

BÖLÜNMÜŞ YOL ÇALIŞMALARINDA BİR KİREÇ STABİLİZASYONU UYGULAMASI

A LIME STABILIZATION APPLICATION ON A DIVIDED ROAD PROJECT

Aydın Kavak¹, Ahmet Gürkan Güngör², Cihat Avşar³, Birgül Atbaş⁴, Adnan Akyarlı⁵

ABSTRACT

Lime Industrialists Association (KİSAD) conducted this study for examining lime stabilization's performance on a real road with a protocol made by General Directorate of Highways. The application is within the Highway's divided road works between Bala section and Kulu section. Lime stabilization was applied on the 14 m width 360 m. section that is between 44+200 m. and 44+560 m on the divided-road project. The soil improvement works were performed on the divided road's recently constructed section by using lime. Lime stabilization was conducted on the ground soil that composed of high placticity clay being as 40 cm total thick with two 20 cm layers. Before applications, by obtaining the geotechnical features of soils in the laboratories of General Directorate of Highways, necessary lime ratio was determined as %5 using Atterberg limits and CBR values. Application results were evaluated by sand cone method for relative densities, field CBR and plate loading tests on the field after construction works. At the field CBR tests, while having a value of 11% before the application, the CBR value reached to 48% and 56% after the lime stabilization and at the same tests that were performed 28 days later it was calculated as 117%. After examining the plate loading tests, the effect of the lime stabilization is seen much more clearly. In the plate loading tests, permanent deformation values decreased to 1.6 mm from 22.2 mm. It was also observed that the modulus of subgrade reaction could be up to ten times greater than those of unstabilized soil.

Key words : Lime stabilization, plate loading, CBR, soil improvement

¹ Yard. Doç. Dr., Kocaeli Üniversitesi, aydinkavak@yahoo.com

² Üstyapı Şube Md., Karayolları Genel Müdürlüğü, agungor@kgm.gov.tr

³ Top. ve Sta. Lab. Şefi, Karayolları Genel Müdürlüğü, cavsar@kgm.gov.tr

⁴ Top. ve Sta. Lab. Müh., Karayolları Genel Müdürlüğü, batbas@kgm.gov.tr

⁵ Prof.Dr.. Kireç San. Der.(Kisad), adnan.akyarli@kintmas.com

ÖZET

Bu çalışmada, Kireç Sanayicileri Derneği (KİSAD) ile Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) arasında yapılan protokol gereğince kireç stabilizasyonunun gerçek bir yol üzerindeki performansı incelenmiştir. Uygulama Ankara-Konya Yolu Bala Ayrımı-Kulu Ayrımı arasında Karayollarının Bölünmüş yol çalışmaları kapsamındadır. Kireç stabilizasyonu Km:44+200 ile 44+560 arasında 14 m. genişliğinde, 360 metrelik bir kısımda uygulanmıştır. Arazide kireç kullanılarak zemin iyileştirme çalışmaları bölünmüş yolun yeni yapılmakta olan kısmında gerçekleştirilmiştir. Kireç stabilizasyonu, tabanda mevcut olan yüksek plastisiteli kil (CH) kireç ile iyileştirilerek 20'şer cm'lik 2 tabaka halinde uygulanmıştır. Çalışmalardan önce Karayolları Genel Müdürlüğü laboratuvarlarında zeminlerin geoteknik özellikleri belirlenmiş ve gerekli kireç oranı Atterberg limitleri ve CBR değerleri kullanılarak % 5 olarak bulunmuştur. Arazide imalat sonrasında yoğunluk tespitleri arazi CBR ve plaka yükleme deneyleri ile uygulama sonuçları değerlendirilmiştir. Arazi CBR deneylerinde imalat öncesi %11 olan CBR değeri kireç stabilizasyonunun sonrasında %48 ila %56 değerlerine ulaşmış, 28 gün sonra yapılan değerlerde ise %117 olarak bulunmuştur. Plaka yükleme deney sonuçları incelendiğinde kireç stabilizasyonunun etkisi çok daha açık olarak gözlenmektedir. Plaka yükleme deneyinde kalıcı oturma değerleri 22.2 mm. den 1.6 mm.' ye kadar düşmektedir. Yatak katsayılarında ise 10 katı geçen artışlar gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kireç stabilizasyonu, plaka yükleme, CBR, zemin iyileştirme

