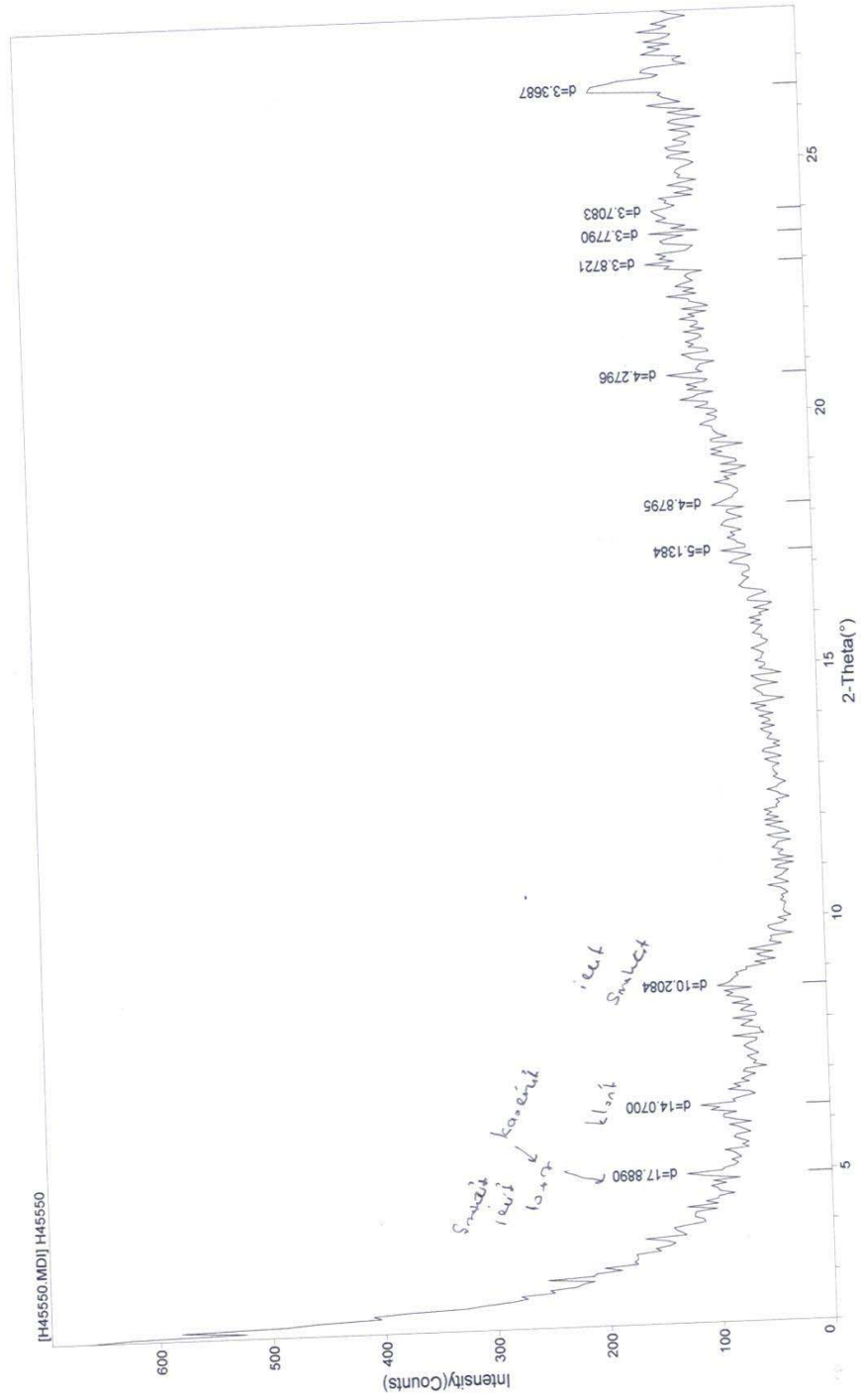
Ek Şekil 16. Kilim X-Ray Analiz Sonuçları



