

# **KİREÇ İLE ZEMİN STABİLİZASYONU**

**Aydın Kavak<sup>1</sup>, Ahmet Gürkan Güngör<sup>2</sup>, Cihat Avsar<sup>3</sup>, Birgül Atbaş<sup>4</sup>**

Özet  
Abstract

**Anahtar Kelimeler:** Kireç stabilizasyonu, plaka yükleme, CBR

<sup>1</sup> Yard. Doç. Dr., Kocaeli Üniversitesi, aydinkavak@yahoo.com

<sup>2</sup> Üstyapı Şube Md., Karayolları Genel Müdürlüğü, agungor@kgm.gov.tr

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

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

## 1. Tanım

Bu **kısım** yol altyapısını oluşturan taban zemini, dolgu malzemesi kriterlerini sağlamayan veya Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) değeri düşük, şişme potansiyeli yüksek, dolgu tabanı, dolgu malzemesi (ariyet, yarma) veya üstyapı tabanı malzemelerinin kullanılabilirlik özelliklerini artırmak, ayrıca alttemel kriterlerine yakın özellikler taşıyan malzemelerin alttemel olarak kullanılabilmesi amacıyla, bu malzemelere belli fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip toz halinde sönmüş veya sönmemiş veya sıvı halde kireç sütü şeklinde sönmüş kireç katılması, karıştırılması ile yapılan iyileştirme veya stabilizasyon işlemi kapsar. İyileştirme çalışmaları dolgu tabakalarının, stabilizasyon çalışmaları ise alttemel tabakasının ve üst yapı tabanının kireçle iyileştirilmesi olarak tanımlanmaktadır.

## 2. Malzeme

### 2.1 Stabilize Edilecek-İyileştirilecek Malzemeler

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

### 2.2 Su

Toprak-su karışımı için karıştırma işlemi ideal rutubet 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. Suyun içerdiği Sülfat miktarı  $SO_3 < 200$  ppm olmalıdır.

### 2.3 Kireç

Stabilizasyon-İyileştirme işleminde kullanılacak kireç özellikleri Tablo 1'e uygun olmalıdır.

Tablo 1 Stabilizasyon-İyileştirmede Kullanılacak Kirecin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Özellik (TS EN 459-2)	Sönmemiş Kireç	Sönmüş Kireç
CO <sub>2</sub> (Kızdırma Kaybı) (, %	$\leq 7$ %	$\leq 7$ %
Toplam (CaO+MgO), %	$\geq 80$ %	$\geq 80$ %
SO <sub>3</sub> , %	$\leq 2$ %	$\leq 2$ %
MgO, %	$\leq 10$ %	$\leq 10$ %
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +SO <sub>3</sub> , %	$\leq 5$ %	$\leq 5$ %
Parçalar, mm	$\leq 2$	-
Ağırlıkça Elekte Kalan, %		0.09 mm $\leq$ % 7 0.2 mm $\leq$ % 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 sönmeme işlemi arazi koşullarında gerçekleşeceğinden iş ve işçi sağlığı açısından gerekli önlemler alınmalıdır.

## 3. Stabilizasyon- İyileştirmede Kullanılacak Makineler

Stabilize edilecek toprağın kazılması, parçalanması, su ve kireçle karıştırılması işlemi uygun ekipmanlar ile yapılmalı, homojen bir karışım elde edilebilecek şekilde ekipman seçilmelidir. Makine 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 sıkışma değerlerini sağlayacak nitelikte, keçi ayağı, lastik tekerlekli veya demir bandajlı olmalı ve titreşim uygulayabilmelidir.

Sulamada kullanılacak makinelerde su miktarını ve sulama hızını kontrol edebilen, suyun dağıtımının homojen olmasını sağlayan sistemler olmalıdır.

Kullanılan tüm makinelerin bakımı etkin ve düzenli olarak yapılmalı, işlevini yeterince yerine getiremeyen makineler süratle değiştirilmelidir.

#### **4. Toprak-Kireç Karışımının Projelendirilmesi Öncesinde Yapılması Gereken İşler**

##### **4.1. Stabilize Edilecek- İyileştirilecek Malzemedeki Numune Alınması**

İyileştirilmesi-stabilize edilmesi düşünülen toprak sınırları yapılacak arazi etütleri 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.

##### **4.2. 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.

##### **4.3. Organik Madde Miktarının Belirlenmesi**

Alınan numunelere yapılan deneylerle; (AASHTO T 194, AASHTO T 267, TS 1169) zeminde bulunan organik madde miktarı belirlenir.

