

Ulaşım Yapıları Temel/Alt Temel Zeminlerinin Kireçle Stabilizasyonu

Baki BAĞRIAÇIK*¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 04.01.2017

Kabul tarihi: 14.03.2017

Öz

Zemin stabilizasyon yöntemleri, geoteknik ve ulaşım anabilim dallarında önem kazanmaktadır. Karayolları güzergahlarının, temel/alt temel zeminleri bazı durumlarda taşıt yüklerini taşıyamayacak değerlerde olabilmektedir. Bu yüzden, bu temel/alt temel zeminlerinin, ya tamamen kaldırılıp yerine yeterli taşıma gücüne sahip temel/alt temel zemini yerleştirilmekte ya da çeşitli zemin stabilizasyon yöntemlerinden biri ile mevcut zemin yeterli taşıma gücüne ulaştırılmaktadır. Kireç, uçucu kül ve lastik parçacıkları gibi katkı malzemeleri ile temel ya da alt temel zeminlerinin taşıma güçlerinin iyileştirilmesi son yıllarda önem kazanan zemin stabilizasyon yöntemlerinden biridir. Çalışmada, karayollarında temel/alt temel zemini olarak, CBR değerlerinin düşüklüğü nedeniyle kullanılamayacağı belirlenen zeminlerin, optimum su içeriğinde kireçle stabilizasyonu sonucunda elde edilen iyileşme durumlarını belirleyebilmek amacıyla laboratuvar ortamında kapsamlı bir çalışma yapılmıştır. Temel/alt temel zemininin stabilizasyonunda su içeriğinin etkisini belirleyebilmek amacıyla hacimce %5, %10, %15 ve %20 su içeriklerindeki zemin numuneleri hazırlanmış ve CBR deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, farklı kireç oranları ile temel/alt temel zemininin stabilizasyonunda optimum değerleri belirleyebilmek amacıyla hacimce %3, %4, %5 ve %6 oranlarında kireç karışımları yapılarak oluşturulan numunelerde CBR deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışma sonunda, temel/alt temel zeminleri için optimum su içeriğinin yaklaşık %10, optimum kireç oranının ise hacimce yaklaşık %5 olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, CBR değerlerini belirleyebilmek amacıyla kullanılması tavsiye edilen yüksek korelasyon katsayılı ($R^2=0.99$) denklemler elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zemin stabilizasyonu, Katkı malzemesi, Kaliforniya taşıma oranı, Kireç

Soil Stabilization with Lime at Transportation Structure's Base/Subbase

Abstract

Soil stabilization methods are extremely important in dealing with for geotechnics and transportation departments. The bearing capacity of the base/subbase soils may not sufficient at some planned road routes Therefore, this base/subbase soils must be completely removed and it must be applied the new base/subbase soils which are sufficient bearing capacity or one of several ground stabilization methods

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Baki BAĞRIAÇIK, bbagriacik@cu.edu.tr

are applied. One of the methods of stabilizing the ground is the stabilization of the base or subbase with materials such as lime, fly ash and rubber particles. A comprehensive study has been conducted in the laboratory to investigate the availability of soils with suitable lime ratio for increasing the the low CBR values. Soil samples have been prepared at different water content (5%, 10%, 15% and 20%) and CBR tests have been carried out in order to determine the effect of water content. In addition, soil samples have been prepared at different lime content (3%, 4%, 5% and 6%) and CBR tests have been carried out in order to determine optimum values for different lime ratios.

As a result, the optimal water content for base/subbase ground have been determined to be about 10%, and the optimum lime ratio has been determined about 5%. In addition, highly correlated coefficients ($R^2 = 99\%$) have been recommended to be used in order to determine the CBR values.

