

S. CAK AKKAYAN

SERİ  
SERIE B

CİLT  
TOME XVIII

SAYI  
FASCICULE 1

1968

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
ORMAN FAKÜLTESİ  
DERGİSİ

REVUE DE LA FACULTE DES SCIENCES FORESTIERES  
DE L'UNIVERSITE D'ISTANBUL





## YOL İNŞAATINDA ZEMİN ETÜDLERİ

Yazan :

Doç. Dr. Selçuk BAYOĞLU

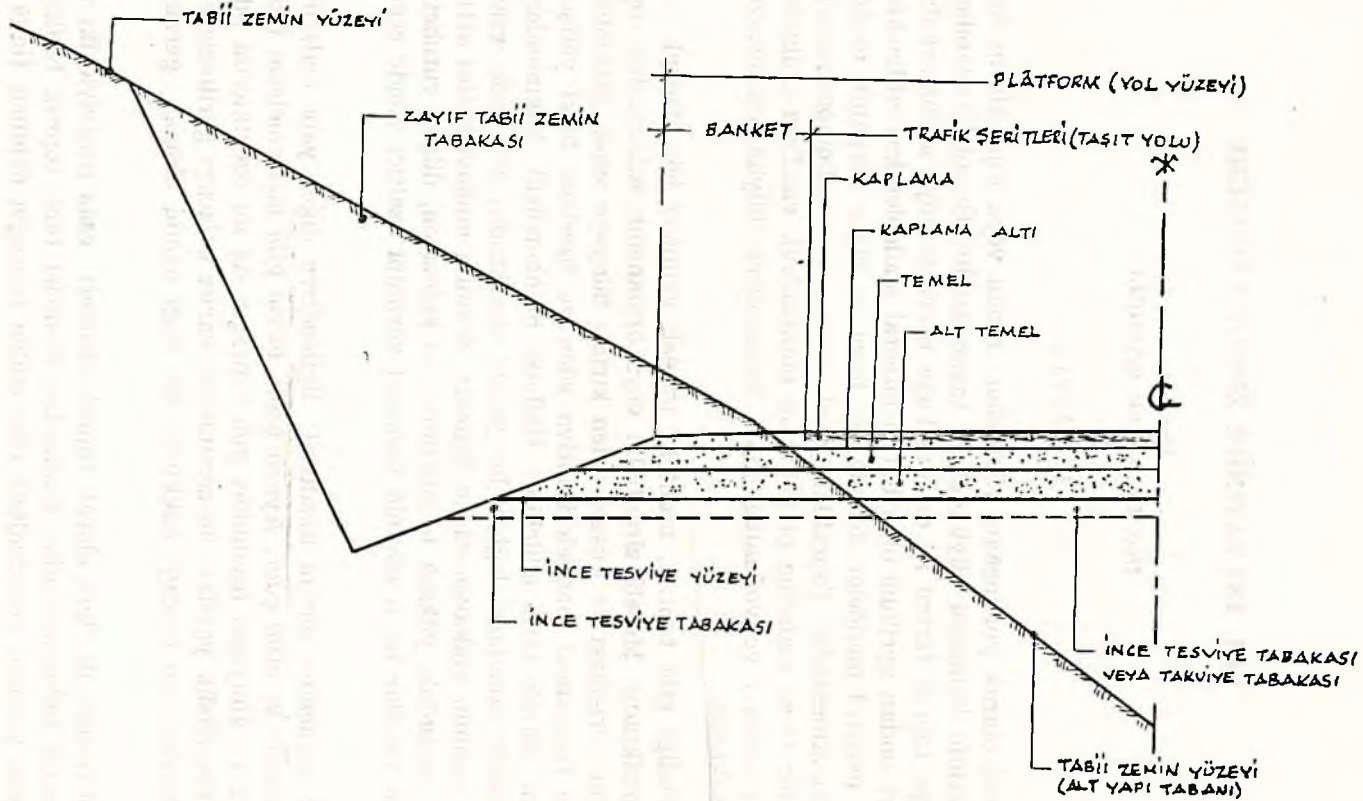
### 1. Giriş

Genel olarak yol inşaatı yönünden zemin veya toprakların fiziksel özelliklerinin bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Burada kullanılan zemin veya toprak terimi ile de ana kaya üzerinde veya aralıklarında bulunan ve ondan ayrılmış olan bütün mineral maddeler kastedilmekte ancak bu mineral maddeler dışında su, hava ve diğer organik maddeleri de ihtiva etmektedir. Topraklar gayri mütecanis (nonhomogeneous) geçirgen bir yerel malzeme olup bunun mühendislik vasıfları muhtevastadaki su miktarı ve yoğunluğundaki değişmelerle büyük varyasyonlar göstermektedir.

Bilindiği gibi toprak, muhtelif meslek grupları için değişik manalar taşımaktadır. Meselâ ziraatçılık veya ormancılık bakımından toprak, kayaların ayrışması ile husule gelen kırıntı bünyeye sahip gürümüş bitkisel ve hayvansal maddeleri ihtiva eden ve üzerinde bitki yetişebilen materyal olarak tarif edilebilir. Halbuki mühendislik bakımından zeminin etüdü tamamen değişik bir yönde olmaktadır. Mühendis esas itibariyle zeminin mukavemeti ile ilgilenir. Zeminin mukavemetini arttıran, yüksek yoğunluk, yüksek iç sürtünme ve kohezyon, düşük rutubet nisbeti gibi vasıflar ise o zeminin tarımsal verimini azaltıcı yönde etki yaparlar.

Bir mühendis zemini kendisini ilgilendiren diğer yapı malzemeleri gibi düşünür ve etüd eder. Aynen çelik, beton gibi malzemelerin fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri gibi toprağın da bu özelliklerini bilmesi keza mühendislik yapıları ile zeminlerin maruz kalacağı gerilmelere mukabil tesirinin ne olacağı hakkında bir bilgi sahibi olması gerekmektedir.

Yol inşaatı ile ilgili olarak toprak etüdleri esas itibariyle iki maksada matuf bulunmaktadır. Bunlardan birincisi tabii toprak birikintilerinin veya kazıdan (yarmadan) elde edilen toprağın dolduru (imlâ) temeli olarak kullanılabilcek nitelikte bulunup bulunmadığının tesbitidir.



Şekil. 1. Bir karayolunun enine kesiti

Diğeri ise toprağın inşaat malzemesi yani yolda üst yapı malzemesi olarak kullanılabilme imkânının tayinidir.