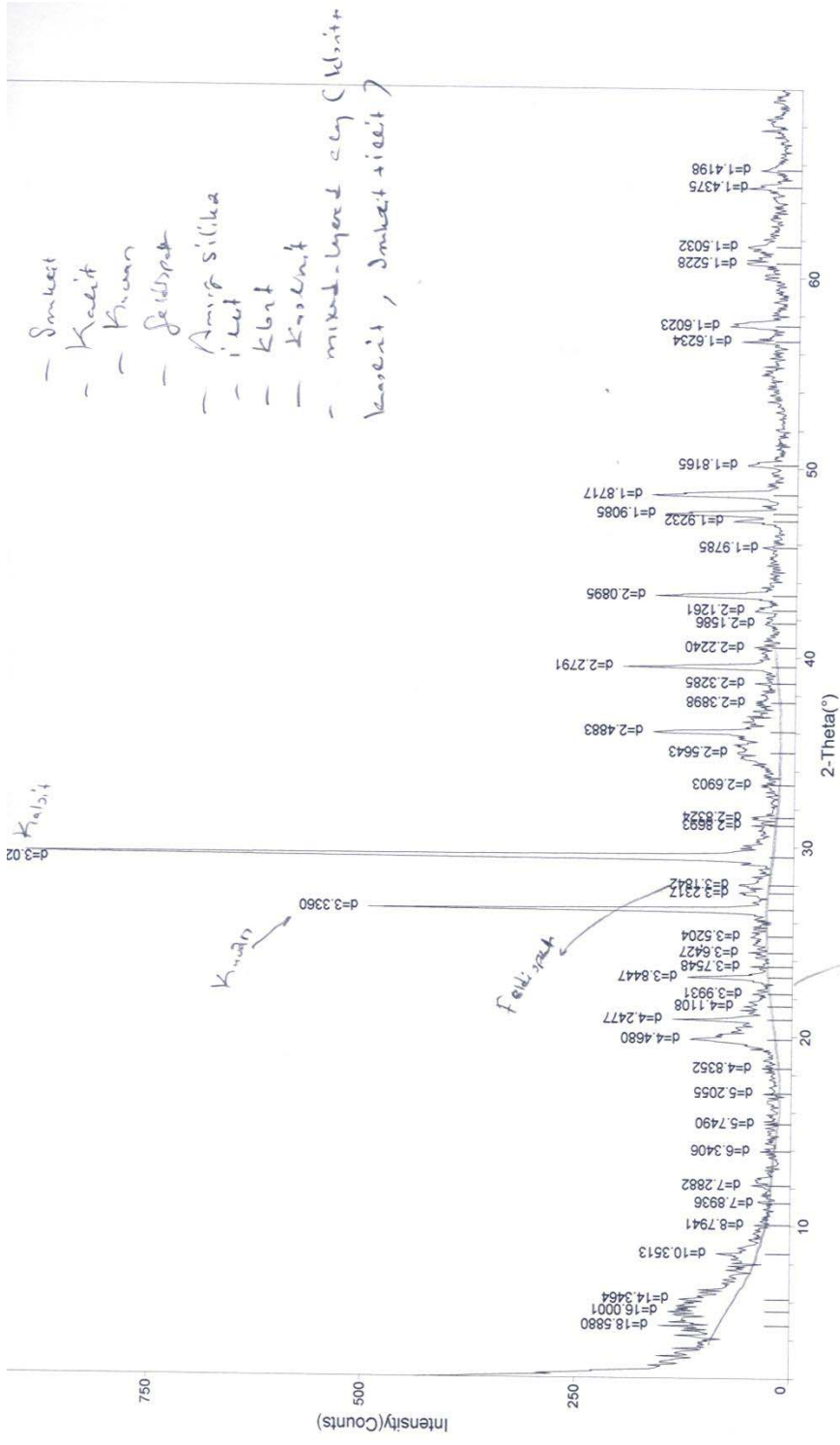
Ek Şekil 17. Kilin X-Ray Analiz Sonuçları



