



14. Ulusal Kil Sempozyumu, 1-3 Ekim 2009, KTÜ, Trabzon-Türkiye
14th National Clay Symposium, 1-3 October 2009, KTU, Trabzon-TR



KİL ORANI YÜKSEK BİR DOLGU MALZEMESİNİN KİREÇ İLE STABİLİZASYONU

Stabilization of a fill Material That has High Clay Content with Lime

Aydın KAVAK¹, Ahmet Gürkan GÜNGÖR², Cihat AVŞAR³, Gönül YÖNTER⁴, Mehmet TOKGÖZ⁵, Adnan AKYARLI⁶

¹Kocaeli Üniversitesi, MF, İnş Müh. Böl., Kocaeli

²., Karayolları Genel Müdürlüğü, Üstyapı Şube Md, Ankara

³Karayolları Genel Müdürlüğü, Top. ve Sta. Lab. Şefi, Ankara

⁴Karayolları 17. Bölge Müdürlüğü Araştırma Baş Mühendisliği, İstanbul

⁵Karayolları 1. Bölge Müdürlüğü Araştırma Baş Mühendisliği, İstanbul

⁶Kimtaş, İzmir

e-posta: aydinkavak@yahoo.com, agungor@kgm.gov.tr, cavsar@kgm.gov.tr,
gyonter@gov.tr, metok242@yahoo.com, adnan.akyarli@kimtas.com

ÖZET : Bu çalışma Kireç Sanayicileri Derneği (KISAD) ile Karayolları Genel Müdürlüğü'nün (KGM) yaptığı protokol ile kireç stabilizasyonunun gerçek bir yol üzerinde performansının incelenmesi için yapılmıştır. Karayollarının bölünmüş yol çalışmaları kapsamında bulunan Kırklareli Şehir geçişi 1+250-1+900 metreleri arasında 650 metrelik kısımda uygulanmıştır. Arazinin kireç stabilizasyonuna uygun olduğu Karayolları laboratuvarlarında zemin mekaniği deneyleri ile tespit edilmiştir. Arazi çalışmaları Bölünmüş yolun yeni yapılmakta olan kısmında gerçekleştirilmiştir Bu çalışmada taşıma gücü düşük ariyet ocağı malzemesi yol güzergahı üzerinde %2 kireç ile iyileştirilerek kullanılmıştır. Laboratuarda yapılan ıslak CBR (Kaliforniya Taşıma Oranı) deneylerinde doğal durumda 6 olan CBR değeri %2 kireç ile 80'li değerlere çıkmaktadır. Kireç stabilizasyonu arazide toplam 40 cm'lik kalınlıkta 20'şer cm'lik 2 tabaka halinde uygulanmıştır. Yolun dolgu yapılan genişliği yaklaşık 14 metredir. Uygulama sonrasında yeterli sıkışma değerleri elde edildikten sonra plaka yükleme deneyleri yapılarak kireçli ve kireçsiz durumlar için karşılaştırmalar yapılmıştır. Plaka yükleme deneylerinde 10 kg/cm² gerilimde deformasyonlar 4.1 mm den 1.7 mm'ye , kalıcı deformasyonlar ise 2.8 mm'den 1.0 mm'ye düşmektedir. Yatak katsayı değerleri ise 540,000 kN/m³ gibi çok yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu çalışma ve Ankara Gölbaşı bölgesinde yapılan çalışmalar sonrasında Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma dairesi tarafından yapılan çalışmalarla Kireç Stabilizasyonu Teknik Şartnamede yayınlanarak teknik anlamda uygulamanın önü açılmıştır.

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

ABSTRACT: This study was carried out with a protocol done by Lime Industrialists Association (KISAD) and General Directorate of Highways (KGM) to examine the

performance of lime stabilization on a real road. It is applied on the 650 m. section between 1+250-1+900 m. of Kırklareli local transition that is under the scope of Highways' divided road works. It is determined that the field is applicable for lime stabilization by soil mechanics tests done in Highway's laboratories. Field studies were carried out in the recently constructed section of the divided road. In this study, borrow pit material with low bearing capacity was used on the road as being improved by 2% lime. In the soaked CBR (California Bearing Ratio) tests that is done in laboratories, the CBR value 6 of the natural sample reached to values 80s by %2 lime. Lime stabilization was used on the field as 20 cm. two layers having a total 40 cm. thickness. Road's embankment's width is approximately 14 m. After having enough relative compaction values from the application, comparisons were made for states with lime and without lime by doing plate loading tests. In these plate loading tests, for 10 kg/cm² maximum stresses, the deformations decreased to 1.7 mm from 4.1 mm, as permanent deformations decreasing to 1.0 mm from 2.8 mm. The modulus of subgrade reaction values of the soil rose up to very high values as 540,000 kN/m³. After this study and the studies carried out in the region of Ankara-Gölbaşı, with the studies done by the General Directorate of Highways' Research Department, Lime Stabilization was published in the Technical Specifications and its application as a technical meaning became wide-spread.