1.GİRİŞ

Kireç stabilizasyonu dünyada en çok uygulanan yüzeysel zemin iyileştirme metodlarından bir tanesidir. Kireç stabilizasyonu sonucunda killi zeminlerde likit limit düşerken plastik limit artmakta ve plastisite indisinde daha keskin düşüşler oluşarak zeminin plastiklik özellikleri azalmaktadır. Bunun yanında maksimum kuru birim hacim ağırlık düşmekte, optimum su muhtevaları artmakta ve Proctor eğrisi düzleşerek sudan daha bağımsız sıkışabilirlik özellikleri kazanmaktadır. Serbest basınç, ve CBR gibi mukavete dayalı deneylerde de çok yüksek artışlar gözlenmekte ayrıca şişme değerleri keskin olarak düşmektedir. Bu etkiler Kavak (2007) tarafından Ankara kili ile yapılan çalışmalarda da nümerik olarak gösterilmiştir. Kavak (1996) tarafından yapılan araştırmada, saf bentonit ve kaolin killeri kireçle stabilize edilerek serbest basınç mukavemetleri incelenmiştir. Bu deneyler sonucunda kilin serbest basınç mukavemetlerinde bentonit için 1 ayda 6 kat, kaolin için ise 12 kata varan artışlar gözlenmiştir. Aynı çalışmada bir aydan sonra da mukavemetlerde artışların zaman içinde devam ettiği gösterilmiştir.

Killi bir zemine kireç katılması sonucu çeşitli kimyasal reaksiyonlar meydana gelmektedir (Clare ve Crunchley,1957). Bu reaksiyonların sonucunda katyon değişimi, (topaklaşma) çökeltme-yığışma ve çimentolaşma meydana gelmektedir. Bu reaksiyonlardan bazıları ilk saatlerde başlamakta ve devam etmektedir. Özellikle pozolonik reaksiyonlar uygun su muhtevasında ve sıcaklıkta zaman içinde yıllarca devam edebilmekte ve mukavemetler çok yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Katyon değişimi reaksiyonu sonucunda genellikle killerle birleşen tek değerli katyonlar çift değerli kalsiyum iyonlarıyla yer değiştirirler. Çökeltme-yığışma ile kil parçacıkları birbirlerine yönelerek, daha büyük parçacıklar oluşturarak, killi zeminlerin dokusunda bir değişiklik oluştururlar. Broderick ve Daniel, (1990) kil parçacıklarının birbirleriyle yumaklaşarak daha büyük boyutlu parçacıklar oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Ladd vd. (1960) kirecin, killi zeminlerin plastikliğini azaltarak, mukavemetlerini yüksek oranlarda arttırması ayrıca diğer katkı maddelerine göre genellikle daha ucuz olması ve yaygın bulunabilmesi sebebiyle gelişmiş veya gelişmekte olan birçok ülkede yaygın uygulama alanı bulabileceğini belirtmişlerdir.

Türkiye karayollarında 1960'lı ve 1980'li yıllarda kireç stabilizasyonu kullanılmış olmasına rağmen yaklaşık son 20-25 senedir kireç stabilizasyonuna ait kayda değer bir çalışma yapılamamıştır. Bu çalışmanın amacı konunun şu anda bir çok gelişmiş ülkede olduğu gibi Türkiye'de de karayollarında kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu çalışmada, Türkiye Cumhuriyeti Karayollarının yoğun olarak yapmakta olduğu bölünmüş yol çalışmalarında kireç stabilizasyonu uygulaması yapılmıştır.

2.METODOLOJİ

Çalışma Karayolları Genel Müdürlüğünün Kisad ile yaptığı protokol çerçevesinde bir yol talebi ve seçilmesi ile başlamıştır. Karayollarının bölünmüş yol çalışmaları kapsamında bulunan Bala Ayrımı-Kulu Ayrımı arasında 360 metrelik kısımda uygulanmıştır. Arazinin kireç stabilizasyonuna uygun olduğu Karayolları Genel Müdürlüğü Üstyapı Şubesi Müdürlüğü tarafından yapılan zemin mekaniği deneyleri ile tespit edilmiştir. Arazide kireç kullanılarak zemin iyileştirme çalışmaları bölünmüş yolun yeni yapılmakta olan kısmında gerçekleştirilmiştir. Kireç stabilizasyonu 20'şer cm.'lik 2 tabaka halinde toplam 40 cm. olarak uygulanmıştır. İyileştirilme yapılan yolun genişliği yaklaşık olarak 14 metredir. İmalat yolun 7'şer metrelik iki bölümü için ayrı ayrı yapılmıştır. Laboratuvar deneyleri Karayolları Genel Müdürlüğü Üstyapı Şubesi Müdürlüğü tarafından, arazi deneylerinden yoğunluk tespitleri ile sıkışma kontrolleri Karayolları tarafından, arazi plaka yükleme ve CBR deneyleri Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik A.B.D. tarafından yapılmıştır. Sahada kireç dozajını ayarlayarak çalışan kireç serme makinesi kullanılmıştır.

Arazide Kireç Stabilizasyonu uygulaması aşağıdaki sıra ile yapılmıştır.

