

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MADEN İŞLETMELERİNDE NAKLİYE YOLLARININ  
STABİLİZASYONU**

**Tuna HUNTÜRK**

**Şubat, 2007**

**İZMİR**

# **MADEN İŞLETMELERİNDE NAKLİYE YOLLARININ STABİLİZASYONU**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme Anabilim Dalı**

**Tuna HUNTÜRK**

**Şubat, 2007**

**İZMİR**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ÖĞRENCİ ADI, tarafından DANIŞMANIN ADI VE ÜNVANI yönetiminde hazırlanan “TEZİN BAŞLIĞI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....  
-----  
Danışman

.....  
-----  
Jüri Üyesi

.....  
-----  
Jüri Üyesi

-----  
Prof.Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Projemin hazırlanması sırasında bana her türlü desteği ve ilgiyi sağlayan hocam, Sayın Yrd. Doğ. Dr. Bayram Kahraman'a ve eőim Sayın Avukat Begüm Taner Huntürk'e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tuna HUNTÜRK

## MADEN İŞLETMELERİNDE NAKLİYE YOLLARININ STABİLİZASYONU

### ÖZ

Madencilikte yol ve iş makinası bakım maliyetleri tüm madencilik giderleri içerisinde oldukça fazla yer tutmaktadır. Özellikle açık ocaklarda çalışan ağır yük kamyonları yolları oldukça yıpratmakta ve sürekli olarak yol ve iş makinası bakımını gerektirmektedir. Bu çalışmada da yolların daha az zarar göyerek hem yol hemde araçların tamir bakım masraflarının azaltılması amacı ile yolların stabilizasyonu konu alınmıştır. Yıllardır dünyada uygulanan kireç ve çimento stabilizasyon yöntemleri irdelenerek toprakla olan ilişkileri değerlendirilip örnek bir işletmede uygulamaları yapılmıştır. Uygulamalar için ve uygulamalar sonrası gerekli deneyler yapılmış ve sonuçlar gözlemlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Stabilizasyon, kireç, beton, nakliye yolları, proktor, CBR, likid limit

# **STABILIZATION OF HOULAGE ROADS in MINING OPERATIONS**

## **ABSTRACT**

Maintenance costs of mine haulage roads and machines are very large amount of all mining costs. Especially heavy trucks in open pit mines gives very much damage to the roads. Thus the roads and trucks needs maintenance regularly. This thesis includes stabilization of roads for minumun damage and minumum operation cost. The thesis research the lime and cement stabilization that used in the world for many years. The tests for stabilization and test after stabilization was put into practice.

**Keywords:** Stabilization, lime, cement, liquid limid, proctor, CBR, haulage roads

## İÇİNDEKİLER

TEZ SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
<b>BÖLÜM BİR – GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>BÖLÜM İKİ - NAKLİYAT YOLU YAPI MALZEMELERİ .....</b>	<b>2</b>
2.1 GİRİŞ .....	2
2.2 Tasarım Yaklaşımı .....	2
2.3 Yapı Malzemeleri .....	3
2.4 Sonuçlar.....	4
<b>BÖLÜM ÜÇ - KİREÇ STABİLİZASYONU VE MEKANİZMASI .....</b>	<b>5</b>
3.1 GİRİŞ .....	5
3.2 Kimyasal Olaylar.....	6
3.2 Toprak + Kireç Karışımlarında Fiziksel Olaylar.....	7
3.3 Sonuçlar.....	16
<b>BÖLÜM DÖRT - ZEMİN ETÜDÜ, DENEYLER İÇİN NUMUNLERİN ALINMASI VE LABORATUVAR DENEYLERİ.....</b>	<b>20</b>
4.1 Zemin Etüdü Ve Deneyler İçin Numunelerin Alınması.....	20
4.2 Mevcut Bir Yolun Zemin Etüdü.....	21
4.3 Numune Alınması .....	24
4.4 Numunelere Uygulanması Gereken Standart Deneyler .....	25
4.4.1 Laboratuvar Deneyleri İçin Kirecin Hazırlanması : .....	26
4.5 Kireçle Stabilize Edilen Toprak Karışımlarında Kireç Miktarının Tayini.....	28
4.5.2 E.D.T.A. Metodu-Metodun Prensipleri.....	29

4.5.2.1 İnce Taneli Toprak Ve Toprak+Kireç Karışımlarının Asit Ekstrakt'larının Hazırlanması.....	35
4.5.2.2 Orta Taneli Topraklar Ve Yahut Toprak + Kireç Karışımlarının Asit Ekstrakt'larının Hazırlanması:.....	35
4.5.2.3 İri Taneli Topraklar Ve Toprak—Kireç Karışımlarının Asit Ekstrakt'larının Hazırlanması.....	35
4.5.2.4 Kirecin Asit Ekstrakt'in Hazırlanması.....	36
<b>BÖLÜM BEŞ - KİREÇ STABİLİZASYONUNUN ARAZİ TATBİKATI.....</b>	<b>39</b>
5.1 Arazide Kireç Stabilizasyonunun Tatbik Şekilleri:.....	42
5.1.1 Yolda Kanştırma Usulü.....	42
5.1.1.1 İrtifa Ve Eğime Göre Yolun Tesviye Edilmesi.....	42
5.1.1.2 Toprağa ilave edilecek kireç miktarının hesaplanması .....	45
5.1.1.3 Kireci Toprağa kanştırma işlemi .....	49
5.1.1.3.1 Greyder Vasıtası İle Karıştırma İşleminin Yapılması.....	49
5.1.1.3.2 Polymixer veya daha modern karıştırma makinalarıyla karıştırma işleminin .....	50
5.1.2 Sabit Tesislerde Karıştırma Usulü.....	55
5.1.2.1 Toprak Ocaklarının Tesbiti.....	57
5.1.2.2 Sabit Tesislerin Kurulması .....	58
5.1.2.3 Tesislerde Kontrol Çalışmalarının Yapılması : .....	58
5.2 Toprak+Kireç karışımlarının Yeniden İşlenmesi.....	67
5.3 Toprakların Kireçle Stabilizasyonuna Ait Sınırlandırmalar.....	68
5.4 Arazi Tatbikatı ile İlgili Genel Sonuçlar .....	71
5.5 Arazi Kontrol Deneyleri.....	74
5.5.1 Toprak + Kireç Karışımlarının Kalite Kontrolüne Ait Deney Usulleri .....	75
5.5.1.2 Toprak + Kireç Karışımlarında Kalınlık Tayini İçin Hali Hazırdaki Bilgi Ve Usuller .....	76



5.5.1.2.1 Yolun İrtifa Ve Eğime Göre Kontrolü .....	78
5.5.1.2.2 Stabilizasyona Tabi Tutulacak Toprak Sınıfının Kontrolü .....	78
5.5.1.2.3 Kireçteki Aktif Kireç Miktarının Tesbiti .....	79
5.6 Karıştırma Ve Rutubet Kontrolü .....	82
5.6.1 Karışımın İncelik (pulverizasyon) Kontrolü.....	82
5.6.2 Karışımın Uniform Olup Olmadığının Kontrolü .....	83
5.6.3 Mukavemet Deneyleri .....	84
5.6.4 Sıkıştırma ve Sıkıştırılmış Kalınlık Kontrolü.....	85
5.6.5 Kireç Stabilizasyonuna Tesir Eden Faktörler.....	85
5.6.5.1. Toprak Çeşidi:.....	86
5.6.5.2 Kireç Miktarı ve Kireç Çeşidine Göre Etkisi .....	87
5.6.5.3 Pulverizasyon ve Karıştırmanın Etkisi .....	89
5.6.5.4 Toprağın İçindeki Organik Madde Miktarının Etkisi .....	90
5.6.5.5 Sıcaklık Etkisi .....	90
5.6.5.6 Karbon Dioksitin Etkisi.....	91
5.6.5.7 Rutubet Miktarının Etkisi .....	91
5.6.5.8 Sıkıştırma ve Sıkıştırma Süresinin Etkisi.....	92
5.6.5.9 Kür Müddeti ve Kür Çeşidinin Etkisi : .....	94
5.6.5.10 Pozzolanik Reaksiyonu Hızlandırıcı Katkıların Tesiri.....	94
5.7 Kireç Stabilizasyonu Teknik Şartnamesi .....	95
5.7.1 Malzemeler.....	95
5.7.1.1 Stabilize Edilecek-İyileştirilecek Malzemeler .....	95
5.7.1.1.1 Su.....	95
5.7.1.1.2 Kireç .....	95
5.7.1.2 Stabilizasyon- İyileştirmede Kullanılacak Makinalar .....	96

5.7.2 Toprak-Kireç Karışımlarının Projelendirilmesi .....	97
5.7.2.1. Stabilize Edilecek- İyileştirilecek Malzemedden Numune Alımı .....	97
5.7.2.2 Malzemenin Sınıflandırılması .....	97
5.7.2.3 Organik Madde Miktarının Belirlenmesi .....	97
5.7.2.4 Sülfat İçeriğinin Belirlenmesi( TS 6170) .....	97
5.7.2.5 Metilen Mavi Değerinin Bulunması (TS EN 933-9).....	97
5.7.3 Proje Karışım Çalışması (Toprak-Kireç Karışım Oranının Belirlenmesi).....	97
5.7.3.1 Optimum Kireç Yüzdesinin Belirlenmesi İçin Yapılacak Ön Deneyler .....	97
5.7.3.2 Stabilize Edilecek- İyileştirilecek Malzemedde Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık ve Optimum Su İçeriğinin Bulunması (AASHTO T 99, AASHTO T180).....	98
5.7.3.3 CBR ve CBR Şişme Derecesinin Belirlenmesi (AASHTO T 193) .....	98
5.7.3.4 Stabilize Edilecek-İyileştirilecek Malzemelerin Atterberg Limitleri.....	99
5.7.3.5 Serbest Basınç ve Çekme Mukavemetleri (ASTM D 1633) .....	99
5.7.4 Arazi Uygulamaları .....	100
5.7.4.1 Stabilize Edilecek-İyileştirilecek Malzemenin Hazırlanması ve Doğal (Yerinde) Su İçeriğinin Belirlenmesi .....	100
5.7.4.2 Kirecin Taşınması, Depolanması .....	100
5.7.4.3 Dozaj, Kirecin Dökülmesi ve Bununla İlgili Kontrol .....	101
5.7.4.4 Malzemeyi Parçalama ve Karıştırma .....	102
5.7.4.5 Sıkıştırma İşlemi .....	102
5.7.4.6 Bağlantı Noktaları .....	102
5.7.4.7 Stabilizasyon Sonrası Yapılması Gereken Çalışmalar .....	103
5.7.5 Arazi Kontrolleri .....	103
5.7.5.1 Uygulama Sırasında Yapılması Gerekli Çalışmalar.....	106
5.7.5.1.1 Dolgularda İyileştirme Çalışmaları .....	106
5.7.5.1.2 Üstyapı Tabanı, Alttemel Stabilizasyon Çalışmaları .....	106

5.7.5.1.3 Deformasyon Modülünün Belirlenmesi .....	106
5.7.6 Stabilizasyonda İşçi Sağlığı ve Çevresel Etki .....	109
5.7.7 Kireç Stabilizasyonu İçin Labratuarda Bulunması Gerekenler Listesi .....	109
5.7.8 Dairesel Plakayla Çift Evreli Yükleme Testi Vasıtasıyla Md ve Md' Deformasyon modüllerinin Belirlenmesi.....	112
<b>BÖLÜM ALTI - KİREÇ STABİLİZASYONUNUN ÖRNEK UYGULAMASI.....</b>	<b>121</b>
6.1 16.04.2006 Tarihli Koza Altın A.Ş'nin Bergama Ovacıkta Altın İşletmesinde Kapalı Ocağa Giriş Yolunda Gerçekleştirilen Kireç Stabilizasyonu Uygulaması.....	121
6.2 07.07.2006 Tarihinde Koza Altın A.Ş.'nin Bergama Ovacık Altın İşletmesinde Açık İşletmede Gerçekleştirilen Kireç Stabilizasyonu Uygulaması.....	126
<b>BÖLÜM YEDİ - ÇİMENTO STABİLİZASYONU VE MEKANİZMASI.....</b>	<b>128</b>
7.1.1 Çimento ile Modifiye Edilmiş Toprak .....	134
7.1.2 Toprak - Çimento Karışımlarının Plâka Taşıma Değeri .....	134
7.1.3 Kaliforniya Taşıma Oran (CBR).....	135
7.1.4 Plâstisite İndeksi.....	135
7.1.5 Toprak - Çimento Karışımlarının Hacim Değişmesi Vasıfları .....	135
7.1.6 Durabilite (Sağlamlık).....	136
7.1.7 Toprak - Çimento Karışımlarının Optimum Rutubet Miktarı ve Maksimum Yoğunluğu.....	136
7.2 Toprak - Çimento Karışımlarının Fiziki Vasıflarına Tesir Eden Faktörler.....	137
7.2.1 Toprak .....	137
7.2.2 Çimento .....	138
7.2.3 Karışımın Rutubet Miktarı .....	139
7.2.4 Karışımın Derecesi.....	140
7.2.5 Sıkıştırma .....	141
7.2.6 Kür Süresi ve Yaşı.....	141
7.3 Çimento Karışımları İçin Laboratuvar Deneyleri .....	142

7.3.1 Sınıflandırma Deneyi .....	144
7.3.2 Kimyevî Toprak Deneyleri.....	144
7.3.3 Kompaksiyon (Standart Proktor) Deneyi .....	149
7.3.4 Basınç Mukavemeti Deneyi .....	151
7.3.5 Donma - Eritme ve Islatma - Kurutma Tecrübeleri .....	153
7.4 Arazî Kontrol Deneyleri.....	156
7.4.1 Rutubet Miktarının Tayini.....	157
7.4.2 Basınç Mukavemeti Deneyi .....	157
7.4.3 Toprak - Çimento Karışımının Arazi Yoğunluğu .....	157
7.4.4 Çimento Miktarının Tayini.....	158
7.5 Bakım .....	158
<b>BÖLÜM SEKİZ - SONUÇ .....</b>	<b>159</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>160</b>

## **BÖLÜM BİR GİRİŞ**

Gelişen dünyada hammadde ihtiyacının giderek artması madencilik sektörüne yapılan yatırımları da giderek arttırmaktadır. Madencilik sektörüne yapılan yatırımlar arttıkça şirketler arası rekabette gittikçe artmakta şirketler ise bu rekabet ortamından zarar görmemek için maliyetlerini düşürmek zorundadırlar. Madencilikte, özellikle açık işletmelerde nakliyat, üretim maliyetlerinin oldukça büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Kaldı ki bu oran kimi zaman %40-45'ler gibi çok yüksek seviyelere çıkabilmektedir. Ülkemizde açık işletmelerde nakliyat aracı genel olarak kolay tertip edilmesi, her türlü arazide uygulanabilmesi, başka ocaklara kolay uyumu, arıza anındaki düşük iş kaybı gibi nedenlerden dolayı damperli yük kamyonları ile yapılmaktadır. Ancak kamyonların işletme maliyetlerinin yüksekliği madenciler için her zaman çözülmesi gereken bir sorun olarak görülmektedir. Kamyonlar ve diğer lastik tekerlekli iş makineleri harcadıkları yakıtın yanında ocak yollarının sık sık bozulması sonucunda yüksek lastik maliyetleri ile karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca bu yolların tekrar tekrar düzeltilmesi de işletmelere fazladan maliyet bindirmektedir. Bu projenin amacı da madencilikte kullanılan lastik tekerlekli iş makinelerinin lastik giderlerinin ve bakım masraflarının azaltılması için yolların stabil hale getirilmesini sağlamaktır.

## BÖLÜM İKİ

### NAKLİYAT YOLU YAPI MALZEMELERİ

#### 2.1 Giriş

Maliyet ile ilgilenen birçok maden işletmecisi nakliyat yollarını o bölgede bulunan mevcut malzemeler ile inşa ederler. Bu da birçok sorunu arkasında getirir çünkü;

- 1-Zayıf malzemelerde, yol yüzeyi çökecek ve kamyonların geçişi zor olacaktır.
- 2-Yeterli kayanın serili olduğu yerlerde (uygun meyil ve yükseklikte kabuledilebilir bir yüzeyin serileceğinden farklı olarak) düzensiz ve sivri uçlu yüzey oluşabilir.

Her ikisi de azalan üretim ve artan yakıt, bakım ve tekerlek giderlerine sebep olur. Temel amaç, tekerlek yüklerinin yol tabanı (temel malzemeleri) üzerinde transferine izin veren döşeme veya bir yol yatağı inşa etmektedir. Öyle ki yol tabanının taşıma kapasitesi aşılmasın. Bu nedenle o bölgede bulunanlar da dahil olmak üzere inşaat malzemelerinin çok geniş bir menzilde kullanımına izin veren malzeme seçimi için klavuzlar ullanmak gerekir. Yol tabanı ve yol temeli malzemelerinin her ikisinde Kaliforniya Taşıma oranı testini (CBR) kullanarak değerlendirilebilir. Bu test sıkıştırılmış malzemelerin delinmeye karşı direncini ölçer.

#### 2.2 Tasarım Yaklaşımı

Esnek yol döşemeleri için geleneksel tasarım yöntemleri maden nakil yolları için genellikle uygun değildir. Çünkü bu yollar, aks yükleri 8 tondan daha az olan kamyonları taşıyabilirler. Maden kamyonlarının aks yükleri ise 55 tonu geçer. Madencilik te ara sıra hava alanı inşaatı kriterleri uygulanabilir fakat böyle yöntemleri madencilığe uygulamak oldukça zordur. Bu yüzden genellikle Kaufman ve Ault (1977) tarafından önerilen daha yeni bir yaklaşım tercih edilmektedir. Bu sistem öncelikli olarak CBR değerleri ve tekerlek yüklerini dikkate almaktadır. CBR değerleri taban, yol temeli ve yol döşeme malzemeleri için belirlenmelidir. Yol temeli veya yol döşemesi üç farklı tabakaya kadar çıkabilir, bunlar yüzey katı, temel katı ve alt temel katı olarak adlandırılır. Belirli durumlarda alt temel, hatta temel katı atılabilir. Maksimum tekerlek yükleri, imalatçı tarafından belirtilen aks yüklerinin her aksa düşen tekerlek sayısına bölünmesiyle hesaplanabilir. Birbiri ardına çift tekerleklerdeki teker yükleri %20 artırılır.

### 2.3 Yapı Malzemeleri

Nakliyat yollarında kullanılan malzemeler ve yapım sırasında mevcut yerel saha malzemeleri CBR değerlerine göre test edilmelidir. Değerlendirmeler gerekli miktarlara ve programlanan madencilik operasyonu içinde malzemelerin elverişliliğine göre yapılmalıdır. En uygun malzemeleri çalışmanın sonraki aşamalarında bulmak oldukça rastlanan bir şeydir. Miktarları tahmin ederken, özellikle malzemelerin maden sahasına dışarıdan getirildiği zamanlarda yol tabanı kalınlıkları, genişlikleri, uzunlukları ve gelecekteki yeni ayarlamalar öngörülmelidir. Yol tabanının çeşitli bölümleri farklı bir şekilde göz önünde bulundurulabilir.

**YOL TABANI:** Mümkün olduğu kadar uzak, düz bir yüzeye tevsî edilmelidir. Birçok açık ocakta yol yapımında kullanılan tek adım budur. Uygun malzemelerde yapılmış ve sert olmayan iklim koşullarındaki kısa ömürlü nakliyat yollarında sık sık yeniden düzeltmeler uygun iken, uzun ömürlü yollarda uygun değildir. Bununla birlikte nakliyat yolunun çok kısa ömür uzunlukları için doğal olarak oluşan malzemelerin taşınabilirliğine göre son zamanlarda geliştirilmiş nem koşul testi (Anon, 1982) referans alınarak değerlendirilebilir. 13'den daha büyük bir test değeri, toprakların, tekerlek izi vs. ye bağlı olarak kısa dönem sorunlar vereceğini işaret eder, GVW 100ton'u aşmadığı zaman. Daha ihtiyatlı mineral rezervleri ile çalışıldığında farklı taban malzemelerinin gittikçe arttığı görülmüştür.

**ALT YOL TABANI:** Alt yol genişliği yüzey ve tabaka genişliğini 24inçi geçmemelidir. Mümkün olan yerlerde 6dan 8 inc.e kadar sıkıştırılmış, o bölgede bulunan malzemelerden yapılmalıdır.

**TABAN KALINLIĞI:** Taban tabakaları için en uygun malzemeler yüksek CBR değerine sahip olan 4" boyutlarında kırılmış kayalar veya yüksek kaliteli çakıllardır. Ancak bunlar her zaman bulunan malzemeler değildir. Genellikle saha dışı kaynak araştırmaları gerektirir. Bağlayıcı ve birleştirici olarak bilinen bazı kimyasal katkı maddelerin (Sönmüş kireç, kalsiyum klorür, Çimento ve diğerleri) temel tabaka malzeme karakteristiklerinin geliştirilmesinde uygun olduğu saptanmıştır. Bu katkı maddelerinin etkinliği kimyasal uygunluğa bağlıdır.

**İŞLEYEN VEYA YÜZEY TABAKASI:** En iyi yüzey tabakaları, yük altında delinmeyen az tozlu, sert ve düz yüzeylerdir. Yüksek yapışma ve düşük hareket direnç katsayısı tercih edilir. En iyi yüzey malzemeleri yapım maliyetleri yüksek olmasına rağmen beton ve beton

malzemeleridir, ancak madencilikte yollar sürekli değiştiği için yapılan yolların beton veya asfaltlanması uygun değildir.

Sadece dikkatlice inşa edilmiş nakil yolları bakım,tekerlerk ve yakıt maliyetlerini düşürecek ve de üretim artmasına olanak sağlayan hız ve güvenliğe katkıda bulunacaktır. Nakliyat yolu yapımında malzeme araştırmasına harcanan para sağlıklı bir yatırımdır.

## 2.4 Sonuçlar

Ömrü çok kısıtlı, tekerlek yükleri hayli yüksek olan açık maden ocaklarının nakliyat yollarının yapımı birçok yönden normal otoyollardan farklıdır. (Atkinson ve Watson 1983).Otoyol mühendisliğindeki aynı temel ileler burada da uygulanır, fakat açık maden ocaklarında nakliyat yollarındaki ekonomik sorunlar, tasarım ömrü, yerleşimin sürekli değişmesi gibi etkenler farklı bir yaklaşımı gerektirir. Maden tasarımcısının, en kısa , en az dik ve kolaylıkla devredilebilen nakil yolları sağlamak için, rampaları, eski hurda köprüleri, yarıkları kullanarak yerleşimde sürekli bir yaratıcılığa ihtiyacı vardır.

Kamyon filolarına bağlı yüksek yatırımların yüksek kaliteli nakliyat yollarına gereksinim duymasının sebepleri:

- 1-Yüksek fakat güvenli kamyon hızları, maksimum üretim, bakım için az zaman harcama, sürücü hatalarının azalmasına bağlı olarak artan verimlilik.
- 2-Uzun tekerlek ömrü, azalmış tamir maliyetleri ve azalmış yakıt tüketimine bağlı azalmış işletme maliyeti.
- 3-Verimliliği etkileyen daha güvenli bir çalışma ortamı

Geçmişte, uygun olmayan nakliyat yollarının karlılığı azaltan temel nedenlerden biri olduğu anlaşılmıştır. Daha büyük ocaklara eğilim sürdükçe, daha büyük ekipmanlar kullanarak ekonomik ölçeklere ulaşmak eğilimi devam etmekte ve bu nedenle nakliyat yolu tasarımına olan gereksinim sürekli artmaktadır.

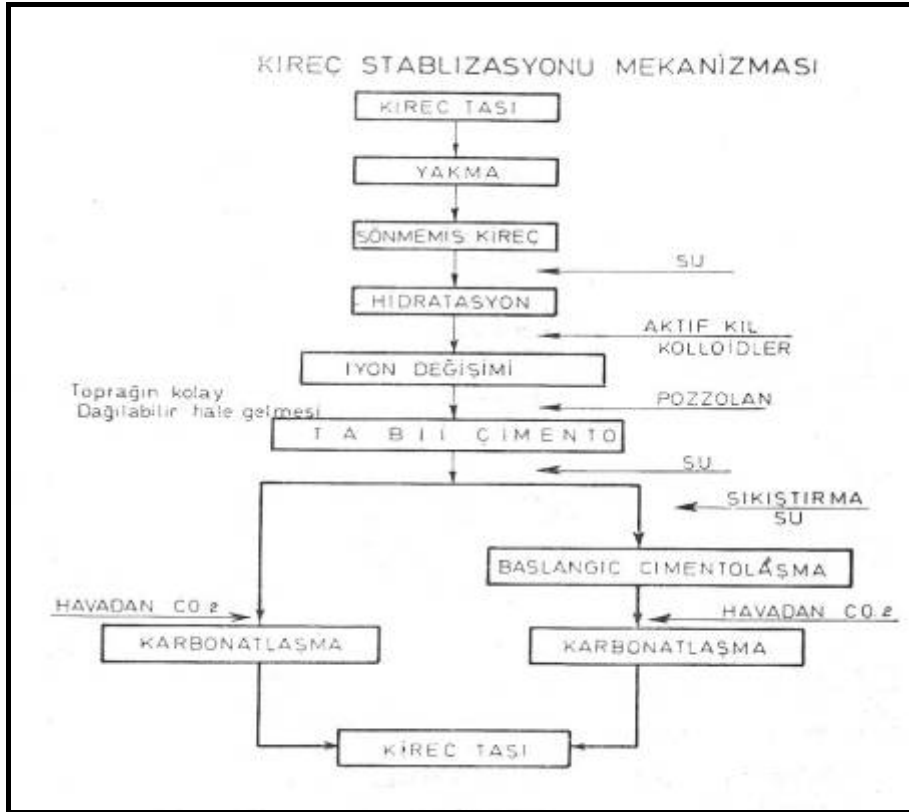


## BÖLÜM ÜÇ

### KİREÇ STABİLİZASYONU VE MEKANİZMASI

#### 3.1 GİRİŞ

Kireç stabilizasyonunun mekanizması aşağıda gösterilen şekilde oluşur: Kireç taşı veya Dolomit belli bir ısıda (Magnezyum karbonat 500 C°, Kalsiyum karbonat ise 900 C° nin üstünde) fırında yakıldığında kalker ve Dolomite parçalanma meydana gelerek Karbon Dioksit açığa çıkar ve geriye kalsiyum oksit veya Kalsiyum — Magnezyum Oksit (Sönmemiş kireç) kalır. Sönmemiş kirecin su ile muamelesinden Hidratasyon meydana gelir. Diğer bir deyimle sönmüş kireç meydana gelmektedir. Sönmüş kireç killi topraklarla muamele edildiğinde aktif kil (Kolloidlerle) iyonlan ile Kalsiyum iyonları arasında iyon alışverişi olur. Diğer taraftan, aynı zamanda killerin bir çoğu Pozzolan olduğundan Pozzolanik reaksiyon meydana gelir. Bu arada toprak kolay dağılıbilir bir hal alır. Pozzolanlar ile kirecin reaksiyona girmesi neticesinde tabii çimento meydana gelmiş olur. Tabii çimento maddesi belirli bir rutubette sıkıştırılır ve ilk sertleşme başlar.(Şekil 1) (Atanur, 1973 S.19)



Şekil 1. Kireç Stabilizasyonunun Mekanizması (Atanur, A, 1973 s.20)

Ortamda kalan Kalsiyum ve Magnezyum hidroksit gurubu ve başlangıçtaki çimentolaşmada meydana gelen kalsiyum oksit ile havadaki karbon dioksit birleşerek karbonatlaşma olur ve bunun neticesinde kireçtaşı meydana gelir.

Toprak — Kireç stabilizasyonunda kimyasal ve fiziksel olmak üzere iki olay meydana gelmektedir. Bunları ayrı ayrı inceleyelim :

### 3.2 Kimyasal Olaylar

Toprak — Kireç stabilizasyonunda aşağıdaki üç kimyasal olay meydana gelmektedir.

a) İyon alış verişi (İyon değişimi)

b) Çimentolaşma

c) Karbonatlaşma

a) İyon Değişimi : Rutubetle birlikte killi topraklara kireç ilave edilerek iyice karıştırılıp bir müddet (bir kaç saat) bekletildiğinde killi topraklar kolay dağılabilir. Siltimsi bir hal alır. Killi toprağın kireç ilâvesiyle siltli bir toprağa dönüşmesi aşağıdaki durumlardan ileri gelmektedir.

1 — Kil taneciğinin yüzeyindeki Sodyum ve Hidrojen gibi zayıf metalik iyonlarda kirecin kuvvetli kalsiyum iyonları (Pozitif yüklü) arasında iyon değişimi meydana gelir.

2 — Kil partikülleri kalsiyum katyonlarını yüzeylerinde tutarlar. Her ne kadar kil partikülleri üzerinde başka iyonlarda varsa da partikül yüzeyindeki kalsiyum katyonları hakim durumdadır.

Her iki olay da kil partiküllerinin yüzeyindeki elektrik yüklerinin sayısını değiştirmektedir. Kil partikülleri arasındaki yapışına iyonların yük ve büyüklüğüne bağlı olduğundan, tek değerli iyonların yerini alan iki değerli kalsiyum iyonları, kil partiküllerini birbirlerine çeker. Bu reaksiyon olurken killi toprağın plastisitesi düştüğü gibi, toprak daha gevşek bir hal alır. Karışım gevşek durumda iken kireçle toprak arasındaki kimyasal reaksiyon hızlı olur ve genellikle bir kaç gün sonra tamamlanır.

b) Çimentolaşma Olayı: Toprak — Kireç karışımlarında meydana gelen önemli reaksiyonlardan biri de çimentolaşmadır. Kireçte mevcut olan kalsiyum katyonu toprakta

mevcut olan Alüminyum ve Silisyum mineralleri ile reaksiyona girerek kalsiyum Aluminat ve kalsiyum silikatlar meydana getirirler. Meydana gelen bu bileşikler çimentonun hidretasyonundan meydana gelen bileşiklere benzer. Bu reaksiyona çimentolaşma olayı denir.

Toprak içindeki çimentolaşmayı meydana getiren minerallere pozzolanlar denir. Çimentolaşmayı pozzolanın tipi, miktarı ve kirecin aktivitesi etkiler.

Toprağın içinde arzu edilen miktarda Pozzolan mevcut değilse, suni pozzolanlar (Uçucu kül) ilave etmek suretiyle çimentolaşmanın olması sağlanır. Killerin bir kısmı (Montmorillonit) esasen Pozzolanik olup, kireçle çimentolaşma yaparlar. Bir kısım killerde tabii pozzolanik hassasiyeti mevcut değildir. (Kaolin, İllit, Klorit killerinde olduğu gibi.)

Toprak + Kireç karışımında çimentolaşmanın olabilmesi için Portland çimentosuna nazaran daha fazla zamana ihtiyaç vardır. Diğer taraftan çimentolaşmanın iyi olabilmesi için toprak + kireç karışımının tespit edilen rutubette ve arzu edilen yoğunlukta sıkıştırılması gereklidir. Aksi takdirde kifayetli çimentolaşma olmaz.

c) Karbonatlaşma: Kirecin mühim reaksiyonlarından üçüncüsü havadan karbon dioksit emmesidir. Karbon dioksit kalsiyum karbonat teşkil etmek üzere kalsiyum Hidroksit ile reaksiyona girer.

Toprak + Kireç karışımında kalsiyum karbonatın meydana gelmesi çimentolaşma olayını etkilediği gibi pozzolanik reaksiyona mani olur ve toprak + kireç karışımlarının normal mukavemet kazanmalarını önler. Diğer bir deyimle Karbonatlaşma olayı ne kadar fazla olursa karışımın mukavemet kazanması o nispette azalır.

Karbonatlaşma olayını önlemek için fabrika veya kireç ocaklarından alınan kireç derhal inşaat yerine getirilmeli ve söndürülmemiş ise söndürülerek, hemen toprağa karıştırılmak suretiyle stabilizasyon işlemine başlanmalıdır. Karbonatlaşma olayı, karbon dioksit miktarı fazla olan sanayi bölgelerinde daha süratli olur. (Atanur, 1973 s.21)

### **3.2 Toprak + Kireç Karışımlarında Fiziksel Olaylar**

Toprak + Kireç karışımlarında aşağıdaki olaylara rastlanmaktadır.

1 — Topaklanma (Flocculation)

- 2 — Plastisite indeksinde düşüş.
- 3 — Hacim değişimi
- 4 — Optimum rutubette yükseliş ve kaba yoğunlukta düşüş
- 5 — Stabilite artması,
- 6 — Toprak kireç karışımının uzun ömürlü olması (Süreklilik)
- 7 — Tabii rutubette artma ve boşluk basıncından azalma.
- 8 — Don ve rutubete karşı mukavemet (Dayanıklılık üzerinde tesiri)

a) Topaklanma:

İnce taneli topraklara (Killere) kireç ilave edildiği zaman ilk meydana gelen fiziki değişimlerden biri kil taneciklerinin topaklanmasıdır. Neticede; ince taneli killi topraklara kireç ilavesi ile iri taneli ve gevrek bir toprak meydana gelir. Buna misal olarak: İnce taneli killi bir toprağa % 10 kireç ilave edildiğinde ve 14 günlük külden sonra toprakta büyük değişiklikler olur ve bu toprak elek analizi neticesinde lem olarak tasnif edilir. Aynı toprak-kireç karışımı 240 günlük bir külden sonra kum şekline dönüşür.

Diğer bir örnekte A-7-6 sınıfından bir toprağın % 6 kireç ilâvesinden ve 14 günlük külden sonra A-4 sınıfına dönüştüğü tespit edilmiştir. Yukarıda tespit ettiğimiz esaslara göre, killi topraklara kireç ilave edildiğinde topaklaşmadan (Kümeleşmeden) dolayı tane çapı büyümekte, böylece yol yapımına elverişli olmayan killi topraklar kullanılabilir duruma gelmektedir. Topraklanma neticesinde meydana gelen iri tanecikler ıslatıldıktan sonra dahi uzun bir süre vasıflarını muhafaza etmektedirler.

Topaklanma, toprağın cinsine göre değişmektedir. Topaklanma killi topraklara nazaran siltli, kumlu topraklarda daha az olmaktadır. Buda göstermektedir ki, kirecin tane dağılımı üzerindeki etkisi daha fazla killi topraklarda olmaktadır. Topaklaşma, ilave edilen kireç miktarının artması ile orantılı olarak yükselmektedir. Diğer taraftan topaklaşma üzerine etki yapan başka bir faktörde kirecin özelliğidir. Sönmemiş kireç sönmüş kirece nazaran daha etkilidir. Kirecin toprağın fiziki ve tane dağılımı üzerindeki etkisini tespit için killi toprağa %

1, 3, 6 ve 10 oranında kireç ilave edilerek karıştırma işlemi yapıldıktan bir saat 2 ve 14 ve 240 gün sonra elek analizine tabi tutulmuştur. Kür müddeti ve ilave edilen kireç miktarlarının artması ile topaklanma neticesinde tane boyutunda büyüme meydana gelmektedir. Çoğu hallerde, ince kil tanecikleri 0.074 mm. elekten geçenlerden daha büyük tanecikler halinde topaklanmış ve 0.074 mm. elek üzerinde kalan malzemenin miktarı artmıştır.

Kür müddetinin ve ilave edilen kireç miktarının artması ile 0.06 mm. den geçen yüzde miktarları azalmaktadır. 0.06 mm. den %87 geçen lős, % 5 kireç ilâvesi ile 7 günlük kürden sonra 0.06 mm. elekten % 59 geçmektedir.

b) Plastisite İndeksinde Düşüş :

Yol inşaatında kullanılacak toprakların veya Agregaların muayyen kohezyonda olması icap etmektedir. Diğer bir deyimle yol inşaatında kullanılacak malzemelerin plastisite indeksleri muayyen limitler dahi zinde olmalıdır. Tabiatta mevcut toprakların plastisite indekslerine arzu ettiğimi limite nadiren rastlanmaktadır. Umumiyetle toprakların plastisite indeksi düşük veya çok yüksek olmaktadır. Bu gibi hallerde plastisitesi yüksek olan topraklar plastisitesi düşük topraklardan belli oranlarda karıştırmak suretiyle plastisite indeksleri arzu edilen limite indirilebilir. Fakat birçok hallerde Granülometri bakımından böyle bir işlem elverişli olmayabilirler. Bazen muayyen nispette kum ilâvesi ile de arzu edilen plastisite indeksi elde edilebilir. Plastisite indeksini düşürmenin başka bir yolu da toprağa kireç veya çimento gibi maddeler katmaktır. Bu gibi hallerde toprağın plastisite indeksi düştüğü gibi toprakların taşıma güçleri ve dona karşı mukavemetleri de artmaktadır. Kireç hem toprağın plastik limitine hem de likit limitine tesir etmektedir. Toprağa kireç ilave edildiğinde likit limitte düşüş, plastik limitte ise yükseliş meydana gelmektedir.

Plastik limitini yükselmesi ve likit limitin düşmesi toprağın plastisite indeksini azaltmaktadır. İlâve edilen kireç miktarının arttırılması ile likit limitin düşmesi bazı topraklarda görülmeyebilir. Çok plastik topraklara kireç ilavesiyle likit limit düşmekte, az plastik veya plastik olmayan topraklarda ise likit limit artmaktadır. Az miktarda kireç ilâvesi ile likit limitteki artış hızı, plastik limitteki artış hızından fazladır. Neticede plastisite indeksi düşmektedir.

Plastisite indeksi yüksek olan topraklara az miktarda kireç ilave edildiğinde plastisite indeksinde % 50-80 arasında bir düşüş meydana geldiği tespit edilmiştir. Buna bariz bir örnek verelim: Likit limiti 51, Plastisite indeksi 30 olan bir killi toprağa % 6 kireç ilave edildiğinde N. P. hale gelmiştir. Topraklara kireç ilâvesi ile plastisite indeksinde meydana gelen düşüşler, toprağın cinsine, ilave edilen kireç miktarına, kirecin çeşidine, kirecin toprakla reaksiyona girme süresine de bağlıdır. Şöyle ki: Toprağa kireç ilave edildikten sonra, ilk bir kaç saat içinde genel olarak plastisite indeksinde önemli bir azalma kaydedilir. 2-3 gün sonra toprağın plastisite indeksinde hemen hemen bütün değişimler vuku bulmuş olur. Daha uzun müddet bekletildiğinde plastisite indeksinde genellikle daha fazla bir düşüş görülmektedir. Ancak bu düşüş ilk birkaç saat içinde vuku bulana nazaran çok azdır.

Kireç çeşidinin etkisine gelince; sönmemiş kireçte sönmüş kirece nazaran plastisite indeksindeki düşüş daha hızlı olmaktadır. Plastik toprakların, plastisite indeksini düşürmek için artık kireç kullanıldığı takdirde toprağın plastisite indeksi düşer. Fakat plastisite indeksinin düşmesi için diğer kireç tiplerine nazaran uzun bir zamana ihtiyaç vardır.

#### c) Hacim Değişimi:

Killi topraklara kireç ilave edildiği zaman hacim değişimlerinde azalma olmaktadır. İlave edilen kirecin tesiri ile büzülme limiti artar ve büzülme oranı azalır. Neticede de toprağın hacim değişmesinde azalma meydana gelir.

Toprağa kireç ilavesi ile hacim değişmesi hususunda araştırma yapan bilginlerin vardıkları neticeleri inceleyelim.

Lund ve Ramsey'e göre; killi topraklara kireç ilave edildiğinde hacim değişimlerinde şiddetli bir azalış meydana gelmektedir. Bu durum kireç ilâvesinden sonra ilk saatler içinde oluyor. Toprakta hacim değişmesinin azalmasının maksimuma varması için % 3 kireç kâfi geldiğini ileri sürmektedirler.

Wolfe ve Allen'in çalışmalarından yukarıda verilen neticelere benzer sonuçlar elde edilmiştir. Çeşitli yüzdelerde kireç ilâvesi ile topraklarda meydana gelen hacim değişimleridir.

#### d) Optimum Rutubette yükseliş ve maksimum kaba yoğunlukta düşüş:

Aynı enerji ile sıkıştırıldığında Toprak + Kireç karışımı kireçsiz olan orijinal topraktan daha düşük yoğunlukta sıkışmaktadır. Toprağa ilave edilen kireç yüzde miktarı arttıkça maksimum kuru kaba yoğunluklarda düşüş o nispette fazla olur. Topraklara kireç ilavesi ile kuru kaba yoğunluklardaki düşüş çoğu topraklarda ortalama % 2,5 civarındadır. Mikaşistli, siltli topraklarda % 5 kireç ilave edildiğinde, kuru kaba yoğunluklardaki düşüş % 4 kadar olabilir. Umumiyetle toprağa kireç ilave edildiği zaman maksimum kuru kaba yoğunluklarında düşüş ve optimum rutubet yüzdelerinde ise yükseliş meydana gelmektedir. Rutubet yüzde miktarlarındaki ilk artış küçük yüzdelerde kireç ilave edildiği zaman daha da etkilidir. Şöyle ki: % 2-3 kireç ilave edildiği zaman (% 12-15 optimum rutubet miktarlarında büyük bir artış meydana geldikten sonra, ilave edilen kireç yüzde miktarları optimum rutubette hafif artışlar meydana getirir. Şöyle ki: %5 kireç ilavesi ile elde edilen optimum rutubetteki yükseliş ile % 7 kireç ilavesi ile elde edilen optimum rutubetteki yükseliş arasındaki fark az olur. Diğer taraftan optimum rutubetlerdeki yükseliş toprağa ilave edilen kireç tipine de bağlıdır. Genellikle sönmemiş kireç ilave edildiğinde sönmüş kirece nazaran daha yüksek optimum rutubet yüzdesi elde edilir. Kireç çeşidinin maksimum kuru kaba yoğunluğu kayda değer bir şekilde etkilemediği anlaşılmaktadır. Aynı miktarda sönmüş veya sönmemiş kireç ile muamele görmüş toprakların maksimum kuru kaba yoğunluklarında hemen hemen bir farklılık görülmemiştir.

Toprak+Kireç karışımlarımda optimum rutubet fazla olmakla birlikte bu karışımlar, kireç ilave edilmeyen toprağa nazaran daha iyi sıkışabilmektedir. Dikkat edilecek diğer husus da kireç ilavesi ile toprağın kuru kesafeti her ne kadar düşmekte ise de, bundan toprak+kireç karışımının mukavemetinin düştüğü sanılmamalıdır. Bunu bir örnekle anlatalım: Kireç ilave edilmeyen 120 Lb/Ft<sup>3</sup> lik bir toprağın taşıma mukavemeti 5.6 Kg/Cm<sup>2</sup> iken, % 5 kireç ilavesi ile maksimum kuru kaba yoğunlukta düşüşler meydana gelmiş, serbest basınç mukavemet değeri ise 9.9 Kg/Cm<sup>2</sup> ye yükselmiştir. Toprak+Kireç stabilizasyonuna, toprakta kabul ettiğimiz maksimum kuru kaba yoğunluğun artmasıyla toprağın mukavemetinde artış meydana gelir fikri uygulanmayacağıdır. Toprak+Kireç karışımları standart proktor enerjisinin üstünde bir enerji ile sıkıştırıldığında yüksek serbest basınç mukavemetine sahip olurlar.

e) Stabilitenin Artması :

Toprak+Kireç karışımlarının mukavemetini değerlendirmek için serbest basınç, Kaliforniya taşıma oranı (CBR), Hveem Stabilometresi, üç eksenli basınç mukavemeti, penetrasyon iğnesi deneyleri yapılmaktadır. Bu değişik deneylerle elde edilen sonuçlardaki eğilim, genellikle birbirlerine benzerler. Şöyle ki; Stabilize edilmiş toprak serbest basınç mukavemet deneyleriyle bir mukavemet artışı gösteriyorsa, CBR deneyinde de artış göstermektedir. Bununla beraber mukavemet değerlerinin büyüklüğünde vaki olan artış yüzdesi deney metotlarına göre önemli ölçüde değişmektedir. Bir mukavemet deneyi, belli bir mukavemet değişmesi gösterdiği zaman aynı şartlarda aynı toprak için yapılan başka bir deney ondan daha az veya fazla bir değişim gösterebilir.

Birçok stabilize edici maddelerden farklı olarak, kireç stabilizasyonuna tabi tutulan bir toprak bütün şartlar altında maksimum bir mukavemet meydana getirecek bir optimum kireç yüzde miktarı vermeyebilir. Genellikle yapılan araştırmanın sonuçlarına göre toprak çeşidi ve kirece karşı toprağın Affinitesine (uygunluk derecesine) göre her toprağın bir optimum kireç yüzdesi vardır. Toprağın optimum kireç yüzdesi belli bir kür süresi için bulunmuştur. Değişik şartlarda değişik optimum kireç yüzdeleri tespit edilebilir. Şöyle ki: 7 günlük rutubet küründen sonra tespit edilen optimum kireç % 5 olarak tespit edilebilir. Aynı toprağa 28 gün açık havada kür edildiğinde, optimum kireç yüzdesi % 8 olarak bulunabilir.

Arzu edilen optimum kireç yüzde miktarını tespit etmek için ilk zamanlarda basınç mukavemet deneyleri kullanılmamıştır. Basınç mukavemet deneyleri toprak+kireç karışımlarında sertleşme meydana gelip gelmediğini, karışımlar üzerinde muhtelif faktörlerin etkisini görmek için kullanılmıştır. Toprak+Kireç karışımının mukavemetini etkileyen başlıca faktörlerden biri toprağa ilave edilen kireç yüzde miktarı, kireç çeşidi, toprak tipi, toprağın maksimum kuru kaba yoğunluğu, kür şekli ve kür müddetidir. Şimdi bu faktörleri ayrı ayrı inceleyelim :

- a) İlâve Edilen Kireç Miktarı: Toprak+Kireç stabilizasyonunda ilk ilave edilen kireç yüzdelerinde karışımda yüksek bir mukavemet artışı meydana gelir. Sonraki kireç ilaveleri ise mukavemette oldukça küçük artışlar yapmaktadır.



Araştırmacılarından bir grup kireç tipinin Toprak+Kireç karışımlarında mukavemet kazanmada etkili olduğunu ileri sürmektedirler. Bu araştırmacılara göre; killi topraklarda dolomitik kirecin kalsitik kirece nazaran mukavemet kazanması daha etkili olmaktadır. Yine yapılan araştırmalara göre aynı toprakta ve aynı şartlar altında Dolomatik ve kalsitik kireçlerden düşük yüzdelerde ilave edilerek aşağı yukarı aynı mukavemetler elde edilmiştir. Fakat daha yüksek kireç yüzdeleri ilave edildiğinde dolomatik kireçlerde kalsitik kireçlere nazaran daha yüksek mukavemetler elde edilmiştir. Diğer taraftan toprakların kireçle stabilizasyonlarında sönmemiş kirecin sönmüş kirece nazaran daha etkili olduğu anlaşılmıştır.

Toprak + Kireç karışımlarında tabii etkilere karşı dayanıklılığı (donma — çözülme ve ıslatma — kurutmaya karşı mukavemeti) laboratuarda meydana getirmek zor olduğundan bir problem teşkil eder.

Bu amaçla birçok değişik deneyler uygulanmıştır. Islatma — Kurutma ve donma — çözülme deneylerinde fırçalama işleminin yapılmaksızın 12 devreli ıslatma — Kurutma ve donma — çözülme devresinden sonra serbest basınç mukavemet deneyi yapmak suretiyle toprak + kireç karışımlarının dayanıklılığı tespitine çalışılmaktadır. Henüz toprak + kireç karışımlarında standart dayanıklılık deneyi yoktur. Deney şekli, kür müddeti, kür şekli araştırıcıya göre değişmektedir.

Dayanıklılık deneylerinin çoğu toprak+kireç karışımının servis kabiliyetini kesinlikle göstermediğinden fiili yol uygulamasında daha kesin sonuçlar veren bir deneye ihtiyaç vardır. Halen Yapılmakta olan araştırmaların arazi Performansını kesinlikle bildiren toprak+kireç karışımlarının deneyi hakkında dünyaca kabul edilen bir metoda götüreceği umulmaktadır. Her ne kadar dayanıklılığın değerlendirilmesine ait mevcut metotlar pek arzu edilen şekilde değilse de, bu metotlarla elde edilen sonuçlara göre Toprak+kireç karışımlarının muhtelif iklim şartlarına karşı mukavemeti, ilave edilen kireç miktarına, kür müddetine, kür şekline, sıkıştırma durumuna, kireç ve toprak cinslerine bağlıdır.

Kireç Miktarı: Yüksek kireç ihtiva eden toprak kireç karışımlarının dayanıklılık mukavemeti, az kireç ihtiva edenlere nazaran daha fazladır. Diğer bir deyimle topraklara ilave edilen kireç miktarlarının artması ile dayanıklılık mukavemeti de artmaktadır.

Bu durumu göz önünde tutan mühendisler az miktarda kireç ilavesi ile arzu edilen mukavemeti elde etseler dahi kireçle stabilizasyonunda en az %5 kireç ilâvesini tavsiye etmektedirler.