Ek Şekil 18. Kilin X-Ray Analiz Sonuçları



Ek Şekil 19. Kilit X-Ray Analiz Sonuçları

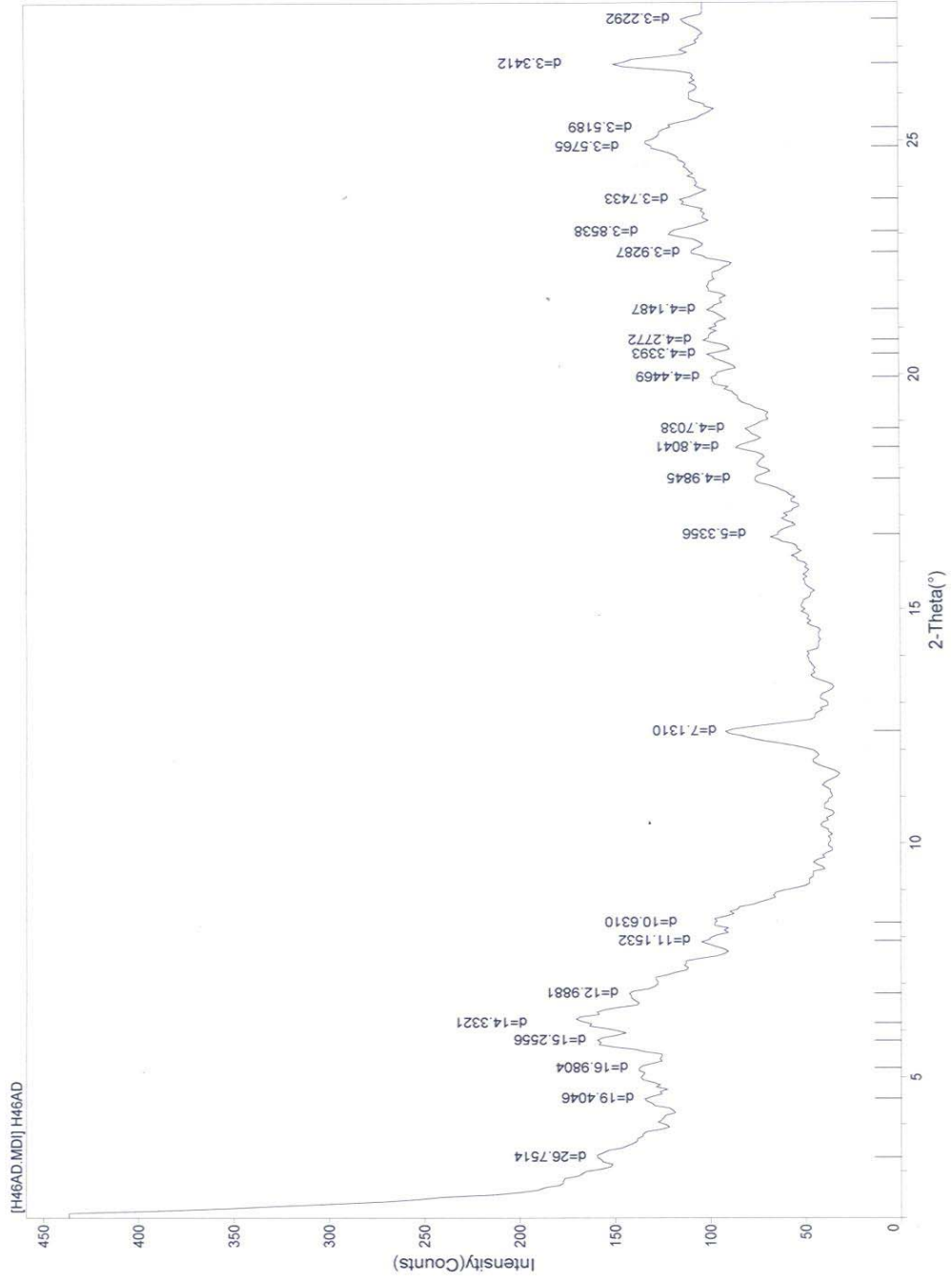


- Smektit
- Kaolinit
- Pürüvan
- Feldspat
- Amorf silika
- illit
- klt
- kooşnit
- mixed-layered clay (klsinta)
- kooşnit, smektit illit

[MTA\MTA]a> Cuma, Ara 02, 2005 11:17a (MDI\JADE6)

Mining Res Inst.
MINING RESEARCH INST.

