

SERİ  
SERIE B

CİLT  
TOME XXIV

SAYI  
FASCICULE II

1974

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ

# ORMAN FAKÜLTESİ DERGİSİ

REVUE DE LA FACULTÉ DES SCIENCES FORESTIÈRES  
DE L'UNIVERSITÉ D'ISTANBUL



## TOPRAK STABİLİZASYONU İLE İLGİLİ DENEMELERİN YAPILMASI

Yazan  
Prof. Dr. Faik TAVŞANOĞLU

Toprak stabilizasyonu ile ilgili olarak yapılması gerekli denemeler sırasıyla :

I. Dane Dağılımının Belirlenmesi, II. Toprağın Su Muhtevasının Tayini, III. Toprağın Durumunun Belirlenmesi, IV. Proctor Sıkıştırma Denemesi, V. Plat Oturma-Denemesini kapsamaktadır.

### I. Dane Dağılımının Belirlenmesi

#### 1. Kavram ve Amaç

Dane dağılımı, bir toprak türü içindeki çeşitli dane büyüklük gruplarının (Fraktion) paylarını ifade etmekte olup belirlemeden amaç alınan örnekteki toprak danelerinin büyüklük gruplarını ve bunların tüm kitledeki % oranlarını tesbit etmektir. Bu bilgi hem toprakların genel olarak tanınma ve sınıflandırılması için ve hem de sıkışma derecesi, geçirgenliği, donlara karşı hassasiyeti ve stabilize kabiliyeti hakkında bir yargıya varabilmek için gereklidir.

#### 2. Dane Dağılımının Kuru Analiz (eleme) ile Belirlenmesi

##### 2.1 Aletler

- Bir elek takımı, üstteki eleğin bir kapağı ve alttaki eleğin altında bir yakalama kabı vardır.
- Normlanmış yuvarlak delikli elekler, çapları 1 mm den daha büyük daneler için
- Normlanmış yuvarlak delikli elekler, çapları 1 mm den daha küçük daneler için
- Terazi, örneğin ağırlığının en az % 0,1 ni tartabilecek kadar hassas,
- Kurutma dolabı

## 2.2 Örneğin Miktarı

Örneğin en az miktarı toprağın içinde varolan en büyük daneye göre değişmekte olup aşağıdaki tablodan alınabilir.

En büyük dane mm	Örneğin miktarı g	Tartmanın hassasiyet derecesi
2	100	0,1
10	1000	1,0
15	1500	1,5
20	2500	2,5
25	3000	3,0
35	5000	5,0
45	10000	10,0
65	20000	20,0
100	30000	30,0

## 2.3 Denemenin Yapılması (Kuru analiz)

Alınan örneğin ağırlığı sabit kalıncaya kadar kurutma dolabında kurutulur. Sonra tablodaki hassasiyet derecesiyle tartılır. Bunun peşinden bu materyal eleklerden geçirilir. Eleklerde kalan ve yakalama kabında toplanan materyal ayrı ayrı tartılır. Elekten geçirme genellikle çapları 10 mm ye ve özel hallerde 0,06 mm ye (siltli topraklar) kadar olan materyal için yapılır.

## 3 Dane Dağılımının Yaş Eleme (yaş analiz) ile Belirlenmesi

### 3.1 Aletler, 2.1 de olduğu gibi

### 3.2 Örneğin miktarı, 2.2 de olduğu gibi

### 3.3 Denemenin yapılması

Eldeki toprağın kuru olarak elemesinde, toprağın kabaca danelerden ayrılmayan yapışık ince materyali ihtiva ettiği görülürse, bu takdirde bir yaş analizin yapılması gerekmektedir. Bunun için kurutulan ve tartılan örnekte irice danelere yapışık kalan ince materyal su ile dikkatlice çalkalanarak yıkanmak suretiyle uzaklaştırılmaktadır. Sonra temizlenen materyal kurutulur ve 2.3 de açıklandığı gibi elekten geçirilir. Toprak örneğinin yıkanmadan önceki ağırlığıyla kuruttuktan sonraki ağırlığı arasındaki fark, elemeye kullanılan en ince elekten geçen ma-

teryalin ağırlığını vermektedir. Elekten geçirme burada da 1,0 mm ve bazen 0,6 mm ye kadar yapılmaktadır.

#### 4 Değerlendirme

Eleklerde kalan ve yakalama kabında toplanan (dolayısıyla ıslak elemedeki ağırlık farkı) materyal tüm örnek ağırlığının % si olarak ayrı ayrı hesap edilir ve *toplama eğrisi* (Summonlinie) olarak basit logaritmik bir kâğıt üzerine taşınır (Resim 1). Dane çapları d'ler (mm) logaritmik bir ölçekle apsis ekseni üzerinde ve bu apsislerle ilgili olarak eleklerden geçen materyal, tüm örnek ağırlığının % si olarak ve linear bir ölçekle ordinat ekseni üzerinde işaret edilir. Elde edilen noktaların bir-biriyle bağlanması ile *dane dağılım eğrisi*, ya da *toplama eğrisi* elde edilir. Dane dağılım eğrisi üzerindeki her nokta danelerin ağırlık % lerini vermektedir ki, bunlar kendilerine uyan çaptan daha küçüktürler.

#### Dane dağılımının deneme protokolü

Elek mm	Elekte kalan		Elekte kalan- ların toplamı	Eleklerden ge- çenlerin toplamı
	g	%		
100	0	0	0	100
70	750	3	3	97
50	1000	4	7	93
31.5	5000	20	27	73
20	4750	19	46	54
10	5500	22	68	32
6,3	1750	7	75	25
4	1000	4	79	21
2	1250	5	84	16
1	1750	7	91	9
	2250	9	100	0
Toplam	25000	100		

#### 5 Dane Dağılımının Çamur Analizi ile Belirlenmesi (Aröometre metodu).

Toprağın 1,0 mm den ve bazen de 0,06 mm den daha ince daneli olan kısımları çamur analizi ile ayırt edilir. Çamur analizi özel bir laboratuvar da yapılır.