- Yolun 7 metrelik kısmının 40 cm. kazılması ve killi zeminin yolun yanında istiflenmesi. İlk 20 cm.'lik kısmın greyder vasıtasıyla kazılan yere gevşek olarak aktarılması
- Kirecin kireç serme makinasına aktarılması ile kirecin kireç serme makinesiyle gevşek olan kısma istenen dozajda dökülmesi. Kireç kuru zemin ağırlığının %5'i olarak uygulanmıştır.
- Traktör tarafından çekilen rotül ile toprağın ufak parçalara ayrılması
- Greyderle yeterli olarak karıştırılarak kirecin killi zemin ile homojen olarak karıştırılması sağlanması
- Arazöz ile sulanarak karışımın optimum su muhtevasına getirilmesi
- Silindir ile sıkıştırılarak Karayolu Teknik Şartnamesine göre relatif sıkılıkların sağlanması
- Üst tabaka içinde aynı metodun uygulanması
- Sahada çalışmalar yapılırken su birikmemesi için imalat yolun dış tarafına doğru drenaj yönüne hafif meyilli olarak uygulanmıştır.
- Yolun 7 metrelik diğer kısmı içinde yukarıdaki metod aynen uygulanmıştır. Ancak iki kısmın biribiri ile kaynaşmasını sağlamak için yaklaşık 2 metrelik kısımda bindirme yapılmıştır.

2.1. Laboratuvar Çalışmaları

Elek Analizleri

Laboratuvar deneyleri için araziden değişik yerlerden numune alınarak örnekleme yapılmıştır. Araziden 5 ayrı numune getirilmiş ve her biri için de elek analizi yapılmıştır. Bu deneylerin yanında 5 numune karıştırılarak da karışımın elek analizi deneyi yapılmıştır. Karışımın içerisinde %25 oranında numune 1, %15 oranında numune 2, %25 oranında numune 3, %10 oranında numune 4 ve %25 oranında numune 5 bulunmaktadır. Karışım oranları; kireç stabilizasyonunun uygulanacağı alandan alınan numunelerin temsil ettiği kısmın, toplam kireç stabilizasyonu uygulanacak alana oranına göre yaklaşık olarak tespit edilmiştir. Yapılan elek analizi deneylerinin sonuçları aşağıda Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. Elek analizi sonuçları

Numune	Elek Analizi (Geçen %)			
	No 4	No 10	No 40	No 200
1	100	97	86	71
2	100	94	80	58
3	100	99	95	85
4	100	69	34	21
5	100	98	95	87
Karışım	100	96	88	76

Elek analizi yapılan karıştırılmış numune üzerinde hidrometre analizi yapılmıştır. Hidrometre ve elek analizi sonucunda karışımın %4 oranında çakıl, %11 oranında iri kum, %13 oranında ince kum, %34 oranında silt, %38 oranında kil içerdiği anlaşılmaktadır.

Likit ve Plastik Limit Deneyleri

Likit ve Plastik Limit deneyleri araziden getirilen 5 numune için de ayrı ayrı yapılmıştır. Numunelere kil+silt miktarlarının kuru ağırlığının %1, %2, %3 ve %5’i oranlarında kireç karıştırılmıştır. Kireç kullanılan durumlarda, kireç kil karışımı 1 gün ve 7 gün bekletildikten sonra deneyler yapılmıştır. Yapılan deney sonuçları aşağıda Tablo 2’de özetlenmektedir.

Tablo 2. Atterberg Limitleri sonuçları

Numune	%	Doğal	%1 Kireçli		%2 Kireçli		%3 Kireçli		%5 Kireçli	
			1 Gün	7 Gün	1 Gün	7 Gün	1 Gün	7 Gün	1 Gün	7 Gün
Numune 1	LL	79	84	79	80	78	83	75	NP	NP
	PL	44	46	41	40	39	38	31	NP	NP
	PI	35	38	38	40	39	45	44		
Numune 2	LL	40	40	40	41	32	NP	NP	NP	NP
	PL	18	18	19	11	19	NP	NP	NP	NP
	PI	22	22	21	30	13				
Numune 3	LL	73	75	75	72	75	72	73	71	71
	PL	43	44	45	39	43	34	39	19	23
	PI	30	31	30	33	32	38	34	52	48
Numune 4	LL	35	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
	PL	12	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
	PI	23								
Numune 5	LL	97	96	90	87	81	85	74	72	NP
	PL	66	64	55	42	42	33	26	11	NP
	PI	31	32	35	45	39	52	48	61	

Yapılan deneyler sonucunda numune 3 haricindeki tüm numunelere %5 kireç katıldığında numunelerin non-plastik özellik gösterdiği görülmektedir. Bu sonuçlar ışığında kireç miktarını belirlerken PI değişimlerini göz önüne alarak kireç miktarı %5 olarak tespit edilmiştir.

Daha önce tanımlanan oranlarda karıştırılan zemin ile kuru ağırlığının %4 ve %5'i oranlarında 1 ve 7 gün bekletildikten sonra tekrar likit limit ve plastik limit deneyleri yapılmıştır. Karışımın Atterberg limitleri Tablo 3'de özetlenmektedir. Zeminin %5 kireç oranında tamamen plastikliğini kaybettiği gözlenmektedir.

