

Kireç Katkısı ile Kil Bir Zeminin Dayanımının İyileştirilmesi

Tacettin GEÇKİL^{*1}, Talha SARICI¹, Ekrem Serdar YILDIRAN¹

¹İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya

Geliş tarihi: 26.02.2019

Kabul tarihi: 20.12.2019

Öz

Bu çalışmada kil bir zemine kireç katılmasının dayanıma etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın amacı doğrultusunda katkı malzemesi olarak kullanılan kireç, kil zemininin içine ağırlıkça farklı yüzdelerde eklenmiştir. Hazırlanan karışımlarda, kil içine kilin ağırlığının %2,5, %5, %7,5, %10, %15 ve %20 oranlarında kireç eklenmiştir. Farklı oranlarda hazırlanan numuneler homojen olarak karıştırıldıktan sonra kıvam limitleri, kompaksiyon, serbest basınç ve Kaliforniya taşıma gücü oranı (CBR) deneyleri uygulanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda, karışımdaki kireç artışına bağlı olarak numunelerin plastisite indeksi ve maksimum kuru yoğunluğu azalmış, optimum su muhtevası artmıştır. Ayrıca, 7 ve 28 günlük kür sürelerine tabi tutulan numuneler içerisinde en yüksek serbest basınç mukavemeti değeri %5 kireç oranında elde edilmiştir. Bu oranda yine aynı kür sürelerine tabi tutulan numunelerin CBR değerleri saf kil zemine göre sırasıyla 1,37 ve 2,08 kat yüksek sonuç vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kil zemin, Kireç, Katkı, Zemin stabilizasyonu, CBR

Improving the Strength of a Clay Soil with Lime Additive

Abstract

In this study, the effect of adding lime to clay soil on strength was investigated. For the purpose of the study, lime, which is used as an additive, was added to the clay soil in different percentages by weight. In the prepared mixtures, lime was added in 2.5%, 5%, 7.5%, 10%, 15% and 20% of the weight of clay. The samples prepared in different proportions were homogeneously mixed, and then compaction, unconfined compression and California bearing ratio (CBR) tests were performed. As a result of experimental studies, as the lime content in the mixture increased, the plasticity index and maximum dry density decreased while the optimum water content increased. In addition, the highest unconfined compressive strength value of the samples cured for 7 and 28 days was obtained at the rate of 5% lime. For this additive ratio, the CBR values of the samples cured at the same time were 1.37 and 2.08 times higher than the additive-free clay soil, respectively.

Keywords: Clay soil, Lime, Additive, Soil stabilization, CBR

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Tacettin GEÇKİL, tacettin.geckil@inonu.edu.tr

1. GİRİŞ

Yol ve diğer bütün inşaat alanlarında karşılaşılan zeminlerin her daim istenilen özelliklere haiz olmadığı kaçınılmaz bir gerçektir. Bu gibi durumlarla karşılaşan inşaat mühendisi, ya arazideki zemin özelliklerinin ortaya çıkardığı kısıtlamaları olduğu gibi kabul edecek ya da kendi tasarımındaki sınır değerleri sağlayacak şekilde zeminin özelliklerini iyileştirmek isteyecektir. Zemin iyileştirilmesi ya da stabilize edilmesi ise dayanımı az olan zemin yapısının, mekanik, fiziksel ve kimyasal iyileştirme yöntemleri ile dayanımının yükseltilecek dışardan gelecek kuvvetlere maruz kalmasına rağmen dayanıklılığını koruması ve sürdürmesi durumu olarak tanımlanabilir. Bu işlem, zemindeki boşluk oranının azaltılması, zeminde bulunan suyun zeminden uzaklaştırılması veya zemine donatılar yerleştirilmesi ile yapılabilir [1].

Arazide karşılaşılan bir zeminin özelliklerinin, detaylı bir şekilde belirlenmesi işlemi, bir inşaat projesinde izlenebilecek ilk adım olarak ifade edilebilir. Zeminin özellikleri yapılacak proje ile uyumuyor ve proje sahasının değiştirilmesi mümkün değilse zemin mekaniği, hem zeminlerin mühendislik davranışını geliştirici hem de zemini iyileştirme yönünde uygulayıcıya yol göstermektedir. Sunulan bu yolların tümü, zemin iyileştirme yöntemleri başlığı altında toplanabilir. Literatür incelendiğinde birçok zemin iyileştirme yönteminin olduğu görülmektedir. Zemine katkı maddesi ilave ederek, zemini stabilize etmekte bu yöntemlerden biridir [2].

Zemin stabilizasyonunda farklı birçok yöntem bulunmasına rağmen, bunlardan en kolay ve en pratik olanı zemine katkı maddesi katarak, zeminde iyileştirme sağlamaktır. Çimento, kireç, bitüm, uçucu kül vs. zemin stabilizasyonun da kullanılan katkı maddelerinden bazılarıdır. Kullanılan bu katkı maddelerinin kolay ulaşılabilirliği ve ekonomik olması, zemin stabilizasyonunda katkı maddesi kullanmayı bir adım daha öne taşımıştır. Ayrıca katkı maddesi kullanarak zemini ıslah etmek, diğer yöntemlere göre biraz daha az çaba ve gayret gerektirmekle birlikte ekonomiklik sağlamaktadır. Çünkü kaliteli

bir yapıda aranacak başlıca özelliklerden bir tanesi de ekonomiktir. Ekonomiklik kavramından uzak kalan yapılar hem tasarım hem de mühendislik açısından tam not alamayacaktır.