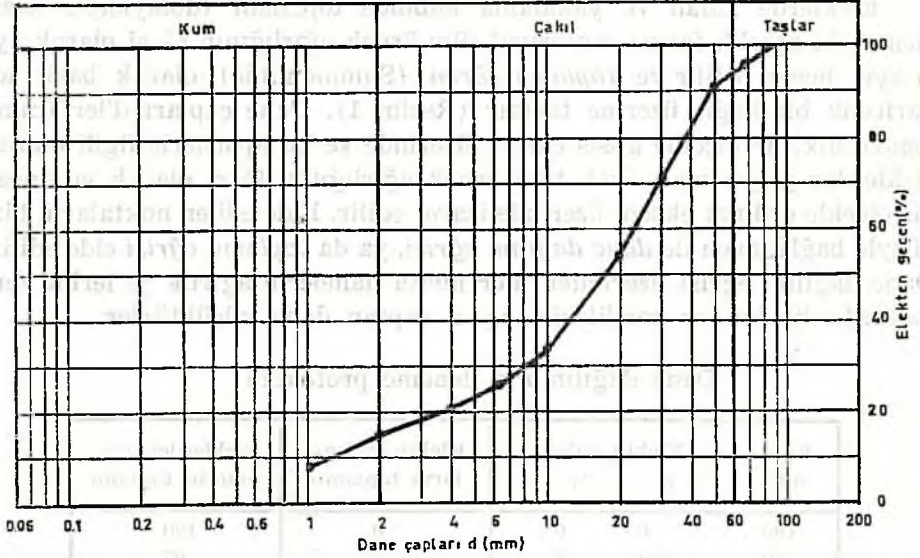
#### 6 İnşaatın Kontrolü

Yapı yerine taşınan malzemenin süratle muayene edilebilmesi için üç kontrol noktasının tayini gerekmektedir ki, bu noktalar dane dağılım eğrisinin seyri temsil ederler :



Örnekler : 0,80 ÷ 0,50 Elek takımı : 345 mm; 10 mm; 4 mm  
 0,50 ÷ 0,30 Elek takımı : 20 mm; 6,3 mm; 2 mm  
 0,20 Elek takımı : 20 mm; 6,3 mm; 2 mm

Grafik: Dane dağılımı eğrisi



Resim 1. Dane Dağılım Eğrisi

## II. Toprağın Su Muhtevasının Tayini

Bu açıklama toprağın su muhtevasının tayini üzerine esaslar vermektedir.

### 1 Laboratuvar Metodu

#### 1.1 Kavram

Toprağın su muhtevası W doğal olarak bir yerde varolan, ya da başka yerden taşınarak buraya serilen topraktan alınmış olan taze bir örneğin ihtiva ettiği suyun ağırlığı ile, bu örneğin kurutulduktan sonraki ağırlığı arasındaki ilişkidir. Bu ilişki % olarak ifade edilirse : burada :

$$\% W = \frac{G_w}{G_d} \cdot 100^{1)} \text{ dür.}$$

1)  $\frac{G_w}{W} \times \frac{G_d}{100} ; \% W = \frac{G_w}{G_d}$

$G_w$  = Suyun ağırlığı

$G_d$  = 105 - 110°C de, ağırlık sabit kalıncaya kadar kurutulan örneğin ağırlığı

### 1.2 Aletler

- Örneğe ve dane büyüklüğüne göre gerekli kaplar
- Örneğin miktarına uygun ve örneğin ağırlığının % 0.1 ni tartacak hassas bir terazi
- 105 - 110°C arasında kurutmayı sağlayan sabit sıcaklıklı bir kurutma fırını

### 1.3 Denemenin Yapılması

Su muhtevası tayin edilmek üzere alınan toprak örneği, daha önce darası alınmış bir kaba konarak tartıldıktan sonra, fırında ağırlığı sabit kalıncaya kadar kurutulur. Topraın bağlayıcılığı, su muhtevası ve örneğin miktarıyla ilgili bulunan yaklaşık kurutma süresi aşağıdaki tablodan alınabilir. Kurutulmuş örnek bir daha tartılır. Suyun ağırlığı, nemli durumdaki örnekle kurutulmuş örneğin ağırlıklarının (kabin darası gözönünde tutulmalıdır) arasındaki fark olarak elde edildikten sonra, su muhtevası 1.1 de verilen formül ile hesap edilir.

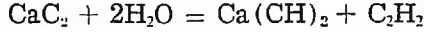
Tablo 1

Toprağın türü	Örneğin ağırlığı	Terazinin hassasiyeti	Kuruma zamanı
Kuvvetli bağlayıcı	15 - 50 g	0.02 g	24 h
Hafif bağlayıcı	15 - 50 g	0.02 g	12 h
Bağlayıcı değil			
— İnce daneli	15 - 50 g	0.02 g	4 h
— Kaba daneli	1 - 10 kg	1.0 g	4 h
— Çok kaba daneli	10 u.m.kg	10.0 g	4 h

## 2 Arazi Metodu

### 2.1 Kalsiyumkarbit metodu (CM - aleti)

Bu usulde, topraktaki suyun miktarı belli miktardaki kalsiyumkarbit ile reaksiyonu incelenir. Burada aşağıdaki reaksiyona göre Asetylen gazı serbest kalmaktadır :



Çıkan bu gazın hacminin ve dolayısıyla suyun miktarına bağlı olarak oluşan gazın basıncının yardımıyla bir *ayarlama eğrisi* ile toprağın su muhtevası tayin edilebilir.

### 2.1.1 Kullanma Alanı

Kalsiyumkarbit metodu ile bağlayıcı ve bağlayıcı olmayan ve ince daneli topraklarda su muhtevası tayin edilebilir.

### 2.1.2 Alet ve Gereçler

- Manometreli çelik basınç şişesi
- Çelik küreler
- Hassas terazi
- Kalsiyumkarbit ampulleri
- Ufaltma kabı, havan, çekiç
- Temizleme gereçleri

### 2.1.3 Denemenin Yapılması

Ufaltılmış toprak örneğinden, tahmin edilen su miktarına ve en büyük dane çapına uygun olarak 5 - 20 gr. toprak alınarak tartılır ve çelik şişeye doldurulur. Bundan sonra çelik küreler ve kalsiyumkarbit ampulleri dikkatlice şişenin içine yerleştirilerek şişe manometri ile kapanır. Su kaybını önlemek için bütün bu işler çok çabuk yapılmalıdır. Şişenin kuvvetli sarsılması suretiyle ampüller kırılır ve yapılan dairesel hareketlerle toprağın kalsiyumkarbitle iyice karışması sağlanır. Bu karıştırma manometre basıncının yükselmesi duruncaya kadar sürdürülür. Şayet manometre basıncı çok süratli olarak en yüksek sınır değere yükselirse, bu takdirde deneme olduğu yerde bırakılır ve daha küçük bir tartı ile tekrar edilir. Matlup olan tartımın miktarı kullanılan aletle ilgili olup, bu miktar alete özgü bir tablodan alınabilir. Mümkün olan en küçük tartı miktarından dolayı deneme tekrarlanır.

### 2.1.4 Değerlendirme

Ayarlama eğrisinin (karşılaştırma eğrisi) yardımıyla çeşitli tartılar için kayıt edilen manometre basıncının büyüklüğünden toprağın su muhtevası tayin edilir. Ayarlama eğrisi alete ilişiktir.

## 2.2 Benzin Metodu

### 2.2.1 Kullanma alanı

Benzin metodu ile toprağın su muhtevası yalnız iri daneli topraklarda (çakıl, kum) tayin edilebilir.

### 2.2.2 Aletler ve gereçler

- Teneke bir kap
- Terazî
- Demir çubuk
- Benzin

Nemli haldeki toprak tartılır ve bir teneke kap içine konarak üzerine benzin dökülür ve tutuşturulur ve demir çubukla karıştırılır. Kap içinde oluşan sıcaklıkla toprağın suyu buharlaşarak toprak kurur. Kurumuş olan örnek tekrar tartılır. Nemli ve kuru toprağın ağırlıkları arasındaki fark suyun ağırlığını vermektedir.