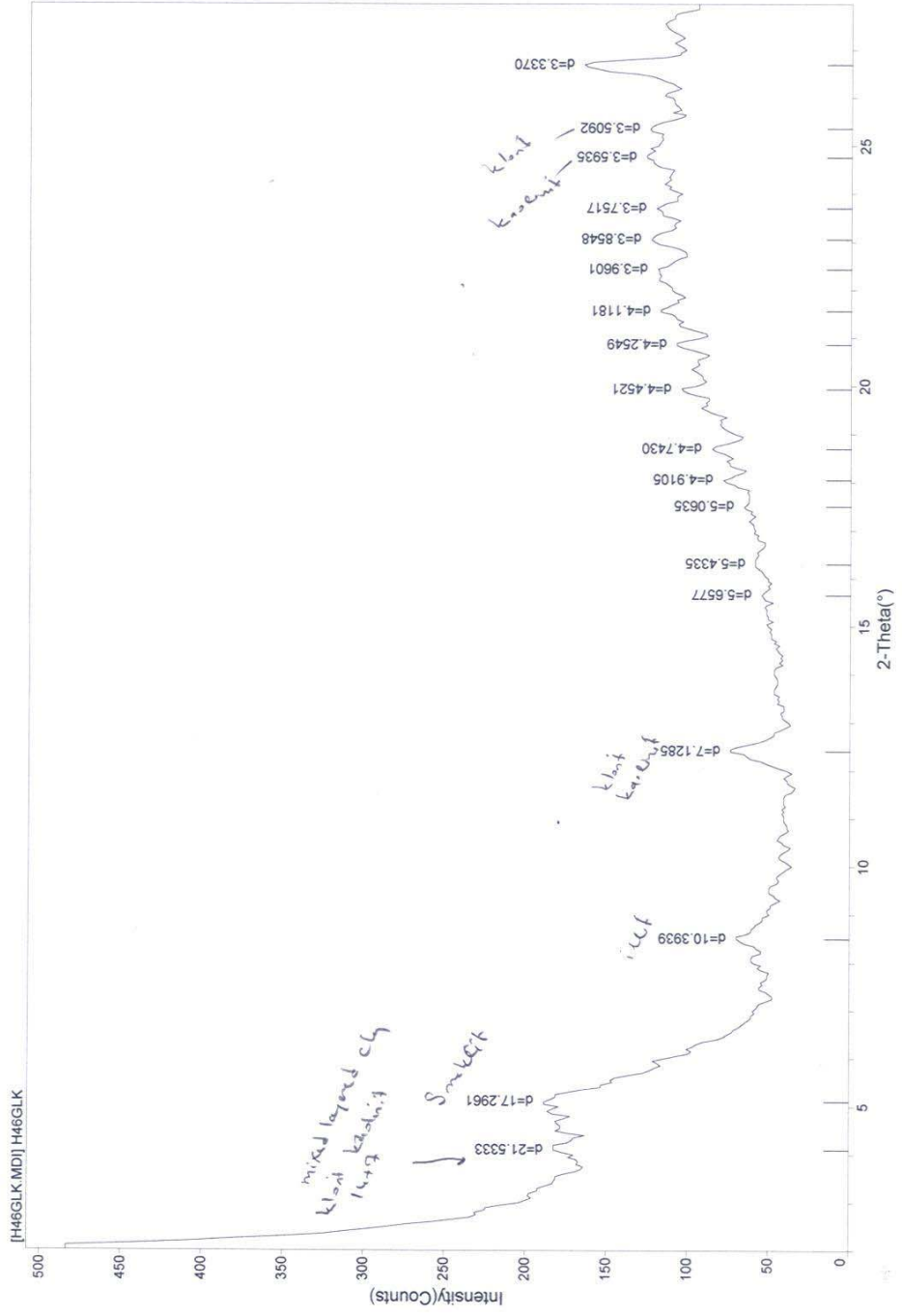
Ek Şekil 20. Kilin X-Ray Analiz Sonuçları