Tablo 3. Karışımın Atterberg Limitleri

	Doğal	Karışım Atterberg Limitleri			
		% 4 Kireçli		%5 Kireçli	
(%)		1 gün	7 gün	1 gün	7 gün
Likit Limit	70	67	68	NP	NP
Plastik Limit	27	48	46	NP	NP
Plastisite İndisi	43	19	22	NP	NP

Yapılan deney sonuçlarına göre numuneler birleştirilmiş zemin sınıflandırma (USCS) ve Amerika karayolları zemin sınıflandırma sistemine (AASHTO) göre sınıflandırılmış ve sonuçları aşağıda Tablo 4'de verilmektedir.

Tablo 4. Numunelerin ve karışımın sınıflandırılması ve karışım oranları

Numune No.	Karışım oranı (%)	Sınıflandırma Sistemi	
		AASHTO	USCS
1	25	A-7	CH
2	15	A-6	CL
3	25	A-7	CH
4	10	A-2-6	GC
5	25	A-7	CH
Karışım	100	A-7	CH

Standart Proctor Deneyleri

Kireçle stabilize edilmiş killerin optimum su muhtevasını ve maksimum kuru birim hacim ağırlığını belirlemek amacıyla Standart Proctor deneyleri yapılmıştır. Proctor deneyleri %4 ve %5 kireç karıştırılarak yapılmıştır. Deney sonuçları aşağıda Tablo 5'de verilmektedir.

Tablo 5. Standart Proctor deney sonuçları

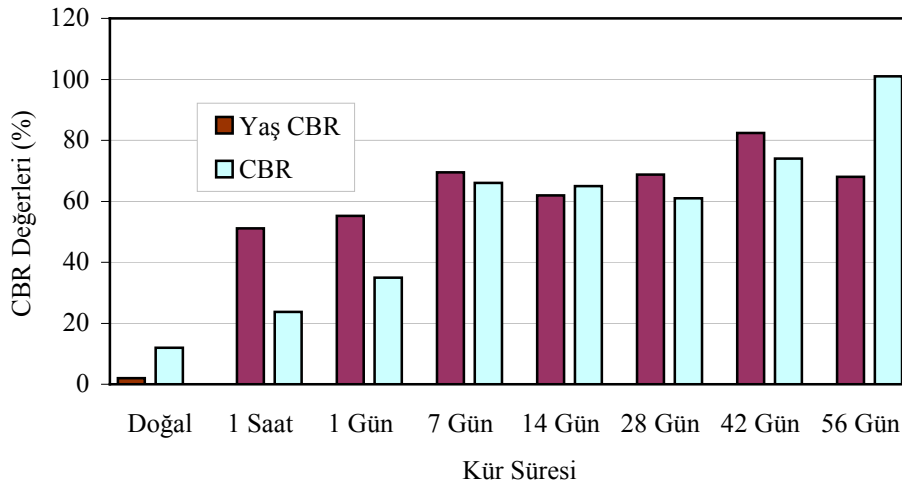
	Doğal	%4 Kireç	%5 Kireç
Mak.Kuru Bir.Hac.Ağr. (kN/m ³)	13.1	13.2	13.2
Optimum Su Muhtevası (%)	30.5	30.8	31.4

Proctor deneyleri sonucunda malzemenin doğal halde maksimum kuru birim hacim ağırlığı 13.1 kN/m³ olarak bulunmuştur. Numuneye %4 ve %5 kireç karıştırıldığında maksimum kuru birim hacim ağırlığı 13.2 kN/m³'e çıkmıştır. Doğal halde optimum su muhtevası %30.5 iken %4 kireç karıştırıldığında % 30.8, %5 kireç karıştırıldığında ise 31.4'e çıkmıştır. Genel olarak kireç stabilizasyonu çalışmalarında kireç yoğunluğunun, zemin yoğunluğundan daha düşük

olması sebebiyle Proctor deneylerinde maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinde doğal duruma göre kireçli durumda düşme gözlenmektedir. Deneylerde elde edilen sonuçlara göre birim hacim ağırlık değerlerindeki artış çok azdır ve genel olarak bu artışın kabul edilir deney belirsizlikleri içinde olduğu söylenebilir. Optimum su muhtevası değerlerinde ise beklendiği gibi az da olsa artışlar gözlenmektedir. Kireç stabiliasyonunda optimum su muhtevasının artması arazide daha yüksek su muhtevasında çalışabilme imkanı yaratmaktadır.