### 2.2.3 Değerlendirme

Toprağın su muhtevası paragraf 1.1 deki formülle hesap edilir.

## III. Toprağın Durumunun Belirlenmesi

Bu açıklama Atterberg'e göre Konsistenz sınırlarının tanımlanmasını, bunun belirlenmesine yarayan usul ve aletlerle elde edilen *tanıma sayılarını*; Plastisite indeksi, Likidite indeksi ve Konsistans indeksini kapsamaktadır.

### 1 Kavram

Bir toprak ihtiva ettiği su miktarına göre ya katı, ya plâstik, ya da akıcı bir durumdadır. Şu halde konsistenz toprağın iç ilişkisinin derecesini göstermektedir ki bununla toprağın durumu tanımlanmaktadır. Toprağın bir durumdan başka bir duruma geçtiği andaki su muhtevası, toprağın türü ile sıkı bir biçimde ilgili olup bu değerler toprağın tanınmasına ve sınıflandırılmasına yaramaktadır.

— Akma sınırı  $W_L$ , öyle bir su muhtevasıdır ki, bu muhtevada toprak plâstik durumdan akıcı duruma (yuğrulabilir duruma) geçmektedir.



— Yuvarlama sınırı  $W_p$ , öyle bir su muhtevasıdır ki, bu muhtevada toprak katı durumdan plâstik duruma geçmektedir.

— Plâstisite indeksi  $I_p = W_L - W_p$

— Likidite indeksi  $I_L = \frac{W_{dog.} - W_p}{I_p}$

— Konsistenz indeksi  $I_c = \frac{W_L - W_{dog.}}{I_p}$

Bu formüllerde  $W_{dog.}$  = doğal su muhtevasını göstermektedir.

## 2 Akma Sınırının $W_L$ (liquid limit) Tayini

Deneme Casagranade aleti (Resim 3) ile yapılmaktadır. Plâstik durumdan akma durumuna geçişin varsayılabilmesi için, toprağın çok küçük bir kesme direncine (makaslama) sahip olması ve Casagranade aleti ile sarsıldığında 1 cm uzunluğundaki bir yarıka toplanarak akması gerekmektedir. Denemenin yapılması için dane büyüklüğü 0,5 mm den daha küçük toprağa gerektiği kadar su ilâve edilerek bir pasta hamuru haline getirildikten sonra bundan bir miktar Casagranade aletinin metal tasına konur. Tastaki çamurun üstü, hiçbir noktada 10 mm den daha kalm olmayacak biçimde düzeltilir. Tasın, aletin kolunun miline dik gelen çapı boyunca, *yarık açıcı* ile 50 - 60 mm uzunluğunda bir yarık açılır. Sonra kolun çevrilmesiyle tas 10 mm kadar yukarı kalktıktan sonra, sert bir lâstik zemin üstüne serbestçe düşmektedir (saniyede iki vuruş yaparak).

Akma sınırına erişildikte, 25 vuruşta yarığın uzunluğu 10 mm ye inmektedir. Fakat genellikle tek bir deneme ile bu sınıra erişilemez. Bu sebeple akma sınırı değişik su muhtevası ve uygun sayıdaki (16 - 32) vuruşlarla üç deneme ile tayin edilir. Yarığın yukarıda belirtildiği kadar kapanmasından hemen sonra tasın ortasından bir örnek alınır. Bir diyagramda vuruş sayıları logaritmik ve bunlara uyan su muhtevaları da linear bir ölçekle işaretlenir. Dikkatli ve itina ile yapılmış bir denemede elde edilen noktalar bir doğru üzerinde bulunurlar. Bu diyagramdan; akma sınırına ait su muhtevası 25 vuruştaki su muhtevası olarak alınabilir.

## 3 Yuvarlama Sınırı $W_p$ nin (plâstik limit) Tayini

Yuvarlama sınırının tarifinde işaret edildiği gibi, katı durumdan plâstik duruma geçişin varsayılabilmesi için, yuvarlatılan toprak örneğinin 3 mm kalınlıkdayken parçalanmaya başlaması lâzımdır. Denemenin yapılması için, toprak örneği akma sınırının tayininde olduğu gibi, hazırlandıktan sonra bir kurutma kâğıdı üzerinde *Kürmellerin* çoğunun çapı

3 mm oluncaya kadar yuvarlatılır. Kürmeller 3 ve 2 mm lik eleklerden geçirilir. 40 mm lik elekte kalan (Kürmel çapı 2 ve 3 mm arasında) kısmen su muhtevası tayin edilir. Bu muhteva yuvarlama sınırına uymaktadır.

#### 4 Plastisite İndeksi $I_p$ nin Hesabı

Akma sınırı  $W_L$  ile yuvarlanma sınırı  $W_p$  arasındaki fark plastisite indeksi olarak adlandırılmaktadır. Bu fark:

$$I_p = W_L - W_p$$

Plastisite indeksinin büyüklüğü plâstik bir toprağın suya karşı olan tutumunu karakterize etmekte ve onun toprak sınıflarında birine ithalini sağlamaktadır.

#### 5 Likidite İndeksi $I_L$ nin Tayini

Bir toprağın doğal olarak bulunduğu yerde ihtiva ettiği su miktarı bilindiği takdirde, likidite indeksi aşağıdaki formülle hesap edilebilir :

$$I_L = \frac{W_{dog.} - W_p}{I_p}$$

Likidite indeksinin büyüklüğü, söz konusu toprağın doğal su muhtevasıyla hangi durumda bulunduğunu göstermektedir.

$I_L < 0$  olduğu takdirde toprak katı durumdadır.

$I_L = 0 - 1$  olduğu takdirde toprak plâstik durumdadır.

$I_L > 1$  olduğu takdirde toprak akıcı durumdadır.

#### 6 Konsistenz İndeksi $I_c$ nin Tayini

Konsistenz indeksinin tayininde, akım sınırının su muhtevası  $W_L$  nin doğal su muhtevası  $W_{dog.}$  den farkı plastisite indeksi  $I_p$  ile ilişkiye getirilir. Yani :

$$I_c = \frac{W_L - W_{dog.}}{I_p}$$

Bu formülle elde edilen sonuç aynı zamanda bir *tanıma sayısı* olup, doğal su muhtevasında bir toprağın hangi durumda bulunduğunu göstermektedir. Buna göre şayet :

$I_c < 0$  olduğu takdirde toprak akıcı durumdadır.

$I_c = 0-1$  olduğu takdirde toprak plâstik durumdadır.

$I_c > 1$  olduğu takdirde toprak katı durumdadır.