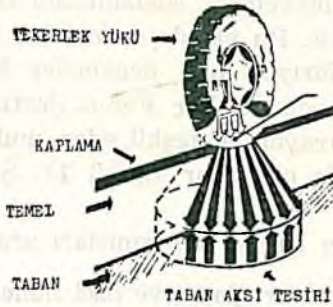
Karayolu inşaatında 1920 senesine kadar özellikle kaplama ve diğer aşınma tabakalarına büyük önem verilmiş, buna mukabil alt yapıyı teşkil eden malzeme ve bunun inşa ve sıkıştırılma şekli üzerinde hemen hiç durulmamıştır. Ancak bu tarihten sonra artan vasıta hızları gerek güzergâh ve gerekse meyil itibarıyla daha yüksek vasıflı yolların inşası zaruretini doğurmuş ve bu da ancak daha derin kazı ve daha yüksek doldurulardan oluşmuş yolların yapımı ile sağlanabilmiştir. Gene bu gelişmeye paralel olarak yollar üzerinde seyreden vasıtaların hem ağırlıkları ve hem de sayıları çoğalmış ve binnetice yol satırları daha ağır ve daha sık tekerrür eden aks yüklerine maruz kalmıştır. Trafikteki ağırlık ve tekerrür artışları neticesinde inşa edilen yollarda yer yer bozulmalar ve çöküntüler görülmeye başlanmış, bu hataların tetkiki de bunların kaplamanın değil alt yapının inşaatındaki hatalardan ileri geldiğini göstermiştir. Dolayısıyla ancak bu tarihten sonra alt yapıyı teşkil eden toprakların etüd edilmesine ve keza bu temel zeminlerinin mevcut tesirlere en iyi şekilde mukavemet edebilmesini temin edecek şartların araştırılmasına başlanmıştır. Bu yazıda zeminlerin imlâ ve yol inşa malzemesi olarak kullanılmalariyla ilgili denemeler üzerinde durulacaktır. Ancak konuya girmeden önce Yollar Fenni Şartnamesinde kaplamalı olarak inşa edilmiş bir karayolunu teşkil eden muhtelif kısımların kısaca izahını yapmak yerinde olacaktır (Şekil 1). Şekilden de görüldüğü gibi;

1. Platform — Yolun banket dış sınırları arasında kalan kısımdır.
2. Kaplama — Motorlu araçların ve özel hallerde diğer taşıt ve yaların geçmesine ayrılan şeritlerin yapımında kullanılan en üst tabakadır.
3. Kaplama altı tabakası — Kaplama tabakası ile temel tabakası arasında bağlantıyı sağlayan, yük dağıtımı ve düzgünlük, sağlamlık bakımlarından temel ve kaplama gibi görevi olan tabakadır.
4. Temel tabakası — Yola gelen yükleri taşıyan ve alt temel veya alt yapıya intikal ettiren tabakadır.
5. Alt temel tabakası — Yola gelen yükleri daha ucuz bir yapıyla alt yapıya intikal ettirmek üzere alt yapı ile temel tabakası arasına koyulan tabakadır.
6. Üst yapı — Kaplama, kaplama altı, temel ve alt temel tabakalarını içine alan yol yapısıdır.



7. Alt yapı — Yolun üst yapı kısmı altında kalan kısımdır.
8. İnce tesviye yüzeyi veya üst yapı tabanı — İnce tesviyesi yapılmış yol alt yapısına ait en üst yüzeydir.

Yukarıdaki izahat ve şekilden anlaşılacağı üzere bir kazı veya dolurunun teşkilinden, kısaca yolun yapılmasından gaye, meydana getirilecek olan bünyenin elâstik bir halde üzerine gelen kuvveti azaltarak taban toprağına bir koni şeklinde intikal ettirmek, böylece de taban toprağını, o zemin tipinin taşıma kapasitesinin üzerinde bir yüklenmeye maruz bırakmamaktır (Şekil 2). Bunu temin maksadiyle yol üzerine vasıtalarından intikal eden yükün belli kalınlıklardaki muhtelif tabakalardan geçtikten sonra temel zeminine intikali gerekmektedir. Şüphesiz zeminlerin özellikleri diğer yapı malzemelerinininki kadar kesinlikle bilinemediği için bu tabakaların kalınlıklarının tayini maksadiyle yapılan hesaplardaki sıhhat tam olamamaktadır. Fakat böylece yapılacak hatayı asgariye indirebilmek ve trafik yükü dolayısıyla göçme olmadan yolun uzun süre maksada hizmet etmesini sağlamak mümkün olabilmektedir.



Şekil 2. Tekerlek yükünün yol tabanına intikali

Genellikle yol hesaplarında kabul edilen esas, gelen yüklerin (toplam kamyon ve otobüs sayısı dingil sıklıkları yekûnu) üst yapı (döşeme) adı verdiğimiz alt temel, temel ve kaplama tabakaları tarafından taşınacağı keyfiyettir. Bu tabakaların kalınlıkları ise taban toprağına taşıma kabiliyetine göre tayin edilir. Ayrıca bu tabakaların herbirisinin teker teker kendilerinden bekleneni ifa edebilmeleri için muayyen grânlümetreyi ve muayyen özellikleri haiz olmaları gerekir. Gene aynı şekilde üst yapının oturduğu ve ona istinad teşkil eden taban topraklarının da belli şekil ve ölçüde sıkıştırılmış olması şarttır. Görüldüğü gibi yol inşaatı yönünden zeminlerin etüdü ile ilgili olarak yol gövdesini biri üst yapı diğeri temel veya alt yapı olarak iki ana grupta mütalâa etmek gerekmektedir. Zira herşeyden evvel bu iki kısmın malzeme bakımından

istekleri farklıdır. Üst yapı için sadece spesifikasyonlara uygun belli granülimetride malzeme kullanmak gerekmektedir ki bu tatbikatta stabilize malzeme veya granüler stabilize malzeme olarak isimlendirilmektedir. Taban veya alt yapıyı teşkil edecek zeminlerin ise sıkıştırıldıktan sonraki özgül ağırlıklarının belli bir miktarın ( $1442 \text{ kg/m}^3$ ) altına düşmemesi maksada kâfi gelmektedir.

## 2. Zeminleri teşkil eden danelerin adı ve ebadı

Zeminler elek analizi ve evsaflarına göre genel olarak aşağıdaki tabloda gösterildiği gibi tavsif edilirler:

Sınıfı	Dane ebadı	Standart Amerikan Eleklerinden <sup>1)</sup>			
		Geçtiği		Kaldığı	
Çakıl	76.2 — 2.0 m/m	3	inç	10	No
Kaba kum	2.0 — 0.42 «	10	No	40	No
İnce kum	0.42 — 0.074 «	40	No	200	No
Silt	0.074 — 0.005 «	200	No	—	
Kil	0.005 — 0.001				
Kolloit kil	0.001 mm. den küçük.				