Keywords: Soil stabilization, Admixture materials, California bearing ratio, Lime

1. GİRİŞ

Zeminler, kayaçların ayrışması sonucu oluşan katı taneler ile bunlar arasındaki su ve/veya hava dolu boşluklardan meydana gelen ve içerisinde organik maddeler bulundurabilen doğal malzemeler olup, mekanik davranışları heterojen ve karmaşıktır. Zeminler hem üzerlerine inşa olunan yapıların temelleri hem de inşaat malzemesi olarak bütün inşaat projelerinde karşımıza çıkmaktadır. Her zemin cinsi birbirinden farklı mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olabildiği için sahada karşılaşılan zeminler her zaman istenilen kriterleri sağlamayabilir. Bu durum, inşaat sektöründe karşılaşılan en önemli problemlerden birisi olup, zeminin mutlaka izin verilebilir oturma değerlerini ve yeterli taşıma gücünü sağlaması için iyileştirilmesi gerekmektedir. Sorunlu olarak kabul edilen mevcut zemini başka bir zemin ile değiştirmek yerine stabilize etmek daha ekonomik görülmektedir [1].

Sorunlu zeminlerin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar sonucunda, zeminin taşıma gücünü attıracağı, deformasyonu azaltacağı ve mukavemet özelliklerini arttıracığı belirlenmiştir [2].

Stabilizasyon son yıllarda gelişen teknolojiler sayesinde git gide önem kazanmaktadır. Literatürde bilinen en eski zemin iyileştirme yöntemlerinden biri de kireç stabilizasyonudur. Literatürde, gerek inşaat sektöründe yapı malzemesi ve stabilizasyon olarak gerekse de sanayi hammaddesi olarak kirecin

kullanılabilirliğini, kalsinasyon derecelerini ve önemini gösteren çalışmalar bulunmaktadır [3-6]. Kireç stabilizasyonunda, zeminin mevcut kimyasal ve fiziksel özellikleri kireç kullanılarak değiştirilerek, mevcut zeminin mukavemetinin ve durabilitesinin iyileştirilmesi sağlanmaktadır [2,7,8].

Kireç stabilizasyonu, genellikle yol kaplaması altında ve yapılarda sağlam bir temel tabakası oluşturabilmek amacıyla kullanılmaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Dinçer ve Berilgen [9], yüksek plastisiteli killi silt zeminlerin stabilizasyon sonucunda davranışlarını incelemiştir. Hacimce %4 ve %6,5 oranlarında kireç katarak oluşturulan zemin numuneleri, 7 gün ve 28 günlük kür süreleri sonunda CBR deneylerine tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre, zemine kireç ile stabilizasyonu sonucunda, CBR değeri %11,63'den %29,75'e kadar yükseldiği ifade edilmiştir. Zeminin kireç ile stabilizasyonu sonucunda, deformasyon özelliklerindeki değişimi göstermek amacıyla yapılan ödometre deney sonuçlarında, kireç yüzdesi arttıkça konsolidasyon oturmalarının azaldığı, şişme miktarlarında ise kayda değer azalmaların olduğu belirlenmiştir [9].

Kavak [10], saf bentonit ve kaolin killerini kireçle stabilize ederek serbest basınç mukavemetlerini incelemiştir. Sonuçta, kilin serbest basınç mukavemetinde, bentonit için 1 ayda 6 kat, kaolin

için ise 12 kata varan artışlar olduğunu gözlemlemiştir.

Veith [11] ve Wild ve arkadaşları [12], killerde %5 kireç ve %1 yüksek fırın cürufu kullanarak yaptığı çalışmalarında, cürufun yol alt yapısında kullanma durumunu değerlendirmişlerdir. Sonuçta, killerin kimyasal yapısında meydana gelen değişimler sonucunda stabilizasyonu yapılan zeminin mukavemetinin arttığı ve cürufun, killerin şişme potansiyellerini önemli ölçüde azalttığı ve güçlendirdiği ifade edilmiştir.

Yıldız ve arkadaşları [13], plastisiteleri farklı yüksek ve düşük plastisiteli iki çeşit kil zemin kullanılıp kireçle stabilizasyon yaparak, iki kil tipi için de mukavemet parametrelerindeki değişimleri gözlemişlerdir. Sonuçta, yüksek plastisiteli kil olan Aksaray kilinin serbest basınç mukavemeti 28 gün kür sonucunda yaklaşık olarak on beş kat arttığını, düşük plastisiteli kil olan Doğanhisar kilinde ise mukavemetin yirmi sekiz gün kür sonunda yaklaşık üç kat arttığını ifade etmişlerdir.

