

## 4. KOMPAKSİYON



Courtesy of U.S. WICK DRAIN, INC.

## KAPSAM

1. Kompaksiyon nedir?
2. Kompaksiyon teorisi
3. Saha kompaksiyon ekipmanları ve uygulamaları
4. Saha kompaksiyon kontrolü
5. Kompakte edilmiş zeminlerin performansının kestirimi

## Fil ve Kompaksiyon

Soru?

İyi kompaksiyon olmaz  
neden?



Ağır Yük

## Kompaksiyon ve Faydaları

- **Kompaksiyon (COMPACTION)**
  - Karayolu, barajlar, istinat duvarları, otoyollar, hava alanları gibi pek çok mühendislik uygulamasında **doğal malzeme** ile **dolgu** kullanılması gerekir.
  - İyi kompakte edilmiş bir zemin için yerinde **en yoğun duruma** ulaşmak gerekir.
  - **En yoğun durum**, su içeriğinde hemen hemen hiç değişim olmadan zeminin içindeki **havanın** azaltılması (**dışarı alınması**) ile sağlanır.
  - Bu işlem, **sürekli uygulanan statik bir yük altında suyun dışarı sızması ile tanımlanan KONSOLİDASYON** ile karıştırılmamalıdır.
- **TANIM:** Toprak zeminin mekanik ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi için mekanik bazı araçlar kullanılarak zeminin bünyesindeki su ve tane hacmi sabit iken, havanın dışarı atılmasıdır.

**TEMEL AMAÇLARI:**

- Boşluk oranını azaltarak zeminin geçirirliğini azaltmak, su emme ve su içeriğini değiştirme özelliklerini kontrol altına almak;
- Zeminin makaslama dayanımını, dolayısıyla taşıma gücünü artırmak;
- Zeminin, titreşim ve yük etkisi altında hacim değiştirme, oturma ve deforme olabilirliğini azaltmak.

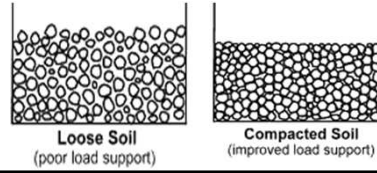
**ZEMİN ÜZERİNDEKİ ETKİSİ:**

1. Zeminin cins ve fiziksel özelliklerine;
2. Sıkıştırma işlemi sırasındaki su içeriğine;
3. Sıkırtmada kullanılan enerjinin büyüklüğüne;
4. Sıkırtmada kullanılan araçlara bağlıdır.

## Kompaksiyon Teorisi (Laboratuvar Deneyi)

## TEORİ

- Bir toprağın sıkışma durumunun ölçüsü → **KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞI ( $\gamma_d$ )**
- Kuru bir zemine, bir miktar su eklendiğinde, su öncelikle taneler etrafında ADSORBE SU tabakası olarak yerleşir.
- Adsorbe su tabakası kalınlaştıkça → sıkıştırma etkisine karşı taneler arası sürtünme azalarak, taneler **DAHA KOLAY** sıkışma eğilimine girer →  $\gamma_d$  'da **artış**
- Ancak, belirli bir noktadan sonra ise, adsorbe su kalınlığındaki ve boşluklardaki su hacmindeki artış →  $\gamma_d$  **azalma**
- **HEDEF** → **SIKIŞTIRMA ETKİSİ ALTINDA maksimum  $\gamma_d$  için, OPTİMUM SU İÇERİĞİNİ ELDE ETMEK**



## Laboratuvarda Kompaksiyon

### • Başlangıç

Standart laboratuvar kompaksiyon deneyi **PROKTOR** testi olarak adlandırılır.

### • Amaç

Proktor testinin amacı, sahada en iyi sıkışmanın sağlanabileceği (en yoğun durum) karışımda kullanılacak su içeriğinin belirlenmesidir. Bu su içeriği, optimum su içeriği olarak adlandırılır.