Katkı maddesi ilavesiyle yapılacak olan iyileştirmede, zeminin mekanik özelliklerindeki iyileştirmenin güvenilir, ekonomik ve elde etmesi kolay yani doğal bir malzemeyle yapılması ilke edinilmelidir. Yapı temellerinde, su yapılarında ve ulaştırma yapılarında uygulanan bu işlemde kullanılan katkıların başlıcaları uçucu kül, lignin, kireç, çimento, bitüm, klorit, melas ve diğer benzeri kimyasal bileşikler sayılabilir [3-5].

Zemin stabilizasyonunda asıl hedefler, zeminin plastisitesini azaltmak, geçirgenlik seviyesini ve sıkışabilirliğini en uygun hale getirmek ve mukavemetini maksimum seviyeye çıkarmaktır. Bu sayede zemin danelerinin arasındaki bağlar güçlendirilmektedir. Kireç katılarak stabilize edilen zemin tabakasının, likit limit ve plastik limit değerlerine bağlı olarak plastisite indisinde artış veya azalma olduğu, çimento katılarak stabilize edilen zeminin, iri danelerinin arasındaki boşlukların dolmasına bağlı olarak, zeminin dayanımında artış sağlandığı, uçucu kül katılan zeminin, plastisite indeksinin düşmesine bağlı olarak yine zemin dayanımında artış meydana geldiği bilinmektedir [6-8].

Bu çalışmada, bir yapının ve özellikle bir yol üstyapısının üzerine oturduğu elverişsiz killi bir zeminin kireç ile stabilize edilerek dayanımının artırılması amaçlanmıştır.

İnşaat mühendisliğinin birçok alanında kullanılan kireç, su ile reaksiyona girdiğinde ilk başlarda plastik özellik gösterip daha sonra gittikçe sertleşip taşlaşan anorganik bir bileşiktir. Yapı olarak kalker (CaCO_3) ve dolomitten ($\text{CaCO}_3+\text{MgCO}_3$) meydana gelen kirecin üretimine etki eden faktörlerden bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Üretim sırasında kullanılan kalker ve dolomitin saflık derecesi.
2. Üretim sırasında kullanılan yakıtın çeşidi ve cinsi.
3. Üretim sırasında kullanılan kalker ve dolomitin boyutu.

4. Üretim sırasında kullanılan fırın çeşidi üretime etki eden faktörlerdendir [1].

Kireç stabilizasyonu; zemindeki düşük dayanımı artırmak, zeminin şişme potansiyelini azaltmak ve daha işlenebilir bir ortama dönüşmesini sağlamak amacıyla genellikle karayolu projelerinde uygulanmaktadır. Kireç ile iyileştirilmiş zeminde, puzolanik reaksiyonlar, kilin flokülasyonu ve katyon değişimi gibi mekanizmalar görülebilir. Katyon değişimi ve kilin flokülasyonu genellikle hızlı olur. Ayrıca, bu iki mekanizma, yük deformasyon davranışı, kürsüz dayanım, işlenebilirlik ve şişme gibi özelliklerin aniden değişmesine neden olabilir [9]. Puzolanik veya bağlayıcı reaksiyon ise zamanla gerçekleşir. Yapı bütünlüğü, aglomerasyon sonucunda artar. Bu da zeminin ilave su tutma potansiyelini düşürebilir. [10].

Genellikle, kohezyonlu zeminler; kireç kullanımı ile daha düşük plastisiteye sahip olmaktadır. Kireçle karıştırılmış zeminde dayanım karakteristikleri (veya zemin-kireç reaksiyonu) kullanılan kirecin özelliklerine, uygulanan zeminin cinsine, zemine katılan kireç yüzdesine, kireç-zemin karışımının kür süresine ve kür koşullarına bağlıdır [11].

Türköz [12], şişme potansiyeli yüksek olan meşelik killerin kireç ile stabilizasyonunu araştırmıştır. Çalışmasında sönmüş kireç katkısı ile şişme yüzdesi ilişkisini, zamana bağlı şişme yüzdesinin değişimini ve şişme yüzdesi ile nihai su içeriği değişimini araştırmıştır. Farklı üç yerden aldığı, standart ve modifiye proktor deneylerindeki sıkıştırma enerjisi ile hazırladığı ve dört farklı sönmüş kireç katkısı (%0-5) ile 88 ayrı numune hazırlamıştır. Hazırladığı numuneler üzerinde ödometre deney cihazı ile serbest şişme yüzdesi deneyleri yapmıştır. Sonuç olarak, killerin şişme potansiyelinin azaltılmasında sönmüş kirecin uygun olduğunu, eklenen katkının etkisini %3 seviyesinden sonra gördüklerini ve yüksek sıkıştırma enerjisinde nispi olarak daha yüksek etki olduğunu belirtmiştir.