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

GİRİŞ

Bu çalışma Kireç Sanayicileri Derneği (KİSAD) kireç stabilizasyonu arazi uygulamaları kapsamında yapılmıştır. Uygulama KİSAD ile Karayolları Genel Müdürlüğü'nün yaptığı protokole göre yapılmıştır. Çalışma Karayolları Genel Müdürlüğü'nün Kısad ile yaptığı protokol çerçevesinde yol talep edilmesiyle başlamıştır. Karayollarının bölünmüş yol çalışmaları kapsamında bulunan Kırklareli Şehir geçişi 1+250-1+900 metreleri arasında 650 metrelik kısımda uygulanmıştır. Arazinin kireç stabilizasyonuna uygun olduğu Karayolları 1. Bölge Müdürlüğü Araştırma Baş Mühendisliği ve KGM Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Üstyapı Şubesi Müdürlüğü Toprak ve Stabilizasyon Laboratuvarı Şefliği tara-

findan zemin mekaniği deneyleri ile tespit edilmiştir. Arazi çalışmaları Bölünmüş yolun yeni yapılmakta olan kısmında gerçekleştirilmiştir Bu çalışmada taşıma gücü düşük ariyet ocağı malzemesi yol güzergahı üzerine iyileştirilerek kullanılmıştır. Sahaya serilen ariyet ocağı malzemesi kireçle Karayollarına ait ekipmanlarla karıştırılarak serilip sıkıştırılmıştır. Kireç Stabilizasyonu 20'şer cm.'lik 2 tabaka halinde uygulanmıştır. Yolun dolgu yapılan genişliği yaklaşık 14 metredir.

Killi bir zemine kireç katılması sonucu çeşitli kimyasal reaksiyonlar meydana gelmektedir. Bu reaksiyonların sonucunda katyon değişimi, (topaklaşma) çökeltme-yığışma ve çimentolaşma meydana gelmektedir. Bu reaksiyonlardan bazıları ilk saat-

lerde başlamaktadır. Özellikle pozolonik reaksiyonlar zaman içinde oluşmaktadır. Uygun su muhtevasında ve sıcaklıkta yıllarca devam edebilmektedir. Katyon değişimi reaksiyonu sonucunda genellikle killerle birleşen tek değerli katyonlar çift değerli kalsiyum iyonlarıyla yer değiştirirler. Çökeltme-yığışma kil parçacıkları birbirlerine yönelerek, daha büyük parçacıklar oluşturarak, killi zeminlerin dokusunda bir değişiklik oluştururlar. Kil parçacıkları birbirleriyle yumaklaşarak daha büyük boyutlu parçacıkları oluştururlar (Broderick vd.,1990).

Kireç stabilizasyonu sonucunda, zeminin geoteknik özelliklerinin değişmesi yanında özellikle mukavemette de çok keskin artışlar olmaktadır. Kavak tarafından (1996) yılında yapılan araştırmalarda, saf bentonit ve kaolin killeri kireçle stabilize edilerek serbest basınç mukavemetleri incelenmiştir. Bu deneyler sonucunda kilin serbest basınç mukavemeti bentonit için 1 ayda 6 kat, kaolin için ise 12 kata varan artışlar gözlenmiştir. Uzun dönemde de mukavemet artışlarının devam ettiği görülmüştür. Kireç stabilizasyonu sonucunda zeminde kısa dönemde optimum su muhtevası artmakta, Proctor yoğunlukları düşmekte, plastik limit artmakta, likit limit düşmekte, proctor eğrisi düzleşmekte, CBR değerlerinde artışlar olmaktadır. Uzun dönemde ise, CBR değerleri, serbest basınç ve kayma mukavemetleri ve çekme gerilmeleri artmakta, şişme ve büzülme karşı stabilite

artmaktadır, ayrıca don etkisine karşı direnç artmaktadır (Kavak, 1996). Kireç stabilizasyonu temel, alttemel ve daha alt dolgu tabakalarında kullanılabilir. Kireç stabilizasyonunun yol inşaatları için birçok avantajları vardır. Zeminin içinde, mukavemeti ve geoteknik özellikleri düşük olan kil kısımları kireçle reaksiyona girerek killi zeminin yapısını mikro ölçülerde daha daneli bir hale getirmektedir. Ayrıca şişme potansiyelini azaltmakta, mukavemeti de çok fazla arttırarak üst tabaka kalınlıklarını azaltarak ekonomi sağlamaktadır.

