

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KİREÇ VE JİPSİN, ÜST PLİYOSAN YAŞLI YÜKSEK PLASTİSİTELİ
KİLLERİN (ANKARA) ŞİŞME VE DAYANIM ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Özgür KÜÇÜKALİ

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2011**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KİREÇ VE JİPSİN, ÜST PLİYOSEN YAŞLI YÜKSEK PLASTİSİTELİ KİLLERİN (ANKARA) ŞİŞME VE DAYANIM ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Özgür KÜÇÜKALİ

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Recep KILIÇ

Yüksek plastisiteli kilin, temel veya dolgu malzemesi olarak kullanılması sırasında, plastiklik özelliği nedeni ile işlenme gücüne, şişme, oturma ve dayanım problemlerine neden olduğu bilinmektedir. Ankara çayının kuzeyinde geniş alanlar kaplayan Üst Pliyosen çökelleri içerisindeki yüksek plastisiteli killer yol ve yapı temellerindeki dolgularda şişme, oturma, taşıma gücü ve duraylılık problemlerine neden olmaktadır. Bu tez kapsamında Batıkent yerleşim alanındaki yüksek plastisiteli killerin şişme ve dayanım özelliklerinin, ağırlıkça farklı oranlardaki kireç, jips ve kireç-jips karışımlarının kullanılarak iyileştirilmesi ve iyileştirmede en uygun karışım oranının araştırılması amaçlanmıştır. Kilin doğal haldeki ve hazırlanan karışımların optimum su içeriği ve maksimum kuru birim ağırlığı belirlenerek, %3, %6, %9, %12 ve %15 oranlarında katkı maddeleri kullanılarak yeniden sıkıştırma yapılarak elde edilen örneklerin şişme yüzdesi, şişme basıncı ve tek eksenli basınç dayanımı belirlenmiştir. Kilin en yüksek basınç dayanımı, kirecin %12 oranında kireç katılması ile 90 günde elde edilmiştir. Jipsin %3 oranında katılması halinde şişme ve dayanım özelliklerinin iyileştirme yerine olumsuz etkilendiği, kireç içerisine jips katılması halinde iyileştirme performansının azaldığı belirlenmiştir.

Nisan 2011, 66 sayfa

Anahtar Kelimeler: Üst Pliyosen kili, kireç, jips, Batıkent, şişme yüzdesi, şişme basıncı, tek eksenli basınç dayanımı.

ABSTRACT

Master Thesis

THE EFFECT OF LIME AND GYPSUM ON SWELLING AND STRENGTH PROPERTIES
OF UPPER PLIOCENE CLAY WITH HIGH PLASTICITY (ANKARA)

Özgür KÜÇÜKALİ

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Recep KILIÇ

It is well known that in case of use of clay with high plasticity as a foundation or fill material, it causes processing difficulty, swelling, settlement and strength problems because of its plasticity. Clays with high plasticity in Upper Pliocene deposits covering wide areas on the north of Ankara River causes swelling, settlement, bearing capacity and stability problems at the fills of roads and under structures. In this master thesis it's aimed to investigate the improvement in the swelling and strength properties of clay with high plasticity in Batkent residential areas by adding lime, gypsum and lime-gypsum with different percentages in weight and to determine optimum mixture ratio. Optimum water content and dry unit weight of clay and mixtures of clay and additives were determined. Swelling percentage, swelling pressure and unconfined compression strength of compacted clay with additives having percentages in weight %3, %6, %9, %12 and %15 were defined. The highest unconfined compression strength of clay was obtained by adding lime %12 percentage in weight for 90 days. It's also observed that adding %3 percentage in weight of gypsum have negative effects on the swelling and strength properties of clay rather than improvement. Finally in case of adding gypsum with lime decreases the performance of improvement.

April 2011, 66 pages

Key Words: Upper Pliocene clay, lime, gypsum, Batkent, swelling percentage, swelling pressure, unconfined compression strength

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmasının her aşamasında görüş ve katkıları ile her zaman desteğini gördüğüm danışman hocam, Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Recep KILIÇ' a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans çalışmalarım sırasında yardım ve desteğini esirgemeyen görevli olduğum Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığına (TAKK) şükranlarımı sunarım. Ayrıca Zemin Mekaniği Laboratuvarı Şube Müdürü Cevdet CANPOLAT' a, bu şubedeki tüm mühendis, teknik ve idari eleman arkadaşlarıma yardım ve destekleri için teşekkür ederim.

Yüksek plastisiteli killerin kimyasal özelliğinin belirlenmesindeki katkılarından dolayı Prof. Dr. Yusuf Kağan KADIOĞLU' na ve mineralojik incelemelerde desteklerini esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Zehra KARAKAŞ' a teşekkür ederim.

Hayatımın her dönemimdeki emekleri için başta annem Gülçin KÜÇÜKALİ olmak üzere, tüm aileme yardım ve destekleri için teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmam sırasında gösterdiği sabır, anlayış ve desteğinden dolayı eşim İnşaat Yüksek Mühendisi Nilüfer KÜÇÜKALİ' ye teşekkür ederim.

Özgür KÜÇÜKALİ

Ankara, Nisan 2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Amaç ve Kapsam.....	2
1.2 Materyal ve Yöntem.....	3
1.3 Jeoloji.....	16
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	18
2.1 Jeolojik Çalışmalar.....	18
2.2 Jeoteknik Amaçlı Çalışmalar.....	19
2.3 Katkı Maddesi ile İyileştirme Çalışmaları.....	21
3. ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ.....	23
3.1 Katkı Maddeleri ile İyileştirme Yöntemleri.....	25
3.1.1 Çimento ile iyileştirme.....	27
3.1.2 Kireç ile iyileştirme.....	28
3.1.3 Uçucu kül ile iyileştirme.....	29
3.1.4 Bitüm ile iyileştirme.....	30
4. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI.....	32
5. DEĞERLENDİRMELER.....	37
5.1 Kireç ile İyileştirme.....	37
5.2 Jips ile İyileştirme.....	43
5.3 Kireç ve Jips ile İyileştirme.....	49
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	56
KAYNAKLAR.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	66

SİMGELER DİZİNİ

km	Kilometre
m	Metre
cm	Santimetre
mm	Milimetre
g	Gram
μg	Mikrogram
γ_{dmax}	Kuru birim hacim ağırlığı
ω_{opt}	Optimum su içeriği
q_u	Taşıma gücü
τ	Makaslama gerilmesi
σ	Normal gerilme
AD	Havada kurutulmuş
EG	Etilen glukollü
550°	550° 'de fırınlanmış
A°	Armstrong
LL	Likit limit
PL	Plastik limit
PI	Plastisite indisi
c	Kohezyon
	İçsel sürtünme açısı
V_a	Hava yüzdesi
CH	Yüksek plastisiteli kil
MÖ	Milattan önce
TS	Türk Standardı
TAKK	Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
TÜRKAK	Türk Akreditasyon Kurumu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 İnceleme alanı yerbulduru haritası ve örnek alım noktaları.....	3
Şekil 1.2 Farklı oranlardaki kireç, jips ve kireç-jips karışımlarında tek eksenli basınç dayanımı için hazırlanan kil örnekleri.....	4
Şekil 1.3 Farklı oranlardaki kireç, jips ve kireç-jips karışımlarında şişme basıncı ve şişme yüzdesi için hazırlanan kil örnekleri.....	5
Şekil 1.4 Karışımlarda kullanılan yüksek plastisiteli kil (CH).....	6
Şekil 1.5 Yüksek plastisiteli kilin tane çapı dağılımı.....	8
Şekil 1.6 Yüksek plastisiteli kilin standart sıkıştırma deneyinde elde edilen kuru birim hacim ağırlığı - su içeriği ilişkisi.....	8
Şekil 1.7 Yüksek plastisiteli kilin kayma gerilmesi-normal gerilme ($\tau - \sigma$) ilişkisi.....	9
Şekil 1.8 Yüksek plastisiteli kilin (CH) XRD yöntemi ile yarı kantitatif analizi (AD).....	10
Şekil 1.9 Yüksek plastisiteli kilin (CH) XRD yöntemi ile yarı kantitatif analizi (EG).....	10
Şekil 1.10 Yüksek plastisiteli kilin (CH) XRD yöntemi ile yarı kantitatif analizi (550°).....	11
Şekil 1.11 ABS sönmüş kireci (Ca(OH)_2).....	13
Şekil 1.12 ABS sönmüş kirecinin XRD yöntemi ile yarı kantitatif analizi (AD).....	14
Şekil 1.13 ABS marka jipsin XRD yöntemi ile yarı kantitatif analizi (AD).....	15
Şekil 1.14 İnceleme alanının jeolojisi dikme kesiti.....	17
Şekil 5.1 Farklı kireç oranlarındaki 7 günlük şişme yüzdesinin değişimi.....	38
Şekil 5.2 Farklı kireç oranlarındaki 28 günlük şişme yüzdesinin değişimi.....	38
Şekil 5.3 Farklı kireç oranlarındaki 90 günlük şişme yüzdesinin değişimi.....	39
Şekil 5.4 Farklı kireç oranlarındaki 7 günlük şişme basıncının değişimi.....	40
Şekil 5.5 Farklı kireç oranlarındaki 28 günlük şişme basıncının değişimi.....	40
Şekil 5.6 Farklı kireç oranlarındaki 90 günlük şişme basıncının değişimi.....	41
Şekil 5.7 Farklı kireç oranlarındaki 7 günlük tek eksenli basınç dayanımının değişimi.....	42
Şekil 5.8 Farklı kireç oranlarındaki 28 günlük tek eksenli basınç dayanımının değişimi.....	42
Şekil 5.9 Farklı kireç oranlarındaki 90 günlük tek eksenli basınç dayanımının değişimi.....	43
Şekil 5.10 Farklı jips oranlarındaki 7 günlük şişme yüzdesinin değişimi.....	44
Şekil 5.11 Farklı jips oranlarındaki 28 günlük şişme yüzdesinin değişimi.....	44
Şekil 5.12 Farklı jips oranlarındaki 90 günlük şişme yüzdesinin değişimi.....	45
Şekil 5.13 Farklı jips oranlarındaki 7 günlük şişme basıncının değişimi.....	46
Şekil 5.14 Farklı jips oranlarındaki 28 günlük şişme basıncının değişimi.....	46
Şekil 5.15 Farklı jips oranlarındaki 90 günlük şişme basıncının değişimi.....	47
Şekil 5.16 Farklı jips oranlarındaki 7 günlük tek eksenli basınç dayanımının değişimi.....	48
Şekil 5.17 Farklı jips oranlarındaki 28 günlük tek eksenli basınç dayanımının değişimi.....	48
Şekil 5.18 Farklı jips oranlarındaki 90 günlük tek eksenli basınç dayanımının değişimi.....	49

Şekil 5.19 Farklı kireç ve jips oranlarındaki 7 günlük şişme yüzdesinin değişimi.....	50
Şekil 5.20 Farklı kireç ve jips oranlarındaki 28 günlük şişme yüzdesinin değişimi.....	51
Şekil 5.21 Farklı kireç ve jips oranlarındaki 90 günlük şişme yüzdesinin değişimi	51
Şekil 5.22 Farklı kireç ve jips oranlarındaki 7 günlük şişme basıncının değişimi.....	52
Şekil 5.23 Farklı kireç ve jips oranlarındaki 28 günlük şişme basıncının değişimi.....	53
Şekil 5.24 Farklı kireç ve jips oranlarındaki 90 günlük şişme basıncının değişimi.....	53
Şekil 5.25 Farklı kireç ve jips oranlarındaki 7 günlük tek eksenli basınç dayanımının değişimi.....	54
Şekil 5.26 Farklı kireç ve jips oranlarındaki 28 günlük tek eksenli basınç dayanımının değişimi.....	55
Şekil 5.27 Farklı kireç ve jips oranlarındaki 90 günlük tek eksenli basınç dayanımının değişimi.....	55
Şekil 6.1 Farklı kireç oranlarında şişme yüzdesinin zamana bağlı değişimi.....	56
Şekil 6.2 Farklı kireç oranlarında şişme basıncının zamana bağlı değişimi.....	57
Şekil 6.3 Farklı kireç oranlarında tek eksenli basınç dayanımının zamana bağlı değişimi.....	58
Şekil 6.4 Farklı jips oranlarında şişme yüzdesinin zamana bağlı değişimi.....	58
Şekil 6.5 Farklı jips oranlarında şişme basıncının zamana bağlı değişimi.....	59
Şekil 6.6 Farklı jips oranlarında tek eksenli basınç dayanımının zamana bağlı değişimi.....	60
Şekil 6.7 Farklı kireç ve jips oranlarında şişme yüzdesinin zamana bağlı değişimi.....	60
Şekil 6.8 Farklı kireç ve jips oranlarında şişme basıncının zamana bağlı değişimi.....	61
Şekil 6.9 Farklı kireç ve jips oranlarında tek eksenli basınç dayanımının zamana bağlı değişimi.....	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Yüksek plastisiteli kilin (CH) sınıflama, indeks, fiziksel, şişme ve mekanik özellikleri.....	7
Çizelge 1.2 Yüksek plastisiteli kilin (CH) kimyasal bileşimi	9
Çizelge 1.3 ABS sönmüş kirecinin (Ca(OH) ₂) kimyasal bileşimi	13
Çizelge 1.4 ABS marka jipsin (CaSO ₄ 2H ₂ O) kimyasal bileşimi.....	15
Çizelge 4.1 Yüksek plastisiteli kilin farklı kireç oranlarındaki, 7 günlük şişme yüzdesi, şişme basıncı ve tek eksenli basınç dayanımı.....	32
Çizelge 4.2 Yüksek plastisiteli kilin farklı kireç oranlarındaki, 28 günlük şişme yüzdesi, şişme basıncı ve tek eksenli basınç dayanımı.....	33
Çizelge 4.3 Yüksek plastisiteli kilin farklı kireç oranlarındaki, 90 günlük şişme yüzdesi, şişme basıncı ve tek eksenli basınç dayanımı.....	33
Çizelge 4.4 Yüksek plastisiteli kilin farklı jips oranlarındaki, 7 günlük şişme yüzdesi, şişme basıncı ve tek eksenli basınç dayanımı.....	34
Çizelge 4.5 Yüksek plastisiteli kilin farklı jips oranlarındaki, 28 günlük şişme yüzdesi, şişme basıncı ve tek eksenli basınç dayanımı.....	34
Çizelge 4.6 Yüksek plastisiteli kilin farklı jips oranlarındaki, 90 günlük şişme yüzdesi, şişme basıncı ve tek eksenli basınç dayanımı.....	35
Çizelge 4.7 Yüksek plastisiteli kilin farklı kireç ve jips oranlarındaki, 7 günlük şişme yüzdesi, şişme basıncı ve tek eksenli basınç dayanımı.....	35
Çizelge 4.8 Yüksek plastisiteli kilin farklı kireç ve jips oranlarındaki, 28 günlük şişme yüzdesi, şişme basıncı ve tek eksenli basınç dayanımı.....	36
Çizelge 4.9 Yüksek plastisiteli kilin farklı kireç ve jips oranlarındaki, 90 günlük şişme yüzdesi, şişme basıncı ve tek eksenli basınç dayanımı.....	36

1. GİRİŞ

Günümüzde mühendislik projeleri, kentsel gelişime bağlı olarak kısıtlı alanlarda önceden belirlenmiş yerlerde tasarlanır ve gerçekleştirilir. İnşa edilecek yapıların güvenli ve ekonomik olabilmesi için inşaat alanları jeolojik ve jeoteknik yönden incelenmelidir. Yapı yükleri altında zeminlerin taşıma gücü, oturma, şişme ve şev duraylılığı açısından irdelenmelidir. Bu açılardan uygun olmayan zeminlerde iyileştirme önlemlerini belirleyerek uygulamak gerekir. Temel elemanları altındaki şişen killerde taşıma gücü, oturma ve şişme problemleri ile karşılaşmaktadır. Herhangi bir yük etkisi altında, yenilme riski taşıyan zeminleri vey oluşabilecek kabul edilemeyecek düzeyde deformasyonları engellemek için farklı zemin iyileştirme yöntemleri uygulanmaktadır (Van Impe 1989).

Zemin iyileştirmesi, jeoteknik mühendisliği alanında uygulanmakta olan en eski yöntem olsa da, hala çok ilgi çekmekte ve sürekli gelişim göstermektedir. Bundan yaklaşık üç bin yıl önce, Babil Tapınağının yapımında zemin iyileştirmesi kullanıldığı bilinmektedir. Yine aynı dönemde Çinlilerin odun, bambu ve saman çöpü kullanarak zemin iyileştirdikleri kabul edilmektedir (Van Impe 1989).

Zemin iyileştirmesinde, zeminin yetersiz taşıma gücü zemin iyileştirme yöntemleri ile artırılarak yapı yüklerini karşılamaya yeterli hale getirilmektedir. Zemin iyileştirme yöntemlerinde temel amaç, mekanik araçlarla zeminin boşluk oranının azaltılması veya zemin boşluklarının çeşitli karışımlarla doldurulmasıdır (Van Impe 1989). Zemin iyileştirme yöntemleri ile zeminin aşağıdaki özellikleri düzenlenir:

- Taşıma gücünü artırmak
- Deformasyonu azaltmak
- Duraylılığı artırmak
- Şişme ve büzülme azaltmak
- Geçirimsizliği azaltmak
- Zeminin potansiyel sıvılaşma riskini azaltmak

Mekanik iyileştirmenin yeterli olmadığı veya kullanılmadığı durumlarda kimyasal iyileştirme bir alternatif olarak kullanılabilir. Kimyasal iyileştirmede zemine çeşitli katkı maddeleri karıştırılarak özelliklerinin amaca uygun hale gelmesine çalışılır. Kimyasal iyileşmenin uygulandığı projelerin %90'ından fazlasında kullanılan katkı maddeleri çimento, kireç, jips, uçucu kül ve bitümlü malzemelerdir (Van Impe 1989).

1.1 Amaç ve Kapsam

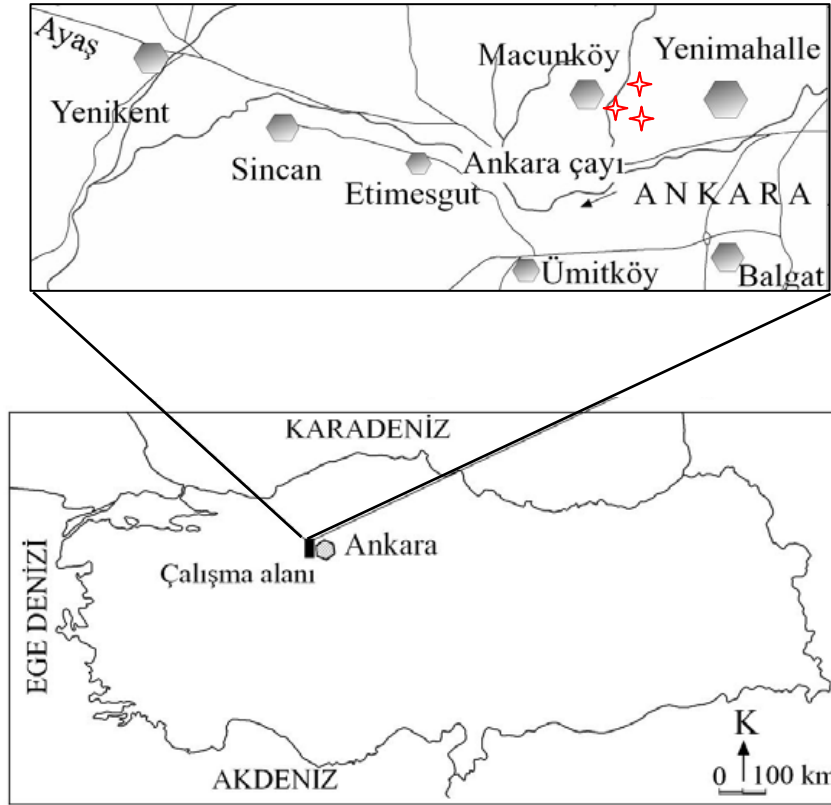
Ankara yerleşim alanında, Ankara Çayı'nın kuzeyinde Batıkent ve çevresindeki yapıların temelinde yüksek plastisiteli killerin bulunduğu düşük katlı yapılarda şişmeye bağlı çatlamlar ve çok katlı yapılarda yüke bağlı oturmalar sıkça gözlenmektedir. Ayrıca, temel çukuru kazılarında şev duraylılığı, yollarda şişme ve büzümeye bağlı deformasyonlar gözlenmektedir (Ulamış ve Kılıç 2009).

Bu çalışmanın amacı, Batıkent yerleşim alanındaki yüksek plastisiteli killerin (CH) kireç, jips ve kireç-jips karışımları kullanılarak, tek eksenli basınç dayanımı, şişme basıncı ve şişme yüzdesi üzerine 7, 28 ve 90 gündeki etkisini araştırmaktır. Ayrıca şişme basıncı ve şişme yüzdesinin en düşük, tek eksenli basınç dayanımının en yüksek olduğu en uygun karışımı belirlemektir.

Bu kapsamda, Batıkent yerleşim alanındaki yüksek plastisiteli kilin (CH) fiziksel ve mekanik özellikleri Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, TAKK Dairesi Başkanlığı, Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda incelenmiştir. Yüksek plastisiteli kilin ve karışımlarda kullanılan kireç ve jipsin kimyasal bileşimi ve XRD yöntemi ile yarı kantitatif analizi Ankara Üniversitesi Jeokimya Laboratuvarı'nda belirlenmiştir. Hazırlanan farklı oranlardaki kireç, jips ve kireç-jips karışımlarının 7, 28 ve 90 günlük şişme ve dayanım özellikleri Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda belirlenmiştir. Doğal haldeki kilin ve hazırlanan karışımların tüm özellikleri, deneyler üçer kez tekrar edilerek incelenmiştir.

1.2 Materyal ve Yöntem

Araştırmanın materyalini oluşturan yüksek plastisiteli kil (CH) Batıkent yerleşim alanında inşaatların temel kazılarındaki üç ayrı noktadan alınmıştır (Şekil 1.1). Karışımlarda Elmadağ kireç ocağında üretilen kireç ve Bala jips ocağında üretilen jips kullanılmıştır. Kilin, kirecin ve jipsin kimyasal özellikleri ile kilin mineral bileşeni yarı kantitatif olarak XRD yöntemi ile belirlenmiştir. Her üç kil örneği de aynı özellikte olduğundan karışımlarda bir adet CH grubu kil kullanılmıştır. Kilin, likit limiti, plastik limiti, tane boyu dağılımı ve standart sıkıştırma deneyi ile maksimum kuru birim hacim ağırlığı (γ_{dmax}) ve optimum su içeriği (ω_{opt}), incelenmiştir (TS 1500, TS 1900–1, TS 1900–2, ASTM 2008).



Şekil 1.1 İnceleme alanı yerbulduru haritası ve örnek alım noktaları (✦)

Kilin içersine kütlece %3, %6, %9, %12 ve %15 oranlarında önce kireç, sonra jips ve daha sonra da %50 kireç %50 jips katılarak karışımlar hazırlanmıştır. Her karışım oranı için standart sıkıştırma deneyleri yapılarak γ_{dmax} ve ω_{opt} içeriği belirlenmiştir. γ_{dmax} ve

ω_{opt} içeriği belli örneklerin sıkıştırma deneyleri sonucunda hazırlanan silindirik (D=50 mm, h=100 mm) örneklerin 7 gün, 28 gün ve 90 günlük, tek eksenli basınç dayanımı, şişme yüzdesi ve şişme basıncı belirlenmiştir. 7, 28 ve 90 günlük bekleme süreleri boyunca hazırlanan örnekler strech film ile iyice sarılarak su içeriğini kaybetmeyecek şekilde oda sıcaklığında desikatörde korunmuştur (Şekil 1.2-3).