### 7 Örnekler :

Bir toprakta :

Doğal su muhtevası  $W_{dog.} = \% 28,7$

Akma sınırı  $W_L = \% 35,4$

Yuvarlama sınırı  $W_p = \% 14,8$

Plastisite indeksi  $I_p = W_L - W_p = 35,4 - 14,8 = 20,6$

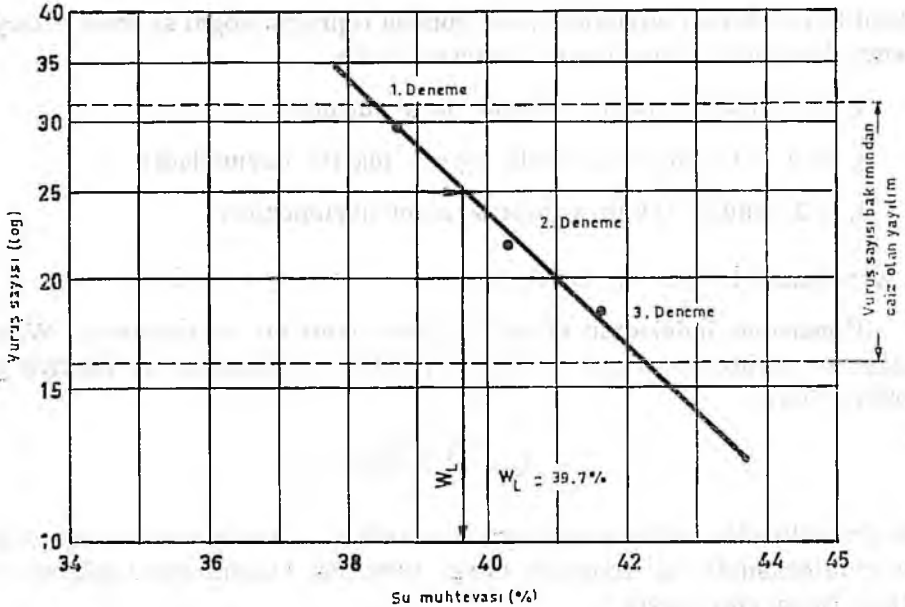
Likidite indeksi  $I_L = \frac{W_{dog.} - W_p}{I_p} = \frac{28,7 - 14,8}{20,6} = 0,68$

Konsistenz indeksi  $I_c = \frac{W_L - W_{dog.}}{I_p} = \frac{35,4 - 28,7}{20,6} = 0,32$

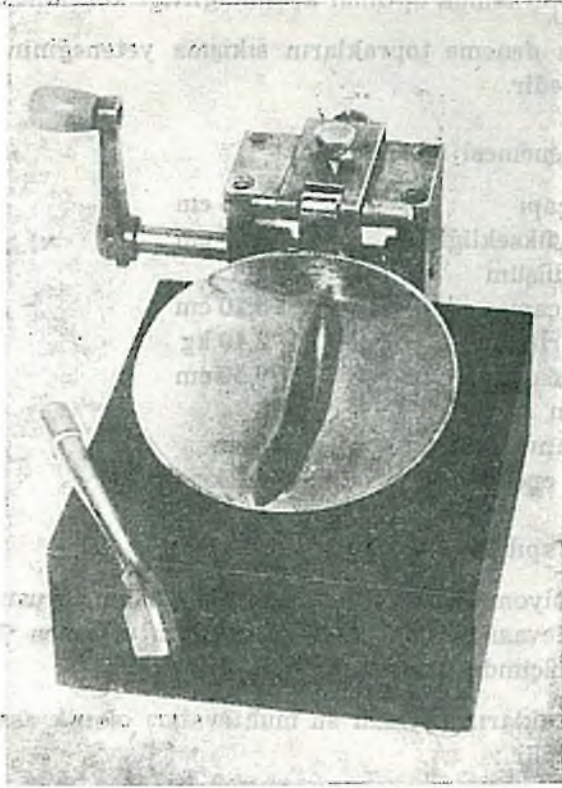
$I_L$  ve  $I_c$  ye göre bu toprak plâstik durumdadır.

$I_p$  ve  $W_L$  ye göre toprağın sınıfı tayin edilir.

Grafik: Akma sınırının belirlenmesi



Resim 2. Akma Sınırının Belirlenmesi



Resim 3. Casagranade Aleti.

#### IV. Proctor Sıkıştırma Denemesi (Proctor Denemesi)

Bu açıklama Proctor Denemesi üzerine değerler vermekte, denemenin yapılmasını ve kullanılmasını göstermektedir.

##### 1 Kavram ve Amaç

Proctor sıkıştırma denemesi, sabit bir sıkıştırmadaki su muhtevası ile kuru hacim ağırlığı arasındaki ilişkiyi vermektedir. Bu ilişkiyi Proctor eğrisi denilen bir eğri göstermektedir. Bu eğriden yararlanarak aşağıdaki tanıma değerleri tayin edilmektedir :

— Optimal kuru hacim ağırlığı :

Bu ağırlık Proctor eğrisinin Maximumuna uyan ağırlıktır.

— Optimal sıkışma su muhtevası :



Bu su muhtevasında optimal hacim ağırlığı korunmaktadır.

Böylece bu deneme toprakların sıkışma yeteneğinin belirlenmesine imkân vermektedir.

## 2 Sıkıştırma Denemesi için Doneler

Silindirin çapı	10,16 cm
Silindirin yüksekliği	11,70 cm
Silindirik düşüm ağırlığının çapı	5,10 cm
Düşüm ağırlığı	2,49 kg
Düşüm yüksekliği	30,50 cm
Tabakaların sayısı	3
Her tabakanın kalınlığı	25 cm
Sıkıştırma enerjisi	6,5 kg cm/cm <sup>3</sup>

## 3 Denemenin Yapılması

Dane fraksiyonu 7 mm den küçük olan hava kurusu materyal alınarak, su muhtevası optimal su muhtevasının takriben % 5 - 6 sınıfında kalacak biçimde hazırlanır.

Çeşitli toprakların optimal su muhtevaları olarak aşağıdaki miktarlar kabul edilebilir :

Temiz ya da siltli çakıl	yaklaşık olarak % 8
Killi çakıl	» % 11
Temiz ya da siltli kum	» % 10
Killi kum	» % 14
Siltli topraklar (ML, MH)	» % 14 - 18
Bağlayıcı topraklar (CL, CH ve belki CH)	» % 15 - 20

(Yuvarlama sınırından % 2 - 4 daha az)

Dikkatle karıştırılmış materyal 3 tabaka halinde birbiri üzerine getirilir ki bu tabakalardan her birisi düşüm ağırlığının 25 vuruşuyla sıkıştırılır.