Kavak ve arkadaşları [14] kireç stabilizasyonunun gerçek bir yol üzerinde performansını belirleyebilmek için çalışmalar yapmışlardır. Çalışmada, arazinin kireç stabilizasyonuna uygun olduğu Karayolları laboratuvarlarında zemin mekaniği deneyleri ile tespit edilmiştir. Çalışmalar, bölünmüş bir yolun yeni yapılmakta olan kısmında gerçekleştirilmiş ve taşıma gücü düşük ariyet ocağı malzemesi yol güzergahı üzerinde %2 kireç ile iyileştirilerek kullanılmıştır. Sonuçta, yapılan ıslak CBR (Kaliforniya Taşıma Oranı) deneylerinde doğal durumda 6 olan CBR değerinin %2 kireç ile 80'li değerlere çıktığı belirlenmiştir.

Kamal [15], yüksek plastisiteli bir killi zeminin ufalama seviyesine bağlı olarak sönmüş kireç ve uçucu kül ile stabilizasyonundan hangi ölçüde etkilendiğini serbest basınç mukavemeti ve modül parametreleri üzerinden incelemiştir. İki farklı ufalama seviyesinde hazırlanan yüksek plastisiteli zemin, kireç ve Çayırhan Termik Santrali'nden alınan F tipi uçucu kül ile stabilize edilmiştir. Çalışmada, kullanılan katkı miktarları %3 sönmüş kireç, %20 uçucu kül, %20 uçucu kül + %3 sönmüş kireç ve %40 uçucu kül + %3 sönmüş

kireç olarak belirlenmiştir. Numuneler 28 gün kür süresine tabi tutulmuştur. Tüm numuneler üzerinde yapılan serbest basınç deneyi sonuçlarına göre, %20 uçucu kül + %3 kireç ve %40 uçucu kül + %3 kireç ilavesi ile çok etkin iyileştirme sağlandığı belirlenmiştir.

Mohammed Ali [16], %3, %6 kireç ve %20 oranında F sınıfı Çayırhan Termik Santrali uçucu kül katkısının yüksek plastisiteli bir kilin mukavemet özelliklerini incelemiştir. Laboratuvarda küçük boyutlu numuneler üzerinde yapılan deneylerin sonucunda, kireç ve uçucu kül ilavesi için ufalama kalitesine bağlı olarak serbest basınç mukavemeti değerlerinin önemli ölçüde değişebileceğini belirlemiştir.

Bu çalışma kapsamında, taşıma gücü zayıf kohezyonlu temel/alt temel zemininin (orta plastisiteli kil) ulaşım yapıları için kullanılabilir hale getirebilmek amacıyla, optimum su içeriğinde ve optimum kireç oranını belirlemek amacıyla deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

3. MATERYAL METOD

Karayolları temel/alt temel zeminlerinin stabilizasyonu, temel zemininin mukavemet özelliklerini artırmak ve şişme potansiyelini azaltmak için hedeflenen alternatif yöntemlerden biridir. Zemin stabilizasyon yöntemlerinden biri de kireç, uçucu kül ve lastik parçacıkları gibi malzemelerle temel ya da alt temel zemininin stabilizasyonudur.

Bu çalışmada, taşıma gücü zayıf kohezyonlu temel/alt temel zemininin (orta plastisiteli kil) ulaşım yapıları için kullanılabilir hale getirebilmek amacıyla, optimum su içeriğinde kireç kullanarak stabilizasyonun sağlanması hedeflenmektedir. Deneysel çalışmalar, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde, 0,074 mm elek aralığının altında kalan kohezyonlu temel/alt temel zemini ve stabilizasyon için de ince toz şeklinde torbalar halinde sönmüş kireç (Ca(OH)₂) kullanılmıştır. Stabilizasyon için kullanılan sönmüş kireç, yaklaşık %75 civarında

aktif CaO bulunmaktadır. Temel/alt temel zemininin stabilizasyonunda, optimum kireç oranlarını belirleyebilmek amacıyla, hacimce %3, %4, %5 ve %6 oranlarında deneylerde kullanılmak üzere karışımlar oluşturulmuştur.