### • Çarpma kompaksiyonu

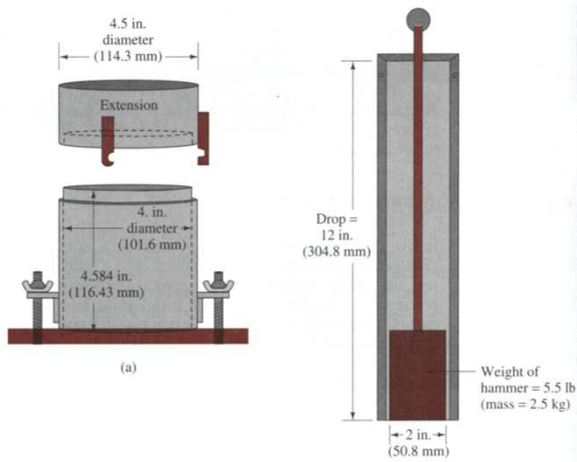
Proktor deneyi bir çarpma kompaksiyonudur. Proktor çekici zemin örneği üzerine çok sayıda düşürülür. Çekicinin kütlesi, düşme yüksekliği, düşme sayısı, zemin seviyesi sayısı ve kalıbın (mold) hacmi standarttır.

## Kompaksiyon Deney Türleri

Type of test	Mould	Rammer Mass(kg)	Drop(mm)	No. of layers	Blows per layer
BS 'light'	One litre	2.5	300	3	27
	CBR	2.5	300	3	62
ASTM(5.5 lb)	4 in	2.49	305	3	25
	6 in	2.49	305	3	56
BS 'heavy'	One litre	4.5	450	5	27
	CBR	4.5	450	5	62
ASTM(10 lb)	4 in	4.54	457	5	25
	6 in	4.54	457	5	56
BS Vibrating hammer	CBR	32 to 41	(vibration)	3	(1 min)

## Test Ekipmanları

Standart Proktor Test Ekipmanı



Das, 1998

### • STANDART PROKTOR DENEY YÖNTEMİ

- Yaklaşık 1000 ml iç hacmindeki standart bir kalıp içine toprak, üç tabaka halinde standart bir ağırlığın 300 mm'den 25 defa düşürülmesi ile sıkıştırılarak yerleştirilir.
- Standart kalıp tartılarak birim hacim ağırlık belirlenir. Su içeriği de bilindiğinden, KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞI hesaplanır.
- Farklı su içeriklerinde deney tekrarlanarak, SU İÇERİĞİ-KURU BİRİM HACİM AĞIRLIK eğrisinden → OPTİMUM SU İÇERİĞİ – MAKSİMUM KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞI belirlenir.

## Karşılaştırma-Neden?

- Kompaksiyon çalışmalarının başlangıç dönemlerinde, saha uygulamalarındaki inşaat ekipmanlarının sağladığı kompaksiyon enerjisinin sonraki dönemlerdekine oranla düşük olması, laboratuvarda nispeten düşük kompaksiyon enerjisini yeterli kılmaktaydı.
- Sonraki dönemlerde inşaat ekipmanları ve uygulama prosedürlerindeki gelişmeler, daha yüksek sıkışmışlık (yüksek yoğunluklar) yaratabilecek kompaksiyon enerjilerine ulaşması ile laboratuvar deneyindeki kompaksiyon enerjisinin **yükseltilmesi** gündeme gelmiştir.
- Modifiye Proktor deneyi II. Dünya savaşı sırasında U.S. Army Corps of Engineering tarafından geliştirilmiş olup, ağır nakliye uçaklarının iniş yaptığı havaalanlarında, daha iyi sıkışmanın gerekliliğinden doğmuştur.