Soğancı ve Yıldız [13], yüksek ve düşük plastisiteli iki farklı kil zeminine kireç ekleyerek

mukavemet değerlerindeki değişimleri araştırmışlardır. Çalışmaları sonucunda, yüksek plastisiteli kilin serbest basınç mukavemeti değerinin 28 gün kür sonucunda 15 kat arttığını, düşük plastisiteli kilde ise mukavemetinin 28 gün kür sonunda 3 kat arttığını belirtmişlerdir.

Bağrıaçık [14] yaptığı çalışmada, düşük CBR değerlerine sahip zeminin kireçle stabilizasyonu sonucunda elde edilen iyileşme durumlarını belirlemiştir. Su muhtevasının etkisini belirleyebilmek için 4 farklı su içeriğinde (hacimce %5-20) zemin numuneleri hazırlamış ve bu numuneler üzerinde CBR deneyleri gerçekleştirmiştir. Ek olarak, optimum kireç katkısı miktarını belirleyebilmek amacıyla 4 farklı oranda (hacimce %3-6) kireç eklediği kireç-zemin karışımları hazırlayarak bu numuneler üzerinde de CBR deneyleri gerçekleştirmiştir. Çalışma sonunda, karayollarında alt temel zeminini olarak kullanılabilir zemin örneği için optimum su muhtevasını %10 bulurken iyileştirme için kullandığı kireç katkısının optimum oranını ise hacimce %5 olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, deney verileri ile yüksek korelasyon katsayılı ($R^2=0.99$) bir denklem üretmiş ve bu denklem ile CBR değerlerinin belirlenebileceğini belirtmiştir.

Kavak ve arkadaşları [15], kireç katkısı ile iyileştirmenin gerçek bir yol üzerindeki etkinliği üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalarını KISAD (Kireç Sanayicileri Derneği) ile KGM'nin (Karayolları Genel Müdürlüğü) yaptığı protokol ile gerçekleştirmişlerdir. Çalışacakları arazinin kireç katkısı ile iyileştirmeye uygun olup olmadığını bazı zemin mekaniği deneyleri ile belirlemişlerdir. Bölünmüş yolun yeni yapılmakta olan kısmında arazi çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında taşıma gücü düşük zemin numunesine (ariyet ocağı malzemesi) %2 oran kireç ilave ederek zeminin özelliklerini iyileştirmeye çalışmışlardır. Laboratuvarında yaptıkları ıslak CBR deneylerinde kireç katkısı olmadan (doğal durumda) %6 olan CBR değerinin %2 kireç ilave edildiğinde %80 civarında değerlere ulaştığını görmüşlerdir. Arazi ortamında, kireç katkısı ile iyileştirmeyi, 2 tabaka halinde (20'şer cm'lik) toplam 40cm'lik kalınlıkta uygulamışlardır. Bu arazi ortamında, arzu ettikleri

sıkışma değerlerine ulaştıktan sonra plaka yükleme deneyleri gerçekleştirilmişlerdir. Plaka yükleme deneyleri sonunda, %2 kireç katkısıyla, 0,98 MPa gerilmeye, oturma değerinin 4,1 mm'den 1,7 mm'ye, kalıcı oturma değerinin ise 2,8 mm'den 1,0 mm'ye düştüğünü belirtmişlerdir.

Okyay ve Dias [16], özellikleri iyileştirilmiş zeminlerin, mekanik özelliklerini belirleyebilmek için laboratuvar deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Kür süresinin, kireç ile yapılan stabilizasyon çalışmalarında çok önemli olduğunu ve iyileştirme etkisinin uzun süreli olduğunu belirtmişlerdir. Fakat çimento ile stabilizasyonun reaksiyon süresinin çok daha çabuk olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca iyileştirmesi yapılan zeminlerin mekanik özelliklerinin, zeminin içindeki atık katkı oranından büyük oranda etkilendiğini bildirmişlerdir.

Öztürk ve arkadaşları [17], yaptıkları çalışmada, killerin şişme potansiyelini ve bu potansiyele kireç katkısının etkisini araştırmışlardır. İnceledikleri arazide ortamında, lokal olarak yüksek şişme potansiyeline sahip killerin bulunduğunu belirtmişlerdir. Şişme potansiyeli yüksek olan yüksek plastisiteli kilin (CH) şişme yüzdesinin %3,5-9,0 olduğunu, şişme basınçlarının ise 65-250 kPa aralıklarında değiştiği belirtmişlerdir. Çalıştıkları arazide ortamında bulunan düşük plastisiteli kilin (CL) ise şişme yüzdesinin %0,5-1,6 olduğunu, şişme basınçlarının 6-11 kPa arasında olduğunu belirtmişlerdir. CH sınıfındaki kil zeminine 5 farklı oranda (ağırlıkça %1-9) kireç ekleyerek hem şişme basıncındaki hem de şişme yüzdesindeki değişimleri incelemişlerdir CH sınıfındaki kil zeminine %5 veya daha fazla oranda kireç eklendiğinde, şişme yüzdesinin ve şişme basıncının sırası ile %91 ve %73 oranlarında azaldığını vurgulamışlardır.