Şekil 1.2 Farklı oranlardaki kireç, jips ve kireç-jips karışımlarında tek eksenli basınç dayanımı için hazırlanan kil örnekleri



Şekil 1.3 Farklı oranlardaki kireç, jips ve kireç-jips karışımlarında şişme basıncı ve şişme yüzdesi için hazırlanan kil örnekleri

Yüksek plastisiteli kilin (CH) özellikleri

Batıkent'deki inşaat kazılarından alınan gri renkli yüksek plastisiteli kil örneklerinin (Şekil 1.4) incelenen özellikleri çizelge 1.1'de verilmiştir. Özellikler üç kere tekrarlanan deneylerden elde edilmiş olup çizelgede verilen değerler sonuçların ortalamasıdır.

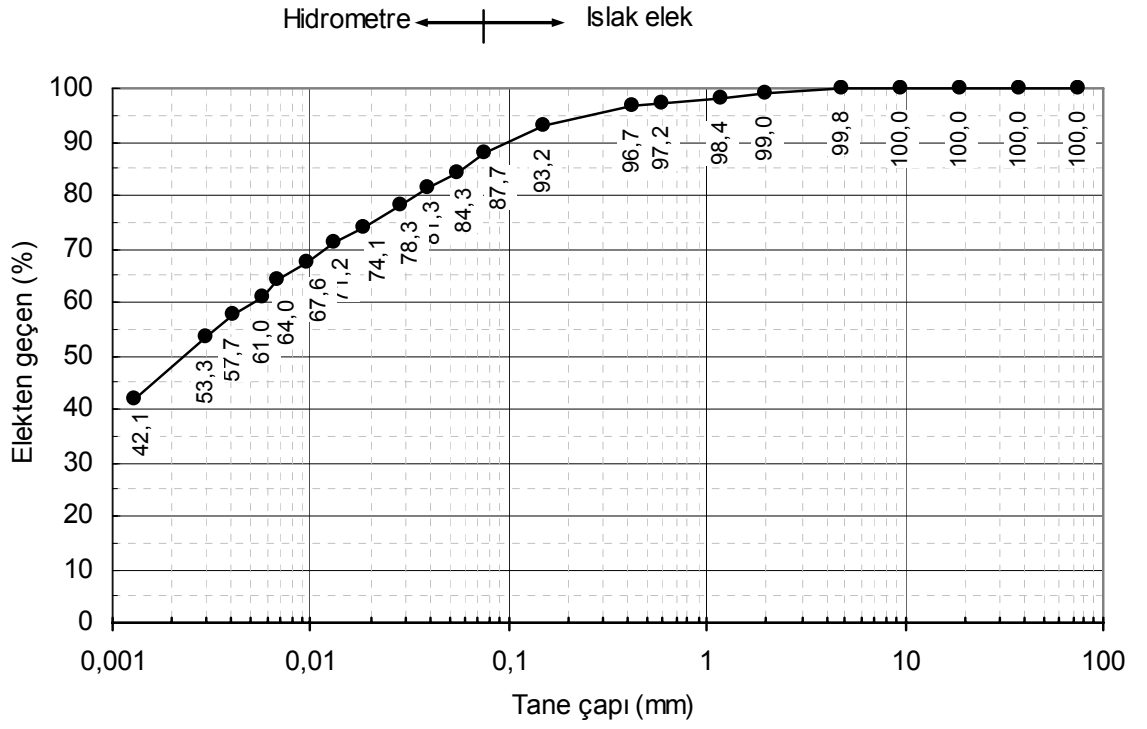


Şekil 1.4 Karışımlarda kullanılan yüksek plastisiteli kil (CH)

Çizelge 1.1 Yüksek plastisiteli kilin (CH) sınıflama, indeks, fiziksel, şişme ve mekanik özellikleri

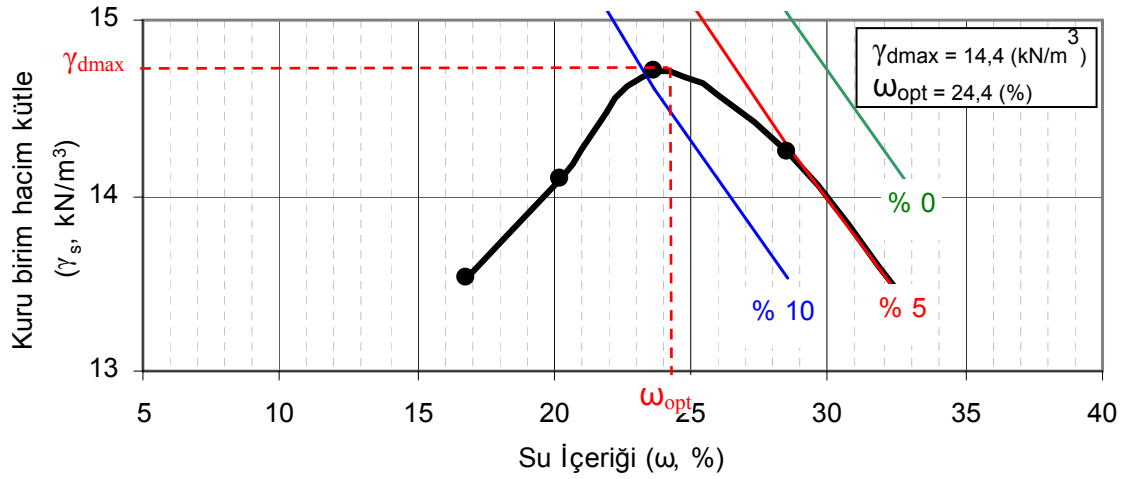
Tane çapı dağılımı	0,075 mm geçen (%)	91.0
	4,75 mm geçen (%)	99.8
	75 mm geçen (%)	100.0
Kıvam limitleri	Likit limit (%)	84.6
	Plastik limit (%)	32.3
	Plastisite indisi (%)	52.3
Sınıfı		CH
Özgül ağırlık (G_s)		2,59
Standart sıkıştırma	ω_{opt} (%)	24.4
	γ_{dmak} (kN/m ³)	14.4
Tek eksenli basınç dayanımı	q_u (kPa)	437.4
Üç eksenli basınç dayanımı	c (kPa)	156.0
	(°)	12.9
Şişme yüzdesi (%)		17.7
Şişme basıncı (kPa)		165.2

Leonards (1962) çalışmasında plastisite indeksine bağlı olarak plastiste derecesini sınıflandırmıştır. Buna göre Üst Pliyosen çökellerinden alınan örneklerin PI (%) 52,3 olduğundan bu sınıflamaya göre plastiste derecesi **çok plastik** olarak belirlenmiştir. Yüksek plastisiteli kilin tane çapı dağılımı şekil 1.5’de verilmiştir.



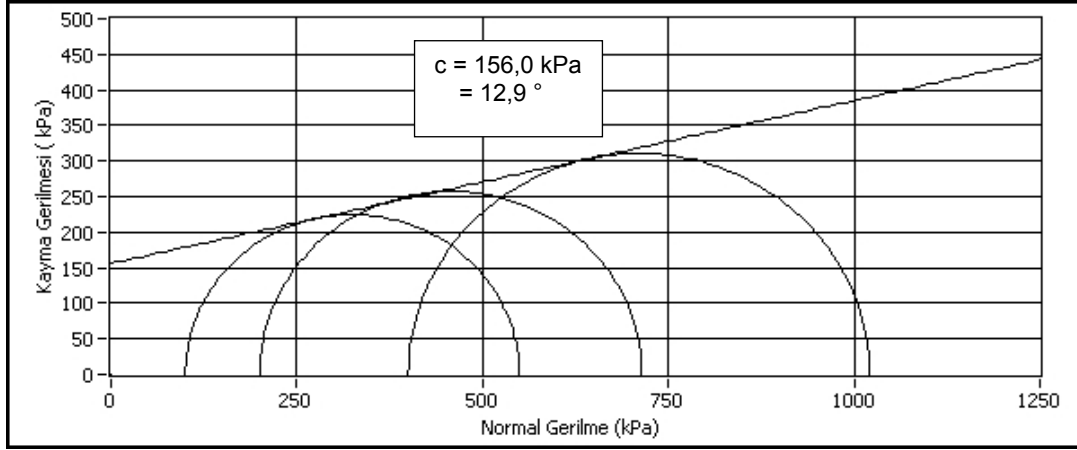
Şekil 1.5 Yüksek plastisiteli kilin tane çapı dağılımı

Yüksek plastisiteli kilin standart sıkıştırma ile elde edilen kuru birim hacim ağırlık (γ_{dmax}) - su içeriği (ω_{opt}) ilişkisi ile hava yüzdesi eğrileri aşağıda verilmiştir (Şekil 1.5).



Şekil 1.6 Yüksek plastisiteli kilin standart sıkıştırma deneyinde elde edilen kuru birim hacim ağırlığı - su içeriği ilişkisi

Kilin üç eksenli basınç (UU) dayanımı deneyinden elde edilen kayma gerilmesi-normal gerilme ($\tau - \sigma$) ilişkisi şekil 1.6'da verilmiştir.



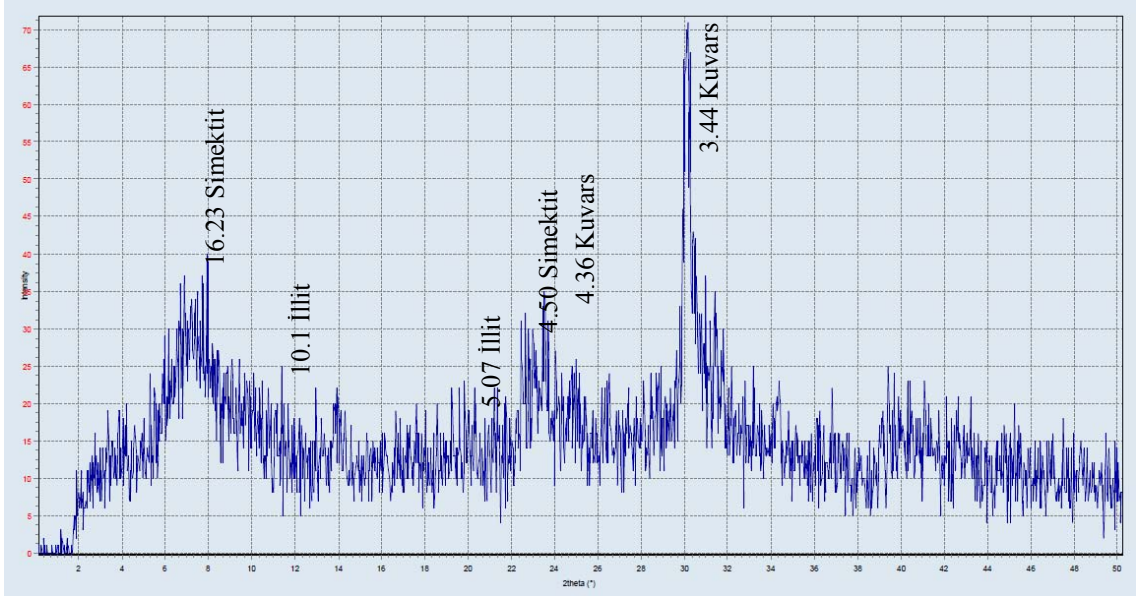
Şekil 1.7 Yüksek plastisiteli kilin kayma gerilmesi-normal gerilme ($\tau - \sigma$) ilişkisi

Yüksek plastisiteli kilin (CH) kimyasal bileşimi çizelge 1.2'de ve XRD yöntemi ile yarı kantitatif analiz sonuçları şekil 1.8-10'da verilmiştir.

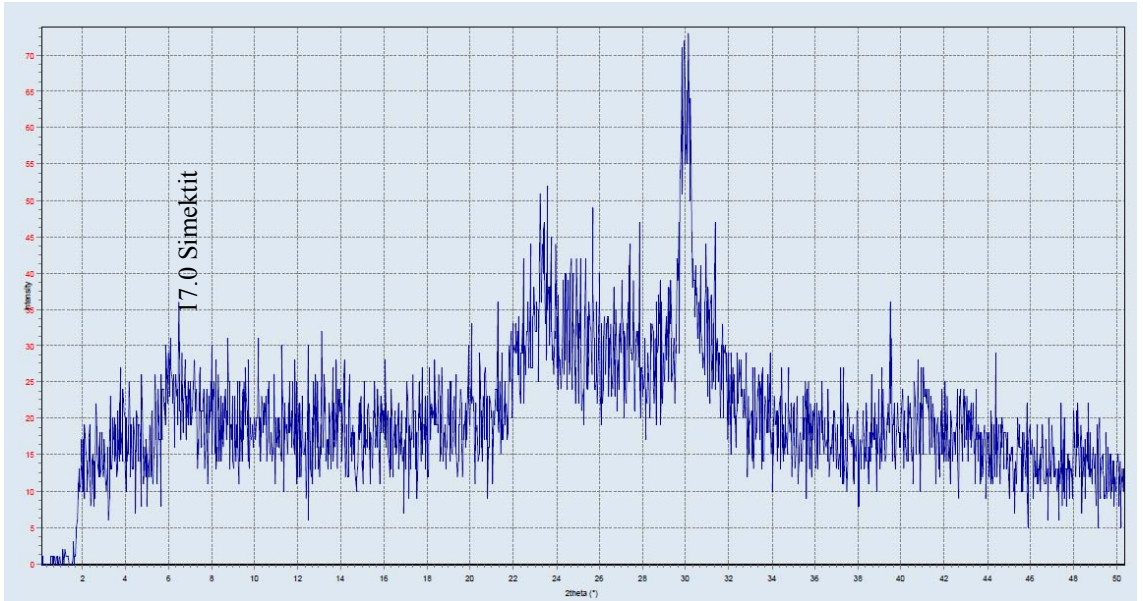
Çizelge 1.2 Yüksek plastisiteli kilin (CH) kimyasal bileşimi

Bileşik	Ölçü	Kil (CH)
Na ₂ O	%	0.37
MgO	%	2.29
Al ₂ O ₃	%	12.76
SiO ₂	%	48.12
P ₂ O ₅	%	0.02
SO ₃	%	0.16
Cl	%	0.07
K ₂ O	%	1.72
CaO	%	0.82
TiO ₂	%	0.79
V ₂ O ₅	%	0.03
Cr ₂ O ₃	%	0.01
MnO	%	0.14
Fe ₂ O ₃	%	5.82
Ateşte Kayıp	%	26.88
Toplam	%	100.00

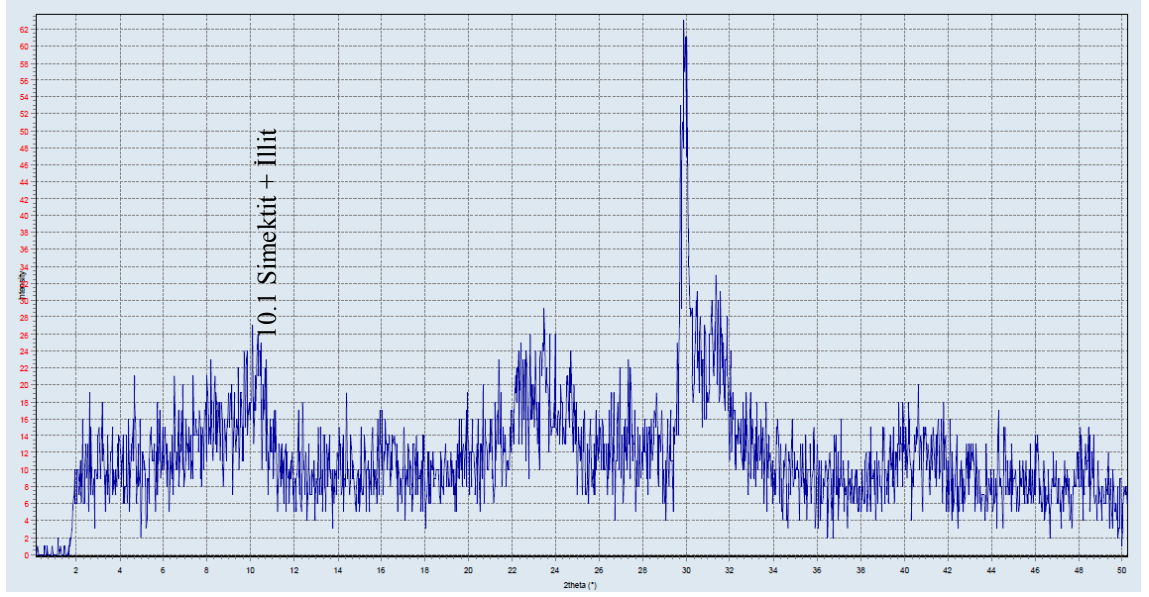
Element	Ölçü	Kil (CH)
Co	µg/g	41.1
Ni	µg/g	51.8
Cu	µg/g	27.6
Zn	µg/g	63.6
Ga	µg/g	18.9
As	µg/g	18.8
Rb	µg/g	76.8
Sr	µg/g	195.1
Y	µg/g	23.6
Zr	µg/g	202.4
Nb	µg/g	18.6
Cs	µg/g	11.0
Ba	µg/g	446.7
La	µg/g	40.4
Ce	µg/g	81.6
Pb	µg/g	19.5



Şekil 1.8 Yüksek plastisiteli kilin (CH) XRD yöntemi ile yarı kantitatif analizi (AD)



Şekil 1.9 Yüksek plastisiteli kilin (CH) XRD yöntemi ile yarı kantitatif analizi (EG)



Şekil 1.10 Yüksek plastisiteli kilin (CH) XRD yöntemi ile yarı kantitatif analizi (550°)

Batıkent kazı alanından alınan kilin XRD tüm kaya çekimlerinde kuvars ve kil minerallerinin varlığı belirlenmiştir. Kuvars minerali 4.36 A° ve 3.44 A°daki pikleri ile tanımlanmıştır (Şekil 1.8). Kil minerallerinin türlerini belirlemek amacıyla kil fraksiyon çekimleri gerçekleştirilmiştir. Havada kurutulan örneklerde 16.23 A° ve 4.50 A°daki pikleri ile simektit belirlenmiştir (Şekil 1.8). Ayrıca simektit mineralinin etilen glikolle doyurularak yapılan çekimlerinde 17 A°a kadar şiştiği gözlenmiştir (Şekil 1.9). Buna ilaveten fırınlanmış örneklerde simektit mineralinin piki 10.1 A°da gözlenmiştir (Şekil 1.10). Havada kurutulmuş örnekte yapılan kil fraksiyonu çekimlerinde simektit mineralinin yanı sıra 10.1 A° ve 5.07 A°da illit mineralinin varlığı da belirlenmiştir (Şekil 1.8). Son olarak kazı alanından alınan kil örneğinde amorf malzemenin varlığı da belirlenmiştir.

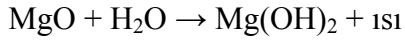
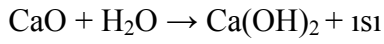
Kil örneğinin kimyasal analizinde simektit ve illit minerallerini işaretleyen MgO, Al₂O₃, ve K₂O elementleri belirlenmiştir. % 48.12 oranında SiO₂ varlığı örneklerdeki kuvarsın varlığından kaynaklanmaktadır (Çizelge 1.2).

Kirecin özellikleri

Kirecin hammaddesi kalker veya kireç taşıdır. Ancak içinde %30'a kadar $MgCO_3$ içeren kireçtaşları da (dolomit gibi) bu amaçla kullanılabilir. SiO_2 , Al_2O_3 , ve Fe_2O_3 de taşın içinde az miktarlarda bulunabilir (Baradan 2000).

Birinci gruptan elde edilen kireç beyaz renklidir. İkinci gruptan elde edilenler ise, esmer ve dayanımı nispeten yüksek olanlardır.

CaO su ile karıştırılınca, büyük ısı (300–400 °C) açığa çıkarıp şu reaksiyonu yapar:



Bu işleme kirecin söndürülmesi işlemi ve $Ca(OH)_2$ 'e sönmüş kireç denir. Fabrikalarda elde edilen sönmüş kireç yalnızca $Ca(OH)_2$ olupince toz halindedir. Çimento gibi torbalar halinde satılır ve hidrate kireç denir (Baradan 2000).

Bu tez çalışması kapsamında hazırlanan karışımlarda ABS markası ile 2009 yılında Elmadağ kireç ocaklarında üretilen sönmüş kireç kullanılmıştır. Kimyasal formülü $Ca(OH)_2$ olan beyaz renkli kirecin (Şekil 1.11) kimyasal bileşimi çizelge 1.3'de ve XRD yöntemi ile yarı kantitatif analizi şekil 1.12'de verilmiştir.

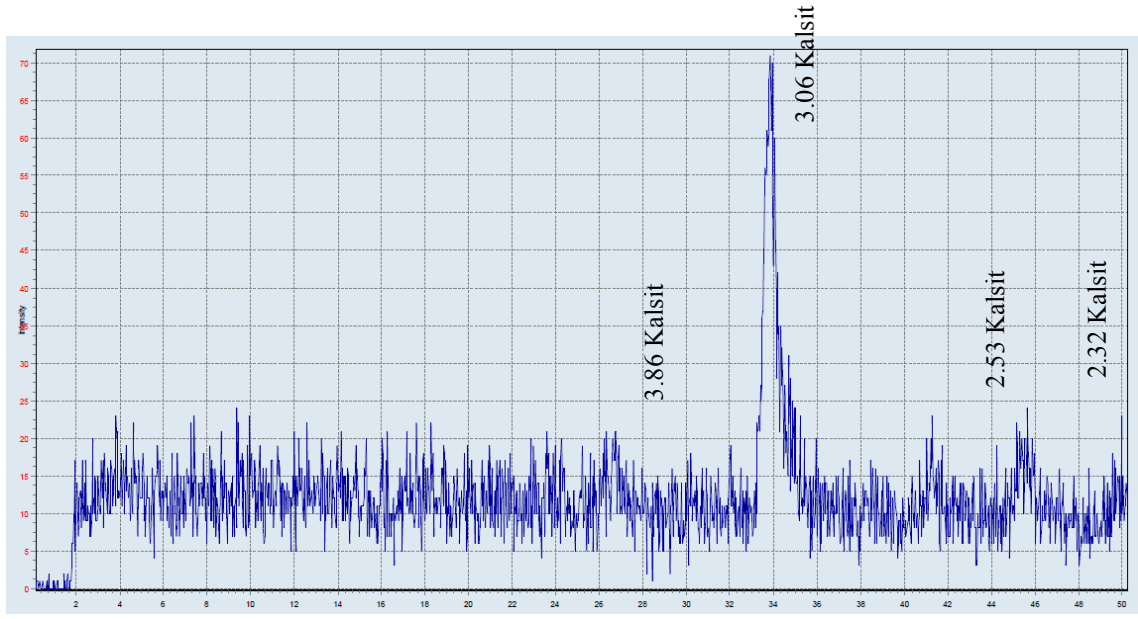


Şekil 1.11 ABS sönmüş kireci ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)

Çizelge 1.3 ABS sönmüş kirecinin ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) kimyasal bileşimi

Bileşik	Ölçü	Kireç
Na_2O	%	0.073
MgO	%	0.425
Al_2O_3	%	0.161
SiO_2	%	0.475
P_2O_5	%	0.004
SO_3	%	0.146
Cl	%	0.039
K_2O	%	0.185
CaO	%	68.68
TiO_2	%	0.011
V_2O_5	%	0.002
Cr_2O_3	%	0.002
MnO	%	0.004
Fe_2O_3	%	0.047
Ateşte Kayıp	%	29.75
Toplam	%	100.00

Element	Ölçü	Kireç
Co	$\mu\text{g/g}$	6.8
Ni	$\mu\text{g/g}$	5.0
Zn	$\mu\text{g/g}$	6.5
Ga	$\mu\text{g/g}$	3.1
Sr	$\mu\text{g/g}$	223.5
Zr	$\mu\text{g/g}$	6.8
Nb	$\mu\text{g/g}$	4.3
Mo	$\mu\text{g/g}$	4.0
Cs	$\mu\text{g/g}$	3.8
Ba	$\mu\text{g/g}$	19.9
La	$\mu\text{g/g}$	7.5
Ce	$\mu\text{g/g}$	10.0
Hf	$\mu\text{g/g}$	5.5
Ta	$\mu\text{g/g}$	4.0
W	$\mu\text{g/g}$	4.2
Pb	$\mu\text{g/g}$	2.7
U	$\mu\text{g/g}$	11.0



Şekil 1.12 ABS sönmüş kirecinin XRD yöntemi ile yarı kantitatif analizi (AD)

Elmadağ kireç ocağından alınan sönmüş kirecin XRD tüm kaya çekimlerinde 3.86 Å, 3.06 Å, 2.53 Å ve 2.32 Å'daki pikleri ile kalsit minerali tanımlanmıştır (Şekil 1.12). Ateşte kayıp % 30.22 olarak belirlenmiş olup bu da sönmüş kirecin bünyesinde bulunan sudan kaynaklanmaktadır (Çizelge 1.3).