## Karşılaştırma

### Standart Proktor Testi

30 cm: düşme yüksekliği

2.5 kg: çekiç kütlesi

25 düşme/katman

3 katman

Mold hacmi: 1/30 ft<sup>3</sup>

Enerji: 12,375 ft·lb/ft<sup>3</sup>

### Modifiye Proktor Testi

45 cm: düşme yüksekliği

4.5kg: çekiç

25 düşme/katman

5 katman

Mold hacmi: 1/30 ft<sup>3</sup>

Enerji 56,250 ft·lb/ft<sup>3</sup>

**DAHA YÜKSEK ÇARPMA ENERJİSİ**

## Kompaksiyonun Değişkenleri

- 4 değişken:

(1) Kuru yoğunluk ( $\rho_d$ ) veya kuru birim hacim ağırlık  $\gamma_d$

(2) Su içeriği, w

(3) Kompaksiyon enerjisi, (E)

(4) Toprak zemin türü, taneboyu, kil minerali türü ve içeriği vb.

Standart Proktor testi için:

$$E = \frac{\text{Weight of hammer} \times \text{Height of drop of hammer} \times \text{Number of blows per layer} \times \text{Number of layers}}{\text{Volume of mold}}$$

$$E = \frac{2.495 \text{ kg}(9.81 \text{ m/s}^2)(0.3048 \text{ m})(3 \text{ layers})(25 \text{ blows/layer})}{0.944 \times 10^{-3} \text{ m}^3}$$

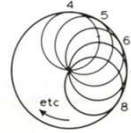
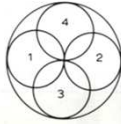
$$= 592.7 \text{ kJ/m}^3 (12,375 \text{ ft} \cdot \text{lb/ft}^3)$$

## Metodoloji ve Sonuçlar

### Metodoloji

- (1) Farklı su içeriğinde kompaksiyon deneyi uygulanmış aynı toprağa ait örnekler

İlk 4 darbe



Diğer darbeler

- (2) Her bir kompaksiyon deneyi sonunda kuru yoğunluk ve nem içeriği belirlenir.

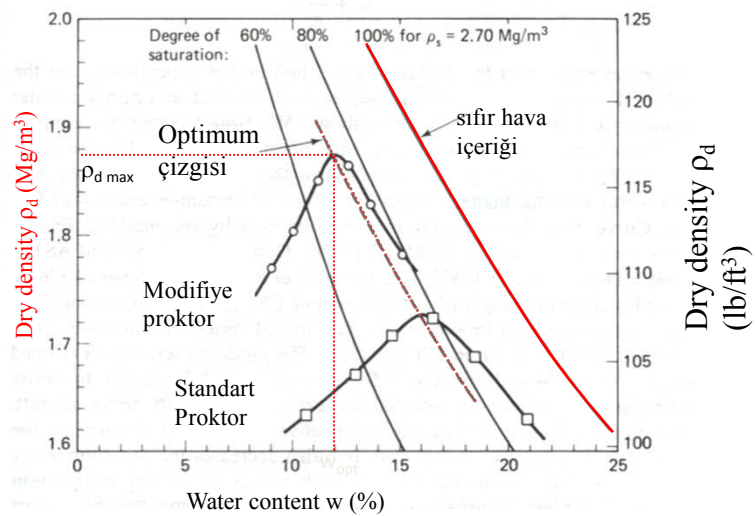
$$\rho = \frac{M_t}{V_t}, \rho_d = \frac{\rho}{1+w} \quad \rho_d \text{ değerini, } \rho \text{ ve } w \text{ ile belirle}$$

- (3) Her bir örnek için kuru yoğunluğa  $\rho_d$  karşılık, su içeriği grafiklenir. Kompaksiyon eğrisi çizilir.