**Kür Süresi:** Toprak+Kireç karışımlarının dayanıklılık mukavemeti kür süresi ile ilgilidir. Kür süresinin artması ile dayanıklılıkta artmaktadır. Diğer taraf-tan karışımın dayanıklılığının artmasına tesir eden başka bir faktörde kür esnasındaki sıcaklıktır. Toprak+Kireç stabilizasyonunun arazide tatbikatı Sonbahar aylarının sonunda yapılmışsa ve ardından uzun bir kış devresi geliyorsa Toprak+ Kireç karışımı dayanıklılık bakımından öyle zayıf olur ki, daha ilk kış devresinde toprak+kireç karışımında bozulmalar meydana gelebilir. Bu husus göz önünde tutularak kireç stabilizasyonunun kür işleminin sıcak yaz aylarında yapılması arzu edilmektedir.

**Sıkıştırma:** Toprak+Kireç karışımlarının sıkıştırılmasında, enerji fazla tutulursa karışımın dayanıklılık mukavemeti de oranda artmaktadır.

**Kireç Tipleri:** Kireç tiplerinin toprak+kireç karışımlarının dayanıklılığı üzerindeki etkisi hakkında pek az bilgi mevcuttur. Bir araştırmacıya göre; aynı toprağa belirli yüzdelerde sönmüş ve sönmemiş, kireç ilavesi ile yapılan donma-çözülme ve ıslatma-kurutma deneylerinden elde edilen verilere göre, sönmemiş dolomitik kirecin sönmüş dolomitik kirece nazaran dayanıklılık üzerindeki etkisi fazla olmaktadır. Bununla beraber bu hususta elde edilen veriler o kadar sınırlıdır ki, diğer kireç tiplerinin dayanıklılık üzerindeki etkisi bilinmemekte ve kesin sonuçlar çıkarılamamaktadır. Toprak + Kireç stabilizasyonunda maksimum mukavemet bir optimum kireç yüzdesinde elde edilmektedir. Toprağa optimum kireç yüzdesinden daha fazla kireç ilave edildiğinde mukavemetler düşmektedir.

f) Toprak+Kireç karışımlarının uzun ömürlü olması (Süreklilik) :

Toprak+Kireç karışımları üzerinde yapılan arazi deneyleri mukavemetin zamanla arttığını göstermektedir. Bu maksatla arazi tatbikatı yapılan Toprak+Kireç karışımları üzerinde muayyen zamanlarda plaka taşıma deneyi yapmak suretiyle mukavemetlerde artış meydana gelip gelmediği kontrol edilmektedir. Toprak+ Kireç karışımları zamanla vasıflarında değişiklik yapmamaktadır. Diğer bir deyimle toprak+kireç karışımı, zamanla kireç ilave edilmeyen, toprağın vasfına dönmemektedir. Bundan dolayı toprak-kireç karışımı uzun

ömürlü sayılmaktadır. Plastisite indekslerinde az çok oynamalar olmakta ise de taşıma değerlerinde düşüş meydana gelmemektedir.

Toprak+Kireç karışımlarının uzun ömürlü olmasına tesir eden faktörler :

- a) Kirecin uygun miktarda ilave edilmesi. (Optimum kireç miktarı)
- b) Sıcak havada ve yeterli sürede kür edilmesi.
- c) Arzu edilen maksimum kuru kaba yoğunlukta sıkıştırılması,
- d) Kireç çeşidi ve toprak cinsidir.
- g) Tabii Rutubet ve Boşluk Basıncı :

Elde az miktarda mevcut bilgilere göre; killi topraklara ilave edilen kireç miktarının artmasına paralel olarak karışımın arazi rutubeti de artar. Killi topraklar sulandırılmakla kendi hacminin birkaç misli artarlar. Diğer bir deyimle bazı killi topraklar suyun etkisi altında çok fazla şişme göstermektedirler. Neticede de şişme basıncında pek fazla olur. Kireç ilavesi ile şişme basıncında bariz miktarda azalmalar meydana gelir.

Montmorillonitik killere % 8 kireç ilâvesi ile şişme basıncı her inc kareye 7 libreden 1 libreye düştüğü görülmüştür. Esasen killerin en kötü vasıflarından biri de sıkışmış ve kuru safhada oldukça iyi taşıma değerleri göstermesi, fazla su almaları neticesinde şişmeleri ve neticede de taşıma güçlerinin düşmesidir. Sıkıştırma ve ilave edilen kireç miktarlarına göre şişmede meydana gelen düşüşleri tespit için % 0-10 kadar kireç ilave edilen killi topraklar standart CBR kalıbında 10 Lb lik tokmak ile üç tabakada ve her tabakaya 10, 25 ve 55 darbe vurmak sureti ile sıkıştırıldıktan sonra su altında bırakılmak sureti ile şişme yüzdeleri tespit edilmiştir. İlave edilen kireç miktarının artması ile orantılı olarak şişme yüzdelerinde de düşmeler meydana gelmektedir.

- h) Don ve Rutubete karşı Mukavemet (Dayanıklılık)

Yol inşaatında kullanılacak toprakların donma — çözüme ve ıslatma — kurutma gibi tabii tesirlere karşı mukavim olması şarttır. Bu gibi iklim şartlarına mukavemet göstermeyen topraklarla teşkil edilen taban, alt temel, temel ve kaplama altı malzemeleri ilk ve sonbahar

yağmurlarının taban veya temel tabakasına işlemesi neticesinde, kısa bir zamanda topraklarda kabarmalar, şişmeler meydana geldiği gibi sıkışmalarında ve taşıma değerlerinde bariz bir düşüş görülür. Neticede de yolda kısa zamanda çökmeler ve dağılmalar meydana geldiğinden yol trafiğe geçit vermeyecek bir duruma dahi düşebilir. Kış aylarında sıcaklığın düşmesi neticesinde topraklar içindeki suda da donma meydana gelir. Donmadan meydana gelen genişleme basıncı altında bilhassa porozitesi yüksek olan malzemeler kolaylıkla dağılabilir. Ve ilkbahar aylarında meydana gelen sıcaklığın yükselmesi ile çözümler meydana gelir. Bundan dolayı yol inşaatında kullanılacak toprak + kireç karışımlarının donma — çözülme ve ıslatma — kurutma gibi tabii tesirlere karşı mukavim olması zorunludur. (Atanur, 1973 s.22)

### 3.3 Sonuçlar

Toprak+Kireç stabilizasyonunda Fiziko-Kimyasal olayları genellikle şu şekilde özetlenebilir. Killi topraklara kireç ilave edildiğinde killerin katyon değişimi, çimentolaşma ve karbonatlaşma meydana gelir. Fiziksel olaylar ise topraklanma (floculasyon) plastisite indeksinde düşüş, hacim değişimi, optimum rutubette yükseliş, maksimum kaba yoğunlukta düşüş, stabilite artması, toprak+ kireç karışımının uzun ömürlü olması, arazi rutubet eşdeğeri ve basınçta azalma, dayanıklılığın artması özellikleri olarak sayılabilir.

Toprakların kireçle ıslahı ve stabilizasyonu tespit edilen hudutlar dahilinde uygulandığında yol yapımında başarı ile kullanılabilir. Kirecin toprak üzerindeki etkisi arzu edilen reaksiyonlara ve fiziksel olaylara bağlı olup, toprağın cinsi ile yakından ilgilidir. Eğer toprağın plastisite indeksini düşürmek ve böylece onu daha kolay ufalanabilir ve işlenebilir bir hale getirmek için iyonik bir değişme isteniyorsa, toprağın orijinal olarak plastisite ortamında olması gerekir. Şayet, taşıma değerinin yükseltilmesi mevzu bahis ise toprak, orijinal olarak çimentolaşma etkisini meydana getirmek için kireç ile reaksiyona girecek gerekli kimyasal bileşimleri ihtiva etmelidir.

Genellikle plastisitesi yüksek killi topraklar kireçle daha büyük bir reaktiviteye sahiptirler ve kireç ilâvesiyle önemli derecede iyileşme olur. Bununla beraber, esasen düşük plastisiteye sahip bir toprağın plastisite indeksinin daha fazla düşürmede kireç pek etkili olmaz. Granüler malzemelerin kireçle stabilizasyonu güçtür. Granüler malzemelerin kireçle stabilizasyonu için belirli miktarda kil veya pozzolan (Uçucu kül, tuf) ilave etmek suretiyle başarılı bir stabilizasyon işlemi yapılabilir. Toprakların kireçle stabilizasyonunda genellikle herhangi bir

ticari kireç veya imalatta tali olarak elde edilen artık kireç kullanılabilir. Herhangi bir toprağın stabilizasyonunda her ne kadar birçok tipleri kullanılabilirse de kirecin belli bir tipi diğerinden daha etkili olabilir. Eğer iktisaden birden fazla kireç tipi bulabilmek kabilsen mevcut şartlar için hangisinin daha uygun olduğunu tayin etmek için bütün kireçler muayene edilmelidir. Gerekli görülen kirecin tam miktarı sadece kirecin cinsine göre değil aynı zamanda toprağın tipine ve diğer faktörlere göre değişir.

Genellikle, toprağa ilave edilen kireç miktarının artması karışımın mukavemet ve kalitesini de artırır. Kullanılan kirecin cinsi ve toprağın evsafı ne olursa olsun arzu edilen sonuçların elde edilebilmesi için en az % 3 kireç'e ihtiyaç vardır. Kirecin stabilizasyon malzemesi olarak kullanılmasında kür sıcaklığı da sınırlayıcı bir faktördür. Gereken mukavemeti ve dayanıklılığı elde etmek için toprak kireç karışımları bir süre ılık hatta sıcak sıcaklıkta kür edilmelidir. Bu husus sıcak mevsimlerde inşaat işleminin yapılmasını zaruri kılmaktadır. Sonbahar veya soğuk havalarda yapılan stabilizasyon işlemi yetersiz kür neticesinde daha ilk kış içinde bozulmalar meydana getirir.

Her ne kadar toprak-kireç karışımlarının özellikleri laboratuarda oldukça geniş bir şekilde etüt edilmişse de arazi çalışmalarına ait veriler azdır. Arazi verilerinin eksikliği o kadar ciddidir ki bu yüzden bazen yanlış sonuçlara varılmaktadır. Literatür çalışmalarından anlaşıldığına göre, ideal sıcaklık ve kür şartları altında laboratuvarında elde edilen mukavemetler arazide meydana gelen mukavemetlerden oldukça büyüktür. Diğer taraftan hali hazırdaki dayanıklılık deneylerinin toprak+kireç numuneleri üzerinde pek az etken olduğu görülmektedir. Birçok defalar mevcut laboratuvar deneyleri toprak+ kireç karışımları performansının arazide fiilen bulunandan daha zayıf olduğunu göstermiştir. Daha çok malumat elde edilinceye ve laboratuvar arazi sonuçları arasında tam bir bağlantı kuruluncaya kadar toprak+kireç karışımında kalınlık tayini işi ciddi olarak zorlaşmaktadır.

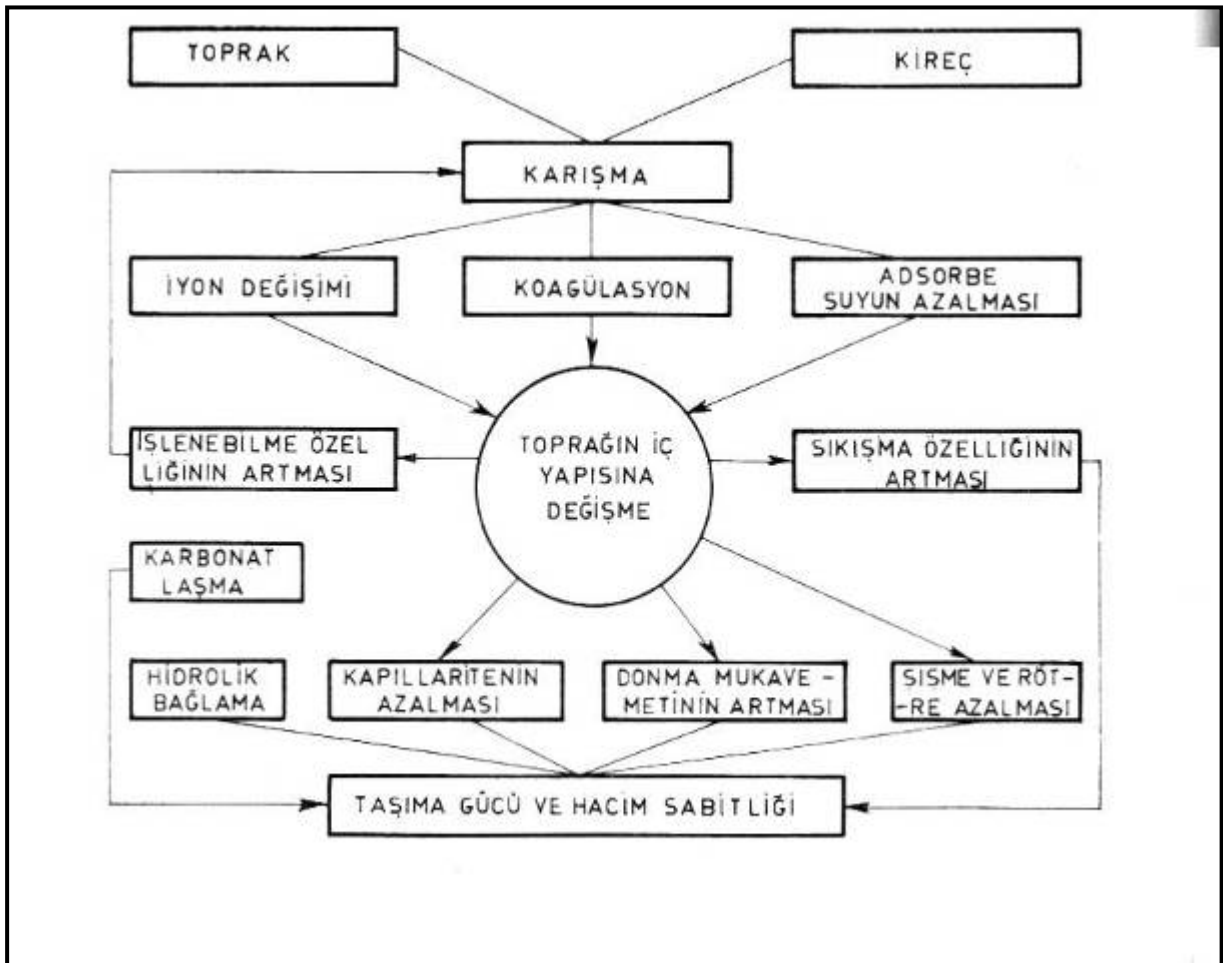
Özetlemek gerekirse; şimdiye kadar yapılan laboratuvar ve arazi çalışmalarına göre aşağıdaki sonuçları çıkarmak mümkündür :

1) Kireç, killi toprakların arzu edilmeyen özelliklerini ıslah etmek temayülü göstermektedir. Bu sayede killi topraklar daha kolay ufalanabilir hale gelmekte ve toprağın plastisite indeksi ile hacim değişimlerinde azalma olmaktadır.

- 2) Killi toprakların çoğunda kireç stabilizasyonu daha yüksek bir mukavemet ve daha büyük bir dayanıklılık veren bir çimentolaşma meydana getirmektedir.
- 3) Killi toprakların stabilizasyonunda en ekonomik ve en elverişlisi kireç stabilizasyonudur.
- 4) Kireç stabilizasyonu bütün topraklarda başarılı bir şekilde tatbik edilemez. Genel olarak plastisitesi yüksek olan killi topraklarda yapılır.
- 5) Plastik olmayan veya plastisitesi düşük olan toprakların çimentolaşmasını arttırmak maksadı ile Uçucu kül ve diğer Pozzolan maddeler ilave edilir.
- 6) Toprak+Kireç karışımlarında tatbik edilen deney metodlarının çoğunun karışımın mukavemet ve dayanıklılık özelliklerini tam olarak belirlemediği görülmektedir.
- 7) Bir toprağın ıslahı veya stabilizasyonu için gerekli kireç miktarı % 1-10 arasındadır. Fakat genellikle % 3 ten az kullanılmamaktadır.
- 8) Kirecin tamamen toprakla reaksiyona girmesi için kireç toprağa karıştırıldıktan sonra ve karışım nihai olarak sıkıştırılmadan önce bir rutubetli kür devresine ihtiyaç vardır.
- 9) Toprak+Kireç karışımları ne kadar çok sıkıştırılırsa mukavemeti de o nispette artar.
- 10) Toprak+Kireç karışımlarında sertleşme yavaş meydana geldiğinden karıştırma ve sıkıştırma için umumiyetle yeteri kadar zaman vardır.
- 11) Kireç ile işlem görmüş topraklar, tabii topraklara nazaran yağmurlardan daha az müteessir olurlar. Bu durum şantiyede yağmurdan sonra fazla beklemeden işe başlama imkanını vermektedir.
- 12) Toprak+Kireç karışımlarının mukavemet kazanmaları için yüksek bir sıcaklıkta uzun zaman kür'e tabi tutulması gerektirmektedir.
- 13) Toprak+Kireç stabilizasyonun arazi tatbikatı serin ve soğuk havalarda yapılmamalıdır. Çünkü arzu edilen mukavemet elde edilmediğinden çabuk bozulmalar meydana gelecektir.

Netice olarak arzu edilen rutubette (Optimum rutubette) Plastisitesi yüksek killi topraklara kireç ilave edilip karıştırma işleminden sonra karışımda iyon alış-verişi ve adsorbe suyunun

azalması meydana gelir. Bu suretle de toprağın iç yapısında değişimler olur. Toprakta meydana gelen bu değişim toprağın işlenebilirlik ve sıkıştırılabilirlik özelliğinin artması şeklinde kendini gösterir. Diğer taraftan karbonatlaşma ve çimentolaşma (Hidrolik bağlanma) gibi kimyasal olaylarda meydana gelir. Yukarıdaki Fiziko kimyasal değişiklikler neticesinde Kapilarita'nın azalması, dona karşı mukavemetinin artması, şişme ve büzülmenin azalması ve mukavemetin artması neticesinde taşıma gücü yüksek ve hacim değişmesi az olan toprak+kireç karışımı meydana gelir. (şekil 2)



Şekil 2. Kireç Stabilizasyonunun Mekanizması (Atanur A, 1973 s.40)

## BÖLÜM DÖRT

### ZEMİN ETÜDÜ, DENEYLER İÇİN NUMUNLERİN ALINMASI VE LABORATUVAR DENEYLERİ

#### 4.1 Zemin Etüdü Ve Deneyler İçin Numunelerin Alınması

Zemin etüdü, güzergâhın tayini ve projenin yapılmasında ilkel zemin etüdünün esasını teşkil eder. Ekonomik ve uygun bir yol yapılmasından evvel toprakların dağılımı ve yer altı su seviyesi hakkında bilgi edinmek zorunluluğu vardır.

Detaylı bir toprak etüdü aşağıda gösterilen hususlar hakkında lüzumlu birileri sağlar :

1. Yolun hem düşey ve hem de yatay mevkii
2. İmlâ ve taban toprağı olarak kullanılacak ariyet malzemesinin mevkî ve seçilmesi.
3. Zemin toprağında ıslahatın gerekip gerekmediğı, gerekiyorsa istenilen stabilizasyonun tipinin seçilmesi.
4. Temel ve aşınma tabakaları için gerekli mahalli malzeme ocaklarının yerlerinin ve malzeme miktarlarının tespiti.
5. Kaplama tipinin seçilmesi ve alt temel, temel, kaplama altı ve bitümlü kaplama kalınlığının tespiti.
6. Don derinliğı ve yağış miktarı hakkında bilgi edinmek.
7. Trafik durumu ve dingil ağırlığı hakkında bilgi edinmek.
8. Proje hazırlanırken, yapılması düşünölen yolun meydana gelebilmesi için yapılacak işlerin maliyeti ve inşaatın gerçeğe yakın maliyeti hakkında gerekli ön bilgilerin temini.
9. İnşaat esnasında arazide alınacak tedbirlerin tetkiki.
10. Yolun inşaatına imkan vermeyecek kadar mukavemetsiz veya kararsız zeminlerin vaktinden evvel ilgililere bildirilmesi.

Arazi etüdüne başlamadan evvel etüd edilecek mıntika hakkında arazi Mühendisi,



topografik haritalardan, hava fotoğraflarından, jeolojik haritalardan, Zirai toprak haritalarından istifade etmesi gerekir. Böylece etüdün kolay ve mükemmel yapılması temin edilmiş olur. (Atanur, 1973 s.40)

#### 4.2 Mevcut Bir Yolun Zemin Etüdü

Günden güne ağır trafiğin artması, yol standartlarının değiştirilmesini ve yol yapım tekniğinin bugünkü ağır trafiği taşıyabilecek şekilde geliştirilmesini zaruri kılmaktadır. Dünyanın her tarafında mevcut yolun takviye edilmesi gayesi ile zemin etüdü yapılmaktadır. Mevcut yolda zemin etüdü yapılmadan evvel, adı geçen yolun ilkel etüdü raporunun tetkik edilmesi, etüd işlerinin kolaylıkla yapılmasına yardımcı olur. Mevcut bir yolun zemin etüdünde aşağıdaki işlemler yapılmalıdır.

1. Mümkünse, ilkel etüdlere göre yolun röper noktalarının tespiti ve tespit edilen km. lere kazıklar çakmak suretiyle, şayet km. mevkillerinin bulunmasına imkan yoksa itibari mevkilere göre yeniden yolun km. durumunu tespit etmek.
2. Yolun en kesitlerine göre kotunda olup olmadığı her 50 m. de bir sıhhatli şekilde nivelman yapmak suretiyle kontrolü yapılmalıdır. Buna imkan yoksa, mühendis el nivosu ile yolun eski kotunda olup olmadığını kontrol edebilir.
3. Üst yapı tipi ve yol genişliği, trafik, yağış durumu ve don derinliği tespit edilmelidir. (Yağış miktarı ve don derinliği meteoroloji bültenlerinden, trafik durumu trafik veya Karayolları Genel Müdürlüğü Trafik Fen Heyeti Müdürlüğü'nden öğrenilebilir.)
4. Yukarıdaki işlemler yapıldıktan sonra yolun muayyen kesimlerinde mühendisin görüşüne ve yolun durumuna göre yol mihverinde ve yolun sağında ve solunda genişliğinde deneme çukurları açmak suretiyle etüde başlanır.

Yol malzemesinde aşağıdaki hususların tetkik edilmesine ihtiyaç vardır :

Malzemenin tabii rutubet yüzdesi

Standart veya modifiye proktor'a göre sıkışma yüzdesi arazideki yaş ve kuru CBR değerleri

Toprağın likit limiti

Toprağın Plastik limiti

Toprağın plastisite indeksi

Toprağın granülometrisi

Toprağın sınıfı

Mevcut stabilize malzemenin kalınlığı (cm.)

Tabii rutubet yüzdesi

Zemin standart veya modifiye proktora göre sıkışma yüzdesi laboratuvar kuru ve yaş CBR değerleri

Arazide yapılan zemin toprağının yaş ve kuru CBR değerleri zeminin likit limiti.

Plastisite indeksi

Sınıfı

Yaş CBR değerlerine göre hesap edilen kalınlık cm. olarak.

Grup indeksine göre veya diğer metoda göre bulunan kalınlık cm. olarak tespit edilmelidir.

Özel Problemler: Yeraltı su seviyesinin derinliği, bataklıkların etüdü, kaya kitlesinin mevkii ve yeraltı sızmalarının tayini yol etüdü sırasında umumiyetle özel problemler olarak incelenmelidir.

Yeraltı Su Seviyesi: Yeraltı su seviyesinin tespiti el burguları veya sondaj makinelerinin yardımı ile yapılır. İlk su seviyesinin etüdü el burguları ile yapılması, tabanda taban suyunun mevcut olup olmadığı hususunda bilgi verir. Taban suyu seviyesinin etüdü elburguları ile yapılamıyorsa sondaj makinesi kullanmak suretiyle taban suyunun seviyesi tespit edilmelidir. El burgusu veya sondaj makineleri ile açılan deney çukuru 12 ila 24 saat müddetle suyun son seviyesine gelip hakiki durumuna erişebilmesi için açık bırakılmalıdır. Yapılan sondaj içindeki/su basınç altında ise ve sondaj gözenekli bir tabaka üzerinde oturan geçirimsiz bir tabakada ise gerekirse özel bir drenaj istenilebilir ve arazinin detaylı bir etüdünün yapılması tavsiye edilir.

Serbest suyun mevcut olduğu bütün hallerde su durumunun miktarını ve yayılma sahasını tayin için ilave sondajlar yapılmalıdır. Elde edilen neticelerin profillere işlenmesi yerinde bir hareket olur. Zemin topraklarının altındaki benekli renk, değişken su seviyesinin tanınmasından (Bilhassa, eğer benekler kahverenginde, sarı veya pas renkleri ile karışan gri veya maviden meydana gelmişse) yardımcı olacaktır. Saz, söğüt, ılgın gibi özel bitki tipleri yüksek yeraltı su seviyesinin belirticileridir.

**Ana Kayalar:** Ana kayanın mevkiinin ve kotunun bulunması umumiyetle detaylı bir etüdün yapılmasını icap ettirmektedir. Bütün yol yarmalarında rastlanabilecek ana kayayı sıhhatli olarak bulmak için kafi miktarda sondaj yapılmalıdır. Ana kayanın ve ana kaya altındaki numuneler almak suretiyle, durumları ve üniformaluluğu incelenmelidir. Ana kayanın derinliği değişik olan yerlerde, derinliği kontrol için jeofizik metotlar kullanılabilir.

**Bataklık Etüdü:** Az derin (1.80 m. ye kadar) bataklıkların etüdünde el burgusu kullanılabilir ve bunun yardımıyla herhangi bir derinlikten numune alınabilir.

Sondajların mevki, karşılaşılan malzemenin tipi ve incelenen bataklığın derinliği ile değişir. Eğer bataklık uniformsa ve malzemede büyük değişmeler yoksa sondaj 30 m. ara ile yapılabilir. Normal bataklık durumlarda mihver boyunca her 15 metrede bir ve mihverin sağ ve solunda 3 m. aralıklarla yapılan sondajlar maksada kifayetlidir. Sondajlar yapılırken 120 cm. de bir numuneler alınmalıdır ve toprağın özelliklerinde bir değişme varsa geçişler profil çizimlerinde gösterilmelidir. Bataklığın geniş ve derin sondajların lüzumlu olduğu hallerde, profil üzerinde detaylı bir etüdün yapılmasına dair bir notun konulması doğru olur. Sel yatakları, küçük ovalar sazlık yerler muhtemel bir bataklık birikintisinin mevkiini tayin ederler. Havadan alınmış fotoğrafların incelenmesi kötü toprak şartlarını ihtiva eden yerlerin tanınmasında yardımcı olabilir. Turba ve bataklık birikintilerinin daimi çöküntülerle bir arada bulunmadığına, fakat aynı zamanda buzulların istilasında kalmış bölgelerde, tepe kenarlarında yahut eteklerinde ve fazla yağmur alan dağlık bölgelerde de bulunabileceğine dikkat edilmelidir.

Nihai taban etüdünde nelere dikkat edilmesi hususunda yukarıda bilgi verilmiştir. Laboratuvar deneylerinin yapılması için kafi miktarda numune almaya ve alınan numunelerin de temsili numuneler olmasına azami bir şekilde dikkat edilmesi gereken hususlardır.(Atanur 1973, s.44)

### 4.3 Numune Alınması

İlkel zemin etüdü numuneleri zemin toprağından, açık şeylerden veya sondaj kayıtlarına istinaden seçilen deney çukurlarından alınmalıdır. Mevcut yolda yapılan etütlerde ise deneylere yetecek miktarda temel malzemesinden, alt temel malzemesinden ve zemin toprağından temsili numuneler alınır. Şayet mevcut yol rodmixs, asfalt betonu ile kaplı ise ayrıca bunlardan da numune alınacak ve bitüm laboratuvarında bütün evsafaları tayin edilecektir. Alınan numunelerin temsili olması için deney esnasında çukurdan çıkarılan numuneler branda bezine konur ve branda bezinin karşılıklı kenarlarından tutmak ve karıştırmak suretiyle malzemenin iyice karışması temin edilir. Karıştırma işlemi bittikten sonra dörtleme suretiyle temsili numune alınır. Alınan numuneler önceden kararlaştırılmış deneylere kafi gelecek miktarda olmalıdır. Numunelerin nakli esnasında zayiata uğramaması ve granülometrisinde değışikliğın meydana gelmemesini temin için özel torbalara konur.

Numunelerin etiketlenmesi: Her numune için ayrı bir numara verilerek müstakil bir etiket doldurulur.

Etiketle aşağıdaki hususlar yazılmalıdır.

- 1 — Bölgesi
- 2 — Numune No. su
- 3 — Projenin (yolun) adı
- 4 — Numunenin alındığı yerin km. mevkii ve yolda alındığı yer
- 5 — Numunenin cinsi (taban toprağı, temel, alttemel, bitümlü kaplama)
- 6 — Numuneyi alan ve almış tarihi
- 7 — Numunenin ait olduğu laboratuvar (Toprak, bitüm, beton ve araş. Lab. gibi)
- 8 — Alınan numunenin miktarı (Kg veya torba sayısı)

Etiket üç parçadan ibaret olup, doldurulduktan sonra, bunlardan bir tanesi numune torbasının ağzına ipele bağlanır. İkinci parça numune torbasının içine konur. Üçüncü parça ise

etüdü yapan teknik elemanın yanında kalır. Numunelerin ait olduğu laboratuara verilmesi esnasında ilgili servise teknik eleman tarafından alınan etiket teslim edilir. Numunelerin muhafazası ve nakli oldukça mühimdir. Nakil esnasında torbaların yırtılmamasına ve yağmura maruz kalmamasına dikkat edilmelidir.

#### 4.4 Numunelere Uygulanması Gereken Standart Deneyler

Laboratuvarda ister toprakların sınıflandırılmasında ister kireç stabilizasyonu için ilave edilecek optimum kireç yüzde miktarının tespitinde olsun aşağıdaki standart deneylerin hepsi veya duruma göre bir kısmı yapılır.

Deneyin İsmi:

Numunelerin deneye hazırlanması Elek analizi

Toprağın Likit Limiti

Toprağın Plastik Limiti

Toprağın Plastisite indeksi

Toprağın büzülme limiti

Standart Proktor deneyi

Sınıflandırma

Islatma — Kurutma

Donma — Çözülme

Serbest basınç mukavemet deneyi, Kaliforniya taşıma oranı deneyi (CBR), Serbest Basınç mukavemet deneyi, toprakların büzülme faktörlerinin tayini,

Kum eşdeğeri deneyi

Özgül ağırlık deneyi

Not: Yukarıda adı geçen deneyler Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Yazın No. 145 Toprak Mühendisliği Bilgileri adlı kitaba göre yapılacaktır.

#### ***4.4.1 Laboratuvar Deneyleri İçin Kirecin Hazırlanması***

Kireç stabilizasyonuna tabi tutulacak yol kesimine en yakın olan kireç ocağından veya kireç sanayii fabrikalarından daha önce bahsedilen şekilde sönmüş veya sönmemiş kireçten laboratuvar deneylerine kâfi gelecek miktarda temsili numuneler alınır. Alınan numuneler pulverize edilmiş veya sönmüş ise, aktif kireç miktarı aşağıda vereceğimiz metotlara göre tayin edilir. Aktif kireç miktarı arzu edilen limitler dahilinde ise, kireç laboratuvar deneylerinde doğrudan doğruya kullanılabilir.

Alınan kireç numuneleri sönmemiş ise, ilk iş kirecin söndürülmesi olacaktır. Kireç söndürme işi büyük kaplarda veya leğenlerde yapılabilir. Söndürme işlemi bittikten sonra, sönmüş kirecin suyunun çıkması için bekletilir. Suyu çekilmiş kireç 110 C' de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulur. Kurutma işlemi bittikten sonra etüden çıkarılan sönmüş kireç soğutulmaya bırakılır ve soğutulmuş kireç büyük havanda ufalanır. Ufalanma işlemi 0.84 mm. elekten % 100 ve 0.15 mm elekten 0/ 85 geçecek şekilde olmalıdır. Yukarıdaki şartlar altında ufalamış kirecin hava ile temasını kesmek gayesi ile deney için hazırlanmış kireç kavanozlara konur.

Sönmüş veya sönmemiş kireç numunelerinde kalsiyum oksit miktarının tayini:

Kireç numunelerinde kalsiyum karbonat mevcudiyetinde kalsiyum oksit tayini için verilmiş olan süratli iyot metodu, iyot çözeltisinin kalsiyum hidroksitle reaksiyona girip, kalsiyum karbonatla reaksiyon vermemesi esasına dayanır ve ki-. recin kıymetlendirilmesinde kullanılır. Reaktifler :

a) İyot çözeltisi: Bu standart çözelti, 90 gr. KI ve 45.27 gr. iyot mümkün olduğu kadar az suda çözümlenerek ve su ile 1 litreye tamamlanarak hazırlanır. Bu çözeltinin 1 ml si 0.01 gr. CaO'e ekivalenttir.

b) Sodyum tiyosulfat çözeltisi: 44.27 gr. Sodyum tiyosulfat ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ ) suda çözülüp 1 litreye tamamlamakta hazırlanır. Bu çözeltinin 2 mililitresi iyot çözeltisinin 1 mililitresine ekivalenttir.

İyot çözeltisi bilinen şekilde ayarlandıktan sonra sodyum tiyosulfat çözeltisi de iyot çözeltisinin muayyen bir hacmine karşı ayarlanabilir.

Aletler :

- a) 1/10000 hassasiyette bir terazi
- b) İki adet 50 ml. lik büret
- c) Bir adet büret sehpası
- d) 4 adet 300 ml. lik erlenmayer
- e) İki — üç adet ağzı kapaklı vezin kabı

Yapılan İş

300 ml. lik erlenmayere 1 gr civarında kireç numunesi tartılır. Kireç sönmemiş ise bir miktar karnar damıtık su ilâvesiyle söndürülür. Bu işin tamamlanması için 5 —10 dakika kâfidir. Erlenmayere iyot çözeltisinin fazlası ilave edilir, kirecin tamamı çözeltiye gelinceye kadar karışım çalkalanır. Ağzı kapatılarak 10 dakika karanlıkta bekletilir ve iyodun fazlası sodyum tiyosulfat çözeltisi ile titre edilir. Sarf edilen tiyosulfat çözeltisinin ekivalent miktarı toplam iyot çözeltisi miktarından çıkarılır ve bağlanmış olan iyoda ekivalent olan CaO miktarı, iyot çözeltisinin CaO faktöründen hesaplanır.

Hesap :

$$\text{Cao}\% = \frac{(j - \frac{y}{2})0,01}{T} \cdot 100$$

$j$  = Başlangıçta konulmuş olan iyot çözeltisi miktarı, ml

$y$  = Titrasyonda sarfedilen Sodyum Tiyosülfat çözeltisi miktarı, ml

$T$  = Tartılan kireç numunesi, g

0.01 = Iyot çözeltisinin CaO ekivalenti

$\text{Ca (OH)}_2, \% = \text{CaO \%} \times 1.321$

Örnek :

Alınan kireç tartımı,  $T = 0.9411$

İlave edilen iyot çözeltisi  $j = 40.00$  ml

Titrasyonda sarfedilmiş olan tiyosülfat çözeltisi,  $y = 4.46$  ml

Değerler Formulde yerine konduğunda  $\% \text{CaO} = 40.13$

$\text{Ca (OH)}_2, \% = 40.13 \times 1.321 = 53.01$

#### 4.5 Kireçle Stabilize Edilen Toprak Karışımlarında Kireç Miktarının Tayini

Kireçle stabilize edilen toprağın, kireç miktarının uygun olup olmadığının sık sık kontrol edilmesi gerekmektedir. Kireçle stabilize edilen toprakların kireç miktarı tayini 3 metotla yapılabilmektedir. Bu metodlar şunlardır :

- (i) İngiliz standart metodu (1)
- (ii) E.D.T.A. (etilen diami tetra asetik asit) metodu
- (iii) Flame fotometre metodu

Bu metodların tatbiki için özel bir ihtisasa lüzum yoktur. Zira kolayca yapılabilirler. Değişik miktarda kalsiyum (yahut E.D.T.A. metodu halinde (magnezyum) ihtiva eden topraklar hariç bütün topraklara bu metodlar uygulanabilir. Üç analiz metodunun karşılaştırılması göstermiştir ki her ne kadar bunların hepsi de çimentonun % 0.2'sine kadar hassas sonuçlar verebilecek yeterlikte ise de İngiliz standart metodu oldukça uzun sürelidir. Bundan dolayı İngiliz Standart metodu yerine yol araştırma laboratuvarında öbür iki metod kullanılmaktadır.

Arazi uygulaması da dahil çoğu maksatlar için E.D.T.A. metodu tavsiye edilmektedir, fakat aynı toprak üzerinde çok sayıda tayinler yapılması icabettiği ve zamanın önemli bir faktör olduğu hallerde flame fotometre metodu tercih edilebilir. Flame fotometrenin başlıca



dezavantajları Aletin ilk maliyetinin yüksek oluşu ve gaz, elektrik ve basınçlı hava ikmaline ihtiyaç göstermesidir.

Gilliland ve Hunter'e borçlu olduğumuz E.D.T.A. metodunda kireç miktarı tabii toprağın, stabilize toprağın ve kirecin ihtiva ettiği bağlı kalsiyum ve magnezyum muhtevalarını tayin etmek suretiyle hesaplanır. Bu, British Standard metodundaki potasyum permanganat yerine etilen diamin tetra asetik asit disodyum tuzu ile titrasyonla yapılır. Bununla birlikte en büyük zaman tasarrufu filtrasyonlardan sarfi nazar eden Gilliland ve Hunter'in ortaya koymuş olduğu tadilatları yapılmaktadır. Filtrasyonda yapılan başarısızlığın hatalara yol açması beklenebilir, fakat toprak, stabilize toprak ve kireç numunelerinin hepsi de aynı tarzda analiz edildiğinden ortaya çıkan hatalar geniş ölçüde giderilir. Flame fotometre metodu orijinal olarak Streed ve Stoll tarafından geliştirilmiştir fakat bir «EEL» flame fotometresi ile kullanılabilmesi için Road Research Laboratory'de tadilata tabi tutulmuştur. Bu metotta alet, çimento (yahut kireç) muhtevası bilinen stabilize toprak numuneleri ile ayarlanır ve ayarlandıktan sonra ayrı ayrı çimento (yahut kireç) tayinleri süratle yapılabilir.

#### **4.5.2 E.D.T.A. Metodu-Metodun Prensipleri**

E.D.T.A. metodu kalsiyum ve magnezyum 6N hidroklorik asitte digestiona tabi tutularak stabilize topraktan ekstraksiyonu işlemini ihtiva eder. Bu digestion işlemi amonyakla çöktürme suretiyle uzaklaştırılması gereken demir ve alüminyum'da ekstraksiyona uğratar. Demir ve alüminyumun uzaklaştırılmasından sonra, (indikatör) olarak eriochrome mavi-siyahı kullanılmak suretiyle kalsiyum ve magnezyum E.D.T.A. ile pH 10.0'da titre edilir.

Bu metotta toprak içinde değişen miktarlarda magnezyum bulunması sonuçları yeterli olmaktan çıkarılabilir. Bununla birlikte, eğer burada tavsiye edilen metot yerine E.D.T.A. ile kalsiyum titrasyonu için Patton ve Reeder tarafından tavsiye edilen işlem uygulanırsa magnezyumun tesirleri bertaraf edilir.

Demir (3) alüminyum ve kalsiyum iyonları ihtiva eden bir çözeltide amonyak ilave edilirse normal olarak demir-3 ve alüminyum hidroksitlerin çökmesi ile çözeltide kalsiyum iyonları kalır. Muayyen şartlar altında kalsiyumun bir miktarı da çökebilir. Ana çözeltide normal

olarak çözünebilen maddelerin bu şekilde çökmesine «beraber çökme» adı verilir ve kısmen çözünebilen iyonların, çözünmeyen çökelek yüzeyindeki adsorbsiyondan ve kısmen de çökelekteki kristal büyümesi esnasında çözünen maddelerin emilmesinden ileri gelir. Her iki

halde de kalsiyum çözeltiden uzaklaşır ve uzaklaşan miktar kalsiyum konsantrasyonuna bağlı olmaktan daha çok demir ve alüminyum konsantrasyonuna bağlıdır. Beraber çökme sebebiyle muayyen şartlar altında, kireç muhtevası değerlerinin düşük ölçülmesi muhtemeldir. Kireç muhtevasının düşük, yahut demir ve alüminyum muhtevasının pek yüksek olduğu zamanlarda olduğu gibi, tesirler muhtemelen en çok demir ve alüminyumun kalsiyuma oranı yüksek olduğu zaman meydana çıkarlar. Değişik şartlarda beraber çökmenin tesiri, stabilize toprağın kireç muhtevasını hesaplamak için kullanılan denklemin incelenmesi gerekir. Kireç muhtevası (C<sub>0</sub>) şu denklemlle hesaplanabilir. (C<sub>0</sub>) = 100(Y-X)/(Z-X) kuru stabilize toprağın yüzdesi

Burada X, Y ve Z sırasıyla tabii toprağın, stabilize toprağın ve kirecin kalsiyum muhtevalarıdır. Eğer beraber çökme vaki ise toplam kalsiyum miktarı ne olursa olsun oldukça sabit bir kalsiyum miktarı uzaklaşacaktır, eğer stabilize toprak ve tabii toprak analiz edildiğinde beraber çökme ile kalsiyumdan % W uzaklaştırılmışsa, kireç analizinde beraber çökmenin tesiri ihmal edilebilir, müşahede edilen kireç muhtevası (C<sub>0</sub>) şu denklemlle verilir:

$$C_0 = \% \frac{100(Y - W) - (X - w)}{Z - (X - w)} = \frac{100(Y - X)}{Z - X + w}$$

göre çok küçük olduğundan

$$C_0 = \frac{100(Y - X)}{Z - X} = C_1$$

Böylece, eğer toprak ve stabilize toprak sırasıyla analiz edildiği zaman kalsiyumdan sabit bir miktar beraber çökmüşse bu beraber çökmenin tesiri ihmal edilebilir. Her defasında tamamen eşit miktarın beraber çökmesi muhtemel değildir, fakat yine de tabii toprak önemli miktarda kalsiyum ihtiva ettiği zaman beraber çökmenin tesiri büyük ölçüde azalır ve tayinlerde ciddi hatalara sebep olmaksızın ihmal edilebilir.

Eğer toprak kalsiyum ihtiva etmiyorsa (2) denklemin de X = 0 olarak alınır.

$$C_2 = \% 100 (Y - w) / Z \text{ olur.}$$

Beraber çökme, çimento yahut kireç tayininde önemli bir hataya götürsün götürmesin Y ve w'nin nisbî değerlerine dayanır. Eğer Y düşük w de yüksekse meydana gelecek hata, üzerinde durmağa değer. Bu takdirde beraber çökmenin tesirine, hiç kalsiyum ihtiva etmeyip yüksek oranda demir ve alüminyum ihtiva eden bir toprağın düşük oranda kireç yahut çimento ile stabilize edildiği hallerde tolerans gösterilmelidir. İngiltere topraklarının pek çoğunda bu türlü şartların bulunması ihtimali yoktur fakat demir ve alüminyumca zengin tropikal topraklarda olabilir.

Bundan dolayı, çimento ve kireç muhtevası tayinleri için aşağıda verilen detaylarda asit ekstraktlarının analizi için iki değişik işlem tarif edilmiştir. Kalsiyumun beraber çökmesinin sonuçları etkilemesi ihtimali olmadığı zaman, nispeten daha kısa sürede tamamlanabileceği için A işlemi uygulanmalıdır. Eğer beraber çökmenin, sonuçları etkileme ihtimali varsa, demir ve alüminyumun çift çöktürülmesini ihtiva eden B işlemi izlenmelidir.

Gerekli cihazlar :

Aşağıda verilen cihazlar tabii topraktan, stabilize topraktan, ve stabilize bir numunenin analiz edilebilmesi için yeterlidir. Birden fazla analizlerin yapılması gerekiyorsa her tayin için bir beher ve bir balon bulunması uygun olur fakat elekler, süzgeçli oluklar (riffles) gibi cihazların çok olması gerekmez.

Gerekli cihazlar aşağıda gösterilmiştir.

- (a) 105-110°C lik bir ısı verebilecek kapasitede, termostatik kontrollü bir kurutma fırını.
- (b) 7 Kg. kapasitesinde ve 1 gr. hassasiyette bir terazi.
- (c) 100 gr. kapasitesinde ve 0.001 gr. hassasiyetinde bir terazi.
- (d) Susuz silisyum geli ihtiva eden bir desikatör
- (e) Aşağıda olduğu gibi (B.S. 410 «Test sieves») e uyan elekler:
- (i) İnce taneli topraklar için B.S. No. 7 ve B.S. No. 36

- (ıı) Orta taneli topraklar için-B.S. 1/4 inç ve B.S. No. 36
- (mı) Kaba taneli topraklar için-B.S. 1/2 inç ve B.S. No. 36
- (f) Aşağıda gösterilen tarzda borosilikat camdan yapılmış balon jojeler:
- (ı) İnce taneli topraklar için-altı adet 250 ml ve bir adet 1000 ml kapasiteli.
- (ıı) Orta ve kaba taneli topraklar için\_ altı adet 250 ml ve iki adet 1000 ml kapasiteli.
- (g) B.S. 604 «Graduated measuring cylinders'teki şartlara uyan bir adet 100 ml ve bir adet 1000 ml'lik dereceli ölçme silindiri.
- (h) Bir adet 50 ml'lik ve iki adet 25 ml'lik büret.
- (i) Uç adet 25 ml'lik ve bir adet 50 ml'lik pipet
- (j) Yaklaşık olarak iç çapı 25 mm. ve yüksekliği 55 mm olan traşı kapaklı üç adet tartma şişesi.
- (k) Damıtık su ihtiva eden bir plastik piset.
- (l) Yaklaşık olarak iç çapı 9 Cm. olan bir cam huni.
- (m) Aşağıda olduğu gibi geri soğutucu takılı iki adet dibi yuvarlak balon: (i) Orta taneli topraklar için-500 ml kapasiteli
- (ıı) Kaba taneli topraklar için-1000 ml kapasiteli
- (n) B.S. 1797 «Methods of use of B.S. fine-mesh test sieves'e» uygun ve aşağıdaki ölçülerde açıklıkları olan tipte numune bölgeleri
- (ı) İnce taneli topraklar için - 1/4 inç.
- (ıı) Orta taneli topraklar için - 1/4 inç ve 1 inç.
- (mı) Kaba taneli topraklar için - 1/4 inç ve 2 inç.
- (o) Uygun mekanik bir öğütücü

(p) Bir masa lambası (bench\_lamp).

(q) 250 ml'lik üç adet beher (tercihan konik) ve eşit sayıda cam baget ve saat camları ile birlikte 500 ml ve 1000 ml'lik beherlerin her birinden bir adet.

(r) 250 ml'lik üç adet konik kap

#### Reaktifler

Reaktifler tanınmış analitik reaktif kalitesinde olacaktır;

(a) E.D.T.A. Reaktifi: 4 gr disodyum dihidrojen etilen-diamin tetra asetatı (E.D.T.A., versene, sequestric acid and complexone olarak da tanınır) 1 litre damıtık su içinde çözünüz. Bu reaktifin tam kuvvetinin bilinmesi gerekmez çünkü hesaplamalar nisbî bir esasa göredir.

(b) Tampon çözelti: 33.7 g amonyum klorürü 285 ml amonyakta (özg. ağı. O. 880) çözünüz ve 500 ml'ye seyreltiniz.

(c) Amonyak çözeltisi : 100 ml amonyağı damıtık su ile 500 ml ye seyreltiniz

(d) Hidroklorik asit, % 50 lik çözelti: 250 ml konsantre hidroklorik asidi 250 ml damıtık suya ilave ediniz.

(e) İndikatör: 0,5 gr. eriochrome mavi-siyahını 4.5 gr. hidroksilamin hidroklorürle karıştırınız; bu karışımdan 0.5 gr. 100 ml metil alkolde çözünüz. Bu çözelti hiç değilse haftada bir defa olmak üzere taze olarak hazırlanmalıdır.

(f) Potasyum siyanür çözeltisi: 100 ml su içinde 2 gr. potasyum siyanürü çözünüz. Bu reaktifle çalışırken çok dikkatli olmak gerekir, bu reaktif sadece beraber çökme tesirlerinin hesaba katılması gerekiyorsa lazım olur.

(g) Bir miktar kırmızı turnusol kağıdı.

Toprak-Çimento (yahut toprak-kireç) karışımı ve tabii toprak numunesinin hazırlanması

(a) Dökme numune, arzu edildiği takdirde, kolayca kırılabilir numune ya havanda ezilecek veya 105°- 110°C de etüvde kurutulacak ve soğutulacaktır. Ondan sonra ezme suretiyle yahut da benzer yollarla bütün numune uygun bir elekten geçinceye kadar ufaltılacaktır. İnce taneli

malzemeler 2.8 mm. elekten orta taneli malzemeler 6.35 mm. elekten ve kaba taneli malzemeler 12.7 mm. elekten geçecektir. Bütün bu ve bunu takip eden işlemler boyunca ince malzemelerin kayba uğramaması için dikkat edilecektir.