Kireç stabilizasyonu zeminin mukavemetinde yüksek artış sağlamasının yanında davranışını da değiştirmektedir. Elastisite modülü belirgin olarak artmakta ve zemin, esnek halden rijit hale geçmektedir.

Çalışmanın amacı nitelikleri yeterli olmayan ariyet ocağı malzemesinin de kireç stabilizasyonu ile iyileştirilebileceğinin gösterilmesidir. Killi zeminlerde kireç stabilizasyonu ile oluşan çimento mineralleri ince malzemesi olmayan daneli bir zeminde oluşmamaktadır. Bir uygulamada stabilize malzeme içinde gereken oranlardan yüksek oranda kil bulunması malzemenin kullanılamamasına ve proje maliyetlerinde önemli oranlarda artışlara sebep olmaktadır. Bu tür zemin ülkemizde çok sık olarak bulunmaktadır. Bu tür malzemelerin iyileştirilmesi ülke için çok önemli bir ekonomi sağlayabilecektir. Yapılacak yol miktarları çok daha fazla olmasının yanında çok uzak bölgeler-

de de kaliteli yol yapma imkanı oluşabilecektir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada kireç stabilizasyonu ariyet malzemesi üzerinde uygulanmıştır. Ocak da bulunan ariyet malzemesinin kil+silt oranlarının yüksekliği ve CBR (Kaliforniya Taşıma Oranı %) değerlerinin düşüklüğü sebebiyle kireç stabilizasyonu uygulabileceği öngörülmüştür. Çalışma öncesinde malzeme ile ve kireç stabilizasyonu uygulanmış malzemelerle laboratuvarda kapsamlı bir çalışma yapıldıktan sonra malzemenin kireç stabilizasyonuna uygunluğu gösterildikten ve optimum kireç oranları seçildikten sonra arazi uygulamalarına geçilmiştir. Laboratuvar çalışmaları Karayolları 17 Bölge araştırma laboratuvarında TS 1900'e uygun olarak yapılmıştır.

Kireç stabilizasyonu uygulamasında yer alan zemin mekaniği laboratuvar ve arazi deneyleri

- Proje konusu yolda örnekleme yapılarak malzeme toplanmış ve kireç oranlarının tespiti amacıyla arazi de Likid limit, Plastik Limit, Proctor deneylerinin ve CBR deneylerinin yapılması
- Bu deneyler sonucunda kireç oranları tespit edilmesi
- İmalat sırasında kum konisi ve nükleer alet ile yoğunluk tespitleri
- Kireç Stabilizasyonu yapılan zemin üzerinde ve doğal zeminde Plaka yükleme deneyleri ve CBR deneyleri

- Kireç stabilizasyonu yapılan alan üzerinde Granüler temel tabakası ve aynı kalınlıkta doğal dolgu üzerinde plaka yükleme deneyleri ve CBR deneyleri ile karşılaştırmaların yapılmasıdır.

Arazide Kireç Stabilizasyonu uygulaması aşağıdaki sıra ile yapılmıştır.

- Yolun tabanının hazırlanması ve stabilize malzemenin çalışılacak sahaya getirilmesi
- İlk 20 cm.'lik kısmın greyder vasıtasıyla kazılan yere gevşek olarak aktarılması
- Kirecin Kireç Serme Makinesine aktarılması
- Kirecin Kireç serme makinesiyle gevşek olan kısma zeminin kuru ağırlığının % 2'si oranında toz olarak karıştırılması
- Greyderlerle yeterli olarak karıştırılarak kirecin killi zemin ile homojen olarak karıştırılmasının sağlanması
- Arazöz ile sulanarak karışımın optimum su muhtevasına getirilmesi
- Silindir ile sıkıştırılarak istenen rölatif sıkılıkların sağlanması
- Üst tabaka içinde aynı metot uygulanarak toplam 40 cm.'lik kireçle stabilize edilmiş iki tabaka oluşturulması
- Sıkışma deneyleri ve plaka yükleme deneyleri sonuçlarına göre çalışmanın tamamlanmasıdır.