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

##### **4.4. 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.

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

Metilen Mavi (MB) deneyinde 0.25 mm'lik elekten geçen 100 gr'lık toprak numunesi için MB değerinin 200 cm<sup>3</sup> metilen mavi solüsyonunda (10 g/dl) büyük olması gerekmektedir.

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

##### **5.1. Optimum Kireç Yüzdesinin Belirlenmesi İçin Yapılacak Ön Deneyler**

Stabilizasyon işleminde kullanılacak 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 hesaplanan kireç yüzdeleri ile aşağıda 4.2, 4.3, 4.4, 4.5'de belirtilen çalışmalar yapılarak en az 3 farklı kireç yüzdesi ile yapılan çalışma sonucunda teknik ve ekonomik optimizasyon ile İdare 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.

## **5.2. Stabilize Edilecek- İyileştirilecek Malzemede Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık ve Optimum Su İçeriğinin Bulunması (AASHTO T99, AASHTO T180)**

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

## **5.3. CBR ve CBR Şişme Derecesinin Belirlenmesi (AASHTO T193)**

Ortalama Kireç Yüzdesi (OKY) AASHTO T99- AASHTO T180 metoduyla sıkıştırılmış, rutubet 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  $CBR \geq 50$

Üstyapı tabanı  $CBR \geq 20$

Dolgular için  $CBR \geq 15$

(Zayıf Zemin Kriteri  $CBR < 10$  kabul edilmiştir)

Stabilize edilecek-İyileştirilecek malzeme örneklerinde şişme % si'nde 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  $20 \pm 1^\circ C$  ve Nemi  $> \% 95$  olan bir ortamda, daha sonra da minimum 4 gün ve şişmesi tamamlanmaya kadar  $20 \pm 1^\circ C$  sıcaklıktaki suda bekletilir. Laboratuvarında 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  $\% < 2,0$

## **5.4. Stabilize Edilecek-İyileştirilecek Malzemelerin Atterberg Limitleri**

Dolgularda, üst yapı tabanında ve alttemelde aranılacak kriterler aşağıda belirtildiği 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  $\% < 20$

## **5.5. Serbest Basınç ve Çekme Mukavemetleri (ASTM D 1633)**

Serbest basınç mukavemetine ( $q_u$ ) ve Çekme basıncına ( $q_c$ ) dayanıklılık durumunun belirlenmesi çalışmaları 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 düzenerle 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-İyileştirilecek tabakayı kapsadığı durumda bu konuda bir laboratuvar çalışması yapılmalıdır. Donma çözülme sıcaklıkları  $-20^\circ\text{C}$  ve  $+20^\circ\text{C}$  derecelerdir. Hazırlanmış olan serbest basınç numuneleri 7 gün külden 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.

## 6. Yapım Şartları

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.

### 6.1 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 reglaj seviyesindeki tabakalarda içerisinde bulunan, çapı 5 cm'den büyük, diğer tabakalarda ise 10 cm'den büyük taşlar temizlenecektir. Daha sonra, işlem görecektir olan toprağın doğal su içeriği belirlenir ve bulunan değer elde edilmesi planlanan karışımın optimum değerinden yüksekse, uygun bir makine yardımıyla kazılarak ve havalandırılarak suyun buharlaşması sağlanır.

### 6.2. Kirecin Taşınması ve Depolanması

Stabilizasyon işleminde kullanılacak kireç dökme veya torba olarak işbaşına getirilebilir. Toz haldeki kireç, maddenin hava basıncı ile boşaltılmasını sağlayan silobaslarla taşınmalıdır. Getirilen kireç miktarı 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 etkisinden korunacak şekilde, kapalı bir alanda saklanmalıdır.

### 6.3. Dozaj, Kirecin Dökülmesi ve Bununla İlgili Kontrol

Dozaj, işlem görecektir zeminin metrekaresine göre şantiyede hesaplanır. Kuru zemin için laboratuvarında belirlenen yüzde cinsinden dozaja göre  $\text{kg/m}^2$  dozajı hesaplanır.