Bu çalışmada killi bir zemine kireç katılmasının, kil zemininin dayanımını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Çalışmanın amacı doğrultusunda katkı malzemesi olarak kullanılan kireç, kil zemininin içine ağırlıkça farklı yüzdelere eklenmiştir. Hazırlanan karışımlarda, kil içine kilin ağırlığının %2,5, %5, %7,5, %10, %15 ve %20 oranlarında kireç eklenmiştir. Farklı oranlarda

hazırlanan numuneler homojen olarak karıştırıldıktan sonra kıvam limitleri, kompaksiyon, serbest basınç ve CBR deneyleri uygulanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Deneyisel çalışmalar İnönü Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde bulunan mevcut laboratuvar cihazları ile gerçekleştirilmiştir.

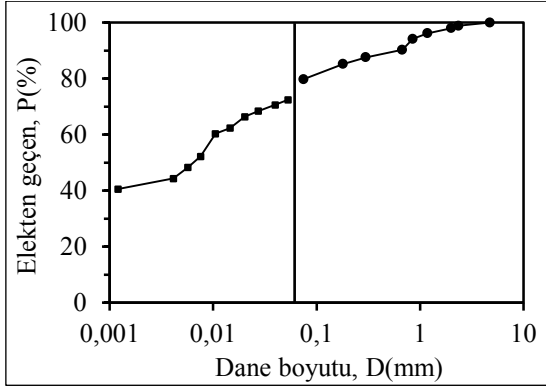
Deneylerde kullanılan kil zemininin piknometre, standart proktor ve kıvam limitleri testleri, TS 1900-1 [18] standardına göre belirlenmiş ve deneylerinden elde edilen mühendislik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Kil zemininin elek analizi ve hidrometre deneylerinden elde edilen granülometri eğrisi Şekil 1'de gösterilmiştir. Kil numunesi araziden getirilmiş, kurutulmuş, parçalanmış ve istenilen su içeriğinde karıştırılarak deneye hazır hale getirilmiştir.

Stabilizasyon için kullanılan sönmüş kireç ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), toz halinde torbalar içinde getirilmiştir. Stabilizasyon için kullanılan sönmüş kirecin içinde toplam CaO ve MgO oranı yaklaşık %80'dir. Sönmüş kirecin dane birim hacim ağırlığı ise $23,35 \text{ kN/m}^3$ olarak bulunmuştur.

Çizelge 1. Kil zemininin özellikleri

Parametre	Simge	Birim	Değer
Dane birim hacim ağırlığı	γ_s	kN/m^3	26,80
Maksimum kuru birim hacim ağırlığı	γ_{kmax}	kN/m^3	14,50
Optimum su içeriği	ω_{opt}	%	27
Likit limit	-	%	61
Plastik limit	-	%	29
Plastisite indeksi	PI	-	32
Sınıflandırma	-	-	CH



Şekil 1. Kil zeminine ait gradasyon eğrisi

2.2. Metot

Deneyel çalışmalar için laboratuvarında önceden belirlenmiş oranlarda karışımlar hazırlanmıştır. Karışımlar hazırlanmadan önceden kil zemini ve kireç, 24 saat boyunca 105 ± 5 °C'lik etüvde kurutulmuştur. Kurutulan malzemeler hassas terazide ağırlıkça yüzdelerinde tartılmıştır. Öncelikle katkısız saf kil hazırlanmış, daha sonra kil zemini içerisine literatürde yapılmış olan çalışmalar dikkat alınarak [19, 20] ağırlıkça %2,5, %5, %7,5, %10, %15 ve %20 oranlarında kireç katkıları katılarak stabilize karışımlar hazırlanmıştır.

Çalışmada, saf kil ve stabilize edilmiş karışımlar sırasıyla KL, %2,5KR, %5KR, %7,5KR, %10KR, %15KR ve %20KR olarak isimlendirilmiştir.

Hazırlanan karışımlar üzerinde likit limit ve plastik limit deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tüm oranlarda hazırlanan karışımlar 7 günlük kür süresinin ardından likit limit ve plastik limit deneylerine tabi tutulmuşlardır. Ancak, hazırlanan karışımlar 28 günlük kür süresine tabi tutulduktan sonra, bünyelerinde oluşan sertleşmeden dolayı, 28 günlük kür sürelerine sahip numunelerin likit limit ve plastik limit deneyleri gerçekleştirilememiştir. Likit limit ve plastik limit deneyleri TS 1900-1'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Daha sonra, hazırlanan karışımlar üzerinde standart proktor, serbest basınç ve CBR deneyleri yapılmıştır.