Laboratuvar Çalışmaları*Elek Analizi*

Araziden getirilen 3 ayrı numune içinde elek analizi yapılmıştır. Elek analizi deneyleri numune 1 ve numu-

ne 2'ye ikişer kere numune 3'e ise bir kere yapılmıştır. Yapılan deneylerin sonuçları aşağıda Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Elek analizi sonuçları

	Elek Analizi (% Geçen)			
	No 4	No 10	No 40	No 200
Numune 1	100	77	58	44
Numune 1	100	82	64	47
Numune 2	100	76	57	40
Numune 2	100	84	65	48
Numune 3	100	87	66	42

Hidrometre Analizleri

Elek analizi yapılan numuneler üzerinde hidrometre analizi yapılmış-

tır. Analiz sonucunda elde edilen veriler aşağıda Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Hidrometre analizi

	Çakıl (%)	İri Kum (%)	İnce Kum (%)	Silt(%)	Kil (%)	K.Kil (%)
Numune 1	23,10	16,10	18,40	18,20	2,00	22,20
Numune 1	17,80	17,20	19,70	19,40	2,10	23,80
Numune 2	24,20	17,50	20,80	18,40	3,50	15,70
Numune 2	15,70	19,40	23,10	20,50	3,90	17,40

Hidrometre analizi sonucunda numune 1 ve numune 2 için ikişer deney yapılmıştır. Numune 1 için çakıl oranı %23,10-%17,80, iri kum oranı %16,10-%17,20, ince kum oranı %18,40-%19,70, silt oranı 18,20-19,40, kil oranı %2,00-%2,10, k.kil oranı 22,20-23,80 olarak bulunmuştur. Numune 2 içinse çakıl oranı %24,20-

%15,70, iri kum oranı %17,50-%19,40, ince kum oranı %20,80-%23,10, silt oranı 18,40-20,50, kil oranı %3,50-%3,90, k.kil oranı 15,70-17,40 olarak bulunmuştur.

Likid ve Plastik Limit Deneyleri

Dolgu malzemesinin likit limit ve plastik limitlerinin yapılmasından

sonra malzemeye kil+silt miktarlarının ağırlıkça kuru ağırlığının %1, %2, %3 ve %4'ü oranlarında kireç karıştırılmıştır. Kireç kullanılan durumlarda, kireç kil karışımı 1 gün ve 7 gün bek-

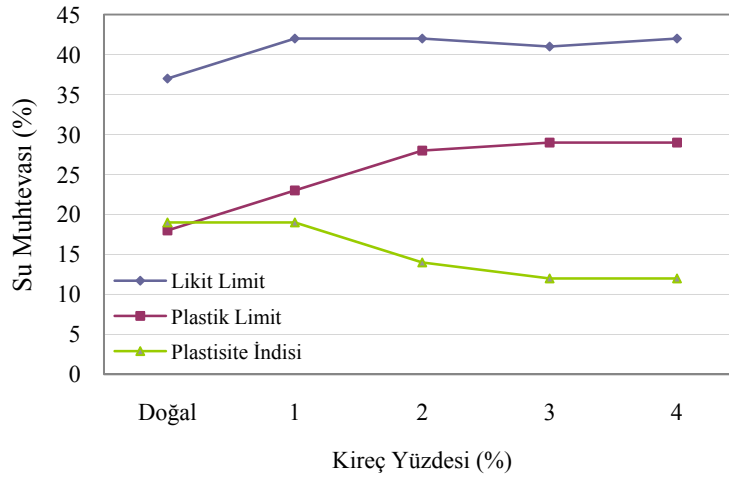
letildikten sonra likit limit ve plastik limit deneyleri yapılmıştır. Yapılan deney sonuçları aşağıda Tablo 3 ve Şekiller 1 ve 2'de verilmektedir.