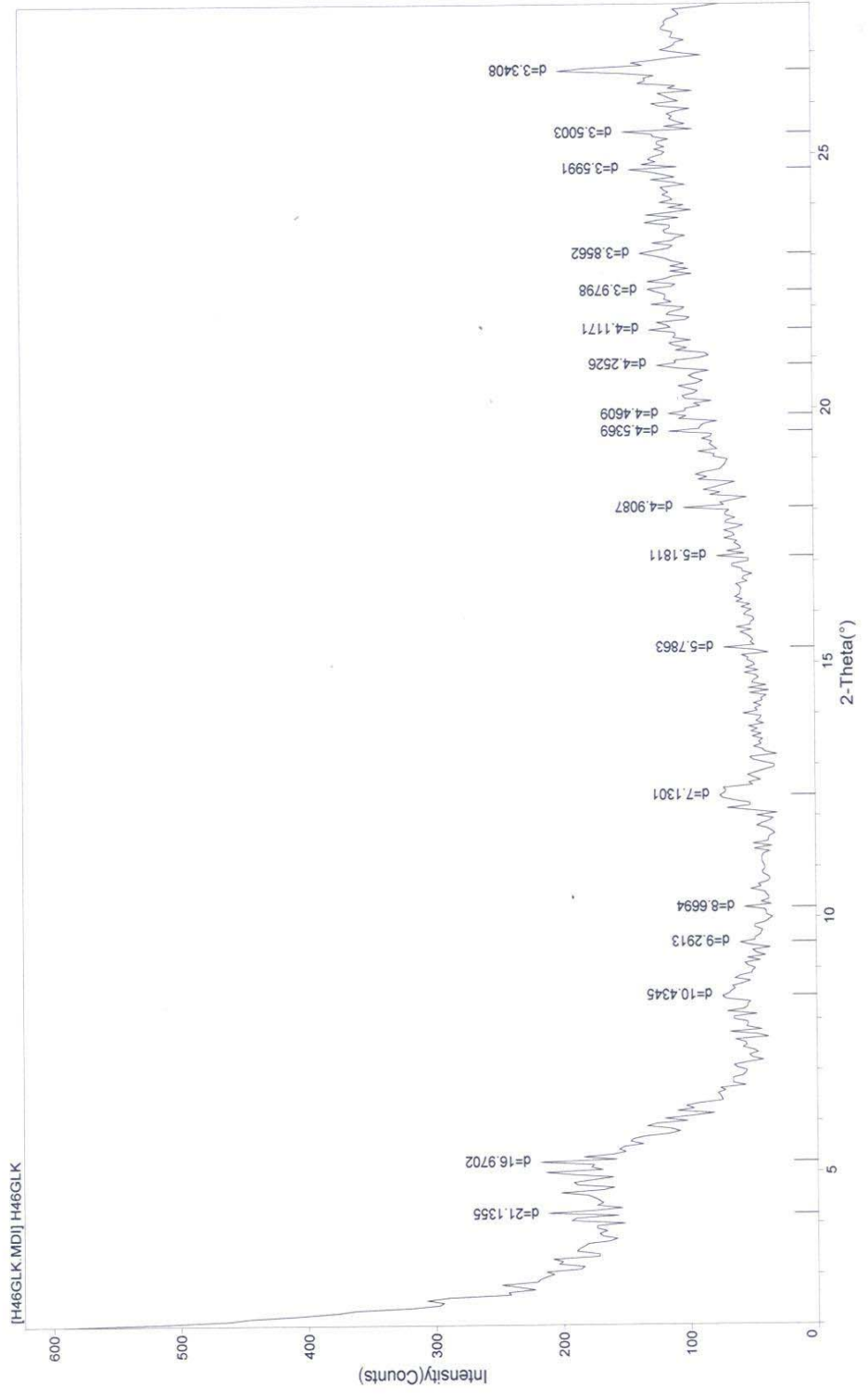
[M]TA[M]TA]- ϕ -S ϕ y, Ara 13, 2005 11:08a (MDI)UJADE6

Minina Res Inst.