CBR Deneyleri

Laboratuarda yapılan CBR deneylerinde malzemeler Proctor deneyleri sonucunda bulunan su muhtevalarında sıkıştırılmıştır. Optimum su muhtevalarında sıkıştırılan malzemeler değişik kür sürelerinde bekletildikten sonra üzerlerinde kuru ve yaş CBR deneyleri yapılmıştır. Yapılan deney sonuçları aşağıda Şekil 1’de verilmektedir.



Şekil 1. Kuru ve yaş CBR değerlerinin doğal durum ile %5 kireç kullanılarak ve değişik zamanlarda kür edilerek karşılaştırılması

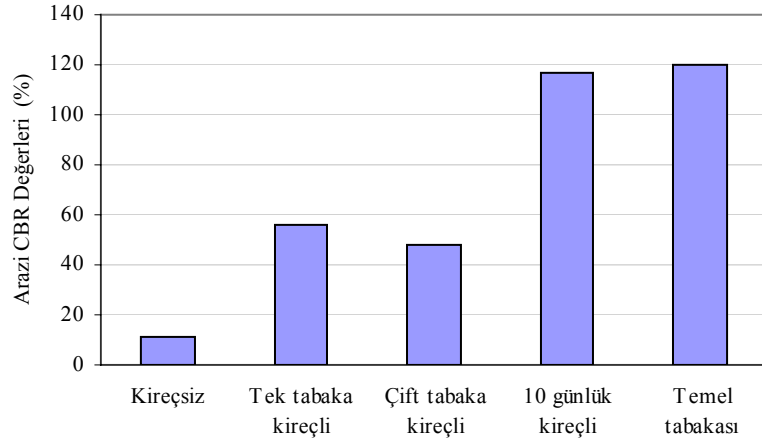
Şekil 1’den de görüldüğü gibi malzemeye kireç karıştırıldığında malzemenin CBR değerlerinde büyük artışlar meydana gelmiştir. Deneylerde 56 gün sonunda %5 kireç karıştırılan malzemenin doğal malzemeye oranla kuru CBR değerlerinde 8 kat, yaş CBR değerlerinde ise 34 kata varan artışlar meydana geldiği açık olarak görülmektedir. Yaş CBR değerleri bir haftalık kür süresinden sonra %70-80 mertebelerine çıkmaktadır. Bu değerler Yüksek plastisiteli (CH) bir kil için çok yüksek değerlerdir. Yaş CBR deneylerinde, su içinde bekletilmesi sırasında üzerinde 5 kg ağırlık ile bulunan numunenin şişme değerleri %1’in altında gerçekleşmiştir.

2.2 Arazi Deneyleri

Arazide yukarıda tanımlandığı gibi incelenen her bir bölge için kum konisi metodu ile yoğunluk tespitleri, arazi CBR deneyleri ve Plaka Yükleme Deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerin toplu sonuçları aşağıda tablo ve grafikler halinde verilmektedir. Kum konisi deneyleri sonucunda elde edilen relatif kompaksiyon değerleri %95 ile %103 arasında oluşmuştur.

Arazi CBR Deneyleri

Daha önce yapılan laboratuvar deneylerinde kireçli ve kireçsiz numunelerin CBR değerlerinin değişimi incelenmiştir. Arazide de CBR deneyleri yapılarak iyileştirme sonucunda oluşan değerler incelenmiştir. Deney sonuçları aşağıda Şekil 2’de verilmektedir.