(b) (a) daki gibi hazırlanan malzeme, uygun bir bölgeçte arka arkaya bölünerek aşağıda verilen ağırlıklarda temsil edici numune elde edilir:

(I) İnce taneli topraklar için 250-300 gr.

(II) Orta taneli topraklar için 2500-3000 gr.

(III) İri taneli topraklar için. 6000-6500 gr.

Bu ve bunu müteakip bir işlem boyunca her hangi bir bölgeçten elde edilen malzeme iyice karıştırılacak ve bölme sırasında ayrışmayı önlemek için bütün tedbirler alınacaktır.

(c) (b) paragrafında elde edilen temsili numune 105\_110°C lik etüvde 16 saatten az olmamak üzere kurutulacak ve tercihan bir desikatörde soğutulacaktır. Fırında kurumuş malzeme mekanik bir öğütücü yahut da başka bir uygun araç kullanmak suretiyle, bütün numune 0.5 mm. eleğinden geçecek şekilde, öğütülecektir. Fırında kurumuş ve öğütülmüş malzeme 6.35 mm. delik genişliğine sahip bir numune bölücü üzerinde ince taneli topraklar için yaklaşık olarak 5 gr. lık orta taneli topraklar için 25 gr. iri taneli topraklar için 50 gr. lık numune elde edilinceye kadar çalkalamak suretiyle tali derecede bölünmeğe tabi tutulacaktır. Orta ve iri taneli toprak numunelerinde çalkalama büyük numune bölücüleri üzerinde daha uygun suretle yapılabilir. Fakat numune 250 gr'a düşürüldüğü zaman 6.35 mm. genişliğinde deliğe sahip bir numune bölücüsü kullanılacaktır. Bu numune cam tartma kabına konacak ve 105-110'C'de kurutulacaktır. Kuruma için gereken süre toprağın tipine ve numunenin büyüklüğüne göre değişebilir. Dört saatlik aralıklarla peş peşe yapılan tartmalardaki fark numunenin orijinal ağırlığının % 0.1'ini geçmiyorsa numune kuru sayılacaktır. Pratik maksatlar için 16-24 saat genellikle yeterlidir.

#### 4.5.2.1 İnce Taneli Toprak Ve Toprak+Kireç Karışımlarının Asit Ekstrakt'larının Hazırlanması

Kurutulmuş toprak yahut toprak-kireç numunesini ihtiva eden tartma kabı fırından alınacak, desikatörde soğutulacak ve 0,001 g'a kadar tartılacaktır. 250 ml lik bir konik behere aktarılacak tartma şişesi yeniden tartılacak ve toprak yahut toprak-kireç numunesinin ağırlığı (W) buradan hesap edilecektir. 50 ml % 50 lik hidroklorik asit ilave edilecek, cam beher saat camı ile kapanacak ve muhtevası kaynama durumuna getirilecektir. Bir dakikalık kaynamadan sonra beher alınacak ve on dakika soğutulmağa bırakılacaktır. Beher içinde hiç katı malzeme kalmamasına dikkat edilerek bir cam huni ile 250 ml'lik bir balon jojeye kantitatif olarak aktarılacak ve hacim damıtık su ile 250 ml'ye tamamlanacaktır. Balon çalkalanacak ve sonra süspansiyon bir kaç dakika için çökmeğe bırakılacaktır. 50 ml'lik bir parçası bir pipetle alınacak, eğer beraber çökmenin tesirleri ihmal edilebilecekse, 250 ml'lik bir başka balon jojeye aktarılacak ve analiz için A işlemi kullanılacaktır. Eğer beraber çökmenin, sonuçlara etkileme ihtimali varsa 50 ml'lik kısım 250 ml'lik bir behere aktarılacak ve analiz için B işlemi tatbik edilecektir.

#### 4.5.2.2 Orta Taneli Topraklar Ve Yahut Toprak + Kireç Karışımlarının Asit Ekstrakt'larının Hazırlanması:

Kurutulmuş toprak yahut toprak-kireç numunesini ihtiva eden tartma şişesi etüvden alınacak, desikatörde soğutulacak ve 0.001 gr. a kadar tartılacaktır. Numune 500 ml lik dibi düz veya yuvarlak, kuru bir balona aktarılacak, tartma şişesi yeniden tartılacak ve toprak yahut toprak-kireç ağırlığı (W) hesap edilecektir. Ağızına sıkıca uyan bir yeni soğutucu takılmış olan balona, tam 250 ml % 50 lik hidroklorik asit ilave edilecek ve çözelti bir kaç dakika kaynatılacaktır. Balon muhteviyatının kaynaması durunca tam 250 ml damıtık su ilave edilecek ve balon muhteviyatı çalkalanmak suretiyle karıştırılacaktır. Soğuduktan sonra bu çözeltiden pipetle 25 ml alınacak ve eğer aşağıda verilen A işlemi ile analiz yapılacaksa 250 ml'lik balon jojeye, (B) işlemi ile analiz yapılacaksa 250 ml'lik bir behere aktarılacaktır.

#### 4.5.2.3 İri Taneli Topraklar Ve Toprak—Kireç Karışımlarının Asit Ekstrakt'larının Hazırlanması.

Orta taneli topraklar için yukarda verilen işlemi takip edilecektir, yalnız 500 ml % 50 lik asit ihtiva eden 1000 ml' lik bir balon kullanılacak ve bu daha sonra 500 ml' damıtık su ile 1000 ml'ye seyreltilecektir.

#### 4.5.2.4 Kirecin Asit Ekstrakt'ın Hazırlanması

1 gr. kadar kireç bir tartma şişesine konacak ve 105 —110' de kurutulacaktır. Dört saatlik fasılalarla birbirini takip eden tartmalardaki farklar orijinal numune ağırlığının %0 0.1'ini geçmediği takdirde numune kuru sayılacaktır. Yukarıda (a) da verilen işlem takip edilecek, yalnız digestion için 10 ml % 50 lik hidroklorik asit ve 25 ml damıtık su kullanılacak ve aşağıda A işleminde verildiği gibi analiz için 25 ml'lik bir kısım alınacaktır.

#### Asit Ekstrakt'larının Analizi

A işlemi : Beraber çökme tesirlerinin ihmal edilebildiği hallerde tabii toprak ve stabilize toprak ekstraktları için ve kireç numuneleri için: Balonlardan her birinin içine küçük bir parça kırmızı turnusol kağıdı atılacak ve turnusol kağıdı kırmızıdan maviye dönüncüye kadar seyreltik amonyak ilave edilecektir. Amonyak ilâvesinden sonra süspansiyonun hacmi 250 ml ye tamamlanacak ve çalkalamak suretiyle balonun muhteviyatı iyice karıştırılacaktır. Çökelek oturuncaya kadar balon bir kenara bırakılacaktır. Üstte kalan berrak sıvıdan bir pipetle 50 ml alınıp 250 ml'lik konik bir kap veya behere aktarılacak 2 ml tampon çözelti ve 3-4 damla eriochrome blue-black indikatörü ilave edilecektir. Bundan sonra pembe renk tamamen kayboluncaya kadar 50 ml lik büretten EDTA çözeltisi damla damla ilave edilecektir. Nihai renk mavidir ve son nokta en iyi şekilde sun'î ışıkta görülür. EDTA nın çözeltiden pembe rengi gidermek için gerekli olan hacim V ml 0.05 ml ye kadar kaydedilecektir.

B işlemi: (Kalsiyum beraber çökmesi vuku bulduğundan tabii toprak ve stabilize toprak ekstrakt'ları için) Toprağın ve stabilize toprağın digestionlanncan elde edilen numunelerin oranlı miktarları 250 ml'lik bherlere konulacaktır. Her beherin muhteviyatı kaynamaya kadar ısıtılacaktır ve çözelti turnusola karşı alkali oluncaya kadar devamlı karıştırmak suretiyle yavaş yavaş (tercihan bir büretten) seyrettik amonyak (1 kısım 0.880 amonyak ve 4 kısım su) ilave edilecektir. Karışım soğumaya bırakılacak ve sonra sertleştirilmiş bir süzgeç kâğıdından (Whatman No. 541) 250 ml'lik bir balon jojeye süzülecektir. Beher boşalıp süzme bittiği zaman süzgeç kağıdı ve muhteviyatı huniden dikkatle alınacak ve tekrar behere aktarılacaktır. Behere 25 ml N hidroklorik asit ilave edilecek ve seskioksitlerin tamamı çözeltiye gelinceye kadar karışım kanştırılacaktır-Seskioksit miktarına göre daha fazla veya daha az aside ihtiyaç olabilir, kullanılan asit minimumda tutulmalıdır. Süzgeç kağıdı beherden alınacak ve sarı renk eserleri tamamen kayboluncaya kadar su ile yıkanacaktır. Bu yıkama suları beherde toplanacak, yıkama tamamlandığı zaman süzgeç kağıdı atılacak ve beher muhteviyatı



kaynama haline getirilecektir. (Son hacmi 250 ml nin altında tutmak için icab ediyorsa bu safhada kaynatmayla beher muhteviyatının hacmi azaltılabilir.) Seskioksitleri yeniden çöktürmek için önceki gibi seyreltik amonyak (1/4) ilave edilecek ve beher muhteviyatı Whatman No. 41 veya 541 süzgeç kâğıdından aynı balon jöjeye süzülecektir. Çökelek iyice yıkanacak ve süzüntü 250 ml ye tamamlanacaktır. Balon iyice çalkalanacak ve çözültiden 50 ml alınıp A işleminde tarif edildiği şekilde analiz edilecek, yalnız indikatör ilavesinden önce tampon çözülti ilave ettikten sonra 2 ml potasyum siyanür çözültisi ilave edilecektir. (bir büretten )

### HESAPLAMALAR

Hal : Karbonatlaşmamış Toprak-Kireç Numuneleri

X, Y ve Z, sırasıyla 1 gr. toprak, karbonatlaşmamış toprak-kireç ve kireç içindeki kalsiyum ve magnezyum nötrale etmek için gerekli olan E.D.T.A. miktarlarını gösterir.

$$X \text{ veya } Y = 25V/W \text{ ml}$$

Orta veya kaba taneli topraklar veya kireç numuneleri

$$X \text{ veya } Y = 100V/W \text{ ml}$$

$$\text{Çimento numuneleri için : } Z = 50V/W$$

Susuz toprak-kireç numunesinin, toprak-kireç karışımının ağırlıkça yüzdesi olarak ifade edilen kireç içeriği (C1) şu formülden hesaplanır.

$$C1 = \% \frac{100(Y - X)}{Z - X}$$

Susuz toprak-kireç numunesinin, kuru toprağın ağırlıkça yüzdesi olarak ifade edilen kireç içeriği (C2) şu formülden hesaplanır.

Hal: Karbonatlaşmış toprak-kireç numuneleri

Bir toprak-kireç karışımı açık havaya maruz bırakıldığında mevcut kirecin karbonatlaşması dolayısı ile ağırlığında artış gösterebilir. Karbonatlaşmış bir karışımın kireç muhtevasını

hesaplarken bu ağırlık artışına tolerans vermek için tabii toprağın, toprak-kireç karışımının ve kirecin kalsiyum ve karbonat içeriğini bilmek gerekir. Bundan başka, toprakta veya kireçte farkedilebilecek miktarlarda magnezyum mevcutsa tabii toprağın, toprak-kireç karışımının ve kirecin magnezyum muhtevalarını da bilmek gerekir. Bununla birlikte, karbonatlaşma dolayısı ile ağırlık artışını ihmalden ileri gelen hata pek çok hallerde küçük olduğundan karbonatlaşmış toprak-kireç karışımlarının kireç muhtevası genellikle I. halde karbonatlaşmamış numuneler için tarif edildiği şekilde yapılır.

## BÖLÜM BEŞ

### KİREÇ STABİLİZASYONUNUN ARAZİ TATBİKATI

Toprak+Kireç stabilizasyonu tatbik edilen yolların arazi performansı hakkında çok az bilgi mevcuttur. Arazi performansı hakkındaki bilgilerin eksikliği muhtelif faktörlerden ileri gelmektedir. Bilhassa kireç stabilizasyonunun İkinci Dünya Savaşına kadar gelişmemiş olması en etkili faktörlerden biridir. Toprak + Kireç stabilizasyonuna tabi tutulan yolların ömürleri sayılı yıllar içinde olduğu için uzun vadeli arazi performansının tatminkâr servis yolları sayesinde değerlendirmek zordur.

Yakın zamanlara kadar kireç stabilizasyonuna tabi tutulan yolların fiili arazi performansları ile laboratuvar deney sonuçlara arasında bağlantı kurmak için yapılan girişimler azdır. Elde mevcut doneler kısıtlıdır. Belkide bu, toprak + kireç karışımının mukavemetleri ve diğer fiziksel özelliklerini değerlendirmek için laboratuvarda kullanılabilen toprak + kireç karışımlarına ait karotların elde edilebilmesinde karşılaşılan problemlerle ilgilidir. Genel olarak, yolda toprak + kireç karışımlarından elde edilen karotların alınmasının zorluğu ve elde edilen numunelerin düzensiz oluşu ve numuneler üzerinde laboratuvar deneylerinin tatbikinin güçlüğüdür. Bu bakımdan toprak + kireç karışımlarının arazi performansı genel olarak araştırmacının gözlemleri ile değerlendirilmiştir.

Toprak + Kireç karışımlarının arazi performansı hakkında geniş bilgiler Teksas ve diğer güney eyaletlerinde yapılan arazi deneylerinden elde edilmiştir. Bu bilgilere göre toprak + kireç karışımlarının arazi performansının tatminkar olduğu anlaşılmaktadır. Yapım tekniğindeki değişiklikler, kullanılan kirecin tipi ve miktarı, stabilizasyona tabi tutulan toprağın cinsine göre arazi performansının mukayese veya değerlendirilmesi zordur. Karayollarında kireç stabilizasyonu hakkında notlar:

1. Karayolları şebekesinde kireç stabilizasyonunun ilk tatbikati gerekli yapım tekniği bilgilerinin noksanlığından başanlı olamamıştır.
2. Stabilizasyona tabi tutulması gereken toprağın kimyasal stabilizasyon çeşidinin yanlış seçilmesi başarıyı önlemiştir. Birçok hallerde kireç stabilizasyonuna tabi tutulması gereken topraklara çimento stabilizasyonu, çimento stabilizasyonu yerine kireç stabilizasyonu tatbik edilmiştir. Örneğin : Pınarhisar tecrübe yolunda stabilizasyona tabi tutulacak topraklar A — 7

— 6 sınıfına ait çok killi, kaba yoğunluğu düşük, optimum rutubet yüzdesi çok yüksek bir toprak idi. Bu gibi topraklara normal olarak kireç stabilizasyonu tatbik edilmesi gerekirdi. Fakat stabilizasyon teşhisi yanlışlığından ötürü, adı geçen tecrübe yolunda % 9-10-11 çimento ile stabilize yapılmıştır. Yol yapımından kısa bir müddet sonra yolda bozulmalar ve dağılmalar meydana gelmiştir.

3. Stabilizasyonların tatbikinde makine ve araçların çok az ve hiç bulunmaması da stabilizasyon işlemlerini zorlaştırmıştır.

4. Karayollarında çalışan personelin kimyasal stabilizasyon usulleri ile yol yapımına aşina olmayışı, bu ilk deneme kesimlerinin başarılı olmamasına sebebiyet vermiştir. Bu da teşkilâtımızda tatbikatçı mevkiinde olan mühendisleri ve kimyasal stabilizasyon usullerinin tatbikinde çekingen davranmaya sevk etmiştir. Karayolları şebekesinin inşaatında kullanılan malzemelerin ekseriyetinin plastisite indeksi arzu edilen limitin çok üstünde olmuştur veya nonplastik malzemeler kullanılmıştır. İnşaatı biten ana yolların bir çoğunda, asfalt betonu tatbik edilmiştir. Yol temelinin teşkilinde kullanılan malzemelerin bir kısmı plastisite indeksinin yüksek oluşundan teşkil edilen temelde fazla deformasyonlar meydana gelmiştir. Beton asfaltı da oldukça rijit ve 0.1 inç'e kadar deformasyonlara esneklik gösterebileceğinden fazla deformasyonlar karşısında kolayca kırılmakta ve yağışlar sonucunda temel malzemesine kolayca su işlemektedir ve temelin taşıma değeri düşmekte, kısa bir zamanda da yolda bozulmalar meydana gelmektedir. Diğer taraftan N. P. malzeme ile inşa edilen temellerin bağlayıcı vasfı olmadığından temel teşkilinde sıkıştırılmaları da oldukça zor olmaktadır. Kifayetli derecede sıkıştırılmayan, bilhassa kumlu malzemelerin taşıma değerleri düşmektedir. Taşıma gücü düşük olan temel, ağır trafiğin altında kolayca dağılmaktadır. Tatbik edilen asfalt betonu da gevşek ve taşıma değeri düşük olan temel üzerine tatbik edildiğinden kolayca bozulmalara sebep olmaktadır.

İster yol inşaatında kullanılan malzemenin plastisite indeksi yüksek, ister N. P. olsun; Her iki halde de yol inşaatı tekniği bakımından uygun görülmemektedir. Yapılan yolların malzemenin taşıma değerinin düşüklüğü ve fiziki vasıflarının arzu edilen limitler dahilinde olmaması ve günlük trafiğin süratle artması nedeniyle inşaatı biten yollar kısa zamanda bozulmakta ve devamlı bakım yapmak suretiyle trafik akımı sağlanmaktadır. Esasen bütün dünyada son zamanlarda trafiğin süratle artması neticesinde mekanik stabilizasyon usulleri ile

inşa edilen yollar, ağır trafiğin aşındırıcı gücüne mukavemet etmemektedir. Bu hususu göz önünde tutan diğer devletler, yol inşaatında kullanılacak temel ve kaplama altı malzemelerinin dondan, rutubetten müteessir olmayan taşıma değeri yüksek olmaları zarureti duymuşlardır.

İyi vasıflı malzemelerin elde edilmesinde, malzemenin durumuna göre çimento, kireç, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve bitümlü maddeler gibi maddelerin birini ve birkaçını malzemeye katmak suretiyle iyi vasıflı malzeme elde etme yoluna girmişlerdir. Bilhassa Fransa'nın hemen hemen bütün ana yollarında muhtelif kimyasal stabilizasyon usulleri tatbik edilerek, ağır trafiği taşıyabilecek yollar inşa edilmiştir. Yurdumuzda kimyasal stabilizasyonlar geniş çapta henüz tatbik edilmemektedir ve kimyasal stabilizasyon usullerinin tatbik mecburiyeti gün gittikçe kendini hissettirmektedir.

#### Arazide Kirecin Bekleme Süresi :

Kirecin bekleme süresi Highway Research Board Committee Activity Committee on Lime-Fly Ash Stabilization, Circular No 448 August 1961 tarihli broşürüne göre stabilizasyonda kullanılacak kirecin inşaat sahasında 6 saattan fazla açık havada bekletilmemesi şart koşulmaktadır. Kireç stabilizasyonu projelerinin bazılarında kireç hemen hemen inşaat mevsiminden bir sene evvel alınmış ve açık havada depo edilmiştir. Bu bir sene esnasında mevsim yağışlarında kireç sönmüş ve havadaki karbon dioksit ile bileşerek kalsiyum karbonat meydana getirmiştir. Neticede, bir taşlaşma meydana geldiğine göre bu kireç'in stabilizasyonda kullanılması, hiçbir etki yapmayacağı açıktır. Depo edilen kirecin alt kısımlarındaki kirecin aktivitesi ise çok düştüğünden toprağa ilave edilecek kireç yüzde miktarı % 3.8 olduğu halde kireç aktivitesinin düşüklüğünden ilave edilmesi arzu edilen kireç yüzde miktarı % 20 mertebesine ulaşmıştır. Bu durumda kireç stabilizasyonunda tatbik edilen yanlış inşaat tekniği maliyeti yükselttiği gibi yol inşaatında kireç stabilizasyonu tatbikinin de, tatbikatçı Mühendisleri tedirgin etmektedir. Bu itibarla kireç stabilizasyonunda kullanılacak kireç, kireç ocağından veya fenni fırınlardan çıkar çıkmaz derhal kamyonlara yüklemek suretiyle projeye getirilmeli ve yola sermek suretiyle kireç söndürülmeli ve toprağa karıştırmak suretiyle (Optimum rutubetin üstünde) yol yapımına başlanmalıdır. Hiç bir zaman stabilizasyonda kullanılan kireç depo edilmemeli, açık havada bırakılmamalıdır.(Atanur, 1973 s.84)

## 5.1 Arazi Kireç Stabilizasyonunun Tatbik Şekilleri:

Kireç stabilizasyonunun arazi tatbikatı makina, yol ve stabilizasyona tabi tutulacak toprağın ve tatbikatı düşünülen yolun durumuna göre aşağıdaki şekillerde olmalıdır.

- a) Yolda karıştırma usulü,
- b) Sabit tesislerde karıştırma usulü,
- c) Seyyar tesislerle karıştırma usulü

### 5.1.1 Yolda Karıştırma Usulü

Kireç stabilizasyonu tatbikatı iki safha halinde düşünülebilir.

- 1 — Hazırlık Safhası
- 2 — Stabilizasyon işlemi

Yola kireç stabilizasyonu tatbik edilmeden evvel, kireçle muamele görmüş tabakanın altına gelecek taban, alt temel veya temel tabakasının arzu edilen şekilde sıkıştırılması şarttır. Tesviye edilen satıhta büyük taşlar, enkaz artıkları ve nebati artıklar olmamalıdır.

#### 5.1.1.1. İrtifa Ve Eğime Göre Yolun Tesviye Edilmesi

İrtifa ve eğime göre yolun tesviye edilmesi ve arzu edilen rutubette maksimum kuru kaba yoğunlukta elde edilecek şekilde sıkıştırılması, sıkışmanın arzu edilir şekilde olup olmadığının kısa mesafeler de kontrol edilmesi, sıkışması düşük olan kesimlerin tekrar arzu edilen şekilde sıkıştırılması şayet yolda karıştırma usulünde ariyet toprağı kullanılıyorsa tespit edilen kalınlığa tekabül edecek gevşek toprağın yol üzerine serilmesi, pulverize edilmesi ve yol kenarına figure edilmesi gereklidir. Bundan sonra stabilizasyonda kullanılması düşünülen makine ve aletler çok dikkatli bir şekilde kontrolden geçirilmeli, noksan görülen makinalar temin edilmelidir. İlk iş; taban toprağının eğim ve meyile göre tesviye işi bittikten sonra taban toprağı elde mevcut makinalar Greyder, Ruter vasıtası ile tesbit edilen kalınlıkta kazılır. İlerideki işlemlerden dolayı (karıştırma, serme) taban toprağının 2-3 cm. eksik olarak kabartılması gerekir.(Şekil 3) ve (Şekil 4)



Şekil 3. Toprağın Riperlenmesi



Şekil 4. Riperlenmiş Toprak

Pulverizasyon işi için Polyinixer, Disk Harrow, greyder kullanılabilir. Şayet taban toprağı çok killi ise pulverizasyon işi çok zor olduğundan bu gibi hallerde su verme (serpme) suretiyle killi toprakların yumuşatılması temin edildikten sonra pulverizasyon işi yapılmalıdır. Bütün çabalara rağmen killi toprakların arzu edilen inceliğe getirilmesi oldukça zordur. Bu gibi hallerde istenilen inceliğin elde edilebilmesi için killi topraklara kireç ilave edilip söndürüldükten sonra, toprak+ kireç karışımına optimumun üstünde su verilerek yol kenarında bir gece bekletmek suretiyle (rutubetli kur) killerin pulverizasyonu kolaylıkla temin edilebilir. Bilindiği gibi rutubet ile karşı karşıya gelindiğinde kirecin killeri yumuşatma etkisi vardır. Toprak ve kireç karışımının bir gece rutubetli küre bırakılması kirecin killi topraklar

üzerindeki yumuşatma etkisi, killi toprağın plastisite indeksine göre değişir. Şöyleki: Yumuşatma müddeti 12-72 saat arasında değişmektedir. 24 saatlik bekletme süresinden sonra karışımda arzu edilen yumuşama ve dağılma meydana gelmediği takdirde, tekrar karışım optimum rutubetin üstüne getirilmeli ve bir 24 saat daha bekletilmek suretiyle arzu edilen incelik sağlanmalıdır. Bu incelik karışımın kuru ağırlığına göre. 1" lik elekten % 100 No. 4 elekten % 60 geçecek şekilde olmalıdır. Kili toprağımız ne kadar çok ince taneciklere ayrılmışsa ve kireç homojen şekilde karışmışsa, stabilizasyondan elde edilen netice o nisbette tatminkâr olur.

**Taşınan Topraklar ile Yolda Kireç Stabilizasyonu:** Taşınan topraklar ile yolda kireç stabilizasyonunun tatbikinden evvel (taban; alttemel veya temel üzerinde) hangi tabakada kireç stabilizasyonu tatbik edilirse; kireç stabilizasyonu işlemine başlamadan önce yolda Nivelman yapmak suretiyle yolun kotunda olup olmadığı kontrol edilmelidir. Yol kotunda yükseklik gösteren kesimler kesilip atılmalı, düşüklük gösteren kesimlerde dolgu yapmak suretiyle kotuna getirilmesi, bu işlem bittikten sonra stabilizasyona tabi tutulacak kesimde kısa mesafelerde arazi kaba yoğunluğu deneyi yapmak suretiyle sıkıştırma kontrolü yapılmalıdır. Arzu edilen sıkışma yüzdesi elde edilmeyen kesimlerde toprağın yapısına göre sıkıştırma aletleri kullanmak suretiyle sıkıştırma işlemi yapılmalıdır. Tekrar arzu edilen sıkışma yüzdesinin elde edilip edilmediğini arazi kaba yoğunluğu deneyi yapmak suretiyle kontrol edilmelidir. Bu işlemler bittikten sonra kireç stabilizasyonuna tabi tutulacak toprak, tesbit edilen kalınlık elde edilebilecek şekilde takriben % 20-30 fazlası ile yol kenarına figüre edilir.

Yol kenarına figüre edilmiş toprağın yol üzerine yayvan figüre halinde serilmesi toprağın kuru ağırlığına göre üzerine sönmemiş kireç veya sönmüş kireç serilir. Sönmemiş kireç kullanıldığında bol su vermek suretiyle söndürme işlemi yapılır. Bu işlem bittikten sonra yavaş yavaş su vermek suretiyle karıştırma işlemi yapılır. Aynı zamanda, su vermek suretiyle kirecin toz yapması önlenmiş olur. Toprak + Kireç karışımı optimum rutubetin üstüne getirilir ve homojen karışım elde edildiğine kanaat getirildikten sonra tekrar grayder vasıtası ile karışım yol kenarına figüre edilir.

Figüre edilen karışım toprağın killilik durumuna göre en az bir gece kendi haline bırakılır. Kanşımında arzu edilen yumuşama ve incelik elde edilmediği takdirde, ikinci gün sabahı



karişımda rutubet kontrolu yapıldıktan sonra, karişım optimum rutubette değilse su vermek suretiyle kariştırma işlemi yapılır ve tekrar fiğre yapmak suretiyle bir gece veya bir gün karişım küre bırakılır. Kr'n etkisi karişımda şu şekilde kendini gösterir :

1. Killi topraklar tamamen ince partiküllere ayrılmış vaziyette bir siltli toprak manzarası arz eder.
2. İlâve edilen kireç tamamen hallolmuş vaziyette olur. Adeta toprağa kireç ilave edilmemiş bir manzara arz eder. Karişım koklandığı zaman badana kokusu verir. Yukarıdaki işlemler bittikten sonra stabilizasyon işlemine geçilir.

#### *5.1.1.2 Toprağa ilave edilecek kireç miktarının hesaplanması*

Stabilizasyonda kullanılacak kireç projenin durumuna göre kapalı torbalar halinde veya kamyonlar vasıtası ile nakledilir ve stabilizasyona tabi tutulacak toprak üzerine serilir. Küçük projeler de kireç umumiyetle torbalar halinde kullanılır. Büyük projelerde ise dökme halinde kireç kullanılır. Çünkü Pulverize edilmiş ve torbalanmış kireçler, dökme halindeki kirece nazaran oldukça pahalıdır. Bu bakımdan büyük projelerde dökme kireç kullanma tercih edilmektedir. Projelerde toprağa ilave edilecek kireç miktarı toprağın kuru ağırlığına göre verilmektedir.

Amerika Birleşik Devletlerinde ise ilave edilecek kireç miktarı hacmen verilmektedir.

İlâve edilmesi gereken kireç miktarının hesaplanmasını bir örnekle izah edelim :

Yolun uzunluğu : 200 metre

Yolun Genişliği : 10 metre

Kireç stabilizasyonuna tabi tutulacak sıkışmış kalınlık : 15 Cm.

Toprağın kuru kaba yoğunluğu : 84.8 Lb/Ft<sup>3</sup> (1.36 t/m<sup>3</sup>)

İlâve edilecek kireç % si : % 4

Toprağın hacmi : 200 x 10 x 0.15 = 300 m<sup>3</sup>

Toprağın kuru ağırlığı : 300 x 1.36 = 408 Ton

$$(408 \times 4)/100$$

Kireç miktarı = 16.32 Ton 100

16.32 Ton kirecin 200 metrelik tüle serilmesi icap eder.

Kireci Serme İşlemi :

Kirecin torbalar halinde olması, bağdaşık bir şekilde serilmesini temin etmekle beraber maliyetler üzerinde etki yaptığından umumiyetle büyük projelerde torba kireç kullanılmaktan kaçınılmaktadır.

Kireç Stabilizasyonunda dikkat edilecek hususlar :

1. Kirecin yüksek aktivitede olması
2. Kirecin tam söndürülmesi
3. Kirecin toprağa bağdaşık bir şekilde karıştırılması.
4. İlavesi tespit edilen kireç miktarının tam olarak toprağa karıştırılması.

Kireç taban toprağına üç şekilde katılabilir :

1. Sönmüş veya sönmemiş kireç kuru halde hususi şekilde hazırlanmış sericiler veya damperli kamyonlar vasıtası ile serilir. Dökme halinde kireç kullanıldığı için her kamyonun ayrı ayrı darası önceden alınmalı, kireç yükleme işi bittikten sonra tekrar tartmak suretiyle net kireç miktarı tespit edilmelidir.

2. Eritilmiş kireç (kireç sütü) su tankerleri vasıtası ile veya distribütörler vasıtası ile kireç sütü toprağına ilave edilir. Sönmemiş kireç büyük beton havuzlarda muayyen bir nisbette su ilave edilerek söndürülür ve eritilir. Eritilmiş kireç yukarıda bahsettiğimiz gibi takriben % 31 lik olmalıdır. 1 Kg. kireç'e 2.08 Kg. su ve edilir. Fazla kesif eriyiklerin hazırlanması güç olduğu gibi püskürtme işlemi de zor olur. Toprağın kuru ağırlığına göre ilave edilecek kireç miktarı % 4 olan stabilizasyonlarda bu usul tatbik edilir. Bu usul, bilhassa rüzgarlı günlerde ve şehir içi yollarının kireç stabilizasyonuna tabi tutulduğu hallerde kullanılır. Bu methodla sermedc,

söndürme, karıştırma işlemlerinin bir defada yapılması ve üniform karışım elde edilmesi daha kolaydır.

Eriyiğin tank dibine çökmemesi için tankın içinde hulusi tertibatlı karıştırıcılar kullanılmalıdır ve aynı zamanda eriyiğin kolayca akabilmesi için hava kompresörü de monte edilmelidir.

3. Torbalar halinde kirecin serilmesi; Torbalar halindeki kirecin stabilizasyonda kullanmadan evvel rutubete maruz kalmaması için muhafaza edilir. Toprağa kireç ilave etmeden evvel metre kareye tekabül eden kireç torbalar halinde yolun banket kısmına konur.(Şekil 5)



Şekil 5. Kireç Torbalarının Dizilmesi

Yol kenarına figüre edilen toprak yol üzerine yayvan bir figüre halinde serildikten sonra kireç torbaları figürenin sağ, sol ve baş kısmına konur. Torbanın dip kısmı baştan sonuna kadar kesilir ve kireç boşaltılır.



Şekil 6. Kirecin Serilmesi

Boşaltılan kireç tırmık veya benzeri aletler ile figüre üzerine mümkün mertebe bağdaşık bir şekilde serilir. Serilen kireçten işçilerin zarar görmemesi için tedbirler alınmalıdır. (Lastik çizme, eldiven, kenarları kapalı gözlükler kullanılmalıdır v.s.) (Şekil 6 ) ve (Şekil 7)



Şekil 7. Kirecin Serilmiş Hali

Serilen kireç Polvymixer ve makinalarla karıştırılır. Toz meydana gelmemesi için mümkün mertebe toprağın biraz rutubetli olmasına dikkat edilmelidir. Diğer dikkat edilecek husus da karıştırma işleminin yağmurlu ve rüzgarlı havalarda yapılmamasıdır. Karıştırma işlemine karışım homojen bir renk alınca kadar devam edilmelidir.

#### 5.1.1.3 Kireci Toprağa karıştırma işlemi

Karıştırma işlemi iki şekilde yapılabilir :

1. Greyder vasıtası ile
2. Polvymixer ve diğer karıştırıcı makinelerle

*5.1.1.3.1 Greyder Vasıtası İle Karıştırma İşleminin Yapılması:* Kabartılmış, pulverize edilerek yol kenarına figüre edilen toprak yol üzerine serildikten sonra üzerine tesbit edilen kireç torbalar halinde serilir. Karıştırma işleminin çabuk ve bağdaşık olmasını istiyorsanız bu durumda yol kenarına figüre edilen toprak 3-4 tabaka halinde serilebilir ve her tabakanın serilme işi bittikten sonra bu tabakaya tekabül eden kireç serilir, üzerine ikinci toprak tabakası getirilir ve yine istenen miktarda kireç serilir. Üçüncü toprak tabakası serildikten sonra da kireç serme işlemi yapılabilir. Stabilizasyonda kullanılan kireç sönmemiş kireç ise her kireç sermesinden sonra arazöz vasıtası ile bol su vermek suretiyle kireç söndürme işlemi yapılır. Her üç tabakada kireç söndürme işi bittikten sonra karıştırma işlemine başlanır. Şayet stabilizasyonda kullanılacak kireç, sönmüş kireç ise doğrudan doğruya karıştırma işlemi yapılır. Stabilizasyonda ister arazide söndürülmüş kireç, ister dışarda söndürülmüş kireç kullanılsın, karıştırma esnasında arazöz vasıtası ile yavaş yavaş su vermek suretiyle karışımın hava sıcaklığına göre optimum rutubetin % 2— 4 üstüne getirilir. Karıştırma işlemi bittikten sonra karışım yol kenarına figüre edilir ve bir gece kür'e bırakılır. İkinci gün sabahı karışımın tam olup olmadığı figürenin muhtelif yerlerinden ayna açmak suretiyle kontrol edilir. Karışım tam ise rutubet kontrolü yapılır. Karışım arzu edilen rutubette ise serme ve sıkıştırma işlemine başlanır. Yukarıda anlattığımız husus bilhassa çok killi taban toprakları için önemlidir.(Şekil 8)



Şekil 8 Greyder ile Kireç ve Toprağın Karıştırılması

Az killi alttemel, temel ve kaplama altı malzemelerine kireç stabilizasyonu tatbik edildiğinde homojen bir karışım elde edilen ve optimum rutubete getirilen toprakta en az 12 saatlik kür süresine ihtiyaç yoktur. Doğrudan doğruya serme ve sıkıştırma işlemi yapılabilir.

*5.1.1.3.2 Polymixer veya daha modern karıştırma makinalarıyla karıştırma işleminin yapılması:* Bu gibi hallerde yol kenarına figüre edilmiş toprak yol üzerine serilir. İlâve edilmesi gereken kireç serilen toprak üzerine bağdaşık bir şekilde dağıtılır. Kireç sönmemiş ise söndürme işlemi yapılır. Bu işlem bittikten sonra derhal karıştırma işlemine başlanır. Bu esnada gevşek karışımın kalınlığı kısa mesafelerde ayna açmak suretiyle kontrol edilmelidir. Gevşek kalınlık tayininde aynı zamanda homojen bir karışım elde edilip edilmediği de kontrol edilir. Karıştırma esnasında karışımın optimum rutubete getirilme işlemi de yapılır. Karıştırma zamanı toprağın cinsine ve karıştırma işlemi için kullanılan makine parkına göre değişir. Killi toprakların karıştırma zamanı, plastisite indeksi yüksek olmayan topraklara nazaran daha fazla zamana ihtiyaç gösterir.

Karışımın Optimum Rutubete Getirilmesi: Toprak+Kireç karışımı homojen bir vaziyete getirildikten sonra karıştırma işlemine son verilir. Karışımın muhtelif yerlerinden rutubet numunesi alınarak ve projede yakma usulü tatbik etmek suretiyle rutubet yüzdesi tespit edilir. Karışım optimum rutubetin üstünde rutubet ihtiva ediyorsa mikser veya greyder vasıtası ile karışım havalandırmak suretiyle optimum rutubete getirilir. Şayet karışım optimum rutubetin altında ise karışımı ince tabakalar halinde sermek ve yavaş yavaş su vermek suretiyle optimum rutubete getirilir. Örnek:

Karışımın optimum rutubet yüzdesi : % 18.0

Tespit edilen rutubet yüzdesi : % 12.0 olsun

Yolun uzunluğu : 150 Metre

Yolun genişliği : 10 Metre

Serilmesi lazım gelen sıkışmış karışım kalınlığı : 0.15 Metre

Karışımın sıkışmış kuru kaba yoğunluğu :  $92.3 \text{ Lb/Ft}^3 \times 16.019 = 1478 \text{ Kg/m}^3$

Toprağın hacmi :  $150 \times 10 \times 0.15 = 225 \text{ M}^3$

Toprağın kuru ağırlığı :  $225 \times 1.47 = 330.75 \text{ Ton}$

İlave edilmesi gereken su miktarı :  $330.75 / (100 + 12) = 17.7 \text{ Ton}$

Arazöz 3 Ton su aldığına göre : (18 Ton)

$18/3 = 6$  Arazöz su verilmesine ihtiyaç vardır.

Tesviye ve Sıkıştırma İşlemi

Tesviye işleminin Yapılması : Kireç stabilizasyonunda tesviye işlemi (Reglaj) iki şekilde yapılır.

- (a) Kaba Reglaj: Toprağa kireci karıştırma ve optimum rutubete getirme işlemleri bittikten sonra karışım yol üzerine tesbit edilen genişlikte serilir. Bağdaşık bir kalınlık elde edilmesi için kaba reglaj işlemi yapılır.

Kaba reglaj bittikten sonra arzu edilen sıkışmış kalınlığın elde edilip edilmeyeceğini tespit için kısa mesafelerde karışımında ayna açmak suretiyle gevşek kalınlık tespiti yapılır. Arzu edilen sıkışmış kalınlık elde edileceğine kanaat getirildikten sonra sıkıştırma işlemi yapılır.

(b) İnce Reglaj: Toprak+Kireç karışımlarının nihai reglaj, toprağın durumuna ve makine imkânlarına göre değişir. Reglaj şekli ne olursa olsun ana kaide toprak+kireç karışımının arzu edilen rutubette ve arzu edilen yoğunlukta sıkıştırılmasıdır.

Nihai reglajda dikkat edilecek bir hususta demir tekerlekli silindirin, keçi ayağının ve greyderlerin sıkıştırma esnasında meydana getirdiği sıkışmış kısım ile iyice kaynamayan kısımların bulunmamasıdır. Şayet böyle bir gevşek sıkım mevcut ise hususi şekilde hazırlanan tırmıklar satıh üzerinden geçirilerek ve hafif su vermek suretiyle yeniden sıkıştırılması gerekir. Arzu edilen şekilde sıkıştırılmış satıh ince reglajdan sonra düzgün ve sıkışmış bir satıh olduğu gibi kabarma ve çatlamalarda meydana gelmez.

Sıkıştırma işlemi : Sıkıştırma için kullanılan muhtelif makine ve aletler mevcuttur. Toprak+Kireç stabilizasyonunda toprağın cinsine göre keçi ayağı, lastik veya demir tekerlekli silindirler, Pnomatik ve vibrasyonlu silindirler kullanılabilir. Az plastik granüler kumlu toprakların sıkıştırılmasında lastik ve demir tekerlekli silindirler kullanılır.(şekil 9)



Şekil 9 Yolun Sıkılaştırılması



Toprak+Kireç karışımlarının sıkıştırılması esnasında bazen mevzii bozukluklar ve çözümler meydana gelebilir. Bu bozukluğun sebepleri şunlar olabilir:

- a) Karışımın rutubetli optimum rutubetin üstünde olursa;
- b) Taban toprağının fazla rutubetli oluşu veya taban toprağının stabil olmayışı
- c) Sıkıştırma gücünün fazla oluşu.

Kür: Toprak+Kireç karışımı sıkıştırıldıktan sonra, karışımda rutubet muvacehesinde hidrasyon meydana gelir. Hidrasyon esnasında suyun mevcudiyeti şart olduğuna göre suyun buharlaşmaması gerekmektedir. Bu maksatla karışım kür esnasında sık sık sulanmalı veya ıslak kum, talaş veya bitümlü malzeme ile örtülmelidir. Umumiyetle bitümlü kür daha pratik olmaktadır.

Kür esnasında Trafik: Kür esnasında 7 günlük müddetle yoldan trafiğin geçmemesi lazımdır. Kesif trafikli yollarda kireç stabilizasyonu tatbiki gerekirse ve servis yolu yapımı da imkansız ise yapı bakımından pratik olmamakla beraber yola iki şerit halinde kireç stabilizasyonunun tatbikatı gerekmektedir..

#### Kireç İlavesi İle Toprakların Modifikasyonu

Düşük vasıflı taban topraklarının veya plâstisite indeksi yüksek olan granüler toprakların modifikasyonunda kireç başarıyla kullanılabilir. Kireçle toprağın modifikasyonunda taban toprağı veya granüler karışımda herhangi bir stabilite değeri istenmemekte ve aynı zamanda donma-çözülme, ıslatma-kurutma gibi etkilere karşı deneyler ve bu deneylerden elde edilen zayıf yüzde miktarları nazarı itibare alınmamaktadır. Kireçli toprakların modifikasyonunda daha fazla fiziki vasıflannda meydana gelen değişiklikler göz önünde tutularak değerlendirmeler yapılmaktadır.

Modifikasyon maksadı ile topraklara ilave edilecek kireç, toprağın plastisite indeksini düşürmekte ve toprağı kolay işlenebilir bir hale getirmektedir. Yüksek plastisiteli toprakların işlenebilir hale getirilmesi için çok cüz'i miktarda kireç yeterli gelmektedir. Kireç ile modifiye edilen toprak veya granüler topraklar da kolaylıkla çimento veya asfalt stabilizasyonu tatbik

edilebilir. Toprakların modifikasyonunda toprağın kuru ağırlığına göre % 2-3 kireç kafi gelmektedir.

Kireç Stabilizasyonunda Sathi Çatlamalar ve Kabarmalar: Toprak+Kireç karışımlarında meydana gelen sathi çatlamlar aşağıdaki sebeplerden ileri gelmektedir.

a) Kür esnasında rutubet zayıtının fazla oluşu, karışımda hacim değişimi meydana getirdiğinden satıhta pek derin olmayan timsah sırtı şeklinde çatlamlar meydana gelir. Çatlamaların meydana gelmesine mani olmak için kür esnasında sathın arzu edilen rutubette tutulması icap eder.

b) Sıkıştırma esnasında arzu edilenden daha fazla sıkıştırma enerjisinin tatbiki çatlamlara sebep olur.

Satıhta meydana gelen kabarma ve gevşemelerin sebebine gelince; Çatlamaların fazla oluşundan ve karışımda tam arzu edilen mukavemet elde edilmeden yolun trafiğe açılmasından ileri gelmektedir. Çatlamaların bilhassa taban toprakları üzerinde yapılan kireç stabilizasyonunda meydana geldiği görülmüştür. Bu da hacim değişiminin fazla oluşundan ileri gelmektedir. Çatlamalar kür müddetinin ilk günlerinde meydana gelmektedir ve bunlar toprağın yapısı, ilave edilen kireç miktarı, kireç çeşidi ve kür müddeti ile ilgilidir. Kabarma ve sathi gevşemelerin meydana gelmesine tesir eden diğer bir hususta karıştırma, sıkıştırma ve kür işleminin sıcak havalarda yapılmasıdır. Yukarıda bahsedilen sebeplerden dolayı Toprak+Kireç stabilizasyonunda kür esnasında trafiğin geçmemesi ve karışımın arzu edilen rutubette kalması zorunlu görülmektedir.

Netice olarak çatlama ve gevşemelerin sebeplerini şöyle özetliyoruz :

1. Kireçle stabilizasyona tabi tutulan yolun zeminde meydana gelen hacim değişimlerinden,
2. Toprak + Kireç karışımlarının arzu edilenden daha fazla sıkıştırılmasından
3. Kür işleminin gerektiği şekilde yapılamamasından
4. Tatbik edilen kireç miktarı, kireç çeşidi ve stabilizasyona tabi tutulan toprağın fiziki yapısından,

5. Kireç stabilizasyonuna tabi tutulan yoldan kür devam ederken ağır trafiğin seyretmesinden
6. Kür zamanında hava rutubetinin yokluğu ve kür işleminin sıcak havalarda yapılmasından çatlama ve gevşemeler olmaktadır.

### **5.1.2 Sabit Tesislerde Karıştırma Usulü**

Kireç stabilizasyonunun tatbik şekli yola, toprak çeşidine, makina parkına, servis yoluna, malzeme ocaklarının yakın veya uzaklığına göre değişmektedir. Son araştırmalara göre stabilizasyon işleminin sabit tesislerde yapılması tercih edil mektedir. Bu tercih sebeplerini şu şekilde özetleyebiliriz :

1. Granüler veya killi topraklara ilave edilecek kireç ve su nisbetlerinin kesin olarak tespit edilebilmesi.
2. Hazırlanan karışımın tesbit edilen kalınlıkta olup olmadığının kontrolü.
3. Toprak + Kireç karışımına banketlerden toprak karıştırılmaması.
4. Karıştırma ve nakliyat esnasında su kaybının az olması.
5. Bağdaşık bir karışımın elde edilmesi.
6. Karıştırma işleminin kısa sürmesi.
7. Karıştırma işleminin her türlü iklim şartlarında (Rüzgarlı, yağmurlu havalarda) yapılabilmesi.
8. Karıştırma kapasitesinin yüksek olması.

Sabit tesislerde kireç stabilizasyonunun tatbiki avantajlar sağlamakta ise de mahzurlu tarafları da vardır.

1. Sabit tesisin çok pahalı oluşu,
2. Tesisin tam kapasite ile çalıştığı bir anda arıza göstermesinin bütün projede çalışmaların durdurulmasına sebep olması,

### 3. Stabilize edilecek toprağın uzakta olması

Merkezi tesislerde kireç stabilizasyonu tatbik edildiği takdirde aşağıdaki işlemlerin yapılması gereklidir :

1. Malzeme ocağının tesbiti.
2. Sabit tesislerin kurulması.
3. Tesislerde kontrol çalışmalarının yapılması.
4. Toprak veya plastisite indeksi yüksek olan granüler toprakların depo edilmesi.
5. Kireç ihtiyacının tespiti ve nakliye işi ile stabilizasyon işleminin ayarlanması.
6. Su deposu
7. Tesislerin karıştırma zamanının tespiti ve homojenliğin kontrolu
8. Karışımın nakli
9. Serme işlemi
10. Kaba reglaj ve gcvssek kalınlık kontrolu
11. Sıkıştırma tekniği
12. Sıkıştırma ve sıkışmış kalınlıkların kontrolu
13. İnce (Nihai) reglaj
14. Kür işlemi
15. Bitümlü kaplamanın tatbiki
16. Yolun trafiğe açılması

### 5.1.2.1 Toprak Ocaklarının Tesbiti

Stabilizasyon sabit tesislerde yapılacaksa ilk iş olarak araştırma şefliği veya Araştırma Fen Heyeti Müdürlüğü Arazi İşleri Şefliği tarafından ocakların stabilizasyonda kullanılacak malzemenin etüdü yapılmalıdır. Ocak etüdü neticelerine ve ocağın yoldan mesafesine ve stabilizasyonun yapılacağı uzunluğa göre sabit tesisin kurulacağı yer tesbit edilir. Stabilizasyona tabi tutulacak yolun uzunluğuna göre birçok malzeme ocakları tesbit edilir ve ocak malzemeleri üzerinde yapılan laboratuvar deneylerine göre etüdü yapılan malzeme ocaklarının hangi stabilizasyon için elverişli olduğu araştırılır.