Zeminlerin taşıma gücünü artırmak, geçirimsizliği ve çeşitli yükler altında meydana gelebilecek oturmaları azaltmak için, zeminlerin tabakalar halinde serilerek herhangi bir sıkıştırma yöntemiyle su ve tane hacmi sabit iken havanın dışarı çıkartılıp zemin tanelerinin yakınlaştırılması olayına kompaksiyon denir. Sıkıştırılmış bir zeminde, kompaksiyon derecesi o zemine ait kuru yoğunluk (ρ_k) ile ölçülür. ρ_k ne kadar büyükse, zemin o kadar iyi sıkıştırılmış demektir. ρ_k 'nın maksimum olduğu durumdaki su içeriğine optimum su içeriği (w_{opt}) denir [21]. Kompaksiyon (standart proktor) deneyinde her bir karışım için numuneler hazırlanmış ve belli ölçülerde su ilave edilmiştir. Daha sonra TS 1900-1'e uygun olarak katkısız saf zemin ve tüm karışımlar üzerinde standart proktor deneyleri gerçekleştirilmiştir. Standart proktor deneylerinden elde edilen ρ_{kmax} ve w_{opt} değerleri kullanılarak tek eksenli serbest basınç ve CBR deneylerine ait numuneler hazırlanmıştır.

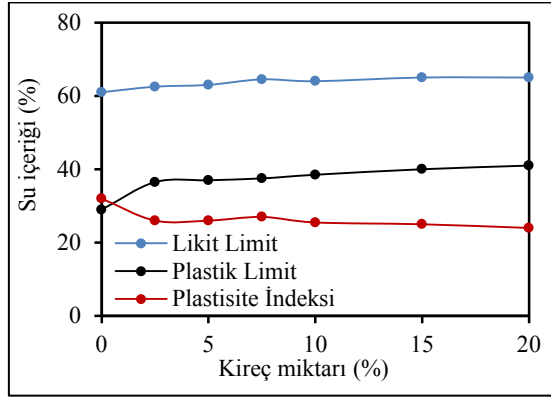
TS 1900-2'e göre [22] tek eksenli serbest basınç deneyi, kohezyonlu zeminlerin kayma direncinin bulunmasında kullanılan bir deneydir. Deney sonucunda elde edilen Mohr dairesinden zemine ait kayma direnci (görünür kohezyon) hesaplanabilir. Katkısız saf ve tüm karışımlar için 7 günlük ve 28 günlük küre bırakılmış numuneler hazırlanmış ve tüm numuneler için tek eksenli serbest basınç deneyleri yapılarak drenajsız kayma mukavemetleri ve kohezyon değerleri belirlenmiştir. Her bir karışım için 3 adet numune hazırlanmış ve 3'ünün ortalaması alınarak sonuçlar sunulmuştur.

TS 1900-2'e göre [22] CBR deneyi, en kesit alanı 1935 mm^2 olan bir pistonun belirli bir hızda (1,2 mm/dk) zemine doğru ilerlemesiyle yapılır. Deney sırasında elde edilen yük-oturma değerleri kullanılarak taşıma oranı belirlenir. Taşıma oranı değeri, belirli bir oturmaya (2,5 mm ve 5 mm) sağlayan yükün, aynı oturmaya standart eğri üzerinde sağlayan yüke yüzde olarak oranıdır. Taşıma oranı değeri hem 2,5 mm'lik hem de 5,0 mm'lik oturma değerlerine karşılık gelen yükler için hesaplanması gerekir. Bu iki değerden yüksek olanı zeminin taşıma oranı değeri olarak kabul edilir. Standard yük, 2,5 mm oturma için

13,2 kN, 5,0 mm oturma için ise 20 kN olarak alınır. Katkısız saf ve optimum karışım için 7 günlük ve 28 günlük küre bırakılmış numuneler hazırlanmış ve CBR deneyi yapılarak taşıma oranı değerleri belirlenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Katkısız saf kil ve tüm oranlarda hazırlanan karışımlar (%2,5, %5, %7,5, %10, %15 ve %20), 7 günlük kür süresinin ardından likit limit ve plastik limit deneylerine tabi tutulmuşlardır. 7 günlük kür süresinin ardından yapılan bu deneylerin sonuçları Şekil 2’de görülmektedir.

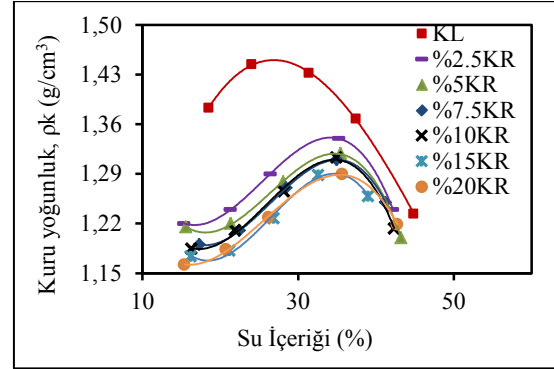


Şekil 2. 7 günlük kür ardından farklı karışımlar için yapılan kıvam limitleri deneyleri

Şekil 2’de görüldüğü gibi, likit limitte az olmakla birlikte bir artış görülmektedir. Plastik limitteki artış daha fazla olduğu için bu değişimlerin sonucu olarak plastisite indeksi azalmıştır. Plastisite indeksini azalması zeminin suya karşı hassasiyetinin azaldığını gösteren bir parametre olarak kabul edilir. Ayrıca plastisite indeksindeki düşüşe bağlı olarak zeminin işlenebilirliğinin artacağı düşünülmektedir.