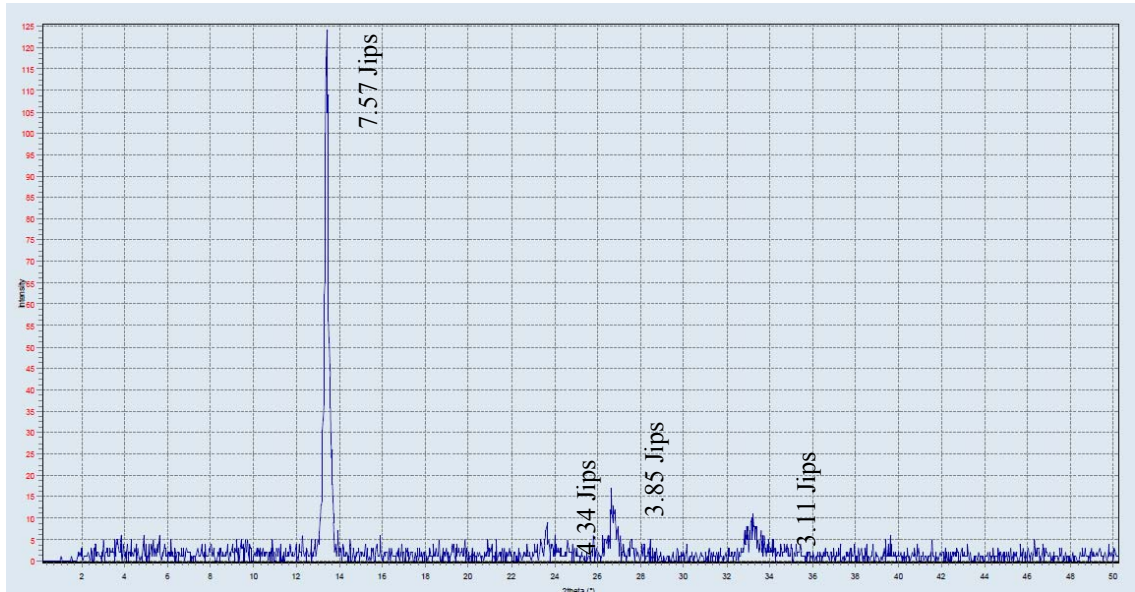
Jipsin Özellikleri

Karışımlarda ABS markası ile 2009 yılında Bala jips ocaklarında üretilen toz jips kullanılmıştır. Kimyasal formülü $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ olan beyaz renkli jipsin kimyasal bileşimi çizelge 1.4'de ve XRD sonuçları şekil 1.13'de verilmiştir.

Çizelge 1.4 ABS marka jipsin ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) kimyasal bileşimi

Bileşik	Ölçü	Jips
Na_2O	%	0.280
MgO	%	0.073
Al_2O_3	%	0.037
SiO_2	%	0.261
P_2O_5	%	0.097
SO_3	%	42.31
Cl	%	0.054
K_2O	%	0.014
CaO	%	43.80
TiO_2	%	0.199
V_2O_5	%	0.004
Cr_2O_3	%	0.003
MnO	%	0.003
Fe_2O_3	%	0.029
Ateşte Kayıp	%	12.84
Toplam	%	100.00

Element	Ölçü	Jips
Co	$\mu\text{g/g}$	3.9
Ni	$\mu\text{g/g}$	2.3
As	$\mu\text{g/g}$	3.4
Sr	$\mu\text{g/g}$	1123.0
Zr	$\mu\text{g/g}$	15.9
Nb	$\mu\text{g/g}$	5.7
Mo	$\mu\text{g/g}$	3.2
Cs	$\mu\text{g/g}$	3.7
Ba	$\mu\text{g/g}$	5.4
La	$\mu\text{g/g}$	7.6
Ce	$\mu\text{g/g}$	10.0
Hf	$\mu\text{g/g}$	4.2
Ta	$\mu\text{g/g}$	3.6
W	$\mu\text{g/g}$	3.7
Pb	$\mu\text{g/g}$	2.5
U	$\mu\text{g/g}$	11.0



Şekil 1.13 ABS marka jipsin XRD yöntemi ile yarı kantitatif analizi (AD)

Bala jips ocağından alınan örneğin XRD difraksiyonu tüm kaya çekimlerinde 7.57° , 4.34° , 3.85° ve 3.11° pikleri ile jips minerali tanımlanmıştır (Şekil 1.13). Bu örneğin kimyasal analizinde % 43.80 CaO ve % 42.31 SO_3 içeriği belirlenmiştir.

Literatürde de CaO yaklaşık % 33, SO₃ ise yaklaşık % 46 oranında olacağı çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir. Jips örneğinde Sr (1123 µg/g) ve Zr (15.9 µg/g) değerleri ölçülmüştür. Bu değerler doğal jips mineralinin oluşumuna benzerlik göstermektedir (Çizelge 1.4).

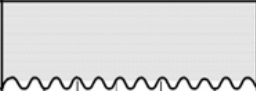
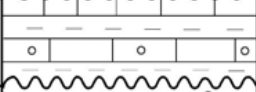
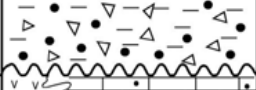

1.3 Jeoloji

Ankara batısında kentin gelişme yönü üzerinde bulunan alanlarda yapılar genellikle Üst Pliyosen çökelleri ve Kuvaterner'e ait birimler üzerinde yer alırlar. Pliyosen çökelleri altında Miyosen yaşlı volkanik ve volkanoklastik depolar ile Marnlar bulunmaktadır (Erol 1961). İnceleme alanının genelinde Ankara ve Ova çayları tarafından depolanmış olan Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ile gölsel Üst Pliyosen çökelleri bulunmaktadır (Erol 1961). İnceleme alanındaki litolojik birimlerin stratigrafik kesiti Şekil 1.14'de verilmiştir.

Üst Pliyosen çökelleri çoğunlukla yatay konumda Ankara çayının hem güneyinde hem de kuzeyinde geniş alanlarda yüzeyler. Birim üzerinde şu anda süren inşaatlarda ulaşılan temel derinliklerinde yer altı suyu görülebilmektedir (Ulamış ve Kılıç2009).

Çakıllı, kumlu, fakat daha çok siltli ve killi katmanlardan oluşan Pliyosen çökelleri çevredeki kayaların özellikle andezitik volkanitlerin bozulma ürünlerinin, çukur alanları dolduran göllerde ve yayvan akarsu vadilerinde çökmesi sonucunda oluşmuştur. Çökeller, genellikle kırmızımsı kahverengi, yer yer de gri görünümündedir ve egemen olan kil minerali montmorillonittir (Kasapoğlu 1980, Kiper 1983).

İnceleme alanının jeolojisi dikme kesitinde Üst Pliyosen çökellerinin üzerinde yer alan güncel alüvyonlar başlıca Ankara Çayı ile ona kuzeyden ve güneyden katılan derelerin vadi tabanlarında biriken kohezyonsuz çakıl, kum, silt ve killi depolanmalardır. Bu birim bölgenin en kritik birimi olup, her yerinde zemin özelliğindedir (Ulamış ve Kılıç 2009).

Eratem	Sistem	Seri	Litoloji	Açıklamalar
Senozoyik	Kuvaterner			Alüvyon Çakıl, kum, silt ve kil
	Tersiyer Neojen	Pliyosen	Üst 	Gevşek çimentolu konglomera, çakıllı, kumlu, siltli kırmızımsı kil
			Alt 	Pembe marn ve killerle karışık lav ve tüfler
		Miyosen 	Kireçtaşı, marn, kiltası, konglomera andezit, bazalt, aglomera ve tüf	

Şekil 1.14 İnceleme alanının jeolojisi dikme kesiti (Ulamış ve Kılıç 2009)

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İnceleme alanı ve yakın çevresinde yapılan önceki çalışmalar jeoloji, jeoteknik ve katkı maddesi ile iyileştirme olmak üzere üç ayrı başlık halinde sunulmuştur.

2.1 Jeolojik Çalışmalar

İnceleme alanı ve yakın çevresinde birçok jeolojik çalışma yapılmıştır. İlk çalışmalar daha çok gezi niteliğindedir. İlk sistematik çalışmalar 1930'lu yıllarda başlamış ve günümüzde de halen devam etmektedir. Yapılan çalışmalar genellikle genel jeoloji, hidrojeoloji ve mühendislik jeolojisi çalışmalarıdır. Bu çalışmaların bazıları özet şeklinde aşağıda sunulmaktadır.

Chaput (1931) bölgede ilk defa 1/135000 ölçekli jeoloji haritasını yapmış, incelenen birimlerin jeomorfolojik özelliklerini açıklamıştır.

Calvi (1940, 1941) Ankara ve civarında daha çok gözlemsel olmak üzere, jeolojik incelemelerde bulunmuştur.

Bailey and McCallien (1950) Ankara ve çevresindeki ofiyolitlerin jeolojisi ve tektoniğini inceleyerek, ilk defa "Ankara melanji" ismini vermişlerdir. Bailey ve McCallien bu çalışmalar sonucu Ankara Melanji'nin kuzeyden gelen bir napın altında kaldığı ve ezildiğini söylemişlerdir.

Erol (1954), Ankara bölgesinde yaklaşık 8500 km² gibi çok geniş bir alanın ilk kez 1/100 000 ölçekli jeolojik haritasını yapmış ve bölgedeki jeolojik, stratigrafik, tektonik, jeomorfolojik sorunları, 1954'ten önceki çalışmalara da değinerek ayrıntılı bir biçimde tartışmıştır. Erol'a göre serpantinitle zaman zaman Ankara antiklinalinin yamaçlarına tırmanarak, tortul seriler arasına karışmış ve bu nedenle Ankara civarındaki karışık serilerin meydana gelmiştir. Önceki çalışmalarını göz önüne alarak Serpantin-Radyolarit serisinin Orta-Üst Jura yaşlı olabileceğini savunmuştur. Ayrıca gölsel ortamda çökelmiş

tortulların Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı olduğunu ve volkanik faaliyetlerin bu çökelleri Miyosen sonlarına kadar takip ettiğini söylemiştir. Erol bölgedeki çalışmalarını uzun yıllar devam ettirmiş, bölgede uzun süre detaylı olarak stratigrafik, tektonik ve jeomorfolojik çalışmalarda bulunmuştur (Erol 1956, 1961, 1973, 1978).

Erol vd. (1980) Ankara ili yerleşim alanı arazi kullanım haritasını hazırlamıştır. Jeolojik birimlerin farklı özellikleri belirlenmiştir. Harita; jeoloji, mühendislik jeolojisi, hidroloji, jeomorfoloji, toprak, eğim ve yapı gereçleri olmak üzere alt bölümler halinde oluşturulmuştur.

Erol (1991) Ankara yöresinin jeomorfolojik gelişimini incelemiştir. Ankara ve çevresinde görülen yerçekilleri ile onların yaşıtı olan jeolojik formasyonları karşılaştırmıştır.

Akyürek vd. (1997) 1/100000 ölçekli açınsama nitelikli Ankara F15 paftasının jeoloji haritasını hazırlayarak, formasyonları tanımlamış ve açıklamışlardır.

2.2 Jeoteknik Amaçlı Çalışmalar

İnceleme alanında yapılmış olan mühendislik jeolojisi çalışmalarının bazıları özet şeklinde aşağıda sunulmaktadır.

Birand (1965,1977,1993) Ankara kilinin şişme ve konsolidasyon özelliklerini incelemiştir. Bu derlemede özellikle Ankara kilinin hacim değişimi özelliği üzerinde durulmuştur.

Arda (1966) Ankara kilinin önkonsolidasyon özelliğini Ulus, Emek ve ODTÜ yerleşkesinden aldığı örnekler üzerinde incelemiştir.

Birand (1978) Ankara yöresi zeminleri ve jeoteknik sorunları kapsamında zeminleri sınıflayarak genel jeoteknik özelliklerinden ve problemlerinden bahsetmiştir. Ankara

kilinin uzun süreli duraylılık sorunları ve şişme, büzülme problemleri oluşturabileceğini belirtmiştir.

Kasapoğlu (1980, 1982 ve 2000) Ankara kenti zeminlerinin jeoteknik özellikleri ve deprenselliğini inceleyerek, jeoloji ve mühendislik jeolojisi haritalarını hazırlamıştır. Zemin ve kaya türlerindeki mühendislik sorunlarına değinmiştir.

Kiper (1983), Etimesgut-Batıkent yöresindeki Üst Pliyosen çökellerinin çeşitli mühendislik jeolojisi özelliklerini incelemiş ve bu litolojilerin doğal konsolidasyon süreçlerinin nedenlerini ve mekanizmasını yorumlamıştır.

Kılıç ve Demirbaş (1989) Sincan civarındaki Üst Pliyosen killerin arazi ve laboratuvar yöntemleri ile sınıflama, fiziksel, mekanik ve oturma özelliklerini incelemişlerdir.

Kılıç (1990) Sincan, Beşevler ve Kavaklıdere'deki Üst Pliyosen killerin jeoteknik özelliklerini inceleyerek mineralojik bileşim ile kayma dayanımı arasındaki ilişkiyi incelemiştir.

Örkmez (1995) Ankara kili içerisinde bulunan doğal kireç yumrularının (kalker konkresyonlarının) kilin dayanım ve deformasyon özelliklerine olan etkisini incelemiştir.

Ergüler vd. (2002) Ankara kilinde model bir çalışma ile kilin şişme potansiyelini ortaya koymuştur.

Kılıç vd. (2004) Ankara Üniversitesi, Teknopark alanı olarak planlanan arazinin kullanımına esas olmak üzere jeolojik, jeoteknik ve jeofizik incelemeler yaparak zeminlerin fiziksel, mekanik ve oturma özelliklerini incelemiş, mühendislik jeolojisi haritası ve kesitlerini hazırlamışlardır.

Kılıç vd. (2006) Kazan güneyindeki Ankara Üniversitesi Teknopark alanının mühendislik jeolojisi değerlendirmesini yaparak, mühendislik jeolojisi haritasını hazırlamışlar ve zeminlerin sıvılaşma potansiyelini incelemiştir.

2.3 Katkı Maddesi ile İyileştirme Çalışmaları

Literatürde zeminlerin katkı maddeleri ile iyileştirilmesine yönelik birçok çalışma bulunmaktadır. Bell (1996) killi zeminlere kütlece düşük oranlarda kireç eklenmesiyle zeminin mühendislik özelliklerinin gelişeceğini ve daha iyi bir yapı malzemesi ortaya çıkacağını, dolayısıyla zeminin iyileştirilebileceğini göstermiştir.

Bell, bu iyileştirme yöntemini örneklemek içinde killi zeminlerde en çok karşılaşılan kaolin, kuvars ve montmorilloniti bir seri deneye tabi tutmuştur. Kireç ile iyileştirme genelde yol yapımı ile ilgili kullanıldığından deneylerini bu doğrultuda seçmiştir. Kaolin ve kuvars içine % 2 oranında kireç katıldığında plastisitenin arttığı, daha yüksek oranlarda ise plastisitenin kısmen azaldığı, montmorillonitde ise kireç oranının artması ile plastisitenin azaldığı ifade edilmiştir. Bu minerallere kireç eklenmesiyle optimum su içeriğinde artış görünürken, maksimum kuru birim ağırlıkları azalmıştır. Bunlara ek olarak bu çalışmada kür zamanının uzunluğu ve kür sıcaklığının, elde edilen dayanım değerleri üzerinde etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Dayanımın, kür zamanının artması ile arttığı ve en belirgin artışın 7 gün içinde meydana geldiği görülmüştür. Kür sıcaklığı 30 derecenin üzerindeyken dayanımdaki artışın daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Bell 1996).

Diğer bir çalışmada, Yılmaz ve Civelekoğlu (2009) şişen killi zeminlerin şişme potansiyeli ve mukavemeti açısından jips katılarak iyileştirilme performansını incelemiştir. Bu çalışmada standart sıkıştırma deneyi ile bentonitin en iyi sıkıştırma durumu için optimum su içeriği belirlenmiştir. Daha sonra kütlece olarak 2,5 %, 5,0 %, 7,5 %, ve 10 % gibi farklı miktarlarda jips bentonite katılmış ve sıkıştırılarak optimum su içeriği belirlenmiştir. 7 günlük bir bekleme süresinin ardından örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde Atterberg limitleri, şişme yüzdesi ve serbest basınç dayanımı özellikleri incelenmiştir. Yılmaz ve Civelekoğlu (2009) örselenmiş ve

örselenmemiş numunelerin plastiklik, şişme yüzdesi ve mukavemet parametrelerinden elde edilen değişimleri esas alarak jipsin şişen killi zeminler iyileştirilmesinde etkin bir rol oynadığını göstermiştir.

Değirmenci (2008) çalışmasında yüksek plastisiteli zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi ve dezavantajların kısmen azaltılması için doğal jipsi iyileştirme amacıyla katkı malzemesi olarak kullanmıştır. Farklı karışımlarda hazırlanan örnekler için basınç dayanımının jips katılımı ile arttığı belirlenmiştir.

Zorluer ve Usta (2003) çalışmalarında, mermer fabrikalarının attığı olan mermer tozunu, killi zeminlerin iyileştirilmesi için katkı maddesi olarak kullanmışlardır. Farklı oranlarda atık mermer tozu katılarak hazırlanan örnekler üzerinde öncelikle standart sıkıştırma deneyleri yapılmıştır. Daha sonra bu belirlenen su içeriği ve maksimum kuru birim ağırlıklara göre sıkıştırılan örneklerin şişme yüzdeleri odometre deneyleri ile incelenmiş ve atık mermer tozunun killerin şişme yüzdesini azalttığını ifade edilmiştir.

Katkı maddeleri ile zemin iyileştirmeleri konusunda Cooper ve Saunders (2002), Van Impe (1989) ile Kordlaghari ve Rowell (2006) tarafından yapılan çalışmalar mevcuttur.

İnceleme alanındaki Üst Pliyosen yaşlı yüksek plastisiteli killeri içeren zeminlerin sınıflaması, taşıma gücü ve oturma özelliklerinin incelenmesine yönelik çok sayıda çalışma mevcut olmasına karşılık Batıkent'teki yüksek plastisiteli killerin iyileştirilmesine yönelik her hangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

3. ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Zeminin mevcut kapasitesinin, üzerindeki yapıyı taşıyacak yeterlikte olmaması durumunda yapabileceğimiz problemlili zemini olduğu gibi kabul etmek, zemini kaldırıp uygun zeminle değiştirmek ya da zemini iyileştirmektir. İlk iki yöntem çoğunlukla külfetli ve ekonomiklikten uzaktır. Zeminlerin iyileştirilmesi, zemin veya kaya kitlesinin kayma direncini, dayanımını arttıran, geçirimsizlik ve hacimsel değişim yeteneğini azaltan her türlü işlem olarak adlandırılmaktadır (Aytekin 2004).

Kompaksiyon (sıkıştırma), zemin danelerinin birbirine yaklaştırılması ve aralarındaki hava boşluklarının azaltılması sonucu daha sıkı bir yerleşime sahip olmalarını sağlayan mekanik işlemlere verilen isim olarak tanımlanabilir. Zeminin sıkıştırılması sonucu birim hacim ağırlığı artmakta ve buna bağlı olarak mühendislik özellikleri iyileştirilmiş olmaktadır (Özaydın 1989).

Kompaksiyonla genel olarak şu yararlar sağlanır. Zeminin taşıma gücü artırılır, zeminin geçirimsizliği azaltılır, zemine daha kararlı bir yapı kazandırılır. Böylece zeminin su alarak, hacim değişikliklerine uğraması azaltılır. Zeminin sabit, hareketli, yükler altında yapacağı oturmalar azaltılır (Uzuner 1998).

Kompaksiyon ile istenilen mukavemete varılsa da bu mukavemet sürekli olarak korunmalıdır. Zeminin durumunu değiştirmeye ve mukavemetini düşürmeye sebep olan yağmur ve dondur. Suyun yol temelini üstünden ve yanlarından doğrudan doğruya yol yapısına girmesi veya kapiler kuvvetler etkisi ile aşağıdan yükselmesi, sıkıştırılmış zemini zayıflatan esaslı bir sebeptir (Kumbasar 1969).

Bir yerde bulunan toprak gevşek veya yüksek derecede sıkıştırılabilir olduğu zaman, uygun olmayan yoğunluğa sahip olduklarında, çok yüksek geçirgenlik veya diğer herhangi istenmeyen özelliği toprağı bir inşaat projesinde kullanmak için uygunsuz kıldığında bu zeminler iyileştirilmek zorundadırlar (Bowles 1984).

Zemin iyileştirmesinde kullanılan pek çok yöntem mevcuttur ve her yöntem özel koşullarda geçerlidir. Bu koşulları şöyle özetlemek mümkündür (Önalp 1982).

- Ortamın türü: kil, organik, tortul vb.
- İyileştirme yapılacak bölgenin alanı ve hacmi (ortamın geometrik özellikleri ve yapı türüne bağlı)
- Yapının türü ve yüklerin dağılımı
- Zeminin özellikleri (kayma direnci, sıkışabilirlik, geçirimsizlik)
- İzin verilebilir toplam ve farklı oturmalar
- Malzeme durumu (taş, kum, su, katkı maddeleri).
- Teknisyen, vasıflı işçi, özel aletlerin varlığı
- Çevre koşulları (atıkların kullanımı, erozyon, su kirlenme kısıtlamaları)
- Yerel deneyim ve birikimi
- Ekonomik veriler

Zeminlerin iyileştirilmesinde iki yol vardır. Bunlardan birincisi; zemine herhangi bir katkı maddesi (çimento, kireç, bitüm, reçine vb.) karıştırmadan ve zemin kitlesinde herhangi bir kimyasal reaksiyon oluşturmadan sıkıştırmak (kompaksiyon), başka zeminlerle karıştırarak uygun bir dane dağılımı elde etmek gibi yöntemlerle özelliklerinin amaca uygun hale getirilmesidir. Bu yöntem kısaca mekanik iyileştirme olarak adlandırılır. İkinci yöntem ise zemin içerisine bir katkı maddesi (çimento, kireç, bitüm, reçine vb.) karıştırmak suretiyle zemin kitlesi içerisinde kimyasal reaksiyon oluşturarak zeminin amaca uygun hale getirilmesidir. Bu yöntem de kısaca kimyasal iyileştirme olarak adlandırılır. Zeminlerin iyileştirmesinde kullanılan yöntemler şu biçimde sınıflandırılabilir (Aytekin 2004).