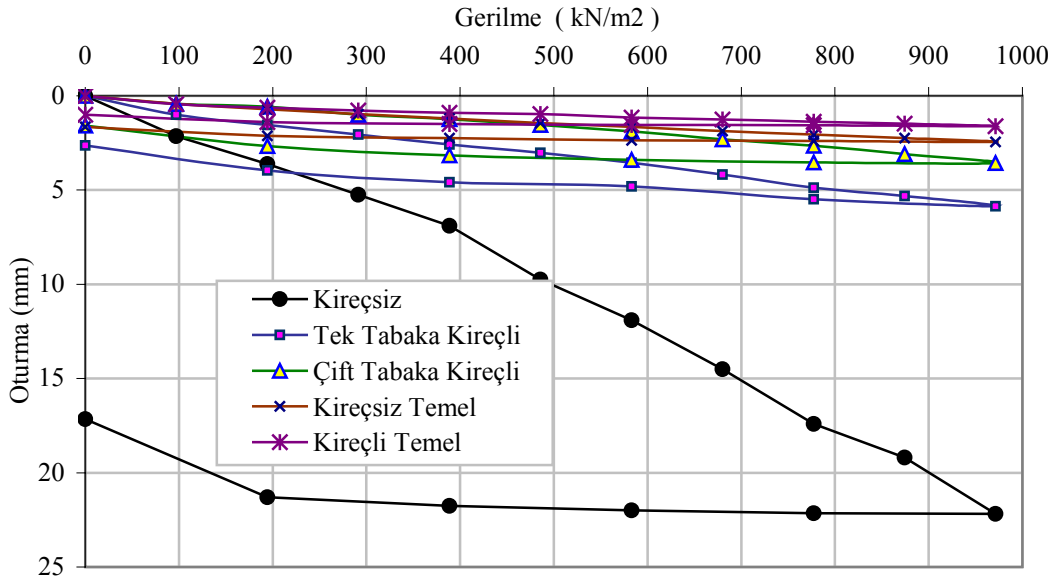


Şekil 2. Arazi CBR değerlerinin grafik halinde gösterilmesi

Arazi CBR değerleri incelendiğinde malzemeye kireç karıştırıldığında, doğal duruma göre kayda değer artışlar meydana geldiği gözlenmiştir. Doğal malzemenin arazi CBR değeri 11 olarak bulunmuştur. Tek tabaka kireçle sıkıştırılan kısımda bu değer 56'ya, çift tabaka kireçle sıkıştırılan kısımda ise 48'e yükselmiştir. Yol üzerinde 10 gün sonunda yapılan deneyde kireçli kısımda temel tabakasının arazi CBR değeri %117 olarak bulunmuştur.

Plaka Yükleme Deneyleri

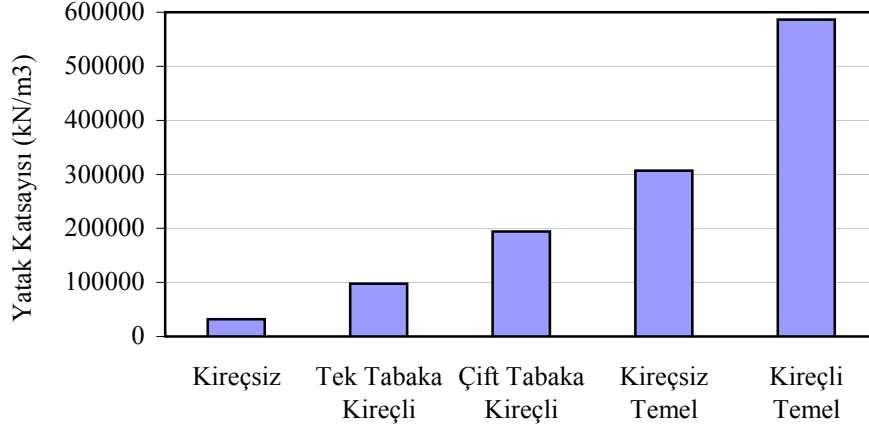
Plaka yükleme deneyleri ile kireç stabilizasyonunun etkileri incelenmiştir. Deney sonuçları Şekil 3'de gösterilmektedir. Şekilde doğal kireçsiz durumda, tek ve çift tabaka kireçli durumda, kireçli ve kireçsiz temel tabakaları üzerinde yapılan plaka yükleme deneylerine ait gerilme-oturma grafikleri karşılaştırmak amacıyla verilmektedir. Deneylerde yüklemeler 1000 kN/m²'lik gerilmeye kadar uygulanmış daha sonra yük boşaltılarak grafikler çizilmiştir. Grafikler kullanılarak zeminde oluşan yatak katsayıları, maximum ve kalıcı oturmalar kaydedilmiştir.



Şekil 3. Karşılaştırmalı plaka yükleme deneyi sonuçları

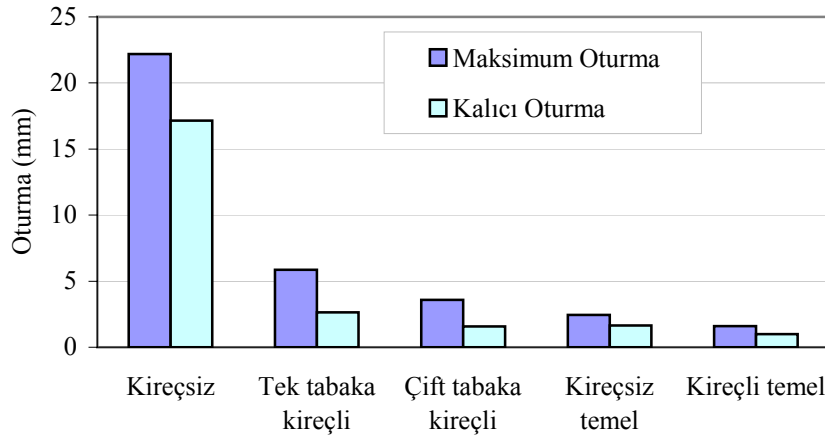
Plaka yükleme deneyi grafikleri karşılaştırıldığında kireç stabilizasyonunun zemin üzerindeki etkisi çok açık olarak gözlenmektedir. Doğal durumda uygulanan maximum gerilmeye oluşan oturmalar kireçli temel tabakası altında 3 mm'lere kadar düşmektedir. Grafikte ayrı bir

karşılaştırmada temel tabakaları üzerinde yapılan plaka yükleme deneyleridir. Bu deneylerden birincisinde iki tabaka kireç stabilizasyon tabakası üzerine malzeme ocağından gelen Karayolu Teknik Şartnamesine (2006) uygun temel malzemesi serilmiş ve gerekli sıkıştırmalardan sonra üzerinde plaka yükleme deneyi yapılmıştır, diğerinde ise tabandaki malzeme kaldırılarak aynı şartnameye uygun olarak dolgu ve aynı temel malzemesi kullanılarak deneyler yapılmıştır. Bu iki durumda yapılan deneyler karşılaştırıldığında da kireçli durumda daha yüksek yatak katsayıları, daha düşük maksimum ve kalıcı oturmalar gözlenmektedir.