Stabilizasyonu yapılacak yolun uzunluğu fazla ise taşıma masraflarından tasarruf etmek için yola yakın olan ocaklardan istifade edilir. Bu maksatla her ocaktan alınan malzeme üzerinde laboratuvar çalışmaları yapılır ve her malzeme için ilave edilecek optimum kireç miktarları tayin edilir. Plastisite indeksi yüksek olan toprağa ilave edilecek optimum kireç miktardan toprağın veya granüler malzemenin granülometrisine, plastisite indeksine göre değiştirmektedir. Bu bakımdan kireç stabilizasyonuna tabi tutulması kararlaştırılan kesimde muhtelif ocak malzemeleri kullanıldığı gibi ilave edilecek optimum kireç yüzdeleri de değişik nisbetlerde olur. Umumiyetle topraklara ilave edilecek optimum kireç yüzdeleri aşağıdaki limitler dahilinde olmalıdır.

Kil ve silt ihtiva eden killi, çakıllı, kumlu topraklara laboratuvar deneylerinde tavsiye edilen toprağın kuru ağırlığına göre ilave edilmesi gereken kireç miktarları % 2-3 veya 5 tir. % 50 den fazla kil ve silt ihtiva eden killi, siltli topraklara laboratuvar deneylerinden tavsiye edilen, toprağın kuru ağırlığına göre ilave edilecek kireç miktarı % 5-7 veya 10 arasında değişmektedir.

Bu iki grup arasında kalan topraklara, toprağın kuru ağırlığına göre ilave edilecek kireç miktarı % 3-5 ve 7 arasında değişmektedir. Şiddetli don ve rutubete maruz kalan yollarda kireç stabilizasyonu tatbiki düşünüldüğünde topraklara ilave edilecek kireç miktarları yüksek tutulmalıdır. Bu miktarlar % 8-12 arasında değişmektedir. İlâve edilecek kireç miktarının yüksek tutulması ile bu karışımın dona ve rutubete karşı dayanıklılık gösterdiği tesbit edilmiştir.(Atanur, 1973 s.103)

### 5.1.2.2 Sabit Tesislerin Kurulması

Sabit tesislerin kurulması ve işletilmesi proje şefi ve makine şefi tarafından birlikte yürütülür. Tesisin kurulacağı yer mümkün mertebe stabilizasyona tabi tutulacak yol kesiminin orta kısmında ve yola yakın olmalıdır. Tesisin sık sık yer değiştirmesinden kaçınılmalıdır. Tesisin kurulmasında stabilizasyona tabi tutulacak toprağın kafi miktarda depo edilebileceği bir saha seçilmelidir. Seçilen saha düzeltilmeli ve organik topraklar, bitkiler sökülüp

atılmalıdır. Sahanın temizleme ve düzeltme işi bittikten sonra tesisler yerleşme planına göre kurulmalıdır. (Atanur, 1973 s.103)

### 5.1.2.3 Tesislerde Kontrol Çalışmalarının Yapılması :

Tesis kurulduktan sonra, her ünitenin normal çalışıp çalışmadığı kontrol edilmelidir.

Bu üniteleri şöyle sıralamak mümkündür :

- a) Malzemenin karıştırma tamburuna nakli, ünitesi,
- b) Karıştırma ünitesi,
- c) Tartı ünitesi,
- d) Su verme ünitesi,
- e) Kireç verme ünitesi,
- f) Boşaltma ve nakil işi.
- g) Serme-Kaba reglaj işlemi,
- h) Sıkıştırma tekniği,
- ı) İnce reglaj işlemi
- i) Bitümlü kaplamanın tatbiki ve yolun trafiğe açılması.
- a) Malzemenin karıştırma tamburuna nakli :

Bu ünite malzemenin depo mahallinden, karıştırma tamburuna naklini yarar. Şayet malzeme arzu edilen elekten geçirilerek depo edilmişse karışım doğrudan doğruya nakil

kayışı üzerine veya dökme hunisine oradan da kanştırma tanburuna verilir. Şayet malzeme elenmemiş tüvenan durumda ve iri taneli ise, malzeme nakil kayışına veya malzeme dökme hunisine verilmeden önce huni üzerine yerleştirilen elekten elendikten sonra dökme hunisine veya nakil kayışına verilmelidir. Bu ünitenin muntazam çalışıp çalışmadığı kontrol edildikten sonra diğer ünitelerin kontroluna geçilir.

b) Karıştırma Ünitesi :

Toprak, su ve kirecin kanştırılması, karıştırma tamburu veya kanştırma kutusunda yapılır. Karıştırma işi tamburda yapılıyorsa, karışımın homojen olması için ilk iş olarak karıştırma müddeti tespiti gerekmektedir. Karıştırma müddeti muhtelif zamanlarda karışımdan alınan numuneler üzerinde yapılan serbest basınç mukavemet deneylerine dayanır

Arzu edilen serbest basınç değerini veren kanştırma zamanı, o karışımın karıştırma müddeti olarak kabul edilir. Diğer taraftan hemen şunu da ilave edelim ki: Karıştırma müddeti arttıkça homojenlikte artar ve serbest basınç mukavemet değerlerinde yükselmeler meydana gelir. Bu bakımdan karıştırma müddeti, şartnamelerde ön görülen serbest basınç mukavemet değerinin elde edileceği şekilde ayarlanmalıdır. Karışımın üniformaluluk derecesi iki şekilde kontrol edilebilir.

Karıştırma tanklarından (Tamburundan, kutusundan) çıkan karışımın gözle muayene usulü: Bu usulde, karıştırma zamanını değiştirmek suretiyle karıştırma kutusundan çıkan karışımın homojen olup olmadığının gözle muayene edilmesinden ibarettir. Daha fazla İngilizler tarafından tatbik edilmekte olan diğer bir usulde çıkarılan karışım laboratuvara getirilir, karışım iki eşit parçaya bölünür. Birinci parçaya herhangi bir işlem yapılmadan doğrudan doğruya proktor kalıbında üç tabaka ve her tabakaya 2.5 Kg. lık tokmak ile 25 darbe vurmak suretiyle serbest basınç mukavemet deneyi için numuneler hazırlanır. İkinci parça ise homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılır ve bu karışım da standart proktor kalıbında üç tabaka ve her tabakaya 2.5 Kg. lık tokmak ile 25 darbe vurmak suretiyle sıkıştırılır. Bu iki şekilde hazırlanan numuneler 7 gün rutubetli odada (Nisbiri- tubeti % 95 in üstünde olan) kür'e tabi tutulduktan sonra serbest basınç mukavemet deneyi yapılır. Elde edilen serbest basınç mukavemet değerlerinin ortalaması alındıktan sonra, aşağıdaki formülden istifade edilerek karıştırma yüzdesi tespit edilir.

$$\text{Karıştırma \% 'si} = \frac{C_f}{C_r} \times 100$$

$C_f$  = Tamburdan çıkan karışımın ortalama serbest basınç mukavemet değeri.

$C_r$  = Tamburdan çıkan karışım, laboratuvarında tekrar karıştırıldıktan sonra elde edilen ortalama serbest basınç mukavemet değeri.

Karıştırma nisbeti modern tesislerde yapıldığında, killi topraklar için % 60-80, az plastisik granüler malzemelerde % 100 karıştırma nisbeti elde edilmektedir.

c) Tartı Ünitesi :

Merkezi tesislerde (Sabit tesislerde) malzemenin belirli miktarda verilebilmesi için yüksek kapasiteli teraziler veya birim hacimdeki ağırlıkları tespit edilmelidir. Son zamanlarda imal edilen sabit tesisler umumiyetle birim hacim ağırlığı esasına göre tanzim edilmişlerdir. Diğer taraftan malzeme ve kireç miktarının ayarlanmasından belirli bir zaman için karıştırma tamburuna akan (Nakil kayışından akan karışım tambura aktarılmadan dışarıya herhangi bir kaba alınmak suretiyle, akan kireç miktarı tespit edilir.) Malzeme ve kireç miktarları tespit edilir.

d) Su verme:

Stabilizasyonda kullanılacak suyun temiz olması gerekir (asit tuz ve organik maddelerden arı) Bu bakımdan stabilizasyon işlemine başlamadan evvel proje şefinin kullanılacak suyun temiz olup olmadığını kontrol ettirmesi icap eder. Kullanılacak su dere suyu ise bilhassa dikkat etmek gerekir. Çünkü umumiyetle fabrika, hastahane ve diğer iş yerlerinin kanalizasyon suları ve muhtelif şekillerde işlem görmüş sular derelere akıtılmaktadır. Bu bakımdan dere kaynaklarından itibaren suyun alınacağı yere kadar dereye kanalizasyon veya diğer şekilde zararlı suların akıp akmadığı kontrol edilmelidir.

Zaman ve imkanlar müsade ettiği takdirde su numuneleri alınarak laboratuvar tahlili yapılmalıdır. Çünkü bilhassa organik maddeler kireç stabilizasyonunda çok zararlı etki yapmaktadır. Stabilizasyonda içme suyu kullanılacak ise yukarıdaki işlemlere ihtiyaç yoktur.



Suyun kontrolünden sonra sabit tesisteki su çekme ve karıştırma su verme ünitelerinin normal işleyip işlemediği kontrol edilmelidir. Su vanalarının normal çalışıp çalışmadığı gözden geçirilmelidir. Karıştırma esnasında sabit tesis oldukça fazla su çektiğinden bazan musluk suyu veya dere suyu kafi gelmeyeceği hallerde ayrıca sabit tesise yakın yerde su deposu (Havuz) yapmak mecburiyeti hasıl olmaktadır. Bu su depoları beton veya saçtan yapılabilmektedir.

e) Kireç verme ünitesi :

Sabit tesislerde kullanılacak kireç umumiyetle sönmüş veya sönmemiş pulverize edilmiş tüvenan kireç olmalıdır. İri sönmemiş kireç sabit tesislerde kullanılamaz. Pulverize edilmiş kireç sabit tesisin yanında kurulmuş silolarda depo edilir. Silonun depo kapasitesi 10— 30 ton arasında değişmektedir. Hususi şekilde imal edilmiş, kireç nakline yarayan tanklar vasıtası ile fabrikada kireç hava tazyiki ile tanka verilir. Bu tanklar, tazyikli hava verme tertibatına sahip olup, bu tazyikli hava vasıtası ile tanktan kireç veya çimento siloya nakledilir.

Dağıtım ünitesinden siloya verilen kireç belirli bir tazyik altında hortum vasıtası ile kireç dağıtma kutusuna gelir. Bu kutunun altına monte edilmiş olan şanzuman vasıtası ile, arzu edilen miktarda kireç nakil kayışına verilir. Şanzuman üzerindeki tertibat vasıtası ile akan kireç hem nakil kayışı ve hemde icabında dışarıya aktanlabılır.

Kireç miktarının ayarlanmasında, 15 saniyede akan kirecin ayrı bir kaba alınıp tartılması ve 4 ile çarpmak suretiyle bir dakikada akan kireç miktarı ağırlık olarak bulunması gerekir. Diğer taraftan toprağın da 15 saniye içerisinde kayıştan akan miktarı tayin edilir. Bu suretle bir dakikada akan malzeme ağırlığına göre kireç miktarı da ayar edilir. Stabilizasyon işlemi sırasında bu işlem sık sık kontrol maksadı ile yapılır. Çünkü segrigasyondan dolayı toprak ağırlığı sık sık değişmektedir

f) Boşaltma ve Nakil İşi :

Tamburda veya karıştırma kutusunda karıştırma işi yapıldıktan sonra karıştırma kamyonlara aktarmak suretiyle nakil işi yapılır. Nakil esnasında fazla rutubet kaybetmemek için karışımın üzerine branda bezi veya plastik örtüler örtülmelidir. Nakil işi uzun zamana ihtiyaç gösterdiği takdirde ve karışımın yola serilmesi esnasında meydana gelecek rutubet

zayıtı, havanın sıcaklık durumu göz önünde tutularak toprak+kireç karışımına optimum rutubetten fazla su verilmesi yerinde olur.

g) Serme ve kaba reglaj işlemi :

Serme: Sabit tesislerde serme işlemi projenin makine durumuna göre muhtelif şekillerde tatbik edilir :

1. Finisher vasıtası ile serme : Karışım sabit tesislerde hazırlandıktan sonra kamyonlar vasıtası ile yola nakledilir ve karışımın serilmesi muhtelif tip finisherlerle yapılır. Barbar — Green, Blow — Knox finisher'leri bu iş için çok elverişlidir. Serme işleminde Blow—Knox finisher'i kullanıldığında, finisher'in hareketi raylar üzerinde olduğundan önceden raylar stabilizasyon kısmına yerleştirilmelidir.

Finisher'in muhtelif kalınlıklarda sermesi ayar edilebilir. Sıkışma payı göz önünde tutularak gevşek kalınlık ayarı yapılmalıdır. Bu sıkışma payı kumlu-çakıllı topraklarda takriben % 20 — 35 arasındadır. Bu duruma göre 20 cm. sıkışmış kalınlığının elde edilebilmesi için 25 cm. gevşek karışımın serilmesi icap eder. Yol üzerinde monte edilen raylar 20 cm. sıkışmış kalınlığa göre ayarlanmışsa serilen gevşek malzemenin kalıbın (rayın) 5 cm. üstünde bulunması gerekmektedir. Projeyi idare eden mühendis sıkışmış kalınlığın arzu edilen şekilde elde edilmesi için rayın yan tarafında gevşek karışım kalınlığının 5 cm. olup olmadığını sık sık kontrol etmelidir. Finisher'in serme işlemi bittikten sonra sıkıştırma işlemi yapılır ve 7 gün kür müddetinden sonra (kalıplar) raylar sökülür. Kalıp söküldükten sonra sıkışmış kalınlık tekrar kontrol edilir. Arzu edilen sıkışmış kalınlık elde edilmediği takdirde, bundan sonraki stabilizasyon işleminde arzu edilen sıkışmış kalınlığın elde edilmesi için gevşek kalınlık ayarı yapılır. Barbar—Green Finisher'i ile serme işlemi yapıldığında ise makina toprak üzerinde hareket edebildiği için ray döşeme işlemine ihtiyaç olmadığından burada serme ameliyesi daha pratik olmaktadır. Diğer işlemler Blow — Knox dekinin aynıdır.

2. Greyder vasıtası ile Serme :

Şayet sabit tesislerde serme için özel teçhizat yoksa, bu gibi hallerde serme işi greyder vasıtası ile yapılır. Greyder vasıtası ile serme işi çabuk ve kolay olmakla beraber, aşağıdaki mahzurları da vardır :

(a) Greyderle serme işinin yapılabilmesi için en az 100 —150 m. lik yol kesimine gelecek toprak + kireç karışımının yola boşaltılmış olması gerekir. Bu da bir hayli zamana ihtiyaç gösterir. Bu süre karışımın rutubetini kaybetmesine sebep olur. Rutubet kaybı neticesinde arzu edilen sıkışmanın elde edilmesi de zor olduğu gibi rutubet kaybindan ötürü karışımda sertleşmenin meydana gelmesi geciktiği gibi sertleşmede optimum rutubetteki karışıma nazaran daha az olur.

(b) Greyderle serme işinde, arzu edilen gevşek ve sıkışmış kalınlıkların muntazam elde edilmemesi ;

(c) Serme esnasında karışıma ister taban toprağından, ister ariyet toprağından toprağın karışma ihtimali vardır.

Kaba Reglâj : Kaba reglaj işlemi de projenin makina iinkânlarına göre muhtelif şekillerde yapılabilir.

1. Şayet serme işi finisher ile yapılıyorsa, serme ve kaba reglaj işlemi aynı zamanda yapılır. Burada kaba reglaj işi çok muntazam bir şekilde yapılabilmektedir.

2. Serme işinde greyder kullanıldığı taktirde finisherdaki gibi kaba reglaj işlemi muntazam olmamaktadır. Kaba reglaj işinde hangi usul kullanılırsa kullanılsın, kaba reglaj işlemi bittikten sonra yolun sağ, sol ve baş kısmında çok kısa mesafelerde gevşek kalınlık kontrolü yapılmalıdır. Bu kalınlık kontrolünden amaç, karışım sıkıştırıldıktan sonra arzu edilen sıkışmış kalınlığın elde edilip edilmeyeceğidir. Umumiyetle sıkışma payı olarak % 20 — 25 kabul edilmektedir. Şunu da belirtmek yerinde olur ki; sıkışma miktarları toprağın cinsine granülometrisine, rutubet durumuna, sıkıştırmada tatbik edilen enerjiye göre değişmektedir. Bu bakımdan stabilizasyon işlemlerine başlamadan önce laboratuvarında karışımın sıkıştırma yüzdesinin bulunması gerekir. Şayet laboratuvardaki sıkışmış kalınlık şantiyede elde edilmeyecekse bundan sonraki serme işleminde durum göz önüne alınarak gevşek kalınlık ya indirilir veya yükseltmek suretiyle arzu edilen sıkışmış kalınlığı elde edilmesine çalışılır.

#### h) Sıkıştırma Tekniği :

Yukarıda da bahsettiğimiz gibi karışımlar sabit tesisten inşaat mahalline getirilip karışımın serme, ve kaba reglaj işlemleri finisher ve greyder vasıtası ile yapıldıktan sonra hiç vakit kaybetmeden sıkıştırma işlemine başlanır.

Granüler toprak + kireç karışımlarının sıkıştırılmasında ilk sıkıştırma lastik tekerlekli silindirlerle yapılır.

Bu ilk sıkıştırmada karışım üzerinden 34 defa lastik tekerlekli silindir geçirilmesi şeklinde olur. Bundan sonra nihai sıkıştırma Tandem tipi ağır demir bandajlı silindirlerle yapılır.

Karışımın sıkıştırılmasında vibrasyonlu silindirler kullanıldığında ilk sıkıştırma işlemi vibrasyon tatbik edilmeden vibratörün kendi ağırlığı ile karışım üzerinden bir kaç defa geçmesi suretiyle yapılır. Sonra vibrasyonla sıkıştırma işlemi yapılır. Sıkıştırma da vibrasyonlu silindirler kullanıldığında, titreşim sayısı dakikada 1300 ila 2300 olabilir. İlk sıkıştırmada titreşimin az olması sonra arttırılması yerinde olur.

Ağır tonajlı (30 tonluk) pnömatik silindirler kullanıldığında, bu silindirlerin özel tertibatları sayesinde lastik basınçlarını çoğaltmak suretiyle sıkıştırma enerjisi arttırılabilir. Umumiyetle lâstik basınçları 60, 80 ve 100 Libre inç kareye ayarlanabilir. İlk sıkıştırma düşük basınçta, sonra yavaş yavaş lastik basıncını arttırmak suretiyle sıkıştırma işlemi yapılır. Nihai sıkıştırma işlemi bittikten sonra kısa mesafelerde veya proje mühendisinin tespit ettiği yerlerde arazi kaba yoğunluk deneyi yapmak suretiyle sıkışma yüzdeleri kontrol edilir. Sıkıştırma yüzdeleri Karayolları fenni şartnamesinde gösterilen miktarda olmalıdır. Sıkıştırma kontrolü esnasında açılan çukurlarda sıkışmış kalınlık kontrolü da yapılır. Arzu edilen kalınlıklarda fazla veya eksik kalınlık elde edilmişse, bundan sonraki serme işleminde durum göz önüne alınarak serme yapılmalıdır.

### 1) İnce Reglaj İşlemi :

Toprak+Kireç karışımlarının nihai reglajı toprağın durumuna ve mevcut makina ve imkanlara göre değişir. Reglaj şekli ne olursa olsun, ana kaide kanşımının arzu edilen rutubette ve arzu edilen kaba yoğunlukta sıkıştırılmasıdır. Nihai reglajda dikkat edilecek bir hususta keçi ayağının sıkıştıramadığından meydana gelen 3-5 cm. lik üst kısmın hafif sulamak suretiyle greyder veya lastik tekerlekli silindir ile tekrar sıkıştırılması gerekliliğinin unutulmamasıdır. Bu şekilde nihai bir sıkıştırma yapıldıktan sonra, düzgün ve sıkışmış bir sath elde edildiği gibi, kabarmalar ve çatlamlar meydana gelmez.

İnce (Nihai) reglaj usulleri stabilizasyona tabi tutulan toprağın cinsi ve elde mevcut makine parkına göre değişir.

#### 1. Usül :

- a) Sıkıştırılmış sathın üstünde kalan gevşek veya sıkışmamış kısım hususi bir şekilde hazırlanmış ve traktörle çekilebilen tırmıklar vasıtası ile kabartılır.
- b) Kabartılmış sath, greyder ile tesviye edilir. icap ederse sulanır, lastik tekerlekli silindir ile sıkıştırılır.
- c) Sıkıştırma işlemi bittikten sonra meydana gelen kabarıklıklar greyder vasıtası ile kesilir ve bertaraf edilir.
- d) Meydana gelen düzgün sath, icap ederse hafifce sulamak suretiyle tekrar lastik silindirlerle sıkıştırılır.

#### 2. Usül :

Burada sıkıştırma işlemi toprağın ihtiva ettiği çakıl yüzde miktarına ve toprağın plastisite indeksine göre değişir.

Bu duruma göre proje mühendisi nihai reglaj işleminde lastik tekerlekli veya demir bandajlı silindir kullanılabilir.

- a) Sıkıştırılmış toprak + kireç karışımı greyder vasıtası ile tesviye edilir.

b) Tesviye işleminden sonra demir bandajlı silindir geçirilir. Bu işlem ile sıkıştırma işi yapıldığı gibi düzgün bir satıh elde edilmiş olur.

c) İcap ederse hafif sulamak suretiyle lastik tekerlekli silindir geçirilir.

İkinci Usulün değişik şekli : Sıkışmış toprak+kireç tabakasına icap ederse hafif su verilir ve greyder vasıtası ile tesviye işlemi yapılır. Mikser veya özel surette hazırlanmış tırmıklar vasıtası ile kabartma işlemi yapılır; Kabartılmış kısım demir tekerlekli silindirlerle sıkıştırılır ve düzgün bir satıh elde edilmesine çalışılır. icap ederse hafif sulamak suretiyle lastik tekerlekli silindir geçirilebilir.

### 3. Usül :

Bu usul bilhassa plastisite indeksi yüksek olan kumlu-çakıllı topraklarda tatbik edilir. Bu toprakların sıkıştırılmasında ağır lastik tekerlekli silindirler kullanılır. Bu maksatla lastik tekerlekli tampo tipi silindirlerin kullanılması yerinde olur.

a) Sıkışmamış, kabarmış ve satıhta meydana gelen çatlamların bertaraf edilmesi için tırnık veya benzeri aletlerle muayyen kalınlıktaki toprak+kireç karışım muayyen kalınlıkta kabartılır, greyder vasıtası ile tesviye edilir ve satıh hafif sulanır.

b) Lastik tekerlekli silindirlerle nihai sıkıştırma işlemi yapılır. Sıkıştırmadan sonra meydana gelen hafif yükseklikler greyder vasıtası ile kesilir ve bertaraf edilir.

c) Satıh süpürülür, icap ederse hafif sulamak suretiyle lastik tekerlekli silindir geçirilir.

### 4. Usül:

Bu usul iri taneli toprak+kireç karışımlarının ince reglajında kullanılır. Sı sıkıştırma işlemi içinde üç tekerlekli 12 tonluk tandem tipi silindirler kullanılır.

a) Sıkıştırma işlemi bittikten sonra, satıhta usule gelen hafif yükseklikler greyder vasıtası ile kesilir ve bertaraf edilir.

b) Hafif sulamak suretiyle lastik tekerlekli silindir geçirilir ve nihai sıkıştırma işlemi yapılır. Yukarıda bahsettiğimiz ince reglaj usullerinin gayesi düzgün, sıkışmış ve çatlaklıklardan arı sert bir satıh elde etmektir.

Tesviye işlemleri bazı projelerde sıkıştırma işlemi esnasında yapılmaktadır. Bu işlem iyi netice vermemektedir. Çünkü ince tabakalar halinde serilen toprak+kireç karışımlarının aynı kalınlıkta olmaması neticesinde ve serme işlemi esnasında sıkışma işlemi yapıldığı takdirde, sıkıştırılmış tabakalarda aynı oranda sıkışma yüzdeleri elde edilememektedir.

İnce reglaj esnasında göz önünde bulundurulması gereken diğer hususda, toprak+kireç karışımının optimum rutubette tutulma keyfiyetidir. İri taneli toprak+ kireç karışımlarında, en son reglajdan sonra demir bandajlı silindir geçirilmesi, rijit ve düzgün satıh elde edilmesini temin eder.

## 5.2 Toprak+Kireç karışımlarının Yeniden İşlenmesi

Toprak+Kireç karışımlarında ilk kür müddeti bittikten sonra diğer bir deyimle sertleşme meydana geldikten sonra karışımın tekrar işleme tabi tutulmasında zorunluluk olmadıkça sökülmemelidir.

Bazı araştırmacılara göre Toprak + kireç karışımlarının serildikten sonra 2 ila 4 gün arasında sıkıştırılması ve bu karışımlara kireç ilave etmeksizin tekrar işlenmesini tavsiye etmektedir. Şayet kireç ilâvesi ile yeniden stabilizasyon işlemi düşünüldüğünde, ilave edilecek kireç miktarı az, takriben % 1 dir. Kireç + toprak karışımlarının ilave kireç olmaksızın tekrar işlenmesi için, zaman limiti arazi şartlarına ve toprağa ilk ilave edilen kireç miktarına bağlıdır. Yapılan bir deneyde 4 haftalık toprak+kireç karışımı kabartılmış, su ilâvesi ile yeniden sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Elde edilen neticelere göre yolun performansının tatminkâr olmadığı görülmüştür.(Atanur, 1973 s.113)

Sıkıştırma İşlemi : İlk sıkıştırma işlemi toprağın cinsine göre keçi ayağı, lastik veya demir bandajlı silindirlerle yapılır. Stabilizasyon işlemi plastisite indeksi yüksek granüler topraklar üzerinde yapılıyorsa, orta boy vibratörlü silindirlerle yapılması yerinde olur. Karışımı, azami sıkıştırmaya elverişli uygun bir rutubette tutmak için, stabilizasyon işlemi sırasında sık sık karışımın rutubet kontrolünün yapılması zaruridir. Keçi ayağı ile sıkıştırma işlemi yapıldığında sıkışmış tabakanın üstünde 2.5-3.0 cm. kadar gevşek karışım kalır. Kireç stabilizasyonunda hafif sulamak ve ince reglaj yapmak suretiyle çukur kalan yerler doldurulur ve lastik tekerlekli silindirlerle sıkıştırma işlemi yapılır. Stabilizasyonda, stabilizatör kullanıldığı takdirde aşağıdaki işlemler ve avantajlar kolaylıkla temin edilir:

- 1 — Stabilizatör ilerlerken sıhhatli kalınlık kontrolu otomatik olarak yapılır,
- 2 — Yüksek süratli kesici rotor sayesinde tam bir pülvarizasyon elde edilir.
- 3 — Karışım homojen bir şekilde olur,
- 4 — Eski yollarda veya taban toprağında kireç stabilizasyonu tatbik edildiğinde istenilen kalınlıkta kazma işlemleri yapar,
- 5 — Arzu edilen su sıhhatli bir şekilde verilir ve kontrol edilebilir,
- 6 — Karışım yeknesak bir yoğunlukta serilir ve sıkıştırmaya hazır vaziyette olur.

Bütün bu işlemler stabilizatörün tek geçişi ile temin edilmektedir. Araştırma Personeline düşen görevler :

Stabilizasyon işlemleri sırasında bir seyyar laboratuvara ihtiyaç vardır. Araştırma personeli tarafından aşağıdaki hususlar kontrol edilmelidir :

1. Stabilizasyonda kullanılan kirecin aktivitesi,
2. Tespit edilen kireç ve çimento miktarının tam verilip verilmediğinin kontrolü,
3. Karışımın optimum rutubette olup olmadığının kontrolü,
4. Karışımın homojenliğinin kontrolü,
5. Tespit edilen gevşek kahlılığının kontrolü,
6. Sıkışma yüzdelcisinin kontrolü,
7. Sıkışmış kahlılığının kontrolü,
8. Kifayetsiz kör ameliyesinin arzu edilen şekilde yapılmasının temini.

### **5.3 Toprakların Kireçle Stabilizasyonuna Ait Sınırlandırmalar**

Kireç stabilizasyonu yapılacak yol iklim şartları, trafik durumu ve diğer hususlar mühendis tarafından iyice etüd edilmelidir. Diğer taraftan toprak sınıflarının kireç stabilizasyonuna elverişli olup olmadığı temin edilerek kireç tipinin de göz önünde bulundurulması gerekir.



**İklim Şartları:** Bugüne kadar iklim şartlarının stabilizasyon üzerinde ne gibi etki yaptığı kesin olarak bilinmemekle beraber istenen ılıman temperatörlü sahalarda toprak + kireç karışımlarının tatminkar performans verdiği anlaşılmaktadır. Bununla beraber, soğuk havalarda veya soğuk iklimli bölgelerde tatbik edilen toprak + kireç karışımlarında bazı problemler de mevcuttur. Bu problemlerin neler olduğunun tam olarak tesbitine kadar soğuk iklim şartları gösteren yerlerde kireç stabilizasyonunun tatbikinden kaçınılmalıdır. Bazı araştırmalara göre hava temperatörü kür hızını önemli derecede etkilemektedir. Toprak + kireç karışımlarının kür hızları yüksek sıcaklıklarda nisbeten hızlıdır, fakat düşük sıcaklıklarda oldukça yavaştır. Normal olarak en sıcak havada normal trafiği taşıyabilecek bir mukavemet kazanılması için 7 günlük ıslak kür'e gerek vardır.

Soğuk havalarda yeterli mukavemet ve dayanıklılığın elde edilmesi için daha uzun süre kür müddetine ihtiyaç vardır. Soğuk havalarda sertleşme hızı yavaşlatmakta ise de, havaların ısınması ile mukavemetler artmaktadır. Kür esnasında toprak + kireç karışımlarının donması mukavemetinde azalmasına yol açabilir. Don neticesinde karışım içinde meydana gelen don merceklerinin teşekkülünden hacim artması olmakta ve neticede de karışım gevşemekte ve devamlı olarak mukavemet kaybetmektedir. Bu zararı azaltmak ve yeterli mukavemetin elde edilebilmesi için, kireç stabilizasyonunun yaz aylarında yapılması gerekir. Şunu da belirtmek yerinde olacakki, kireçle muamele görmüş toprak, tabii toprağa nazaran don etkilerine karşı daha mukavemtlidir. Bununla birlikte, don tesiri ile meydana gelen hasarın tam miktarı hava sıcaklığına, mevcut rutubet toprağın sınıfına, sıkıştırma enerjisine, kullanılan kireç miktarına ve diğer muhtelif faktörlere bağlıdır. Bundan dolayı karışımın dona karşı mukavim olup olmadığını tahmin etmek oldukça zordur.

**Süreklilik:** Çok az donelere göre toprağa kireç ilave edildiği zaman meydana gelen kimyasal ve fiziksel özelliklerdeki değişiklik sonsuz değildir. Toprak + kireç karışımları genel olarak bazı zemin sularına oldukça etkili olarak karşı koyar. Bununla beraber toprak + kireç karışımları uzun zaman su ile temasta olduğunda hangi reaksiyonların ceryan ettiği bilinmiyor.

Birçok hallerde arazide toprak + kireç karışımlarının plastisite indeksi zamanla az bir artış göstermektedir. Diğer taraftan bu düşüş normal bir reaksiyon olabilir. Plastisite indeksindeki yükseliş çok az ve birkaç sene içinde meydana gelmektedir. Bazan da plastisite indeksindeki

yükselişe mukabil, bazan da düşüş görülebilir. Serbest basınç mukavemet değerlerinde de hal böyle olmaktadır. Önemli bir müddet daimi olarak serbest basınç mukavemet değerlerinde yükseliş göstermekte, bu yükseliş birkaç sene sürmekte ve sonradan da hafif düşüşler müşahade edilmektedir.

Yapım Teknikleri : Diğer malzemelerde olduğu gibi, kireç stabilizasyonu işlemi (Yapı tekniği) karışımın performansı üzerinde etki yapmaktadır. Yapımdan sonra toprak + kireç karışımı tabakalarının kenarlarında meydana gelen bozukluklar ilave edilen kireç % miktarının optimumda olmamasından karışımın bağdaşık yapılmamasından, arzu edilen rutubetin verilememesinden, sıkışmanın arzu edilen şekilde yapılmamasından, iklim şartlarından ve yeterli kalınlık verilmemesinden ileri gelmektedir.

Bunlar uygun yapı tekniği tatbik etmek suretiyle bertaraf edilebilir. Bazı yapımcı mühendisler, yapımda meydana gelen düzensizliklerin giderilmesi için toprağa gerekenden fazla kireç ilave etme yoluna gitmişlerdir. Bu usul maliyeti arttırmaktan başka hiçbir işe yaramaz. Çünkü topraklara ilave edilecek kirecin optimumda olması gerekir. Bu bakımdan optimum kireç yüzdesinin üstünde ilave edilen kireç, karışımın serbest basınç mukavemet değerini düşürmektedir. Bu nedenle yapımda arzu edilen kireç yüzdesinden fazla kireç ilave etmekten kaçınılmalıdır.

Güvenlik Tedbirleri: Kirecin işçilere zarar vermesini önlemek için özel güvenlik tedbirleri alınmalıdır. Sönmüş kireç nisbeten zararsızdır. Fakat cildi hassas olanlara oldukça zarar verir. Stabilizasyonda sönmemiş kireç kullanıldığında, yakıcı özelliğinden dolayı rutubet karşısında çok tehlikelidir. Terleme esnasında çok az sönmemiş kireç dahi şiddetli deri yanmalarına sebep olur. Gözler üzerinde yakıcı tesiri olduğundan, kireç stabilizasyonu ile uğraşan personelin lastik eldiven lastik çizme, gözlük kullanmaları, kireç toz halinde ise, süzgeçli maskeler kullanmaları zorunludur. Cildin, korunması için de özel koruyucu kremler kullanılır. Diğer taraftan kireç stabilizasyonu şantiyelerinde özel yanık merhemleri, tatlı su ve göz yıkama kadehleri ile bu hususta bilgili personel bulundurmak zorunluluğu vardır. (Atanur, 1973 s.116)

#### 5.4 Arazi Tatbikatı ile İlgili Genel Sonuçlar

İster literatür çalışmaları, ister laboratuvar çalışmaları toprağa kireç ilave edildiğinde ve yapım tekniğine uygun olarak yapılan stabilizasyonda kirecin toprağı islâh edeceği, ona mukavemet kazandıracağı ve toprağın dayanıklılığını arttıracığı gerçeğini ortaya koymaktadır. Kireç, yapım tekniğine uygun davranıldığı takdirde toprak stabilizasyonunda başarı ile kullanılabilir ve kullanılmıştır.

Kirecin etkenliği arzu edilen reaksiyonlara bağlı olup, stabilizasyona tabi tutulacak toprağın cinsi ile sıkı sıkıya bağlıdır. Toprağın plastisitesini düşürmek ve böylece onu daha kolay ufalanır ve daha kullanılabilir bir hale getirmek için iyonik bir değişme isteniyorsa, kullanılan toprağın plastik olması lazımdır. Diğer taraftan kireç ilâvesi ile toprağın kalitesinin yükseltilmesi ve islâh edilmesi düşünülüyorsa, toprağın çimentolaşma etkisini meydana getirecek kimyasal bileşimleri ihtiva etmesi gereklidir.

Genel olarak çok plastik killer kireçle daha büyük bir reaktiviteye sahiptirler ve kireç ilâvesi ile önemli derecede islâh olurlar. Bununla beraber, esasen düşük bir plastisiteye sahip bir toprağın plastisite indeksini daha düşürmede kireç fazla etkili değildir. Granüler toprakların kireçle stabilizasyonu güçtür. Fakat granüler toprakların içine muayyen miktarda kil veya sun'i pozzolanlardan uçucu kül veya tabii pozzolanlardan tuf ilave etmek suretiyle granüler topraklara başarı ile kireç stabilizasyonu tatbik edilebilir.

Umumiyetle toprak stabilizasyonunda herhangi bir ticari kireç kullanılabildiği gibi, diğer sanayi dallarından çıkan artık kireçler de kireç stabilizasyonunda kullanılabilir. Doğal olarak fenni şartlar altında hazırlanmış kireç, diğer kireçlere nazaran stabilizasyonda daha etkilidir. Mevcut şartlar altında muhtelif şekillerde çeşitli kireç tiplerinin tedariği mümkün olan hallerde, hangisinin daha etkili ve ucuz olduğunu etüd etmek gereklidir. Kullanılan kirecin tipi ne olursa olsun minimum ilave edilecek kireç miktarı % 3'ten daha az olmamalıdır. Çünkü ilave edilecek kireç miktarı % 3'ten az olduğu takdirde ve yapım tekniğinin tam tatbiki için icap eden makine ve aletler kifayetsiz ise bu gibi stabilizasyonlarda arzu edilen netice elde edilemez.

Kirecin stabilizasyon malzemesi olarak kullanılmasını sınırlayan başka bir hususta kür sıcaklığıdır. Arzu edilen mukavemet ve dayanıklılığın elde edilmesi için toprak+kireç karışımları bir süre ılık sıcaklıkta kür edilmelidir.

Toprak+Kireç stabilizasyonunun özellikleri laboratuvarda geniş bir şekilde etüd edilmişse de Karayollarında yapılan tecrübe yollarında kifayetli donelerin elde edilmesi bazı sebeplerden dolayı mümkün olamamıştır. Bu donelerin noksanlığı oldukça düşündürücü bir durumdur. Bu bakımdan kolaylıkla yalnız sonuçlara gidilebilir. Bunu bir kaç örnekle aydınlatalım: Literatürlerde gösterilen ideal sıcaklık ve kür şartları altında laboratuvarda elde edilen mukavemet arazide elde edilen mukavemetten çok büyüktür. Eğer toprak uygun olmadığı halde bu şekilde değerlendirme yapılmış ise design'da arazide fiilen elde edilenden daha yüksek mukavemet kullanılacak demektir. Böyle bir durumda yolun kalınlığı gereken kalınlığın altında kalacaktır. Diğer taraftan hali hazırdaki dayanıklılık deneylerinin toprak + kireç numuneleri üzerindeki etkisinin çok olduğu görülmektedir. Birçok defalar laboratuvar deneylere toprak+kireç karışımları performansının arazide fiilen bulunan karışımdan daha zayıf olduğunu göstermiştir. Daha çok malûmat elde edilinceye ve laboratuvar, arazi sonuçları arasında tam bir bağlantı kuruluncaya kadar toprak+kireç karışımları hakkında tam bir design yapma işi ciddi surette engellenecektir.

Özetlemek gerekirse, kireç stabilizasyonunda bir takım eksiklikler olmakla beraber aşağıda verdiğimiz sonuçlar kuvvetli bir şekilde teyid edilmektedir.

1 — Kireç, daha plastik killerin arzu edilmeyen özelliklerini islah etme temayülünü göstermektedir. Killeri kolay ufalanır hale getirmekte, toprakların plastisite indeksini düşürmekte ve hacim değişmesini azaltmaktadır.

2 — Killi topraklara kireç ilave edildiğinde, çimentolaşma olayı meydana gelmesi neticesinde toprak+kireç karışımının serbest basınç mukavemet değeri ve tabii etkilere karşı dayanıklılığı artmaktadır.

3 — Ağır killer, plastisite indeksi yüksek olan granüler topraklara kireç ilave etmek suretiyle çok iktisadi olarak yol yapımına elverişli bir yapı malzemesi elde edilmektedir.

4 — Kireç stabilizasyonu bütün cins topraklarda başanlı olarak kullanılamamaktadır. Başlıca stabilizasyon etkisi, yüksek plastik killeri inhisar etmektedir.

5 — Plastik olmayan veya plastisitesi düşük toprakların kireçle stabilizasyonu zarureti olursa bu gibi hallerde toprağa uçucu kül veya diğer pozzolanların ilâvesi ile tatminkar kür neticesinde arzu edilen mukavemetler elde edilebilmektedir.

6 — Kireç+pozzolan+toprak karışımları ile kireç+toprak karışımları benzer özelliklere sahiptirler.

7 — Toprak+kireç karışımlarının deney için kullanılan mevcut metodların çoğunun toprak+kireç karışımlarının mukavemet ve dayanıklılık özelliklerinin tam olarak değerlendirmedeği görülmektedir. Bir toprağın modifiye edilmesi veya stabilizasyona tabi tutulması için gerekli kireç miktarları nisbeten daha azdır. Bunun için gerekli kireç miktarı % 1-10 arasında değişmektedir. Fakat genellikle % 3'ten daha az kireç kullanılmamaktadır.

8 — Kirecin toprakla reaksiyona girmesi için toprak+kireç karışımı rutubetli ortamda olmalı ve sıkıştırılmadan evvel bir kür devresi bulunmalıdır.

9 — Toprak+kireç karışımları yüksek mukavemet ve yüksek vasıfta olmaları için çok iyi sıkıştırılmalıdır.

10 — Toprak+Kireç karışımlarında çimento stabilizasyonunda olduğu gibi çabuk sertleşme meydana gelmediği için genellikle kireç stabilizasyonu işlemi için kafi zaman vardır. Bu da yapım bakımından büyük bir avantaj sayılır.

11 — Kireçle işlem görmüş taban toprakları kireçle muamele edilmemiş topraklara nazaran yağmurlardan daha az müteessir olmaktadır. Bu bakımdan uzun süren yağışlardan sonra kireç stabilizasyonuna toprak tam kurumadan işe başlama imkanı vardır.

12 — Yapım sırasında kireçle işlem görmüş temellerin yağmurdan az etkilendiği görülmektedir. Bu temellerin geçirimli olmayışı da sızan suların sıkıştırılmış olan tabana inmesini önlemektedir.

13 — Toprak+kireç karışımlarının mukavemet ve kalite kazanması yavaş olduğundan oldukça uzun bir müddet, sıcak havalarda stabilizasyon işleminin yapılmasını hemen hemen zaruri kılmaktadır. Serin ve soğuk havalarda yapılan kireç stabilizasyonu hiç bir zaman arzu edilen neticeyi vermez.

14 — Kireçle stabilizasyona tabi tutulan plastisitesi yüksek granüler topraklar temel malzemesi olarak kullanıldığı takdirde trafiğin aşınma gücüne karşı mukavemet

göstermediğinden satıhın hemen bitümlü bir tabaka ile kaplanması gerekir.(Atanur, 1973 s.118)

### 5.5 Arazi Kontrol Deneyleri

Arazi kontrol deneylerinden maksat, stabilizasyon işleminin mevcut fenni şartnamelere uygun şekilde yapılmasını temin ve kontrol etmektir. Kireç stabilizasyonunun kalite kontrolleri hususunda mevcut en iyi uygulamayı tayin için geniş bir literatür ve çok sayıda şartnameler yeniden incelenmiştir. Yapılan bu incelemelerin bir sonucu olarak denilebilir ki; kirecin kalite kontrolü hususunda güvenilebilir rehber olarak baş vurulması gereken iki kaynak mevcuttur.

Birinci kaynak Karayolları mühendisleri kontrol şartnamesi olarak kullanılan ASTM standartlarıdır.

ASTM C6-49 ve 207.49: Normal sönmüş kirecin standard şartnamesinde kesin inecik hakkında tadilata ait şartlar belirtilmiştir.

ASTM C 50-57: Kireç ve kireç taşı ürünlerinden numune alınması, bu ürün-lerin kontrolü, ambalajlanması ve işaretlenmesi için standard metodlar.

ASTM C 25-58: Kireç taşı, sönmemiş kireç ve sönmüş kirecin kimyasal analizleri için standard metodlar.

ASTM C 51.47: Kireçle ilgili terimlerin standard tarifleri.

ASTM deneylerinin yapılması için gerekli olan zaman süresi ve bu deneylerin sönmemiş kireçle sönmüş kireç arasındaki farkı ortaya koymaması bakımından Teksas Karayolları Dairesi Yüksek kalsiyumlu sönmüş kireç için bir deney metodu ve bir standard şartname geliştirmiştir. (RERS : Texas Highway dept «Lime testing Procedure» Test metod Tex-600-J, Manual of Testing procedures, Apr. 1961)! (Rfrs: Texas Highway Dept.. Hydrated Lime Slurry» item 264, Standard Specs for Road and Brigge Canstruction Jan 1961). Bu deney metodu kireç kalitesinin birkaç yıllık bir zaman için tesislerdeki kontrolunda tatminkâr olmuştur. Bu metodun gelecekte dolomatik sönmüş kirece de uygulanabilir şekilde geliştirilebileceği ümit edilmektedir.

### 5.5.1 Toprak + Kireç Karışımlarının Kalite Kontroluna Ait Deney Usulleri

Bu işlemden aşağıdaki hususlara dikkat etmek icab eder :

1. İster laboratuarda olsun ister arazide kireç stabilizasyonu için kullanılacak kirecin taze olması şarttır. Kireç numunesinin arazide kullanılacak kireci bütün evsafı ile temsil etmesi gereklidir.
2. Tabii haldeki ve kireçle karıştırılmış toprağın granülometrisi, atterberg limitleri (Likit—Limit, Plastik limit ve Plastisite indeksi) tayin edilmelidir. Bu deney sonuçları bazı topraklar için değerler bakımından sınırlı olabilir. Bununla birlikte, kireç ilâvesi ile killi topraklarda plastisite indeksi bariz bir şekilde düşmediği takdirde, toprağın vasfı ve kirecin kalitesi üzerine dikkatli bir şekilde eğilmek icap eder. Diğer taraftan plastisite indeksi yüksek olan toprağın plastisite indeksi arzu edilen şekilde düşmediği takdirde toprak + kireç karışımının karıştırılması zor olduğu gibi, ilave edilecek kireç miktarlarının yeniden ayar edilmesi şarttır.
3. Toprak + Kireç karışımlarının kalitesi hususunda mukavemet deneylerinden önemli ölçüde bilgi sağlanabilir. Bu basınç deneyleri : Kaliforniya taşıma oranı deneyi, Hveem stabilometri (R) değeri, üç eksenli ve kohezyometri deneylerini ihtiva eder. Kür ve deney için numunelerin genellikle inşaat sırasında istenen optimum rutubet ve maksimum kuru kaba yoğunlukta sıkıştırılması şarttır. Serbest basınç ve üç eksenli deneyler için numunelerin 1/2 boyutunda kalıplanması yerinde bir hareket olur. Diğer taraftan numunelerin arz edilen ölçülerde elde edilebilmesi için hiç değilse %15 bir sıkışma payı bırakılmalıdır. (Hesaplanmalıdır)

Eğer silindirik deney numuneleri 10 cm. den küçük çaplarda kalıplanmış ise bunların kaba yoğunluklarının ve mukavemetlerinin standart ASTM veya AASHO. ekipman ile yapılmış, 10 veya 15 cm. çapında standart numunelere uygulanan deneylerle Korelasyon yapılması şarttır.

Granüler toprakların mümkün olduğu kadar büyük kalıplarda kalıplanması faydalı olur. Yapılan deneyler ne tipten olursa olsun biriktirilen en az 7 gün rutubetli odada kür'e tabi tutulmalıdır. Bu tip numuneler, 7 gün rutubetli odada ve 10 gün su altında kür'e tabi tutuldukları anda 3.5 kg/cm' den daha büyük serbest basınç mukavemetleri veriyorsa bazı araştırmacılar karışımın temel ve taban tabakaları için uygun olduğu kanaatinde dirlar.(Atanur 1973 s. 120)

### 5.5.1.2 Toprak + Kireç Karışımlarında Kalınlık Tayini İçin Hali Hazırdaki Bilgi Ve Usuller

Bu mevzudaki bilgilerin sınırlı olduğu bilinmektedir. Kansas'ta esnek üst yapı kalınlık tayini metodu, kireç stabilizasyonunda da kullanılmaktadır. Louisiana ve Teksas Karayollarında, Teksas Karayolları dairesince bu metod için geliştirilen şekli ile modifiye üç eksenli deneyi kullanılmaktadır. Uygulamada bu tip yapım usullerini kullananlar arasında geniş ölçüde değişiklikler görülmesi dolayısı ile, kireç stabilizasyonu alt komitesi, toprak + kireç stabilizasyonu uygulanmasındaki bu önemli unsurun hali hazırda standartlaştırma konusu olmadığı görüşünü ifade etmektedir. Güvenilir standartlar tavsiye edilebilmesi için toprak + kireç karışımlarının trafik altında davranışlarını ve kalınlık kriterleri, metodları ve korelasyonu ile birlikte müşahade edilen sonuçlar hakkında fazla malumata ve tecrübeye ihtiyaç vardır.

Toprak + Kireç stabilizasyonu uygulayıcıları tarafından zayıf tabanlarda önemli ölçüde deformasyon belirtileri kayıt edilmiştir. Bazılarınca kireç veya başka yarı rijit tabakalar taban üzerindeki üst yapı kalınlıklarını düşürmek için uygulanmıştır. (Rfr. Texas Highway Dept., «Design Manual for Controlled Access Highways.» Chap III —Jan. 1960).

(Texas Highway Dept., «Triaxial Compression Test for Disturbed Soils and Base Materials» Test method Tex-117-E, Manual of Testing Procedures-Apr. 1961 \_).

Taylor, W. H., Jr., «Test Procedures for Lime Stabilization and Structural Design» Louisiana Dept. of Highways-1959—).