Bunlardan çakıl ve kum kaba daneli malzeme olup gözle ayırđedilebilirler. Çakıl ve kaba kum umumiyetle su tesiri ve aşınmalarla az çok yuvarlaklaşmış olduğu halde ince kumlar daha köşeli daneciklerden mürekkeptir. Çakıl ve kumların taban toprağı gibi sıkıştırıldıklarında tekerlek yüklerine karşı gösterdikleri yüksek taşıma kabiliyetleri, kolayca su geçirmeleri ve rutubet değışiklikleri karşısında büzülme ve kabarma hassalarının az olması gibi özellikleri vardır.

Siltler, ince kum gibi mineral terkibe sahip ise de kimyasal ayrışma neticesinde meydana gelmişlerdir. Umumiyetle rutubet nisbetinin değışimi ile mühim büzülme ve kabarmaya maruz kalırlar. Tekerlek yükleri altında değışik stabilite gösterirler. Ufak bir miktarı ağıza alınıp çiğnendiğı zaman kumlu bir his vermesiyle kilden kolaylıkla ayrılır.

Kil tanecikleri silt taneciklerinden daha küçük olup ağızda çiğnendiğı takdirde kum hissi vermezler. Bunlar hemen daima kimyasal ayrışma neticesinde meydana gelir ve çoğunlukla levha şeklindeki yassı daneciklerden müteşekkildir. Ekseriyetle büyük rutubet değışikliklerine

1) Zeminlerin sınıflandırılması ve müteakip denemelerde kullanılanlar standart Amerikan elek ve aletleri olduğu için karayolları idaresi gibi bu yazıda da Amerikan ölçü birimleri kullanılmıştır.



rağmen plâstisitelerini muhafaza ederler. Kuru iken taşıma kabiliyetleri yüksektir ve rutubet ile büyük hacim değişimleri gösterirler.

Gene malzemeler dane büyüklüklerine göre iki kısma ayrılmaktadır. Bunlardan 200 No. lu elek üzerinde kalan kısmı agrega, granüler fraksiyon veya daneli kısım gibi isimlerle anılmakta; 200 No. lu eleği geçen kısma ise toprak fraksiyonu veya ince toprak adları verilmektedir.

Stabil bir karışımda granüler fraksiyonun mukavemet ve sertlik temin ettiği ve bundan başka beton içindeki agrega gibi bir rol oynadığı kabul edilmektedir. Siltler, filler gibi bir vazife görür ve granüler kısmın oynamamasına yardım eder. Kil ise bağlayıcı madde olarak bütün fraksiyonları sağlam ve dayanıklı bir kitle halinde bağlamaya yarar.

### 3. Zemin denemeleri

Zeminlerin özelliklerini tesbit maksadıyla arazide ve laboratuvar-da bir takım denemeler yapılmaktadır. Burada sırası ile bu denemelerin ne maksatla ve nasıl yapıldıkları kısaca ve ana hatları ile izah edilecektir.

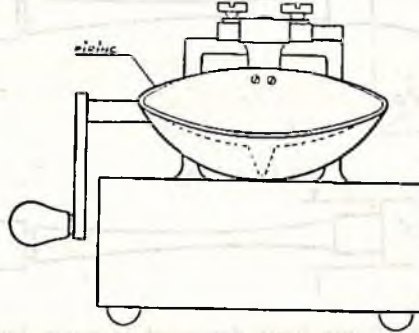
a. **Elek Analizi.** Bu tecrübe bir malzemenin içinde bulunan çeşitli büyüklükteki unsurların iştirak nisbetlerini tayin için yapılır. Yani malzeme daneciklerinin büyüklük ve granülimetrisi elek analizi ile tayin edilir. Bu deneme standart açıklıktaki delikleri ihtiva eden ve gene standart kalınlıktaki tellerden yapılmış eleklerle yapılır. Memleketimizde kabul edilmiş standart Amerikan eleklerinin özellikleri aşağıda gösterilmiştir:

Elek delik ebadı (inç)	2	$1\frac{1}{2}$	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$	4	10	40	200
Elek Numarası									
m/m olarak açıklık	50.8	38.1	25.4	19.1	9.52	4.76	2.0	0.42	0.074

Bu eleklerin hepsinde açıklıklar (delikler) kare şeklindedir ve elek numaraları 1 inçlik bir kenardaki delik sayısını (veya elek teli sayısını) ifade etmektedir.

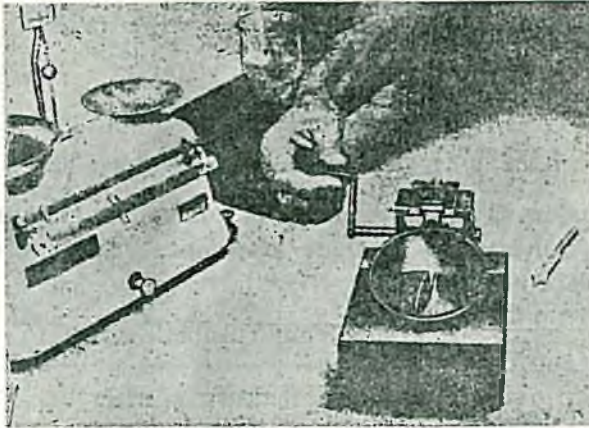
Elek analizi yapmak için araziden gelen numunedan yeter miktardaki bir kısmı ayrılarak havada kurutulup tartılır ve yukarıdaki sıraya göre değişik çaplı eleklerden elenir ve her elekte kalan miktarın ağırlığı tesbit edilir. Bu değerlere dayanarak da numunedan veznen her dane büyüklüğünden % ne miktar bulunduğu hesab edilir.

b. **Likit limit (LL)**. Bir numunenin likit limiti, bu numunenin plâstik halden likit hale geçtiği anda ihtiva ettiği rutubet nisbetidir. Numunenin ihtiva ettiği su nisbetinde bu değerden bir azalma olduğu takdirde numune likit durumdan plâstik duruma geçer. Genel bir ifade ile likit limit, çok cüzi bir kesme kuvvetine maruz bırakıldığında numunenin akıcı duruma geçtiği minimum rutubet miktarıdır.