Kohezyonlu temel/alt temel zeminine ait endeks ve mukavemet parametrelerinin belirlenmesi amacıyla bir seri deney gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre, zeminin sınıfı, TS 1500 [17]'e göre orta plastisiteli kil (CI) olarak belirlenmiştir. Ayrıca, kil zeminin likit limit değeri yaklaşık olarak %42, plastik limit değeri yaklaşık olarak %24, maksimum kuru birim hacim ağırlığı $17,4 \text{ kN/m}^3$, optimum su içeriği %11 olarak belirlenmiştir.

Karayolları temel/alt temel zeminlerinin stabilizasyonunun kontrolünü yapabilmek amacıyla, 1929 yılında ABD'nin California eyaletinde karayolları araştırma dairesi tarafından geliştirilen CBR (California Bearing Ratio) deneyi kullanılmıştır. Deney düzeneği Şekil 1'de gösterilmiştir.

CBR değeri, bilinen bir su içeriğinde ve yoğunluğunda hazırlanan zemin numunesinin üzerine belli bir hızla batırılan penetrasyon pistonunun istenen derinliğe kadar batması için uygulanan gerilmenin, kırma taşla yapılan deneyde aynı pistonun aynı batma derinliğine kadar gelmesi için uygulanan standart gerilmeye oranı olarak tanımlanmaktadır. CBR değeri genellikle 2,54 mm (0,10 inç) penetrasyona karşılık gelen deneyde uygulanan gerilmenin standart gerilmeye oranı olarak bulunur [18].

CBR deneyi ile temel/alt temel zemininin kayma direnimi ölçülür. Deney sonunda bir taşıma gücü oranı (CBR) elde edilir. Bu değer, bir temel/alt temel zemini için sabit bir değer olmayıp, zeminin su içeriğine ve yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Deneyden elde edilen CBR değeri sadece temel/alt temel zemininin mevcut su içeriği ve yoğunluğu için geçerli olmaktadır [18].

Karayolları temel/alt temel zemininin stabilizasyonunun farklı su içeriklerinde ve farklı kireç oranlarında kontrolünü sağlamak amacıyla,

%5, %10, %15 ve %20 su içeriklerindeki CBR değerleri belirlenmiş ve CBR değeri en yüksek çıkan su içeriğinde, hacimce %3, %4, %5 ve %6 oranlarında karışım yapılarak numuneler CBR kalıplarına yerleştirilmiştir. Hazırlanan numunelere ait deneyler 1 günlük bekletildikten sonra gerçekleştirilmiştir. Deneyler aşağıda belirtilen hususlar dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

- Deneylerde, çapı 14,24 cm ve yüksekliği 17,78 cm olan CBR kalıpları kullanılmıştır (Şekil 2).
- Temel/alt temel zemini CBR kalıplarına 5 tabaka halinde serilerek, her bir tabaka 37 vuruşla sıkıştırılmıştır [18].
- İlgili zemin için yapılan penetrasyon deneyinde de numune üzerine şişme deneyindeki kadar bir yük (sürşarj) etki ettirilmiştir.
- Kalıp, taban plakası takılmış ancak üst yüzeyi açık olarak içindeki numuneyle birlikte basınç aletinin plakası üzerine yerleştirilmiştir [19].
- Numunenin üzerine 4,5 kg'lık ağırlıklar konulmuştur.
- Penetrasyon işlemi için kullanılacak alet 1,27 mm/dk (0,05 inç/dk) hızla pistonu numune içerisine itmektedir.
- Belirlenen penetrasyon miktarına karşılık gelen yük okumaları kayıt edilmiştir [18].
- Yük okumaları 5 mm'lik penetrasyon değerlerine kadar alınmıştır.
- Penetrasyon işlemi tamamlandıktan sonra, piston kaldırılmıştır ve numune yüzeyinde bırakmış olduğu girintiler doldurulmuş ve çıkıntılar çelik cetvelle kesilerek numunenin yüzeyi düzlenmiştir.
- Deney sonucunda, %100 CBR değerine karşılık olan standart yük-penetrasyon, 1,25 mm'lik penetrasyonda 860 kg, 2,5 mm'de 1360 kg, 5,0 mm'de 2040 kg,

7,5 mm'de 2585 kg, 10 mm'de 3130 kg ve 12,5 mm de 3590 kg olarak tanımlanmıştır.