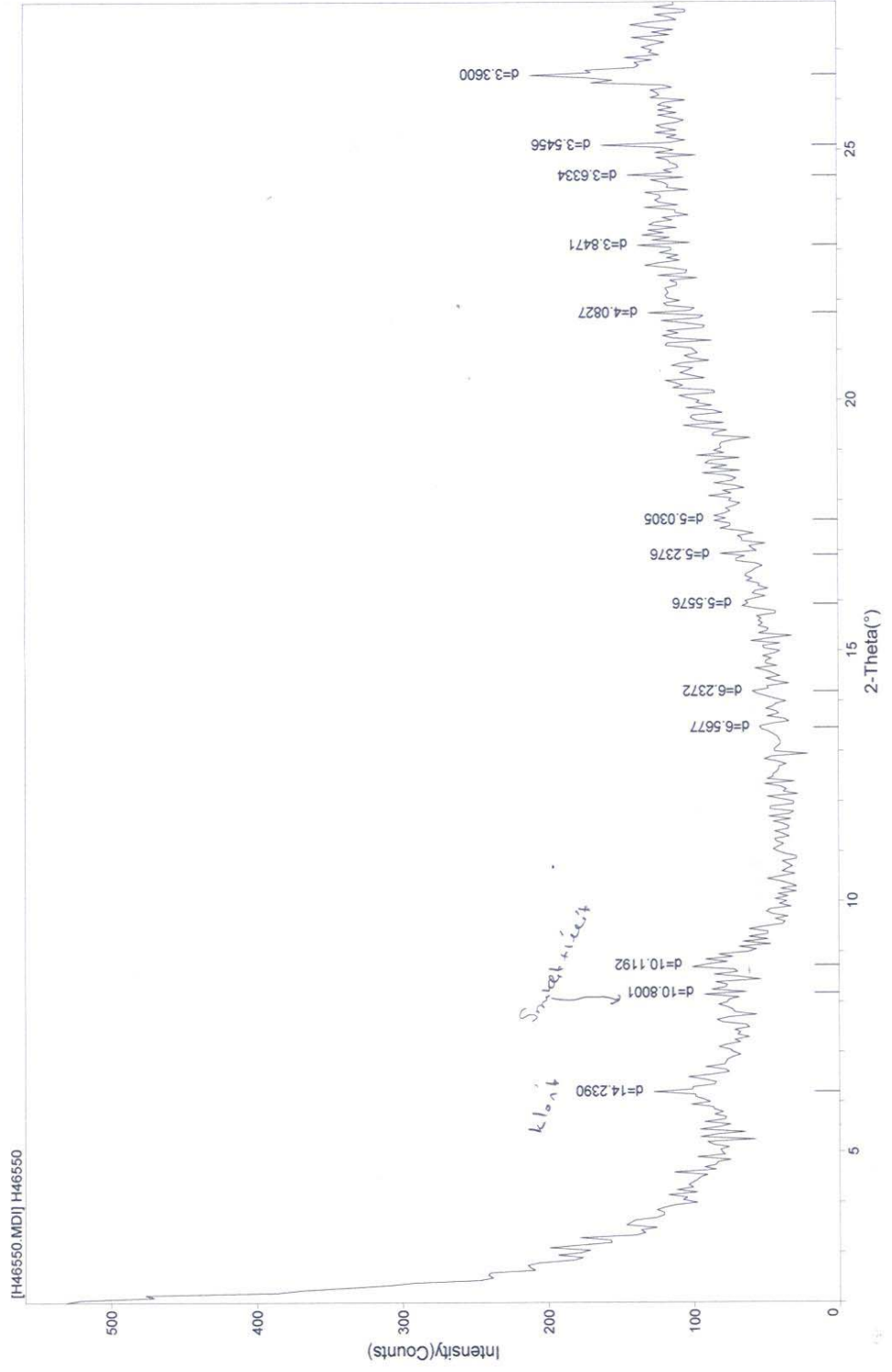
Ek Şekil 21. Kilin X-Ray Analiz Sonuçları



Ek Şekil 22. Kilin X-Ray Analiz Sonuçları



Ek Şekil 23. Kilin X-Ray Analiz Sonuçları



Ek Şekil 24. Kilit X-Ray Analiz Sonuçları

ÖZET

Killerin, mineral yapıları ile temel mühendislik özellikleri ve davranışları arasındaki ilişki çok sayıda araştırmaya konu olmuştur. Kilin türü; zeminin geçirimliliğine, şişme- büzülme davranışına, sıkışabilirlik ve kayma direnci gibi önemli özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Kil minerallerinin türü, kökenleri ve oluşma ortamları ile yakından ilgilidir. Killerin mineral yapılarını oluşum koşulları ve kökenleri ile birlikte değerlendirmek; zemin yapısını daha gerçekçi tanımak, muhtemel mühendislik problemleri tahmin etmek yönünden önemlidir. Ayrıca, geniş ölçekli alan çalışmalarında çalışmaya yön vermekte ve alanın geoteknik karakterini daha iyi anlamaya imkân tanımaktadır.