Şekil 4. Yatak katsayısı değerlerinin grafik halinde gösterilmesi

Plaka yükleme deneylerinde bulunan yatak katsayısı değerleri incelendiğinde (Şekil 4) çift tabaka kireçli durumda, kireçsiz duruma oranla yaklaşık 6 katlık bir artış meydana geldiği görülmektedir. Kireçle sıkıştırılan kısmın üzerine yapılan temel tabakasının yatak katsayısı, kireçsiz kısımda bulunan temel tabakasına oranla yaklaşık 2 kat artmıştır.



Şekil 5. Maksimum ve kalıcı oturma değerlerinin grafik halinde gösterilmesi

Maksimum oturma değerleri ise Şekil 5’de görüldüğü gibi kireçsiz durumda 22.2 mm iken kireç karıştırıldıktan sonra tek tabaka için 5.9 mm’ye, çift tabaka için ise 3.6 mm’ye düşmüştür. Kireçsiz kısımdaki temel tabakasında maksimum oturma değeri 2.4 mm iken kireçli kısımdaki temel tabakasında 1.6 mm’ye düşmüştür.

Kalıcı oturma değerleri kireçsiz durumda 17.2 mm iken kireç karıştırıldıktan sonra tek tabaka için 2.6 mm’ye, çift tabaka için ise 1.6 mm’ye düşmüştür. Kireçsiz kısımdaki temel tabakasında maksimum oturma değeri 1.6 mm iken kireçli kısımdaki temel tabakasında 1.0 mm’ye düşmüştür.

3. SONUÇLAR

- Yapılan deneyler sonucunda yol güzergahından alınan numune 3 haricindeki tüm numunelere %5 kireç katıldığında numunelerin non-plastik özellik gösterdiği görülmektedir. Bu sonuçlar ışığında kireç miktarını belirlerken plastisite indisindeki değişimleri göz önüne alarak kireç miktarı %5 olarak tespit edilmiştir.
- Proctor deneyleri sonucunda malzemenin doğal halde maksimum kuru birim hacim ağırlığı 13.1 kN/m³ olarak bulunmuştur. Numuneye %4 ve %5 kireç karıştırıldığında maksimum kuru birim hacim ağırlığı 13.2 kN/m³ çıkmıştır. Doğal halde optimum su muhtevası %30.5 iken %4 kireç karıştırıldığında %30.8'e, %5 kireç karıştırıldığında ise %31.4'e çıkmıştır. Deneylerde elde edilen değerlere göre yoğunluklardaki artış çok azdır genel olarak bu artışın kabul edilir deney belirsizlikleri içinde olduğu söylenebilir. Optimum su muhtevası değerlerinde ise beklenildiği gibi az da olsa artışlar gözlenmektedir. Kireç stabiliasyonunda optimum su muhtevasının artması arazide daha yüksek su muhtevasında çalışabilme imkanı yaratmaktadır.
- Malzemeye kireç karıştırıldığında malzemenin CBR değerlerinde büyük artışlar meydana gelmiştir. 56 gün sonunda %5 kireç karıştırılan malzemenin doğal malzemeye oranla kuru CBR değerlerinde 8 kat, yaş CBR değerlerinde ise 34 kata varan artışlar meydana gelmiştir. Kireç stabilizasyonun su altındaki performansı çok açık olarak görülmektedir.
- Arazi CBR değerleri incelendiğinde malzemeye kireç karıştırıldığında, doğal duruma göre kayda değer artışlar meydana geldiği gözlenmiştir. Doğal malzemenin arazi CBR değeri %11 olarak bulunmuştur. Tek tabaka kireçle sıkıştırılan kısımda bu değer %56'ya, çift tabaka kireçle sıkıştırılan kısımda ise %48'e yükselmiştir. 10 gün sonunda kireçli kısımda temel tabakasının arazi CBR değeri %117 olarak bulunmuştur.
- Plaka yükleme deneyleri sonucunda bulunan yatak katsayısı değerleri incelendiğinde kireçli durumda, kireçsiz duruma oranla 6 katlık bir artış meydana geldiği görülmektedir. Kireçle sıkıştırılan kısmın üzerine yapılan temel tabakasının yatak katsayısı, kireçsiz kısımda bulunan temel tabakasına oranla 2 kat artmıştır.
- Plaka yükleme deneyleri sonucunda bulunan maksimum oturma değerleri kireçsiz durumda 22.2 mm iken kireç katıldıktan sonra tek tabaka için 5.9 mm'ye, çift tabaka için ise 3.6 mm'ye düşmüştür. Kireçsiz kısımdaki temel tabakasında maksimum oturma değeri 2.4 mm iken kireçli kısımdaki temel tabakasında 1.6 mm'ye düşmüştür. Kalıcı oturma değerleri ise kireçsiz durumda 17.2 mm iken kireç katıldıktan sonra tek tabaka için 2.6 mm'ye, çift tabaka için ise 1.6 mm'ye düşmüştür. Kireçsiz kısımdaki temel tabakasında maksimum oturma değeri 1.6 mm iken kireçli kısımdaki temel tabakasında 1.0 mm'ye düşmüştür.
- Laboratuvarda ve arazide yapılan zemin mekaniği deneyleri sonuçlarına göre zeminin gerek CBR gerek plaka yükleme deneylerine göre mukavemetlerinin çok önemli oranda arttığı ayrıca zeminin plastiklik özelliklerinin çok önemli oranda düşmesi kireç stabilizasyonu çalışmalarının başarılı olduğunu göstermektedir. Yolun imalatının tamamlanması sebebiyle trafik altındaki davranışı ve performansına göre de yapılan çalışmanın başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Kireç stabilizasyonu uygulamasında dünyada yaygın olarak kullanılan parçalayıcı ve kireç serme makinası gibi ekipmanlar kullanılmamasına rağmen yapılan çalışmanın başarılı olduğu gözlenmiştir.