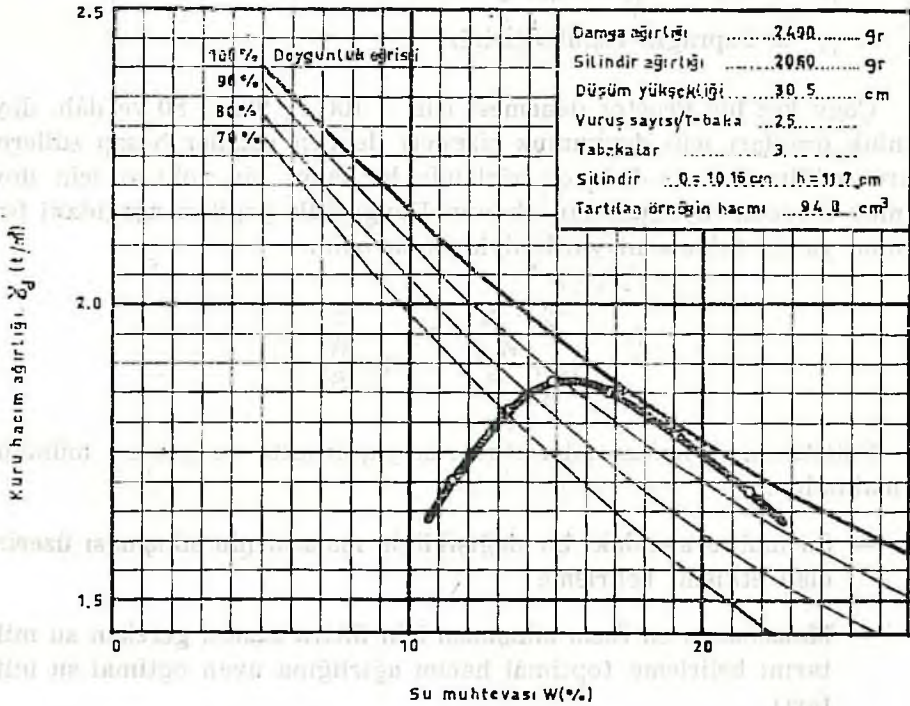
Tüm örnek sıkışmış durumda yaklaşık olarak 13 cm kalınlıkta olmalıdır. Başlık halkasının kaldırılmasından sonra, örnek silindirin yüksekliğinde kesilir. Örnek ve silindir tartılır ve sonra nemli hacim ağırlığı tayin edilir. Su muhtevasının tayini için örnekten küçük kısım alınır.



Deneme % 2 - 3 oranında artan su muhtevasıyla, nemli hacim ağırlığı azalmaya başlayıncaya kadar sürdürülür.

#### 4 Değerlendirme

Nemli hacim ağırlığı  $\gamma$  ve su muhtevası  $W$  den tayin edilen kuru hacim ağırlığı, su muhtevası ile ilgili olarak Proctor eğrisi çizilir (Resim 4).



Resim 4. Proctor Eğrisi.

Kuru hacim ağırlığı : 
$$\gamma_d = \frac{G}{V(1+W)} \text{ (g/cm}^3, \text{ t/m}^3\text{)}$$

Buna ilâveten optimal hacim ağırlığı ya da Proctor eğrisinin herhangi bir noktası için doymunluk derecesi  $S_r$  de aşağıdaki formülle hesap edilir :

Doymunluk derecesi : 
$$S_r = \frac{W}{\frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{\gamma_g}}$$

Yukarıdaki formüllerde :

$G$  = Örneğin ağırlığı

$V$  = Örneğin hacmi

$W$  = Örneğin su muhtevası

$\gamma_d$  = Kuru hacim ağırlığı

$\gamma_w$  = Suyun özgül ağırlığı  $\sim 1 \text{ t/m}^3$

$\gamma_s$  = Toprağın özgül ağırlığı

Çoğu kez bir Proctor denemesi için % 100, % 90, % 80 ve ilâh. doygunluk oranları için doygunluk çizgileri denilen çizgiler hesap edilerek işaret edilir. Burada Proctor eğrisinin herhangi bir noktası için doygunluk derecesi diyagramdan okunur. Doygunluk çizgileri aşağıdaki formülün, ya da tabloların yardımıyla tayin edilir :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_w \cdot \gamma_s}{\gamma_w + \frac{W \gamma_s}{S_r}} = \frac{\gamma_s}{1 + \frac{W}{S_r} \gamma_s}$$

Sıkıştırma denemesi laboratuvarda yapılmakta ve şunları mümkün kılmaktadır :

- Su muhtevasındaki bir değişikliğin malzemenin sıkışması üzerine olan etkisini belirleme
- Malzemenin en fazla sıkışması için ihtiva etmesi gereken su miktarını belirleme (optimal hacim ağırlığına uyan optimal su miktarı)

### 5 Deneme Sonuçlarının Kullanılması :

- Sıkıştırma denemesi optimal hacim ağırlığı  $\gamma_{dopt.}$  nin doğal hacim ağırlığı  $\gamma_{dog.}$  ile karşılaştırılmasını mümkün kılar.
- Sıkıştırma denemesi sıkıştırma için gerekli su muhtevasını vermektedir.
- Proctor denemesi optimal hacim ağırlığı ile, sıkışmadan sonraki hacim ağırlığının karşılaştırılmasına imkân vermek suretiyle bir sıkışma kontrolü sağlamaktadır.

### V. Plat Oturma Denemesi

Bu açıklama Plat oturma denemesinin yapılması ve uygulanması üzerine değerler vermektedir.

#### 1 Amaç

Plat oturma denemesi yol inşaatında tabanın (temel) ve bitümlü ya da çimento gibi bağlayıcı maddelerle stabilize edilmemiş alt ve üst yapı tabakalarının taşıma yeteneğinin belirlenmesine yaramaktadır. Platin büyüklüğüne ve tabaka kalınlığına göre denemede çeşitli tabakaların birlikteki etkisi kavranmış olmaktadır.

#### 2 Esaslar

Plat oturma denemesinde, dairesel sert bir yükleme plati (safiha) kademeli olarak değişik yüklere maruz bırakılarak zeminde kayıtlı edilen oturmalar ölçülür. Denemede  $M_E$  değeri (basılma modülü) aşağıdaki formülle hesap edilir :

$$M_E = f_o \cdot \frac{\Delta_p}{\Delta_s} \cdot D \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Bu formülde :

$f_o$  : gerilme dağılımının biçim faktörü (şekil emsali)  
yuvarlak platlar için = 1

$P$  : Plattan toprağa geçen spesifik yükleme (kg/cm<sup>2</sup>)

$\Delta_p$  : İki yük kademesinin arasındaki fark (kg/cm<sup>2</sup>)

$\Delta_s$  : Spesifik yüklemenin  $\Delta_p$  kadar değiştirilmesinde platin oturmalarındaki fark (cm)

$D$  : Platin çapı (cm)

Ölçülen ya da normlarda istenen  $M_E$  değerlerine ilk yükleme esas alınır. İlk yükleme değerleri yanında ikinci ya da tekrar edilen öbür yüklemeler ve boğaltmalar da tayin edilir.

Ölçülen değerlerden bir yük oturma diyagramı çizilir (Resim 5).

#### 3 Aletler

Denemeler normlanmış VSS aleti (SNV - norm 70312) ile yapılmaktadır.