## Metodoloji ve Sonuçlar (devam)

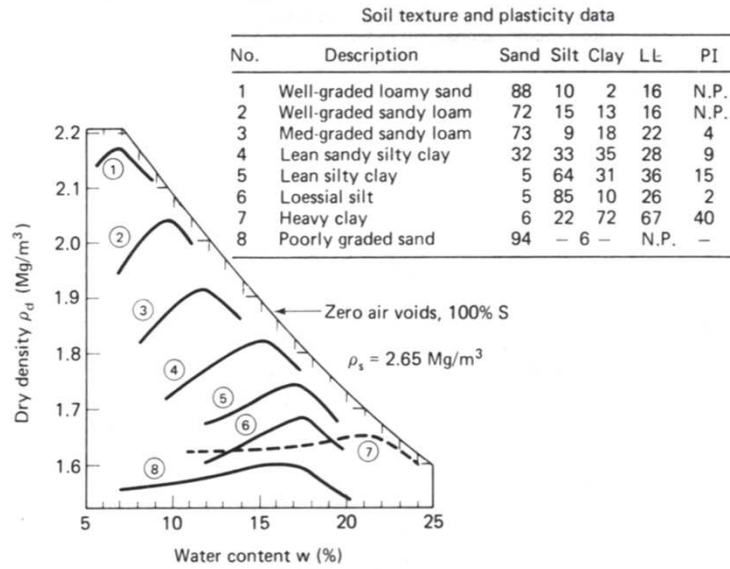
### Sonuçlar

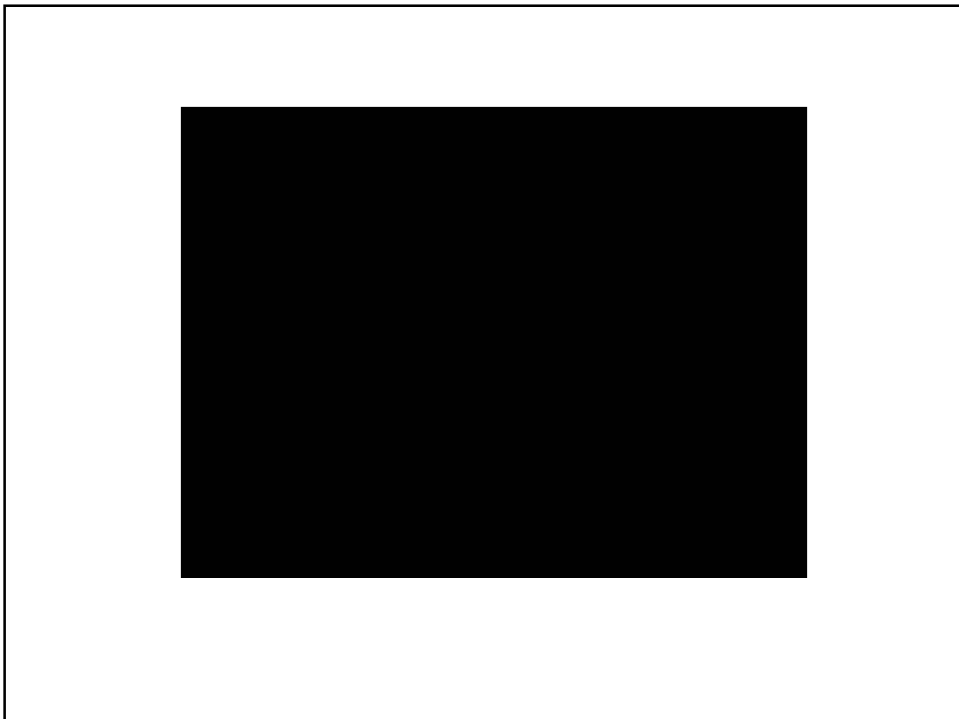
Doruk noktası  
Optimum çizgisi  
Sıfır hava içeriği