Standart proktor deneylerinde katkısız saf kil ve her bir karışım için (%2,5, %5, %7,5, %10, %15 ve %20) numuneler hazırlanmış ve belli ölçülerde su ilave edilmiştir. Daha sonra TS 1900-1’e uygun olarak katkısız saf zemin ve tüm karışımlar üzerinde standart proktor deneyleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen standart

proktor deneylerine ait kuru yoğunluk-su içeriği grafiği Şekil 3’de görüldüğü gibidir.

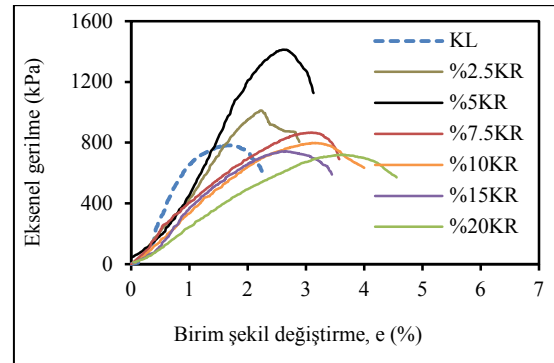


Şekil 3. Tüm numuneler için kuru yoğunluk-su içeriği grafikleri

Şekil 3’de de görüldüğü gibi kireç miktarı arttıkça, optimum su içeriği artmakta, maksimum kuru yoğunluk ise azalmaktadır.

Standart proktor deneylerinden elde edilen ρ_{kmax} ve w_{opt} değerleri kullanılarak tek eksenli serbest basınç ve CBR deneylerine ait numuneler standartlara uygun bir şekilde hazırlanmıştır.

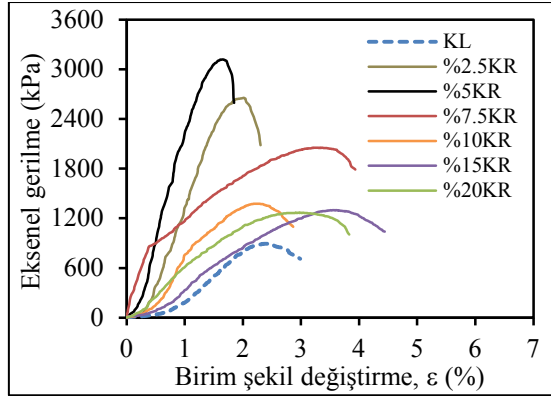
Şekil 4’de, 7 günlük kür süresi sonunda katkısız saf kil ve tüm karışımlar için yapılmış serbest basınç deneylerine ait gerilme şekil değiştirme grafikleri görülmektedir. Her bir karışım için 3’er adet numune hazırlanıp deneye tabi tutulmuş ve 3’ünün ortalama değeri grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 4. 7 günlük kür süresi sonunda tüm numuneler için serbest basınç deneyi sonuçları

Şekil 4’de görüldüğü üzere %5 kireç katkısı ile hazırlanmış kil en yüksek serbest basınç mukavemetine (q_u) sahiptir. 7 günlük kür sonunda %5 kireç katkısı kilin serbest basınç mukavemetini 1,81 kat artırmıştır. Ancak, %15 ve %20 oranlarındaki karışımların serbest basınç mukavemeti değerleri, katkısız saf kilden daha düşük elde edilmiştir.

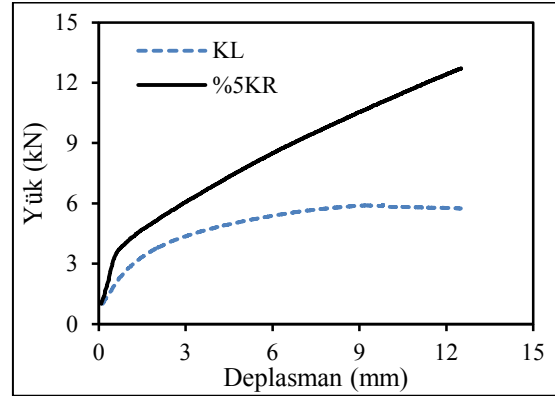
28 günlük kür süresi sonunda katkısız saf kil ve tüm karışımlar için yapılmış serbest basınç deneylerine ait gerilme şekil değiştirme grafikleri Şekil 5’de verilmiştir. Her bir karışım için 3’er adet numune hazırlanıp deneye tabi tutulmuş ve 3’ünün ortalama değeri grafik olarak sunulmuştur. %5 kireç katkısı ile hazırlanmış kilin en yüksek serbest basınç mukavemetine (q_u) sahip olduğu görülmüştür. 28 günlük kür sonunda %5 kireç katkısı kilin serbest basınç mukavemetini 3,02 kat artırmıştır. 28 kür süresi sonunda tüm karışımların katkısız saf kilden daha yüksek serbest basınç mukavemetine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, kil zemininin de 28 gün kür süresi sonunda dayanımının bir miktar arttığı gözlenmiştir.



Şekil 5. 28 günlük kür süresi sonunda tüm numuneler için serbest basınç deneyi sonuçları

Serbest basınç deneylerinden optimum katkı oranı %5 olarak belirlendikten sonra katkısız saf kil ve %5 kireç katkılı kil üzerinde CBR deneyleri yapılmıştır. Hem katkısız saf kil hem de %5 kireç katkılı kil için 2’şer adet CBR deney numunesi hazırlanmıştır. Daha sonra bu deney numuneleri 7 ve 28 gün kür edilerek deneye tabi tutulmuştur.