## 4 Denemenin Yapılması

### 4.1 Toprağın nem muhtevası

Oturmuş topraklarda deneme toprağın doğal su muhtevasıyla yapılır. Doldurular üzerinde, temellerde ve taşıyıcı tabakalardaki denemeler, bu topraklar fazla ıslak oldukları zaman (yağmurlardan sonra) yapılmamalıdır.

### 4.2 Platin Büyüklüğü

Alt zeminin, alt yapının ve temel tabakasının muayenesi için, yerine göre 200 cm<sup>2</sup> lik ya da 700 cm<sup>2</sup> lik bir plat kullanılmaktadır. Platin çapı, platin hemen altındaki toprağın içinde rastlanan en büyük daneden en az 3 - 5 kez daha büyük olmalıdır.

### 4.3 Aletin kurulması

Aletin kurulması için muayene yerinde tamamiyle yatay bir zemin hazırlanır. Bağlayıcı topraklarda üstteki tabaka kazılarak uzaklaştırılmalıdır. Muayene yeri düzgün hale getirmelidir. Bağlayıcı olmayan topraklarda bu düzgünlük düzeltilmiş zemin üzerine ince bir tabaka jips, ya da ince kum yayılarak sağlanır.

Plat, böylece hazırlanmış muayene yerinde zemin üzerine konarak tesviye edilir. Sonra alet, press ile basınç damgası, manometre ve gerektiği takdirde, plat ile denge ağırlığı arasında bir uzantı yaparak kurulur.

Denge ağırlığı 200 cm<sup>2</sup> lik bir plat için yaklaşık olarak 2 t, 700 cm<sup>2</sup> lik bir plat için 5 t ağırlığında olmalı, basit ve kolay taşınabilmelidir (Örneğin kamyonla).

### 4.4 Oturma ölçmeleri için aletin düzenlenmesi

Ölçme için genellikle 3 saat kullanılmaktadır ki bu saatler bir üç-ayaktan (sehpa) itibaren plat üzerine dayanan üç sivri ayak üzerine oturtulmuştur. Sehpanın ayakları plattan ve denge ağırlığından yeteri kadar uzakta bulunmalıdır. (Enaz 50 cm.). Böylece bunlar birbirini karşılıklı olarak etkilemezler. Ölçme cihazı, ölçme saatleri iyi okunacak biçimde yerine konmalıdır.

## 5 Denemenin Yapılması

— Platin toprak üzerine iyice oturup yerleşmesi için, plat önce 0,2 kg/cm<sup>2</sup> bir yükü yüklenir. Burada platin ve presin kendi ağırlığı da beraber hesap edilmelidir.

— Bundan sonra saatlerin gösterdiği değerler okunur.

— Plat presin yardımıyla devamlı olarak ilk yükleme kademesi olan  $0.5 \text{ kg/cm}^2$  a getirilir.

— Bu yükleme kademesine ulaşıldıktan sonra, ölçme saatleri bağlayıcı topraklarda 3, 6, 9 ve ilâh dakikadan ve bağlayıcı olmayan topraklarda 2, 4, 6 ve ilâh dakikadan sonra okunarak protokola kayıt edilir. Bundan sonra basınç daha sonraki yükleme kademesine yükseltilir. Oturma, kayıt edilen zaman süresi içinde 3, dolayısıyla 2 dakikada  $0.05 \text{ mm}$  den az olursa, ilk yükleme kademesi için tayin edilen yükleme zamanı (örneğin 9 dakika) bunu izleyen yük kademelerinde de muhafaza edilmelidir.

— Denemenin yapılmasından sonra, platin altındaki toprak, plat çapının 1.5 katı kadar derinlikte kazılarak homojen hale gelip gelmediği kontrol edilir.

## 6 Yükleme Kademeleri

Aşağıdaki yükleme kademeleri uygulanmalıdır :

— Alt zemin ve alt yapı için :

$0,5 \text{ kg/cm}^2$  den son yüklemeye kadar

$2,5 \text{ kg/cm}^2$  den sonra  $0,5 \text{ kg/cm}^2$  lik kademeler halinde

— Temel ve taşıyıcı tabaka için :

$0,5 \text{ kg/cm}^2$  den son yüklemeye kadar

$5,5 \text{ kg/cm}^2$  den sonra  $1 \text{ kg/cm}^2$  lik kademeler halinde

## 7 Denemelerin Değerlendirilmesi

### 7.1 Oturma eğrisi

Saatlerde okunan ve tesbit edilen oturma değerleri ile bir oturma eğrisi çizilir (Resim 5).

### 7.2 $M_E$ - değerleri

$M_E$  değerleri paragraf 2 de verilen formülle hesap edilir.

$M_E$  değerleri aşağıdaki yükleme sınırlarına göre tayin edilir.

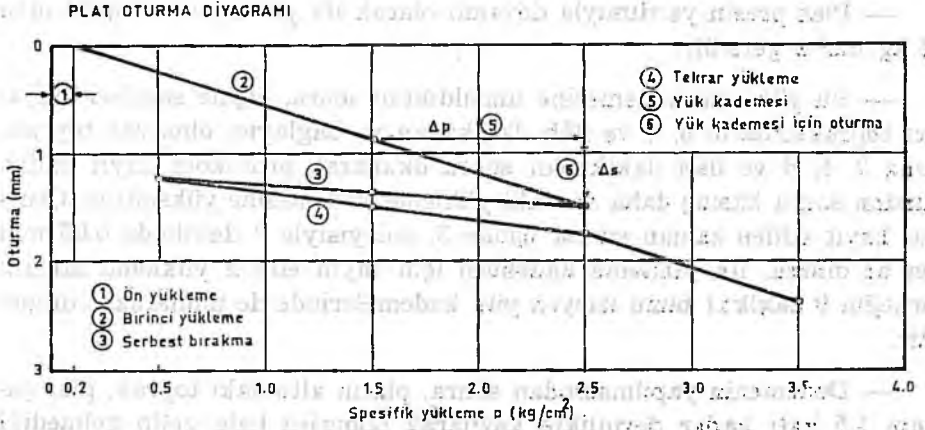
— Alt zemin ve alt yapı :  $0,5 - 1,5 \text{ kg/cm}^2$

— Temel ve taşıyıcı tabaka :  $2,5 - 3,5 \text{ kg/cm}^2$

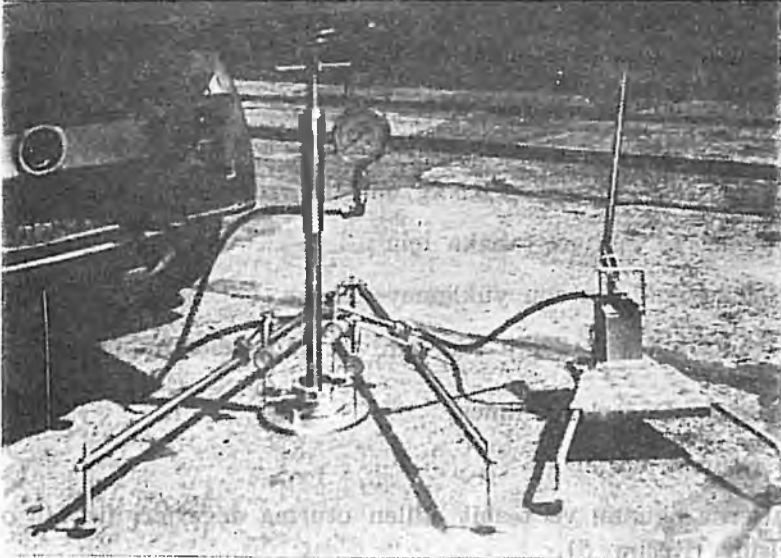
ve belki :  $1,5 - 2,5 \text{ kg/cm}^2$



$M_E$  değerleri ilk yüklemekten hesap edilir.