A.Yüzeysel Stabilizasyon

1. Katkısız İyileştirme

- Kompaksiyon,
- Mekanik İyileştirme,
- Drenaj.

2. Katkılı İyileştirme

- Çimento,

- Kireç,
- Bitüm
- Uçucu kül, jips, reçine vb.

B. Derin İyileştirme

1. Kohezyonsuz Zeminlerde İyileştirme

- Dinamik Konsolidasyon,
- Derin vibrasyon,
- Patlayıcılar,
- Enjeksiyon.

2. Kohezyonlu Zeminlerde İyileştirme

- Ön konsolidasyon,
- Kum drenleri,
- Elektroosmoz,
- Isıl işlemler.

3.1 Katkı Maddeleri ile İyileştirme Yöntemleri

Jeoteknikte hint yağından fosforik asite, hatta tuza kadar her türlü kimyasal bileşim zeminlerin özelliklerini iyileştirmek için uygulanmıştır. Zamanın kazandırdığı deneyim incelenen yüzlerce maddeden sadece birkaçının sürekli uygulama olanağı bulunduğunu göstermektedir. Bunlar etkinlikleri yanında, ucuzluk ve gereksinim duyulduğunda kolayca bulunabilme özelliğine göre çimento, bitüm, kireç, jips, fosforik asit, kalsiyum bileşikleri, reçine ve polimerler, son olarak da çok değerlikli iyon içeren maddelerdir (Van Impe 1989).

Katkı maddeleri ile iyileştirme genelde aşağıdaki nedenlerden dolayı uygulanır.

- a. Çalışılabilirlik
- b. Dayanım ve dayanıklılık kazanımı
- c. Su geçirmezlik sağlama

Zeminler, farklı kil minerallerinden oluşmalarından dolayı doğru katkı maddesine karar vermek gerekir. Bunun için dikkate alınması gereken faktörler şunlardır (Molenaar 2007):

- İyileştirme için kullanılacak katkı maddesi zemine kolay şekilde nüfuz etmelidir. (Kilde yüksek nem içeriği ve yüksek plastiklik bunu engeller)
- İyileştirme için kullanılacak katkı maddesi tüm zemine eşit oranda ve düzgün şekilde eklenmelidir.
- İyileştirme için kullanılacak katkı maddesi miktarı ekonomik olarak makul olmalıdır.
- Kür zamanı dikkate alınmalı ve bu sürenin inşa zamanı üzerinde negatif etkisi olmamalıdır.
- İyileştirme için kullanılacak katkı maddesi herhangi bir güvenlik sorununa neden olmadan kullanılabilir.
- Tüm maliyetler iyileştirme uygulaması için ekonomik olmalıdır.

Bu faktörleri de göz önünde bulundurarak Ingles ve Metclaf (1972) iyileştirme de kullanılacak katkı maddelerinin farklı tane boyu büyüklüklerine sahip zeminlerde etkinliğini incelemiştir. Bu çalışmada ince taneli zeminlerde sadece çimento ile yapılan iyileştirmede çok başarılı bir sonuç elde edilemeyeceği ve bu gibi durumlarda killi zemin kireç ile karıştırılarak zeminin çalışılabilirliği arttırılabileceği belirtilmiştir.

Zeminde kullanılacak olan katkı maddesi seçilirken dikkate alınması gereken hususlar şunlardır (Aytekin 2004).

- İyileştirme özelliklerini amaca uygun hale getirilecek olan zeminin cinsi,
- İyileştirmenin amacı,
- Zeminin hangi özelliklerinin iyileştirileceği,
- İyileştirilmiş zeminden beklenen dayanım,
- Ekonomi ve çevreye olan etkiler.

3.1.1 Çimento ile iyileştirme

Çimento ile iyileştirme son yıllarda çok kullanılan bir yöntemdir. Mekanik iyileştirme ile bir temelin hazırlanması imkansız veya pratik değilse, mevcut malzemenin doğal durağanlığı bazı hallerde çimento karıştırılarak iyileştirilebilir (Kumbasar 1969).

Çimento su ile reaksiyona girerek sertleşen bir malzemedir. Çimento ile iyileştirme çok değişik amaçlar için kullanılmaktadır. Örneğin; taşıma gücünün iyileştirme ile artırılması ile yerel olarak mevcut olan zeminler temel zemini olarak kullanılabilir. Böylece doğal hali zayıf olan zeminin yerinden taşınarak yerine daha sağlam zeminlerin taşınması ile yapılacak iyileştirme önlenmiş ve ekonomi sağlanmış olur (Aytekin 2004).

İlave edilmesi gereken çimento miktarını saptamak için sıklıkla başlangıç deneylerinin yapılmasına ihtiyaç vardır. Bu deneyler; basınç dayanımı ve dayanıklılığın yanı sıra optimum su muhtevası ve zemin çimento karışımının maksimum yoğunluğunun belirlenmesini içerir (Tschebotarioff 1951).

Genel olarak çimento ile yapılan iyileştirmelerde zeminlerin geçirgenlikleri azalmaktadır. Çimento ile iyileştirme yapılmış zeminlerde hacim değişimi meydana gelmekte ve çatlaklar oluşmaktadır. Çimento ile iyileştirme için kumlu ve çakıllı malzemeler uygun olmaktadır. Özellikle 200 nolu elekten geçen kısım %10-35, 4 nolu elekten geçen %55 ve yukarısı, 10 nolu elekten geçen %37 ve 2.5 cm den daha büyük danesi olmayan zeminler, çimento ile iyileştirme için çok uygun olmaktadır. Çimento ile zeminin karıştırılması arazide veya belli bir yerde yapılarak çimento karıştırılmış zemin, yerine yerleştirilebilir. Çimento ile zemin karıştırıldıktan sonra 30 dakika içerisinde yerine taşınmalı, 1 saat içerisinde sıkıştırılmaya başlanmalı ve 2 saat sonunda sıkıştırma işlemi tamamlanmalıdır (Aytekin 2004).

Kum ve çakılların geçirgenliği çimento ilavesiyle büyük oranda azalır oysa silt, siltli kil ve yoğun killerin geçirgenliği artar (Lee vd. 1983).

Arazide, mevcut toprak istenilen derinliğe kadar toprağı sürerek ezilir ve gerekli çimento ile su ilave edilir. Toprak tam olarak karıştırıldıktan sonra bir greyder ile yerleştirilir ve silindirler (Karol 1960).

3.1.2 Kireç ile iyileştirme

İyileştirme konusunda en önemli uygulama doğal zeminin yerinde yapılan işlemlerle sağlamlaştırılmasıdır. Buna en eski örnek Çin'de M.Ö 600'lerde lösün içine açılan kayalara doldurulan sönmemiş kireçle stabilize edilmesi gösterilebilir. Sönmemiş kirecin çevredeki suyu hızla çekerek taşlaşması ve bir kazık oluşturması bugün için bile ilginç bir uygulamadır. Kireç bilinen en eski iyileştirme malzemesidir. Çin'deki uygulamaları yanında, Romalılar tarafından da yol yapımında kullanılmıştır (Önalp 1982).

Genellikle ince taneli zeminlerde uygulanır. İnce daneli zeminlere kireç karıştırılması, zeminin plastisitesinin azalmasına, ayrıca kil mineralleri ile kireç arasında ortaya çıkan pozzolonik reaksiyon sonucu meydana gelen bir çeşit çimentolanma nedeni ile zeminin mukavemetinin artmasına yol açmaktadır. Bu reaksiyonlar sırasında genellikle zemindeki tek değerlikli katyonlar, kireçteki iki değerlikli kalsiyum iyonlarıyla yer değiştirir. Bu katyon değişimi reaksiyonlarıyla killer daha büyük boyutlu parçacıklar oluştururlar (Özaydın 1989).

Kireç ile iyileştirmede zemin sertleşerek plastik kıvamdan katı kıvama geçer. (kuruma)
Bu sayede de zeminde genellikle şu değişiklikler görülür:

- Likit limit azalır
- Plastik limit artar
- Plastisite indisi azalır
- Çalışabilirlik artar
- Zeminin dayanımı artar ve deformasyon azalır.

Zeminde organik madde bulunması puzolonik reaksiyonları etkilemez ve yaklaşık %2'lik kireç katkısıyla organik malzemenin temel değişim kapasitesi doyurulabilir. Kireçle iyileştirme için hidrate kireç (sönmüş kireç, Ca(OH)_2 yani kalsiyum hidroksit) kullanılmaktadır. Sönmemiş kireç (CaO) ise yakıcı ve tehlikeli olması nedeniyle çoğunlukla kullanılmamaktadır (Özaydın 1989).

Arazide kireç ile iyileştirme iki şekilde yapılabilir:

- Mevcut veya dolgu yapılacak zemin, inşaat alanında uygun miktarda kireç katılarak ve su eklenerek karıştırılıp sıkıştırılabilir.
- Zemin, kireç ve suyla başka bir yerde karıştırılarak dolgu yapılacak yere getirilip sıkıştırılabilir.

Su - kireç karışımı 2.0 m. ile 2.5 m aralıklarla 2.0 ile 3.5 m arasındaki derinliğe kadar belli bir basınçla enjekte edilebilir. Bu, yöntem şişebilen killerde şişme yüzdesini azaltmak ve mevcut zeminin özelliklerini iyileştirmek için kullanışlı bir tekniktir. Bu yöntem uygulandıktan sonra üst kısımdaki 0.25 m. kalınlıktaki zemin uygun tekniklerle sıkıştırılmalıdır.

Arazide, zemin iyileştirmesinde önce killi zemin gevşetilir. Sonra zemine kireç serilir. Bunu takiben zemin ve kireç greyder ile karıştırılır. Karışımdan sonra arazöz ile sulama yapılır. Son olarak, kireç katkılı zemin silindir ile sıkıştırılır (Karol 1960).

3.1.3 Uçucu kül ile iyileştirme

Uçucu kül toz halinde veya öğütölmüş, taş kömürü veya linyit kömürünün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu oluşan ve baca gazları ile sürüklenen silis ve alimünosilisli toz halindeki bir yanma kalıntısıdır (TS 639, 1975). ASTM C 618-01'e göre uçucu kül kimyasal içeriklerine göre C ve F sınıfı olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Her iki gruba da girmeyen üçüncü bir tür sınıflandırılmayan uçucu kül çeşidi de bulunmaktadır. F tipi uçucu kül, bitümlü kömürün yanması ile elde edilir ve çok düşük miktarda kireç (CaO) içermektedir. Bu tür uçucu kül silis ve alumina

içerdiğinden, çimentolaşma özelliği çok azdır. Ancak normal ısı derecesinde, nemin etkisi ve muhtemel kireç ile reaksiyona girdiğinde, çimentolaşma meydana gelmektedir. C tipi uçucu kül ise linyit veya kömürün yanması ile elde edilir ve belirli oranda kireç içermektedir. C tipi uçucu kül kireç içerdiği için reaksiyon hemen meydana gelmektedir buna karşın F tipi uçucu külde ise kireç çok daha az olduğu için reaksiyonu başlatabilmek için dışarıdan ortama kireç ilave edilmesi şarttır.

Uçucu küller, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin verdiği olanaklar nedeniyle dünya ülkelerinde sanayide, teknikte ve inşaat endüstrisinde kil ve diğer doğal malzemenin kullanımının azaltılması nedeniyle doğal malzemenin korunmasında, zemin stabilizasyonunda çimento ve beton üretiminde, tuğla ve ateş tuğlası üretiminde, baraj gövdesinde, enjeksiyonda, yol dolgu malzemesi olarak, temel ve alt temel malzemesinde, endüstriyel katı atık sahalarında taban ve günlük örtü malzemesi olarak geniş bir kullanım alanına sahiptir (Erdoğan 1993).

Uçucu kül alüminyum, silisyum, çeşitli oksitler ve alkaliler içeren puzolonik yapıda bir malzeme olup sönmüş kireçle reaksiyonunda çimentolaşma görülür. Bu yüzden çimentoyla beraber (%10-35 uçucu kül, %2-10 kireç) kullanılarak etkili karışımlar elde etmek mümkündür. Bunun yanında yapısında kireç içeren uçucu küller de vardır ve bunlar normal uçucu küllerle karıştırılarak, kirece ihtiyaç duyulmadan aynı etkiyi gösterecek karışım elde edilebilir. Maliyeti önemli ölçüde azalttığı için tercih edilir (Erdoğan 1993).

3.2.4 Bitüm ile iyileştirme

Bitümle iyileştirmede asfalt, katran gibi maddeler kullanılır. Bitümlü malzeme zemin cinsine ve iklim şartlarına göre seçilir. Su yalıtımı özelliğinden dolayı nemli bölgelerde çok kullanılan bir iyileştirme malzemesidir.

Kırma taş, çakıl, kum gibi taneli zeminler, sıcak sıvı bitümlü madde katılıp karıştırılarak, serilerek kompaksiyon uygulanır. Bitümlü maddelerin, taneler arasında bağlayıcılık ile geçirimsizlik sağlama işlevleri vardır. Bitüm, asfalt vb. petrolden elde

edilen siyah, yapışkan, sıcakken sıvı olan üründür. Pahalı bir malzemedir. Kullanılacak malzemenin, kil ve organik maddelerden arınmış olması gerekir. Bitümlü maddeler, miktar olarak, %5-10 oranında katılır. Bitümlü iyileştirme, özellikle yollarda, yüzey kaplamasında kullanılır (Uzuner 2000).

4. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Kil örneklerinin ıslak elek analizi ve hidrometre ile tane boyu dağılımı, kıvam limitleri, optimum su içeriği, maksimum kuru birim ağırlığı, tek eksenli basınç dayanımı, şişme yüzdesi ve şişme basıncı hem ulusal hem de uluslararası standartlara göre Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) tarafından akredite edilmiş olan Devlet Su İşleri (DSİ) Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda TS 1900-1/2 (2007) ve ASTM (2008) standartlarına göre üçer adet deney ile incelenmiştir. Ayrıca %3, %6, %9, %12 ve %15 kireç karışımları, %3, %6, %9, %12 ve %15 jips karışımları ve %1.5k+1.5j, %3k+3j, %4.5k+4.5j, %6k+6j ve ASTM (2008) %7.5k+7.5j kireç-jips (%50-%50) karışımları için mikser kullanılmış ve şişme yüzdesi, şişme basıncı ve tek eksenli basınç dayanımı 7 gün, 28 gün ve 90 gün sonunda belirlenmiş ve sonuçları çizelge 4.1-9'da verilmiştir.

Çizelge 4.1 Yüksek plastisiteli kilin, farklı kireç oranlarındaki, 7 günlük şişme yüzdesi, şişme basıncı ve tek eksenli basınç dayanımı

Kireç oranı (%)	Deney No	Şişme yüzdesi (%)	Ortalama (%)	Şişme basıncı (kPa)	Ortalama (kPa)	Tek eksenli basınç dayanımı (kPa)	Ortalama (kPa)
3	1	0.32	0.78	4.76	13.49	380.32	331.94
	2	0.99		20.23		298.08	
	3	1.03		15.47		317.49	
6	1	0.07	0.06	2.38	1.98	704.77	681.59
	2	0.08		2.38		688.74	
	3	0.03		1.19		651.27	
9	1	0.06	0.04	2.52	1.13	1147.56	1085.05
	2	0.03		0.57		1107.32	
	3	0.02		0.29		1000.27	
12	1	0.01	0.03	0.62	1.07	1239.15	991.00
	2	0.04		1.30		903.29	
	3	0.04		1.30		830.57	
15	1	0.02	0.03	1.30	1.17	1382.36	1278.98
	2	0.03		0.90		1297.11	
	3	0.04		1.30		1157.47	

Çizelge 4.2 Yüksek plastisiteli kilin, farklı kireç oranlarındaki, 28 günlük şişme yüzdesi, şişme basıncı ve tek eksenli basınç dayanımı

Kireç oranı (%)	Deney No	Şişme yüzdesi (%)	Ortalama (%)	Şişme basıncı (kPa)	Ortalama (kPa)	Tek eksenli basınç dayanımı (kPa)	Ortalama (kPa)
3	1	1.20	3.29	17.79	38.75	197.30	209.25
	2	4.67		53.24		205.97	
	3	4.01		45.23		224.48	
6	1	0.08	0.06	1.88	1.55	1118.55	972.17
	2	0.00		0.29		986.16	
	3	0.09		2.47		811.79	
9	1	0.29	0.24	3.11	2.29	901.00	920.75
	2	0.43		2.50		993.34	
	3	0.01		1.26		867.90	
12	1	0.15	0.13	9.86	5.54	1672.90	1521.68
	2	0.08		3.01		1645.89	
	3	0.15		3.74		1246.25	
15	1	0.04	0.06	7.71	5.68	1266.56	1372.18
	2	0.04		3.15		1609.63	
	3	0.10		6.18		1240.44	

Çizelge 4.3 Yüksek plastisiteli kilin, farklı kireç oranlarındaki, 90 günlük şişme yüzdesi, şişme basıncı ve tek eksenli basınç dayanımı

Kireç oranı (%)	Deney No	Şişme yüzdesi (%)	Ortalama (%)	Şişme basıncı (kPa)	Ortalama (kPa)	Tek eksenli basınç dayanımı (kPa)	Ortalama (kPa)
3	1	0.41	0.46	22.13	15.16	326.29	287.03
	2	0.38		11.05		285.69	
	3	0.60		12.29		249.10	
6	1	0.08	0.08	2.38	1.59	933.09	835.84
	2	0.05		1.19		731.11	
	3	0.11		1.19		843.32	
9	1	0.02	0.05	0.00	0.79	1861.73	1633.94
	2	0.07		1.19		1583.78	
	3	0.05		1.19		1456.33	
12	1	0.01	0.06	1.91	3.18	3719.13	3360.00
	2	0.10		3.82		2875.72	
	3	0.06		3.82		3485.14	
15	1	0.01	0.05	2.38	2.38	3460.10	3350.23
	2	0.09		2.38		3302.97	
	3	0.05		2.38		3287.61	

Çizelge 4.4 Yüksek plastisiteli kilin, farklı jips oranlarındaki, 7 günlük şişme yüzdesi, şişme basıncı ve tek eksenli basınç dayanımı

Kireç oranı (%)	Deney No	Şişme yüzdesi (%)	Ortalama (%)	Şişme basıncı (kPa)	Ortalama (kPa)	Tek eksenli basınç dayanımı (kPa)	Ortalama (kPa)
3	1	8.74	7.64	142.74	120.26	348.91	365.17
	2	8.46		130.75		366.53	
	3	5.71		87.28		380.06	
6	1	8.39	7.46	104.95	97.32	371.27	360.95
	2	5.98		91.60		342.79	
	3	8.02		95.41		368.79	
9	1	6.14	7.03	80.15	91.28	327.10	330.66
	2	7.63		106.86		327.01	
	3	7.33		86.83		337.87	
12	1	7.81	7.06	83.96	82.69	379.05	382.61
	2	6.38		82.06		393.98	
	3	6.98		82.06		374.79	
15	1	4.85	4.04	82.06	72.51	337.88	361.64
	2	4.95		95.41		348.91	
	3	2.32		40.07		398.12	

Çizelge 4.5 Yüksek plastisiteli kilin, farklı jips oranlarındaki, 28 günlük şişme yüzdesi, şişme basıncı ve tek eksenli basınç dayanımı

Kireç oranı (%)	Deney No	Şişme yüzdesi (%)	Ortalama (%)	Şişme basıncı (kPa)	Ortalama (kPa)	Tek eksenli basınç dayanımı (kPa)	Ortalama (kPa)
3	1	4.49	7.19	66.28	75.25	269.64	259.42
	2	9.81		83.37		244.82	
	3	7.28		76.11		263.80	
6	1	5.61	6.00	89.39	93.38	272.17	289.17
	2	6.25		92.32		296.85	
	3	6.14		98.42		298.50	
9	1	5.62	5.22	129.36	117.17	322.12	325.27
	2	5.61		107.76		320.49	
	3	4.43		114.40		333.20	
12	1	3.22	5.06	89.33	86.24	340.27	344.60
	2	7.83		101.48		362.29	
	3	4.12		67.91		331.25	
15	1	6.64	6.64	55.10	59.99	316.56	325.12
	2	5.24		41.70		323.15	
	3	8.03		83.16		335.64	

Çizelge 4.6 Yüksek plastisiteli kilin, farklı jips oranlarındaki, 90 günlük şişme yüzdesi, şişme basıncı ve tek eksenli basınç dayanımı

Kireç oranı (%)	Deney No	Şişme yüzdesi (%)	Ortalama (%)	Şişme basıncı (kPa)	Ortalama (kPa)	Tek eksenli basınç dayanımı (kPa)	Ortalama (kPa)
3	1	6.82	8.81	121.71	140.99	361.28	334.42
	2	12.64		171.32		336.79	
	3	7.02		129.95		305.19	
6	1	6.97	6.45	106.29	95.23	387.17	370.14
	2	8.79		92.55		373.16	
	3	3.58		86.86		350.10	
9	1	5.98	5.58	68.96	67.69	392.74	386.76
	2	5.33		65.03		391.83	
	3	5.43		69.08		375.70	
12	1	6.07	5.79	82.63	79.37	380.77	390.02
	2	7.86		76.64		397.60	
	3	3.43		78.85		391.69	
15	1	4.47	3.27	72.67	55.05	459.89	436.11
	2	1.92		27.56		412.98	
	3	3.43		64.92		435.45	

Çizelge 4.7 Yüksek plastisiteli kilin, farklı kireç ve jips oranlarındaki, 7 günlük şişme yüzdesi, şişme basıncı ve tek eksenli basınç dayanımı

Kireç oranı (%)	Deney No	Şişme yüzdesi (%)	Ortalama (%)	Şişme basıncı (kPa)	Ortalama (kPa)	Tek eksenli basınç dayanımı (kPa)	Ortalama (kPa)
3	1	2.83	2.88	44.12	49.86	284.14	259.97
	2	2.99		50.22		254.97	
	3	2.83		55.24		240.80	
6	1	2.94	3.42	45.55	152.54	438.88	511.23
	2	3.59		170.07		517.77	
	3	3.72		242.00		577.03	
9	1	4.03	3.95	121.71	107.27	1278.88	1157.98
	2	4.42		78.47		1045.99	
	3	3.40		121.63		1149.08	
12	1	4.42	4.28	335.86	100.33	957.81	942.99
	2	4.48		318.63		1065.80	
	3	3.94		247.30		805.37	
15	1	0.94	0.91	74.07	63.92	1224.96	1347.09
	2	0.82		46.49		1374.60	
	3	0.98		71.20		1441.71	

Çizelge 4.8 Yüksek plastisiteli kilin, farklı kireç ve jips oranlarındaki, 28 günlük şişme yüzdesi, şişme basıncı ve tek eksenli basınç dayanımı