Büyük kısmı büyük kohezyonlu veya esnek mukavemetli topraklardan tabakalı olarak inşaat yapılıyorsa ve genellikle üst yapı kalınlığı fazla ise kireç kullanılmak suretiyle bir kalınlık azaltılabilir.

Koheziyometre deneyi; (Rfrst: Texas Highway Dept., «Cohesimeter Test Method-Test Methods for Stabilized Mixtures of Soil-Asphalt, Soil-Lime or Soil-Cement.» Test method Tex-122\_E, Manual of Testing Procedures\_Apr. 1961) daha çok bu metod için yaygın olarak kullanılmıştır. Yolda elde edilebilenden daha yüksek koheziyometri değerlerini kullanmaktan sakınmak için birtakım tedbirler alınması gerekir. (Texas Highway Dept. «Triaxial Compression Test for Disturbed Soils and Base Materials.» Test Method Tex-117•E, Manual of Testing Procedures 1961).



Yukarda bahsedildiği gibi kalınlık tayini hususunda çok az bilgi ve doneler mevcuttur. İster imento stabilizasyonunda, ister kireç stabilizasyonunda olsun, bu gibi stabilizasyonlar yolda tatbik edildiğinde mekanik stabilizasyonda tesbit edilen kalınlıklara nazaran bir indirim yapılıp yapılmaması tartışılan bir konudur. Bu hususta araştırmacılar ve yol yapımı ile meşgul olan mühendisler iki fikir ortaya atmaktadırlar:

1. Kireç gibi stabilizasyon usulleri tatbik edilen yollarda normal mekanik stabilizasyona nazaran bir kalınlık indirimi yapılması gerekir. Çünkü topraklara kireç ilâve edildiğinde taşıma değerleri artmaktadır. Bu bakımdan muayyen oranda kalınlıkların indirilmesi yerinde bir hareket olur.

2. Kireç stabilizasyonu genellikle granülometrisi, taşıma değerleri, plastisite indeksi bakımından yol yapımına elverişli olmayan mahalli malzemelerin değerlendirilmesinde kullanıldığından bu malzemelerin değerlendirilmesi ile kafi derecede ekonomi sağlandığından kalınlıkta indirim yapılması gereksiz olduğu kanaatindedirler.

şimdiye kadar Karayollarında tatbik edilen kireç ve imento stabilizasyonunda kalınlık tayini için ilkezamanlar grup indeks metodu, son zamanlarda ise AASHO ile kalınlık tayin edilmiştir. Stabilizasyonda kullanılan malzemelerin hemen hemen hepsi mahalli malzeme olup, hiç biri Karayolları fenni şartnamelerine uymazlar. Bu bakımdan mekanik stabilizasyonda tatbik edilmesi gereken toplam kalınlığın temel malzemelerinde üstten 15 cm. taban topraklarında ise 15-30 cm. arasında bir kireç stabilizasyonu tatbik edilmiştir. şimdi bu tatbikat esnasında projede yapılan arazi kontrol deneylerinden bahsedelim.

Arazi Kontrol deneylerini şu şekilde sıralamak mümkündür.

1. Yolun irtifa ve elime göre kontrolü,
2. Stabilizasyona tabi tutulacak toprak sınıfının kontrolü,
3. Aktif kireç miktarının tayini,
4. Serilmesi icap eden kireç miktarının hesaplanması ve kontrolü,
5. Karışımda rutubet kontrolü,

6. Karışımında incelik (Pulverizasyon) kontrolü,
7. Karışımın bütün sathta ve derinlikte uniform (homojen) olup olmadığının kontrolü,
8. Mukavemet deneyleri,
9. Sıkışma ve sıkışmış kalınlık kontrolü.

*5.5.1.2.1 Yolun İrtifa Ve Eğime Göre Kontrolü:* Yol inşaatına başlamadan evvel, mevcut plan ve kesitlerine göre kolunda olup olmadığı nivelman yapmak suretiyle kontrol edilir. Yol kotunda değilse, yol kotuna getirilir veya fazlalık mevcut ise bertaraf edilir. Diğer taraftan da muayyen mesafelerde kazıklar çakılarak stabilizasyona tabi tutulacak yolun sathı kesin olarak tespit edilir. Yol sathı greyder vasıtası ile tesviye edilir. Bu esnada sathta mevcut gevşek toprak, bitki kalıntıları bertaraf edilir. Tesviye işlemi bittikten sonra, sıkıştırma işlemine başlanır. Şayet taban toprağı önceden sıkıştırılmış ise sıkıştırma yüzdesinin arzu edilen limite olup olmadığı arazi sıkışma deneyi yapmak suretiyle kontrol edilir. Sıkışma tam değilse, arzu edilen sıkışma elde edilinceye kadar yeniden sıkıştırma işlemi yapılmalıdır.

*5.5.1.2.2 Stabilizasyona Tabi Tutulacak Toprak Sınıfının Kontrolü:* Projede taşıma suretiyle getirilen veya yerinde kabartılan toprağın sınıfının laboratuvarında tesbit edilen toprak sınıfı ile aynı olup olmadığı keza tesbit edilen kireç yüzdesinin doğru olup olmadığı arazi laboratuvarında sınıflandırma deneyleri yapılarak kontrol edilmelidir. Stabilizasyonda başarılı olabilmek için adı geçen toprağı optimum kireç miktarının tam olarak verilmesi lazımdır. Stabilizasyona tabi tutulacak toprağın karakteri, laboratuvarında tesbit edilen toprak karakterinden farklı ise, proje mühendisi stabilizasyona tabi tutulacak topraktan numune alarak bölge veya merkez laboratuvarına göndermeli ve toprağın fiziki karakterindeki değişiklikler kesin olarak tesbit edildikten sonra, yeniden ilave edilecek optimum kireç miktarı tesbit edilmelidir.

*5.5.1.2.3 Kireçteki Aktif Kireç Miktarının Tesbiti:* Kireç stabilizasyonunda kullanılacak kirecin aktivitesinin yüksek olması gerekir. Bu nedenle stabilizasyonda kullanılacak kirecin aktivitesini sık sık kontrol etmek mecburiyeti vardır.

Kireç Stabilizasyonunun laboratuvar çalışmalarında sönmüş kirecin sönmemi-şe nazaran yakıcı etkisi, daha az olduğundan sönmüş kireç kullanılmaktadır. Arazide ise imkan ve şartlara göre sönmüş ve sönmemiş kireç kullanılabilir. Şimdiye kadar Karayollarında yapılan kireç stabilizasyonunda tatbikatı bakımından sönmemiş kireç daha elverişli olduğundan ekseriya sönmemiş kireç kullanılmıştır. Laboratuvarda kullanılan kirecin aktivitesi ile arazide kullanılan kirecin aktivitesi çok farklı olabilir. Bu bakımdan arazi stabilizasyon çalışmalarına başlamadan evvel, stabilizasyonda kullanılacak kirecin aktivitesinin tayin edilmesi şarttır. Aktif kireç miktarı, kirecin içinde bulunan sönmemiş kireç (CaO) yüzdesidir. Kirecin aktivitesi % 67 denildiğinde, adı geçen kireçte % 67 kalsiyum oksit ve % 33 ise sönmemiş kireçtaşı ve diğer silisli maddeler var demektir. Laboratuvarda veya arazide aktif kireç miktarı tayini metodu bundan evvelki bölümlerde anlatılmıştır. Arazide kirecin aktivite yüzdesine göre toprağa ilave edilmesi gereken kireç miktarlarının hesaplanması aşağıdaki tabloda verilmiştir.(Tablo 1)

Tablo 1. Gereken kireç miktarının hesaplanması

A	B	C	D	E	F	G
Tahlil neticesi elde edilen CaO % si	A nin söndürülmesi için lüzumlu su miktarı 18x A/56	B nin söndürülmesinden husule gelen Ca (OH) <sub>2</sub> mik. A + B	Yabancı madde ile elde edilen Ca (OH) <sub>2</sub> % si 100 x C 100 + B	Söndürülmüş Lab. Kireç % sinden elde mevcut kireç % si Lab : Ca (OH) <sub>2</sub> % 67 optimum kireç % 4 67x4/D	Yabancı madde ile beraber alınması lüzum gelen söndürülmüş kireç % si E x 100 D	Sönmemiş kireç'ten alınması lüzum gelen % de 100 x F 100 + B
72	23.1	95.1	77.2	3.47	4.49	3.65
70	22.5	92.5	75.5	3.55	4.70	3.84
68	21.9	89.9	73.7	3.64	4.94	4.05
66	21.2	87.2	71.9	3.73	5.19	4.28
64	20.6	84.6	70.1	3.82	5.45	4.52
62	19.9	81.9	68.3	3.92	5.74	4.79
60	19.3	79.3	66.5	4.03	6.06	5.08
58	18.6	76.6	64.6	4.15	6.42	5.41
56	18.0	74.0	62.7	4.27	6.81	5.77
54	17.3	71.3	60.8	4.41	7.25	6.18
52	16.3	68.7	59.9	4.55	7.72	6.61
50	16.1	66.1	55.9	4.79	8.57	7.38
48	15.4	63.4	53.9	4.94	9.16	7.94
46	14.8	60.8	53.0	5.06	9.55	8.32
44	14.1	58.1	50.9	5.26	10.33	9.05
42	13.5	55.5	48.9	5.48	11.21	9.88
A	B	C	D	E	F	G
40	12.9	52.9	46.8	5.73	12.24	10.84
38	12.2	50.2	44.7	6.00	13.42	11.96
36	11.6	47.6	42.6	6.29	14.76	13.22
34	10.6	44.6	40.3	6.65	16.50	13.92
32	10.2	42.2	38.3	7.00	18.28	16.59
30	9.6	39.6	36.1	7.42	20.55	18.75
28	9.0	37.0	32.9	8.14	24.74	22.70
26	8.4	34.4	31.7	8.45	26.66	24.59
24	7.7	31.7	29.4	9.16	31.16	28.93

### 5.5.2 Serilmesi Lazım Gelen Kireç Miktarının Hesaplanması

Stabilizasyonda kullanılacak kireç proje durumuna göre torbalar halinde veya dökme kireç halinde kullanılabilir. Küçük projelerde kireç torbalar halinde kullanılmaktadır. Büyük projelerde ise umumiyetle dökme halinde kireç kullanılmaktadır. Çünkü torbalanmış kireç diğerine nazaran daha pahalıdır. Projede, toprağa ilave edilecek kireç miktarı toprağın kuru ağırlığına göre verilir. Bazı ülkelerde bilhassa Amerika'da toprağa ilave edilmesi gereken kireç hacmen verilmektedir.

Umumiyetle Avrupa memleketlerinin bir çoğunda ise ilave edilecek miktarı ağırlık esasına (Kg/M') dayanmaktadır. Serilmesi lazım gelen kireç miktarını bir örnekle izah edelim.

Yolun uzunluğu	: 200 metre
Yol genişliği	: 10 metre
Stabilizasyona tabi tutulacak kalınlık	: 0.15 metre
Stabilizasyonu yapılan toprağın kuru-kaba yoğunluğu	: 84.4 Lb /Ft' (1.36 ton/m')
İlave edilecek kireç % si	% 5
Toprağın hacmi	: 200x10x0.15 = 300 m <sup>3</sup>
Toprağın kuru ağırlığı	: 300x1.36 = 408 Ton

Kireç ihtiyacı = (408x5)/100 = 20.4 ton Kirece ihtiyaç vardır.

Bu kireç 200 m lik mesafede damperli kamyonlar ile bağdaşık bir şekilde takribi bir hesapla 5 tonluk kireç yüklü bir kamyon, 50 m. ye serilebilecek şekilde damper arkasındaki zincir ayarlanmalıdır. Şayet projede torba kireci kullanılıyorsa ve kirecin torbasının net ağırlığının 30 Kg. olduğunu kabul edersek :

$20.4 \times 30 = 612$  torba kirece ihtiyaç vardır.

Metre tul'e düşen torba sayısı ise  $612/200 = 3.06$  torba yani metre tul'e 3 torba kireç serilmesi gerekmektedir.

Kireç serme işlemine başlamadan evvel stabilizasyon işlemi yapılacak toprak yolun tesbit edilen genişliğinde serilmeli ve uniform bir kalınlık elde edilmesi için dikkatli bir şekilde tesfiye işlemi yapılmalıdır. Bundan sonra, şayet kireç torbalar halinde ise metre tul'e düşen kireç yolun kenarına eşit mesafelerde konur ve torbalar yol genişliğinde eşit aralıklarla dizilir. Bilahare bu torbalar boşaltılır, tırmık veya benzeri aletlerle mütecanis bir şekilde

serilir. Bundan başka hususi kamyon ve silolar vasıtası ile de serme yapılabilir.

## **5.6 Karıştırma Ve Rutubet Kontrolü**

Kireç serme işlemi bittikten sonra, stabilizasyonda kullanılan kireç sönmemiş kireç ise, arazözler vasıtası ile bol miktarda su ile kirecin söndürme işi yapılmalıdır. Kirecin tam sönmelerini temin için arazözle sulama işlemi yapılmalıdır. Bu işleme kirecin tam söndüğüne kanaat getirilinceye kadar devam edilir.

Diğer taraftan toprak+kireç karışımına rutubetlendirme işlemi de aynı zamanda yapılır. Optimum rutubetin üstündeki toprak+kireç karışımında ilk karıştırma işlemi yapılır ve yol kenarına fiğüre edilmek suretiyle bir gece rutubetli kür işlemine tabi tutulur. Bu kur esnasında toprakta meydana gelecek kimyasal reaksiyonların ilki, kil topraklarında kirecin etkisiyle yumuşama (killi toprağın kolay dağılma) olmasıdır. İkinci günün sahabı fiğürenin serme ve karıştırma işi yapılır. Karıştırma esnasında karışımın muhtelif yerlerinden rutubet numuneleri alınır. Karışım optimum rutubetin üstünde ise karıştırma esnasında buharlaşmadan dolayı kısa bir müddet sonra karışım optimum rutubete gelecektir.

Şayet karışım optimum rutubetin altında ise karıştırma ve serme esnasında hafif rutubet vermek suretiyle karışımın optimum rutubete getirilmesine çalışılır. Bu durum rutubet numuneleri alınmak suretiyle kontrol edilir.

### **5.6.1 Karışımın İncelik (pulverizasyon) Kontrolü**

Kireç stabilizasyonuna tabi tutulacak toprak, granüler ve plastisite indeksi yüksek ise burada tabiatıyla pulverizasyon mevzu bahis olmayacaktır. Kireç stabilizasyonuna tabi tutulacak toprak normal olarak killi ise pulverizasyon hususu özel bir önem arzeder. Çünkü, kirecin etkisi ince kil partikülleri üzerinde olduğuna göre, pulverizasyon işlemi ne kadar iyi yapılırsa, kirecin etkisi o nisbette fazla olur. Diğer taraftan da esasen kireç, killi toprakların yumuşamasını ve bundan dolayı da kolay pulverizasyonunu sağlar. Pulverizasyon işleminin kolay olmasına tesir eden bir faktör de kirecin aktivitesidir. Tabiatıyla aktivitesi düşük olan kireçler stabilizasyonda kullanıldığında pulverizasyon işlemi tam olmadığı gibi, kireç stabilizasyonundan elde edilen netice de tatminkar olmaz. Bu bakımdan kireç stabilizasyonuna tabi tutulacak kirecin muayyen aktivitede olması şarttır.

Sönmüş kireç veya sönmemiş kireçte kalsiyum ve magnezyum oksit yüzde miktarları aşağıdaki limitlerden az olmamalıdır:

Kalsiyum ve magnezyum  
oksid

Sönmemiş kireçte

Sönmüş kireçte

% 75

% 55

Toprak+Kireç karışımının pulverizasyon derecesi karışımdan alınan temsili numuneler üzerinde tespit edilir. Alınan temsili numunenin içindeki çakıl veya taş kısmı bertaraf edildikten sonra, geriye kalan numunenin rutubet yüzdesi tayin edilir. Numune 4.76 mm. elekten geçirilir, bu eleğin üstünde kalan ve geçen kısımların ağırlığı tespit edilir. Rutubet yüzdesine göre karışımın kuru ağırlığı hesap edilir.

4.76 mm. elekten geçen karışımın kuru ağırlığı

İncelek % =  $x \times 100$

Numunenin toplam kuru ağırlığı

Pratik olması için incelik yüzdesinin hesabı karışımın yaş ağırlığına göre de yapılabilir. Çünkü 4.76 mm elekten geçen ile 4.76 mm. elek üstünde kalan kısımların rutubetleri takriben aynıdır. Toprak+kireç karışımlarının pulverizasyon derecesi için bir incelik limiti konulmaktadır.

2.54 mm. elekten geçen : % 100

4.76 mm. elekten geçen : % 60 dan az olmayacaktır.

Şunu da memnuniyetle belirtmek gerekir ki, kirecin söndürülmesi, rutetli kür ve kirecin aktivitesi arzu edilen limitler dahilinde olduğunda bu incelik kolaylıkla elde edilebilir.

### **5.6.2 Karışımın Uniform Olup Olmadığının Kontrolü**

Stabilizasyonda kirecin bağdaşık bir şekilde karıştırılması mühim faktörlerden biridir. Toprak+kireç karışımının arzu edilen şekilde karışıp karıştırılmadığının kontrolü için, karışım gevşek kalınlıkta ise, muhtelif yerlerde çukurlar açarak tabakalaşma ve kümeleşmenin mevcut olup olmadığı kontrol edilir. Bu açılan çukurlarda aynı zamanda karışımın gevşek kalınlığı ölçülür. Tespit edilen gevşek kalınlığın arzu edilen sıkışmış kalınlığa tekabül edip etmeyeceğine de bakılır. Karışım uniform bir renk almışsa kireç toprakla bağdaşık bir şekilde karışmış demektir.

Kanşımında kirecin tabakalaşmasını ve kümeleşmesini tam olarak tespit etmek için, gevşek haldeki karışımında açılan çukurun yamacına bakkal küreğinin arkası ile hafifce vurulmalıdır. Tabakalaşma ve kümeleşme mevcut ise durum derhal kendini belli eder. Tabakalaşma ve kümeleşme mevcut ise karıştırma işlemine devam edilmelidir.

### **5.6.3 Mukavemet Deneyleri**

Laboratuvarda elde edilen mukavemet deneylerinin arazide de elde edilip edilmediğini kontrol maksadı ile arazi laboratuvarında aşağıdaki deneyler yapılmalıdır :

- a) Kaliforniya taşıma oranı (C.B.R. deneyi),
- b) Serbest basınç mukavemet deneyleri (7, 14, 21, 28, 60, 90 günlük)
- c) Islatma — kurutma deneyi.
- d) Donma — Çözülme deneyleri ve optimum kireç miktarının tespiti için kullanılan diğer deneyler.

Toprağa kireç ilâvesi, karıştırılması ve optimum rutubete getirilmesi işlemleri bittikten sonra serme (Kaba reglaj) işlemi sırasında proje teknisyeni tarafından karışımın muhtelif yerlerinden deneylere yetecek şekilde numuneler alınır. Numuneler alınırken karışımın tabii rutubetini kaybetmemesi için gerekli tedbirlerin de alınmasını unutmamalıdır. Bu tedbirler şunlar olabilir :

- a) Rutubet kaybetmeyecek özel şekilde numune alma kablalarının kullanılması.
- b) Numune almada, numune alma tepsileri kullanıldığı takdirde tepsilerin üzerini ıslatılmış bezlerle örtmek suretiyle karışımın rutubet kaybetmesine mani olunur.

Arazi laboratuvarına getirilen toprak + kireç karışımından hiç vakit kaybetmeden bir taraftan CBR deneyi için numuneler, diğer taraftan serbest basınç, islatma -- kurutma ve donma — çözülme deneyleri için biriketler hazırlanmalıdır. Yapılan biriketler proktor kalıbından çıkarıldıktan sonra rutubetli kür hücresinde kür'e tabi tutulurlar. 7 günlük kür müddetinden sonra numunelerin bir kısmında islatma — kurutma, donma — çözülme, serbest basınç mukavemeti deneyleri yapılır. Yalnız arazi laboratuvarında donma — çözülme ve islatma — kurutma deneylerinin yapılmasına pek imkan olmadığından umumiyetle 7 gün kür



müddeti bittikten sonra bu numuneler deney için bölge veya merkez laboratuvarına gönderilir. Arazi laboratuvarında kuru ve yaş CBR deneyleri kolaylıkla yapılabilmektedir.

#### **5.6.4 Sıkışma ve Sıkışmış Kalınlık Kontrolü**

Toprak + Kireç karışımlarında sıkışma yüzdeleri killi — Siltli taban topraklarında arazi kaba yoğunluk deneyi ile plastisite indeksi yüksek granüler toprakların sıkışma kontrollerinde ise kasnak metodu ile sıkışma yüzdeleri tayin edilir. Sıkışma kontrolü, son sıkıştırma amliyesi bittikten sonra yolun muhtelif kesimlerinde ve kısa mesafelerde yapılır.

Umumiyetle şartnameler laboratuvarında elde edilen maksimum kuru kaba yoğunluk ile arazide elde edilen maksimum kuru kaba yoğunluk arasında + 5Lb/Ft<sup>3</sup> lik bir tolerans tanımaktadır. Arazi kaba yoğunluk deneyi için açılan çukurun derinliğini ölçmek suretiyle sıkışmış kalınlıkta tespit edilir. Sıkışma yüzdesinin hesabı için rutubet yüzdesinin tespiti gerekmektedir. Acele durumlarda sıkışma yüzdesi hakkında bilgi edinmek için, karışımın laboratuvar yaş kaba yoğunluğu ile arazide elde edilen yaş kaba yoğunluğu mukayese edilir ve sıkışmanın arzu edilen şekilde olup olmadığı kontrol edilebilir. Sıkışma yüzdesi arzu edilen oranda elde edilmemişse şartlar müsait olduğu takdirde yeniden sıkıştırma işlemine devam edilir. Sıkışmış kalınlık, tespit edilen şekilde elde edilmediği takdirde ise bundan sonraki kesimlerde gevşek toprak + Kireç karışım kalınlığının arttırılması ile arzu edilen sıkışmış kalınlığın elde edilmesi temin edilir.

#### **5.6.5 Kireç Stabilizasyonuna Tesir Eden Faktörler**

Toprak + Kireç karışımında mukavemetin yükselmesi, kireç ile toprak mineralleri arasında meydana gelen çimentolaşmadan ileri gelmektedir. Alüminyum ve Silisyum ile kirecin reaksiyona girmesi bir pozzolanik reaksiyondur. Bu reaksiyonun meydana gelmesi için zamana ihtiyaç olduğu gibi muhtelif faktörlerin de etkisi vardır.

Bu faktörleri şu şekilde sıralamak mümkündür :

1. Toprak Çeşidi,
2. Kireç miktarı ve kireç çeşidi,
3. Pulverizasyon ve karıştırma,
4. Toprağın içindeki organik madde miktarı,

5. Sıcaklık,
6. Karbon dioksit,
7. Rutubet miktarı,
8. Sıkıştırma ve sıkıştırma süresi,
9. Kür müddeti ve kür çeşidi,
10. Pozzolanik reaksiyonu hızlandırıcı katkıları.

#### 5.6.5.1. Toprak Çeşidi:

Kireç stabilizasyonunda, kirecin etkisi killi toprakların çeşidine göre değişmektedir. Bu da killi toprağın mineral yapısından ileri gelmektedir. Montmorillonitik killer tabii pozzolan olduğundan kireçle reaksiyona girerek çimentolaşma meydana getirdiğinden bu gibi topraklarda kireç stabilizasyonu fevkalade etkili olmaktadır. Mineralojik yapısı bakımından pozzolan olmayan topraklarda ise pozzolanik reaksiyon meydana gelindiğinden arzu edilen sertleşme olmamaktadır. Bu gibi toprakların kireçle stabilizasyonunda suni veya tabii pozzolanlar ilave edilmesi gerekmektedir.

Kireç stabilizasyonuna elverişli killi topraklara «kireç stabilizasyonuna karşı Affinitesi yüksek» olan topraklar denir. Toprakların kirece karşı «Affinitesi yüksek» olan topraklar denir. Toprakların kirece karşı affinitesinin yüksek olup olmadığı fiziksel deneyler vasıtası ile tespit edilir. Serbest basınç mukavemet deneylerinde elde edilen neticelere göre Kaolinitik ve Montmorillonitik killerin kireç ile iyi stabilize oldukları, illitik—Kloritik killerin ise uçucu küllerle fevkalade affiniteleri arttığı gözlenmiştir.

Killi toprakların plastisite indeksi, kil partiküllerinin üzerinde mevcut su tabakası kalınlığının fonksiyonudur. Su muvacehesinde, kireçle kısmi iyonlaşma meydana gelir. Neticede de toprak içerisinde Ca iyon konsantrasyonu artar. Konsantrasyonun artmasıyla, killi taneler üzerinde mevcut su filmi tabakaların da Difüzyon meydana gelir ve kil partikülü üzerindeki su filmi tabakasındaki kalınlıkta eksilme meydana gelir. Neticede de Ca konsantrasyonu düşer. Su film tabakası kalınlığının eksilmesi toprağın plastisite indeksinin düşmesine sebep olur. Bu bakımdan killi topraklara kireç ilave edildiğinde, plastisite indeksinde düşüş meydana gelmektedir. Siltli topraklarda ise su filmi tabakası kalın

olmadığından siltin plastisitesindeki düşüş az olmaktadır. Plastik olmayan topraklara kireç ilave edildiğinde, plastisite indekslerinde hafif yükselme meydana geldiği gözlenmiştir.

Topraklarda sülfatların bulunması, su içeriğinin artması neticesinde topraklarda şişme ve bunun neticesi olarak da karışımın bozulması meydana geldiğinden kireç stabilizasyonunda sülfatlı toprakların kullanılması mahzurludur. Halen % 0,5 —1.0 sülfat iyonu ihtiva eden toprakların kireçle stabilizasyonunun uygun olmadığı görülmektedir.

Genellikle killi kireçle diğer topraklara nazaran daha iyi reaksiyona girerler ve umumiyetle kireç ilave edildiği zaman mukavemetlerinde önemli derecede artma olur. Bir çok hallerde kirecin toprakla reaksiyona girmesi için toprak içinde çok az bir kile ihtiyaç vardır. Siltlerin, kumlu killeri çakıllara topraklara kireç ilâvesi ile mukavemetlerinde yükseliş meydana gelmektedir. Kumlu, çakıllı topraklar, killi topraklara nazaran kireç stabilizasyonunda daha yüksek mukavemet vermektedirler.

Düşük plastisiteli topraklar kireç stabilizasyonunda plastisitesi yüksek olan topraklara nazaran daha az reaktifliğe sahiptirler. Bu görüş her zaman doğru değildir. Nitekim bazı araştırmalar plastik olmayan tüvenen çakıllara % 10 kireç ilave edildiğinde, önemli derecede yüksek mukavemet elde edildiğini göstermiştir. Bazı donelere göre toprak tipi ile toprak + kireç karışımının dayanıklılığı arasında belirli bir bağıntı bulunabilmektedir.

#### 5.6.5.2 Kireç Miktarı ve Kireç Çeşidine Göre Etkisi

Toprağın çeşidine göre ilave edilecek kireç miktarı % 5 —12 arasında değişebilir. Levchanoski 1952 senesinde yaptığı araştırmalara istinaden kireç yüzdelerini şöyle tasnif etmiştir :

Hafif ve orta karışımli siltli ve killi topraklarda % 6 —7

Kumlu topraklarda : % 4 —7

Çok siltli ve killi topraklarda : % 7 — 8

Yine levchanoski'nin araştırmalarına göre söndürülmüş kirecin sönmüş kirece nazaran iktisadi ve tesir bakımından daha fazla etkili olduğu anlaşılmıştır. Bu doneler takribi olup, deney sayısını azaltmak maksadıyla yararlı olabilir. Toprağa ilave edilecek kireç miktarı toprağa muhtelif yüzdelerde kireç ilave etmek suretiyle tespit edilmelidir. Iowa

Üniversitesinde muhtelif topraklar üzerinde yapılan deneylerden sonra, toprakların çeşitlerine göre ilave edilecek kireç miktarlarının % 2 —10 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Kireç miktarının tespitinde ve stabilizasyonda ekonomik hususlar göz önünde tutularak mahalli malzemelerin kullanılması tercih edilmelidir.

Topraklar, az miktarda kireç ilâvesi ile ıslah veya modifiye edilebilirler, fakat ilave edilen az kireç de arzu edilmeyen neticelerin meydana gelmesine sebep olmaktadır. National Lime Association'a göre tavsiye edilen kireç miktarları iri taneli malzemeler için 50 den az kil ve silt ihtiva eden topraklar) ilave edilecek kireç miktarı % 2,3 ve 5 arasında değişmektedir. İnce taneli topraklara (kil ve silt yüzdeleri % 50 den fazla olan topraklar) ilave edilecek. Kireç yüzde miktarı % 5-7 ve 10 arasında değişmektedir. Bu iki grup arasında değişen topraklara ilave edilecek kireç miktarı % 3-5 ve 7 arasında değişmektedir. Don tesirine maruz kalan toprakların kireçle stabilizasyonunda ilave edilecek yüzde kireç miktarlarının yükseltilmesi icap eder. %8-12 arasında kireç ilâvesi ile düşük kireç yüzdelerine nazaran dona karşı yüksek mukavemet gösteren toprak + kireç karışımları elde edilmiştir.

Toprakların kireçle stabilizasyonunda yukarıda gördüğümüz gibi ilave edilecek kireç yüzde miktarları muhtelif araştırmacılara göre çok değişik göstermektedir. Bunun sebebi kanaatimizce şöyledir :

- 1 — Toprağın mineral yapısı ;
- 2 — Toprağın plastisite indeksi,
- 3 — İlâve edilen kirecin aktivitesi,
- 4 — İlâve edilen kirecin çeşidi, (Kalsitik veya dolomatik kireç,)
- 5 — İlâve edilen kirecin sönmüş veya sönmemiş olmasından ileri gelmektedir.

Yukarıda belirtilen faktörlere göre toprağa ilave edilecek optimum kireç miktarları değişmektedir. Stabilizasyonda kullanılan kireç kalsitik kireç ise dar bir parabol, dolomitik kireç kullanıldığı taktirde geniş bir parabol elde edilmektedir. Topraklara kireç ilavesi ile plastisite indeksindeki düşüşte kirecin çeşidine ve zamana bağlıdır. Plastisite indeksinin düşmesi sönmüş kirece nazaran sönmemiş kireçte daha süratli olmaktadır. (FASTER)

Plastisite indeksindeki düşüşün büyük bir kısmı, toprağa kireç ilave edildikten birkaç saat sonra olur. 2-3 gün sonra plastisite indeksi hemen hemen tamamen denilecek şekilde düşmüş olur. Geriye kalan düşüş ise uzun bir zamanda meydana gelir. Diğer taraftan toprağa kireç ilavesinin hacim değişmesine tesir ettiği, ilave edilen kireç miktarına göre büzülme limitini yükselttiği ve büzülme oranı düşürdüğü görülmektedir.

Araştırmacılardan bir grup kireç tipinin toprak + kireç karışımının mukavemetini etkilediğini söylerler. Bu araştırmacılara göre plastik topraklara Dolomitik kireç ilave edildiğinde, kalsitik kireçlere nazaran daha yüksek mukavemet elde edilmektedir. Aynı toprakta ve aynı şartlarda iki tip kireç düşük kireç yüzdelerinde aşağı yukarı aynı mukavemeti vermiştir, fakat daha yüksek kireç yüzdelerinde dolomitik kireç karışımlarında daha yüksek mukavemet elde edilmiştir. Yüksek kalsitik kireç toprak karışımlarında ise aşağı yukarı aynı mukavemet gözlenmiştir.

#### *5.6.5.3 Pulverizasyon ve Karıştırmanın Etkisi*

Toprağa kireç ilave edilir edilmez, toprakların plastisitesi diyagramında kil sahasından silt sahasına doğru kaydığı görülmektedir. Kireç ilâvesinden evvel plastik olan bir toprak kireç ilave edilince plastikliğini kaybeder, böylece toprağın taşıma gücü artar, çabuk kırılabilir, kuru ve az koheziv bir duruma geçer. Çok killi toprakların pülverizasyon işlemi zor olmaktadır. Bu topraklara kireç ilavesi toprağı kolay dağıtabilir hale getirmekte ve pülverizasyon işlemi kolay ve çabuk olmaktadır. Kirecin bu vasfından istifade ederek, çok killi topraklara çimento stabilizasyonu tatbiki düşünüldüğünde önce az miktarda kireç ilâvesi ile kolay dağıtabilir hale getirilebilir, sonra çimento stabilizasyonuna tabi tutulur. Bu durum çimento stabilizasyonu için en ekonomik bir usul olarak kabul edilmektedir. Çimentonun, % 2 kireç'e nazaran ufalama etkisi daha azdır. Kirecin bu etkisi göz önünde tutulursa; kirecin killi topraklar ile karıştırılması daha kolay olmaktadır.

Killi toprakların pülverizasyon işlemi toprak + kireç karışımı optimum rutubetin üstünde ise aşgari 24 saat; azami 48 saatlik ilk rutubetli kür'e tabi tutmakla mümkün olur.

Bu işlem kil partiküllerinin tamamen birbirinden ayrılmasını temin eder. Bu ilk kür esnasında aynı zamanda toprağın plastisite indeksinde düşüşte meydana gelir. Plastisitesi yüksek olan granüler topraklarda ise çok killi topraklarda olduğu gibi uzun bir kür süresine ihtiyaç yoktur. İlk kür müddeti bittikten sonra Disk—Harrow Polvymixer veya duruma göre

greyderle kirecin toprağa mütecanis bir şekilde karıştırılması temin edilir. Esasen küçük partiküllere ayrılmış kilin kireçle karıştırma işlemi daha kolay olmaktadır. Pülverizasyon işlemi ne kadar iyi yapılırsa ve kirecin bağdaşık karıştırma işlemi arzu edilen şekilde olursa, kireç stabilizasyonunda elde edilen netice o nispette tatminkâr olur.

Pülverizasyon işlemin yukarıda verdiğimiz limitler elde edilinceye kadar devam edilir. Arzu edilen incelik elde edildikten sonra, karışımın optimum rutubette olup olmadığı kontrol edilir. Karışım optimum rutubette ise serme ve sıkıştırma işlemine başlanır. Optimum rutubetin üstünde ise greyder veya Polvymixer vasıtası ile havalandırma işlemi yapılır. Optimum rutubetin altında ise su vermek suretiyle optimum rutubete getirildikten sonra serme işlemi yapılır.

#### *5.6.5.4 Toprağın İçindeki Organik Madde Miktarının Etkisi*

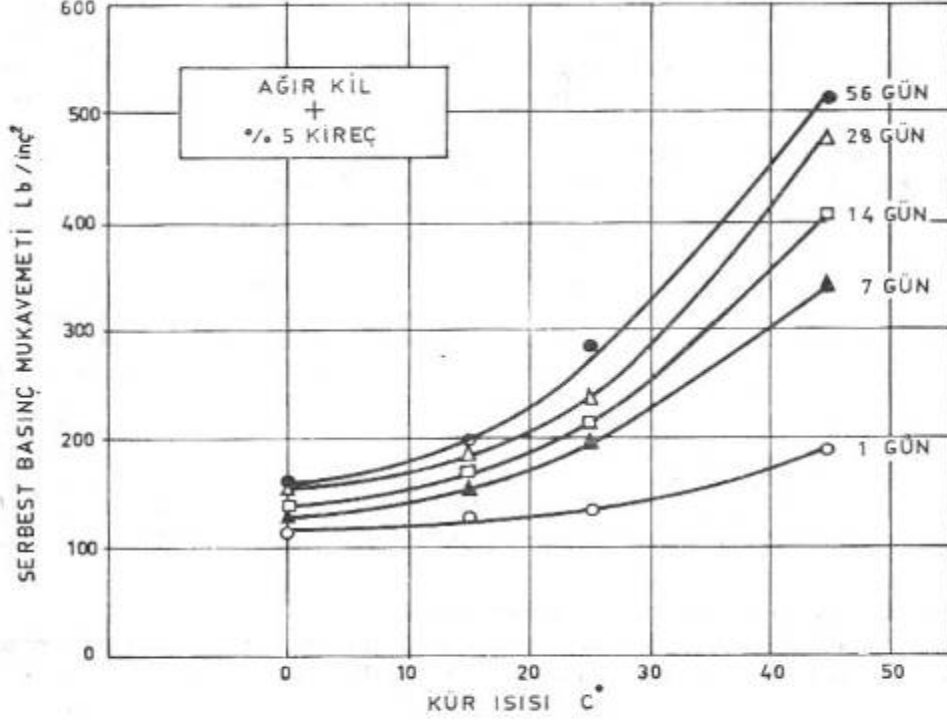
Umumiyetle topraklarda organik maddelerin artması ile ilave edilecek kireç miktarı da artmaktadır. Toprakların organik madde miktarlarının tayini için yakma metodu kullanılmalıdır. Bu usul bize sadece toprağın ihtiva ettiği organik madde miktarı hakkında bilgi vermektedir. Pozzolanik reaksiyonun meydana gelmesi organik maddeler zararlı etki yaparlar. Toprağa kireç ilâvesi ile meydana gelen kalsiyum katyonları organik madde tarafından adsorbe edilir. Çünkü organik madde ile kalsiyum arasındaki reaksiyon hızı pozzolandakinden daha fazladır.

#### *5.6.5.5 Sıcaklık Etkisi*

Kireç stabilizasyonunda ısı artması ile mukavemette de artış meydana gelmektedir. Kireç stabilizasyonunda kür esnasında ısının artmasından dolayı mukavemet artışının, topraktaki kil ile kireç arasındaki reaksiyon sonucu olduğu gözükmektedir. Toprak + Kireç stabilizasyonu laboratuvar çalışmalarının uygunluk derecesi taktir edilirken, laboratuvardaki kür ısısı ile yoldaki ısı arasındaki fark göz önünde tutulmalıdır. Toprak + kireç karışımlarının mukavemet kazanma oranı sıkıştırılan karışımın kür edildiği ısı ile doğrudan doğruya ilgilidir.

Düşük sıcaklıkta kür edildiği zaman (aşağı yukarı 70' F) mukavemet kazanma hızı yavaştır ve yüksek sıcaklıkta kür edildiği zaman (140° F) mukavemet kazanma hızı fazladır. Bazı toprak + kireç karışımlarında mukavemet artışı öyle hızla olmuştur ki 70°F sinde 3 ile 4 ayda elde edilen mukavemetin aynısı 140°F da 10 günde elde edilmiştir.(Tablo2)

Tablo 1 Serbest Basınç-Kür Isısı Grafiği



#### 5.6.5.6 Karbon Dioksitin Etkisi

Karbon dioksitin, kireç stabilizasyonundaki etkisi henüz kesin olarak tespit edilmiş değildir. Bazı bilgilere göre mukavemet kazanmada karbon dioksitin esas etki yapan bir unsur olduğu ileri sürülmektedir. Diğer bilgilere göre karbon dioksitin kireç stabilizasyonunda etkisi az olduğu ve hatta karbon dioksitin fazla mevcudiyetinin zararlı olduğu iddia edilmektedir. Çünkü kirecin karbonatlaşması ile pozzolanik reaksiyonun meydana gelmesi azalmaktadır ve boşaltıcı olarak tesir etmektedir.

#### 5.6.5.7 Rutubet Miktarının Etkisi

Toprak+Kireç karışımlarının rutubetli kürü esnasında havanın rutubetinin mukavemet kazanmada bazı etkileri bulunduğu anlaşılmaktadır. Fakat bu etkiyi hesaba katarak herhangi bir sonuç çıkarmak güçtür. Bazı toprak+kireç karışımı numuneleri düşük rutubette kür edildiğinde, yüksek rutubetli ortamda kür edilen numunelere nazaran daha yüksek mukavemet kazanmaktadır. Bazı durumlarda ise yüksek rutubetli ortamda kür edilen numunelerde yüksek mukavemet değerleri elde edilmektedir. Bu durumun nedenini kanaatimizce kireç

stabilizasyonuna tabi tutulan toprağın cinsi tayin etmektedir. Şöyle ki: Killi topraklar umumiyetle rutubetli ortamda ve bir müddet rutubetli odada kür edildikten sonra su altında kür edildiğinde mukavemetlerinde bariz bir yükseliş meydana gelmektedir. Diğer taraftan plastisitesi yüksek veya az plastik olan granüler toprak+kireç karışımlarının ise az rutubetli ortamda mukavemet kazanma hızı daha fazla olmaktadır.

Toprak+Kireç karışımlarının mukavemet kazanmalarında diğer bir etken ise kür esnasındaki sıcaklıktır. Bu iki faktör birbiri ile sıkı sıkıya bağlıdır. Diğer taraftan elde edilen donelere göre yüksek serbest basınç mukavemet değerlerinin elde edilebilmesi için değişik sıcaklıklarda ve nisbi rutubeti değişik olan ortamlarda kür edilmesi lazımdır. Şöyle ki: Toprak+Kireç karışımı ilk önce normal veya yüksek sıcaklıkta kür edilsin, bundan sonra bir süre de rutubetli küre tabi tutulduğunda mukavemetler genel olarak yüksek çıkacaktır. Buna bariz bir örnek olmak üzere toprak+kireç karışımlarından hazırlanan numunelerin bir kısmı normal sıcaklıkta ve nisbi rutubeti % 95 olan rutubetli odada kür edilen numunelerin serbest basınç mukavemet değerleri, ıslatma-kurutma deneylerine tabi tutulan numunelerin serbest basınç mukavemetlerine nazaran daima daha düşük çıkmaktadır.

#### *5.6.5.8 Sıkıştırma ve Sıkıştırma Süresinin Etkisi*

Kireç stabilizasyonu genellikle killi-siltli topraklara tatbik edileceğine göre toprak+kireç karışımının optimum rutubette ve maksimum kuru kaba yoğunluk elde edilecek şekilde sıkıştırılması, aşağıda belirtilen faydaları temin eder. Toprak+kireç karışımı üzerinde inşa edilen alt temel ve temel tabakasının taşıyacağını dikkate alarak taban toprağının arzu edilen limitler dahilinde sıkıştırılması zaruridir. Kafi derecede sıkıştırılmamış toprak+kireç karışımlarında oturmaların meydana geleceği tabidir. Diğer taraftan kafi derecede sıkıştırılmamış toprak+kireç karışımı üzerine dökülen edilen stabilize malzemelerin taban toprağına işlenmesi ve stabilize malzemenin zamanla toprak+kireç karışımına gömülmesine sebep olmaktadır.

Kafi derecede toprak+kireç karışımında (kafi derecede toprak+kireç karışımı ile teşkil edilen) taban toprağının taşıma değeri artar, hacim değişmesi azalır, suya karşı hassasiyet azalır, şişme ve kabarma yüzdeleri düşer ve karışımın sıkıştırılması kolaylaşır. Arazide arzu edilen sıkışma yüzdeleri karışımın maksimum kuru-kaba yoğunluklarına göre aşağıdaki limitler dahilinde olmalıdır.



Maksimum kuru kaba yoğunluk	İstenilen sıkıştırma
90-100	100
105'ten yukarı	95

Projede mevcut sıkıştırma makineleri ile arzu edilen sıkıştırma yüzdesini bazen elde etmek mümkün olmayabilir. Bu gibi hallerde plastisite indeksi yüksek granüler toprak+kireç karışımlarının sıkıştırılması için ağır tonajlı lastik tekerlekli silindirler kullanılmalıdır. Siltli Killi toprak karışımlarında ise keçi ayağı tamburuna su yerine ince kum doldurmak ve ağırlığını arttırmak suretiyle arzu edilen sıkıştırmanın elde edilmesine çalışılır. Diğer taraftan toprak+kireç karışımlarında, karıştırma müddeti ile sıkıştırma arasında geçen zaman önemli tesirler göstermektedir.

Toprak+kireç karışımlarının bu özelliği yapım bakımından avantaj sağlamaktadır. Uygun olmayan sıkıştırma yüzdesi elde edildiğinde, rutubet ve sıkıştırma enerjisini ayarlamak suretiyle karışım üzerinde yeniden çalışılabilir. Fakat, laboratuvar ve arazi çalışmaları şunu göstermiştir ki, kireç stabilizasyonunda çimentolaşma sıkıştırma işlemi bittikten sonra başlar. Toprak+Kireç karışımı 2-3 gün bekletildikten sonra ve derhal sıkıştırılmış karışımlar arasındaki mukavemet değerleri farklı olduğu tespit edilmiştir ve nihai mukavemetler bekletilmiş karışımlara nazaran daha fazla çıkmıştır.

Topraklara kireç ilave edildiği zaman kaba yoğunluklarda düşme ve optimum rutubet yüzdelerinde artış meydana gelmektedir. Kuru kaba yoğunluklardaki düşüş toprağın çeşidine göre muhtelif oranda olup mikalı, siltli topraklara % 5 kireç ilave edildiğinde kuru kaba yoğunluklardaki düşüş % 5 kadar olmaktadır. Optimum rutubet yüzdesinin yükselmesi % 2-3 kireç ilâvesi ile % 25 kadar artmaktadır. % 5-7 kireç ilâvesi ile optimum rutubette yükselme miktarı % 2-3 kireç ilâvesine nazaran daha düşüktür. Optimum rutubet yüzdesindeki yükselme ilave edilen kireç çeşidine göre değişmektedir. Sönmemiş kirece nazaran sönmüş kireçte optimum rutubet yüzdeleri hafif fazlalık göstermekte ise de maksimum kuru kaba yoğunluklarda bariz bir fark gözlenmemiştir. Kireç stabilizasyonunda kuru kaba yoğunlukta düşüş meydana gelmekte ise de mukavemetlerde bariz bir yükseliş olmaktadır.

120 Lb/Ft<sup>3</sup> lük birikinti toprağının basınç mukavemeti 5.7 kg/Cm<sup>2</sup> (80 PSI) iken % 5 kireç ilâvesi ile kesafeti 114 Lb/Ft<sup>3</sup>'e inmiş, serbest basınç mukavemet değeri ise 9.85 kg/cm<sup>2</sup> (140

PSİ) ye yükselmiştir. Toprak+kireç karışımlarında sıkıştırmanın önemini az sayıda mühendis bilmektedir. Karışım daha büyük bir sıkıştırma enerjisi ile daha yüksek bir kesafette sıkıştırıldığı zaman toprak+kireç karışımının mukavemeti önemli derecede artmaktadır.

#### 5.6.5.9 Kür Müddeti ve Kür Çeşidinin Etkisi :

Toprak+kireç karışımlarında kür işleminde muhtelif usuller tatbik edilmektedir :

- a) Muhtelif rutubet şartları altında yaş kür,
- b) Normal veya yüksek sıcaklık altında kür.

Henüz toprak+kireç karışımlarında kür işleminin tatbiki hususunda standart bir metod mevcut değildir. Araştırmacı, bu kür işlemini yalnız veya her ikisini müşterek olarak tatbik edebilir. Yüksek sıcaklıkta kür işleminin yapılması piriz hızını arttırdığından, bu şekilde kür edilen numunelerde taşıma değeri yüksek olur. Toprak+kireç karışımında, zamanla mukavemet kazanmaktadır. Mukavemet kazanma hızı ilk zamanlarda süratle meydana gelmekte olup, zamanla mukavemet kazanma hızı yavaşlamakta ve nihai mukavemetin kazanılması için uzun zamana ihtiyaç göstermektedir. Karışımın mukavemet kazanması zamana bağlı olduğu gibi kür sıcaklığı ile sıkı sıkıya bağlıdır. Sıcaklığın yükselmesi ile mukavemet kazanma hızı artmaktadır. Düşük sıcaklıklarda ise mukavemet kazanma hızı çok yavaş olmaktadır.

Arazi tatbikatında normal olarak sıcak havalarda kür müddeti 7 gün olarak kabul edilmektedir. Fakat soğuk havalarda yapılan stabilizasyonda mukavemet kazanma hızının çok yavaş olduğu veya tamamen durması göz önünde tutularak, sıcaklık durumuna göre soğuk havalarda kür müddetinin uzatılması gerekmektedir. Toprak+Kireç karışımları kür esnasında dona maruz kaldıkları takdirde karışım içindeki suyun donmasından buz mercikleri meydana gelir ve karışım arasındaki bağlantıyı dağıttığından mukavemet kaybına sebep olmaktadır. Bilhassa ilk kür günlerinde don meydana gelirse mukavemet kaybı o nispette fazla olur. Bu mahzurları göz önünde tutarak kireç stabilizasyonunun arazi tatbikatı don tehlikesi olan mevsimlerde yapılmamalıdır.

#### 5.6.5.10 Pozzolanik Reaksiyonu Hızlandırıcı Katkıların Tesiri

Kalsiyum Klorür, sodyum karbonat gibi kimyevi katkı maddeleri pozzolanik reaksiyonu hızlandırmaktadır. Kalsiyum klorür hidrofil olduğu için karışımın rutubetli kalmasını temin

ettiğinden çimentolaşma (sertleşme) rutubet muvacehe, sinde meydana geldiğine göre mukavemet kazanma hızı üzerinde etki yapar.