## Toprak türünün Kompaksiyona etkisi

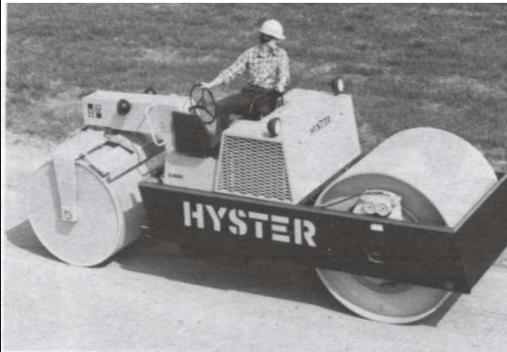




## Saha kompaksiyon ekipmanları

### Ekipmanlar

#### Silindir tambur (Smooth-wheel roller (drum))



- Baskı temas oranı 100%
- Temas yükü 380 KPa'a kadar çıkabilir
- Her toprak türünde ve asfalt kaplama ile dolgu sıkıştırımda yaygın olarak kullanılır.
- Kompaksiyon şekli: Statik ağırlıkla



## Ekipman (devam ediyor)

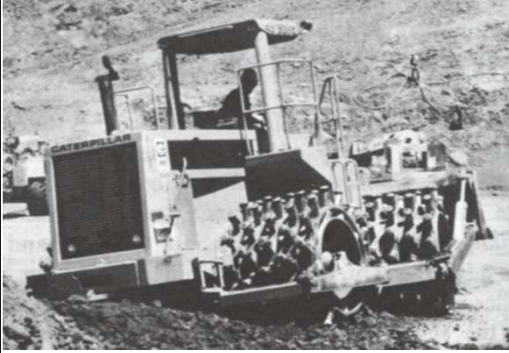
Lastik Tekerlekli Silindir  
(Pneumatic (or rubber-tired)  
roller)



- Baskı temas oranı 80%
- Temas yükü 700 KPa'a kadar çıkabilir
- İri ve ince taneli topraklarda kullanılabilir
- Kompaksiyon şekli: Statik ağırlık (kendi ağırlığıyla) ve yoğurma
- Karayolu ve toprak dolgu barajlarda kullanım yaygın

## Ekipman (devam ediyor)

### Keçi ayaklı silindir (Sheepfoot rollers)



- Silindire kenetlenmiş çok sayıda dairesel veya dikdörtgen şekilli ayaklar
- 8 % ~ 12 % Baskı temas oranı
- Temas yükü 1400-7000 KPa
- Killi topraklarda en iyi sonuç
- Kompaksiyon şekli: Statik ağırlık ve yoğurma

## Ekipman (devam ediyor)

### Dövme Silindir (Tamping foot roller)

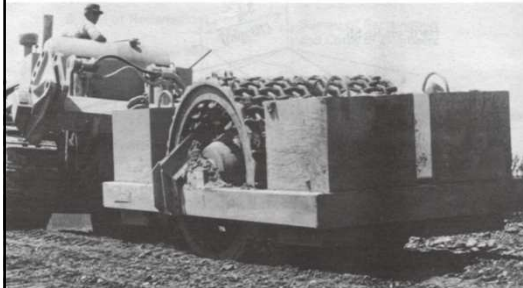


- 40% Baskı temas oranı
- Temas yükü 1400-8400 KPa
- İnce taneli topraklarda iyi
- Kompaksiyon şekli: Statik ağırlık ve yoğurma



## Ekipman (devam ediyor)

### Hasır Silindir (Mesh (or grid pattern) roller)



- 50 % Baskı temas oranı
- Temas yükü 1400-6200 KPa
- Çoğunlukla iri taneli çakıllı-blokluk toprak zeminlerde iyi. Titreşim, kırma ve parçalama
- Kompaksiyon şekli: Statik ağırlık ve yoğurma

## Ekipman (devam ediyor)

Titreşimli tamburlu silindir  
(Vibrating drum on smooth-wheel  
roller)