Kireç oranı (%)	Deney No	Şişme yüzdesi (%)	Ortalama (%)	Şişme basıncı (kPa)	Ortalama (kPa)	Tek eksenli basınç dayanımı (kPa)	Ortalama (kPa)
3	1	0.63	0.85	16.98	22.37	276.42	241.86
	2	1.19		32.28		243.74	
	3	0.72		17.86		205.41	
6	1	0.25	0.28	7.77	11.07	628.56	587.86
	2	0.19		14.07		635.48	
	3	0.40		11.38		499.54	
9	1	0.20	0.19	13.13	10.03	1045.55	1043.26
	2	0.14		6.16		1069.16	
	3	0.22		10.80		1015.07	
12	1	0.55	0.43	32.23	37.14	1432.47	1492.84
	2	0.35		23.33		1484.78	
	3	0.40		55.86		1561.27	
15	1	0.47	0.48	30.84	23.86	1869.02	1851.64
	2	0.50		24.65		2186.01	
	3	0.47		16.08		1499.90	

Çizelge 4.9 Yüksek plastisiteli kilin, farklı kireç ve jips oranlarındaki, 90 günlük şişme yüzdesi, şişme basıncı ve tek eksenli basınç dayanımı

Kireç oranı (%)	Deney No	Şişme yüzdesi (%)	Ortalama (%)	Şişme basıncı (kPa)	Ortalama (kPa)	Tek eksenli basınç dayanımı (kPa)	Ortalama (kPa)
3	1	1.70	1.58	35.48	33.47	413.35	355.66
	2	1.49		29.65		310.50	
	3	1.55		35.28		343.13	
6	1	0.33	0.22	15.76	12.46	759.14	792.73
	2	0.18		19.66		828.14	
	3	0.15		1.95		790.90	
9	1	0.12	0.15	17.90	13.29	1085.66	1223.61
	2	0.19		15.95		1408.25	
	3	0.15		6.03		1176.93	
12	1	0.08	0.12	4.97	3.92	1674.06	1690.48
	2	0.10		1.83		1634.44	
	3	0.19		4.97		1762.93	
15	1	0.14	0.26	15.68	29.02	2637.04	2988.85
	2	0.31		37.34		3137.15	
	3	0.32		34.04		3192.36	

5. DEĞERLENDİRMELER

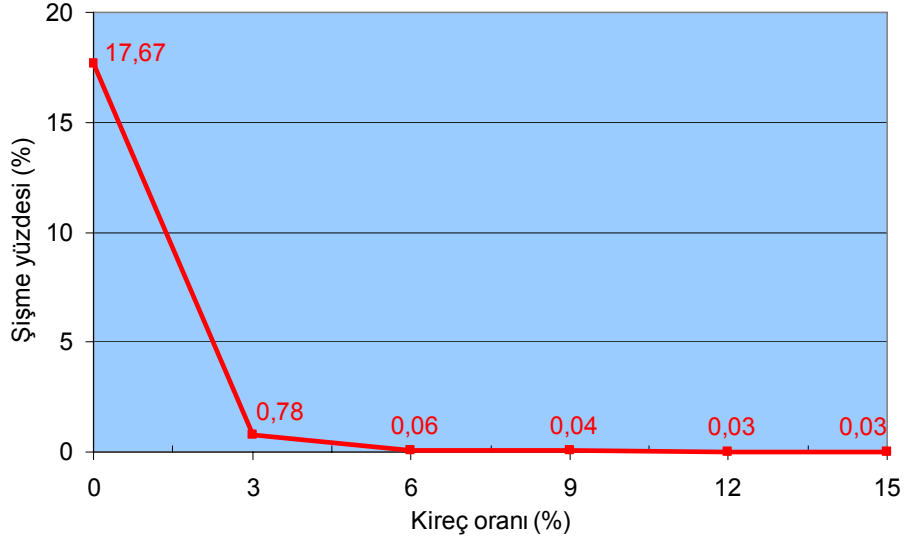
5.1 Kireç ile İyileştirme

Yüksek plastisiteli kile kütlece %3, %6, %9, %12 ve %15 oranlarında kireç katılarak karışımlar hazırlanmıştır. Her karışım için üçer adet standart sıkıştırma deneyleri yapılarak ortalama γ_{dmax} ve ω_{opt} içeriği belirlenmiştir. γ_{dmax} ve ω_{opt} içeriği belli örneklerin sıkıştırma deneyleri sonucunda 7 gün, 28 gün ve 90 günlük bekleme sürelerinde şişme yüzdesi, şişme basıncı ve tek eksenli basınç dayanımı belirlenerek aralarındaki korelasyon incelenmiştir.

Kireç katkısının şişme yüzdesine etkisi

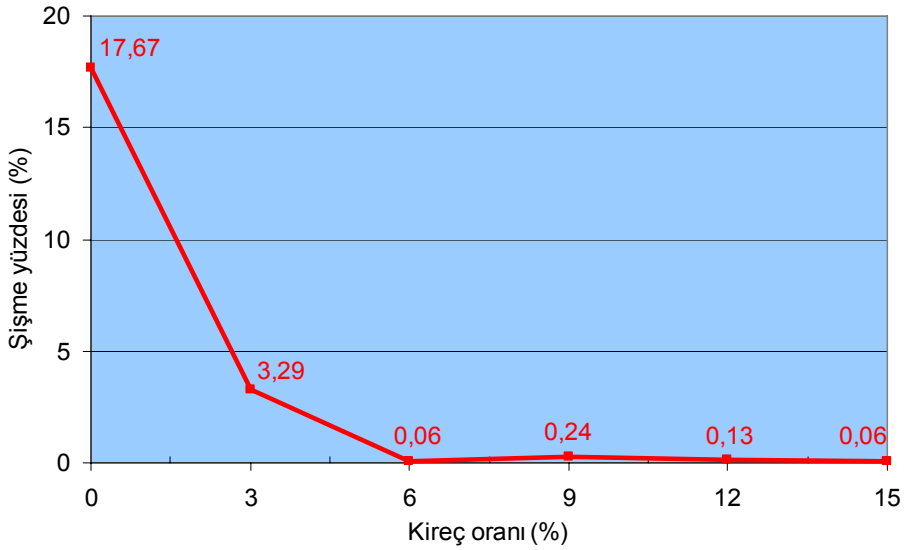
Kireç ile iyileştirme kapsamında 7, 28 ve 90 günlük deney sonuçlarına göre şişme yüzdesi kireç oranı ilişkisi şekil 5.1-3'de verilmiştir. Bu grafiklere göre kireç katkı oranı arttıkça kilin şişme yüzdesi azalmaktadır. Özellikle %6 ve daha yüksek oranlardaki kireç katımında kilin şişme yüzdesi sıfıra yaklaşmaktadır. Şişme yüzdesi 90 günlükte %3 katkı oranı için diğerlerine göre daha düşüktür. Bu durum zamanın şişme yüzdesinin azalmasına olumlu etkisini göstermektedir.

Yüksek plastisiteli kilin şişme yüzdesi ortalama %17.67'dir. 7 günlük beklemeden sonra %3 kireç katılması halinde şişme yüzdesi %0.78'e düşmektedir. %6 ve daha fazla katkı oranlarında ise şişme yüzdesi sıfıra yaklaşmaktadır (Şekil 5.1).



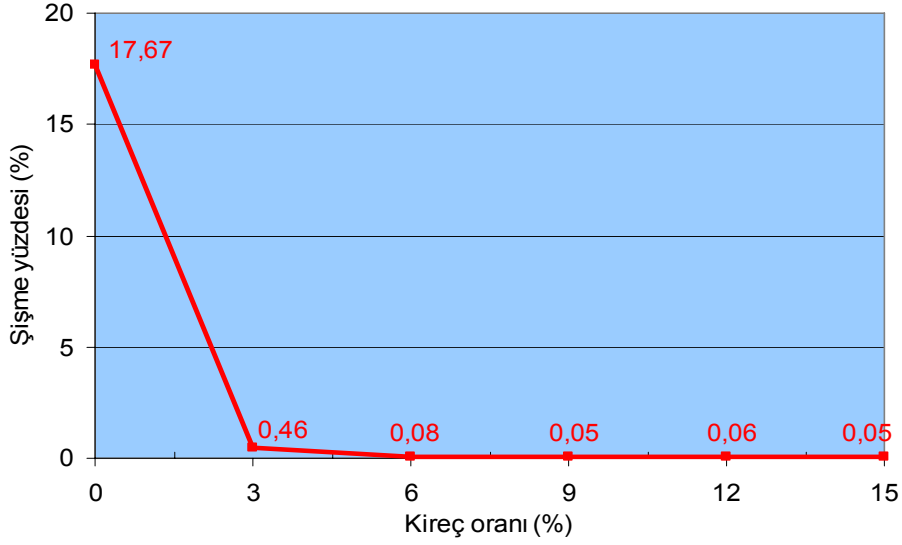
Şekil 5.1 Farklı kireç oranlarındaki 7 günlük şişme yüzdesinin değişimi

Yüksek plastisiteli kilin şişme yüzdesi 28 günlük beklemeden sonra %3 kireç oranında %3.29'a düşmekte ve %6 ve daha fazla kireç oranlarında sıfıra yaklaşmaktadır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 Farklı kireç oranlarındaki 28 günlük şişme yüzdesinin değişimi

Yüksek plastisiteli kilin 90 günlük beklemeden sonra %3 kireç oranında şişme yüzdesi %0.46'ya düşmekte ve %6 ve daha fazla kireç oranlarında sıfıra yaklaşmaktadır (Şekil 5.3).

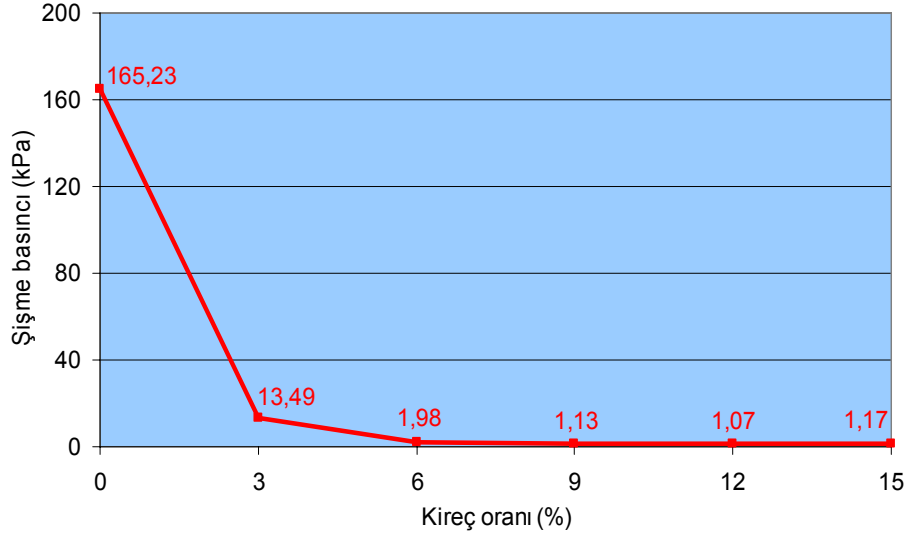


Şekil 5.3 Farklı kireç oranlarındaki 90 günlük şişme yüzdesinin değişimi

Kireç katkısının şişme basıncına etkisi

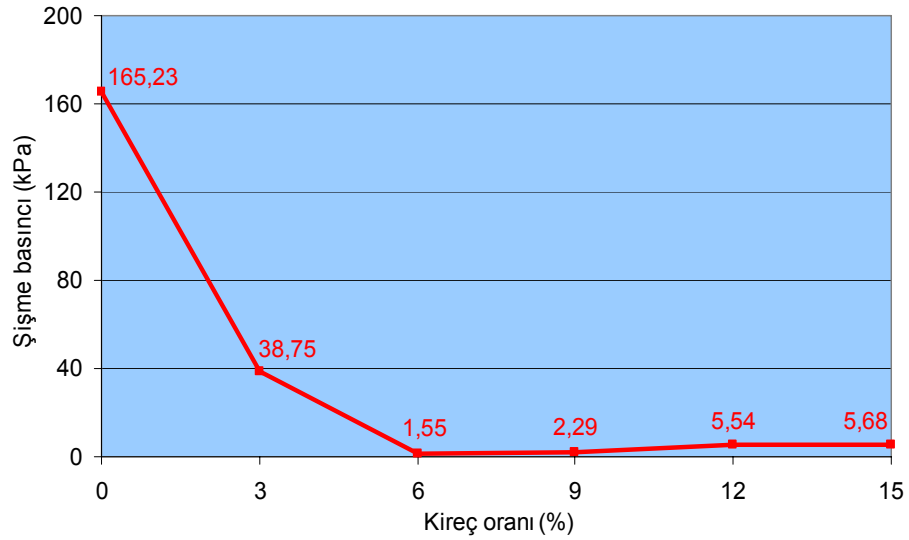
Kireç ile iyileştirme kapsamında 7, 28 ve 90 günlük deney sonuçlarına göre şişme basıncı kireç oranı ilişkisi Şekil 5.4-6'da verilmiştir. Bu grafiklere göre kireç oranı arttıkça kilin şişme basıncı azalmaktadır.

Yüksek plastisiteli kilin şişme basıncı 165,2 kPa dır. 7 günlük beklemeden sonra %3 kireç katılması halinde şişme basıncı 13,5 kPa'a düşmekte, %6 kireç katılması halinde ise şişme basıncı 2.0 kPa'a düşmektedir. %9 ve daha fazla kireç oranlarında ise şişme basıncı 1,1 kPa'a düşmektedir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 Farklı kireç oranlarındaki 7 günlük şişme basıncının değişimi

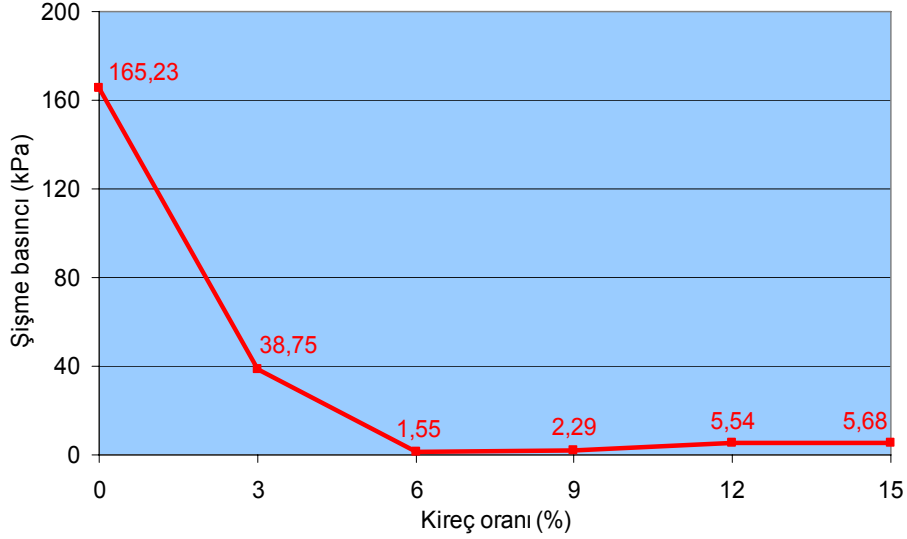
28 günlük beklemeden sonra %3 kireç katılması halinde şişme basıncı 38,8 kPa'a ve %6 kireç katılması halinde ise şişme basıncı 1,5 kPa'a düşmektedir. %9 ve daha fazla kireç oranlarında ise şişme basıncında az oranda artış gözlenmiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 Farklı kireç oranlarındaki 28 günlük şişme basıncının değişimi

90 günlük beklemeden sonra %3 kireç katılması halinde şişme basıncı 15,2 kPa'a, %6 kireç katılması halinde şişme basıncı 1,6 kPa'a ve %9 kireç katılması halinde ise şişme

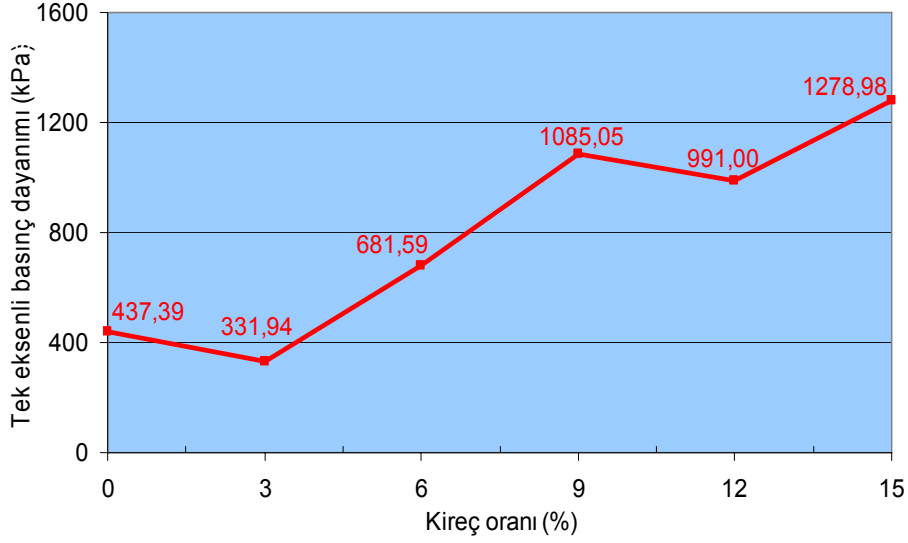
basıncı 0,8 kPa'a düşmektedir. %12 ve %15 katkı oranlarında ise şişme basıncında az oranda artış gözlenmiştir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6 Farklı kireç oranlarındaki 90 günlük şişme basıncının değişimi

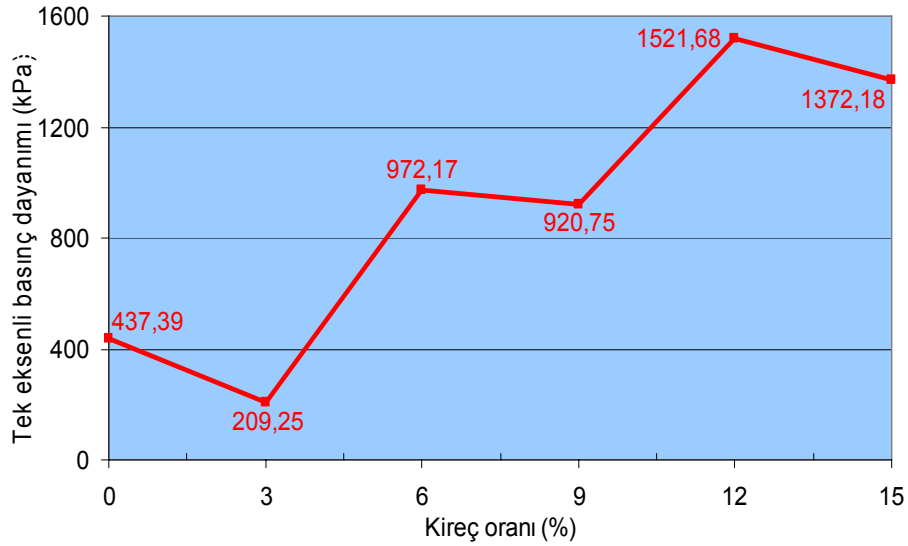
Kireç katkısının tek eksenli basınç dayanımına etkisi

Kireç ile iyileştirme kapsamında 7, 28 ve 90 günlük deney sonuçlarına göre tek eksenli basınç dayanımı kireç oranı ilişkisi Şekil 5.7-9'da verilmiştir. Yüksek plastisiteli kilin tek eksenli basınç dayanımı 437,4 kPa'dır. 7 günlük deney sonuçları için kilin tek eksenli basınç dayanımı % 3 kireç oranında 331,9 kPa'a düşmüş, % 6 kireç oranında 681,6 kPa'a ve % 9 kireç oranında ise 1085,1 kPa'a kadar artmış, % 12 kireç oranında ise tekrar 991,0 kPa'a düşmüş ve % 15 kireç oranında 1279,0 kPa'a yükselmiştir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7 Farklı kireç oranlarındaki 7 günlük tek eksenli basınç dayanımının değişimi

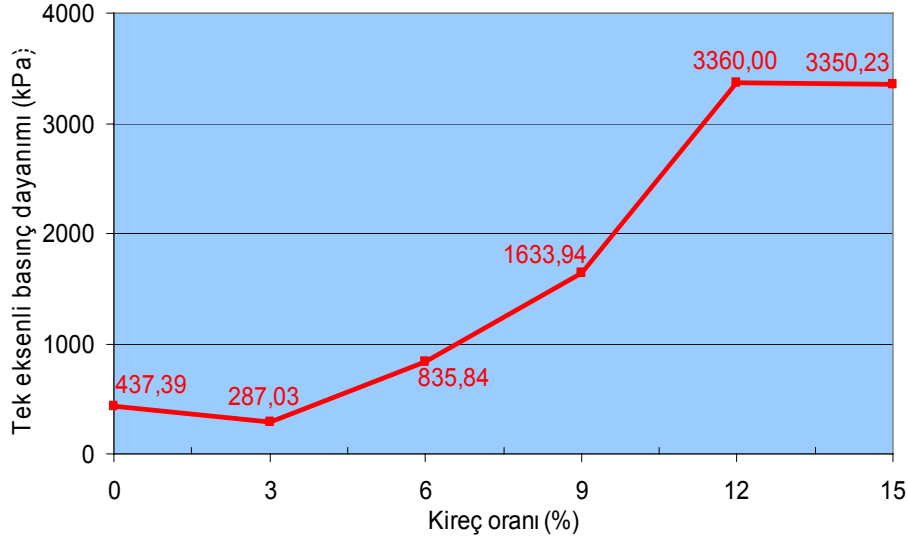
28 günlük deney sonuçlarının ortalaması için kilin tek eksenli basınç dayanımı % 3 kireç oranında 209,3 kPa'a düşmüş, % 6 kireç oranında 972,2 kPa'a artmış, % 9 kireç oranında tekrar 920,7 kPa'a düşmüş, % 12 kireç oranında ise 1521,7 kPa'a artmış ve % 15 kireç oranında 1372,2 kPa'a düşmüştür (Şekil 5.8).



Şekil 5.8 Farklı kireç oranlarındaki 28 günlük tek eksenli basınç dayanımının değişimi

90 günlük deney sonuçları için kilin tek eksenli basınç dayanımı % 3 kireç oranında 287,0 kPa'a düşmüş, % 6 kireç oranında 835,8 kPa'a, % 9 kireç oranında 1633,9 kPa'a,

ve % 12 kireç oranında ise 3360,0 kPa'a kadar artmıştır. % 15 kireç oranında ise az oranda bir düşme gözlenmiştir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9 Farklı kireç oranlarındaki 90 günlük tek eksenli basınç dayanımının değişimi

5.2 Jips ile İyileştirme

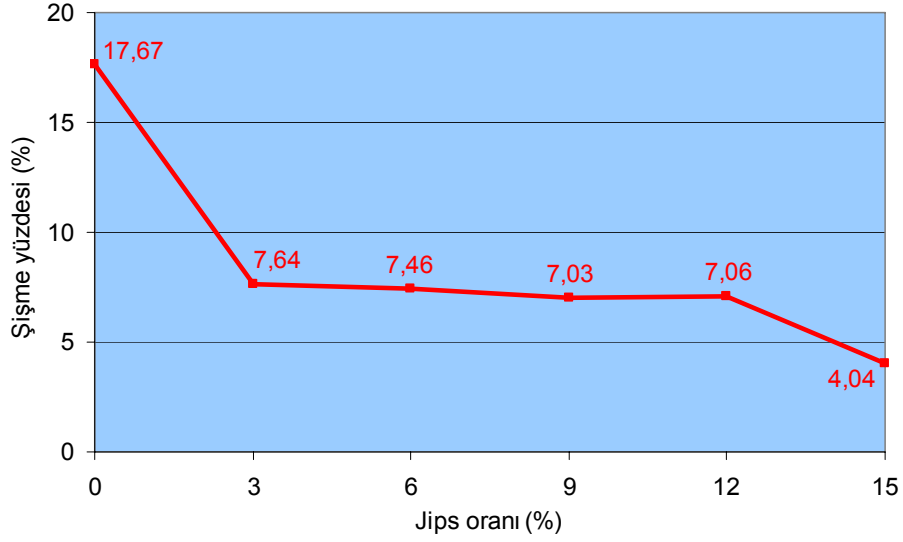
Yüksek plastisiteli kile kütlece %3, %6, %9, %12 ve %15 oranlarında jips katılarak karışımlar hazırlanmıştır. Her karışım için üçer adet standart sıkıştırma deneyleri yapılarak ortalama γ_{dmax} ve ω_{opt} içeriği belirlenmiştir. γ_{dmax} ve ω_{opt} içeriği belli örneklerin sıkıştırma deneyleri sonucunda 7 gün, 28 gün ve 90 günlük bekleme sürelerinde şişme yüzdesi, şişme basıncı ve tek eksenli basınç dayanımı belirlenerek aralarındaki korelasyon incelenmiştir.