Tablo 3. Atterberg Limitleri sonuçları

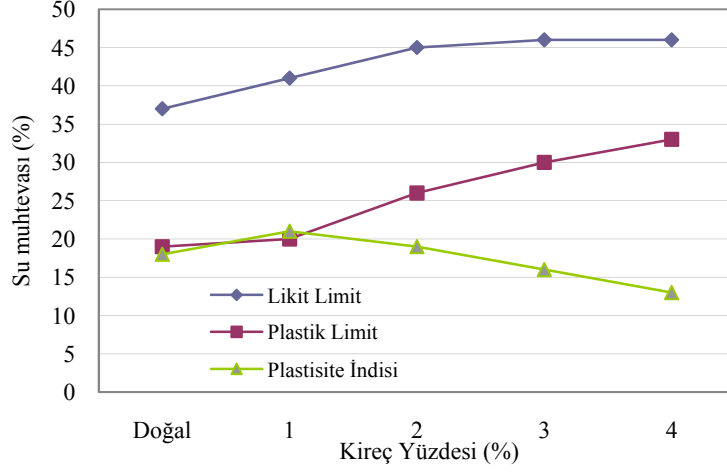
	Doğal	%1 Kireçli		%2 Kireçli		%3 Kireçli		%4 Kireçli	
		1 Gün	7 Gün	1 Gün	7 Gün	1 Gün	7 Gün	1 Gün	7 Gün
Likit Limit	37	42	41	42	42	41	46	42	46
Plastisite İndisi	19	19	21	14	15	12	16	12	13
Plastik Limit	18	23	20	28	29	29	30	29	33

Yapılan deneyler sonucunda numunenin doğal haldeki likit limiti 37 iken % 4 kireç katıldıktan sonra likit limit değeri 1 gün sonunda yapılan deneylerde 42, 7 gün sonunda yapılan deneylerde ise 46 olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde plastisite indisi doğal halde 19 iken % 2 kireç katıldıktan ve 1 gün bekletildikten sonra 14, 7 gün bekletildikten sonra ise 13 olarak bulunmuştur.



Şekil 1 Değişik kireç oranlarında 1 günlük Atterberg Limitleri



Şekil 2 Değişik kireç oranlarında 7 günlük Atterberg Limitleri

Yapılan deneyler sonucunda 3 numunede AASHTO ve birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sonucunda zemin AASHTO zemin sınıflandırma sistemine göre A-6 tipi killi zemin, birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre SC (killi kum) olarak bulunmuştur.

Çalışmada kullanılacak kireç oranları Atterberg limitleri ve CBR deneyleri sonucuna göre seçilmiştir. Çalışmalarda %2 kireç oranlarından sonra CBR oranlarında çok yüksek artışlar gözlenmemekte ayrıca zemin plastik özelliğini önemli ölçüde kaybetmektedir. Zeminin içinde kil

oranlarının da %20-25 oranında olması daha fazla kireç kullanılmasına gerek olmadığını göstermektedir. Kil oranına göre kireç oranı %10'lara ulaşmakta ve bu kireç stabilizasyonuna göre çok yüksek değerlerdir.

Standart Proctor Deneyleri

Kireçle stabilize edilmiş killerin optimum su muhtevasını ve maksimum kuru yoğunluğunu belirlemek amacıyla Standart Proctor deneyleri yapılmıştır. Proctor deneyleri %1 ve %2 kireç karıştırılarak yapılmıştır. Deney sonuçları aşağıda Tablo 4'de verilmektedir.

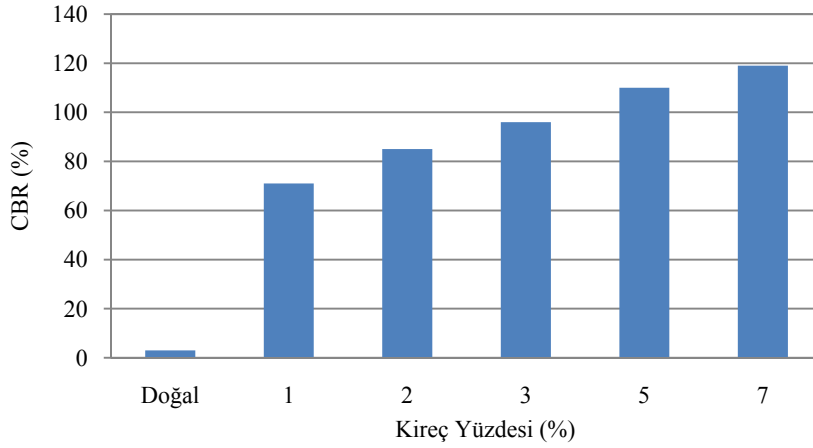
Tablo 4. Standart Proctor deney sonuçları