Şekil 6’da, 7 günlük kür süresi sonunda katkısız saf kil ve %5 kireç katkılı kil için yapılmış CBR deneylerine ait yük-deplasman grafikleri görülmektedir.

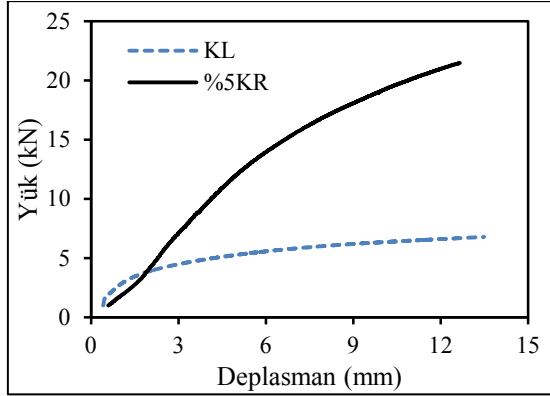


Şekil 6. 7 günlük kür süresi sonunda CBR deneyi sırasında el edilen yük-deplasman davranışı

Şekil 6’da açıkça görüldüğü üzere %5 kireç katkısı ile hazırlanmış kilin taşıma gücü oranı daha yüksektir. 7 günlük kür sonunda kil zemininin 2,5 ve 5 mm’lik deplasmanlara karşılık gelen düzeltilmiş CBR değerleri sırasıyla %31,2 ve %25,6’dır. 7 günlük kür sonunda %5 kireç katkılı kil zemininin 2,5 ve 5 mm’lik deplasmanlara karşılık gelen düzeltilmiş CBR değerleri sırasıyla %42,7 ve %38,7’dir. 7 günlük kür sonunda %5 kireç katkısı kilin CBR değerini 1,37 kat artırmıştır.

Şekil 7’de, 28 günlük kür süresi sonunda katkısız saf kil ve %5 kireç katkılı kil için yapılmış CBR deneylerine ait yük-deplasman grafikleri görülmektedir.

Şekil 7’de görüldüğü gibi, %5 kireç katkısı ile hazırlanmış kilin taşıma gücü oranı daha yüksektir. 28 günlük kür sonunda kil zemininin 2,5 ve 5 mm’lik deplasmanlara karşılık gelen düzeltilmiş CBR değerleri sırasıyla %32,0 ve %26,4’dır. 7 günlük kür sonunda %5 kireç katkılı kil zemininin 2,5 ve 5 mm’lik deplasmanlara karşılık gelen düzeltilmiş CBR değerleri sırasıyla %57,1 ve %66,7’dir. 7 günlük kür sonunda %5 kireç katkısı kilin CBR değerini 2,08 kat artırmıştır.



Şekil 7. 28 günlük kür süresi sonunda CBR deneyi sırasında el edilen yük-deplasman davranışı

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, killi bir zemine kireç katılmasının, kil zemininin dayanımını nasıl etkilediği araştırılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Kil zemin içindeki kireç miktarı arttıkça likit limitte, az olmakla birlikte bir artış görülmektedir. Plastik limitteki artış daha fazla olduğu için bu değişimlerin sonucu olarak plastisite indeksi azalmıştır. Bu azalma zeminin suya hassasiyetinin azaldığını göstermektedir. Ayrıca, plastisite indeksindeki düşüşe bağlı olarak zeminin işlenebilirliğinin artacağı düşünülmektedir.

2. Kil zemin içindeki kireç miktarı arttıkça, optimum su içeriği artmakta, maksimum kuru yoğunluk ise azalmaktadır.

3. Hem 7 hem de 28 günlük kür süresinden sonra yapılan serbest basınç deneylerinden, %5 kireç katkısı ile hazırlanmış kilin en yüksek serbest basınç mukavemetine (q_u) sahip olduğu görülmüştür. 7 günlük kür sonunda %5 kireç katkısı kilin serbest basınç mukavemetini 1,81 kat artırmıştır. Ancak, %15 ve %20 oranlarındaki karışımların serbest basınç mukavemeti değerleri, katkısız saf kilden daha düşüktür. 28 günlük kür sonunda %5 kireç katkısı kilin serbest basınç

mukavemetini 3,02 kat artırmıştır. 28 kür süresi sonunda tüm karışımların katkısız saf kilden daha yüksek serbest basınç mukavemetine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, kil zemininin de 28 gün kür süresi sonunda dayanımın bir miktar arttığı gözlenmiştir.