Sulu ortamda ilk reaksiyon sodyum karbonat ile kirecin reaksiyona girmesi neticesinde sodyum hidroksit ve kalsiyum karbonat meydana gelmektedir. Diğer reaksiyonda çimentolaşmanın meydana gelmesidir. Pozzolanik reaksiyonu hızlandırıcı Taktörlerden biride sıcaklığın yükselmesidir. Esasen pozzolanik reaksiyonun hızlandırıcı katkıları, kireç stabilizasyonu müsait olmayan şartlarda yapıldığında kullanılmalıdır.(Atanur 1973, s.130)

## **5.7 Kireç Stabilizasyonu Teknik Şartnamesi**

### **5.7.1 Malzemeler**

#### *5.7.1.1 Stabilize Edilecek-İyileştirilecek Malzemeler*

AASHTO veya Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemlerine göre A5, A6, A7, A-2-6, A-2-7 veya CH, CL, MH, ML, GC, SC sınıflarına giren plastisite indeksi 10'dan büyük ( $PI > 10$ ) veya Kaliforniya Taşıma Oranı (Yaş CBR %)  $< 10$  veya CBR şişme % si 3 olan topraklar için stabilizasyon-iyileştirme uygundur.

*5.7.1.1.1 Su:* Toprak-su karışımı için karıştırma işlemini ideal nem koşullarında yapmak, sıkıştırma ve sıkıştırma sonrasında toprak-su-kireç reaksiyonunun devamı için kullanılacak su tatlı, berrak olmalı, içerisinde kirlilik oluşturacak nitelikte (yağ, asit, alkali madde, klorür, sülfat ve organik madde) madde bulunmamalıdır. Sülfat miktarı  $SO_3 < 200$  ppm olmalıdır

*5.7.1.1.2 Kireç:* Stabilizasyon-İyileştirme işleminde kullanılacak kireç özellikleri Tablo 3'e uygun olmalıdır.

Tablo 2 Stabilizasyon-İyileştirme işleminde kullanılacak kireç özellikleri

Özellik (TS EN 459-2)	Sönmemiş Kireç	Sönmüş Kireç
CO <sub>2</sub> (Kızdırma Kaybı) %	≤ 7 %	≤ 7 %
Toplam (CaO+MgO)	≥ 80 %	≥ 80 %
SO <sub>3</sub>	≤ 2 %	≤ 2 %
MgO	≤ 10 %	≤ 10 %
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +SO <sub>3</sub>	≤ 5 %	≤ 5 %
Parçalar	≤ 2 mm	-
TS EN 459-2 md. 5.2 ye göre ağırlıkça elekte kalan %		0.09 mm ≤ % 7 0.2 mm ≤ % 2

Kirecin sönmesi esnasında ağırlıkça % 30 mertebesinde suyu bünyesine alma özelliği vardır. Bu özellik göz önüne alınarak doğal su içeriğinin optimum su içeriğinden çok yüksek olduğu durumlarda sönmemiş kireç tercih edilebilir. Sönmemiş kirecin kullanılması halinde dışarıya ısı veren sönme işlemi arazi koşullarında gerçekleşeceğinden iş ve işçi sağlığı açısından gerekli tedbirlerin buna göre planlanması yerinde olacaktır. Bu konuda alınması gerekli tedbirler Ek l'de verilmiştir.

#### 5.7.1.2 Stabilizasyon- İyileştirmede Kullanılacak Makinalar

Stabilize edilecek toprağın kazınması, parçalanması, su ve kireçle karıştırılması işlemi uygun ekipmanlar ile yapılmalı, homojen bir karışım elde edilebilecek şekilde ekipman seçilmelidir. Makina seçimi günlük üretim miktarı ve uygulanacak tabaka kalınlıklarına göre planlanmalıdır. Kireç sericilerin kullanılması durumunda, kireç serici makineler kirecin uygulanma oranına göre ayarlanabilir olmalıdır.

Sıkıştırma işleminde kullanılacak araçlar iyileştirilecek-stabilize edilecek zemin özelliklerine göre istenilen sıkıştırma değerlerini sağlayacak nitelikte, keçi ayağı, lastik tekerlekli veya demir bandajlı olmalı ve titreşim uygulayabilmelidir. Sulamada kullanılacak makinalarda su miktarını ve sulama hızını kontrol edebilen, suyun dağıtımının homojen olmasını sağlayan sistemler olmalıdır. Kullanılan tüm makinaların bakımı etkin ve düzenli olarak yapılmalı, işlevini yeterince yerine getiremeyen makinalar süratle değiştirilmelidir.

### **5.7.2 Toprak-Kireç Karışımlarının Projelendirilmesi**

#### *5.7.2.1. Stabilize Edilecek- İyileştirilecek Malzemedden Numune Alımı*

İyileştirilmesi-stabilize edilmesi düşünülen toprak sınırları yapılacak arazi etüdüleri ile proje kriterlerine göre belirlenir (boyut, derinlik). Alınacak numune miktarı toprak yapısındaki değişime göre ve stabilize edilecek miktara göre malzemenin tümünü temsil edecek özellikte olmalıdır.

#### *5.7.2.2 Malzemenin Sınıflandırılması*

Stabilize edilmesi planlanan toprak üzerinde sınıflandırma deneyleri yapılarak (elek analizi, hidrometre, Atterberg Limitleri), elde edilen sonuçlara göre toprak AASHTO ve BZS Sistemine göre isimlendirilir.

#### *5.7.2.3 Organik Madde Miktarının Belirlenmesi*

(AASHTO T 194, AASHTO T 267, TS 1169)

Zemin içindeki organik maddelerin % 4 'den az olması gerekir.

#### *5.7.2.4 Sülfat İçeriğinin Belirlenmesi( TS 6170)*

Sülfatın kireçle reaksiyonu ek bir kireç tüketimine ve karışımın genişlemesine yol açabilir. 2 mm'lik (No.10) elekten geçen toprak parçası için, toplam SO<sub>3</sub> içeriğinin kuru numune ağırlığına oranı % 3'den az olmalıdır.

#### *5.7.2.5 Metilen Mavi Değerinin Bulunması (TS EN 933-9)*

Metilen Mavi deneyinde 0.25 mm' lik elekten geçen 100 gr' lık toprak numunesi için MB değerinin 200 santimetreküp metilen mavi solüsyonunda 10 g/dl'den büyük olması gerekmektedir

### **5.7.3 Proje Karışım Çalışması (Toprak-Kireç Karışım Oranının Belirlenmesi)**

#### *5.7.3.1 Optimum Kireç Yüzdesinin Belirlenmesi İçin Yapılacak Ön Deneyler*

Yaklaşık kireç yüzdesi kısa süreli testlerle bulunabilir. Bu yöntemler pH metodu veya Likit Limit/Plastik Limit deneyleridir. pH metodunda karışımın pH'ını 12.4'e getiren kireç oranı KY (Kireç Yüzdesi) olarak kabul edilir. İkinci metot ise kireç-toprak-su karışımının bir saat bekletilmesinden sonra yapılan Likit Limit ve Plastik Limit deneyleri ile değişik kireç oranlarında Plastisite İndeksi (PI) değerlerinin bulunmasıdır. Bu değerlerde dolgu

malzemeleri için  $PI < 20$ , üstyapı tabanı malzemeleri için  $PI < 10$ , Alttemel malzemeleri için ise  $PI < 6$  durumunu sağlayan en küçük kireç oranı değeri yaklaşık KY olarak kabul edilir.

Bu iki metotla yaklaşık olarak hesapları kireç yüzdeleri ile aşağıda Madde 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.5 de belirtilen çalışmalar yapılarak en az 3 farklı kireç yüzdesi ile yapılan çalışma sonucunda teknik ve ekonomik optimizasyon ile idare tarafından seçilmiş kireç yüzdesi uygulama için OKY (Optimum Kireç Yüzdesi) olarak kabul edilir. Arazideki uygulamalarda OKY % 1.5'dan küçük olmamalıdır. İdare laboratuvar koşulları ile arazi koşulları arasındaki farklılıkları göz önüne alarak laboratuvar çalışması ile belirlenmiş OKY' nin arazi uygulamalarında + % 0,5 olarak çalışılmasını isteyebilir. Karayolları Bölge Müdürlüklerince gerçekleştirilecek kireç stabilizasyonu çalışmaları için yapılacak laboratuvar deneyleri sonucunda tespit edilmiş OKY'nin uygulanabilmesi için Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığının uygun görüşü alınacaktır.

*5.7.3.2 Stabilize Edilecek- İyileştirilecek Malzemedede Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık ve Optimum Su İçeriğinin Bulunması (AASHTO T 99, AASHTO T180)*

Standart Proctor veya Modifiye Proctor deneyleri yapılarak bu deneyler ile malzemenin Optimum Su İçeriği ve Maksimum Kuru Birim Ağırlığı belirlenecektir.

*5.7.3.3 CBR ve CBR Şişme Derecesinin Belirlenmesi (AASHTO T 193)*

OKY AASHTO T 99- AASHTO T180 metoduyla sıkıştırılmış, nem oranı optimum değerlerde veya işlem sırasında öngörülen  $W_n$  değerine eşit olan en azından üç toprak-su-kireç karışımı için yaş CBR belirlenmelidir. Üç örnekte de aşağıdaki CBR değerini verecek minimum kireç yüzdesi aranmalıdır. Yol inşaatında kullanılacağı yere göre bu sınır değerler değişmektedir. Sınır değeri olarak aşağıda tanımlanan değerler kullanılmalıdır.

Alttemel CBR > 50

Üstyapı tabanı CBR > 20

Dolgular için CBR > 15

(Zayıf Zemin Kriteri CBR<10 kabul edilmiştir)

Stabilize edilecek iyileştirilecek malzeme örneklerinde şişme %sinin de belirlenmesi gerekmektedir. CBR koşullarının sağlandığı üç örnek de AASHTO T 99 veya AASHTO T

180 metoduyla sıkıştırılmış numuneler CBR kalıplarında önce 76 saat boyunca sıcaklığı 20 f 1°C ve Nemi > % 95 olan bir ortamda, daha sonra da minimum .4 gün ve şişmesi tamamlanıncaya kadar  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  sıcaklığındaki suda bekletilir. Laboratuvarda aşağıdaki sınır değerlerin üzerinde bulunan karışımlar çalışmak için uygun değildir. Kireç oranları arttırılarak çalışmalar sürdürülmelidir.

Alttemel Şişme % < 0,5

Üstyapı tabanı Şişme % < 1,0

Dolgular için Şişme % < 2,0

#### 5.7.3.4 Stabilize Edilecek-İyileştirilecek Malzemelerin Atterberg Limitleri

Dolgularda, üstyapı tabanında ve alttemelde aranılacak kriterler aşağıda verildiği şekilde olacaktır. CBR değerleri ve şişme yüzdesi için yukarıda tanımlanan aralıklar kullanılacaktır. Ayrıca 1 saatlik Atterberg Limitleri bulunarak aşağıdaki şartları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilecektir. Uygun olmayan durumlarda kireç oranları değiştirilerek çalışmalar tekrarlanmalıdır.

Alttemel LL % < 25

Üstyapı tabanı LL % < 30

Dolgular için LL % < 40

Alttemel PI % < 6

Üstyapı tabanı PI % < 10 Dolgular için PI % < 20

#### 5.7.3.5 Serbest Basınç ve Çekme Mukavemetleri (ASTM D 1633)

Serbest basınç mukavemetine (qu) ve Çekme basıncına (qc) dayanıklılık durumunun belirlenmesi çalışılan CBR ,deneylerine paralel olarak sürdürülür.

Deneyler sonucunda elde edilen ideal karışımdaki su oranından yola çıkarak örnekler, AASHTO T99, AASHTO T 180 metoduyla sıkıştırılıp, serbest basınç kalıplarına yerleştirilir ve numuneler uygun bir kriko veya düzenele kalıptan çıkarılır. Hazırlanan numuneler önce plastik daha sonra alüminyum folyolara sarılarak 7 ve 28 gün boyunca  $20 \pm 1^\circ\text{C}$

sıcaklığındaki nemi  $> \% 95$  olan bir ortamda bekletilir. Aşağıda belirtilen değerleri veren karışımlar çalışılmak için uygundur.

Üstyapı Tabanı için  $q_u (7) > 5 \text{ kg/cm}^2$  ,  $q_c (7) > 0,3 \text{ kg/cm}^2$

Donma çözülme olayı dona hassas bölgelerde oldukça önemlidir. Sıkıştırılmış zeminde doygunluğun  $\% 80$ 'in altında olduğu durumda donma-çözünmede bir problem beklenmemelidir. Don penetrasyon derinliğinin stabilize edilecek-iyileştirilecek tabakayı kapsadığı durumda bu konuda bir laboratuvar çalışması yapılmalıdır. Donma çözülme sıcaklıkları  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$  ve  $+20 \text{ }^\circ\text{C}$  derecelerdir. Hazırlanmış olan serbest basınç numuneleri 7 gün kürden sonra 5 kez (En az 12 saat) tanımlanan sıcaklıklarda dondurulup çözülecektir. Numuneler hazırlandıktan sonra plastik ve alüminyum folyolara sarılarak önce en az 12 saat  $-20$  derecede dondurulacak daha sonra en az 12 saat  $+20^\circ\text{C}$  de bekletilecektir. Bu işlem ardışık olarak en az 5 kez uygulanmalıdır ve numunenin saklandığı ortamın nemi  $> \% 95$  olmalıdır. Bu işlem sonunda numuneye serbest basınç mukavemeti deneyi uygulanacaktır. Bu deney sonucunda serbest basınç mukavemeti  $q_u (n) > 1,5 \text{ kg/cm}^2$  değerini sağlamalıdır.

#### **5.7.4 Arazi Uygulamaları**

Stabilizasyon uygulamasından yeterli bir sonuç elde edebilmek için vazgeçilmez koşullar; toprağın uygun bir ekipmanla kazılıp stabilizasyona hazır hale getirilmesi, kirecin malzeme ile dikkatli ve homojen bir şekilde karıştırılması, sulama işlemi ile optimum nem koşullarına getirilmesidir.

##### *5.7.4.1 Stabilize Edilecek-İyileştirilecek Malzemenin Hazırlanması ve Doğal (Yerinde) Su İçeriğinin Belirlenmesi*

Zeminin hazırlanması işlemine, yüzeyde yer alan bitkisel toprağın kaldırılması ile başlanır. Toprağı stabilizasyona hazırlamak için kazımak, parçalamak ve içerisinde var ise reglaj seviyesindeki tabakalarda çapı 5 cm'den büyük, diğer tabakalarda ise 10 cm'den büyük taşlardan temizlemek gerekir. Daha sonra, işlem görecektir olan toprağın doğal su içeriği belirlenir ve bulunan değer elde edilmesi planlanan karışımın optimum değerinden yüksekse, uygun bir makina yardımıyla kazılarak ve havalandırılarak suyun buharlaşması sağlanır.

##### *5.7.4.2 Kirecin Taşınması, Depolanması*

Stabilizasyon işleminde kullanılacak kireç dökme veya torba olarak işbaşına getirilebilir. Toz haldeki kireç, maddenin hava basıncı ile boşaltılmasını sağlayan silobaslarla taşınmalıdır.



Getirilen kireç miktardan şantiyenin tam çalışmayla en az iki günlük ihtiyacını karşılamalıdır. Kireç toz olarak taşınıyorsa, şantiyede bu iş için özel olarak yapılmış silolarda, kağıt torbayla taşınıyorsa nemden, yağmurdan ve su kaçaqlarından uzak, kapalı bir alanda saklanmalıdır.

#### 5.7.4.3 Dozaj, Kirecin Dökülmesi ve Bununla İlgili Kontrol

Dozaj, işlem göreceğ zeminin meirekaresine göre şantiyede hesaplanır. Kuru zemin için laboratuvarında belirlenen yüzde cinsinden dozaja göre kg/m<sup>2</sup> dozajı hesaplanır. (Kireç Miktarı = OKY \* d \*  $\gamma_{\text{maksimum}}$ )

OKY : Optimum Kireç Yüzdesi

d: Tabaka Kalınlığı.

$\gamma_{\text{maksimum}}$ : Malzemenin Maks. Kuru Birim Hacim Ağırlığı

Rüzgarın kuvvetli estiği günlerde, uçarak dozajın hassasiyetine ve şantiye personeline zarar verme ihtimali bulunan toz kireç dökülmemelidir. Ayrıca, kireç, yalnızca gün içinde çalışılacak olan malzemeye verilmeli, böylece kirecin atmosfer etkenleri tarafından taşınması ve kısmi karbonatlaşma reaksiyonları engellenmelidir.

Kirecin toz veya sıvı formda dökme olarak kullanıldığı durumlarda, kireç dökme makinası geçmeden önce, toprağın üzerine yüzeyi 1,0 m<sup>2</sup> olan, köşeli bir bez parçası veya bir kap yerleştirilir, bezin veya kabın üzerinde biriken kireç tartılarak makinanın geçiş sayısına göre atılan kireç miktarı belirlenir (bu işlem için dört yanında da delik bulunan bir bez, bir tartı ve kancalı bir dinamometre edinmek yararlı olabilir). Eğer kireç çalışma alanına torbalarla getirilmişse, bu torbalar düzgün ve uzun bir çizgi oluşturacak şekilde ve aralıkları dozaja uygun olarak hesaplanarak dizilir. Yere konulan torbalar bir bıçakla ortalarından kesilip boşaltılarak birçok küçük tepecik oluşturulur. Rüzgar nedeniyle likit kireç kullanılmasına idare karar verecektir.

Boşaltılan torbalar tepeciklerin önünde durmalıdır. Daha sonra kireç, tırmık kullanılarak elle ya da traktörle veya başka bir motorlu araçla çekilen dişli veya noktali disklerle düzlenmelidir. İyi bir dağılım için genellikle iki geçiş yeterli olmaktadır.

Stabilize edilecek veya iyileştirilecek kesim için gerekli toplam kireç miktarı belirlenecek, işyerine nakledilip bu miktar tutarak altına alınacak ve bu miktarın belirlenen kesim için

kullanılması sağlanarak bu işlem yüklenici ve kontrol mühendisi tarafından tutanağa bağlanacaktır.

#### 5.7.4.4 Malzemeyi Parçalama ve Karıştırma

Parçalama ve karıştırma işlemleri, bu iş için kullanılan bir makinanın, malzemeyi 25 mm'lik elekten tamamen geçene kadar veya en azından % 60'ı 4.75mm (No.4) elekten geçene kadar işlemleriyle gerçekleşir. Karıştırma makinasının gücünün, işlem görece tabakanın kalınlığına ve günlük istenilen üretim miktarına göre ayarlanmış olması önemlidir. Karışım işlemi sırasında ya da sonrasında, gerektiğinde, işlem gören malzeme bir sonraki sıkıştırma işlemi için optimum su değeri yakalanana dek sulanır.

#### 5.7.4.5 Sıkıştırma İşlemi

Karıştırma işleminin sona ermesinin ardından, toprak katmanı, vakit geçirilmeden sönmemiş kireç kullanıldığı durumlarda sönmeme egzotermik reaksiyonu tamamlandığında ve optimum su içeriği göz önünde bulundurularak sıkıştırma yapılmalıdır. Sönmemiş kirecin tamamen sönmesi için gereken süre, zeminin nem oranına ve ısısına bağlı olarak değişir. Normalde zemin sıcaklığı çok düşük değilse karışımın 2 veya 3 saat dinlendirilmesi yeterli olacaktır. Birden fazla tabakanın stabilize edilmesi-iyileştirilmesi durumunda iyileştirilen veya stabilize edilen tabaka üstü açık olarak bırakılmamalı, stabilize edilecek- iyileştirilecek diğer tabaka gün sonunda serilmiş olmalıdır. Kireç stabilizasyonu-iyileştirilmesi yapılacak malzemeler için kullanılan sıkıştırma makinalarına bağlı olarak sıkıştırma tekniğinin saptanması zorunludur. Bunun için işin başlangıcında 1000-1500 m<sup>2</sup> lik bir alanda deneme kesimi çalışması yapılarak kullanılan sıkıştırma makinalarının hızı, geçiş sayısı, makinaların kullanım önceliği ve tabaka kalınlığı tespit edilmelidir.

#### 5.7.4.6 Bağlantı Noktaları

Kireç ile yapılan Stabilizasyon İyileştirme uygulamalarında birbirini takip eden çalışmalarda ortaya çıkan bağlantı bölgelerinde yaklaşık 10-1.5 m'lik bir bindirme bölgesi kabulü yapılmalıdır. Bu kesimin yeniden gözden geçirilmesi, gerekiyorsa burada yer alan malzemeye uygun oranda kireç ilave edilip yeniden karıştırılması, oluşturulacak tabaka kalınlığına göre serme ve sıkıştırma işleminin tekrarlanması gerekir. Kireç stabilizasyonu-iyileştirilmesi bitirilmiş kesimlerde serme, sıkıştırma sonuçları gözden geçirilmeli, problemler kesimlerin olması durumunda buralara gerekli müdahalelerin yapılması sonrasında yeni tabaka yapımına geçilmelidir.

#### 5.7.4.7 Stabilizasyon Sonrası Yapılması Gereken Çalışmalar

İmalatın tamamlanmasından sonra üst tabakaların imalatı için stabilize edilen tabaka maksimum 1 aydan daha fazla açıkta bekletilmemelidir. Bu işlem yaz aylarında veya havadaki nemin az olduğu zamanlarda yapılıyorsa tabaka yüzeyinde kuruma gerçekleşecektir. Bu tür durumlarda en az 3 gün yüzeyden ıslatma ve silindirle düzleme amacıyla sıkıştırma yapılmalıdır. Bu işlem gerek görülürse kontrol mühendisi tarafından 7 güne kadar devam ettirilebilir. Alttemel malzemesinin stabilize edilmiş tabaka üzerine getirilmesinin 30 günden fazla olacağı durumda alttemel tabakasının getirilmesinden önce yüzey tekrar sulanıp sıkıştırılmalıdır. Stabilize edilmiş- İyileştirilmiş malzeme hiçbir durumda üstü kapatılmadan ki şartlarına maruz bırakılmamalıdır.

#### 5.7.5 Arazi Kontrolleri

Yüklenici imalat sırasında çalışılan tabakaların günlük kontrol programının idare tarafından tanımlanabilmesi için, dikkatle hazırlanmış bir kalite kontrol programına sahip olmalıdır. Yüklenici, daha önce belirtilen tüm deneyleri yapacağı geoteknik laboratuvarını idareye bildirmelidir. Laboratuvar, kalite kontrolü için deneyler sırasında kullanılan tüm gereçlerin kalibrasyon sertifikalarına sahip olmalıdır. Laboratuvar, istenilen şartlara yeterli derecede uyumlu olup olmadığının anlaşılması amacıyla, idare tarafından yerinde incelendikten sonra kabul edilecektir. Laboratuvar tarafından yapılan çalışmalar güvenilir değilse idare bunun başka bir laboratuvar ile değiştirilmesini talep edecektir. Kalite kontrol deneylerinin sıklıklarında Tablo-2' ye uyulacaktır. Kireçle İşlemede Uygunluk Şartları özet olarak Tablo-6 da verilmektedir. Deneyler TS 1900 veya AASHTO standartlarına uygun olarak yapılmalıdır.

Kalite kontrol deneyleri, en az Tablo-4' de belirtilen sayıda, kontrol mühendisince uygun görülen ara ve sıklıkta yapılacaktır.

Tablo 3 Kalite kontrol deneyleri

Deneyin Adı	Minimum Deney Sayısı	
	Dolgu-Üstyapı Tabanı	Alttemel
Dane Boyutu Dağılımı TS 1900, AASHTO T 88	-	Her 2000 m <sup>3</sup> 'de 1 deney
Su İçeriği TS 1900	Her 1000 m <sup>3</sup> 'de 1 deney	Her 2000 m <sup>3</sup> 'de 1 deney
Likit Limit Plastik Limit TS 1900, ASHTO T-89,90	Her 1000 m <sup>3</sup> 'de 1 deney	Her 2000 m <sup>3</sup> 'de 1 deney
Su içeriği-Kuru Birim Hac. Ağırlık İlişkisi TS 1900, AASHTO T-99	Her farklı malzeme sınıfı için bir deney	Her gradasyon değişikliğinde ve ayrıca her ayda bir deney
<b>Konvansiyonel Metotlarla Sıkışma %'si Tayini</b>		
Kum Konisi Metodu AASHTO T-191	Her Tabakanın 1000 m <sup>2</sup> 'sinde 1 deney	Her Tabakanın 1000 m <sup>2</sup> 'sinde 1 deney
Kasnak Metodu AASHTO T-181	Her Tabakanın 1000 m <sup>2</sup> 'sinde 1 deney	Her Tabakanın 1000 m <sup>2</sup> 'sinde 1 deney
Nükleer Metod* AASHTO T-238, 239	Her Tabakanın 250 m <sup>2</sup> 'sinde 1 deney	Her Tabakanın 250 m <sup>2</sup> 'sinde 1 deney

(\*) İşin başlangıcında en az 5 farklı noktada nükleer metod sonuçları ile konvansiyonel metotlardan biri ile yapılan deney sonuçlarının korelasyonu yapılacaktır. Sıkışma kontrolünün nükleer metotla yapılması durumunda, ayrıca her 2500 m<sup>2</sup>'de bir diğer konvansiyonel metotlardan biri ile de sıkışma kontrolü yapılacaktır.

#### Dolgu ve Alttemel'de Sıkıştırma Derecesi Kontrolü Yapılışı:

Sıkıştırılan her 100 metrelik bir yol inşaatı için çalışma bölgesinde yoğunluk tespiti yapılacaktır. Çalışma alanı içinde alınmış sıkışma kontrolleri aynı gün içerisinde sonuçlandırılmalıdır. Sıkışma kriterlerinin detayları aşağıda 5, 6 ve 7 nolu tablolarda verilmektedir.

Tablo 4 Sıkışma kriterleri

	Minimum Sıkışma %	Deney Metodu
Tesviye yüzeyi altındaki ilk 80 cm için	100	Standard Proktor AASHTO T 99
80 cm altındaki dolgu tabakaları için	95	Standard Proktor AASHTO T 99

Dolguların sıkışma kontrolünde kullanılacak olan arazi birim ağırlığı tayin metodu, dolgunun kontrol edilen kesiminde kullanılan malzemenin içerdiği maksimum tane boyutuna göre Tablo-6'den yararlanılarak seçilecektir.

Tabakanın her 20 cm'lik derinliği için sıkışma değerleri saptanacaktır.

Tablo 5-5 Malzemenin maksimum dane boyutunun bulunması

Metod Adı		Malzemenin Maksimum Dane Boyutu		Deney Standard No.
		İnç	mm	
Kum Konisi Metodu	6" çapında	2	50	AASHTOT-191
	12" çapında	3	75	AASHTOT-191
Kasnak Metodu	10" çapında	11/2	37,5	AASHTOT-181
	12" çapında	3	75	AASHTOT-181
Nükleer Metod		11/2	37,5	AASHTOT-238, 239

Minimum Sıkışma %	97	Modifiye Proktor TS 1900, AASHTO T 180
Optimum Su İçeriği %	Wopt ± 2 Modifiye Proktor	

### 5.7.5.1 Uygulama Sırasında Yapılması Gerekli Çalışmalar

#### 5.7.5.1.1 Dolgularda İyileştirme Çalışmaları

Çalışma alanından, kireçle işlem görmüş olan tabakanın kalınlığı boyunca, sıkıştırılmış her 1000 m<sup>2</sup>'lik tabaka için bir karışım örneği alınması öngörülmektedir. Çalışılan her gün için en az bir örnek bulunmalıdır. Hazırlanan örnekler AASHTO T99 ve T180' .e göre sıkıştırılmış ve önce üç gün boyunca  $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$  ve nemi  $> \% 95$  olan bir ortamda, daha sonra da dört gün boyunca  $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$  sıcaklığındaki suda bekletilmiş olmalıdır. Hazırlanan numunelerin CBR şişme miktar  $\% 2$  den az olmalı, CBR değeri de 15' den yüksek veya eşit olmalıdır. Karışımlardan alınan numunelerin likit limitleri 40 `dan, plastisite indeksleri de 20 den küçük olmalıdır.

5.7.5.1.2 Üstyapı Tabanı, Alttemel Stabilizasyon Çalışmaları: Önceki maddede belirtilen şartlarla hazırlanan, aynı özellikte ve belirtilen kriterdeki örnekler için, yapım sırasında araziden alınan numunelerle yapılan CBR testlerinden aşağıdaki sonuçların alınması gerekmektedir.

a) Alttemel için: CBR  $> 30$  ve Şişme  $< \% 0,5$

LL  $< \sim 25$  ve PI  $< 6$

b) Üstyapı tabanı için: CBR  $> 15$  ve Şişme  $< \% 1$

LL  $< 30$  ve PI  $< 10$

İdare gerekli gördüğü takdirde, likid deformasyon modülü ölçümü yapılmak suretiyle mekanik dayanıklılık kontrol edilecektir.

5.7.5.1.3 Deformasyon Modülünün Belirlenmesi: İdarenin talebi durumunda sıkıştırılmış her 300 metrelik yolun her tabakası için en az bir deney yapılmalıdır. Plaka yükleme deneyi 30 cm'lik bir plakayla yapılarak aşağıdaki formül ile

$$Md = (A_p / A_s) * D$$

deformasyon modülü değeri belirlenecektir.

Kabul edilebilir değerler şunlardır:

Yüksekliği bir metreyi aşan dolgularda iyileştirilen katmanlar için deformasyon modülü  $0,05 \text{ N/mm}^2$  ve  $0,15 \text{ N/mm}^2$  arasında,  $M_d \geq 15 \text{ N/mm}^2$  olmalıdır. Dolgunun en üst tabakası için ise  $M_d \geq 20 \text{ N/mm}^2$  olmalıdır.

Yüksekliği bir metreden az olan dolgularda iyileştirilen katmanlar ve son otuz santimetre hariç yükseltinin gövdesini oluşturan katmanlar için deformasyon modülü  $0,05 \text{ N/mm}^2$  ve  $0,15 \text{ N/mm}^2$  arasında,  $M_d \geq 20 \text{ N/mm}^2$  olmalıdır.

Yüksekliği 1 metreden az dolgunun son katmanı, üstyapı tabanı ve alttemel için yük devri (veya süresi)  $0,15 \text{ N/mm}^2$  ve  $0,25 \text{ N/mm}^2$  arasında,  $M_d \geq 50 \text{ N/mm}^2$  olmalıdır.

Tablo 6 Kireçte İstenen Standartlar

	İYİLEŞTİRME		STABILİZASYON	
	Dolgular		Üstyapı Tabanı	Alttemel
	SINIFLANDIRMA AASHTO: A-2-6,A-2-7,A5,A6,A7			
ZEMİN	pH DEĞERİNİN ÖLÇÜMÜ		: TS 6166	
	ORGANİK MADDELER		: TS 1169,AASHTO T 194, AASHTO T267, < % 4	
	SÜLFATLAR		: TS 6170 , SO3 < % 3	
	METİLEN MAVİ DEĞERİ		: TS EN 933-9 > 10 g / dl	
KİREÇ	Özellik (TS EN 459-2)	Sönmemiş Kireç	Söndürülmüş Kireç	
	CO2 (kızdırma kaybı)	$\leq 7 \%$	$\leq 7 \%$	
	Toplam (CaO+MgO)	$\geq 80 \%$	$\geq 80 \%$	
	SO3	$\leq 2 \%$	$\leq 2 \%$	
	MgO	$\leq 10 \%$	$\leq 10 \%$	
	SiO2+Al2O3+Fe2O3+SO3	$\leq 5 \%$	$\leq 5 \%$	
	Parçalar	$\leq 2 \text{ mm}$	-	
TS EN 459-2 md. 5.2 ye göre ağırlıkça elekte kalan %	-	0.09 mm $\leq$ % 7 0.2 mm $\leq$ % 2		
SU	SO <sub>3</sub> < 200 ppm			

Tablo 7 Stabilizasyon Sonrası Toprakta İstenene Özellikler

		İYİLEŞTİRME		STABILİZASYON		
		Dolular		Üstyapı Tabanı		
				Alttemel		
<b>TASARLANAN KARIŞIM pH = 12,4</b>						
<b>DOZAJ : KİREÇ % ≥ 1,5</b>						
TASARLANAN KARIŞIMIN LABORATUVAR ÇALIŞMALARI	<b>SIKIŞTIRMA</b> AASHTO Standart Proctor  CBR ≥ 15 ŞİŞME < % 2,0  20°C, Nem > % 95'de 3 gün ve 20°C'de suda 4 günden sonra		<b>SIKIŞTIRMA</b> AASHTO Standart Proctor Üstyapı Tabanı CBR ≥ 20 ŞİŞME < % 1,0  20°C, Nem > % 95'de 3 gün ve 20°C'de suda 4 günden sonra		<b>SIKIŞTIRMA</b> AASHTO Modifiye Proctor Alttemel CBR ≥ 50 ŞİŞME < % 0,5  20°C, Nem > % 95'de 3 gün ve 20°C'de suda 4 günden sonra	
	LL < 40 PI < 20  <i>(Atterberg Limitleri 1 saatlik değerlerdir)</i>		LL < 30 PI < 10  Atterberg Limitleri 1 saatlik değerlerdir  $q_u(7) > 5 \text{ kg/cm}^2$ $q_u(7) > 0,3 \text{ kg/cm}^2$  Dona Hassas Bölgelerde $q_u(n) > 1,5 \text{ kg/cm}^2$ n donma-çözülme sayısı $n \geq 5$ (En az 12 saat)		LL < 25 PI < 6  Atterberg Limitleri 1 saatlik değerlerdir	
YAPIM A. AMASI KALİTE KONTROLÜ	CBR ≥ 15 ŞİŞME < % 2,0  20°C, Nem > % 95'de 3 gün ve 20°C'de suda 4 günden sonra  LL < 40 PI < 20  <i>(Atterberg Limitleri 1 saatlik değerlerdir)</i>		CBR ≥ 15 ŞİŞME < % 1,0  20°C, Nem > % 95'de 3 gün ve 20°C'de suda 4 günden sonra  LL < 30 PI < 10		CBR ≥ 30 ŞİŞME < % 0,5  20°C, Nem > % 95'de 3 gün ve 20°C'de suda 4 günden sonra  LL < 25 PI < 6	
	<b>Dolular &gt; 1 m.</b>  $M_d \geq 15 \text{ N/mm}^2$ , Dolgu > 1m  $M_d \geq 20 \text{ N/mm}^2$ , Dolgu > 1m (Son Tabaka)		<b>Dolular ≤ 1 m.</b>  $M_d \geq 20 \text{ N/mm}^2$ , son 30 cm hariç  $M_d \geq 50 \text{ N/mm}^2$ , son 30 cm'de		$M_d \geq 50 \text{ N/mm}^2$ Alttemel ve yükselelerin son 30 cm'si	



### **5.7.6 Stabilizasyonda İşçi Sağlığı ve Çevresel Etki**

1) Kireç üreticileri Malzeme Güvenlik formlarını tanzim ederek alıcı veya kullanıcı firmaya verecektir. Bunun temini yüklenici tarafından yapılacaktır.

2) Çalışanların güvenliği için herhangi bir kireç ürünü kullanılmadan önce "Malzeme Güvenlik Bilgi Formu" mutlaka okunmalıdır. Kireçlerin boşaltılmasında istiflenmesinde ve yüklenmesinde işçiler uygun toz maskelerini kullanmalıdırlar. Göz korunması için koruyucu gözlükleri mutlaka temin edilmeli ve çalışanlar bu konuda bilgilendirilmelidir. Sönmemiş ve sönmüş kireç taşıyan işçiler uygun olarak giyinmelidir(koruyucu ayakkabı, miğfer ve eldiven kullanmalıdır). Vücudun açıkta kalan bölgelerinde özellikle boyun, yüz ve bileklere koruyucu krem sürülmelidir.

3) Kireç gözle temas ederse ilk yardım için derhal göz bol su ile 15 dakika boyunca yıkanmalıdır. Göz kapağı öne doğru çekilerek, bütün kireç tozunun yıkandığından emin olunmalıdır. Kirecin deriyle temasa halinde bu kısımlar sabun ve su ile bolca yıkanır. Gerekliğinde sirke ile de tamamen yok edilerek sabun ve su ile yakama tekrarlanır.

4) Kirecin depolama ve kullanım alanlarında doğal çevreye zarar verilmeyecek şekilde gerekli tedbir alınmalıdır.

### **5.7.7 Kireç Stabilizasyonu İçin Labratuarda Bulunması Gerekenler Listesi**

#### **1. Elek Analizi**

- Deney Standartları : AASHTO T-27, T-11
- Etekler : AASHTO M-92 ye uygun, elek açıklıkları: 75 mm, 50 mm, 37.5 mm, 25 mm, 19 mm, 9.5mm, 4.75 mm, 2.00 mm, 0.425 mm, 0.075 mm olan etekler.
- Teraziler : 1 gr hassasiyetli en az 15 kg kapasiteli
- Teraziler : 0.1 gr. hassasiyetinde 2.5 kg kapasiteli
- Etüv : 110 ± 5° C devamlı olarak ısı verebilen
- Bölgeç

- Metal tepsi, leğen ve rutubet kutuları
- Mala, bakkal küreği, tel fırça ve kıl fırça
- Havan, lastik uçlu tokmak

## 2. Atterberg Limitleri

- Deneysel Standartları : ASTM D 4318, AASHTO T 89, T 90 Likit Limit deneyi için ;
- Elek : 0.425 mm
- Likit Limit (Casagrande) Cihazı : TS1900 / Nisan 1987'ye uygun.
- Oluk Açma Bıçağı : TS 1900 / Nisan 1987'ye uygun.
- Spatula
- Teraziler : 0.01 gr. hassasiyetinde bir terazi
- Porselen Kap : Çapı 11.5 cm.
- Plastik Piset : Damıtık su dolu
- Nem Kaplan : Su muhtevası için
- Etüv :  $110 \pm 5^{\circ}$  C devamlı olarak ısı verebilen Plastik Limit deneyi için;
- Elek : 0.425 mm
- Cam veya mermer plaka : 9 mm. kalınlığında, 45 cm: kenarlı kare biçimli düz yüzeyli
- Spatula
- Teraziler : 0.01 gr. hassasiyetinde bir terazi
- Plastik Piset : Danutık su dolu
- Rutubet kaplan

### 3. Standart ve Modifiye Proctor Deneyleri

- Deney Standartları: ASTM D 698-78, D 1557-78, AASHTO T 99, T 180
- Metal Kalıp: 4" lik kalıp: İç çapı  $10.16 \pm 0.013$  cm, yüksekliği  $11.64 \pm 0.013$  cm, hacmi  $944 \text{ cm}^3$  veya 6" lik kalıp: İç çapı  $15.24 \pm 0.013$  cm, yüksekliği  $11.64 \pm 0.013$  cm, hacmi  $2124 \text{ cm}^3$
- Metal Tokmak:  $2.49 \pm 0.01$  kg ağırlığında,  $304.8 \pm 1.6$  mm sabit yükseklikten serbest düşebilen  $50.80 \pm 0.13$  mm taban çaplı silindirik, metal tokmak.
- Terazi: 1 gr hassasiyetli en az 20 kg kapasiteli
- Terazi: 0,01 gr. hassasiyetinde 1000 gr. kapasiteli
- Etüv: 110 t  $5^\circ \text{C}$  devamlı olarak ısı verebilen
- Elek 75,19,9.5 ve 4.75mm açıklıklı kare delikli elekler.
- Metal tepsi, leğen. kaşık, mala, spatula, çelik cetvel
- Kriko: Kalıp içinden numuneyi çıkarmak için
- Beher
- Rutubet Kaplan

### 4. Plaka Yükleme Deneyi

- Deney Standartları: ASTM D1195, AA.SHTO T221
- Kriko: 20 ton kapasiteli
- Deformasyon saati: 0,01 mm hassasiyetli 2,5 cm kapasiteli
- Deformasyon saatlerinin takılabileceği mıknatıslı 3 adet ayak
- Plaka: 30 cm çapında 2,5 cm kalınlığında
- Üçgen reaksiyon kirişi

## 5.Kür Odası

- Klima: Ortamın sıcaklığını 21 °C `de tutabilen

## 6.pH Deneyi

- Deney Standardı: ASTM 1883
- pH metre: Toprağın pH değerini ölçebilen

## 7. Kum Konisi, Kasnak, Nükleer cihaz

### ***5.7.8 Dairesel Plakayla Çift Evreli Yükleme Testi Vasıtasıyla Md ve Md' Deformasyon modüllerinin Belirlenmesi***

#### 1. Tanımlama ve amaç

Md deformasyon modülü; yerin, zemin altı katmanların ve yolların temele bağlı olmayan taban katmanlarının taşıma kapasitesini ifade eden konvansiyonel bir ölçüdür.

Dairesel plakalı yükleme testi ile belirlenir ve aşağıdaki denklemlerle tanımlanır:

$$Md = (\Delta P / \Delta S) D \text{ (N/mm}^2\text{) burada;}$$

$\Delta p$  : çapı  $D = 300$  mm olan rijit bir plakanın ilettiği basınç artışıdır ve  $\text{N/mm}^2$  olarak ifade edilir.

$\Delta s$  : Üzerine yük binen zemin yüke karşılık gelen çökme-göçme artışıdır ve mm ifade edilir.

#### 2. Test metodu prensibi

İzleyen kısımda belirtildiği şekilde çift evreli yükleme ile yapılan test, birinci evrede gücü' konvansiyonel olarak belirten

$$Md = \Delta P / \Delta S$$

Md / Md' arasındaki orantıyla incelenmekte olan katmanın sıkışma derecesini değerlendirmeyi sağlayan

$$Md' = \Delta P' / \Delta S'$$

Ölçü birimlerindeki değişiklikler hariç, bu normla elde edilen Md modülü daha önceki 9 numaralı CNR normu ile (11/12/1962) elde edilen modülün aynısıdır, çünkü icra edilişindeki metodda herhangi bir değişiklik yoktur.

#### Test cihazları

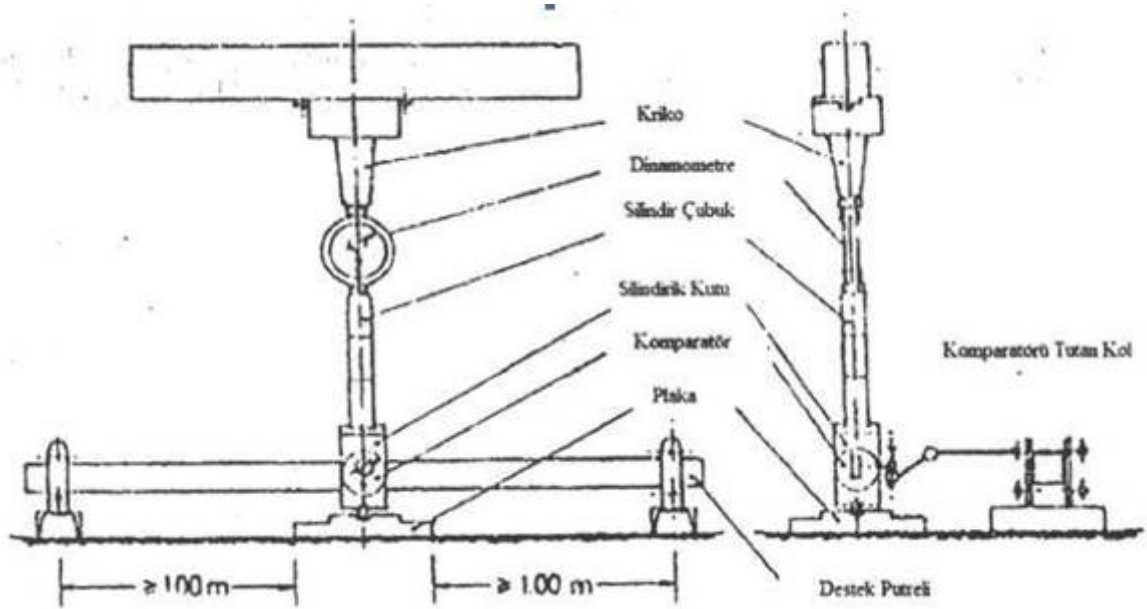
1. Kalınlığı 20 mm. den az olmayan,  $300 \pm 1$  mm çapında çelikten imal edilmiş dairesel bir plaka (tabla). Özel nervürlene işleme tabi tutularak, yada aynı ekseninde üstüne en az 20 mm kalınlık ve 160 mm çapında ikinci bir çelik plaka yerleştirilerek, bu tablaya rijidite (sertlik - esnemezlik) kazandırılmalıdır.
2. Metalik silindir şeklinde bir kutu (şekil 3) ve içinde bir sonraki maddede belirtilen küresel menteşenin merkezine yakın bir noktada bulunan düz bir oyuk. Oyulmuş bu düz yüzeye plakanın ortasındaki komparatörün ucu yerleştirilir (prosedür "a"). Şayet "b" prosedürü izlenecek ise bu kutuya gerek yoktur.
3. Yükün merkezilenmesi için bir adet küresel menteşe (teçhizatın yerleştirilme safhasında bloke edilebilir niteliktedir). Bu menteşe yükleme tablasının hemen üzerine koyulur (şekil 5)
4. Taşıma kapasitesi yaklaşık 50 kN olan mekanik yada hidrolik bir kriko.
5. Yaklaşık 50 kN kapasiteli, hassasiyeti 0,5 kN olan mekanik yada hidrolik bir dinamometre.
6. Birbirlerine vidalanmış birden fazla silindirik akstan oluşan ve bu sayede farklı uzunluklar elde etmeye yarayan bir uzatma aksamı.
7. Ölçme kapasitesi 10 mm, hassasiyeti 1/100 min olan bir adet yüzdelik komparatör yada aynı tipte üç adet komparatör
8. Komparatörleri tutan mafsallı mıknatıslı metal bir kol. Bu kolda komparatörü sıfırlamak için mikrometrik vidalı bir aygıt bulunur ("a" prosedürü). Yada, ("b" prosedürü) aynı tipten üç adet kol mevcuttur.
9. Komparatörleri tutan kolu taşıyan yeterince sert bir putrelden imal edilmiş, 2.5 metre uzunluğunda bir destek ve bu desteğin ucunda yere dayanan iki mesnet. Buna alternatif

olarak, her biri en az 1.20 m uzunluğunda birbirine geçme iki adet putrel ve bunların üç adet destekleyici mesneti.

10. Saniye Aracı

11. Kurşunlu bir tel (ip)

12. Skalası -100 ile +600C arasında, hassasiyeti ise 10C olan bir termometre



Şekil 10 Plaka Yükleme Düzenegi

#### Testin yapılışı

1. Testin yapılması için, bir kamyon şasisinin arka kısmından oluşan bir adet sabit durdurucu yiv gerekir ve bunun arka aksı üzerine tablaya bindirilecek olan maksimum yükün en az iki katı ağırlık binmelidir. Bu bütün haldeki parça, sırasıyla Şekil 10 da gösterildiği gibi monte edilebilir: bu montaj şekli kriko ve dinammometreyi kontrast işlevi olan (durdurucu) strüktüre sabitlemek yada sabitlememek şeklinde uygulanabilir.

2. Plaka deformasyon modülü belirlenmek istenen zemin tabakası üzerine yerleştirilir ve temasın mümkün mertebe tam olarak sağlanmasına dikkat edilir. Bu amaçla zeminin

düzeltilmesi ve seviyelendirilmesi gerekebilir ve bunun için 2 mm.lik elekten geçebilecek kum yada diğer uyumlu bir malzeme kullanılabilir. Başka bir tabakayla örtülü (kaplı) bir zemin yüzeyi üzerinde test yapma gereği varsa, cidarları plakanın kenarından en az 30 cm mesafede olacak bir çukur açmak lazımdır.

### 3. Deformasyonların ölçülmesi

#### 3.1. (a) prosedürü: tek bir komparatör ile

Küresel menteşe hazırlanıp kilitlendikten sonra, 3.2. maddede belirtilen silindir kutu plakanın üzerine koyulur ve bunun içine de komparatör yerleştirilir (kendisine ait kol komparatörü tutar). Komparatör, ucu kutunun alt kısmındaki yuvasına oturacak şekilde yerleştirilmelidir Komparatör tutan kol ise destek putreline sabitlenmelidir. Bu putrelin dayanakları yük binen alanların kenarlarından (plaka ve tekerler, yada durdurucunun başka bir mesneti) belli mesafede olmalıdır. Bu mesafe plaka için en az 1 metre, tekerler için ise en az 0,50 metredir.

Deformasyonları ölçen bütün (putrel, kol, komparatör) güneşin direkt ışınlarından, sarsıntılardan ve titreşimlerden konunmalıdır. Ayrıca ölçüm yapılan yerin yakınlarında fazla trafik de olmamalıdır. 2. maddede belirtilen kutunun üzerine kriko ile dinamometre yerleştirilirken, uzatma çubuğunun safrayla ağırlaştırılmış kamyonun şasisiyle kontrast yaratmasına dikkat edilmelidir; yada krikoyla kamyon geri geri getirilerek monte edilmiş dinamometre ve uzatma çubuğu ile birlikte kutunun üzerine konumlandırılmalıdır.