	Doğal	%1 Kireç	%2 Kireç
Mak.Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	18,54	18,42	18,40
Optimum Su Muhtevası (%)	12,4	12,6	12,5

Proctor deneyleri sonucunda malzemenin doğal halde maksimum kuru birim hacim ağırlığı 18.54 kN/m^3 olarak bulunmuştur. Numuneye %1 kireç karıştırıldığında maksimum kuru birim hacim ağırlığı $18,42 \text{ kN/m}^3$ 'e %2 kireç karıştırıldığında ise $18,40 \text{ kN/m}^3$ 'e düşmektedir. Doğal halde optimum su muhtevası %12,4 iken %1 kireç karıştırıldığında % 12,6, %2 kireç karıştırıldığında ise 12,5'e çıkmaktadır. Literatürde yapılmış çalışmalarda da bu çalışmalara paralel olarak kireç stabilizasyonu sonucunda kuru yoğunluklar azalmakta optimum su muhtevalarında da artışlar olmaktadır.

CBR Deneyleri

Laboratuarda yapılan CBR deneylerinde malzemeler Proctor deneyleri sonucunda bulunan su muhtevalarında sıkıştırılmıştır. Optimum su muhtevalarında sıkıştırılan malzemelere yaş CBR deneyleri yapılmıştır. Deneyler doğal durumda ve kireç oranları %1, 2, 3, 4, 5 ve 7 kullanılarak yapılmıştır. Doğal durumda 5 olan CBR değerleri kireç oranı ile %1 kireç oranında dahi keskin olarak artmakta, daha sonra ise belli bir oranda artmaya devam ederek %7 kireç oranında 120'ye ulaşmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Değişik kireç yüzdelerinde bulunan CBR değerleri

Zemindeki kil oranı da göz önüne alınarak daha detaylı çalışmalar %1 ve %2 kireç oranları kullanılarak 2'şer adet yaş CBR deneyleri ile yapılmış-

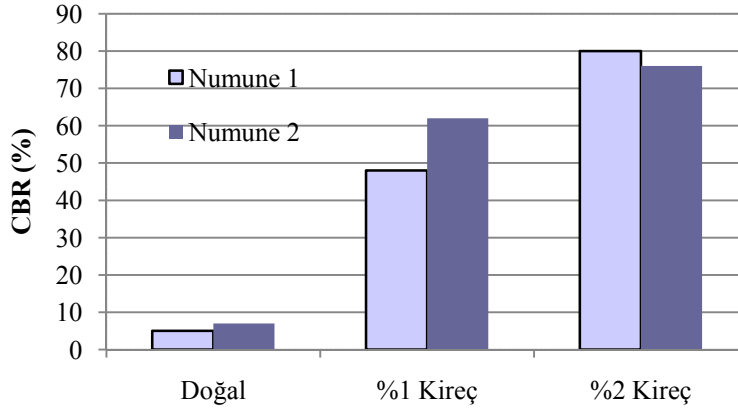
tır. Yapılan deney sonuçları aşağıda Tablo 5 ve Şekil 4' de verilmektedir.

Tablo 5.Yaş CBR değerleri

	CBR (%)	
	Numune 1	Numune 2
Doğal	5	7
%1 Kireç	48	62
%2 Kireç	80	76

Tablo 5 ve Şekil 4'de de görüldüğü gibi malzemeye kireç karıştırıldığında malzemenin CBR değerlerinde büyük artışlar meydana gelmiştir. Doğal

halde numune 1'in CBR değeri 5, numune 2'nin 7 olarak bulunmuştur. %1 kireç karıştırıldığında numune 1'in CBR değeri 48, numune 2'nin 62'ye yükselmektedir. Zemine %2 kireç karıştırıldığında numune 2'nin CBR değeri 80, numune 2'nin 76'ya yükselmiştir. Aşağıdaki Tablo 6 ve şekillerde şişme değerleri verilmiştir. Doğal halde numune 1 için 0,75, numune 2 için ise 0,64 olan şişme değerleri %1 ve %2 kireç karıştırıldığında numune 1 için 0,15, numune 2 için ise 0,09'a düşmüştür.