Şekil 3. Likit limit (Casagranda) aleti

Likit limit denemesi, standart likit limit aleti veya geliştirenin adına izafeten Casagranda aleti ile (Şekil 3 ve 4) ve 40 No.lu elekten geçen (0.42 mm.) iyice kurutulmuş takriben 100 gramlık temsili bir nu-

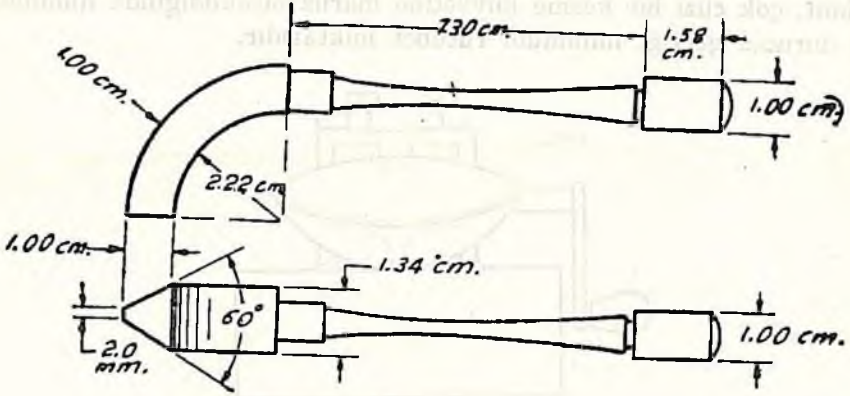


Şekil 4. Likit limit (Casagranda) aleti

mune ile yapılır. Önce numuneye 15-20 gr. arı su ilâvesiyle elde edilen karışımdan bir miktar alınarak likitlimit âletinin prinç çanağına konur. Spatula ile en kalın noktadaki kalınlığı 1 cm olacak, içinde hava boşluğu kalmıyacak şekilde düzeltilir ve standart kanal (iz) açma bıçağı ile ka-

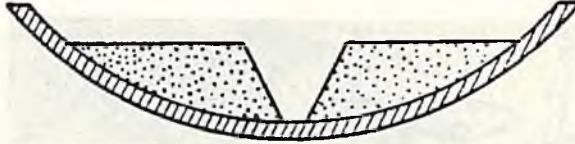


bın çapı boyunca bir oluk açılır (Şekil 4-5 ve 6). Bu durumda likit limit aletinin kolu, prinç çanağı saniyede iki düşüş yapacak bir hızla çevrilir. Bu düşüşler oluğun 1 ilâ 1,5 cm uzunluğunda kenarlarının birbirine yapışmasına kadar devam eder ve bu ana kadarki darbe sayısı kaydedilir



Şekil 5. Likit limit denemesi iz açma bıçağı

(Şekil 7). Denemeye, bu neticeye 30-40; 30-20 ve 20-10 darbe sayısında ulaşılabilecek şekilde numune sulandırılarak devam edilir. Burada rutubet nisbeti her defasında alınacak numunenin yaş ve 110°C de kurtul-



Şekil 6. Likit limit denemesinde açılan iz

muş ağırlıklarından faydalanılarak tayin edilir. Her numunenin rutubet miktarı fırında kurutulmuş numune ağırlığının yüzdesi olarak aşağıdaki formülle hesap edilir:

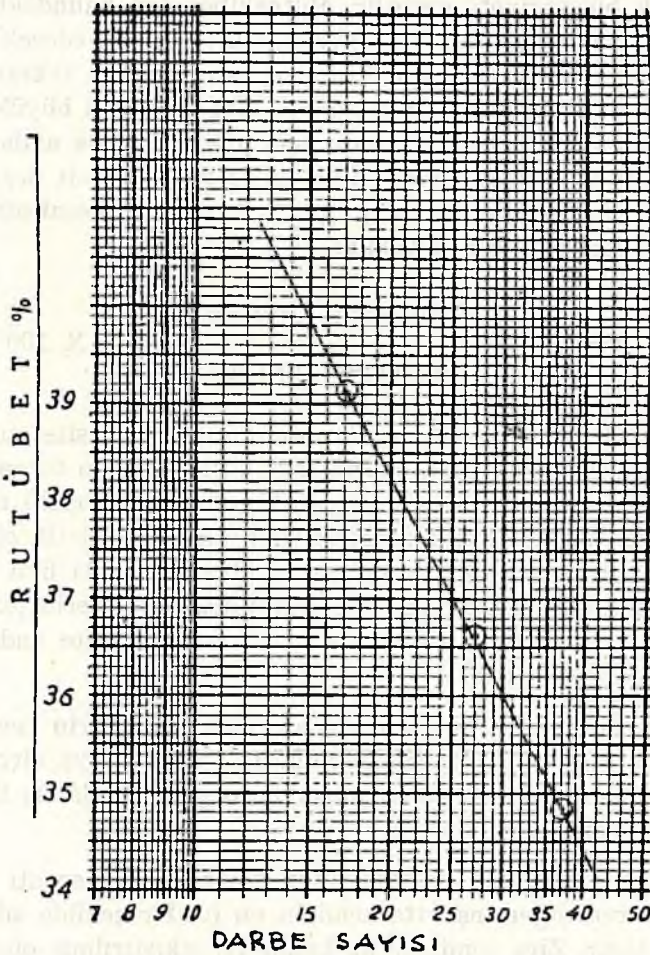
$$\text{Yüzde rutubet} = \frac{\text{Numunenin rutubetli ağırlığı}}{\text{Numunenin kuru ağırlığı}} \times 100 \quad (1)$$

Rutubet nisbetleri ile bunlara tekabül eden darbe sayıları, bunlardan ilkinin aritmetik ikincisinin ise logaritmik mikyas üzerine çizilmesi ile likit limit grafiği elde edilir. Grafik 3 veya daha fazladaki noktaya mümkün olduğu kadar yakın olarak çizilen bir doğrudan ibarettir (Şekil 8).

Numunenin likit limit değeri 25 darbe adedinden çıkılan dikin grafiği kestiği noktaya tekabül eden rutubet miktarıdır. Meselâ şekildeki numune için likit limit değeri 37 dir.



Şekil 7. Likit limit denemesinde açılan izin denemeden sonraki durumu



Şekil 8. Likit limit grafiği



c. **Plâstik Limit (P.L.)**. Bir numunenin plâstik limiti, bunun plâstik haldeki en düşük rutubet nisbetidir. Daha geniş bir ifade ile plâstik limit, su ile karıştırılarak top haline getirilebilen numunenin kopmadan 3 mm (1/8 inç) çapında silindir teşkil edecek şekilde elle yuvarlanabildiği en düşük rutubet miktarını ifade etmektedir (Şekil 9). Şu halde rutubet nisbeti plâstik limitin altına düşünce numune plâstik halden yarı katı hale geçer ve bunun tezahürü de elle yuvarlanan numunenin henüz 3 mm çapa gelmeden parçalara bölünmesidir (Şekil 10).