#### 3.2. (b) prosedürü: üç komparatör ile

Testin yapılış şekli bir önceki maddede belirtilen prosedürün aynısıdır. Sadece şu farkla:

- 2. maddede belirtilen silindir kutu kullanılmaz;
- Küresel menteşe strüktür ile 3.6. maddede belirtilen uzatma arasına yerleştirilir;
- Plakayı çevreleyecek şekilde 120° derece açıyla üç adet komparatör 3.8.maddede belirtilen kollardan yararlanarak yerleştirilir ve plaka kenarından yaklaşık 5 mm mesafede olmalarına dikkat edilir.

4. Küresel menteşe serbest bırakılır ve krikoya müdahale ederek toplamda, yani dinamometre ile ölçülecek yüzey üzerindeki teçhizatın ağırlığı da dahil olmak üzere, 0.02 N/mm<sup>2</sup> değerinde bir yük zemine uygulanır.

5. Deformasyonların son noktasına kadar gerçekleşmesi beklenir ve komparatörler sıfırlanır.

Komparatör üzerinde herhangi bir okuma gerçekleştirilmeden önce sürtünmeleri elimine etmek için komparatörleri tutan kola yada kollara, veya destek putreline hafif bir kaç darbe vurmalı ve iğnenin nihai okuma noktası yakınında dalgalanması sağlanmalıdır.

\* Silindir kutu kullanılabilir, ancak o zaman kendisine sadece yük plakasına rijidite kazandırma görevi verilir.

\*\* Bu testte, zemindeki göçmenin son noktasına gelmiş olması, yani zeminin oturması, komparatörün 1 dakika arayla birbiri arkasına iki defa okunması arasındaki fark 0.02 mm olduğunda gerçekleşmiş addedilir.

6. Bu aşamada yük 0,05 N/mm<sup>2</sup> değere getirilir ve komparatörde (a), yada komparatörlerde (b) ilk okuma gerçekleştirilir; birden fazla komparatör olması halinde okunan üç göçük değerinin ortalaması alınır.

7. Daha sonra aşağıdaki yük artışları uygulanır ve oturmalar stabilize olana (sabitleşene) kadar her dakika başı komparatördeki değerleri okunur.

a. Birinci evre:

- Dolgular ve tümsekli tabakalarda: 0.2 N/mm<sup>2</sup> basınca ulaşana dek 0.05 N/mm<sup>2</sup> lik yük artışları uygulanır;

- Alttemel katmanları ile temel katmanları için: sırasıyla 0.35 N/mm<sup>2</sup> ve 0,45 N/mm<sup>2</sup> basınca ulaşana dek 0.1 N/mm<sup>2</sup> lik yük artışları uygulanır.

Her yük artışında buna karşılık gelen oturma okunur; maksimum yüke karşılık gelen göçme değeri okunduğunda, sadece M4 modülü belirlenmek isteniyorsa yük komple boşaltılır; sıkışmanın mahiyeti hakkında bir karara varmak da isteniyor ise, Md' modülünü de belirlemek gerekir. Bu durumda, ilk yükleme evresi tamamlandıktan sonra 0.050 N/mm<sup>2</sup>



basınca kadar boşaltma uygulanır ve deformasyon stabilize olduktan sonra toplam oturma değeri belirlenir. Bu koşullardan hareketle ikinci evreye geçilir ve aşağıdaki yük artışları uygulanır:

b. İkinci yükleme evresi:

- Dolgularda ve tümsekli katmanlarda:  $0.15 \text{ N/mm}^2$  basınca ulaşana dek  $0.05 \text{ N/mm}^2$  lik yük artışları uygulanır;

- Alt-temel katmanları ile temel katmanları için: sırasıyla  $0.25 \text{ N/mm}^2$  ve  $0,35 \text{ N/mm}^2$  basınca ulaşana dek  $0.1 \text{ N/mm}^2$  lik yük artışları uygulanır

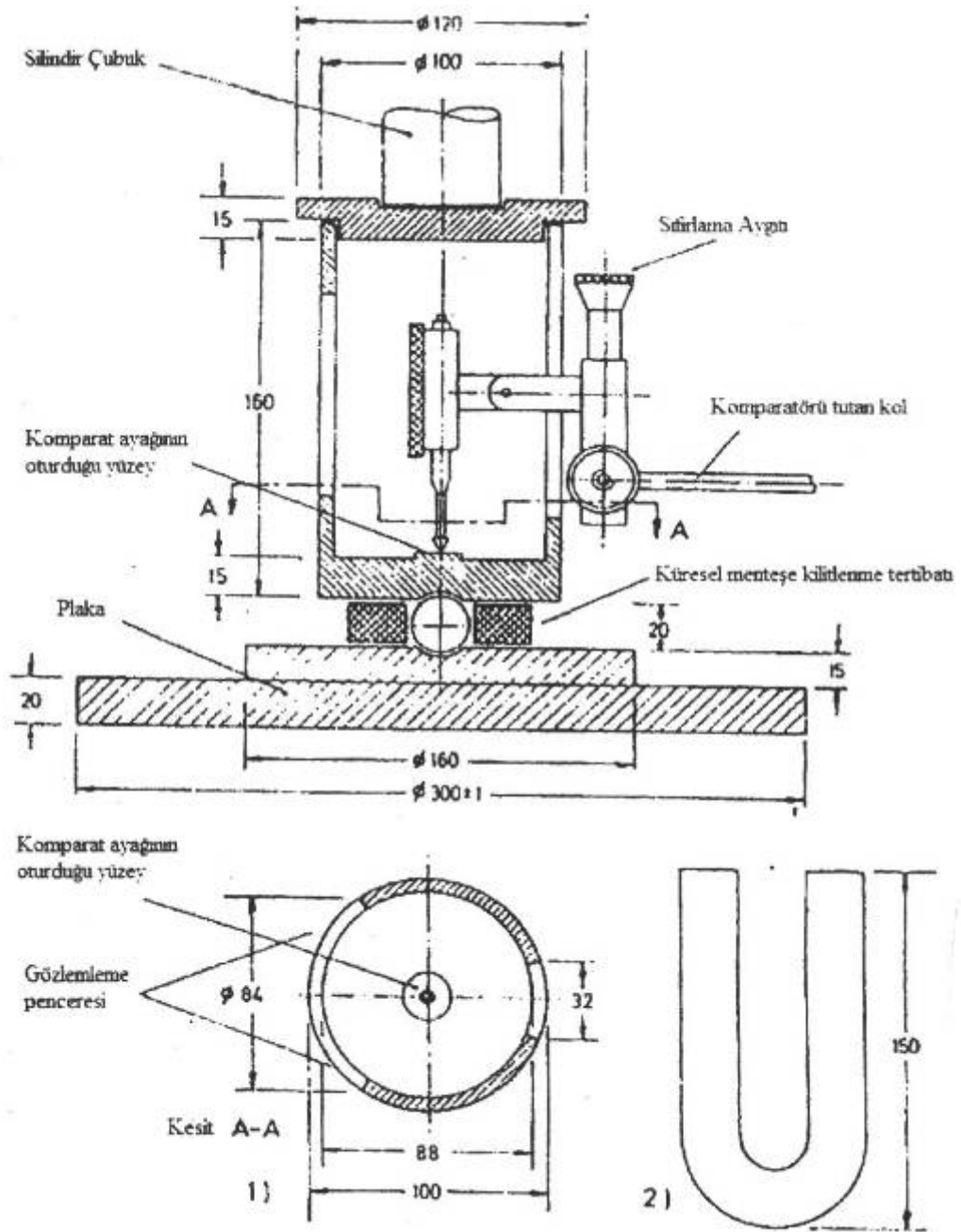
8. Test esnasında, bunun bir takım hassas değişikliklere uğrayıp uğramadığını tespit etmek için hava sıcaklığı birkaç kez ölçülür.

9. Test yapıldıktan sonra techizat kaldırılır ve katmanın nem oranını belirlemek için ölçüm noktası yakınından bir miktar numune malzeme alınır (CNR-UNI 10008 normu). Numune en az 15 cm derinliğe (kalınlığa) sahip olmalıdır.

10. Yükleme testlerinin yapısı tam bilinmeyen bir alt zeminde yapılması halinde, stratigrafisini saptamak ve plakanın altında ebadı 10 cm.den büyük çakıl taşları yada parçalar olup olmadığını tesbit etmek için yerde 50 cm derinliğe kadar bir oyuk açmak gerekir. Eğer bunlar mevcutsa test tam isabetli sayılmaz ve başka bir yerde tekrarlanması lazımdır.

11. Testlerin temel ve taban katmanları üzerinde yapılması halinde, test noktası yakınındaki agreganın maksimum boyutunun 10 cm.yi aşmamasına dikkat edilmelidir.

(b) prosedürü uygulanırsa, komparatörün saptadığı göçme değeri ortalama değerden 0.9 maden fazla sapmamalıdır. Aksi halde test geçersiz sayılır.



Şekil 11 Silindir Kutu

## Sonuçların yorumlanması

1. Test sonuçları özel formlara kaydedilir ve 4a, 4b, 4c şekillerinde şematik olarak gösterildiği gibi, x ekseninde gerilmeler, y ekseninde ise deformasyonlar yer alan grafik diyagramlar haline dönüştürülür.

2. Sırasıyla birinci ve ikinci yükleme evresine tekabül eden  $M_d$  ve  $M_d'$  deformasyon modülleri 1. maddede gösterilen denklem uygulanarak elde edilir. Bu denklemde  $\Delta p$  ve  $\Delta p' = 0.1 \text{ N/mm}^2$  olarak sabitlenirler ve normalde şu aralıklarda seçilirler:

- Dolgulara ve tümsekli katmanlarda:

$$\Delta p = \Delta p', 0.05 \text{ ile } 0.15 \text{ N/mm}^2 \text{ aralığında;}$$

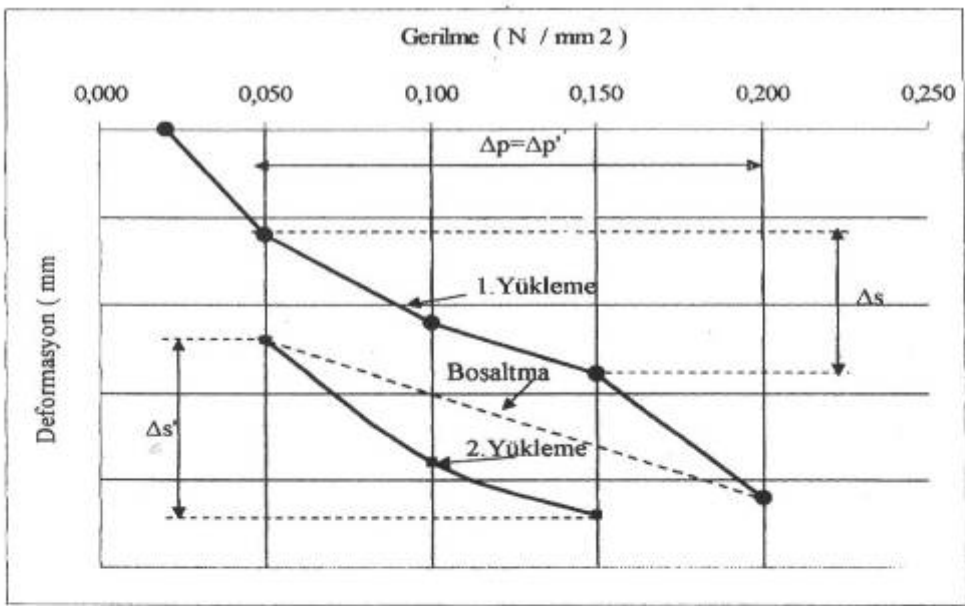
- Alt-temel katmanlarında:

$$\Delta p = \Delta p', 0.15 \text{ ile } 0.25 \text{ N/mm}^2 \text{ aralığında; - Temel katmanlarında:}$$

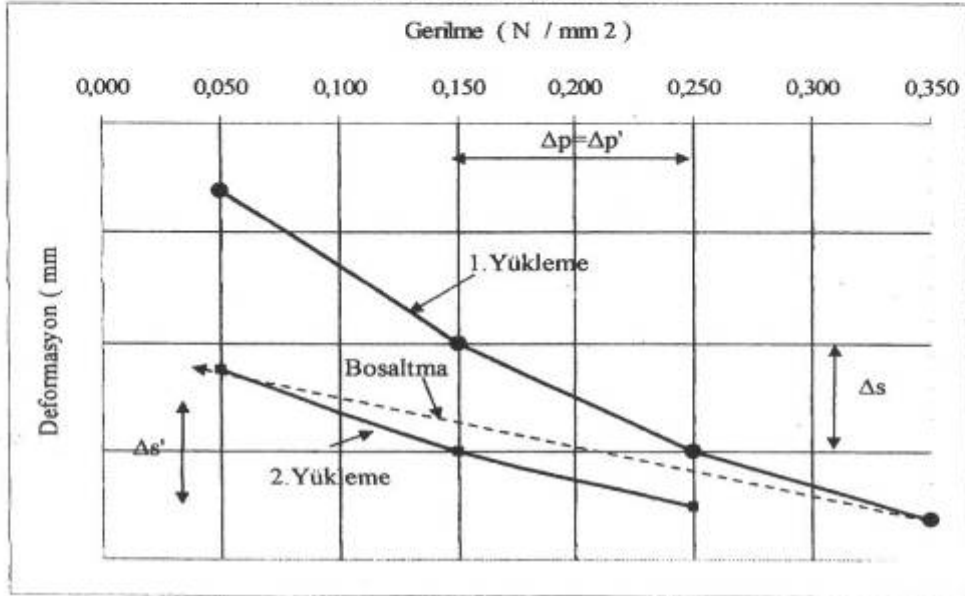
$$\Delta p = \Delta p', 0.25 \text{ ile } 0.35 \text{ N/mm}^2 \text{ aralığında.}$$

Topraktaki sıkışma niteliğinin değerlendirilmesi  $M_d / M_d' (\leq 1)$  oranına göre yapılır ve sıkışma kalitesi ne kadar fazlaysa bu oran birim değere o kadar yakın olur.

Tablo 8 Gerilme-Deformasyon Eğrileri



Şekil 4.a Dolgu ve üstyapı tabanı



## BÖLÜM ALTI

### KİREÇ STABİLİZASYONUNUN ÖRNEK UYGULAMASI

Madencilikte kireç stabilizasyonu uygulaması deneme amaçlı olarak 16.04.2006 ve 07.07.2006 tarihlerinde Koza Altın A.Ş'nin Bergama Ovacıktaki Altın Ocağı işletmesinde sırasıyla kapalı ocağa giriş yolunda ve açık ocağın nakliye yolunun 150 m'lik bir kısmında uygulanmıştır.

#### 6.1 16.04.2006 Tarihli Koza Altın A.Ş'nin Bergama Ovacıkta Altın İşletmesinde Kapalı Ocağa Giriş Yolunda Gerçekleştirilen Kireç Stabilizasyonu Uygulaması

16.04.2006 tarihinde kapalı ocağa giriş yolunda gerçekleştirilen uygulamada 150m'lik bir kısım kireçle stabilizasyona tabi tutulmuştur. Uygulama amacı ile bu yol geçici olarak trafiğe kapatılmıştır. İlk önce 150 m'lik yolun 20cm lik üst tabakası riperli dozer sayesinde kazılmıştır.(Şekil 12)



Şekil 12 Toprağın Riperlenmesi

Daha sonra dozer paletleri ile büyük taşları ezerek ufalamış ve yolu büyük taşlardan arındırmıştır. Ardından m<sup>2</sup>'ye 25 kg kireç gelecek şekilde kireç torbaları yolun etrafına serildi ve işçiler vasıtası ile kireç torbaları kesilerek toprağın üzerine boşaltıldı.(Şekil 13)



Şekil 13 Kireçin Toprağa Boşaltılması

Boşaltılma işlemi bittikten sonra toprak ve kireç greyder vasıtası ile defalarca karıştırılarak birbiri ile iyice etkileşme girmesi sağlandı.(Şekil 14)



Şekil 14 Kireç ile Toprağın Greyder Vasıtası İle Karıştırılması

Ardında kirecin daha altlara etki edebilmesi için sulama tankeri ile yol sulandı.(Şekil 15)



Şekil 15 Yolun Su Tankeri İle Sulanması

Sulama işlemi bittikten sonra silindir yolu düzlemiştir.(Şekil 16)





Şekil 16 Yolun Silindir ile Düzlenmesi

Düzleme işleminden sonra sulama kamyonu ile yol tekrar sulanmıştır ve uygulama sona ermiştir. Yol 24 saat araç girişine kapatılmıştır. Uygulama sonunda daha önceden yapışkan şekilde bulunan killi toprak taneli bir hal alarak kil özelliğini kaybetmiş ve uygulama başarılı olmuştur.(Şekil 17)



Şekil 17 Yolun Son Hali

## 6.2 07.07.2006 Tarihinde Koza Altın A.Ş.' nin Bergama Ovacık Altın İşletmesinde Açık İşletmede Gerçekleştirilen Kireç Stabilizasyonu Uygulaması

07.07.2006 tarihinde Açık işletmenin 150m'lik bir kısmında (tek şeritte) uygulanan bu uygulamada kireç toprakla yerinde karıştırılmamış ve ocağın başka bir kısmından alınan killi toprak ile karıştırılmıştır. Öncelikte taşınan toprak yığınlar haline getirilmiş ve JCB'nin kepçesi aracılığı ile yığınların ortası açılarak kireç yığınların ortasına vinç vasıtası ile boşaltılmıştır. Kullanılan kireç miktarı ton başına 25 kg olacak şekilde ayarlanmıştır. Kireci boşaltma işlemi bittikten sonra toprak ile kireç JCB aracılığı ile karıştırılmış ve kamyonlara yüklenerek uygulamanın yapılacağı yere taşınmıştır. Kireç+toprak karışımı uygulanacak yolun bir kısmına direk boşaltılırken bir kısmında ripper yolun üst tabakasını 30 cm kazdıktan sonra boşaltılmış ve toprakla tekrar karıştırılmıştır. Toprak boşaltıldıktan sonra yol greyder vasıtası ile düzeltilmiş ve sulanıp silindir ile düzlenmiştir. Bu işlemlerden sonra yoldaki killi toprağın yapışkan bir halde değil taneli bir hale geldiği gözlenmiştir. İlk gözlemlerimiz uygulamanın başarılı olduğunu göstermiştir yağışlardan sonraki kontrollerde de yolun uzun

süre stabil halde kaldığı ve 5 aylık süre içerisinde yan yola göre daha az düzeltilmeye ihtiyaç duyulduğu bu yüzden de maliyetleri düşürdüğü gözlemlenmiştir.

## BÖLÜM YEDİ

### ÇİMENTO STABİLİZASYONU VE MEKANİZMASI

Toprak - çimento stabilizasyonu, 1917 senesinde İngilterede H. E. Brooke -Bradley isminde bir mühendisin uygulaması ile başlar. Amerikada yol inşaatında ilk defa 1935 senesinde uygulanmıştır. Uygulanan bölge Güney Karolina olmuştur. Bu tarihten itibaren çimento ile stabilizasyon hergün biraz daha önem kazanmıştır, A.B.D.'de 1935'ten 1949'a kadar tahminen 50 milyon km<sup>2</sup> yol bu yöntem ile inşa edilmiştir.

Toprak kimyevi olarak kompleks olmasına rağmen çimento ve su ile birleştirildiğinde özel bir şekilde reaksiyona girer. Karışımda da özel bir değişme olmaktadır. Bu özel değişme bir baz yerdeğiştirmesidir (base exchange). Toprak azçok kongüle bir vaziyete gelir ve bu da iç sürtünmeyi arttırır. Bu kimyevi olay ve rutubetli karıştırma esnasında çimentonun yan hidrasyonundan dolayı toprak - çimento karışımının rutubet - yoğunluk ilişkisinde çok az bir değişme görülür. Bu etkiler, rutubetli karışım süresinin uzamasıyla optimum rutubetin artması ve azamî yoğunluğun azalması halinde tezahür eder. Bu sebepten dolayı, toprak - çimento karışımının lâboratuvar rutubet - yoğunluk tecrübelerinin mümkün olan en kısa zamanda yapılması lâzımdır.

İnce taneli siltli ve killi topraklarda çimento, hidrasyonu sırasında mineral agrega ve toprak agregaları arasında öyle bir bağlantı kurar ki, bu suretle toprak agregalarının etrafı kaplanmış olur. Bu bağlantı bal peteği yapısı şeklinde, olup karışımın kuvveti buna bağlıdır. Sebebi de bu bağlantılar içindeki kil bağlantılarının kuvvetinin çok az olup karışım kuvvetine bir etki etmemesindedir. Bu bağlantı tanelerin birbiri üzerinde kaymalarını önler. Böylece, çimento hem plastisiteyi bozar ve hem de ilâve kesme kuvveti verir. Çimentonun kimyevî satih etkisi killi toprakların su emme ve su tutma özelliğini azaltır. Bu şekilde, absorpsiyon neticesi şişmeler de azalır ve bünyeyi donma ve erime etkilerinden muhafaza eder.

Granüler topraklarda betondaki gibi olmakla beraber, çimento bütün boşlukları doldurmaz. Kumlarda, agregaların yalnız bitişme noktalarında bir bağlantı olur. Toprak ne kadar boşluksuz tane çapı dağılımına sahipse, birleşme noktaları o kadar fazla olur. Dolayısıyla bağlanma kuvveti de o kadar artar. Tek boy kumlarda temas alanı minimum olduğundan bağlantı için fazla miktarda çimentoya ihtiyaç duyulur.

Çimento tabii toprakla işleme tutulursa, karışımın kuru yoğunluğunu düşürecek. Belirli bir rutubette kür'e tabi tutulduğunda toprak+çimento, aynı beton gibi sertleşir, (hidratasyon betondaki gibi olur). Maliyet. düşük yani ucuz istenen yollarda, toprak - çimento stabilizasyon tabakası olumlu bir şekilde temel tabakası olarak vazife görür. İlâve edilecek çimento miktarına tesir eden en önemli faktör, toprağın cinsidir denilebilir. Aşağıda çeşitli cins topraklara ilâve edilmesi gereken çimento miktarları gösterilmiştir. Bu değerler yaklaşık olup belirli cins bir toprağa ilâve edilecek çimento miktarı lâboratuvar tecrübeleri neticesinde tayin edilir.

### **MUHTELİF CİNS TOPRAKLARA İLÂVE EDİLECEK TAKRİBİ ÇİMENTO MİKTARI**

<b>Toprağın sınıfı</b>	<b>Takribi çimento miktarı</b>
	<b>(ağırlık olarak %)</b>
A — 1	3 — 8
A — 2	5 — 9
A — 3	5 — 10
A — 4	7 — 12
A — 5.	8 — 14
A — 6	9 — 15
A — 7	9 — 15
Organik toprak	Stabilizasyona uygun değil

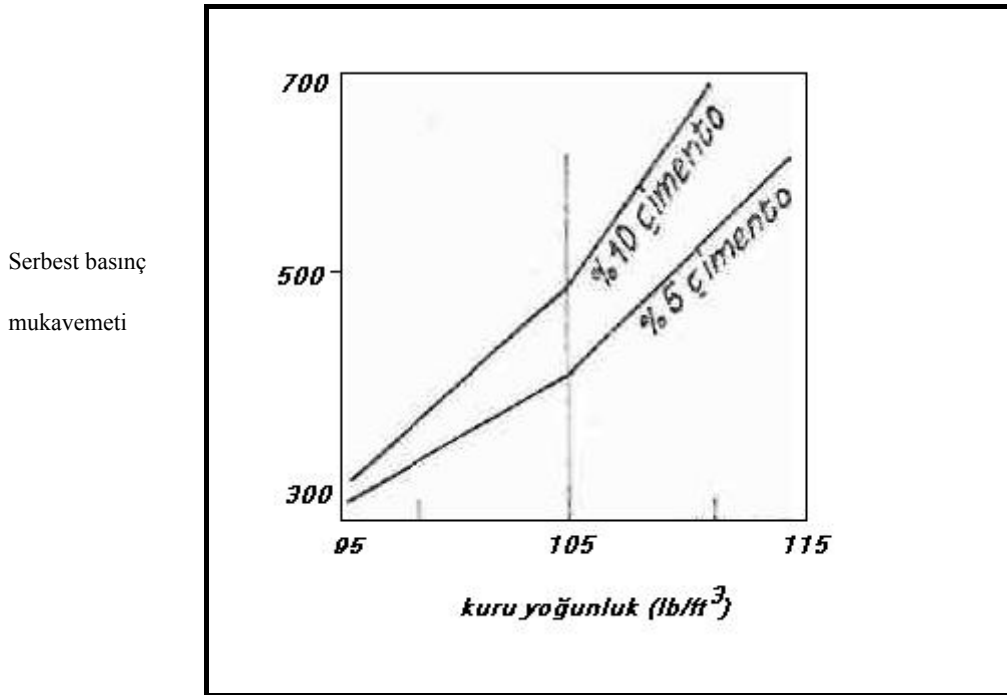
Belirli bir proje için gerekli olan lâboratuvar tecrübeleri, inşaat şartları, değişik toprak cinslerinin adedi, işin hacmi ve bunlara benzer faktörlere bağlıdır. Büyük projelerde genel olarak teferruatlı tecrübeler gerektirir. En uygun neticeyi veren minimum çimento miktarı her toprak cinsi için ayrı ayrı tayin edilir. Tecrübe kolaylıkları ve personelin sınırlandırıldığı

küçük projelerde inşaat için uygun fakat her zaman minimum olmayan çimento miktarını tayin edebilecek kadar lâboratuvar tecrübeleri yapılması daha avantajlı olur.

Toprak - çimento'dan elde edilecek faydalar karışımın sıkıştırılma derecesine de bağlıdır. Şekil 18 de lâboratuvar tecrübeleri neticesinde yoğunluğun basınç mukavemetine olan tesiri gösterilmiştir. Şekilde alt çizgi standart AASHO tecrübesi neticeleridir. Standart yoğunluklardan düşük olanlar daha az basınç mukavemeti göstermiştir.

Toprak - çimento karışımında arzu edilen neticeleri elde etmek için, sıkışma yüzdesinin en az % 95 ve tercihan % 100 olması lâzımdır. Buna ilâveten sıkıştırma işlemi, çimento prizini yapmadan evvel bitirilmelidir. Aksi takdirde düşük yoğunluklar meydana gelecektir.

Sertleşme işleminin devam etmesi için, toprak - çimento karışımının kür'e tabi tutulması şarttır. Genel olarak toprak- çimento karışımları 7-8 günlük bir kür müddeti içinde sertleşir. Bu sertleşme çimento miktarına bağlıdır. Kür süresi devamınca toprak - çimento karışımı rutubetli tutulmalıdır.(Ciason, 1964 s.41)

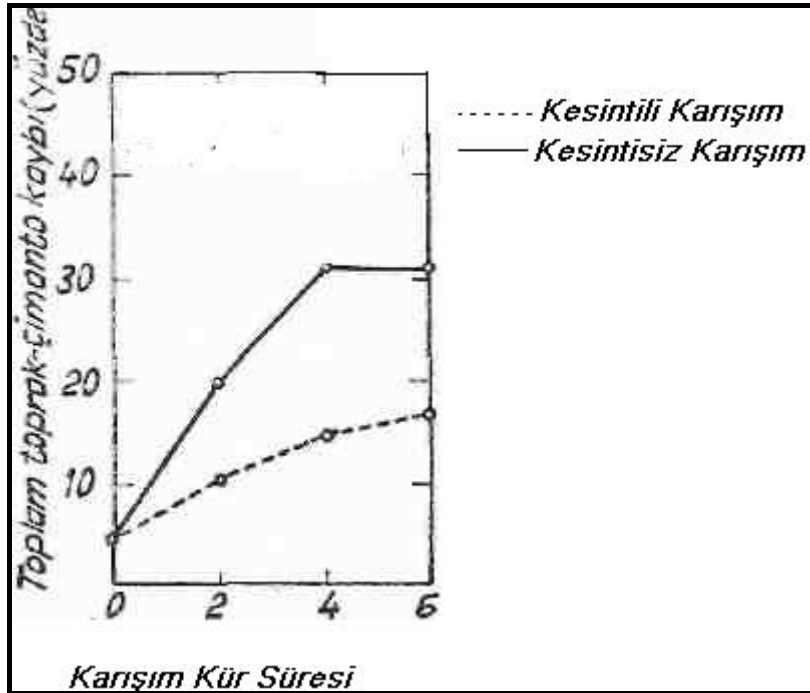


Şekil 18 Yoğunluğun basınç mukavemetine olan tesiri

Çimento stabilizasyonu plâstik topraklar ile de yapılmaktadır. Bununla beraber, en iyi neticeleri granüler malzeme içeren alt yapı (taban) toprakları vermektedir.

Çimentonun toprak ile bağdaşık olarak karışması şarttır. Bu sebepten dolayı, şayet plâstik topraklar mevzubahsi ise, bilhassa bunlar fazla rutubet ihtiva ediyorsa, toprağın iyice kurutulması ve pülverize edilmesi gerekir. Çimento ilâvesi toprağın plâstisite indeksini düşürür ve netice olarak o toprak kolayca ufalanabilir, şilt veya siltli kil olarak muameleye tabi tutulur. Toprak - çimentonun yol inşaatında en fazla kullanıldığı yer, alt yapı (taban) toprağının karışım neticesi bir temel olarak vazife göreceği tabakadır. Toprak-çimento temel tabakası yarı rijid bir plâk gibi çalışır. Toprak - çimento temel tabakasının yanında büzülmeden meydana gelmiş çatlaklar meydana gelebilir. (bilhassa çimentosu fazla olan karışımlarda). Bu çatlakların büyük bir zararı yoktur. Toprak - çimento inşaatı çimentonun ilk priz zamanı ile ayarlanmalıdır. Eğer karışım zamanı istenilen müddeti geçerse, düşük mukavemetli karışımlar elde edilir. Bu olay Şekil 19'de görülmektedir.

Netice olarak şunu söylemek yerinde olur ki, toprağa çimento ilâve edildiği andan itibaren 5-6 saat içinde bütün inşaat safhası tamamlanmalıdır. Toprak - Çimento en ekonomik bir şekilde 15 cm. lik tabakalar halinde inşa edilir.



Şekil 19 Karışım kür süresi-Toplam toprak çimento kaybı

Tablo 10'da muhtelif cinsi topraklar için toprak - çimento karışımlarının basınç mukavemetinin tabii haldeki toprak ve beton ile mukayesesi gösterilmiştir.

Tablo 9 Toprak - çimento karışımlarının basınç mukavemetinin tabii haldeki toprak ve beton ile mukayesesi  
(Ciason 1964 s.44)

Basınç Mukavemeti Kg/cm <sup>2</sup>	Malzeme cinsi	Kullanıldığı yer
	Toprak	
1'den az	Kil, bataklık toprağı	Alt yapı olarak
1-3	İyi sıkıştırılmış kumlu kil	Alt yapı olarak
3-7	İyi sıkıştırılmış çakıl, kum, kil karışımları	Alt yapı olarak



Aşağıdaki Cins Topraklarla Yapılmış Toprak-Çimento Karışımları		
3.5' den az	Kil, organik topraklar	Kullanılması uygun değil
3.5-10.5	Şiltler, siltli killler,bozuk granülometrilik kumlar, çok az organik madde ihtiva eden topraklar	Çok kötü tabii zeminlerde alt temel olarak
7.0-17.5	Siltli killler, kumlu killler, bozuk granülometrilik kumlar ve çakıllar	Çok kötü tabii zeminlerde alt temel olarak
17.5-35.0	Siltli kumlar, kumlu killler, kumlar ve çakıllar yollarında temel olarak	Mutedil iklimli yerlerde, il, devlet yollarında temel olarak
28-105 (takriben)	İyi granülometrilik kum - kil veya çakıl - kum - kil karışımları ve kumlar veya çakıllar	Sert iklimli yerlerde, il yollarında temel olarak

	Beton	
35-140	Brobeton	Devlet yolları için temel veya alttemel
140-350	Beton	Devlet yolları için temel

### **7.1.1 Çimento ile Modifiye Edilmiş Toprak**

Çimento ile modifiye edilmiş topraktan kasıt, toprağın içine az miktarda çimento ilâvesiyle bilhassa killi toprakların likit limit, plâstisite indeks ve su emme vasıflarında bir azalmanın meydana getirilmesidir. Pratikte bu mevzu hemen hemen hiç tatbik edilmemekle beraber, toprak - çimento ameliyesinin esas fonksiyonlarından birini teşkil etmektedir. Çimentonun buradaki tesiri, her bir toprak tanesini birbirine bağlamakla vasati tane büyüklüğünü arttırmak dolayısıyla toprak - çimentonun bir bütün olarak yapışana bağlı olarak toprağa yeni vasıflar vermesidir. Siltli ve ekili topraklara normal çimento - toprak karışımındaki çimento miktarından daha az ilâve edilerek aşağıda verilen maksatları karşılamak için kullanılır.

1. Yüksek hacim değişmesine maruz toprakların büzülme ve genişlemesini kontrol altında tutmak.
2. Alt yapı (taban toprağı) toprağın kuvvetini arttırmak.
3. Alt yapı toprağında etkilerini azaltmak.

Çoğu zaman ocaktan çıkan malzeme rutubetli olur fakat bunları fazla miktarda kurutmağa lüzum yoktur. Çünkü, malzemenin plâstisite indeksini düşürmek için ilâve edilecek çimento malzemeyi karışım makinaları ile kolayca çalışabilir bir vazife getirir. Bu tip bir stabilizasyonun esas gayesinin karışımın ince kısmının vasıflarını değiştirmek olması, çimentonun ince kısım ile çok iyi bir şekilde karıştırılmasını içabettirir. Bu iş en iyi bir şekilde ocakta karışım (plant - mix) metodu ile yapılır.

### **7.1.2 Toprak - Çimento Karışımlarının Plâka Taşıma Değeri**

Likit Dikiti 57, CBR değeri 2, kuru kesafeti 87 Lb/ft<sup>3</sup>, optimum rutubeti % 34 ve plâka taşıma tecrübesi neticesi K değeri 150 psi. olan bir killi toprak, içine çimento ilâve edilip stabilizasyona tabi tutulduktan sonra ve inşaatın bitiminden 4 hafta sonra plâka tecrübesine tabi tutulmuş ve K değeri 1190 çıkmıştır. Tecrübe 12 inç. çapında plâka kullanılarak yapılmıştır.

### **7.1.3 Kaliforniya Taşıma Oram (CBR)**

Toprak - Çimento karışımlarının CBR değeri tabii toprağmkinden çok yüksektir. Bazı zamanlar CBR pistonunun penetrasyonu 0.05 - 0.075 inç'e ancak yaklaşabilmekte ve tecrübenin diğer penetrasyonlarını almak imkânsızlaşmaktadır.

### **7.1.4 Plâstisite İndeksi**

Plâstisite indeks toprağın ince kısmında aranan bir vasıftır. Plâstisitesi yüksek olan bir toprağa çimento ilâvesi o toprağın kırılmadan istenilen şekle girebilme vasfını bozar. Bu olay, toprak - çimento silindir numunelerinin aynı beton silindir numunesi gibi basınç altında kırılması ile aşikârdır.

Toprak - çimento karışımlarının plâstisite indeks tecrübesi basınç mukavemeti tecrübesi için hazırlanmış numunelerin 7 gün sonra mukavemet tecrübesine tabi tutulmuş silindirlerinin ufalanarak 40 No.lu elekten, geçirilmiş kısımları üzerinde yapılır.

Normal olarak, plâstik limit yükselir ve likit limitte çok az bir düşme olur. Neticede plâstisite indeks azalır. Yapılan birçok tecrübeler likit limiti 40 dan yüksek olan topraklardan yapılan toprak - çimento karışımlarının likit ümitlerinde çok az bir düşme ve limiti 40 dan düşük olanların karışımlarının likit limitlerinde bir yükselme vuku bulunduğunu göstermiştir.

### **7.1.5 Toprak - Çimento Karışımlarının Hacim Değişmesi Vasıfları**

Optimum rutubette maksimum kesafete kadar sıkıştırılan killi topraklar, rutubetleri yükseldikçe şişer ve azaldıkça büzülür. Optimum rutubetten daha yüksek rutubette sıkıştırıldıklarında, şişme azalır ve büzülme fazlalaşır. Buna mukabil, optimum rutubetten daha az rutubette sıkıştırıldıklarında, şişme fazlalaşır ve büzülme azalır. Toprağa çimento ilâvesi hem şişme ve hem de büzülme vasıflarını değiştirir. Çimentonun bu değişmedeki etkisinin meydana gelişi kompleks bir işlem olup toprağın cinsine, rutubet değişmelerine, çimento miktarına ve hararet değişmelerine bağlıdır.

Kohezyonlu (bağlayıcılığı olan) topraklara çimento ilâvesi büzülme azaltır. Bunun sebebi, toprak taneleri araşma giren çimentonun bu tanelerin hareketine mani olmağa çalışmasıdır. Fakat, rutubet kaybı neticesinde meydana gelecek büzülme tamamen mani olur diye birşey söylenemez.

Çok az bir büzülme gösteren veya hiç göstermeyen kohezyonsuz (bağlayıcılığı olmayan) granuler toprakalara çimento ilâvesi az miktar bir büzülmeye sebebiyet verir. Bu büzülme, çimentonun bağlayıcılık vasfından ötürüdür. Bundan dolayı kum ile yapılan stabilizasyonlarda bir büzülme ve çaylama vuku bulur. Çimento miktarının artması ile büzülme azalır.(Ciason, 1964 s. 46)

### **7.1.6 Durabilite (Sağlamlık)**

Rutubet ve hararet değişimleri neticesi tabii toprakların hacim, kuvvet ve iç yapılarında bir değişme vuku bulur. Aynı hal toprak - çimento karışımlarında da mevcuttur.

Donma eritme, ıslatma ve kurutma tecrübeleri önceleri çimentonun toprak ile bağlantı derecesini tecrübe etmek ve toprağın rutubet miktarı ve kesafetinin değişmesi neticesi fizikî vasıflarındaki değişmelere karşı mukave metindeki tesirleri ölçmek için tatbik edilmekteydi. Esasında bunlar durabilite ölçer birer tecrübe değildi. Bununla beraber, zamanın mühim bir faktör olması (12 devre donma ve eritme ve 12 devre ıslatma ve kurutma) ve lâboratuvar neticelerinin arazi müşahedeleri ile bağlanmış olması, bu tecrübe neticelerinin karışımın dayanıklılığı hakkında nisbi değerler vermesini sağlayan, Toprak - çimentonun şartlarına uygun herhangi bir karışım, durabilitesini gösterir diğer bazı şartlara da (minimum limitler) uymalıdır.

### **7.1.7 Toprak - Çimento Karışımlarının Optimum Rutubet Miktarı ve Maksimum Yoğunluğu**

Normal karıştırma müddetleri dahilinde, toprak - çimento karışımının optimum rutubet miktarı ve maksimum kesafeti aynı tabii topraktaki gibidir. Bazı topraklar bu kaidenin dışına çıkmakla beraber, miktarı çok azdır. Aradaki farkların çoğu 1-3 Lb/ft<sup>3</sup> arasında değişir. Bunlar kumlu ve killi topraklardır. Hafif ve orta plâstisitede killerde çok az bir değişme görülür veya hiç bir değişme olmaz. Siltli topraklarda yoğunlukta hafif düşmeler meydana gelir. Killerin optimum rutubetinde bir düşme, şiltlerde yükselme meydana gelir. Kum veya kumlu topraklarda hemen hemen hiç bir değişme görülmez.

## 7.2 Toprak - Çimento Karışımlarının Fiziki Vasıflarına Tesir Eden Faktörler

Toprak - çimento karışımlarının fizikî vasıflarına tesir eden en önemli faktörler aşağıda sıralanmıştır :

1. Toprak
2. Çimento
3. Karışımın rutubet miktarı
4. Karışımın derecesi
5. Karışımın sıkıştırılması
6. Kür müddeti

Burada verilen ilişkiler tipik veya vasati değerler olmaktan ziyade, gösterici anlamdadır

### 7.2.1 Toprak

Bu faktör, toprağın tane çapı dağılımı ve kimyevî terkebini ihtiva eder. Amerikan Yol Araştırma Birliği HRB ekonomik olarak stabilizasyona tabi tutulabilecek toprakların aşağıdaki limitler dahilinde bulunmasını tavsiye etmiştir :

Azami tane çapı 3 inç, 4 No.lu elek üzerinde kalan malzeme miktarı azami % 50, 200No.lu elekten geçen miktar azami % 50, likit limit 40 dan küçük plâstisite indeksi 18 den olmalıdır.

Kullanılacak toprak içindeki organik madde miktarı az olmalıdır, çünkü, organik madde toprak - çimento karışımının mukavemetini düşürür. Her ne kadar içinde % 3 - 4 organik madde bulunan topraklar bazı hallerde başarılı bir şekilde stabilizasyona tabi tutulmuşlarsa da takriben % 2 limiti emin bir sınırdır. Organik maddeden ayrı olarak, toprağın kimyevî terkebi

de önemlidir. Bu önem bilhassa toprağın içinde zararlı tuzlar mevcut ise belirir. Beton teknolojisinde olduğu gibi, sülfatların en zarar verici madde olduğu ihtimal dahilindedir. Bu

maddelerin zararlı tesiri, çimentonun prizine tesir eden bir reaksiyondan olmayıp, toprak - çimento karışımındaki hava boşluklarında bulunan yüksek hidrasyonlu tuzların kristalleşmesi neticesinde karışımın strüktürünü (yapısını) bozması olduğu düşünülmektedir.

Toprak - çimento içindeki veya etrafındaki toprakta mevcut rutubetin hareketi ile

münasebettar bu tesirler lâboratuvarda müşahede edilmiştir. Fakat, bunların arazide ne dereceye kadar tesirli olacağı halen bilinmemektedir.

4 No, lu elekten geçen kısma ilâve edilen çimento miktarı sabit tutulursa, toplam malzeme ağırlığına göre içindeki kaba agrega miktarı % 50 den fazla olmadıkça karışımın basınç mukavemeti bu kaba agreganın miktarı ile hemen hemen hiç değişmez.

Genel olarak A - 2 ve A - 3 sınıfı topraklar likit limit, plâstisite indeks ile çimento miktarı arasında henüz bir münasebet tesis edilmemiştir.

A - 4 sınıflı topraklarda likit limitin artması ile çimento miktarında da bir yükselme gözlemlenmiştir.

### 7.2.2 Çimento

Toprak - çimento karışımları bazı hallerde % 4 çimento ile müsbet bir şekilde yapılabilmektedir. Bu miktarın % 20-25 e kadar çıktığı da vakidir. Fakat, böyle yüksek çimento % lerin kullanılmasının ekonomik olup olmayacağı şüphelidir.

Bugün umumiyetle ilâve edilecek çimento % si muhtelif yüzdelerde basınç mukavemeti tecrübesine tabi tutulduktan sonra elde edilen neticelerden kararlaştırılır. Bunların hangi rutubette sıkıştırılacağı ileride bahis konusu olacaktır. Karışımdaki çimento hidrasyon olurken çimento miktarının artması ile basınç mukavemetinde de bir artma görülür. Değişik toprak+ çimento karışımları için çimento miktarının artması ile basınç mukavemeti artışları Tablo 11 de görülmektedir. Bu tabloda dikkati çeken husus, içindeki kil fazla olan topraklarda muayyen bir çimento % si artışının basınç mukavemetinde kumlu topraklara nisbetle daha az bir yükselme gösterilmiştir.

Çimento miktarı veznen veya hacmen % olarak veyahutta m<sup>2</sup> ye kilogram olarak verilebilir. Lâboratuvar tecrübeleri neticesinde, bazı topraklardan yapılan, değişik çimento miktarına sahip numunelerin, karıştırma ve sıkıştırma işleminden sonraki mukavemet kazaüma sür'atlerinde büyük farklar görülmediği belli olmuştur. Bu sebepten dolayı, gerekli çimento yüzdesinin seçilmesi için 28 günlük basınç mukavemetlerinin yerine 7 günlük basınç mukavemetleri hatasız olarak kullanılabilmiştir. Bu şekilde hazırlandıktan 1-2 gün sonra tecrübeye tabi tutulan numunelerde, % 12 çimento ilâvesinin % 8 ile yapılanla hemen hemen

ayni mukavemette olduğu görülmüştür. 7 Gün ve daha fazla zaman sonra yapıları basınç mukavemetlerinde bu hal varit olmayıp daha fazla çimento miktarına sahip numunelerde daha yüksek basınç mukavemeti elde edilmiştir.

ASTM Tip I veya Tip I A (hava kabarcığı katkılı) çimentolarının kullanıldığında, bu iki değişik tip çimento arasında büyük farklar mevcut olmadığı görülmüştür.

Tablo 10 Toprak - Çimento Karışımlarında Mukavemetin Çimento Miktarı İle Artışı

Toprak cinsi	Çimento miktarı Bai %	mç Mukavemeti günlük Kg/em <sup>2</sup>	Kuru Kesafet Opt. Lb.ft <sup>3</sup>	Rutubet %
Siltli kil	7	25	111	16
	10	28	111	16
	13	32	111	16
Kumlu kil	7	16	117	14
	10	27	118	14
	13	37	218	14
Killi kum	7	17	111	12
	10	20	113	12
	13	27	115	12
Kum (Üniform gradasyo llu)	7	15	111	10
	10	28	115	10
	13	60	218	10
Çakıl (Bozuk gradasyonlu)	7	11	224	10
	10	25	125	10
	13	39	227	10

### 7.2.3 Karışımın Rutubet Miktarı

Toprak - çimento karışımlarında rutubet miktarının tesiri tabii toprakta olduğu gibi sıkıştırma işlemindedir. Sıkıştırma için lüzumlu olan rutubet miktara toprağın cinsi ve sıkıştırma metodu ile ilgilidir. Bundan dolayı, betondaki su çimento oranının önemi hemen hemen yok gibidir. Toprak + çimento karışımlarının en iyi bir şekilde hangi rutubette sıkıştırılabileceği hususu henüz bilinmemektedir. Fakat umumiyetle en yüksek basınç mukavemetleri optimum nemden biraz daha düşük nemde elde edilmiştir. Buna karşılık donma - eritme ve ıslatma - kurutma tecrübeleri optimum rutubetten biraz daha yüksek rutubetlerde daha iyi neticeler vermiştir. Şimdilik bu hususta kesin bir bilgi olmadığına göre, karışım işlemlerinin optimum nemde veya bunun biraz üstünde yapılması ve sıkıştırılması uygundur. Çimentonun hidratasyonu için lâzım olan nem azamî yoğunluk erişebilmesi için gereken nemin içinde mütalea edilir.

Bu nem karışımının bünyesi içinde homojen olarak dağımalıdır. Çimentonun nemle tam olarak teması ancak bu suretle sağlanabilir. Kullanılacak olan su, betonda kullanılan aynı olmalıdır. Suyun içinde karışımın bünyesine zarar verebilecek fazla derecede yağ, tuz, alkali ve organik madde bulunmamalıdır. Deniz suyu olduğu gibi kullanılabilir.

#### **7.2.4 Karışımın Derecesi**

Lâboratuvarda yapılan karışımların mukavemeti, donma - eritme ve ıslatma - kurutma kayıpları arazide yapılan karışımlardan daha iyi neticeler verdiği bilinmekle beraber lâboratuvar tecrübelerinde bu faktör için toleransı kabul edilmiştir. Bazı topraklarda, arazide mikser ile yapılan karışım işlemi neticesinde elde edilen mukavemetler, lâboratuvarda elde edilenin % 60 - 80 ine hatta; bazı topraklarda daha yükseğine çıktığı görülmüştür.

Çimento - toprak karışımlarının mukavemet ve durabilitesinde mühim tesirler gösteren hususlardan birisi de karışım makinalarının randımanı ve karışım zamanıdır. Burada,

Karışımın hem derecesi ve hem de zamanı mevzubahstir. Karışımın derecesi veya diğer bir deyimle «karışımın üniformalılığı» belirli bir standart ile mukayese edildiğinde karışımın iyiliği veya tamlığını gösteren bir ölçüdür. Karışımın derecesi hem karışım makinalarını ve hem de karışım usullerini içine alır ve aynı zamanda toprağın ne dereceye kadar pülverize edilebileceğine ve rutubet miktarına bağlıdır. Karışım derecesi, zamanın da bir fonksiyonudur. Hem karışım derecesi hem de ıslak karıştırma ile sıkıştırma arasında geçen zaman toprak - çimentonun özelliklerine tesir eder.

Karışımın derecesi yapılan tecrübelerle iki şekilde ölçülmektedir. Bunlardan birincisi radyoaktif metoduyla karışım içindeki çimento konsantrasyonunun üniformalığını ölçmektir. Karışımın içine kobalt 60 ilâve edilmekte, öğütülmekte ve bir sintilasyon (scintillation) sayacı ile dağılımın üniformalitesi ölçülmektedir. İkinci ve daha pratik ve aynı zamanda ekonomik bir metod İngiltere'de tatbik edilmektedir. Burada, arazideki karışım randımanı, arazideki karışımlardan yapılan numunelerin mukavemetinin yine arazideki karışımlardan sonra lâboratuvarda bir daha karıştırılarak yapılan numunelerin mukavemetine bir oranı olarak değerlendirilmiştir. Bunun formüle edilmiş şekli aşağıda verilmiştir.

$$\text{Karıştırma Randımanı} = (C_f / C_r) \times 100$$

$C_f$  = Arazide karıştırılan numunelerden yapılan silindirlerin ortalama basınç mukavemeti.