Jips katkısının şişme yüzdesine etkisi

Jips ile iyileştirme kapsamında 7, 28 ve 90 günlük deney sonuçlarına göre şişme yüzdesi jips oranı ilişkisi Şekil 5.10-12'de verilmiştir. Bu grafiklere göre jips oranı arttıkça kilin şişme yüzdesi azalmaktadır.

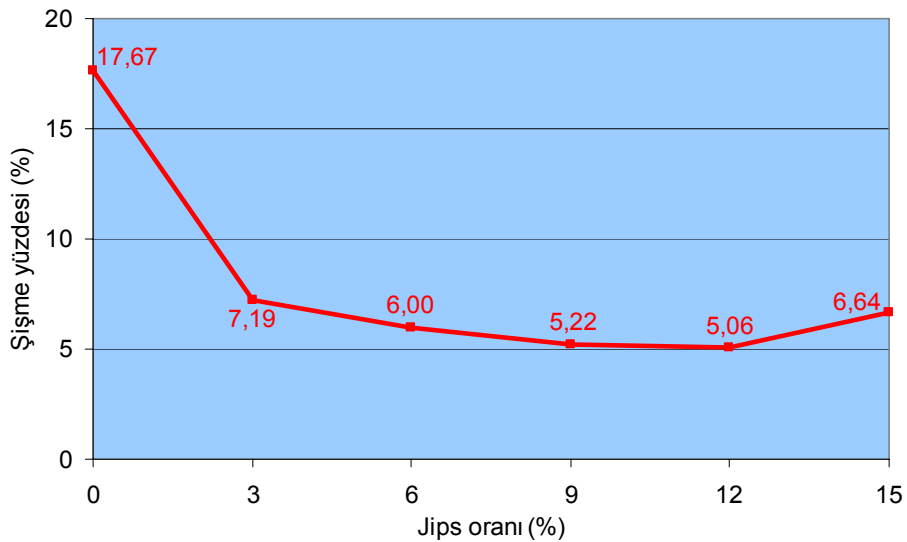
Yüksek plastisiteli kilin şişme yüzdesi %17.67'dir. 7 günlük beklemeden sonra %3 jips katılması halinde şişme yüzdesi %7.6'ya, %6 jips oranında %7.5'e ve %9 jips oranında

%7.0'a düşmüş, %12 jips oranında %7.1'e artmış ve %15 jips oranında ise şişme yüzdesi %4.0'e kadar düşmüştür (Şekil 5.10).



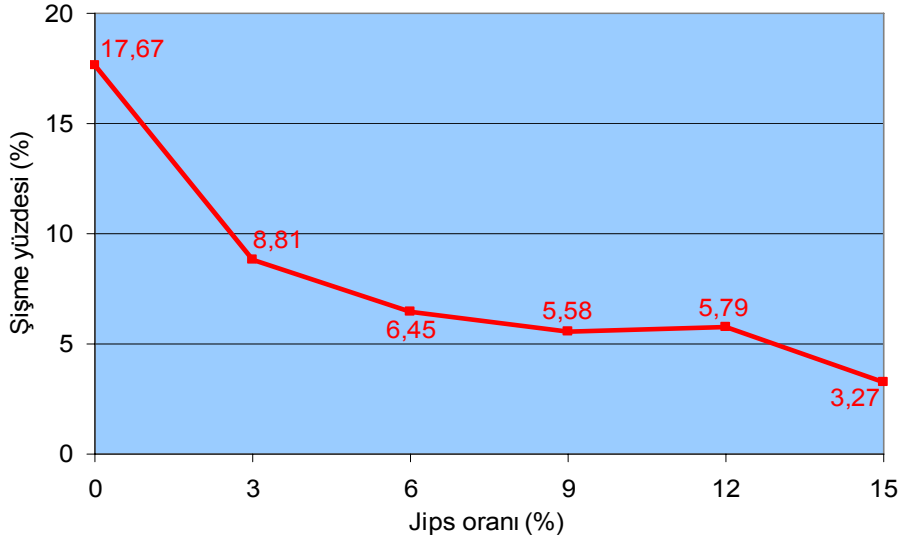
Şekil 5.10 Farklı jips oranlarındaki 7 günlük şişme yüzdesinin değişimi

28 günlük deney sonuçları için %3 jips oranında şişme yüzdesi %7,2'ye, %6 jips oranında %6,0'ya, %9 jips oranında %5,2'ye ve %12 jips oranında %5,1'e düşmüş, %15 jips oranında ise %6,6'ya kadar düşmüştür (Şekil 5.11).



Şekil 5.11 Farklı jips oranlarındaki 28 günlük şişme yüzdesinin değişimi

90 günlük deney sonuçları için %3 jips oranında şişme yüzdesi %8,8'e, %6 jips oranında %6,4'e ve %9 jips oranında %5,6'ya düşmüş, %12 jips oranında ise %5,8'e artmış ve %15 jips oranında ise tekrar %3,3'e düşmüştür (Şekil 5.12).

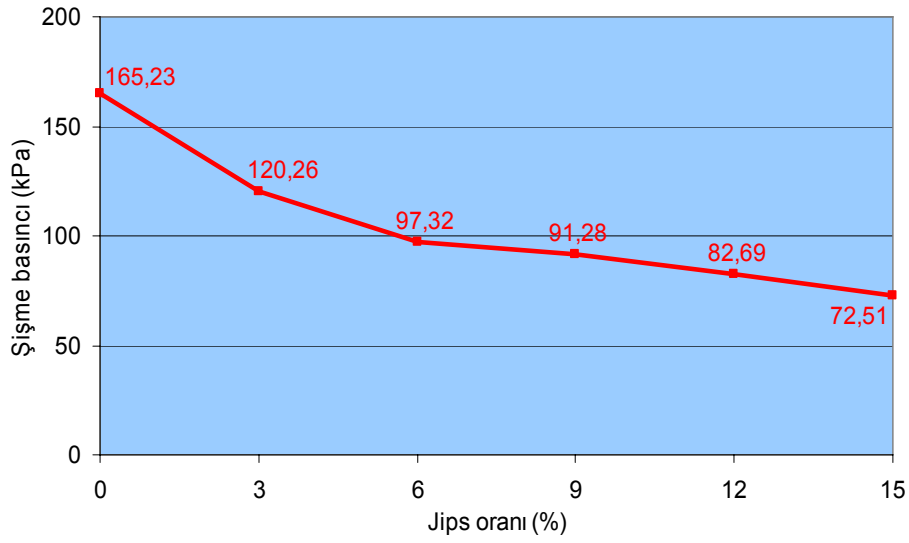


Şekil 5.12 Farklı jips oranlarındaki 90 günlük şişme yüzdesinin değişimi

Jips katkısının şişme basıncına etkisi

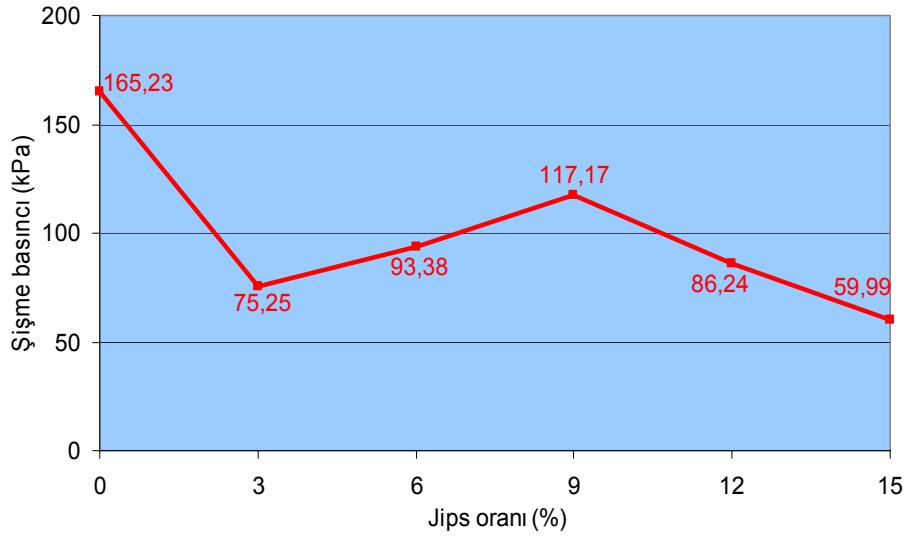
Jips ile iyileştirme kapsamında 7, 28 ve 90 günlük deney sonuçlarına göre şişme basıncı jips oranı ilişkisi Şekil 5.13-15'de verilmiştir. Bu grafiklere göre jips oranı arttıkça kilin şişme basıncı azalmaktadır.

Yüksek plastisiteli kilin şişme basıncı 165,2 kPa dır. 7 günlük deney sonuçları için şişme basıncı %3 jips oranında 120,3 kPa'a, %6 jips oranında 97,3 kPa'a, %9 jips oranında 91,3 kPa'a, %12 jips oranında 82,7 kPa'a ve %15 jips oranında ise 72,5 kPa'a kadar düşmüştür (Şekil 5.13).



Şekil 5.13 Farklı jips oranlarındaki 7 günlük şişme basıncının değişimi

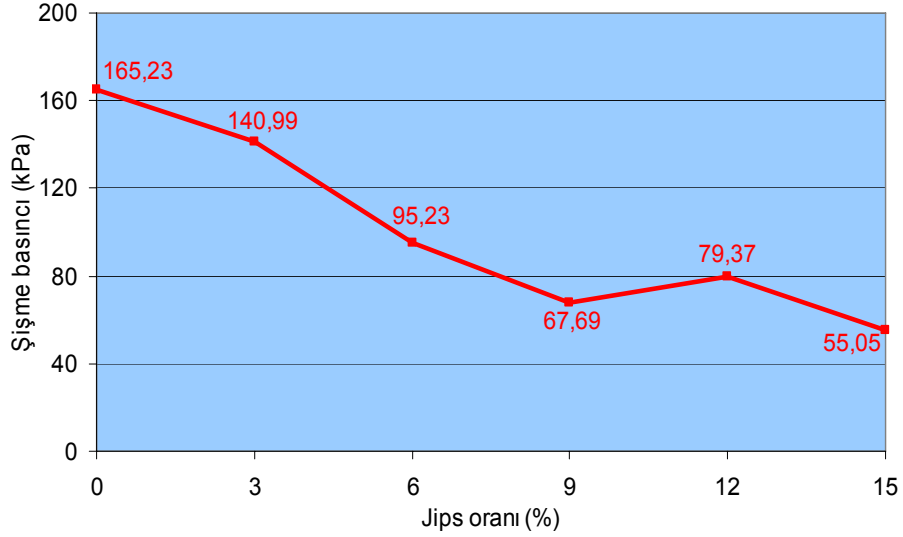
28 günlük deney sonuçları için şişme basıncı %3 jips oranında 75,3 kPa'a düşmüş, %6 jips oranında 93,4 kPa'a ve %9 jips oranında 117,2 kPa'a kadar yükselmiştir. %12 jips oranında 86,2 kPa'a ve %15 jips oranında 60,0 kPa'a kadar düşmüştür (Şekil 5.14).



Şekil 5.14 Farklı jips oranlarındaki 28 günlük şişme basıncının değişimi

90 günlük deney sonuçları için şişme basıncı %3 jips oranında 141,0 kPa'a, %6 jips oranında 95,2 kPa'a ve %9 jips oranında 67,7 kPa'a kadar düşmüştür. %12 jips

oranında 79,4 kPa'a yükselmiş ve %15 jips oranında ise tekrar 55,1 kPa'a kadar düşmüştür (Şekil 5.15).

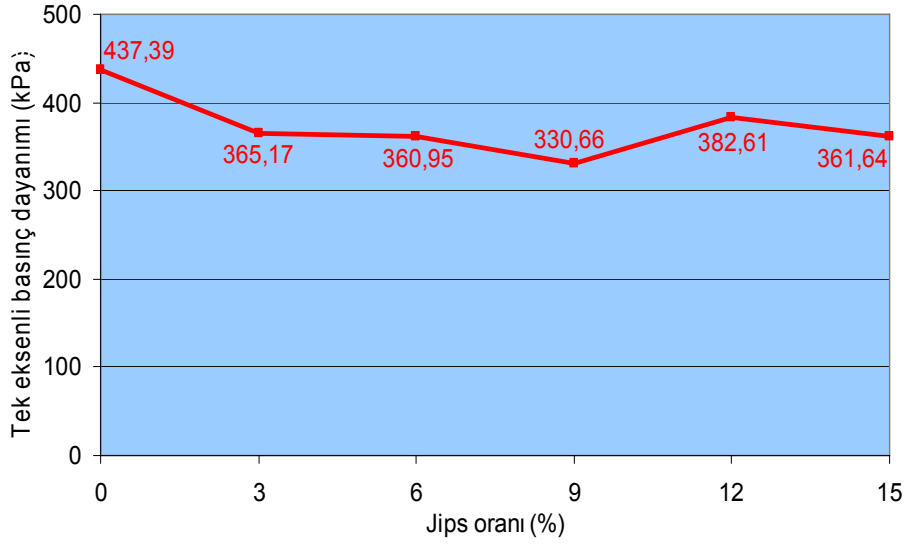


Şekil 5.15 Farklı jips oranlarındaki 90 günlük şişme basıncının değişimi

Jips katkısının tek eksenli basınç dayanımına etkisi

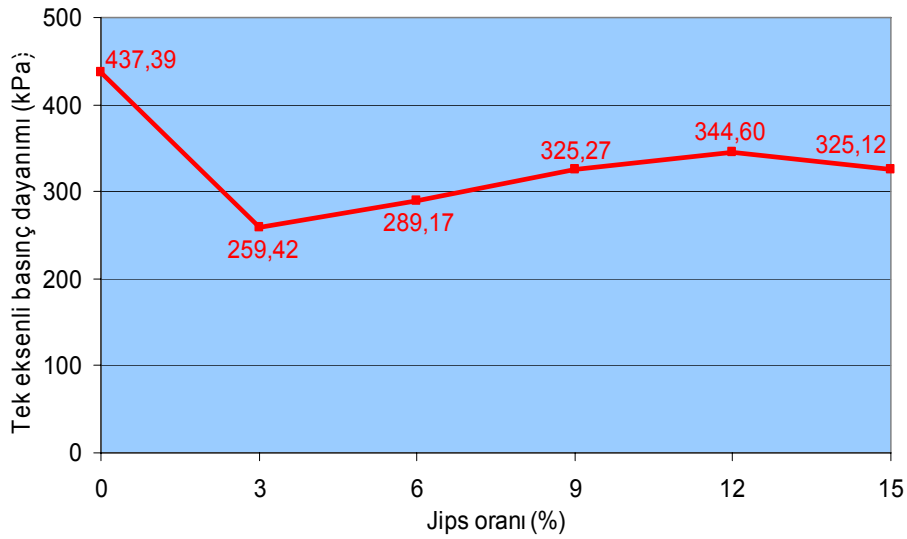
Jips ile iyileştirme kapsamında 7, 28 ve 90 günlük deney sonuçlarına göre tek eksenli basınç dayanımı jips oranı ilişkisi Şekil 5.16-18'de verilmiştir. Bu grafiklere göre jips oranı arttıkça kilin tek eksenli basınç dayanımı azalmaktadır.

Yüksek plastisiteli kilin tek eksenli basınç dayanımı 437,4 kPa dır. 7 günlük deney sonuçları için tek eksenli basınç dayanımı %3 jips oranında 365,2 kPa'a, %6 jips oranında 361,0 kPa'a ve %9 jips oranında 330,7 kPa'a düşmüştür. %12 jips oranında ise 382,6 kPa'a yükselmiş ve %15 jips oranında ise tekrar 361,6 kPa'a düşmüştür (Şekil 5.16).



Şekil 5.16 Farklı jips oranlarındaki 7 günlük tek eksenli basınç dayanımının değişimi

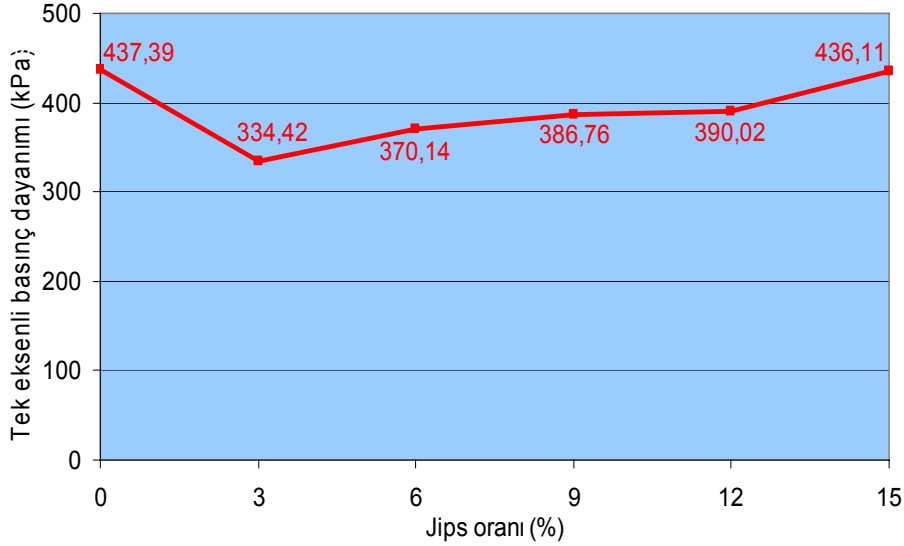
28 günlük deney sonuçları için tek eksenli basınç dayanımı %3 jips oranında 259,4 kPa'a düşmüş, %6 jips oranında 289,2 kPa'a, %9 jips oranında 325,3 kPa'a ve %12 jips oranında ise 344,6 kPa'a kadar yükselmiştir. %15 jips oranında ise tekrar 325,1 kPa'a düşmüştür (Şekil 5.17).



Şekil 5.17 Farklı jips oranlarındaki 28 günlük tek eksenli basınç dayanımının değişimi

90 günlük deney sonuçları için tek eksenli basınç dayanımı %3 jips oranında 334,4 kPa'a düşmüş, %6 jips oranında 370,1 kPa'a, %9 jips oranında 386,8 kPa'a, %12 jips

oranında 390,0 kPa'a ve %15 jips oranında ise 436,1 kPa'a kadar yükselmiştir (Şekil 5.18).



Şekil 5.18 Farklı jips oranlarındaki 90 günlük tek eksenli basınç dayanımının değişimi

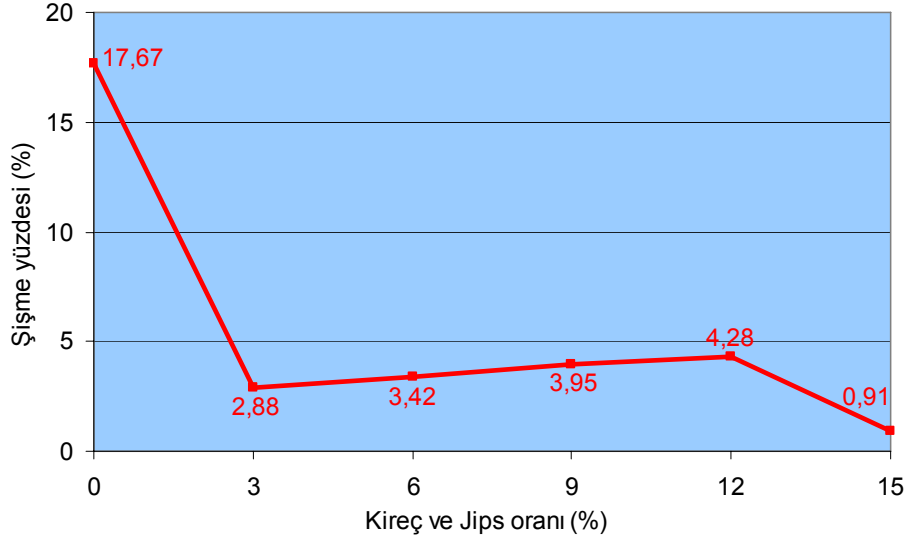
5.3 Kireç ve Jips ile İyileştirme

Yüksek plastisiteli kile kütlece %3, %6, %9, %12 ve %15 oranlarında kireç ve jips (%50- %50) katılarak karışımlar hazırlanmıştır. Her karışım için üçer adet standart sıkıştırma deneyleri yapılarak ortalama γ_{dmax} ve ω_{opt} içeriği belirlenmiştir. γ_{dmax} ve ω_{opt} içeriği belli örneklerin sıkıştırma deneyleri sonucunda 7 gün, 28 gün ve 90 günlük bekleme sürelerinde şişme yüzdesi, şişme basıncı ve tek eksenli basınç dayanımı belirlenerek aralarındaki korelasyon incelenmiştir.

Kireç ve jips katkısının şişme yüzdesine etkisi

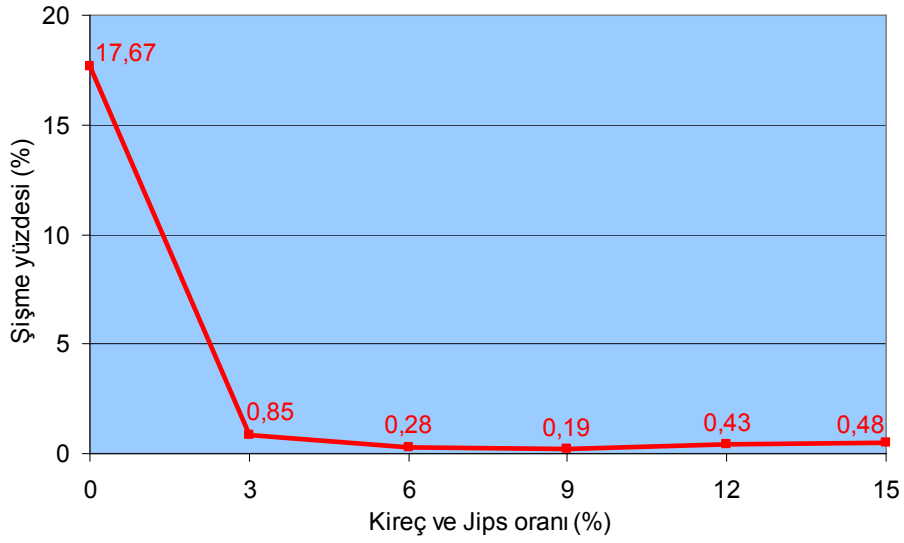
Kireç ve jips ile iyileştirme kapsamında 7, 28 ve 90 günlük deney sonuçlarına göre şişme yüzdesi kireç ve jips oranı ilişkisi Şekil 5.19-21'de verilmiştir. Bu grafiklere göre kireç ve jips oranı arttıkça kilin şişme yüzdesi azalmaktadır. Özellikle 28 ve 90 günlük deney sonuçları için %6 ve daha yüksek oranlardaki kireç ve jips katıldığında kilin şişme yüzdesi sıfıra yaklaşmaktadır.