Resim 5. Plat Oturma Diyagramı.



Resim 6. Plat oturma denemesi.

### Stabilizasyonun Genel Çerçevesi

Bu çerçeve toprak stabilizasyonu ile ilgili olarak sırasıyla :

1. Genel Bilgiler, 2. Stabilizasyon Biçiminin Seçimi, 3. Benimseme Muayenesi, 4. İnşaat Usulleri, 5. Sıkıştırma ve 6. İnşaatın Kontrolü başlıklarındandır.

## 1. Genel Bilgiler

### 1.1 Kavram ve Amaç

Toprak stabilizasyonu, toprağın mekanik ve klimatik zorlanmalara karşı direncinin artmasını sağlamaktadır. Bu amaçla toprağın birleşimi

- dane büyüklüğü sıralanmasını sağlamak,
- bağlayıcı madde katmak,
- kimyasal maddeler katmak

suretiyle o biçimde değiştirilmektedir ki böylece bu toprak yapı malzemesi olarak ortaya konan isteklere uygun duruma gelmektedir.

### 1.2 Stabilizasyon Biçimleri

Aşağıdaki stabilizasyon biçimleri ayırd edilmektedir:

- Mekanik toprak stabilizasyonu
- Kireçle toprak stabilizasyonu
- Çimento ile toprak stabilizasyonu
- Bitümlü maddelerle toprak stabilizasyonu

Bazan aynı yerde birkaç çeşit stabilizasyon da uygulanabilir. Örneğin kireçle stabilizasyon + mekanik stabilizasyon, kireçle stabilizasyon + çimento ile stabilizasyon, mekanik stabilizasyon + bitümlü bağlayıcılarla stabilizasyon.

## 2 Stabilizasyon Biçiminin Seçilmesi

Stabilizasyon biçiminin seçimi aşağıdaki hususlarla ilgilidir:

- Yapı yerinde varolan toprak ile
- Yapı malzemesi olarak elde edilebilecek toprakla
- Stabilizasyon malzemesinin etki biçimiyle
- Yol inşaatında stabilize edilecek tabakaların fonksiyon ve durumu ile

2.1 Yol inşaatında yapı yerinde varolan toprağın taşıma yeteneği çok önemlidir. Bu yetenek

- toprak taşıma sayısının ve toprağın sınıfının tayiniyle
- taşıma yeteneği denemeleriyle anlaşılabilir.

Doğal olarak fazla su ihtiva eden topraklar ( $S_{dg.} > S_{opt}; \gamma_{d_{once}} < \gamma_{d_{opr.}}$ ) zayıf bir taşıma yeteneğine sahiptirler. Örneğin :

$M_E$  — değeri  $< 150 \text{ kg/cm}^2$

CBR — değeri  $< \% 10$  a ulaşamazlar.

$$\gamma_d = \frac{\text{Kuru toprağın ağırlığı}}{\text{Toprağın hacmi}} = \frac{G_s}{V}$$

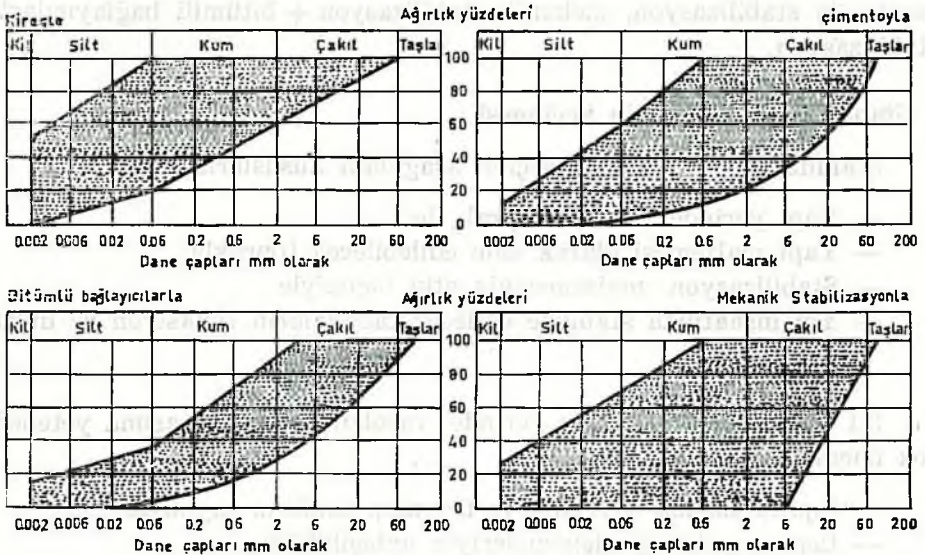
Bu topraklar ya stabilizasyonla ıslah edilir, ya da bunların yerine istenilen en küçük değerlere sahip ve taşıma yeteneği yeterli olan materyal getirilir. Bu materyal ayrıca stabilize de edilebilir.

## 2.2 Yapı malzemesi olarak toprak

Stabilize edilecek toprak arazi ve laboratuvar denemeleriyle tanımlanmalı ve sınıfı belirlenmelidir. Bugüne dek edinilmiş olan tecrübelerin gösterdiğine göre, varolan bir toprakta birçok stabilizasyon biçimleri uygulanabilir.

### 2.2.1 Dane birleşiminin etkisi

Aşağıdaki grafikler belli dane dağılımlarında mümkün olan ekonomik stabilizasyon biçimlerini göstermektedir.



BELLİ DANE DAĞILIMI İÇİN EKONOMİK OLARAK MÜMKÜN OLAN STABİLİZE BİÇİMLERİ

Bu grafiklerde, dane büyüklük gruplarının ağırlık payları yüzde (%) olarak birbirinden 10 ar 10 ar fark etmek üzere linear bir ölçekle ordinat ekseni; bu grupların dane çapları (mm) ise logaritmik bir ölçekle absis ekseni üzerinde işaretlenmiştir.