$C_r$  == Araziden sonra bir de lâboratuvarda karıştırılan numunelerden yapılan silindirlerin ortalama basınç mukavemeti

Bu verim % 60 - 80 arasında değişmektedir. Yani, lâboratuvarda yeniden karıştırılarak yapılan numunenin mbasınç mukavemeti 30 Kg/cm<sup>2</sup> olacaktır. Tecrübeler göstermiştir ki,

karıştırma randımanı düştükçe çimento ihtiyacı artmaktadır. Rutubetli karışımın müddetini arttırmak, veya rutubetli karışımdan sonra sıkıştırma işlemini geciktirmek, genel olarak optimum rutubeti yükseltir, azamî yoğunluğu düşürür, basınç mukavemetini azaltır ve ıslatma - kurutma ve donma - eritme tecrübesi kaybını arttırır. Bu tesirler, toprağın cinsine, karışımın süresine veya geç kalınmasına ve çimento miktarına bağlı olarak değişir. (Ciason, 1964 s.51)

### **7.2.5 Sıkıştırma**

Toprak - çimento karışımından iyi bir netice alabilmek için sıkıştırmaya gereken önemin verilmesi şarttır. Lâboratuvar kuru yoğunluğun 1 Lb/ft<sup>3</sup> lük bir azalmanın basınç mukavemetinde 1-3 kg/cm<sup>2</sup> bir azalmaya ve donma - eritme ve ıslatma - kurutma tecrübelerinde daha fazla kayıplara sebebiyet verdiği tecrübelerle sabit olmuştur.

Bu konuda bir hayli çalışmalar yapmış olan Stanton Hweem ve Beatty'nin aldıkları neticelere göre nisbî yoğunluktakiki %' 5 lik bir azalma, çimento miktarında % 10 - 15 lik bir azalmadan daha fazla bir mukavemet düşüklüğüne sebep olmaktadır. Meselâ, çimento miktarının % 10' dan % 8.5 e düşmesi halindeki gibi. Yine lâboratuvar neticeleri siltli kil cinsinden bir toprakla yapılan aynı çimento miktarı ve aynı sıkıştırma derecesinde, fakat ayrı rutubet miktarlarında hazırlanan numunelerden en yüksek basınç mukavemeti, rutubeti optimum rutubete en yakın olanında elde edilmiştir.

### **7.2.6 Kür Süresi ve Yaşı**

Toprak - çimento karışımının basınç mukavemeti aynı betondaki gibi yaşı ile artar. Sertleşme süratini toprağın cinsinin tesir ettiği düşünülmekte ise de, henüz kesin bir malûmat mevcut değildir. Pratikte toprak - çimento karışımı, silindirajdan sonra ilk kuvvet kazanma müddetince sathının kurummasını önlemek için kür'e tabi tutulur. Kür'ün şekli, meydana getirilen tabakanın kalitesine tesir edebilir. Normal olarak rutubetli bir atmosfer arzu edilir. Bununla beraber, satıhta çok ince ve sert bir kabuğun teşkili her zaman önlemez. Bazı

hallerde bu kabuk üzerinde de çatlamlar ve bozulmalar meydana gelebilir. Kür yapmak maksadı ile toprak - çimento sathına tatbik edilen bitümlü malzeme de bazı hallerde sath bozukluklarına sebebiyet verebilir. Bunun sebebi, bir miktar bitümlü bağlayıcının sathıtan içeriye penetre (nüfuz) etmesi neticesi o bölgedeki çimentonun tam olarak hidrasyon olmamasındandır. Toprak - çimento'nun kurumması sathta ince büzülme çatlaklarına sebep olur. Fakat bunlar pek zararlı değildir.

İngilterede yapılan araştırmalar havanın sıcaklık derecesinin de toprak - çimento mukavemetlerine tesir ettiğini göstermiş ve aşağıdaki neticeler alınmıştır.

a) Sıcaklık derecesi 25 C° civarında olduğunda/, 7 günlük basınç mukavemeti her bir derece yükseliş için % 2 - 2.5 artmaktadır.

b) Toprak - çimento karışımları sıcaklık 0 C° in üstünde olduğu müddetçe soğuk havalarda da sertleşmektedir.

c) Çimento miktarının tayininde basınç mukavemeti bir kriter olarak kabul edilirse, sıcak havalarda soğuk havaya nisbetle daha az çimento kullanılır.

d) Elde olmayan bu sıcaklık değişimleri sebebiyle, sıcak havalarda inşa edilen toprak - çimento karışımları soğuk havalarda inşa edilenden % 50 - 100 daha sağlam olmalıdır. Bu hal bilhassa inşaatın ilk 3 ayında kendini belli etmelidir.

### 7.3 Çimento Karışımları İçin Laboratuvar Deneyleri

Toprak çimento karışımlarının uygunluk derecesini ve ilâvesi gereken çimento miktarının tayini için esas olarak aşağıdaki deneyler yapılır:

1. Toprak sınıflandırma deneyleri
2. Kompaksiyon (standard proktor) deneyi.
3. Basınç mukavemeti deneyi.

(Özel bir durum arzeden mevkiiler için ilâveten aşağıdakiler de yapılır.)

4. Donma - eritme ve ıslatma - kurutma deneyleri
5. Toprakta organik madde tayini deneyi

## 6. Toprakta sülfat miktarı tayini deneyi

İlave edilecek % çimento tayininde en başta gelen tecrübe, basınç mukavemeti deneyidir. Normal olarak su absorpsiyonu, permeabilite (geçirgenlik) ve büzülme gibi deneylere gerek yoktur. Buna sebep de, basınç mukavemeti deneyleriyle iyi kalitede bir karışım olduğu anlaşılan toprak - çimento karışımının çok az su emme hassasiyetinde ve nisbeten de geçirimsiz olmasıdır.

Deney	Amaç
1.Sınıflandırma	Stabilizasyona uygun olmayan topraktan ayırt etmek ve bundan sonraki tecrübelerle tabii tutulması lâzım gelen ve en uygun olanını seçmek.
2.Kompaksiyon	a) Arazideki sıkıştırma için uygun rutubet miktarını tayin etmek b) Arazide elde edilmesi lâzım gelen asgari kuru kesafeti tayin etmek. c) Basınç mukavemeti numunelerini hazırlamak için uygun rutubet miktarını tayin etmek.
3.Basınç mukavemeti	a) Toprağın stabilizasyona uygunluk derecesini tayin etmek b) İnşaatla kullanılacak olan çimento miktarını tayin etmek. c) Arazi işlerinin kalitesini kontrol etmek için bir standart temin etmek.
4.Donma – Eritme ve Islatma – Kurutma	a) Şartname hudutlarına yakın kritik evsafda toprakların stabilizasyon için uygunluk derecesini tayin etmek, b) Bilhassa sert iklimli bölgelerde yapılan stabilizasyonun uygunluk derecesini tayin etmek.
5.Toprakta organik madde ve sülfat tayini	Organik madde ve sülfat miktarının fazla olmasından şüphelenilen topraklara sahip bölgelerde bu toprakların stabilizasyon için ilk seçimlerine yardım etmek.

### **7.3.1 Sınıflandırma Deneyi**

Toprağın elek analizi, likit limit ve plâstik limit tecrübeleri bu isim altında gruplandırılır. Bu tecrübeler neticesinde bundan sonraki tecrübeler tabi tutulması uygun olan topraklar seçilebilir. Likit limit ve plâstik limit tecrübeleri neticeleri, toprağın arazide ne dereceye kadar kolay karıştırılabileceği hakkında bir bilgi verir. Bu tecrübeler aynı zamanda tamamlanmış

toprak - çimento karışımının satıh yapısı hakkında da takribi bir fikir verebilir. Bundan da, satıhın trafik tesiri altın, da muhtemel aşınma mukavemeti hakkında kaba bir bilgi edinilebilir.

### **7.3.2 Kimyevî Toprak Deneyleri**

Şimdiki halde toprağın kimyevî terkinin, inşaat mühendisliği bilhassa yol mühendisliği ile alâkalı vasıflarına ne dereceye kadar tesir ettiği hakkında pek fazla bir bilgi yoksa da, bilhassa toprak stabilizasyonu işlerinde organik madde, tebeşir ve süüfat gibi maddelerin toprağın vasıflarından bazılarına tesir ettiği bilinmektedir. Bu zararlı maddelerin ne miktarda bulduklarını tayin etmek için belirli kantitatif tecrübeler yapılır. Bu tecrübeler rutin, yani hergün yapılan (likit limit, plâstik limit ve elek analizi gibi) deneyler olmayıp, toprağın kimyevi yapısının etki edici bir faktör olduğu özel durumlarda uygulanır. Kantitatif deneyler, zirai topraklar için meydana getirilen analiz metodudur.

a. Organik Madde : Topraktaki organik madde, o toprağın taşıma kapasitesini düşürmesi ve rutubet miktarı veya tatbik edilen yükteki bir değışmenin genişleme ve büzülmeye sebebiyet vermesi bakımından arzu edilmeyen bir maddedir. Tabii rutubet miktarlı % 100 - 500 gibi çok yüksek olabilir. Bu suretle mekanik stabilite çok düşer, içinde % 0.5 organik madde ihtiva eden toprakların çimento ile stabilizasyonunda organik maddenin bariz tesiri müşahede edilmiştir. Tabii toprakta bu miktar %2 - 4 'ün üstüne çıkmadıkça toprağın fizikî vasfında normal olarak bir tesiri görülemez.

Waksman, S.A. ve K.R. Stevens en sıhhatli metodun, toprağın organik karbon % sini tayin edip bunu 1.724 faktörü ile belirtmektedir. Burada kabul edilen esas, topraktaki organik maddenin vasati olarak % 58 karbon ihtiva ettiğidir. Toprağı hidrojen peroksit ilâve etmek veya yüksek hararete (700-800 C° yakmak suretiyle ağırlık kaybını tayin ederek organik madde miktarını bulmak yeterlidir. Fakat, bu iki metodun da eksik tarafları mevcuttur.

Bir toprağın organik madde miktarı daha hassas bir şekilde organik karbonun kantitatif olarak oksidasyonu ile de yapılabilir. Bu iş, yaş veya kuru oksidasyon şeklinde olabilir. İngiltere Yol Araştırma Lâboratuvarlarında önce «Schollenberger» tarafından bulunan ve sonra Walkley ve Black tarafından getirilen yaş oksidasyon metodu kullanılmaktadır. Bu metod da, toprak sıcak sülfürik asit içinde iken kromik asit ile muameleye tabi tutulur. Karbonun oksidasyonundan sonra geriye kalan kromik asit, kantitatif olarak ferrosülfat demir sülfat,  $Fe_2SO_4$ ) ile tahmin edilir. Toprak içindeki karbonatların mevcudiyeti bu metoda etki etmez. Bu metod, kömür, odun kömürü ve grafit gibi elementer karbon ile toprağın bünyesinde daima mevcut organik maddeyi ayırt edebilir. Serbest klör'ün ayrışımı ile kromik asit ile oksidize olmalarından dolayı bu tahmine klörürler telsir edebilir. Fakat bunların reaksiyonunun kantitatif oluşu, konsantrasyonların evvelce tayin edilmişse bir düzeltme yapılmasına imkân verir.

Organik madde miktarı tayini için en hassas metod, kuru yakma metodudur. Burada toprak numunesi takriben  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$  a kadar ısıtılır ve organik karbon bir kurutulmuş ve temiz hava veya oksijen huzmesi ile oksidize edilir. Bu arada karbon dioksit meydana gelir ve bu da uygun bir emici, «meselâ sudlu kireç» ile emilir ve tartılır. Toprakta çıkan karbonun ağırlığı, bu şekilde elde edilen karbon dioksit'in ağırlığından hesaplanır. Bu metotta, karbonatlar bazı güçlükler doğurabilir, çünkü, yüksek hararet derecelerinde  $CO_2$  dağılır. Bundan dolayı tebeşirli topraklardaki anorganik karbon, sülfürik asit ile muamele edilerek veya ayrı bir şekilde tayin edilerek çıkarılmalı ve uygun bir düzeltme yapılmalıdır. Buna ilâveten, kuru yakma metodu elementer karbon ile toprağın bünyesindeki organik maddeyi ayırt etmez. Kuru yakma metodunun bugün bilinen dezavantajı, kullanılan malzemenin komplike ve yaş oksidasyon için lüzumlu olandan daha pahalı olması ve takriben bir saat içinde sadece bir numunenin tecrübe edilebilmesidir.

Yukarıda anlatılanlara göre, kızdırma kaybı metodu, içinde az kil veya tebeşir bulunan topraklar için en uygun metoddur. Bugün toprakların büyük bir kısmı için dikromat oksidasyon metodu en uygun metod olarak belirtilmektedir. Bu metod sür'atli bir metod olup, aynı süre içinde birkaç deney birden yapılabilir.

#### 1. Kızdırma Kaybı Metodu:

Kullanılacak malzeme :

105 - 110 C° da etüv

% 0.01 hassasiyette terazi

Takriben 30 mi. lik porselen kroze

Kava gazı, tripot, kil üçgen vs.

Deneyin Yapılışı :

Kroze kuru vaziyette 0.01 gr. hassasiyette terazide önceden tartılır ve içine takriben 5- 10 gr. fırında kurutulmuş toprak numunesinden konur. Kroze içindikilerle beraber tartılır ve burada yalnız toprak ağırlığı bulunur. Bundan sonratoprak, havagazı bekinin üzerinde kroze akkor haline gelinceye kadar yakılır. Organik maddenin tamamen kaybolması için takriben 20 - 30 dakika kızdırmakkâfidir. Kroze ve içindikiler soğutulur ve yeniden tartılır. Kızdırma kaybı neticesi ağırlık kaybı, ilk ve son ağırlığın farkıdır. Bu kayıp en yakm 0.001 hassasiyetle toprağın toplam fırında kuru ağırlığına göre % organik madde miktarı olarak kaydedilir.

Dikromat Oksidasyon Metodu :

Kullanılacak malzeme :

0.001 gr. hassasiyette terazi

Büret, pipet, erlenmeyer ve mezür

49.05 gr. tuzu (A.R. sınıfı) bir litre arı suda eritmek suretiyle yapılan N (Normal) potasyum mahlûlü.

227.00 gr. tuz'u (A.R. sınıfı) bir litre 0.5 N sülfirik asit içinde eritmek suretiyle yapılan N (normal) Fe<sub>2</sub> So<sub>4</sub> (demir sülfat) mahlûlü.

0.5 N sülfirik asit, 14 ml. konsantre asitin arı su ile 1 Lt. ye kadar' hafifletilmesiyle meydana getirilir.

Konsantre sülfirik asit % 85 lik fosforik asit

Konsantre sülfirik asit içinde % 0.5 lik difenilâmin mahlûlü.

### Deneyin Yapılışı :

Önce demir sülfat'ı dikromat solüsyonu olarak standardize etmek lâzımdır. Bunun için, tam 10 ml. dikromat solüsyonu bir tüp içinden 500 mi. lik konik bir beher içine aktarılır. Buna 20 ml. konsantre sülfirik asit ilâve edilir. Karışım çalkalanır ve birkaç dakika soğumaya terk edilir. Bundan sonra 200 ml. arı su, arkasından 10 ml. fosforik asit ve 1 ml. difenilâmin ilâve edilir. Karışım yine çalkalanır. İkinci bir tüp yardımı ile demir sülfat 0.5 ml. lik ilâvelerle eriyiğin rengi maviden yeşile dönünceye kadar aktarılır. Bundan sonra, 0.5 ml. lik potasyum dikromat ilâve edilir ki buda, eriyiğin rengini yeniden maviye döndürür. İlâve edilen demir sülfat mahlulünün toplam hacmi en yakın 0.05 mi. ye kadar kaydedilir. Bu hacme «x» denilirse, 1 ml. demir sülfatı eriyiği  $10.5/x$  ml. potasyum dikromat solüsyonuna eşittir.

Organik madde miktarının tahmini ve tesbiti için fırında kurutulmuş az miktarda (W ağırlığı) toprak numunesi en yakın 1 mg. a kadar tartılır. Numune miktarı içindeki organik madde miktarı ile değişebilir. Meselâ, içinde organik madde miktarı az olan bir alt yapı toprağı (taban toprağı) için 5 gr. ve bataklık toprağı için 0.2 gr. kâfidir. Birkaç tecrübe yaptıktan sonra, edinilen bilgi, alınması lâzım gelen takribi, numune miktarının tesbitine yardımcı olabilir. Haklarında az; bilgiye sahip olunan topraklar için değişik mi'ktarlarda numuneler alınır ve toplam olarak 5 - 8 ml. eksilmiş solüsyon veren tayin, doğru neticeyi veren tayin, olarak kabul edilir.

Tartılan numune 500 ml. lik konik behere aktarılır ve tam 10 ml. potasyum-dikromat solüsyonu birinci tüpten, 20 ml. konsantre sülfirik asit ikinci tüpten dökülür. Asitle suyun karşılaşmasında ısı açığa çıkar. Bu ısı, oksidasyon reaksiyonunu hızlandırır. Bu reaksiyon, organik maddenin dikromat ile reaksiyonudur. Reaksiyonun tamamlanması için karışım iyice çalkalanır ve 30 dakika kadar bir müddet tahta veya asbestos gibi ısı geçirmeyen bir yüz üzerinde bekletilir. Bu müddet zarfında beher, soğuk hava ve ceryanlardan korunmalıdır.

Oksidasyondan sonra karışıma, 200 ml. arı su, sonra 10 ml. fosforik asit ve 1 ml. difenilâmin solüsyonu ilâve edilir. Yeniden çalkalanır. Bundan sonra 0.5 mi. lik ilâvelerle ve solüsyonun rengi maviden yeşile dönünceye kadar demir sülfat ilâve edilir. Renk yeşile döndükten sonra son defa 0.5 ml. lik dikromat solüsyonu ilâve edilir ki, bu defa renk yeniden maviye döner. Karışıma damla damla demir sülfatı aktarılır. Solüsyonun rengini maviden

yeşile döndüren son damlada akıtma işine son verilir. Kullanılan demir sülfatının toplam hacmi en yakın 0.05 ml. ye kadar kaydedilir. Eğer bu hacme «y» ml. denilirse, organik maddeyi oksidize etmek için kullanılan potasyum dikromatın toplam hacmi aşağıdaki formül ile bulunur:

$$V = 10.5 (1 - y/x) \quad \text{ml.}$$

Fırında kurutulmuş toprağın içindeki organik madde % si aşağıdaki formülden hesaplanır:

$$\text{Organik madde miktarı} = (0,6724V) / W \quad (\% \text{ olarak})$$

Bu hesaplamada toprağın içindeki organik maddenin ağırlık olarak % 58 karbon ihtiva ettiği ve yapılan tecrübe sırasında da bu karbonun takriben % 77 sinin oksidize olduğu kabul edilmiştir. Organik madde miktarı en yakın % 0.01 hassasiyetle toprağın fırında kurutulmuş ağırlığına göre verilir. Eğer toprak içinde klorlar mevcut ise, bulunan değerden toprağın klor miktarının 1/7 sini çıkarmak suretiyle organik madde miktarında bir düzeltme yapılır.(Ciason 1964, s.53)

#### b. Sülfatlar:

Çözülebilir tuzlar toprağa çeşitli şekillerde tesir eder. Bu tuzlar umumiyetle sülfat tuzlarıdır. En fazla da sodyum, kalsiyum ve magnezyum tuzları tesir eder. Bu tesirler iki şekilde tezahür eder :

1. Toprak - çimento karışımındaki çimentoyu tahrip
2. Kristalizasyon neticesi toprak gibi pöröz (delikli, geçirgen) malzemeleri tahrip.

Kalsiyum sülfat toprakta tabii olarak bilhassa killerde kristalleşmiş alçı halinde bulunur. Çimento ihtiva eden maddelere zararı, çimento içindeki alüminat bileşimleri ile sülfat arasındaki reaksiyon neticesi kalsiyum sulfo aluminatın meydana gelmesinden olduğu zannedilmektedir. Bu bileşim çok yüksek hidratasyonlu olup içinde 31 molekül hidratasyon suyu vardır. Kalsiyum sülfat alüminatların meydana gelmesinden sonra meydana gelen genişleme sebebi ile çimento ihtiva eden malzemedeki iç gerilemeler, çimentolaşmış bünyenin tahribi ile neticelenir. Bazı çözülebilir tuzların basit kristalleşmesinin de pöröz maddeler üzerinde tahrip etkisi vardır. Bu, en çok kuru iklim bölgelerinde önemlidir ki,



burada toprağın içindeki rutubetin hissedilir bir derecede satha çıkma eğilimi mevcuttur. Sodyum sülfat çözülmüş tuzlar rutubetle beraber yer değiştirerek satha çıkar. Satıha çıkan bu tuzun kristalleşmesi neticesi toprak yapısı bozulur ve satıhta tuz kabarcıkları (salt boils) meydana gelir.(Şekil 20)



Şekil 20 Satıhtaki tuz kabarcıkları

### 7.3.3 Kompaksiyon (Standart Proktor) Deneyi

Kompaksiyon deneyi hem tabii toprak ve hem de toprak - çimento karışımları üzerinde yapılır. Neticeler, uygun miktarda çimento ilâve edilmiş toprak - çimento karışımının standart sıkıştırma değerini ve optimum rutubetini tayin eder. Tecrübe standart Proktor yoğunluğunda yapılır. Bu deney neticesinde elde edilen optimum rutubet ve maksimum yoğunluk, uygun çimento % sini bulmak için bundan sonra hazırlanacak basınç mukavemeti, ıslatma - kurutma ve donma - eritme numunelerinin hazırlanmasında kullanılır.

Amerika Portland Çimento Birliği (Portland Cement Association), AASHO ve ASTM metodlarında 10 senelik bir çalışma ve tecrübe devresinden sonra bazı değişiklikler yapmıştır. Bu değişmelerin esası, arazideki toprak durumlarına daha iyi bir şekilde uyabilecek usul ve tecrübelerin uygulanmasıdır. Bu değişmeler aşağıda gruplandırılmıştır.

a. Toprak - çimento karışımlarının standart proktor metodu ile basınç mukavemeti ve rutubet - yoğunluk ilişkisinin etkisi için numuneler hazırlanırken, deneyin, numunenin toprak kısmı

yani yalnız 4 No.lu eleği geçen, kısmı üzerinde değil, malzeme içinde iri kısımlar da mevcut ise deney numunesine bu iri kısmın da ithali ile yapılması. Bunun için, numune 3/4" elekten elenir, tecrübe bu elenmiş kısım üzerinde yapılır. Şayet, numunede 3/4" ten daha iri malzeme mevcut ise, bu malzeme tartılır ve yerine aynı ağırlıkta 3/4" - 4 No elekler arasında kalan kısımdan ilâve edilir. Bu arada 4 No.lu elek üzerinde kalan kısmın rutubet miktarı da hesaplamalara girer.

b. 4 No.lu elek üzerinde kalan ve 3/4" eleği geçen kısım daima doygun yüzey kuru durumunda tutulur.

Bu iki esas belki de neticelerde çok az bir fark yapacaktır. Çünkü, bilindiği gibi toprak - çimento stabilizasyonunda çimentonun esas tesiri toprağın ince kısmı üzerindedir. Yine yapılan birçok tecrübeler, toprak içinde 4 No.lu elekten daha iri parçaların miktarı % 50 yi geçmedikçe, toprak - çimento basınç mukavemetlerinde hemen hemen hiç bir değişme görülmez. Ancak bu miktar % 50 yi geçerse, çimento miktarının tayin edilmesinde bu kaba kısım da göz önünde tutulur. Fakat, şunu da unutmamak lâzımdır ki, içinde kaba kısım miktarı, yani 4 No.lu elek üzerinde kalan miktar, % 50yi geçen malzemeler hiç bir zaman ekonomik olarak stabilizasyona tabi tutulamazlar. Bundan, bu gibi malzemelerin çimento ile stabilize edilemeyeceği manası çıkarılmamalıdır. Tabii ki bunların da mukavemet ve taşıma kapasitelerinde bir artış olacaktır. Fakat, istenilen ve şart koşulan asgarî mukavemetin elde edilmesi için ekonomik hudutların dışına çıkan bir çimento miktarı ile karşılaşılacaktır. Bu da, stabilizasyon işini mühendislik kaidelerinin dışına çıkarır ve fuzuli para sarfiyatına sebep olur.

Bu değişiklikler ASTM metodlarına geçici olarak girmiştir. Netice olarak lâboratuvarda rutubet - yoğunluk ilişkilerinin tayini ve basınç mukavemetleri için silindirlerin hazırlanmasında 4 No.lu elek üzerinde kalan kısmın nazarı itibare alınması veya alınmaması hiç bir şeyi değiştirmez. Toprak - çimento stabilizasyonu mevzuunda lâboratuvar tecrübelerini asgarî bir hadde indirmek ve çoğunlukla kabul edilmiş prensiplere sadık kalmak en doğru ve ekonomik bir hal çaresidir.

Netice olarak bu husus şu şekilde özetlenebilir:

1. Toprak - çimento karışımlarının rutubet - yoğunluk ilişkisi daima 4 No.lu eleği geçen kısım üzerinde tayin edilir.

2. Basınç mukavemeti için hazırlanan silindirler, 4 No.lu eleği geçen kısım kullanılarak hazırlanır. 4 No.lu elek üzerinde kalan kısım nazarı itibara alınmaz.
3. Tecrübeler ve hazırlanan numuneler Standart Proctor metoduna göre tecrübeye tabi tutulur.
4. İlâve edilecek çimento miktarı numunenin fırında kurutulmuş ağırlığına göre hesaplanır.
5. Tecrübe «Standard şartname ve numune alma metodları», ve Karayolları yayınları No.59, kitabındaki esaslar dahilinde yapılır.(Ciason 1964, s.

#### **7.3.4 Basınç Mukavemeti Deneyi**

Deney, standart proctor kalıbında sıkıştırılmış toprak - çimento numuneleri üzerinde yapılır. Numuneler arzu edilen optimum rutubette ve yoğunlukta sıkıştırılmıştır. Numuneler 4, 7, ve 28 günlük mukevemetlerini ölçmek için bu müddetler zarfında rutubetli odada bekletilir.

Basınç mukavemeti tecrübesine istinat ederek tayin edilecek lüzumlu çimento miktarı, basınç mukavemetlerinin mukayesesini icap ettirir. Daha öncede de belirtildiği gibi, uygun çimento miktarı ekonomik bir değer olup, çimento miktarı arttıkça basınç mukavemeti, de artar. Tazyik makinası bir dakikada 0.05" (1.27 mm.) lik bir sür'atle tazyik yapmalıdır.

Basınç mukavemeti tecrübesinin yapılışı sırasında toprak - çimento numuneleri içindeki rutubetin büyük etkisi vardır. Bu, yapılan birçok tecrübelerle sabittir. Meselâ, içinde %3 - 10 çimento ihtiva eden A - I - b sınıfı bir toprağın kuru vaziyetteki mukavemeti, yaş vaziyettekinin % 180 ine varmıştır. Aynı şekilde A - 6 sınıfı bir toprakta kuru mukavemetler, yaş mukavemetlerin % 245 ine çıkmıştır. Kısaca şöyle denilebilir ki, toprak-çimento karışımlarının basınç mukavemeti tecrübesinde kuru bir vaziyette kırılması, hem toprağın kohezyon kuvvetini ve hem de çimentonun bağlama hassası kuvvejtini içine alır. Halbuki tabiatta temel tabakası olarak vazife görececek olan toprak - çimento karışımı rutubetli bir durumdadır. Bu vaziyete göre, şayet hakikate daha yakın değerler elde edilmek istenirse, basınç mukavemeti deneyi rutubetli halde yapılmalıdır.

Basınç mukavemeti deneyi için hazırlanacak numuneler 4 Nolu elekten elendikten sonra bu eleğin altına geçen kısım, standart proktor kalıbında optimum rutubette sıkıştırılır. Amerikan Portland Çimento Birliği, optimum rutubetin hesaplanmasında, kaba malzemenin absorpsiyonu, çimentonun hidrasyonu ve tecrübe sırasındaki evaporasyonu (tebahurat) göz

önünde tutarak her biri için meydana gelecek su kaybını hesaplamaktadır. Bu suretle verilecek su miktarı optimum rutubetin üstünde olmaktadır. Amerikada toprak - çimento stabilizasyonu işlerinde senelerdir tecrübe sahibi olan birçok Eyaletler ve İngiltere Yol Araştırma Lâboratuvarlarında yapılan birçok tecrübeler, çimentonun hidratasyonu için ayrıyeten bir su ilâvesine lüzum olmadığını belirtmiştir. Bunun için memleketimizde bu işin doğruluğunu tahkik için yeniden araştırmalar yapmak vakit kaybına sebep olmaktan ileri gitmez. Bugün artık araştırmalar toprak - çimento karışımının sertleşmesinde büyük rolü olan çimento ile toprak taneleri arasında bir baz yerdeğiştirmesi (base exchange) hadisesinin mevcudiyeti üzerinde toplanmaktadır. Bu arada toprak içindeki sodyum, potasyum ve alüminyum gibi elemanların topraktaki % miktarlarına göre sertleşmeye ne derece tesir ettiği araştırılmaktadır. İşte bu deneyler için numuneler hazırlanırken kazara birkaç numuneye optimum rutubetten bir miktar daha fazla su verilmiş ve neticede bu numunelerin basınç mukavemetlerinde büyük bir fark olmamakla beraber, donma - eritme ve ıslatma - kurutma numunelerinin % kayıplarında bariz azalmalar gözlemlenmiştir. Neticede, toprak - çimento karışımları için optimum rutubetten ayrı olarak birde «çalışma optimum» ismi altında bir rutubet yüzdesi tesbit edilmiştir. Yapılan birçok tecrübeler «çalışma optimum»unun standart proktor tecrübesi neticesinde bulunan optimum rutubetten % 2 fazla olması lâzım geldiğini meydana koymuştur. Yani, standard proktor tecrübesine göre optimum rutubeti %10 olan bir karışım için, basınç mukavemeti, donma - eritme ve ıslatma - kurutma numuneleri hazırlanırken kullanılacak olan «çalışma» optimum» rutubeti % 12 olacaktır.

Karayolları Araştırma Fen Heyetinde, Toprak Lâboratuvarında yapılan mukayeseli tecrübeler, Portland Çimento Birliği'nin verdiği hesap neticesi elde edilen rutubet miktarı ile % 2 fazla vererek yapılan hesap neticeleri arasında toprak - çimento karışımlarının bünyesine tesir edebilecek derecede büyük farkların bulunmadığını meydana çıkarmıştır. Netice olarak, numunelerin hazırlanmasında optimum rutubetin daima % 2 fazlasını kabul etmek hiçbir zaman hatalı bir hareket tarzı olmayıp bilâkis uzun hesaplamalara meydan vermediği için daha uygun bir hesap tarzıdır.

Portland Çimento Birliği'nin yayımladığı lâboratuvar el kitabında basınç mukavemeti silindirlerinin 2, 7 ve 28 günlük mukavemetinin alınması lâzım geldiği belirtilmektedir. Ne bu kitapta ve ne de diğer neşriyatlarında yapılacak olan stabilizasyon tabakasının kaç cm. kalınlıkta olması lâzım geldiğine dair kaplama kalınlığı metodundan bahsedilmektedir. Diğer

Amerikan menşeli kitaplar bu kaplama kalınlığının hem lâboratuvar kolaylığı ve hem de arazi kontrolünün uygunluğu bakımından CBR (Kaliforniya Taşıma Oranı) metodu ile en iyi bir şekilde tayin edilebileceğini belirtmiştir. Lâboratuvarda hazırlanacak basınç mukavemeti silindirlerine verilen sıkıştırma gücünde eşit bir güçte CBR kalıplarında sıkıştırılan numuneler arasında bir münasebet tesisi bakımından ve aynı zamanda kaplama kalınlıklarının 4 gün su içinde bekletilmiş (soaked) CBR değerine göre verilmesinden dolayı, basınç mukavemeti değerlerinin 2 gün yerine 4 günlük olması daha uygundur. Bu suretle basınç mukavemeti tecrübesi toprak - çimento numunelerinin 4, 7 ve 28 günlük olduklarında yapılır.

### **7.3.5 Donma - Eritme ve Islatma - Kurutma Tecrübeleri**

Deneyle «çalışma optimum»unda sıkıştırılmış toprak - çimento numunelöri üzerinde yapılır. Her bir çimento % si için iki numune hazırlanır. Numunelerden bir tanesi seri ıslatma - kurutma tecrübelerine, ikincisi de bir seri donma - eritme tecrübelerine tabi tutulur. Bir seri deneyden maksat aynı tecrübenin o numune üzerinde birkaç defa tekrarlanmasıdır. Toprak - çimento karışımları için bir seri tecrübe, aynı tecrübenin o numune üzerinde 12 defa tekrarını içerir. Her bir tekrara bir devre denir. Numuneler, tecrübeye başlamadan evvel rutubetli odada 7 gün müddetle bekletilir.

Basınç mukavemeti tecrübesinde olduğu gibi, çimento % si arttıkça toprak - çimento karışımının ıslatma - kurutma ve donma - eritme kaybı azalır. Deneyle Karayolları Yayınları No. 59 Standard Şartname, Numune alma ve Tecrübe Metodaları» adlı kitapta, «Toprak - çimento karışımlarının ıslatma - kurutma ve donma - eritme tecrübeleri için Standart Metod» başlığı altında izah edildiği şekilde yapılır. Fırçalama deneylerinden elde edilen neticeler, deneyi yapan şahsın alışkanlığına bağlıdır. Numunenin bütün yüzüne, yani hem kenarlara ve hem de alt ve üst kısımlarına, takriben 1.5 Kg. lık bir kuvvet veya tazyik ile iki kuvvetli fırça tatbiki şarttır. Fırça daima dik tutulur ve numunenin bütün yüksekliğince uygulanır. Deneyle devamı sırasında araya pazar ve tatil günleri girmesi devrelerin devamlı olmasına mani olur. Böyle durumlarda ıslatma - kurutma tecrübeleri numuneleri tatil boyunca fırında donma - eritme numuneleri ise buz dolabında bekletilir. Islatma - kurutma ve donma - eritme kayıplarının hesaplanması sırasında numunenin 12 devre sonunda kuru ağırlığını tesbit etmek lâzımdır. Bunun için numuneler deneyin bitiminde sabit ağırlığa gelene kadar 110 C° da etüvde bekletilir. Fakat bu bekletme süresince numune içindeki çimentonun hidrasyon suyu

bu 110 C° da çıkmaz. Bu uçmayan rutubet için bir düzelme yapmak lüzumludur. Numunenin bu düzeltmeyi ihtiva eden sabit ağırlığını hesaplamak için aşağıdaki formülden yararlanılır:

Düzeltilmiş fırında kurutulmuş ağırlık = (110 C° da kurutulmuş numunenin ağırlığı) / (Numune içindeki hidrasyon suyu % si + 100) x 100

Çeşitli cins topraklar için, 110 C° da kurutulmuş numunelerin içinde bulunan yaklaşık hidrasyon suyu % leri aşağıdadır:

Toprağın sınıfı	110 C° da çıkarılamayan hidrasyon suyu (%)
A—1, A—3	1.5 +
A—22.5	2.5 +
A—4, A—5	3.0 +
A—6, A—7	3.5 +

Numunenin donma - eritme veya ıslatma - kurutma zayıyatı bu düzeltmeden sonra aşağıdaki formülden hesaplanır:

% Toprak - çimento kaybı ==

(İlk Kuru Ağırlık — Düzeltilmiş son kuru ağırlık) / (ilk Kuru Ağırlık) X 100

Deney devamınca ıslatma - kurutma kayıplarının hesaplanması: Islatma - kurutma kaybının tecrübenin devamınca hesaplanması iki halde arzu edilir :

- Verilen bir çimento yüzdesinde o numunenin tecrübe devamınca kayıp nisbetinin arzu edildiği, dolayısıyla kümülatif kayıp % si ile sıkl'lar arasında bir ilişki kurulmak istendiği halde.
- Tecrübeler nihayete ermeden evvel gerekli çimento miktarında bir değişiklik yapılmasının zarurî olup olmadığını tesbit etmek için.

Bu maksatlar için, kurutma devresi biten ve fırçalanan numune tartılır. Bu ağırlık, numune içindeki hidrasyon suyunun ağırlığı sebebiyle düzeltilir. Yalnız bu düzeltme yapılırken

bundan evvel verilen hidratasyon suyu % lerine % 0.3 miktarında bir ilâve yapmak gereklidir. Bunun sebebi de, 71 C° de 'kurutulan numunenin içindeki hidratasyon suyu 110 C° de kurutulandakinden biraz daha fazladır % kayıp yukarıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir.

Deney devamınca donma - eritme kayıplarının hesaplanması: Burada da aynı ıslatma - kurutma kayıplarının hesaplanmasındaki maksatlar güdülür. Yalnız hesap şekli biraz farklıdır. Numunenin yaklaşık kuru ağırlığını hesaplamak için içindeki rutubetin bilinmesi lâzımdır. Fırçalama esnasında bir rutubet numunesi alınmadığından bu rutubet için bir kabul yapmak gerekir. Bu kabul numunenin sıkıştırılma rutubetine bağlıdır. Bugüne kadar yapılan deneyler, numunelerin tecrübe esnasında sıkıştırılma rutubetlerinden biraz daha fazla rutubet ihtiva ettiklerini göstermiştir. Aşağıda takribi olarak bu fazla rutubetin miktarları verilmiştir. Bu değerler tam doğru olmamakla beraber daima emin taraftadır.

a) Optimum rutubet miktarı % 10 dan az olan numuneler için, sıkıştırılma anındaki rutubet kullanılır.

b) Optimum rutubeti % 10 - 15 arasında olan numuneler için, sıkıştırılma rutubetine 1.5 ilâve edilir. Meselâ, optimum rutubeti 12 ise kuru ağırlığı bulmak için, yaş ağırlık,  $100 + 13.5$  e bölünür ve 100 ile çarpılır.

c) Optimum rutubeti % 15 - 20 arasında olan numuneler için sıkıştırılma rutubetine 2.5 ilâve edilir.

d) Optimum rutubeti % 20 den fazla olan numuneler için, sıkıştırılma rutubetine 3.0 ilâve edilir.

Kuru ağırlıklar hesaplandıktan sonra, % kayıp formülünden istifade edilerek toprak - çimentonun % donma - eritme kaybı hesaplanır. Şu hiç bir zaman unutulmamalıdır ki, lâboratuvarda yapılan donma - eritme ve ıslatma - kurutma işlemleri hakikatte bir kaplamada gerçekleşmez. Daha yakın değerler elde etmek için toprak - çimento karışımında resonant frekans veya titreşim sür'atini ölçecek yeni metodlar bulunmuştur. Bu suretle karışımın suya ve dona karşı mukavemeti ölçülmektedir. Bu deneylere paralel olarak, aynı şekilde sıkıştırılmış bir numunenin de şişme tecrübesi yapılır. Genel olarak, basınç mukavemeti yüksek olan toprak - çimento karışımlarının ıslatma - kurutma ve donma - eritme kayıpları şart limitinin altında olur. Buna rağmen, bu şartın dışında kalan durumlar da müşahede

edilmiştir. Bilhassa çok killi topraklarda böyle haller zuhur edebilir. Tablo 12 de, muhtelif cins topraklar için basınç mukavemeti, ıslatma ve donma - eritme kayıpları şart limitleri gösterilmiştir.

Tablo 11 çeşitli cins topraklar için basınç mukavemeti, ıslatma ve donma - eritme kayıpları(Ciason 1964 s. 65)

Toprağın Cinsi	A-2, A-3 Çakıllı veya Kumlu Topraklar	A-4, A-5 Siltli Topraklar	A-6,bazı A-7 Killi Topraklar	A-6 bazı A-7, A-8 Bataklık veya fazla organik topraklar
Çimentonun Tesiri	Çok yüksek sertleşme gösterir	Yüksek sertleşme gösterir	Hafif sertleşme gösterir	Stabilizasyona uygun değil
Asgari basınç mukavemeti	17,5 Kg/cm <sup>2</sup>	17,5 Kg/cm <sup>2</sup>		-----
Donma-eritme ve Islatma-Kurutma azami kayıp	% 14	% 10	% 7	-----
Normal Çimento Miktarı	% 6 - 10	%8 - 12	% 10 - 14	-----

#### 7.4 Arazi Kontrol Deneyleri

Toprak - çimento karışımının arazide kalitesini kontrol için yapılması gerekli olan arazi deneyleri sırasıyla:

Taban toprağının ve toprak çimento karışımının rutubetinin tayini.

Basınç mukavemeti deneyi

Toprak - çimento karışımının sıkıştırıldıktan sonraki yoğunluğu.

Toprak - çimento karışımının çimento miktarının tayinidir.



#### **7.4.1 Rutubet Miktarının Tayini**

Arazide rutubet miktarı birkaç şekilde tayin edilebilir. Bunlardan birincisi, yaş toprağın içine ispirto dökmek ve aşağı yukarı sabit bir ağırlığa gelene kadar yakmak ve bu suretle kurutmak. Bu metod çok seri bir metod olmakla beraber, toprak içinde mevcut organik maddelerin yanması neticesi yüksek rutubet miktarı değerleri verir. Toprak ispirto ile yakılırken bir spatula ile daimi olarak karıştırılır.

İkinci bir metod 5-6 seneden beri memleketimizde kullanılmakta olan arazi fırınlarından istifade etmektir. Bu fırınlar benzin ile çalışır ve çok da kullanışlıdır. Burada numune bir rutubet kutusunda dahi kurutulabilir. Organik maddeler doğrudan doğruya alev ile temasta olmadıklarından bu metodun doğruluk derecesi daha yüksektir. Yalnız, numunelerin sabit ağırlığa gelip gelmediklerinin kontrolü için birkaç defa tartma ve yeniden ısıtma lüzumludur. Ancak bu şekilde yapılacak hatalar daha az olur. Alt Yapı toprağının rutubetinin tayini, bu rutubetin optimum rutubete olan yakınlığını gösterir ve optimum rutubete getirmek için daha ne kadar su ilâve edilmesi lâzım geleceği buradan hesaplanabilir. Bundan sonra toprağa çimento ilâve edildiğinde ve su ile karıştırıldığında karışımın optimum rutubette olup olmadığı yine rutubet miktarının tayini ile kontrol edilir. Bu suretle rutubetin mühim miktarda tesir ettiği toprak - çimento karışımının kalitesi de daima kontrol altında tutulmuş olur.

#### **7.4.2 Basınç Mukavemeti Deneyi**

Arazide yapılan karışımın basınç mukavemetinin tayini önemli tecrübelerden biridir. Yapılan işin kalitesinin kontrolü bakımından, arazide alınan numuneler 4 veya 7 gün müddetle kür'e tabi tutulduktan sonra kırılırlar. Alman neticeler bundan evvel lâboratuvarda yapılan karışımlardan elde edilen mukavemetlerle karşılaştırılır, ve arazide yapılan karışımın randımanı da bu suretle hesaplanmış olur. İçinde 4 No.lu elek üzerinde malzeme kalan toprak - çimento karışımlarından alınan numuneler yine 4 No.lu elekten elenir ve bundan sonra aynı sıkıştırma gücünde standart proctor kalıbında sıkıştırılır. Numune arazide silindiraja başlamadan hemen evvel alınır.

#### **7.4.3 Toprak - Çimento Karışımının Arazi Yoğunluğu**

Bu tecrübe sıkıştırılan tabakada bir el burgusu yardımıyla tabakanın bütün derinliğince bir çukur açmak, içinden çıkan toprak - çimento karışımını malzemeyi hiç zayi etmeden tartmak bu

malzemenin hacmini bulmak için açılan çukurun içine yoğunluğu önceden tayin edilmiş standart kum dökmek işini içerir. Deneyin şimdiye kadar yapılan arazi yoğunluk deneyinden hiçbir farkı yoktur. Deneyin yapılışı yol inşaat malzemesine ait standart şartname, numune alma ve tecrübe metodları adlı kitapta teferruatıyla anlatılmıştır. Çukurdan çıkan malzemenin veya çukurun hacmini ölçmek için yağ da kullanılabilir.

Bu tecrübenin yapılışında kum ve yağdan ayrı olarak kapasitesi belli bir şişe içerisinde muhafaza edilen ve çukurun içine bir balon vasıtasıyla tazyikle verilen su da kullanılabilir. Burada hususi bir cihaz kullanılır ve bu şekilde yapılan deneye «balonla yoğunluk tayini deneyi» adı verilir. Arazide kuru yoğunluk tayini gerekli sıkışmanın temin edilip edilmediğini göstermekle beraber yapılan stabilizasyon tabakasının derinliğinin de kontrolünü sağlar.

#### **7.4.4 Çimento Miktarının Tayini**

Toprak - çimento karışımlarının çimento miktarının tayini kimyevi metod ile yapılır. Burada toprak ve toprak - çimento ve çimentonun temsili numuneleri alınır ve bunlar hidroklorik asit ile muameleye tabi tutularak neticede elde edilen solüsyonun kalsiyum miktarı tayin edilir. Bu metodun tatbiki için bir şekilde teçhiz edilmiş lâboratuvara ve tecrübeli personele ihtiyaç vardır. Bu sebepten dolayı, genel arazi kontrol deneyi olmaktan ziyade bitmiş işin analizi lüzumlu olduğu hallerde yapılan bir tecrübe olarak mütâlea edilmelidir. «Yol Malzemesine Ait Standart Şartname, Numune Alma ve Tecrübe Metodları» adlı kitapta tecrübenin yapılışına ait geniş malûmat verilmiştir. (Ciason 1964, s. 59)

#### **7.5 Bakım**

Yapılan tetkikler toprak - çimento temellerde bakım masraflarının çok cüzî olduğunu göstermiştir. Bu gibi temellerin tamirleri için, bozuk kısımlar kazılıp kenarları düzeltilir ve içine 7.5 cm. lik tabakalar halinde evvelden hazırlanmış toprak - çimento karışımı konarak sıkıştırılır ve üzerine yolda mevcut kaplama cinsinden bir yama yapılır. Yapılacak yamalar, temel tabakasının bütün kalınlığını ihtiva etmeli ve uniform ve sağlam bir satıh meydana getirecek şekilde olmalıdır. İnşaat esnasında vuku bulacak herhangi bir kesimdeki kot düşüklüğü oraya ilâve malzeme sermekle telâfi edilmeyip, bütün tabaka kalınlığı sökülerek yukarıda anlatıldığı gibi yeniden kotuna getirilmelidir.

## BÖLÜM SEKİZ

### SONUÇ

Madencilik sektöründe hayati önem taşıyan nakliyat yollarının stabil ve mukavim tutulması son derece önemlidir. Bu çalışmadan da görüldüğü gibi toprak yolların kireç veya çimento ile stabilizasyonu sonucu toprağın içerisinde bulunan kilin, kireç veya çimento ile etkileşime girerek özelliğini kaybetmesine neden olmakta ve toprakta topaklanma meydana gelmemekte bu da zeminin daha sağlam olmasını sağlamaktadır. Aşağıdaki fotoğrafta da sol tarafta normal killi toprak sağ tarafta da stabilize edilmiş toprak görülmektedir. İkisi arasındaki fark gece ile gündüz kadar ayırt edilebilecek düzeydedir. Madencilikte nakliyat yollarının stabilize edilmesi sonucunda madencilik şirketleri hem sürekli bozulan yollarını tekrar tekrar yapmaktan kurtulacaklar, hem de makine ekipmanları daha az zarar görecektir, dolayısıyla şirketlerin hem maliyetleri düşecek hemde iş kaybından daha az zarar görecektir.



Şekil 21 Killi ve Stabilizasyonu yapılmış toprak

## KAYNAKLAR

Atanur, A. (1973). *Kireç stabilizasyonu ve yol yapımındaki tatbikatı*. Ankara

Bowles T.E. (1970). *Engineering properties of soils and their measurement*. McGraw-Hill, New York.

Ciason, N. (1964). *Toprak stabilizasyonu*. Ankara

Dallas, L. (1999). *Evaluation of structural properties of lime stabilized soils and aggregates*. USA

Dallas N. L. (January 5 1999). *Lime Association (soil1.pdf, soil2.pdf, soil3.pdf)*.  
www.lime.org

Department of the Army, The Navy, and The Air Forces. (1994). *Soil stabilization for pavements*. Washington DC

Howard, L. (1992). Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. *SME mining engineering handbook*,. Littleton, Colorado

Kenneth, R.R,& Meyers M.G. (1981). *Soil stabilization materials and methods*. Washington, USA

KYGM. (2005). *Ankara Bala ayrımı-Kulu ayrımı bölünmüş yolu kireç stabilizasyonu uygulaması*. Ankara

National Lime Association. (1991). *Lime stabilization construction manual*. Anonim

Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Üstyapı Şubesi Müdürlüğü. (2005). *Kireç stabilizasyonu teknik şartnamesi*. Ankara

Ülker, Ş.(2005). *Karayolu Altyapısında zeminlerin kireçle iyileştirilmesi*. Ankara