Yüksek plastisiteli kilin şişme yüzdesi %17.67'dir. 7 günlük beklemeden sonra %3 kireç ve jips katılması halinde şişme yüzdesi %2,9'a düşmüş, %6 kireç ve jips oranında %3,4'e, %9 kireç ve jips oranında %4,0'e ve %12 kireç ve jips oranında %4,3'e yükselmiştir. %15 kireç ve jips oranında ise tekrar %0,9'a düşmüştür (Şekil 5.19).



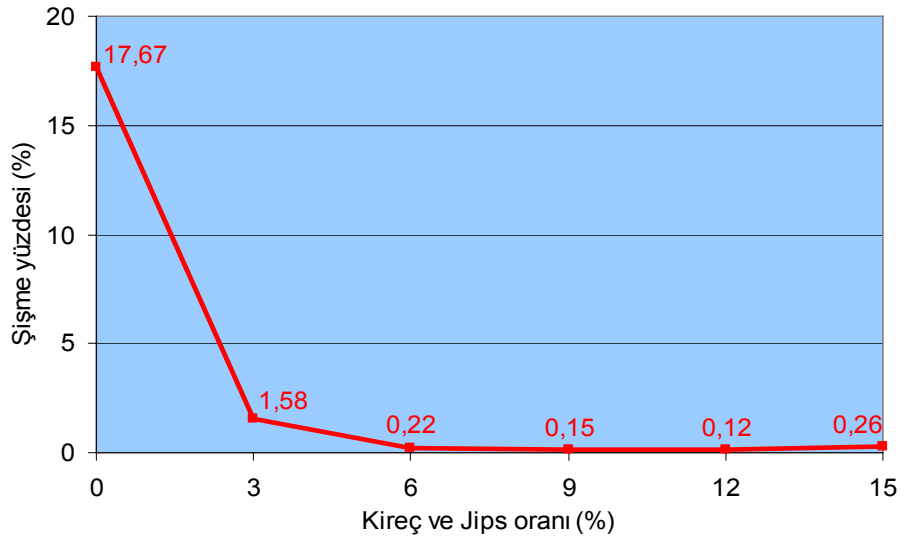
Şekil 5.19 Farklı kireç ve jips oranlarındaki 7 günlük şişme yüzdesinin değişimi

28 günlük deney sonuçları için %3 kireç ve jips katılması halinde şişme yüzdesi %0,8'e düşmüş, %6 ve daha yüksek oranlarda kireç ve jips katıldığında kilin şişme yüzdesi sıfıra yaklaşmıştır (Şekil 5.20).



Şekil 5.20 Farklı kireç ve jips oranlarındaki 28 günlük şişme yüzdesinin değişimi

90 günlük deney sonuçları için %3 kireç ve jips katılması halinde şişme yüzdesi %1,6'ya düşmüş, %6 ve daha yüksek oranlarda kireç ve jips katıldığında kilin şişme yüzdesi sıfıra yaklaşmıştır (Şekil 5.21).

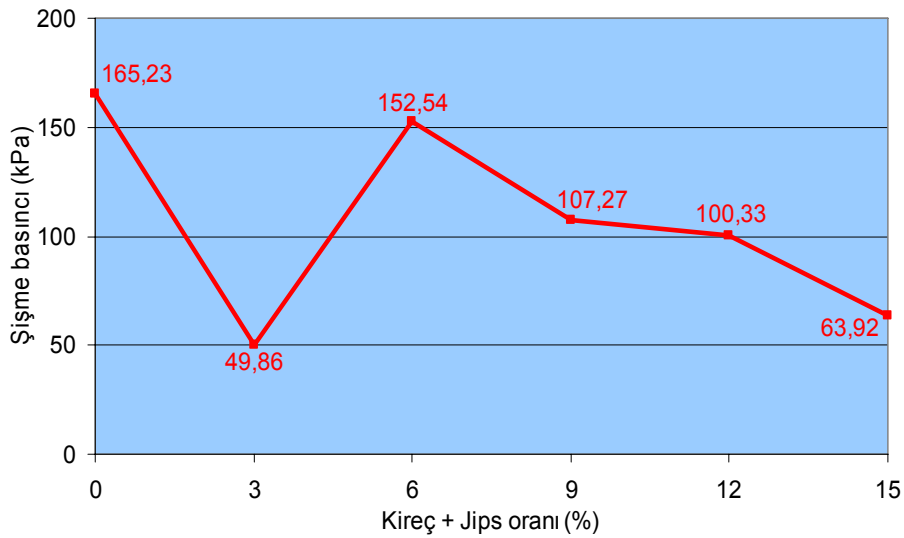


Şekil 5.21 Farklı kireç ve jips oranlarındaki 90 günlük şişme yüzdesinin değişimi

Kireç ve jips katkısının şişme basıncına etkisi

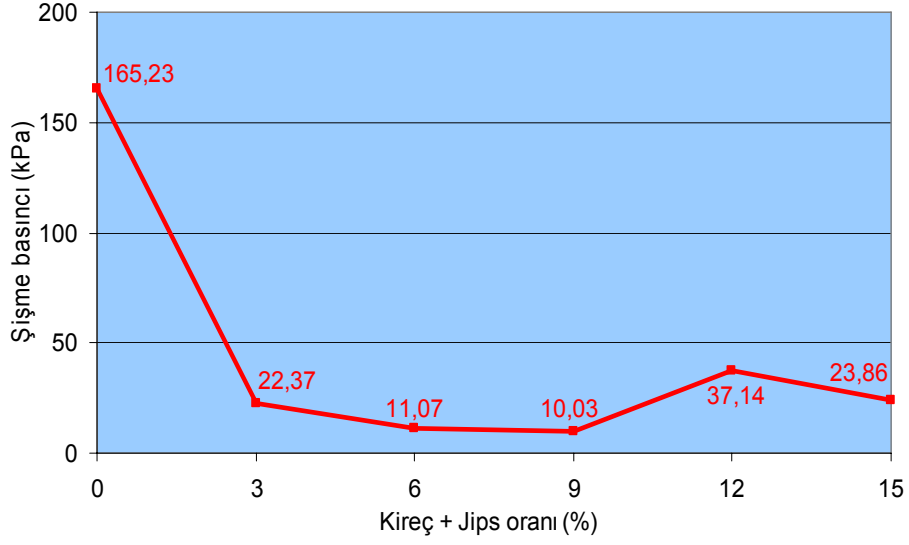
Kireç ve jips ile iyileştirme kapsamında 7, 28 ve 90 günlük deney sonuçlarına göre şişme basıncı kireç ve jips oranı ilişkisi Şekil 5.22-24’de verilmiştir. Bu grafiklere göre kireç ve jips oranı arttıkça kilin şişme basıncı azalmaktadır.

Yüksek plastisiteli kilin şişme basıncı 165,2 kPa dır. 7 günlük deney sonuçları için şişme basıncı %3 kireç ve jips katılması halinde 49,9 kPa’a düşmüş, %6 kireç ve jips oranında 152,5 kPa’a yükselmiştir. %9 kireç ve jips oranında 107,3 kPa’a %12 kireç ve jips oranında 100,3 kPa’a ve %15 kireç ve jips oranında 63,9 kPa’a kadar düşmüştür (Şekil 5.22).



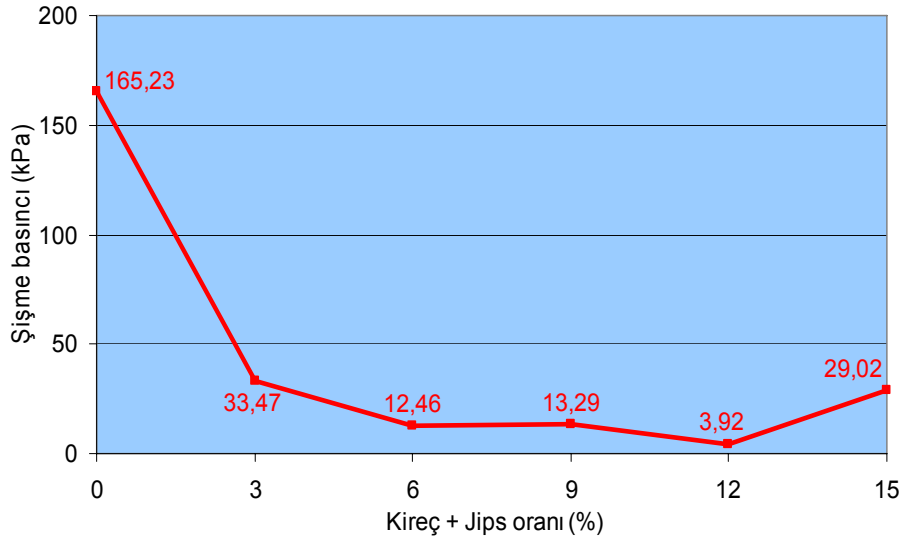
Şekil 5.22 Farklı kireç ve jips oranlarındaki 7 günlük şişme basıncının değişimi

28 günlük deney sonuçları için şişme basıncı %3 kireç ve jips oranında 22,4 kPa’a %6 kireç ve jips oranında 11,1 kPa’a ve %9 kireç ve jips oranında 10,0 kPa’a kadar düşmüştür. %12 kireç ve jips oranında 37,1 kPa’a yükselmiş ve %15 kireç ve jips oranında ise tekrar 23,9 kPa’a düşmüştür (Şekil 5.23).



Şekil 5.23 Farklı kireç ve jips oranlarındaki 28 günlük şişme basıncının değişimi

90 günlük deney sonuçları için şişme basıncı %3 kireç ve jips oranında 33,5 kPa'a ve %6 kireç ve jips oranında 12,5 kPa'a düşmüştür. %9 kireç ve jips oranında 13,3 kPa'a yükselmiş, %12 kireç ve jips oranında tekrar 3,9 kPa'a düşmüş ve %15 kireç ve jips katkı oranında ise tekrar 29,0 kPa'a yükselmiştir (Şekil 5.24).

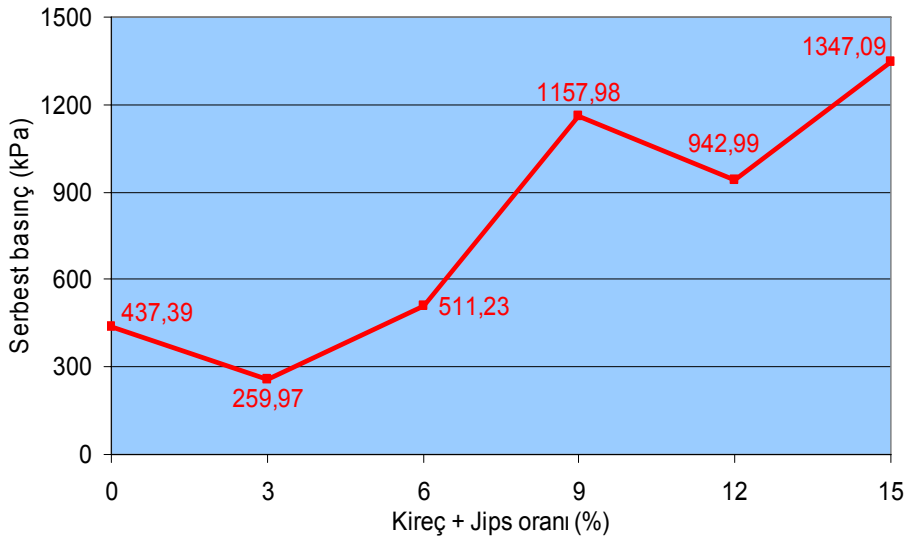


Şekil 5.24 Farklı kireç ve jips oranlarındaki 90 günlük şişme basıncının değişimi

Kireç ve jips katkısının tek eksenli basınç dayanımına etkisi

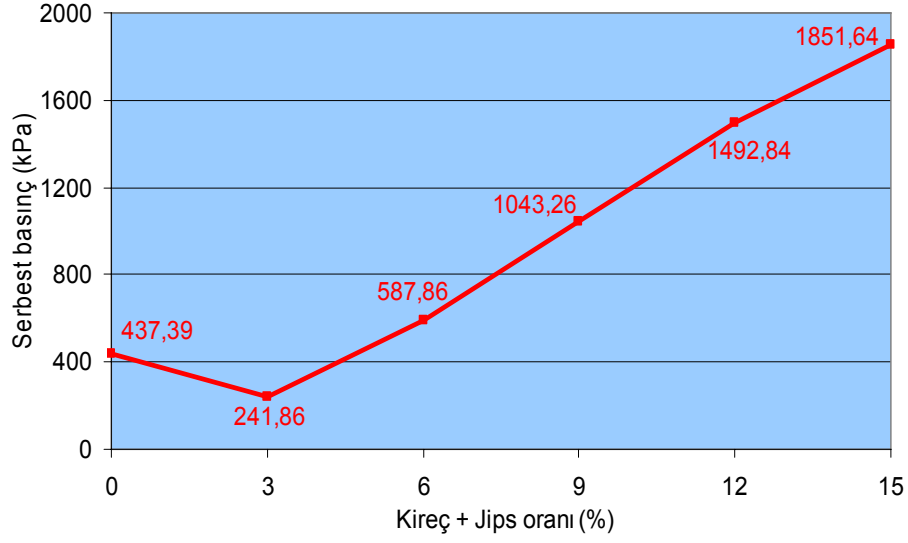
Kireç ve jips ile iyileştirme kapsamında 7, 28 ve 90 günlük deney sonuçlarına göre tek eksenli basınç dayanımı kireç ve jips oranı ilişkisi Şekil 5.25-27’de verilmiştir. Bu grafiklere göre kireç ve jips oranı arttıkça kilin tek eksenli basınç dayanımı artmaktadır.

Yüksek plastisiteli kilin tek eksenli basınç dayanımı 437,4 kPa dır. 7 günlük deney sonuçları için tek eksenli basınç dayanımı %3 kireç ve jips oranında 260,0 kPa’ a düşmüş, %6 kireç ve jips oranında 511,2 kPa’ a ve %9 kireç ve jips oranında 1158,0 kPa’ a kadar yükselmiştir. %12 kireç ve jips oranında ise tekrar 943,0 kPa’ a düşmüş ve %15 kireç ve jips katkı oranında ise 1347,1 kPa’ a yükselmiştir (Şekil 5.25).



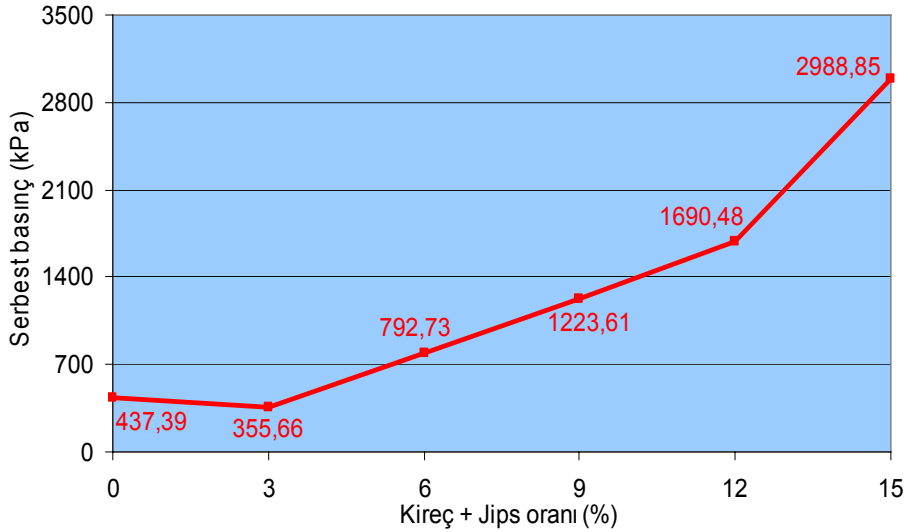
Şekil 5.25 Farklı kireç ve jips oranlarındaki 7 günlük tek eksenli basınç dayanımının değişimi

28 günlük deney sonuçları için tek eksenli basınç dayanımı %3 kireç ve jips oranında 241,9 kPa’ a düşmüştür. %6 kireç ve jips oranında 587,9 kPa’ a, %9 kireç ve jips oranında 1043,3 kPa’ a, %12 kireç ve jips oranında 1492,8 kPa’ a ve %15 kireç ve jips oranında ise 1851,6 kPa’ a kadar yükselmiştir (Şekil 5.26).



Şekil 5.26 Farklı kireç ve jips oranlarındaki 28 günlük tek eksenli basınç dayanımının eğişi

90 günlük deney sonuçları için tek eksenli basınç dayanımı %3 kireç ve jips oranında 355,7 kPa'a düşmüştür. %6 kireç ve jips oranında 792,7 kPa'a, %9 kireç ve jips oranında 1223,6 kPa'a, %12 kireç ve jips oranında 1690,5 kPa'a ve %15 kireç ve jips oranında ise 2988,9 kPa'a kadar artmıştır (Şekil 5.27).



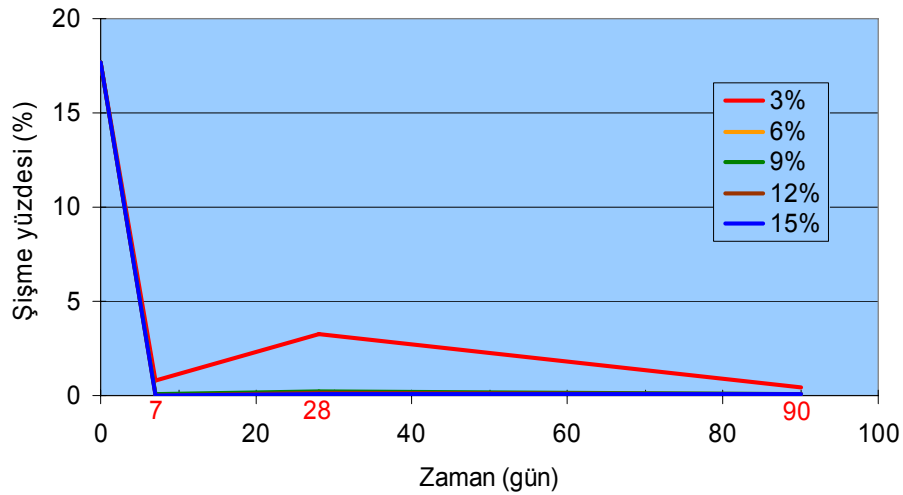
Şekil 5.27 Farklı kireç ve jips oranlarındaki 90 günlük tek eksenli basınç dayanımının değışı

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Batıkent yerleşim alanındaki yüksek plastisiteli killerin şişme ve dayanım özelliklerinin, ağırlıkça farklı oranlardaki kireç, jips ve kireç-jips karışımlarının kullanılarak iyileştirilmesinin araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

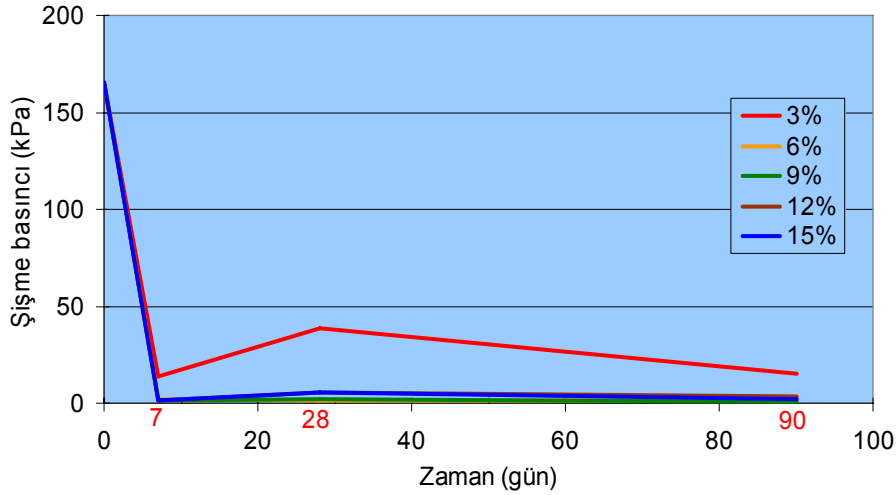
1. Batıkent'deki inşaat kazılarında alınan gri renkli yüksek plastisiteli kil örneklerinin sınıflama, indeks, fiziksel, şişme ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Yüksek plastisiteli kilin likit limiti (LL) %84,6, plastik limiti (PL) %32,3, plastisite indisi %52,3, özgül ağırlığı 2,59, optimum su içeriği (ω_{opt}) %24,4, maksimum kuru birim ağırlığı (γ_{dmax}) 14,4 kN/m³, tek eksenli basınç dayanımı (q_u) 437,4 kPa, kohezyonu (c) 156,0 kPa, içsel sürtünme açısı (ϕ) 12,9°, şişme yüzdesi %17,7 ve şişme basıncı 165,2 kPa olarak belirlenmiştir.

2. Yüksek plastisiteli kile kütlece %3, %6, %9, %12 ve %15 oranlarında kireç katılarak yapılan iyileştirme sonucunda kilin şişme yüzdesinin %3 kireç katıldığında azaldığı ve %6 ve daha fazla kireç katıldığında ise kilin şişme oranının sifira yaklaştığı sonucu elde edilmiştir. Bu durum kilin 7 günlük, 28 günlük ve 90 günlük şişme yüzdelerinde gözlenmiştir (Şekil 6.1).



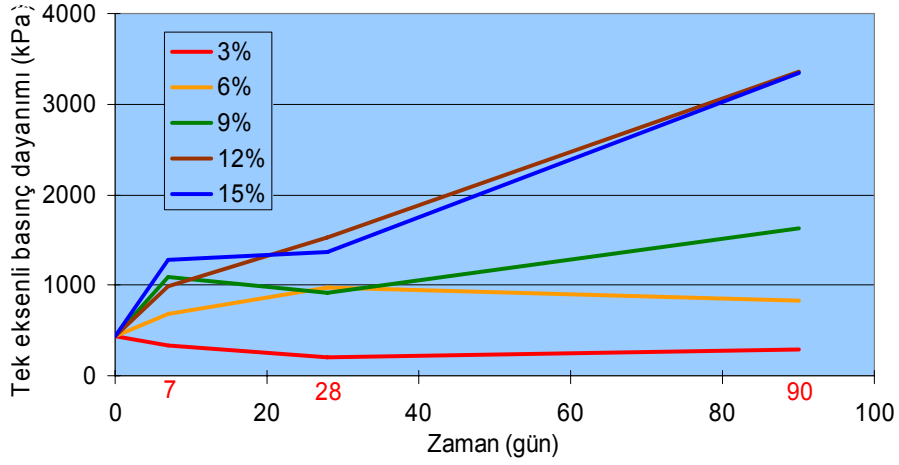
Şekil 6.1 Farklı kireç oranlarında kilin şişme yüzdesinin zamana bağlı değişimi

3. Yüksek plastisiteli kile kütlege %3, %6, %9, %12 ve %15 oranlarında kireç katılarak yapılan iyileştirme sonucunda kilin şişme basıncının %3 kireç için azaldığı ve %6 ve üstü kireç katıldığında kilin şişme basıncının sıfıra yaklaştığı, 7 günlük, 28 günlük ve 90 günlük şişme yüzdelerinde gözlenmiştir (Şekil 6.2).