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TAVSİYELER

- Bu çalışmalar sonrasında bildiri yazarları, elde edilen bilgi ve tecrübe ile dünyadaki kireç uygulamalarını da göz önüne alarak kireç stabilizasyonu şartnamesini hazırlamışlardır. Bu çalışma Karayolu Teknik Şartnamesinde (2006) yayımlanmıştır.
- Zemin killi bir zemin olmasına rağmen iyileştirme sonucunda özellikle yaş CBR değerlerinde keskin artışlar gözlenmiştir. Bu çalışmada yol kesit dizaynıyla ilgili bir çalışma yapılmamasına rağmen yüksek CBR değerlerinin yol kesitini küçülterek ekonomi sağlayabileceği açıktır.
- Bu çalışmada taban zemini killi bir zemin olduğundan, yerinde kazılıp kireç ile iyileştirilmiş ve tekrar serilip sıkıştırılarak sonuç alınmıştır. Kalitesi yeterli olmayan dışarıdan gelen kil oranı yüksek stabilize malzemeler de kireçle özellikleri iyileştirilerek uygun hale getirilebilir.
- Plaka yükleme deneyleri sonucunda bulunan kalıcı oturmaların azlığı ve yüksek yatak katsayıları, zeminin trafik altında da oturmalarının son derece az olabileceğini göstermektedir.
- Kazıda bazı killi bölgelerde su muhtevasının yüksekliğinden dolayı taban zeminde oynamalar gözükmesine karşılık kireç stabilizasyonu sonucunda bu kısımlarda gözle görülür şekilde iyileşmeler sağlanmıştır.
- Kireç stabilizasyonu dünyada yaygın olarak kullanılmasına rağmen ülkemizde yaygınlaşmamıştır. Bu çalışmaların arttırılması ülke ekonomimiz için ciddi bir kaynak sağlayabilecektir.
- Bu çalışmalar sonrasında, kirecin diğer uygun katkı malzemeleriyle birlikte kullanılması ve optimizasyonlar yapılması ayrıca araştırma bazında mikroyapı incelemeleri zaman içinde öne çıkabilecektir

KAYNAKLAR

- Broderick, G.P., Daniel, D.,(1990), “Stabilizing Compacted Clay Against Chemical Attack”, ASCE, Journal of Geotechnical Engineering Division, Vol. 116, No. 10, pp.1549-1567
- Clare KE, Crunchley AE (1957),”Laboratory experiments in the stabilization of clays with hydrated lime”, Geotechnique VIII:97-111
- Ladd, C.C., Moh, Z.C., Lambe, T.W., (1960), “Recent Soil-Lime Research at the Massachusetts I.T.”, Highway Research Board, Bul. 262, pp. 64-85
- Kavak A.,(1996),”The Behavior of Lime Stabilized Clays Under Cyclic Loading”, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul
- Kavak A, (2007).”A field application for lime stabilization”,Environmental Geology, Volume 51.number 6, 987-997
- Karayolları Genel Müdürlüğü (2006), “Karayolu Teknik Şartnamesi”, T.C.Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Kısım 218, 82-92