(Kireç Miktarı (kg) = OKY\*d\* $\gamma_{\text{maks.}}$ )

OKY= Optimum Kireç Yüzdesi

d = Tabaka Kalınlığı

$\gamma_{\text{maks.}}$  = Malzemenin Maks. Kuru Birim Ağırlığı

Rüzgarın kuvvetli estiği günlerde, uçuşarak 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 makinesi geçmeden önce, toprağın üzerine, yüzeyi 1,0 m<sup>2</sup> olan, köşeli bir bez parçası veya bir kap yerleştirilir ve bezin veya kabin üzerinde biriken kireç tartılarak makinenin 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 tepelik oluşturulur. Rüzgar nedeniyle likit kireç kullanılmayacağına İdare karar verecektir.

Boşaltılan torbalar tepeliklerin önünde durmalıdır. Daha sonra kireç, tırmık kullanılarak elle ya da traktörle veya başka bir motorlu araçla çekilen dişli veya noktalı 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 tutanak altına alınacak ve bu miktarın belirlenen kesim için kullanılması sağlanarak bu işlem Müteahhit ve Kontrol Mühendisi tarafından tutanağa bağlanacaktır.

#### **6.4. Malzemeyi Parçalama ve Karıştırma**

Parçalama ve karıştırma işlemleri, bu iş için kullanılan bir makinenin, malzemeyi 25 mm'lik elekten tamamen geçene kadar veya en azından % 60'ı 4.75mm (No.4) elekten geçene kadar işlemesiyle gerçekleşir. Karıştırma makinesinin gücünün, işlem görecektabakanın 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.

#### **6.5. Sıkıştırma İşlemi**

Karıştırma işleminin sona ermesinin ardından, toprak katmanı, vakit geçirilmeden sönmemiş kireç kullanıldığı durumlarda sönme ezotermik 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-iyileştirmesi yapılacak malzemeler için kullanılan sıkıştırma makinelerine 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 makinelerinin hızı, geçiş sayısı, makinelerin kullanım önceliği ve tabaka kalınlığı tespit edilmelidir.

#### **6.6. Bağlantı Noktaları**

Kireç ile yapılan Stabilizasyon-İyileştirme uygulamalarında birbirini takip eden çalışmalarda ortaya çıkan bağlantı bölgelerinde yaklaşık 10-15 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-iyileştirmesi bitirilmiş kesimlerde serme, sıkıştırma sonuçları gözden geçirilmeli, problemlı kesimlerin olması durumunda buralara gerekli müdahalelerin yapıldıktan sonra yeni tabaka yapımına geçilmelidir.

#### **6.7. 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 kış şartlarına maruz bırakılmamalıdır.

## 7. Kalite Kontrol

Müteahhit imalat sırasında çalışılan tabakaların günlük kontrol programının idare tarafından tanımlanabilmesi için, dikkatle hazırlanmış bir kalite kontrol programına sahip olmalıdır. Müteahhit, daha önce belirtilen tüm deneyleri yapacağı geoteknik laboratuvarını İdareye 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 İdare bunun başka bir laboratuvar ile değiştirilmesini talep edecektir. Kalite kontrol deneylerinin sıklıklarında Tablo 2’de belirtilmektedir. Kalite kontrol deneyleri, en az Tablo 2’de belirtilen sayıda, Kontrol Mühendisince uygun görülen ara ve sıklıkta yapılacaktır.

Tablo 2 Kalite Kontrol Deneyleri ve Sıklıkları

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

İşin başlangıcında en az 5 farklı noktada nükleer metot 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.

## 7.1. Dolgu ve Alttemel'de Sıkıştırma Derecesi Kontrolü

Sıkıştırılan her 100 metrelik bir yol inşaatı için çalışma bölgesinde yoğunluk tespiti yapılacaktır. Çalışma alanı içinde alınmış sıkışma kontrolleri aynı gün içerisinde sonuçlandırılmalıdır. Aşağıda Tablo 3'de Dolgularda Sıkışma Kriterleri verilmektedir.

Tablo 3 Dolgularda Sıkışma Kriterleri

	Minimum Sıkışma %	Deney Metodu
Tesviye yüzeyi altındaki ilk 80 cm için	100	Standard Proctor AASHTO T 99, TS1900-1
80 cm altındaki dolgu tabakaları için	95	Standard Proctor AASHTO T 99, TS1900-1

Tabakanın her 20 cm'lik derinliği için sıkışma değerleri saptanacaktır. Dolguların sıkışma kontrolünde kullanılacak olan arazi birim ağırlığı tayin metodu, dolgunun kontrol edilen kesiminde kullanılan malzemenin içerdiği maksimum tane boyutuna göre Tablo 4'den yararlanılarak seçilecektir.