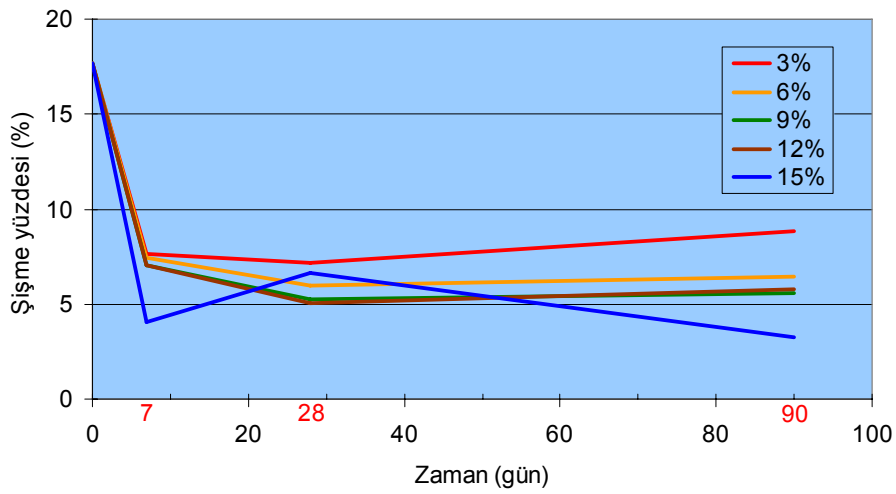
Şekil 6.2 Farklı kireç oranlarında kilin şişme basıncının zamana bağlı değişimi

4. Yüksek plastisiteli kile kütlege %3, %6, %9, %12 ve %15 oranlarında kireç katılarak yapılan iyileştirme sonucunda 7 günlük, 28 günlük ve 90 günlük tek eksenli basınç dayanımının %3 kireç için istenilen iyileştirmeyi sağlamadığı, ancak kireç oranı arttıkça kilin tek eksenli basınç dayanımının giderek arttığı belirlenmiştir. Kireç ile iyileştirme kapsamında yüksek plastisiteli kilin tek eksenli basınç dayanımında en uygun karışım 90 günlük bekleme süresi için % 12 kireç oranında belirlenmiştir. Bu kireç oranı için 437,4 kPa olan kilin tek eksenli basınç dayanımı 3360,0 kPa'a kadar yükselmiştir (Şekil 6.3).



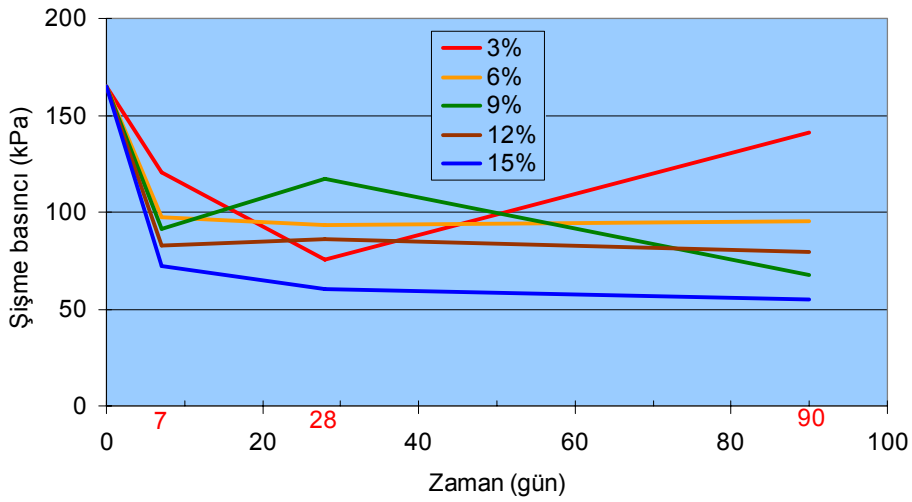
Şekil 6.3 Farklı kireç oranlarında kilin tek eksenli basınç dayanımının zamana bağlı değişimi

5. Yüksek plastisiteli kile kütlece %3, %6, %9, %12 ve %15 oranlarında jips katılarak yapılan iyileştirme sonucunda 7 günlük, 28 günlük ve 90 günlük şişme yüzdesinin tüm jips oranlarında azaldığı belirlenmiştir. Ancak bu iyileştirme kireçle sağlanan iyileştirmeye göre daha az verimlidir. Jips ile iyileştirme kapsamında yüksek plastisiteli kilin şişme yüzdesinde en uygun karışım 90 günlük bekleme süresi için % 15 jips oranında belirlenmiştir. Bu jips oranı için %17,7 olan kilin şişme yüzdesi %3,3'e kadar düşmüştür. Ayrıca jips katkısı ile iyileştirmede kilin şişme yüzdesinin zamana bağlı bir değişimi görülmemiştir. (Şekil 6.4).



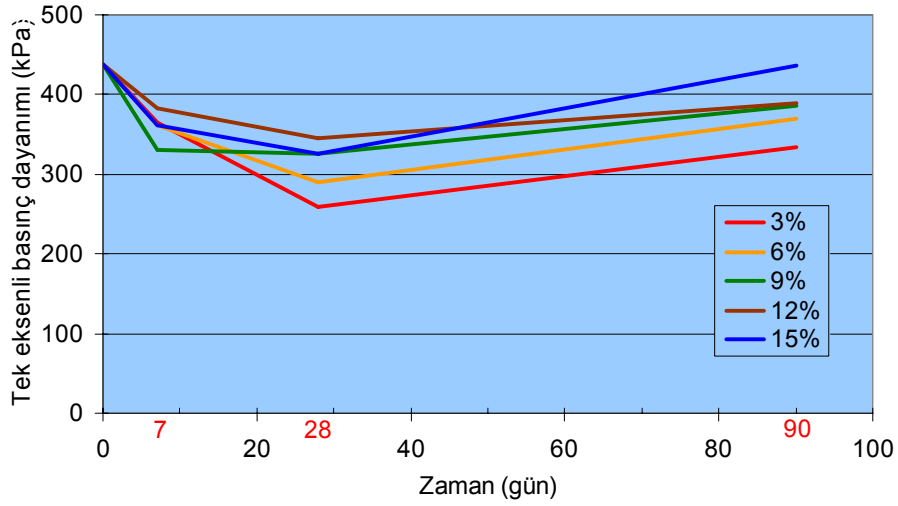
Şekil 6.4 Farklı jips oranlarında kilin şişme yüzdesinin zamana bağlı değişimi

6. Yüksek plastisiteli kile kütlece %3, %6, %9, %12 ve %15 oranlarında jips katılarak yapılan iyileştirme sonucunda kilin şişme basıncının tüm jips oranlarında azaldığı belirlenmiştir. Ancak bu iyileştirme kireçle sağlanan iyileştirmeye göre daha düşüktür. Jips ile iyileştirme kapsamında yüksek plastisiteli kilin şişme basıncında en uygun karışım 90 günlük bekleme süresi için % 15 jips oranında belirlenmiştir. Bu jips oranı için 165,2 kPa olan kilin şişme basıncı 55,1 kPa'a kadar düşmüştür. Ayrıca jips ile iyileştirmede kilin şişme basıncının zamana bağlı bir değişimi gözlenmemiştir (Şekil 6.5).



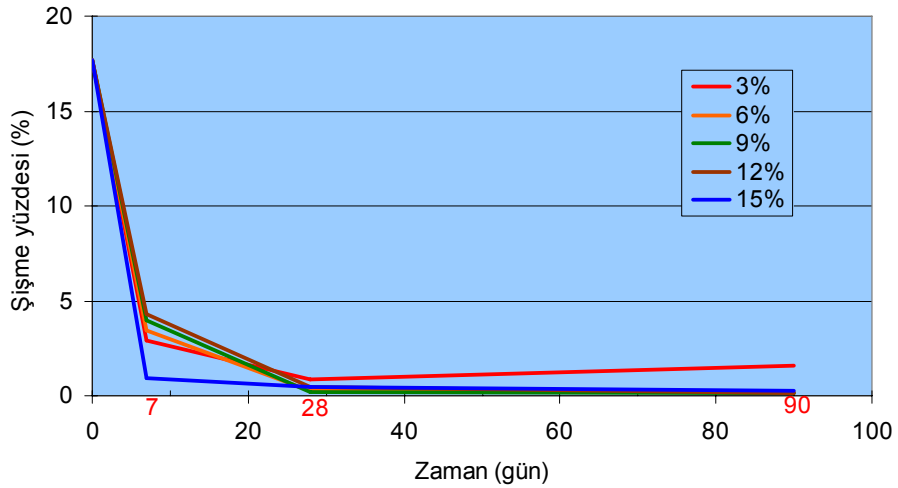
Şekil 6.5 Farklı jips oranlarında kilin şişme basıncının zamana bağlı değişimi

7. Yüksek plastisiteli kile kütlece %3, %6, %9, %12 ve %15 oranlarında jips katılarak yapılan iyileştirme sonucunda kilin tek eksenli basınç dayanımının tüm jips oranlarında azaldığı belirlenmiştir. 7, 28 ve 90 günlük bekleme süreleri için farklı jips oranlarında kilin tek eksenli basınç dayanımında iyileştirme sağlanamamıştır. (Şekil 6.6).



Şekil 6.6 Farklı jips oranlarında kilin tek eksenli basınç dayanımının zamana bağlı değişimi

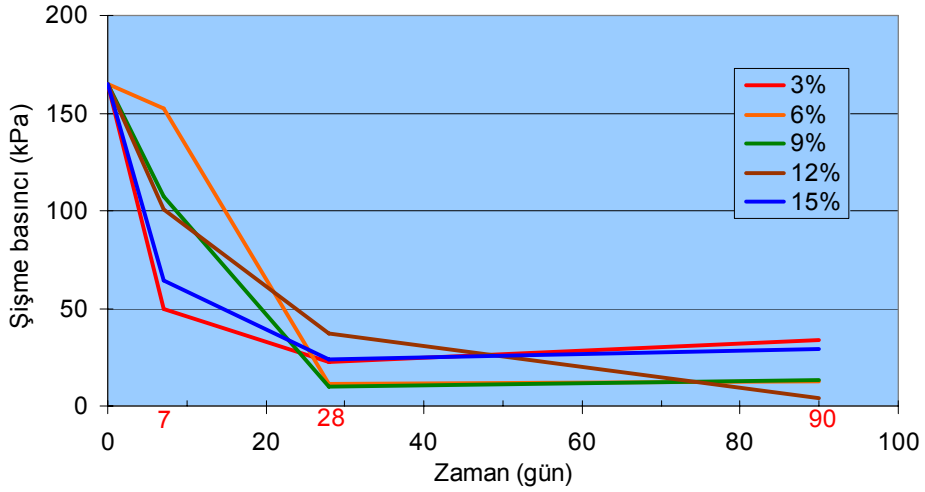
8. Yüksek plastisiteli kile kütlece %3, %6, %9, %12 ve %15 oranlarında kireç ve jips (%50- %50) katılarak yapılan iyileştirme sonucunda kilin şişme yüzdesinin %3 kireç + jips için azaldığı ve %6 ve daha fazla kireç+jips oranlarında özellikle 28 günlük ve 90 günlük kilin şişme yüzdesinin sıfıra yaklaştığı sonucu elde edilmiştir (Şekil 6.7).



Şekil 6.7 Farklı kireç ve jips oranlarında kilin şişme yüzdesinin zamana bağlı değişimi

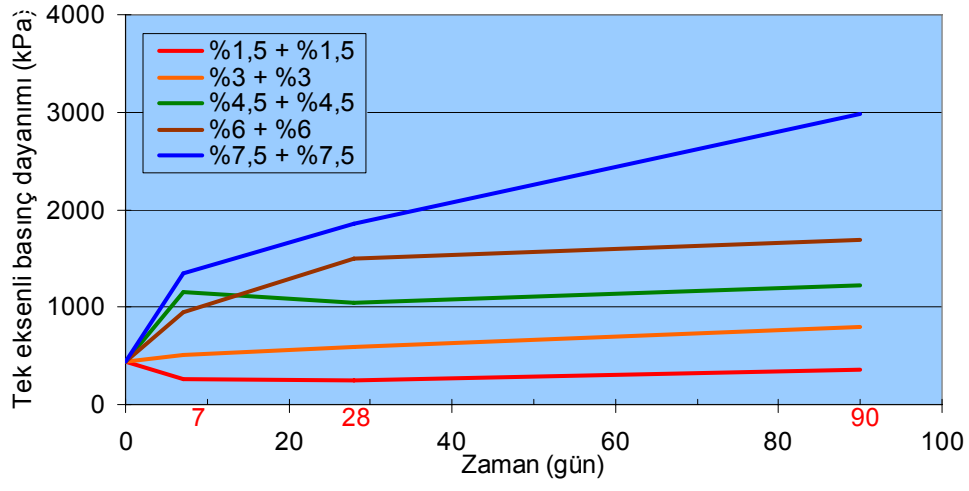
9. Yüksek plastisiteli kile kütlece %3, %6, %9, %12 ve %15 oranlarında kireç ve jips (%50- %50) katılarak yapılan iyileştirme sonucunda 7 günlük, 28 günlük

ve 90 günlük şişme basıncının kireç ve jips arttıkça azaldığı belirlenmiştir (Şekil 6.8). Kireç ve jips (%50- %50) katılarak yapılan 7 günlük, 28 günlük ve 90 günlük şişme basınçlarının sadece kireç katılarak 7 günlük, 28 günlük ve 90 günlük şişme basınçlarına göre daha yüksek olduğu gözlenmiş ve kireç içerisine jips katılması halinde iyileştirme performansının azaldığı belirlenmiştir.



Şekil 6.8 Farklı kireç ve jips oranlarında kilin şişme basıncının zamana bağlı değişimi

10. Yüksek plastisiteli kile kütlece %3, %6, %9, %12 ve %15 oranlarında kireç ve jips (%50- %50) katılarak yapılan iyileştirme sonucunda 7 günlük, 28 günlük ve 90 günlük tek eksenli basınç dayanımının %3 kireç ve jips ile iyileştirmeyi sağlamadığı, ancak kireç ve jips oranı arttıkça kilin tek eksenli basınç dayanımının giderek arttığı belirlenmiştir. Kireç ve jips ile iyileştirme kapsamında yüksek plastisiteli kilin tek eksenli basınç dayanımında en uygun karışım 90 günlük bekleme süresi için % 15 kireç oranında belirlenmiştir. Bu katkı oranı için 437,4 kPa olan kilin tek eksenli basınç dayanımı 2988,9 kPa'a kadar yükselmiştir (Şekil 6.9).



Şekil 6.9 Farklı kireç ve jips oranlarında kilin tek eksenli basınç dayanımının zamana bağlı değişimi

KAYNAKLAR

- Anonim. 1975. Uçucu Küller Standartı TSE 639
- Anonim. 2000. İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması.
- Anonim. 2006. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri – Bölüm 1: Fiziksel özelliklerin tayini
- Anonim. 2006. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri – Bölüm 1: Mekanik özelliklerin tayini
- ASTM, 2008. “American Society of Testing and Materials Standards Specification Publication” Annual book of ASTM.
- Akyürek, B. 1997. 1/100,000 ölçekli ve açınısına nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Ankara-F15 Paftası (MTA Yayını).
- Arda, Ş. 1966. Preconsolidation of Ankara clay, Master thesis in METU Civil Engineering, 56 pp.(Unpublished)
- Aytekin, M. 2004. Deneysel zemin mekaniği, Teknik yayınevi, Ankara
- Bailey, E.B. and McCallien W.J. 1950. The Ankara mélange and the Anatolian thrust. TA Mecm. no. 403 Ankara. Nature3 1663 4231, London.
- Baradan, B. 2000. Yapı malzemesi II, D.E.Ü. inşaat mühendisliği bölümü yayını, yayın no: 207, İzmir
- Bell, F. G. 1996 “Lime stabilization of Clay Minerals and Soils” Engineering Geology 42 223-237
- Birand, A. 1965. Report on Ankara Clay, METU, Eng.Fac.Pub. No.12.
- Birand, A. 1977. Swelling Problems of Ankara Clay. Inter.Conf. on Soil Mech. and Found.Eng., Tokyo.
- Birand, A. 1978. Ankara yöresi zeminleri ve jeoteknik sorunlar: Yerbilimleri açısından Ankara'nın Sorunları Sempozyumu, Türkiye Jeoloji Kurultayı yayını, 55-60.
- Birand, A. 1993. Ankara Killilerinin şişme potansiyelinin Metilen Mavisini deneyi ile tayini. Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, Vol.17 No.1, (In Turkish) Açısından Ankara'nın Sorunları Sempozyumu. Türkiye Jeoloji Kurultayı Yayını, 55-60.
- Bowles, J.E. 1984. Physical and geotechnical properties of soils, McGraw-Hill Book Company
- Calvi, S.W. and Klinsroge, H. 1940. Ankara Civarında Jeolojik geziler: I-Cenup ve cenubu Garbi. II-Garp ve Şimal. 380-400
- Calvi S. W. 1941. Ankara Civarında Jeolojik Geziler II: Garp ve Şimal. 601-619
- Chaput, E. 1931. Ankara Mıntıkasının 1/135.000 Mikyasında Jeolojik Haritasına Dair İzahat. İstanbul Darilfünun Jeoloji Enstitüsü Neşriyatı, No:7, 46 s.
- Cooper, A.H. Saunders J.M. 2002 “Road and bridge construction across gypsum karst in England” Engineering Geology 65 217-223
- Değirmenci, N. 2008 “The using of waste phosphogypsum and natural gypsum in adobe stabilization” Construction and Building Materials 22 1220-1224
- Erdoğan, T.Y. 1993, Atık Hammaddelerin İnşaat Endüstrisinde kullanımı Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı Sempozyumu, s. 1-8, Ankara.
- Ergüler, Z. A. and Ulusay, R. 2002. A simple test and predictive models for assessing swell potential of Ankara (Turkey) clay, Eng. Geo. 67, pp 331-352.

- Erol, O. 1956. Ankara güneydoğusundaki Elmadağı ve çevresinin jeoloji ve jeomorfolojisi üzerinde bir araştırma. MTA. Em, Yay., Seri D5 No, 9 Ankara.
- Erol, O. 1961. Ankara bölgesinin tektonik gelişmesi: Türkiye Jeol- Kur. Bült, 7-2, 57-58. 186
- Erol, O. 1973. Ankara şehri çevresinin jeomorfolojik ana birimleri, Ankara Üniv. Dil ve Tarih-Coğrafya Fak. Yayını no.257, 45-55
- Erol, O. 1978. Çevresel jeomorfoloji yönünden modern Ankara kentinin konumu ve gelişmesine ilişkin problemler, Yerbilimleri açısından Ankara'nın Sorunları Sempozyumu, Türkiye Jeoloji Kurultayı yayını, 27-30.
- Erol, O. Yurdakul, E. Algan, Ü. Gürel, N. Herece, E. Tekirli, E. Ünsal, Y. ve Yüksel, M. 1980. Ankara metropoliten arazi kullanım haritası, MTA Enstitüsü raporu, 99s.
- Erol, O. 1991. Ankara yöresinin jeomorfolojik gelişimi, A.Suat Erk Jeoloji Sempozyumu Bildirileri, 2-5 Eylül, 25-35 s.
- Ingles, O.G. Metcalf, J.B. 1972 "Soil Stabilization" Butterworths, Sydney
- Impe, W.F. Van 1989. "Soil Improvement Techniques and Their Evolution" A.A.Balkema Rotterdam Brookfield.
- Karol, R.H. 1960. Soils and soil engineering, New Jersey
- Kasapoğlu, K.E. 1980. Ankara Kenti Zeminlerinin Jeo-Mühendislik Özellikleri, Doçentlik tezi, H.Ü. F.B.E. , 206 s.
- Kasapoğlu, K.E. 1982. Ankara Kenti Zeminlerinin Jeo-Mühendislik Özellikleri, Yerbilimleri, 9, 19-40.
- Kasapoğlu, K.E. 2000. Ankara Kenti Zeminlerinin Jeoteknik Özellikleri ve depremselliği, TMMOB, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını, 54, 176 s.,cf Ankara Kılıç, R. ve Demirbaş E., 1989. Sincan (Ankara) Kepir gölü civarındaki Üst Pliyosen çökellerinin jeoteknik özellikleri. H.Ü. Yerbilimleri Bülteni 15, 123 -128, Ankara.
- Kılıç, R. (1990) "Zemin bileşimi ile kayma dayanımı arasındaki ilişki; üst pliyosen çökelleri (Ankara)" Jeoloji Mühendisliği 36 47-54
- Kılıç, R. Bilgehan, R. P. Ulaş, K. Uluggerli, E. ve Akça, İ. 2004. Ankara Üniversitesi, Teknopark Alanının Jeolojik, Jeofizik ve Jeoteknik incelemesi.
- Kılıç, R. Ulaş, K. Atalar, C. 2006. An engineering geological assessment of the Alluvial and Pliocene deposits in Ankara, Turkey. Engineering Geology For Tomorrow's Cities, The 10th IAEG Congress, Nottingham, UK, 6-10 September 2006, paper no:342, In DVD.
- Kiper, O.B. 1983. Etimesgut-Batıkent Yöresindeki Üst Pliyosen Çökellerinin Jeo-Mühendislik Özellikleri ve Konsolidasyonu, doktora tezi, H.Ü. F.B.E., 160s.
- Kordlaghari, M.P. Rowell, D.L. 2006 "The role of gypsum in the reactions of phosphate with soils" Geoderma 132 105-115
- Kumbasar, V. Kip, F. 1969. İnşaat mühendisliğinde zemin mekaniği, İstanbul Lee, I.K., White, W., Ingles, O.G., 1983. Geotechnical engineering, The University of New South Wales, Australia
- Molenaar, A. 2007 "Road Materials – Soil Stabilisation" CT 4850
- Önalp, A. 1982. İnşaat mühendislerine geoteknik bilgisi, Cilt II, K.T.Ü yayını, yayın no: 187, Trabzon
- Örkmez, A.1995. Ankara kili içerisinde bulunan doğal kireç yumrularının (kalker konkresyonlarının) kilin dayanım ve deformasyon özelliklerine olan etkisi, Gazi Üniv., F.B.E., 58s, Ankara.

- Özaydın, K., 1989. Zemin mekaniği, Yıldız Ü. İnşaat Müh. Böl., İstanbul
- Tschebotariıoff, G.P. 1951. Soil mechanics, foundation and earth structures, Princeton University, Tokyo
- Ulaşım K. and Kılıç R., 2009. “Liquefaction Potantial of the Quaternary Alluım at Western Ankara (Turkey)” AEG 2009 Annual Meeting Vol. 52. p.109
- Uzuner, B.A. 1998. Çözümlü problemlerle temel zemin mekaniği, Teknik yayınevi, Ankara
- Yılmaz, I. Civelekoğlu, B. 2009 “Gypsum: An additive for stabilization for swelling clay soils” Applied Clay Science 44 166-172
- Zorluer, İ. Usta M. 2003 “Zeminlerin Atık Mermer Tozu ile İyileştirilmesi” Türkiye IV Mermer Sempozyumu 2003 Bildiriler Kitabı

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Özgür KÜÇÜKALİ

Doğum Yeri : Kilis

Doğum Tarihi : 10.01.1974

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Gazi Anadolu Lisesi (1992)

Lisans : Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü (1999)

Yüksek Lisans : La Trobe University, Graduate School of Management
MBA (2002)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı (Mart, 2011)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Atatürk Üniversitesi, 2003- 2007

Devlet Su İşleri, 2007- Halen