- Belirli bir penetrasyonu sağlayan yükün aynı penetrasyonu standart eğri üzerinde sağlayan yüke oranı, o penetrasyondaki CBR değeri olarak tanımlanmıştır [19].



Şekil 1. Deney düzeneği



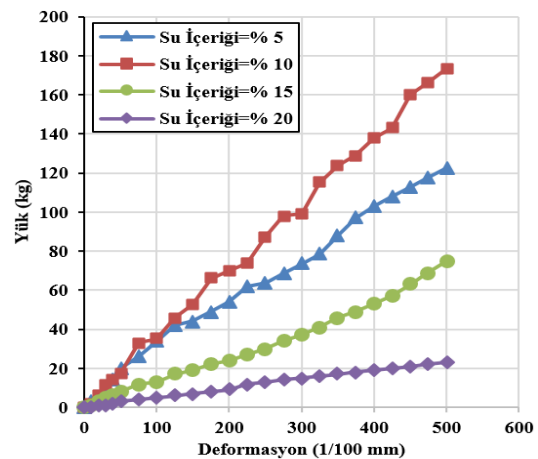
Şekil 2. CBR kalıbı ve temel/alttemel zemini

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada, CBR değerlerinin düşüklüğü sebebiyle karayollarında temel/alt temel zemini olarak kullanılmayacağı belirlenen zeminlerin, uygun su içeriğinde kireç stabilizasyonu ile kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla laboratuvar ortamında kapsamlı bir çalışma yapılmıştır.

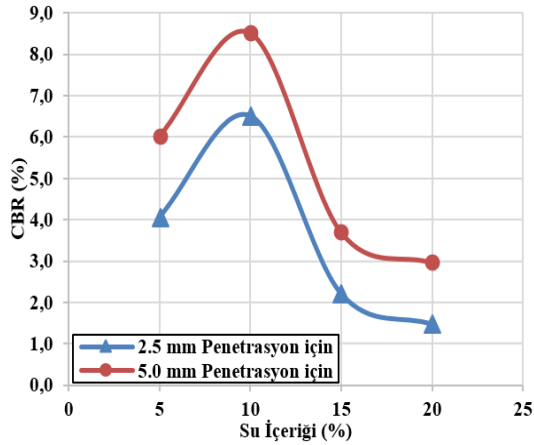
Temel/alt temel zemininin stabilizasyonunda su içeriğinin etkisini belirleyebilmek amacıyla hacimce %5, %10, %15 ve %20 su içeriklerindeki zemin numuneleri hazırlanmış ve CBR deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, farklı kireç oranları ile temel/alt temel zemininin stabilizasyonunda optimum değerleri belirleyebilmek amacıyla hacimce %3, %4, %5 ve %6 oranlarında kireç karışımları yapılarak oluşturulan numunelerde CBR deneyleri gerçekleştirilmiş ve sonuçları aşağıda sunulmuştur.

Şekil 3'te, farklı su içeriklerinde hazırlanan temel/alt temel zeminleri için yük-deformasyon ilişkisi görülmektedir. Sonuçlara göre, tüm su içeriklerinde, aynı deformasyona karşılık gelen düşey yük değerlerinde lineer bir artış görülmektedir. %10 su içeriğinde hazırlanan temel/alt temel zemininde, %5, %15 ve %20 su içeriğine göre hazırlanan temel/alt temel zeminlerine göre aynı deformasyon miktarında daha fazla taşıma gücü elde edildiği belirlenmiştir.



Şekil 3. Farklı su içeriklerindeki temel/alt temel zemini için yük deformasyon ilişkisi

Şekil 4'te farklı su içeriklerinde hazırlanan temel/alt temel zeminleri için 2,5 mm ve 5,0 mm penetrasyona karşılık gelen CBR değerleri görülmektedir. Şekil 4'deki grafiklerdeki CBR değerleri TS 1900'da [19] da belirtildiği gibi, yük-deformasyon grafiğinde (Şekil 3), 2,5 mm penetrasyona karşılık gelen yükün 1360 kg'a, 5,0 mm penetrasyona karşılık gelen yükün de 2040 kg'a bölünmesi ile belirlenmiştir. Sonuçta, her iki penetrasyon değerinde de en yüksek CBR değerinin yaklaşık %10 su içeriğinde meydana geldiği belirlenmiştir. Buradan, bu tür temel/alt temel zeminlerinde CBR değeri açısından bakıldığında en uygun su içeriğinin yaklaşık %10 olduğu görülmüştür.