Bu deneme de 40 numaralı elekten geçen malzeme ile yapılır ve önce hava kurusu numune arı su ilâvesiyle iyice karıştırılarak top haline gelebilen plâstik bir vaziyete getirilir. Müteakiben top halindeki bu numune cam veya kaba kâğıt üzerinde ince silindirler teşkil edecek şekilde elle yuvarlanır. Bu silindirin çapı 3 mm.ye indiği zaman tekrar top yapıp yuvarlanır ve bu tecrübe 3 mm veya 3 mm den daha büyük silindirler çatlayıp parçalanıncaya kadar devam eder (Şekil 9). Bu anda alınan bir numunenin rutubet nisbeti tayin edilir ve bu plâstik limit değerini verir. Bu numunenin fırında kurutulmuş ağırlığı üzerinden hesabedilen plâstik limit değerini veren formül şöyledir:

$$\text{Plâstik limit} = \frac{\text{Numunenin rutubetli ağırlığı}}{\text{Numunenin kuru ağırlığı}} \times 100 \quad (2)$$

d. **Plâstisite endeksi (P.I.)**. Bir numunenin plâstisite endeksi, likit limit değerleri arasındaki fark olarak tarif edilir. Kumlu topraklarla siltlerin plâstisite endeksleri belirli bir şekilde düşük killerinki ise yüksektir. Kumlar gibi plâstik limiti olmayan topraklar ise plâstik olmayan zeminler (non Plâstik — NP) adını alırlar. Plâstik limiti likit limite eşit olan veya bu iki değeri birbirine çok yakın olan zeminlerin plâstisite endeksi sıfırdır. Bu izahlardan anlaşılacağı üzere plâstisite endeksi zemin harcının inceliğini gösterir.

Tecrübeler plâstisite endeksi yüksek olan zeminlerin temel altı ve temel tabakası (üst yapı) malzemesi olarak kullanılmaya elverişli olmadığını göstermiştir. Bir çok şartnameler bu değeri sınırlamış 6 dan fazla olmaması gerektiğini belirtmiştir.

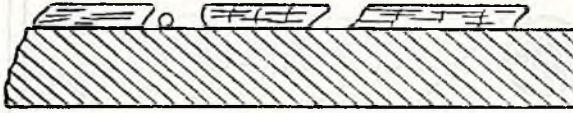
e. **Taban toprağının yoğunluğunun tayini**. Yol inşaatı ve toprak işlerini gerektiren diğer inşaatlarda zeminin en iyi bir şekilde sıkıştırılması büyük önem taşır. Zira zeminler ne kadar iyi sıkıştırılmış olurlarsa yük taşıma kabiliyetleri o kadar yükselir ve binnetice zeminde ileride vaki olabilecek çöküntüler azaltılmış, toprağın kesme kuvveti yükseltilmiş ve

keza su geçirirliiği de azaltılmış olur. İste bu sebepler dolayısıyla de yol inşaatında zeminler sıkıştırılmaktadır.



Şekil 9. Plastik limit denemesi

Zeminlerin sıkışma durumunu tesbit maksadıyla toprak tabii durumda iken ve sıkıştırıldıktan sonra arazide yoğunluk tayini denemeleri yapılır. Bir toprak tabakasının özgül ağırlığı, bozulmuş toprak numunesinin ağırlığının bu numunenin yerinden çıkarılmadan önce işgal ettiği hacme bölünmesi ile tayin edilir. Bu hacim, birim ağırlığı önceden tayin edil-



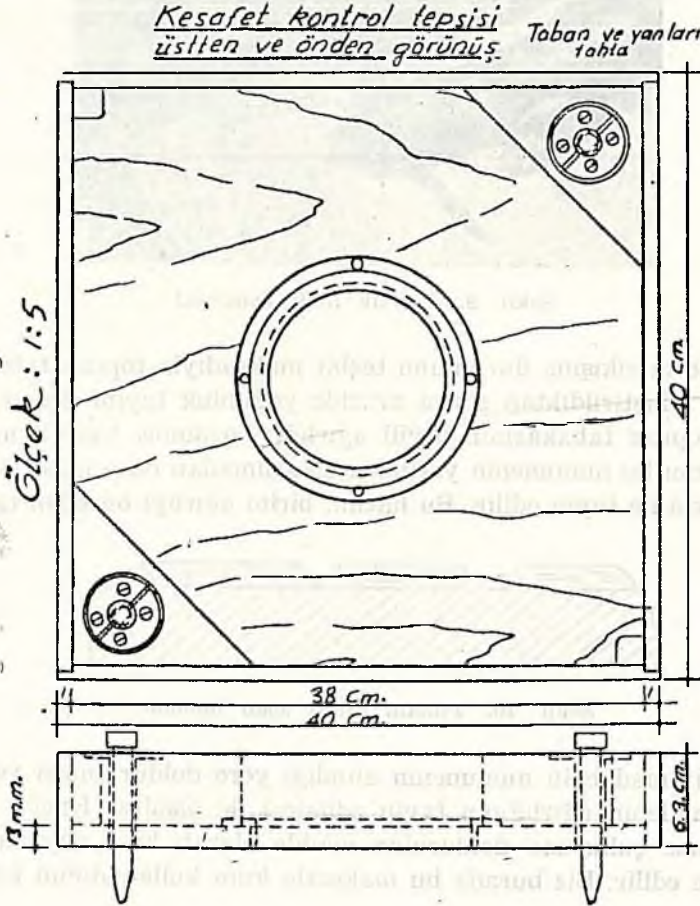
Şekil 10. Plastik limiti aşan numune

miş olan bir maddenin numunenin alındığı yere doldurulması ve bu doldurulan maddenin ağırlığının tayin edilmesi ile ölçülür. Hacim ölçülmesinde numune çukuruna doldurulan madde olarak kum veya ağır yağdan istifade edilir. Biz burada bu maksatla kum kullanıldığını kabul edeceğiz.

Taban toprağı kesafetinin tayininde önce, hacim ölçülmesinde kullanılacak ölçü kumunun özgül ağırlığı, belli hacimdeki bir kaba belli yükseklikten bir huni vasıtasıyla döküp üzerindeki fazla kısmı cetvelle aldıktan sonra ağırlığının bulunması ve hacmine bölünmesi ile hesap edilir. Bu şekilde en az üç deneme yapılarak tecrübe kumunun özgül ağırlığı elde edilir.