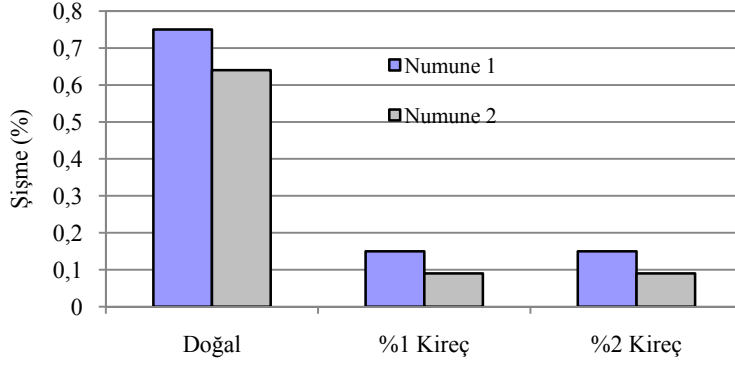
Şekil 4. Laboratuarda yapılan CBR deneyleri ve karşılaştırmalar

Laboratuarda yapılan CBR deneylerinde numunelerin 4 gün suda bekleme süresinde oluşan şişme yüzdeleri aşağıda Tablo 6 ve Şekil 5'de gösterilmektedir.

Tablo 6.Şişme değerlerinin tablo halinde gösterilmesi

	Şişme Yüzdesi	
	Numune 1	Numune 2
Doğal	0,75	0,64
%1 Kireç	0,15	0,09
%2 Kireç	0,13	0,08

Şişme oranları doğal durumda yüzde 0.75'den %1 kireç oranında 0.15'e %2 kireç oranında ise %0.08 gibi oldukça düşük değerlere düşmektedir.



Şekil 5.CBR şişme yüzdelерinin %1 ve %2 kireç oranlarında doğal durumla karşılaştırılması

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 ile Yoğunluk Tespitleri

Kum konisi metodu kullanılarak yoğunluk tespitleri laboratuvarında sağlanan maksimum kuru birim hacim

ağırlık değerlerinin arazi koşullarında gerçekleşip gerçekleşmediğini belirlemek için yapılmıştır. Deney sonucunda bulunan su muhtevaları ve rölatif kompaksiyon yüzdeleri Tablo 7 de verilmiştir. Çalışmada rölatif kompaksiyon değerleri en az % 96 olarak bulunmuştur. Su muhtevaları da optimum su muhtevasıyla karşılaştırılarak arazide sıkıştırma yapılmıştır. Düşük olan noktalarda arazözlerle zemin sulanarak optimum su muhtevası değerlerine getirilmiştir.

Tablo 7.Kum konisi deneyi sonucunda bulunan su muhtevaları ve rölatif kompaksiyon (RK) değerleri

KM	Yolun Solu 2.Tabaka		Eksende 2.Tabaka		Yolun Sağı 2.Tabaka	
	Su Muh.(%)	RK (%)	Su Muh.(%)	RK (%)	Su Muh.(%)	RK (%)
1+725	11,40	98,00				
1+825			7,30	102,00		
1+885					9,20	96,00
1+675					10,60	99,00
1+500			11,30	99,00		
1+600	10,60	102,00				
1+400					12,80	98,00
1+325			14,00	100,00		
1+275	11,88	102,00				

Arazi CBR Deneyleri

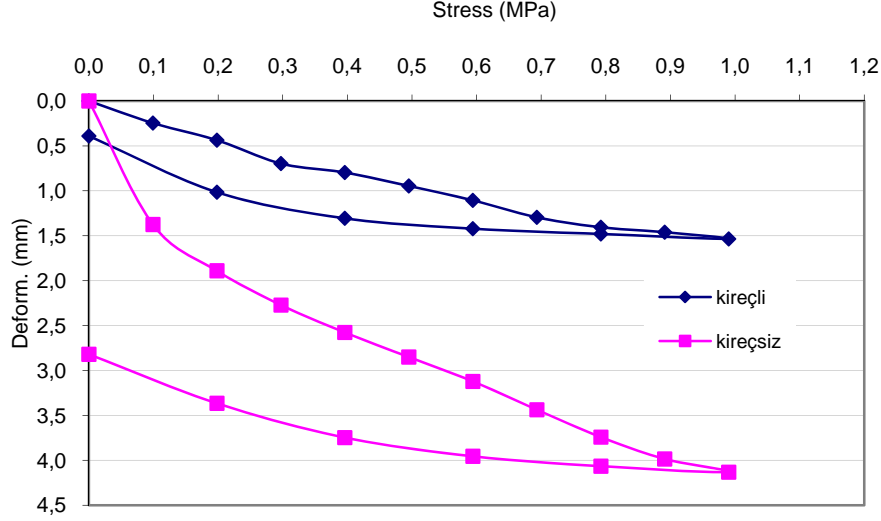
Kırklareli yolunda kireç karıştırılarak yapılan dolgunun arazi CBR değeri 119 olarak bulunmuştur.