Şekil 4. Farklı penetrasyon değerlerinde temel/alt temel zeminleri için su içeriği ve CBR ilişkisi

Şekil 5'te farklı kireç oranlarında oluşturulan temel/alt temel zemini için yük deformasyon ilişkisi görülmektedir. %10 su içeriğinde hazırlanmış farklı kireç oranlarındaki temel/alt temel zemini ile yapılan deney sonuçlarına göre, tüm karışım oranlarında kireçle stabilizasyon yapılması durumunda, kireç stabilizasyonu yapılmamış duruma göre taşıma güçlerinde kayda değer oranlarda (hacimce %3 kireç oranında %83,7-85,7, hacimce %4 kireç oranında %91,0-91,1, hacimce %5 kireç oranında %92,5-92,6 ve hacimce %6 kireç oranında %92,7-92,8) artış meydana geldiği belirlenmiştir.

Şekil 6'da, farklı kireç oranlarında hazırlanan temel/alt temel zeminleri için 2,5 mm ve 5,0 mm penetrasyona karşılık gelen CBR değerleri görülmektedir.

Şekil 6'daki grafiklerde CBR değerleri TS 1900'da [19] belirtildiği gibi, yük-deformasyon grafiğinde (Şekil 5), 2,5 mm penetrasyona karşılık gelen yükün 1360 kg'a, 5,0 mm penetrasyona karşılık gelen yükün de 2040 kg'a bölünmesi ile belirlenmiştir.

Sonuç olarak, en yüksek CBR değeri her iki penetrasyon değerinde de yaklaşık %5 oranında hazırlanan temel/alt temel zeminin de meydana geldiği belirlenmiştir. Hacimce %5 karışım oranından daha fazla karışım oranında hazırlanan temel/alt temel zemini için her iki penetrasyon değerinde de CBR değerinde (yaklaşık %0,2 artış) kayda değer bir artış meydana gelmediği görülmüştür. Bu nedenle, bu tür temel/alt temel zeminleri için optimum kireç oranı hacimce yaklaşık %5 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, bu tür zeminler için, her iki penetrasyon değeri için kil oranlarına bağlı olarak CBR değerlerini belirleyebilmek amacıyla, yüksek korelasyon katsayılı ($R^2=0,99$) denklemler elde edilmiştir (Denklem 1 ve Denklem 2).

2,5 mm penetrasyon için;

$$CBR = -10,50 (KO)^2 + 115,43 (KO) - 199,24 \quad (1)$$

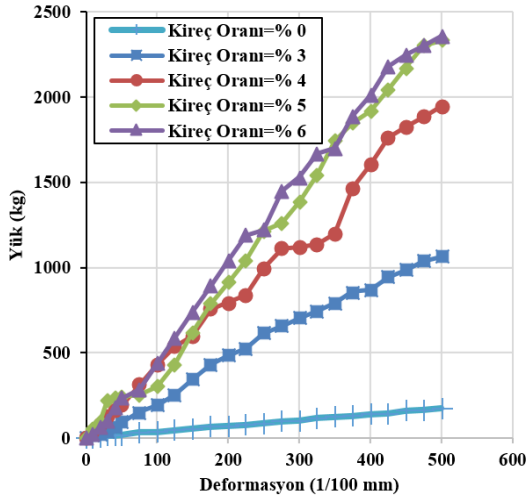
5,0 mm penetrasyon için;