Arazide özgül ağırlığı tayin edilecek yerde gevşek toprak temizlendikten sonra ortasında dairevi bir delik bulunan ve yoğunluk kontrol tepsi adı verilen (Şekil 11) alet yanlarındaki çiviler yardımıyla zemine sağlam bir şekilde tesbit edilir. Özgül ağırlığı tayin edilecek tabakanın yüksekliğince bir burgu vasıtasıyla, özgül ağırlık kontrol tepsi ortasındaki dairevi delik kısmından bir çukur açılır. Bu çukurdan çıkarılan bütün toprakların tamamı, ufak kaşıktan da yararlanılarak, tepsiye alınır ve bu



Şekil 11. Yoğunluk kontrol tepsi

esnada hiç toprak kaybı olmamasına dikkat edilir. Ancak bu arada toprak içinde bulunan ve 4 nolu eleğin (4.76 mm) üzerinde kalan taşlar ayrılarak bir kenara konur. Çukurdan çıkan bütün toprak tartılarak ağırlığı kaydedilir ve bu toprak iyice karıştırıldıktan sonra rutubet tayini için

bundan ufak bir miktar numune alınır. Burgu ile açılan çukuru doldurmaya kâfi gelecek miktardan daha fazla ölçü kumu alınıp tartılır, bunun özgül ağırlığı tayin edilirken döküldüğü yükseklikten ve gene huni ile dökülerek çukur zemin seviyesine kadar dolması sağlanır. Bu arada daha önce ayrılan ve 4 nolu elek üzerinde kalan taşlar da çukurun içersine konur. Kullanılan ölçü kumu ağırlığından, bunun daha önce tesbit edilmiş özgül ağırlığı yardımıyla açılan çukurun hacmi bulunur. Çukurun hacmi  $V$  ( $m^3$ ); çukura doldurulan kumun ağırlığı  $W_1$  (kg) ve ölçü kumunun özgül ağırlığı  $D_2$  ile gösterildiği takdirde, şöylece hesaplanır.

$$V = \frac{W_1}{D_2} \quad (3)$$

Çukurdan çıkarılan rutubetli toprağın ağırlığı  $W_s$  (kg) olduğuna göre rutubetli zeminin özgül ağırlığı da  $kg/m^3$  olarak

$$D_1 = \frac{W_s}{V} \quad \text{ile bulunur} \quad (4)$$

Alınan numunenin fırında kurutulduktan sonraki özgül ağırlığı  $D$  ( $kg/m^3$ ) ise; rutubet nisbeti yüzde olarak  $W$  ile gösterildiğinde

$$D = \frac{D_1}{1 + \frac{W}{100}} \cdot W \quad (5) \quad \text{formülü ile tayin edilir.}$$

**f. Zeminin sıkışma denemesi.** Yukarıda da ifade edildiği gibi bütün toprak işlerinde zeminin sıkıştırılması büyük önem taşımaktadır. Yol inşaatında arzu edilen neticenin elde edilebilmesi için gerek yol sathının ve temel ve alt temel tabakalarının gerekse tabanın mümkün olduğu kadar fazla sıkışık bir kitle haline getirilmesi gerekmektedir. Sıkışma kitlenin özgül ağırlığı ile ölçülür. Sıkışmanın mahiyeti hakkında henüz bilinenler çok az olmakla beraber bu ameliyede suyun çok önemli bir rol oynadığı kesin olarak anlaşılmıştır. Kuru toprağa su ilâve edildiğinde su bu toprak tanelerinin etrafında ince bir film tabakası teşkil eder ve su vermeye devam edildikçe bu film tabakası da kalınlaşarak taneciklerin birbiri üzerinde kaymasına sebep olur ki bu «yağlanma» olarak nitelendirilir. Yağlanma sadece ince taneli topraklar için bahis konusudur, zira iri taneli olan topraklarda su filminin kalınlığı tane çapına göre çok küçüktür.

Kuru bir toprak numunesine ilâve edilen su, yağlanma sebebiyle sıkışmayı kolaylaştırmaktadır. Ancak belli bir miktardan sonra su artık toprağın ince danelerle dolabilecek boşluklarını da işgal ettiği için sıkış-

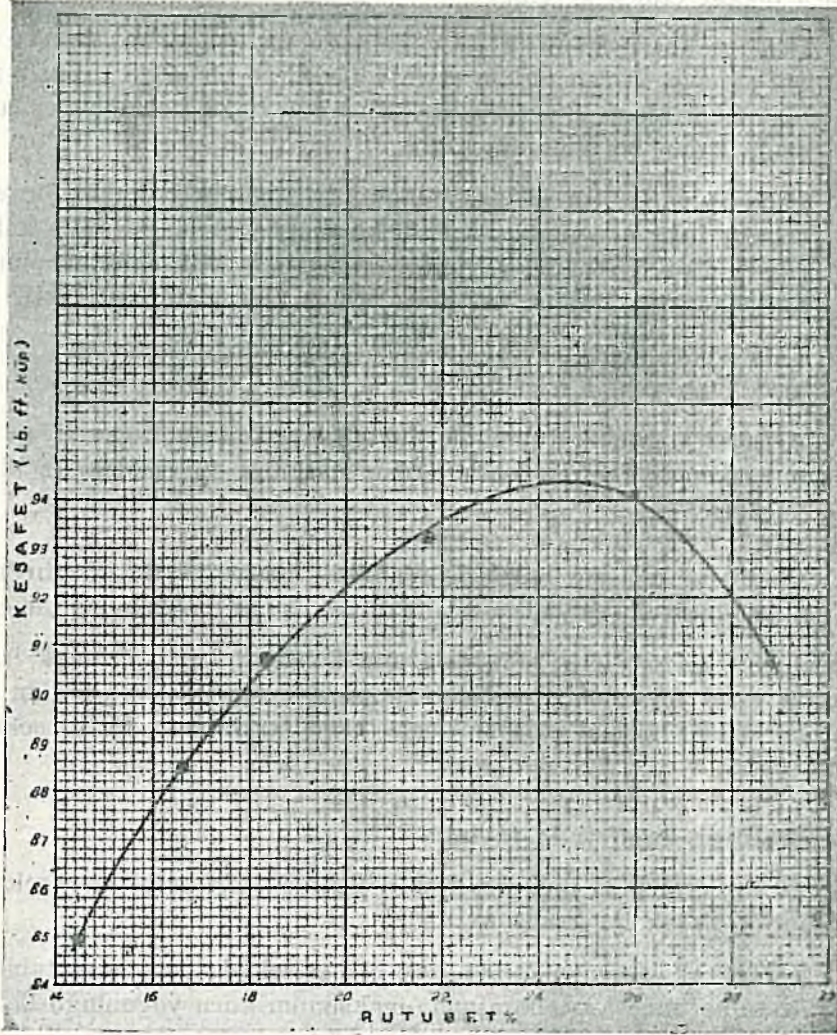


tırma ile yoğunluğunda bir artış sağlanamamaktadır. Dolayısıyla toprağın yoğunluğunu en yüksek kıymete çıkararak ve sıkışmayı mümkün kılan rutubet miktarı için bir optimum değer mevcut bulunmaktadır. Tatbikatta bir toprağı en yüksek yoğunluğı kazanacak şekilde sıkıştırabilmek için ona verilmesi gereken su miktarının tayini bu bakımdan büyük önem taşımaktadır. Bu tecrübe ile elde edilen yoğunluk ve rutubet miktarlarına bakılarak arazide fiilen bu durumun sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir.