Plaka Yükleme Deneyleri

Plaka yükleme deneyleri ile kireç stabilizasyonunun etkileri incelenmiş bu sonuçlar Deney sonuçları aşağıda grafikler halinde verilmektedir. Plaka yükleme deneyleri kireçli tabaka üzerinden 28 gün sonra uygulanmıştır.

Kırklareli yolunda yapılan plaka yükleme deneyleri sonucunda ise kireçle iyileştirilen kısımda maksimum

deformasyon değeri 4,13mm, 28 gün sonunda kireçle iyileştirilen kısımda ise 1,67 mm olarak bulunmuştur. Kırklareli yolunda yapılan deneyler sonucunda ise kireçle iyileştirilen kısımda kalıcı deformasyon değeri 2,82 mm, 28 gün sonunda kireçle iyileştirilen 1,05 mm olarak bulunmuştur. Yapılan Plaka yükleme deneyleri sonucunda kireçsiz olan kısımda yatak katsayısı değeri 202373 kN/m³ iken, 28 gün sonunda kireçli kısımda yatak katsayısı 540667 kN/m³ olarak bulunmuştur.



Şekil 6. Kireçsiz ve kireçli ve Plaka yükleme deneylerinin karşılaştırılması

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

- Laboratuvarda yapılan zemin mekaniği deneyleri, Arazide yapılan plaka yükleme deneyleri ve arazide uygulamacıların gözlemlerine göre yapılan çalışmanın başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Bu çalışmadaki sonuçlar literatürde daha önceden yapılan çalışmalarla paralellik göstermektedir. Kireç stabilizasyonunun sadece killi zeminlerde değil içerisinde kil içeren stabilize malzemelerde de kullanılabilmesi yol altyapı çalışmalarında bir çok projenin çok daha ekonomik ve kaliteli yapılmasına imkan sağlayacaktır.
- Zemin killi bir zemin olmasına rağmen iyileştirme sonucunda özellikle yaş CBR değerlerinde

keskin artışlar gözlenmiştir. Bu değerler %5'lerden % 120 gibi çok yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu çalışmada yol kesit dizaynıyla ilgili bir çalışma yapılmamasına karşın yüksek CBR değerlerinin yol kesitini küçülterek ekonomi sağlayacaktır.

- Bu çalışmada taşıma gücü düşük ariyet ocağı malzemesi kireç stabilizasyonu ile iyileştirilerek uygun hale getirilerek kullanılmıştır. Bu çalışma dışında taban zemini killi bir zemin olduğu durumlarda da kazı ve dolguya gerek kalmadan tabanda bulunan düşük kalitedeki zemin kireç stabilizasyonu ile zemini iyileştirilerek kullanılabilir.
- Plaka yükleme deneyleri sonucunda bulunan kalıcı deformasyonların azlığı ve yüksek

yatak katsayıları zeminin trafik altında da deformasyonlarının son derece az olacağını göstermektedir.

- Kireç stabilizasyonu uygulamasında dünyada yaygın olarak kullanılan parçalayıcı ve kireç serme makinası gibi özel ekipmanlar kullanılmamasına rağmen yapılan çalışmanın son derece başarılı olduğu gözlenmiştir.
- Kireç Stabilizasyonu yapılan yolun üst tabakalarının yapılarak üst kaplamayla kapatılması gerekli deneylerin yapılması ve yolun kısa

sürede tamamlanması gibi bütün dolgu çalışmalarında olduğu gibi önemlidir.

- Bu çalışmalar sonrasında Karayolları araştırma dairesi başkanlığı elde edilen bilgi ve tecrübe ile dünyadaki kireç uygulamalarını da göz önüne alarak kireç stabilizasyonu şartnamesini hazırlamışlardır. Bu çalışma Karayolu Teknik Şartnamesinde (2006) yayımlanmıştır

KAYNAKLAR

- Broderick, G.P., Daniel, D.,(1990), "Stabilizing Compacted Clay Against Chemical Attack", ASCE, Journal of Geotechnical Engineering Division, Vol. 116, No. 10
- 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., (1966), "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
- 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