$$CBR = -6,85 (KO)^2 + 76,70 (KO) - 123,14 \quad (2)$$

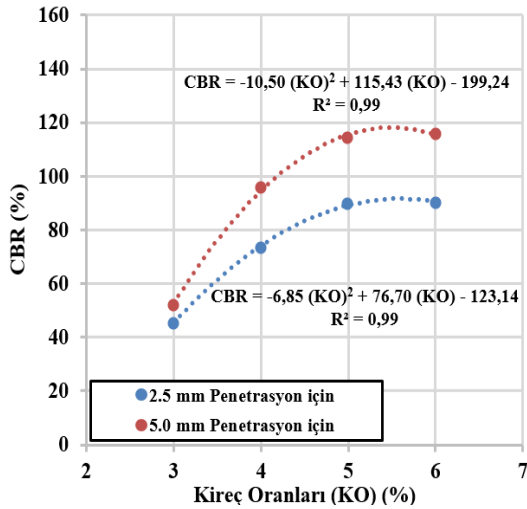
(KO: % cinsinden kireç miktarını ifade etmektedir.)

Denklem 1 ve Denklem 2, sırasıyla 2,5 mm ve 5,0 mm penetrasyon için kireç oranlarına bağlı olarak temel/alt temel zeminlerinin CBR değerlerini belirleyebilmek amacıyla kullanılabileceği belirlenmiştir.

Denklemler, optimum su içeriğinde, hacimce %2 ile %7 kireç oranı sınır şartlarında geçerliliklerini korumaktadır.



Şekil 5. Farklı kireç oranlarında oluşturulan temel/alt temel zemini için yük deformasyon ilişkisi



Şekil 6. Farklı penetrasyon değerlerinde temel/alt temel zeminleri için kireç oranı (KO) ve CBR ilişkisi

5. SONUÇLAR

Karayollarında temel/alt temel zemini olarak kullanılmayacağı belirlenen zeminlerin, kireç ile stabilizasyonu sonucunda kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla yapılan laboratuvar çalışmaları sonuçları aşağıda sunulmuştur.

Tüm su içeriklerinde, aynı deformasyona karşılık gelen düşey yük değerlerinde lineer bir artış görüldüğü belirlenmiştir.

%10 su içeriğinde hazırlanan temel/alt temel zemininde, diğer su içeriklerine göre hazırlanan temel/alt temel zeminlerine göre aynı deformasyon miktarında daha fazla taşıma gücü elde edildiği belirlenmiştir.

Her iki penetrasyon değerinde de (2,5 mm ve 5,0 mm) en yüksek CBR değerinin yaklaşık %10 su içeriğinde meydana geldiği belirlenmiştir. Bu temel/alt temel zeminlerinde CBR değeri açısından bakıldığında en uygun su içeriğinin yaklaşık %10 olduğu görülmüştür. Deneylerde kullanılan temel/alt temel zeminlerinde yapılmış olan proktor deney sonuçları incelendiğinde, optimum su içeriği değeri %11 olarak belirlenmiştir. Buradan, gerek CBR sonuçlarına göre gerekse de Proktor deneyi sonuçlarına göre temel/alt temel zeminlerinde su içeriğinin optimum değeri yaklaşık %10-11 olarak belirlenmiştir.

Optimum su içeriğinde hazırlanmış farklı kireç oranlarındaki temel/alt temel zemini ile yapılan deney sonuçlarına göre, tüm karışım oranlarında kireçle stabilizasyon yapılması durumunda, kireç stabilizasyonu yapılmamış duruma göre kayda değer oranlarda (minimum iyileşme oranı %83 ve maksimum iyileşme oranı %92,8) taşıma güçlerinde artış meydana geldiği belirlenmiştir.

En yüksek CBR değeri her iki penetrasyon değerinde de yaklaşık %5 oranında hazırlanan temel/alt temel zeminin de meydana geldiği belirlenmiştir.

Hacimce %5 karışım oranından daha fazla karışım oranında hazırlanan temel/alt temel zemini için her iki penetrasyon değerinde de CBR değerinde (yaklaşık %0,2 artış) kayda değer bir artış meydana gelmediği görülmüştür.

Bu tür temel/alt temel zeminleri için optimum kireç oranı hacimce yaklaşık %5 olarak belirlenmiştir.