Tablo 4 Arazide Kuru Birim Ağırlık Tayin Metotları

Metod Adı	Malzemenin Maksimum		Deney	
	Dane Boyutu			Standard No.
	İnç	mm		
Kum Konisi Metodu	6" çapında	2	50	AASHTO T-191
	12" çapında	3	75	AASHTO T-191
Kasnak Metodu	10" çapında	11/2	37,5	AASHTO T-181
	12" çapında	3	75	AASHTO T-181
Nükleer Metod		11/2	37.5	AASHTO T-238, 239

Aşağıda Tablo 5'de Alttemel Tabakasına Ait Sıkışma Kriterleri verilmektedir.

Tablo 5 Alttemel Sıkışma Kriterleri

Minimum Sıkışma %	97	Modifiye Proctor	TS 1900-1, AASHTO T 180
Optimum Su İçeriği %		Wopt ± 2	Modifiye Proctor

## 7.2 Uygulama Sırasında Yapılması Gerekli Kalite Kontrol Çalışmaları

### 7.2.1. 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 T-99 ve T-180'e göre sıkıştırılmış ve önce üç gün boyunca 20 ± 1°C ve Nemi > % 95 olan bir ortamda, daha sonra da dört gün boyunca 20 ± 1°C sıcaklığındaki suda bekletilmiş olmalıdır. Hazırlanan numunelerin CBR şişme miktarı % 2 den az olmalı, CBR değeri de 15'den yüksek veya eşit olmalıdır. Karışımlardan alınan numunelerin likit limitleri % 40 'dan, plastisite indeksleride % 20 den küçük olmalıdır.

### 7.2.2. Üstyapı Tabanı, Alttemel Stabilizasyon Çalışmaları

6.2.1'de belirtilen şartlarla hazırlanan, aynı özellikte ve belirtilen kriterdeki örnekler için, Arazide alınan numunelerle yapılan CBR testlerinden aşağıdaki sonuçların alınması gerekmektedir.

- Alttemel için: CBR ≥ 30 ve Şişme < % 0,5  
LL < 25 ve PI < 6



- b) Üst yapı tabanı için: CBR  $\geq 15$  ve Şişme  $< \% 1$   
 LL  $< 30$  ve PI  $< 10$

İdare gerekli gördüğü takdirde,  $M_d$  deformasyon modülü ölçümü yapılmak suretiyle mekanik dayanıklılık kontrol edecektir.

### 7.2.3 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 deformasyon modülü değeri belirlenecektir.

$$M_d = \Delta p / \Delta s * D$$

Kabul edilebilir değerler şunlardır:

Yüksekliği bir metreyi aşan dolgularda iyileştirilen katmanları için deformasyon modülü; 0,05 – 0,15 N/mm<sup>2</sup> arasında,  $M_d \geq 15$  N/mm<sup>2</sup> olmalıdır.

Dolgunun en üst tabakası için ise  $M_d \geq 20$  N/mm<sup>2</sup> olmalıdır.

**Yüksekliği** bir metreden az olan dolgularda iyileştirilen **katmanlar** ve son 30 cm hariç yükseltinin gövdesini oluşturan katmanlar için deformasyon modülü 0,05–0,15 N/mm<sup>2</sup> arasında,  $M_d \geq 20$  N/mm<sup>2</sup> olmalıdır.

Yüksekliği 1 metreden az dolgunun son katmanı, üst yapı tabanı ve alttemel için yük devri (veya süresi) 0,15-0,25 N/mm<sup>2</sup> arasında,  $M_d \geq 50$  N/mm<sup>2</sup> olmalıdır.

Kireç İşlemede; kullanılan ve iyileştirme yapılan malzemeler için Uygunluk Şartları özet olarak Tablo 6'da verilmektedir. **Tabloda** belirtilen deneyler **TS 1900-1** veya AASHTO standartlarında belirtilen esaslara uygun olarak yapılacaktır.