4. Serbest basınç deneylerinden optimum katkı oranı %5 olarak belirlendikten sonra katkısız saf kil ve %5 kireç katkılı kil üzerinde CBR deneyleri yapılmıştır. 7 günlük kür sonunda kil zemininin 2,5 ve 5 mm'lik deplasmanlara karşılık gelen düzeltilmiş CBR değerleri sırasıyla %31,2 ve %25,6'dır. 7 günlük kür sonunda %5 kireç katkılı kil zemininin 2,5 ve 5 mm'lik deplasmanlara karşılık gelen düzeltilmiş CBR değerleri sırasıyla %42,7 ve %38,7'dir. 7 günlük kür sonunda %5 kireç katkısı kilin CBR değerini 1,37 kat artırmıştır. 28 günlük kür sonunda kil zemininin 2,5 ve 5 mm'lik deplasmanlara karşılık gelen düzeltilmiş CBR değerleri sırasıyla %32,0 ve %26,4'dir. 28 günlük kür sonunda %5 kireç katkılı kil zemininin 2,5 ve 5 mm'lik deplasmanlara karşılık gelen düzeltilmiş CBR değerleri sırasıyla %57,1 ve %66,7'dir. 28 günlük kür sonunda %5 kireç katkısı kilin CBR değerini 2,08 kat artırmıştır.

Bu sonuçlara göre, kireç ile stabilize edilmiş kil bir zeminin dayanımının ciddi bir oranda arttığı ve suya karşı hassasiyetinin düştüğü görülmektedir. Bu durumda, kireç ile stabilize edilmiş bir yol zemininin, yol üstyapı kalınlıklarının azalmasını sağlayarak yapım maliyetini düşüreceği ve ayrıca zeminden kaynaklı yol bozulmalarını azaltarak bakım-onarım giderlerini azaltabileceği ifade edilebilir.

6. KAYNAKLAR

1. Çakılcıoğlu, İ., 2007. Yüksek Plastisiteli Killerin Stabilizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 84s.
2. Kılıç, G., 2008. Çimento İle Zemin Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 102s.

3. Hausman, MR., 1990. Engineering Principles of Ground Modification International Edition, 321-335, New York: McGraw-Hill.
4. Mitchell, J.K., 1981. Soil Improvement-state of the Art Report. In Proc., 11th Int. Conf. on SMFE, 4, 509-565.
5. Van Impe, W.F., 1989. Soil Improvement Techniques and their Evolution. Aa Balkema Rotterdam, 124.
6. Kavak, A., 1996. The Behavior of Lime Stabilized Clays Under Cyclic Loading, Boğaziçi Üniveritesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 167.
7. Erşan, H., 1996. Uçucu Küllerin Siltli Zeminlerin Kayma Mukavemeti Üzerine Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 75.
8. Savran, K.Z., 1988. Stabilization of Cohesive Soils with Fly Ash, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 62.
9. Bell, F.G., 1988. Stabilization and Treatment of Clayey Soils with Lime, Part 1-Basic Principles, Ground Engineering, 21(1), 10-15.
10. Nelson, J.D., Miller, J.D., 1992. Expansive Soils-Problems and Practice in Foundation and Pavement Engineering, J.Willey and Sons, New York.
11. Lambe, T.W., 1962. Soil Stabilization, Chapter Four of Foundation Engineering, G.A. Leonards (ed), McGraw-Hill, New York.
12. Türköz, M., 2006. Şişen Killerin Kireç Katkısı ile Stabilizasyonu ve Eskişehir-Meşelik Killerine Uygulanması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19 (2), 75-88.
13. Soğancı, A.S., Yıldız, M. 2011. Tekrarlı Donma ve Çözülmenin Kireç ile Stabilize Edilmiş Kil Zeminlerin Mukavemet ve Permeabilitesine Etkisi, Selçuk-Teknik Dergisi, 10(3), 259-270.
14. Bağrıaçık, B., 2017. Ulaşım Yapıları Temel/Alt Temel Zeminlerinin Kireçle Stabilizasyonu. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(1), 39-48.
15. Kavak, A., Güngör, A. G., Avşar, C., Yöner, G., Tokgöz, M., Akyarlı, A., 2009. Kil Oranı Yüksek Bir Dolgu Malzemesinin Kireç ile Stabilizasyonu. 14. Ulusal Kil Sempozyumu, 1-3 Ekim 2009, KTÜ, Trabzon-Türkiye, 1-13.
16. Okyay, U.S., Dias, D., 2010. Use of Lime and Cement Treated Soils as Pile Supported Load Transfer Platform. Engineering Geology, 114(1-2), 34-44.
17. Öztürk, Y.Z., Ünsal, N., Akbaş, S.O., 2015. Gölbaşı (Ankara) Yerleşim Alanını Killerinin Şişme ve Kireç ile İyileştirilme Potansiyellerinin Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(2), 309-318.
18. TS 1900-1, 2006. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri-Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
19. Sharma, L.K., Sirdesai, N.N., Sharma, K.M., Singh, T.N., 2018. Experimental Study to Examine the Independent Roles of Lime and Cement on the Stabilization of a Mountain Soil: A Comparative Study. Applied Clay Science, 152, 183-195.
20. Athipathy, M., Aarathi, R., Surendran, A., Karthika, J., Kumar, P.S., 2019. Stabilization of Clay Soil using Secondary Lime and Rubber tyre Powder. International Research Journal of Engineering and Technology. 6(3), 4398-4402.
21. Bilge, T., 2011. Yüksek Fırın Cürufu Katkısının Kil Zeminlerin Stabilizasyonuna Etkisinin Araştırılması, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir, 107.
22. TS 1900-2, 2006. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri-Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