Logaritmik ölçek: Grafikte absis ekseni boyunca sıralanmış olan (0,002, 0,006, 0,02, 0,06, 0,2, 0,6; 2; 6; 20; 60 ve 200) değerler dane büyüklükleri (mm), bu eksen üzerindeki absis uzunlukları ise, bu değerlerin logaritmalarının farklarıdır. Grafiğin makul bir boyutta olması ve kâğıda sığdırılabilmesi için logaritmik bir ölçek kullanmak zorunlu ve yararlıdır. Zira aksi takdirde, yani linear bir ölçek kullanarak bu uzunlukları soldan itibaren sırasıyla :

0.006 — 0,002 = 0,004 mm yi, yapılmayacak bir şey olmakla beraber  
örneğin 4 mm ile; buna göre:

0,02 — 0,006 = 0,014 mm yi, 14 mm ile;

0,06 — 0,02 = 0,04 mm yi, 40 mm ile;

0,2 — 0,06 = 0,14 mm yi, 140 mm ile;

ve nihayet :

200 — 60 = 140 mm yi, 440 000 mm ile göstermek gerekecektir ki, şüphesiz bu mümkün değildir. Bu sebeple, aşağıda görüldüğü üzere, dane büyüklüklerinin sırasıyla logaritmaları bulunur ve bunların birbirinden farkları hesap edilirse, bu farkları uygun bir ölçekle absis ekseni üzerinde işaretlemek ve bu sayede uygun boyutlarda grafikler elde etmek mümkün olur.

### 2.2.2 Plastisitenin etkisi

Plastisitenin yükselmesiyle toprak daha zor işlenebilmekte ve stabilizasyon için bağlayıcı madde ihtiyacı artmaktadır. Plastisite indexi 15 den küçük olan topraklarda çeşitli stabilizasyon usulleri ekonomik olabilir. Plastisite indexi 15 in üstünde olursa, yalnız kireçle stabilize söz konusu olabilir. Çünkü kirecin etkisiyle plastisite epeyi azalmakta ve toprak adeta açılmaktadır.

### 2.2.3 Organik maddelerin etkisi

Organik maddeler stabilizasyon faktörlerinin etkisini sürekli biçimde engeller. *Benimseme muayeneleri* denilen muayenelerle bu husus mutlaka aydınlığa kavuşturulmalıdır.

### 2.3 Stabilizasyon maddelerinin etki biçimi

- Mekanik toprak stabilizasyonunda :  
Sıkışmanın yükselmesi  
Taşıma yeteneğinin ve dolayısıyla erozyona karşı direncin artması
- Kireçle toprak stabilizasyonunda :  
Su muhtevasının azalması  
Plastisite özelliklerinin değişmesi  
Toprağın suya karşı ilgisinin (Affinitat) değişmesi  
Dona karşı hassasiyetinin azalması  
Direncinin artması
- Çimento ile toprak stabilizasyonunda :  
Daha çok bağlayıcı olmayan toprakların sözkonusu olması  
Plastisite özelliklerinin değişmesi  
Don hassasiyetinin azalması  
Direncin artması
- Bitümlü maddelerle toprağın stabilizasyonunda :  
Daha çok bağlayıcı olmayan topraklarda danelerin birbirine yapışması  
Don hassasiyetinin azalması  
Toprağın permeabilitesinin (geçirgenliğin) zayıflaması  
Direncin artması

### 2.4 Stabilize edilen tabakaların durumu ve fonksiyonu

Stabilize edilen tabakaların çözülme, aşınma ve taşınmağa karşı direnci, çatlaması, flexibilitesi, trafiğe elverişli duruma gelme zamanı v.s. gibi değişen özelliklerinden dolayı, yol inşaatında çeşitli stabilizasyon usulleri aşağıda açıklanan amaç ve yerlerde uygulanır.

- Mekanik stabilizasyon :  
Alt ve üst yapıda
- Kireçle stabilizasyon :  
Herşeyden önce alt yapı ile üst yapı arasındaki geçiş tabakasında
- Çimento ile stabilizasyon :  
Alt yapının en üstteki tabakasında, alt yapı ile üst yapı arasındaki geçiş tabakasında taşıyıcı tabakanın bir kısmında
- Bitümlü bağlayıcılarla toprak stabilizasyonu :  
Taşıyıcı tabakanın üst kısmında, kaplama tabakasında



### 3 Benimseme Muayenesi

Her biçimdeki stabilizasyondan önce; stabilizasyonda kullanılan maddeler arasında istenilen etkinin meydana gelip gelmeyeceği araştırılmalıdır. Bu muayene için süre :

Mekanik stabilizasyonda	20 gün
Kireçle stabilizasyonda	—
— Sürekli etkide (toprak inşaatta)	20 gün
— Uzun süreli etkide (geçiş ve taşıyıcı tabakada)	100 — 150 gün
Çimento ile stabilizasyonda	50 gün
Bitümlü bağlayıcılarla stabilizasyonda	50 gün

Çeşitli stabilizasyonlarda benimseme muayenesi için süreler ilgili açıklamalardan alınabilir.

### 4 İnşaat Usulleri

Karıştırma için iki usul ayırd edilmektedir :

— Yerinde karıştırma usulü (mix - in - place) :

Bu usulde karıştırma inşaat yerinde ve mobil bir karıştırıcı ile yapılmaktadır.

— Merkezi karıştırma usulü (Mix - in - plant) :

Bu usulde karıştırma, merkezi bir karıştırma kuruluşunda yapılmaktadır.

İnşaat usulünün seçimi için :

— Maksimal dane büyüklüğü

— Tabaka kalınlığı

— Gerekli dozajın ve karıştırma oranının bilinmesine ihtiyaç vardır.

### 5 Sıkıştırma

Bitümle stabilizasyon biçimlerinde stabilize edilen toprağın optimal su muhtevasıyla sıkıştırılması lâzımdır.

### 6 İnşaatın Kontrolü

Lüzumuna göre inşaat esnasında ve inşaat bittikten sonra aşağıdaki hususlar bakımından kontrol edilir :

- Dane dağılımı
- Bağlayıcı maddeler
- Dozajın sıhhati
- Karıştırma kalitesi
- Tabaka kalınlığı
- Su muhtevası
- Sıkıştırma (zaman, kalite bakımından)
- Stabilize edilen tabakanın kalınlığı ve düzgünlüğü

### LİTERATÜR

#### Doğrudan doğruya faydalanılanlar :

Schweizerische Arbeitsgemeinschaft Für Forstliche Stassenbau Stabilisierung, Bodenmechanik, Verdichtung.

#### İlgili öbür literatür:

- Hafner, Franz : Der Strassenbau die Fahrzeuge und der Verkehr auf Spurfreien Bahnen. Verlag von Georg Fromme und Co. Wien und Leipzig, 1942.
- Hafner, Franz : Forstlicher Strassen - und Wegebau. Österreichischer Agrarverlag Wien, 1971.
- Winterken, H ;  
Aichern, W. : Grundlagen der Bodenstabilisierung im Strassen - und Wegebau im Selbestverlag der Forschungsgesellschaft, Wien I, Eschenbacstrasse 9, 1960.
- Tavşanoğlu, Faik : Orman Transport Tesisleri ve Taşıtları İ. Ü. Orman Fakültesi Yayınlarından No. 1744/182, 1973.