Killi zeminlerin şişme davranışının incelenmesine yol açan nedenlerden biri şişmeden dolayı meydana gelen zararların çok büyük olmasıdır. Şişmeden dolayı Amerika Birleşik Devletlerinde yılda 2.3 milyar dolar dolaylarında zarar meydana geldiği ve bunun da sel ve fırtınaların oluşturduğu zararlardan daha fazla olduğu raporlarda bilinmektedir.

Uygun iklim koşullarında, buharlaşma ve terlemenin neden olduğu zemin neminin azalması sonucunda, kuruma oluşmakta, geçirimsiz alanların altında nem birikmekte, insan faktörü ve etkenler (su borularından gelen sızıntılar, drenaj sistemlerinin tıkanması, su birikintileri v.s.) sonucunda zemin şişmekte ve hasarlar oluşabilmektedir. Hafif yüklü yapılar, yol ve havaalanı kaplamaları, park alanları, kanal kaplamaları ve su boruları şişen zeminlerin en çok hasar verdiği yapılardır. Kurak ve yarı kurak alanlar, bu tip hasarların en ciddi görüldüğü yerlerdir.

Bu çalışmada Şanlıurfa Germuş (Dağeteği) Yöresi kilinden alınan 4 tane numune üzerinde zeminin geoteknik özellikleri, şişme değerleri ile kilin X-Ray Difraksiyon analizleri yapıldı. Daha sonra giriş, kısmında killerin şişme potansiyelini belirlemede kullanılan yöntemlerle 4. kısımda korelasyonlara gidilerek kilin şişme potansiyeli nitel olarak belirlendi deneysel değerlerle karşılaştırması yapıldı. Elde edilen şişme değerleri ile sonuç kısmında şişmenin

yapılar (yol, su ve kanalizasyon hatları, 1-2 katlı hafif yapılar vs.) üzerindeki etkisi irdelendi.

SUMMARY

The relationship between the mineral structures and basic engineering properties and behaviors of clays has been the subject of numerous studies. The type of clay directly affects the important properties of ground such as its permeability, swelling-contraction behavior, compressibility and skid resistance. The type of clay minerals is closely associated with their origins and formation environment. Considering the mineral structures of clays together with their formation conditions and origins is important to know the ground structure more realistically, and to estimate potential engineering problems. It also leads the works in wide-scale studies and allows better understanding of the geotechnical characteristics of the area.

One of the reasons causing the examination of the swelling behavior of clay ground is that there are huge losses caused by swelling. It has been reported that some 2.3 billion dollar losses occur in the United States due to swelling and this accounted for an amount more than the losses caused by floods and storms.

Under convenient climatic conditions and as a result of decrease of ground humidity caused by evaporation and perspiration, drying is formed, humidity accumulates under impermeable areas, and the ground swells and damages might occur as a result of human factor and causes (leakage coming out of water pipes, clogging of the drainage system, accumulations of water etc.). Lightweight structures, road and airport coatings, parking lots, canal coatings and water pipes are among the structures affected most from swelling grounds. Dry and semi-dry areas are places where such damages are most seriously encountered.

This study analyzes the geotechnical properties of ground, swelling parameters and X-Ray Diffraction analyses of four clay samples taken from clays of Şanlıurfa Germuş (Dağeteği) Region. Then, the clay's swelling potential has been established by correlation in section 4 through methods used in the introduction section to

establish the swelling potential of clays and they were compared with experimental values. The effect of obtained swelling on structures (road, water and sewage lines, 1-2 storey lightweight structures etc.) has been studied in the conclusion section.