Tablo 6 Kireçle İşlemede Uygunluk Şartları

		İYİLEŞTİRME	STABILİZASYON	
		Dolgular	Üst Yapı Tabanı	Alttemel
		SINIFLANDIRMA AASHTO: A2-6,A2-7,A5,A6,A7		
ZEMİN	pH DEĞERİNİN ÖLÇÜMÜ	TS 6166		
	ORGANİK MADDELER	TS EN 1744-1, AASHTO T 194, AASHTO T267, $< \% 4$		
	SÜLFATLAR	TS 6170, SO <sub>3</sub> $< \% 3$		
	METİLEN MAVİ DEĞERİ	TS EN 933-9 $> 10$ g / dl		
KİREÇ	Özellik (TS EN 459-2)	Sönmemiş Kireç		Söndürülmüş Kireç
	CO <sub>2</sub>	$\leq 7 \%$		$\leq 7 \%$
	Toplam (CaO+MgO)	$\geq 80 \%$		$\geq 80 \%$
	SO <sub>3</sub>	$\leq 2 \%$		$\leq 2 \%$
	MgO	$\leq 10 \%$		$\leq 10 \%$
	SIO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +SO <sub>3</sub>	$\leq 5 \%$		$\leq 5 \%$
	Parçalar	$\leq 2$ mm		--
	TS EN 459-2 Ağırlıkça Elekte Kalan %	--		0.09 mm $\leq \% 7$ 0.2 mm $\leq \% 2$
SU	SO <sub>3</sub> $< 200$ ppm			

Tablo 6 Kireçle İşlemede Uygunluk Şartları ( Devamı)

		İYİLEŞTİRME	STABİLİZASYON	
		Dolgular	Üstyapı Tabanı	Alttemel
		TASARLANAN KARIŞIM: pH = 12,4		
		DOZAJ: KİREÇ % ≥ 1,5		
TASARLANAN KARIŞIMIN LAARATUVAR ÇALIŞMALARI		<p>SIKIŞTIRMA AASHTO <b>Standart Proctor</b></p> <p>CBR ≥ 15 ŞİŞME &lt; % 2,0</p> <p>20°C, Nem &gt; % 95%'de 3 gün ve 20°C'de suda 4 günden sonra</p>	<p>SIKIŞTIRMA AASHTO <b>Standart Proctor</b></p> <p>Üst Yapı Tabanı CBR ≥ 20 ŞİŞME &lt; % 1,0</p> <p>20°C, Nem &gt; % 95%'de 3 gün ve 20°'de suda 4 günden sonra</p>	<p>SIKIŞTIRMA AASHTO <b>Modifiye Proctor</b> (T180 Metod D) Alttemel</p> <p>CBR ≥ 50 ŞİŞME &lt; % 0,5</p> <p>20°C, Nem &gt; % 95%'de 3 gün ve 20°'de suda 4 günden sonra</p>
		<p>LL &lt; 40 PI &lt; 20</p> <p>(Atterberg Limitleri 1 saatlik değerlerdir)</p>	<p>LL &lt; 30 PI &lt; 10</p> <p>Atterberg Limitleri 1 saatlik değerlerdir</p> <p><math>q_u(7) &gt; 5 \text{ kg/cm}^2</math> <math>q_c(7) &gt; 0,3 \text{ kg/cm}^2</math></p> <p>Dona Hassas Bölgelerde <math>q_u(n) &gt; 1,5 \text{ kg/cm}^2</math> n donma-çözünme sayısı n ≥ 5 (En az 12 saat)</p>	<p>LL &lt; 25 PI &lt; 6</p> <p>Atterberg Limitleri 1 saatlik değerlerdir</p>
YAPIM AŞAMASI KALİTE KONTROLÜ		<p>CBR ≥ 15 ŞİŞME &lt; % 2,0</p> <p>20°C, Nem &gt; % 95%'de 3 gün ve 20°C'de suda 4 günden sonra</p> <p>LL &lt; 40 PI &lt; 20 (Atterberg Limitleri 1 saatlik değerlerdir)</p>	<p>CBR ≥ 15 ŞİŞME &lt; % 1,0</p> <p>20°C, Nem &gt; % 95'de 3 gün ve 20°C' de suda 4 günden sonra</p> <p>LL &lt; 30 PI &lt; 10</p>	<p>CBR ≥ 30 ŞİŞME &lt; % 0,5</p> <p>20°C, Nem &gt; % 95'de 3 gün ve 20°C 'de suda 4 günden sonra</p> <p>LL &lt; 25 PI &lt; 6</p>
		Dolgular > 1 m	Dolgular ≤ 1 m	<p><math>M_d \geq 50 \text{ N/mm}^2</math> Alttemel ve ve yükseltilerin son 30 cm'si</p>
		$M_d \geq 15 \text{ N/mm}^2$ , Dolgu > 1m	$M_d \geq 20 \text{ N/mm}^2$ , son 30 cm hariç	
	$M_d \geq 20 \text{ N/mm}^2$ , Dolgu > 1m (Son Tabaka)	$M_d \geq 50 \text{ N/mm}^2$ , son 30 cm		