Sıkışma denemesinin gayesi, laboratuvarında, araziden getirilen numunelerin değişik rutubet nisbetlerinde ve belli şartlar altında sıkıştırılarak hangi rutubet derecesinde en yüksek sıkışmanın sağlandığını tespit etmektir. Bu deneme, standart 4 inç (10.2 cm) çapında 4.6 inç (11.7 cm) yüksekliğinde bir kalıp ile aynı çapta 2.5 inç (6.4 cm) yüksekliğinde takılıp çıkarılabilen bir kalıp başlığı ve 2 inç (5 cm) çapında 12 inç (30 cm) yüksekten düşen 5.5 libre (2.5 kg) ağırlığında bir tokmaktan faydalanılarak yapılmaktadır. Denemede 4 Nolu elekten geçen toprak kısmı kullanılmaktadır.

Denemenin başlangıcında numune hafifçe ıslatılarak avuçla sıkıldığı zaman top haline gelebilir bir şekle getirilir ve yukarıda ebadı verilen kalıba üç eşit tabaka halinde serilerek her tabaka satıhtan 12 inç (30 cm) yükseklikten düşürülen tokmağın 25 darbesi ile sıkıştırılır. Bu, arazide, 22 cm gevşek kalınlıkta olan bir tabaka üzerinden 4.5 ton ağırlığındaki keçi ayağı silindirin 32 defa geçişle sağladığı sıkışmaya tekabül etmektedir. Aynı ayrı her tabaka 25 darbe ile sıkıştırıldıktan sonra kalıp başlığı çıkarılıp yüzü cetvelle düzeltilir. Bu numunenin ağırlığı bulunur ve rutubet nisbetini tayin için bir numune alınır, geri kalan sıkışmış toprak 4 nolu elekten geçecek kadar ufalanır. Her defasında verilen rutubet miktarı yükselttilerek aynı deneme en az 5 defa tekrarlanır. Bu laboratuvar yoğunluk denemesi yapılırken rutubet miktarı arttıkça yoğunluk da artar ve nihayet belli bir rutubet nisbetinden sonra düşmeye başlar. Bu andan sonra denemeye nihayet verilir. Rutubet miktarları ile her bir rutubet miktarına tekabül eden yoğunluklara dayanılarak bir eğri çizilir. Ekseriya düzgün bir parabol olan bu eğrinin maksimum noktasının koordinatları maksimum kuru yoğunluk ile optimum rutubet miktarını gösterir (Şekil 12).

Laboratuvar maksimum yoğunlukları 90-105 Lb/ft<sup>3</sup> arasında olan topraklarda arazide % 100 ile % 105 oranında bir sıkışma, 105 Lb/ft<sup>3</sup> ve daha yukarı yoğunlukta olan topraklarda ise arazide % 95 oranında bir sıkışma istenmektedir. Diğer bir ifade ile laboratuvar sıkışma tecrübeleri ile maksimum yoğunluğı meselâ 100 Lb/ft<sup>3</sup> olarak bulunan bir top-



Şekil 12. Maksimum yoğunluk eğrisi

rağın arazide de sıkıştırıldıktan sonraki yoğunluğunun  $100 \text{ Lb/ft}^3$  buna mukabil laboratuvarda  $105 \text{ Lb/ft}^3$  maksimum yoğunluk sağlanan bir toprağın arazideki sıkıştırılmış yoğunluğunun  $105 \times \% 95 = 99.8 \text{ Lb/ft}^3$  olması gerekir. Eğer bir toprağın laboratuvar maksimum yoğunluğu  $90 \text{ Lb/ft}^3$  den küçükse bunun imlâda kullanılması tehlikelidir. Bu takdirde hidrometre ve büzülme denemelerinin yapılması gerekir.



Toprakların laboratuvarında ve arazide yoğunluklarının tayininde şu hususlara dikkat etmek gerekir:

1. Deneme kumu 80-90 lb/ft<sup>3</sup> yoğunluğunda, yıkanmış olacak; özgül ağırlığı 10 deneme ile tayin edilecek ve birbirine yakın 6 neticenin ortalaması alınacaktır. Bu kum 20-30 nolu elekler arasında kalan bir kum olacaktır.
2. Laboratuvarında toprak yoğunluğu tayin edilirken kalıba üç eşit tabaka halinde konulacaktır. Tokmak dik vurulacak, elle kaldırılıp indirilmeyecektir. Düşüşün daima aynı yükseklikten olması sağlanacaktır. Kalıbın üst kısmı itinalı olarak düzeltilenecektir.
3. Elde edilen noktalar yardımıyla kabil olduğu kadar grafiği simetrik bir şekilde çizmeye çalışılacaktır.
4. Arazide yoğunluk tayininde çukurdan çıkan toprağın ziyan olmamasına dikkat edilecek, çukur derinliği 15 cm.den az olmayacaktır.

g. **Çakıllı ve molozlu imlâlarla stabilize malzemelerin sıkıştırılmasının kontrolü.** İmlâda kullanılan çakıllı ve molozlu malzemenin

veya stabilize malzemelerin sıkışmalarının kontrolü için yapılacak laboratuvar ve arazi yoğunluk denemeleri ile yüzde sıkışmalarının hesabı yukarıda izah edilen normal imlâ malzemesinden farklıdır ve bu şu şekilde yapılır:

#### Laboratuvar kesafetinin tayini:

1. 10 kg. civarında numune 4 nolu elekten (4.76 mm) elenerek çakıl ve toprak olarak iki kısma ayrılır:

a. Toprak kısmı yukarıda izah edilen şekilde denemeye tabi tutulup buna ait laboratuvar maksimum kuru yoğunluğu ile optimum rutubet nisbeti tayin edilir.

b. Çakıl kısmın önce özgül ağırlığı, sonra da 1,5 cm. çapında demir çubukla üç tabakada her tabakaya 25 darbe vurularak 1/30 ft<sup>3</sup> kalıpta sıkışmış birim ağırlığı tayin edilir.

2. Bu denemelerle elde edilen neticeler aşağıdaki şu teorik formülde yerlerine konur:

$$D_{sr} = \frac{D_s \times D_r}{P \cdot D_s + (1-P) D_r}$$

Burada :  $D_{sr}$  = Toprak ve çakıl karışımının teorik yoğunluğu  
 $D_s$  = Toprak kısmının laboratuvar maksimum yoğunluğu  
 $D_r$  = Çakıl kısmın özgül ağırlığı X 62.5  
 $P$  = Çakıl kısmın yüzde miktarı/100

3. Muhtelif yüzdelerdeki toprak-çakıl karışımlarına ait teorik özgül ağırlıklar hesaplanır ve bu karışımlar için elde edilen teorik özgül ağırlıklardan faydalanarak karışımlardaki çakıl ağırlıkları hesab edilir.