Karayollarında temel/alt temel zemini olarak kullanılmayacağı belirlenen zeminler için de, her iki penetrasyon (2,5 mm ve 5,0 mm) değeri için kil oranlarına bağlı olarak CBR değerlerini belirleyebilmek amacıyla kullanılması tavsiye edilen yüksek korelasyon katsayılı ($R^2=\%99$) denklemler elde edilerek aşağıda sunulmuştur.

$$2,5 \text{ mm penetrasyon için;} \\ \text{CBR} = - 10,50 (\text{KO})^2 + 115,43 (\text{KO}) - 199,24 \quad (1)$$

$$5,0 \text{ mm penetrasyon için;} \\ \text{CBR} = - 6,85 (\text{KO})^2 + 76,70 (\text{KO}) - 123,14 \quad (2)$$

Denklemlerin her iki penetrasyon için kireç oranlarına bağlı olarak temel/alt temel zeminlerinin CBR değerlerini belirleyebilmek amacıyla belirli sınır şartları altında kullanılabilceği belirlenmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Kavak, A., 2010. Yüksek Plastisiteli Bir Kilin Kireç ile Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli, s. 118.
2. Şengül, E., 2010. Yüksek Su Muhtevalı Killi Yol Taban Zemininin Kireç Stabilizasyonu ve Hücresel Dolgu Sistemiyle İyileştirilmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, s. 100.
3. Anıl, M., Kılıç, Ö., 2000. İnşaat ve Sanayi Hammaddesi Olarak Kireç ve Önemi, Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 15, (1-2), s. 201-216.
4. Anıl, M., Kılıç, Ö., Güvenç, S., 2001. İnşaat ve Sanayi Hammaddesi Olarak Kireç, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Adana Bölge Şubesi Bülteni, 2, s. 4-9.
5. Kılıç, Ö., Anıl, M., 2006. Effects of Limestone Characteristic Properties and Calcination Temperature on Lime Quality. Asian Journal of Chemistry, 18, No. 1. s. 655-666.
6. Kılıç, Ö., Anıl, M., 2005. Farklı Kalsinasyon Ortamlarının Kireç Üretimi Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, Madencilik, 44/4, s. 19-28.
7. Tumluer, G., 2006. Çimento Katkılı Kumlu Zeminlerin Mukavemeti, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi, Adana, s. 161.
8. Çıragöz, M., 1962. Yol İnşaatında Kireç Stabilizasyonu, Türkiye Mühendislik Haberleri, s. 13-15.
9. Dinçer, E., Belirgen, M. M., 1991. İnce Daneli Bir Zeminin Kireç Stabilizasyonu, Anadolu Üniversitesi V. Ulusal Kil Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, s. 280-291.
10. Kavak, A., 1996. The Behavior of Lime Stabilized Clays Under Cyclic Loading, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
11. Veith, G., 2000. Essay Competition Green, Ground End Great Soil Stabilization with Slag. Building Research & Information, 28, s. 70-72.
12. Wild, S., Kinuthia, J. M., Jones, G. I., Higgins, D. D., 1998. Effects of partial Substitution of Lime Ground Granulated Blast Furnace slag (GGBS) on the Strength Properties of Lime-Stabilised Sulphate - Bearing Clay Soils, Engineering Geology, 51, s. 1-37.
13. Yıldız, M., Soğancı, A. S., Demiröz, A., Albayrak, V., 2004. Tekrarlı Donma ve Çözülmenin Kireç ile Stabilize Edilmiş Kil Zeminlerin Mukavemet ve Permeabilitesine Etkisi. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, s. 2-3.
14. 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, KTÜ, Trabzon, Türkiye.
15. Kamal, N. A., 2012. Kireç ve Uçucu Kül ile Stabilize Edilmiş Killerin Yol Üstyapı Malzemesi Olarak Kullanılması, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, s. 188.
16. Mohammed Ali, M., 2012. Kireç ve Uçucu Kül ile Stabilize Edilen Şişen Killerde Esneklik Modülü Tayini, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, s. 153, İstanbul.
17. TS 1500, 2000. İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması.

- 18.** Aytekin, M., 2004. Deneysel Zemin Mekaniği, Teknik Yayınevi, 188, 321-329, Ankara.
- 19.** TS 1900-2, 2006. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneylei, Ankara.