Misâl: Çakılla toprak karışımı bir numunenin 4 nolu elekten (4.76 mm) geçen kısmının maksimum kuru özgül ağırlığı 108 lb/cuft. optimum rutubeti % 18, çakıl kısmın özgül ağırlığı 2.58 ve sıkışmış birim ağırlığı 103 lb/cu.ft olarak bulunmuş olsun.

Bu numuneye ait laboratuvar maksimum kuru özgül ağırlığına ait eğrinin çizilmesini görelim:

Verilen bu değerlere göre yukarıdaki formül şu şekli alacaktır:

$$D_{sr} = \frac{108 \times 161}{P \times 108 + (1-P) 161}$$

Görüldüğü gibi burada  $D_r = 2.58 \times 62.5 = 161$  dir.

Burada  $P$  ye verilecek muhtelif değerler için, yani yüzde çakıl miktarına göre, teorik kuru özgül ağırlıklar:

$$P = 20 \text{ için } D_{sr} = 115.5 \text{ Lb/cu.ft.}$$

$$P = 40 \text{ için } D_{sr} = 124 \text{ Lb/cu.ft.}$$

$$P = 60 \text{ için } D_{sr} = 134 \text{ Lb/cu.ft.}$$

$$P = 80 \text{ için } D_{sr} = 146 \text{ Lb/cu.ft. bulunur.}$$

Aynı şekilde seçilen bu %  $P$  değerleri için karışımlar içinde bulunan çakılların Libre olarak ağırlıklarını bulabiliriz. Şöyleki: Meselâ  $P = \% 20$  için teorik özgül ağırlık 115.5 olduğuna ve bunun ağırlık olarak % 20 si çakıla ait olduğuna göre bu karışımın ihtiva ettiği çakılın ağırlığı  $115.5 \times 0.20 = 23$  Lb.dir. Bu şekilde  $P = 40$ ,  $P = 60$  ve  $P = 80$  değerleri için de aynı hesaplar yapıldığında;

$$P = 40 \text{ için çakıl ağırlığı} \quad 49.6 \text{ Lb.}$$

$$P = 60 \text{ « « «} \quad 80.4 \text{ Lb.}$$

$$P = 80 \text{ « « «} \quad 116.8 \text{ Lb. bulunacaktır.}$$





Elde edilen bütün bu değerler yardımıyla şekil 13 de görülen hiperboller şöylece çizilir:

Önce sıfırdan başlayarak muhtelif nisbetlerdeki çakıl ağırlıkları işaretlenerek  $D_r$  de nihayet bulan bir parabol çizilir. Gene 4 nolu elekten geçen kısmın maksimum kuru özgül ağırlığı 108 den başlayarak muhtelif nisbetlerde çakıl ihtiva eden karışımların özgül ağırlıkları işaretlenerek  $D_s$  —  $D_r$  hiperbolü elde edilir. Çakılın sıkışmış birim ağırlığı 103 Lb/cu. ft. değeri işaretlenerek P noktası elde edilir ve bu noktadan grafik taban doğrusuna bir paralel çizilir ve bunun çakıl ağırlıklarını kestiği K noktası bulunur. Bu K noktasından çıkılan dikin teorik özgül ağırlık eğrisini kestiği M noktası elde edilir ve M ile P bir doğru ile birleştirilir. Şekilde görüldüğü gibi MP doğrusuna orta noktasında (% 50) ve  $D_r$ -M- $D_s$  eğrisine de % 35 inde teğet olmak üzere çizilen eğri maksimum kuru özgül ağırlık eğrisini verecektir.

Arazi özgül ağırlığının tayini:

Çakıllı ve molozlu olan imlâların veya stabilize malzemelerin özgül ağırlığının tayini aynen yukarıda topraklar için izah edilen şekilde yapılır. Ancak çukurdan elde edilen bütün malzeme yani moloz, çakıl, toprak hepsi birden alınıp torbaya doldurulur. Deneme kumu dökülürken iri parçalar tekrar çukura atılmaz. Torbaya alınan malzeme laboratuvarında tartılarak ağırlığı bulunur, müteakiben 4 nolu elekten elenerek bu numunenin ihtiva ettiği çakıl yüzdesi (P) tayin edilir. Bu çakıl yüzdesine tekabül eden maksimum kuru yoğunluk yukarıda izahı yapılan grafikten alınır. Bulunan bu değer arazi kuru yoğunluğuna oranlanarak yüzde sıkışma hesaplanır. Beklenen sıkışma daima % 95 olmalıdır.

Misâl: Yukarıda verilen numune için çakıl miktarı % 45 ve arazi kuru yoğunluğu 118 Lb/cu.ft. olarak bulunmuştur. Grafikten, bu çakıl yüzdesine tekabül eden maksimum kesafet 123 Lb/cu.ft. bulunduğuna göre sıkışma yüzdesi:

$$\frac{118 \times 100}{123} = \% 96 \quad \text{olur.}$$



### Literatür

1. Akın, Nejat — Toprak Mühendisliği ve Yol İnşaatında  
Tatbikat  
Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınlarından  
No. 67, Ankara 1958
2. Ceyhan, Ekrem — İmlaların Stabilitesi  
Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınlarından  
No. 103, Ankara 1961
3. Hewes, L.I; Oglesby, C. H. — Highway Engineering  
John Wiley and Sons Inc.  
Newyork 1954
4. Özüygür, — Granüler Stabilize Yollar  
Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınlarından  
No. 34/22, Ankara 1955
5. — Roads and Airfields TM. 5-250  
U.S Department of Army Technical Manual  
1957
6. Sarman, H. Ziya — Amerikan Yol Yapım Usulleri ve Tatbikatı  
El Kitabı  
Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınlarından  
No. 15/7, Ankara 1953
7. Tombuloğlu, A. Refli — Şantiye ve Laboratuvar Araştırma İşleri  
Samsun 1967
8. Umar, Faruk — Yol İnşaatı Dersleri  
İ.T.Ü. Teknik Okulu Yayınlarından  
No. 6, İstanbul 1958
9. Woods, K.B. — Highway Engineering Handbook  
McGraw - Hill Book Co. Inc.  
Newyork 1960
10. — Yol Yapımında Toprak  
Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınlarından  
No. 18/10, Ankara 1953
11. — Yollar Fenni Şartnamesi  
Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınlarından  
No. 112. Ankara 1963