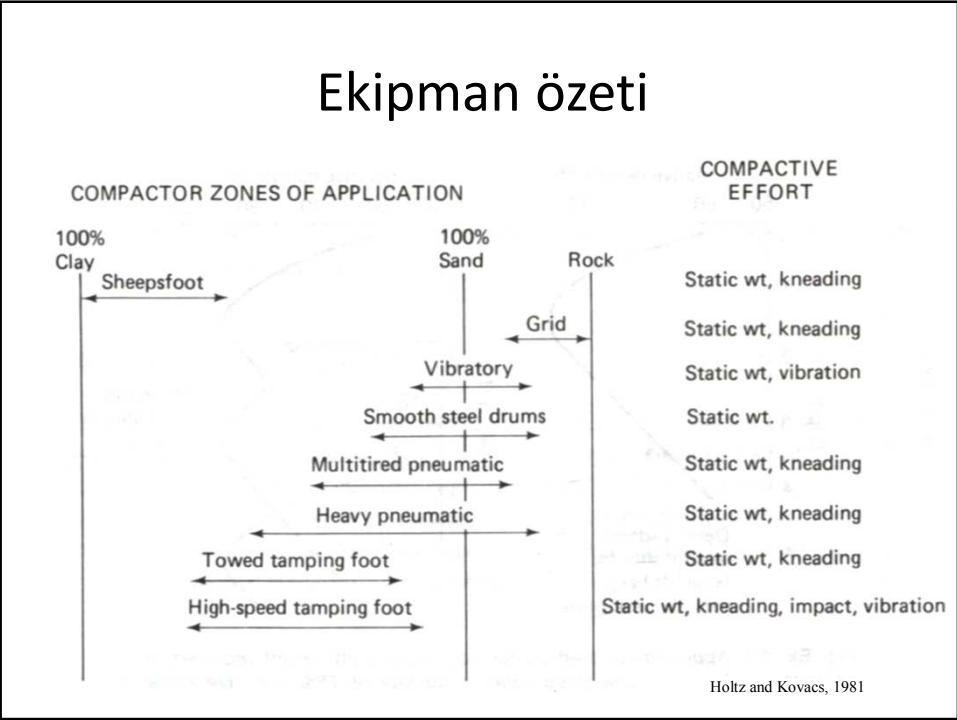
- Düşey yönde titreşim veren silindir
- Titreşim nedeniyle, taneler yer değiştirir ve kompaksiyon süreci hızlanır → boşlukları tanelerin doldurması
- Kompaksiyon şekli: Statik ağırlık ve titreşim
- İri taneli topraklarda iyi



### Compaction Selection Chart

Type Compactor Ride on:	Rock Fill	Gravel	Sand	Sand Silt Gravel	Sandy* Silt Clayey Sand & Gravel	Clay Low Shear	Clay High Shear	HMA
Double-drum Smooth		X	X	X	0			X
Double-drum Padfoot				0	X	X	X	
Single-drum Smooth	X	X	X	X	0			
Single-drum Padfoot				0	X	X	X	
Single-drum Smooth with Smooth Tires		X		X	0			X

0- May be used    X- Ideal application  
\*With low clay contents, it is sometimes recommended to use a smooth drum compactor, depending on field conditions.





## Dinamik Kompaksiyon



- Dinamik kompaksiyon ilk kez 1930'ların ortalarında Almanya'da kullanıldı.
- Etki derinliđi (D) metre cinsinden zemin içerisine kompaksiyonun eriřimi olarak aşağıdaki eřitlikle tahmin edilebilir.

$$D \approx \frac{1}{2} (Wh)^{1/2}$$

W = Kullanılan kütlenin ağırlığı (ton).

h = dűőme yűksekliđi

From Holtz and Kovacs, 1981

## Sahada Uygulanan Kompaksiyonun Kontrolű

## Bağıl (Relative) Kompaksiyon (Compaction) (RC)

Bağıl kompaksiyon (%)

$$RC = \frac{\rho_{d-field}}{\rho_{dmax-laboratory}} \times 100\%$$

*RC = 90% ~ 95% başarılı bir kompaksiyonu ifade eder.*

## Bağıl yoğunluk ( $D_r$ )

Bağıl kompaksiyon ile korelasyon sağlar

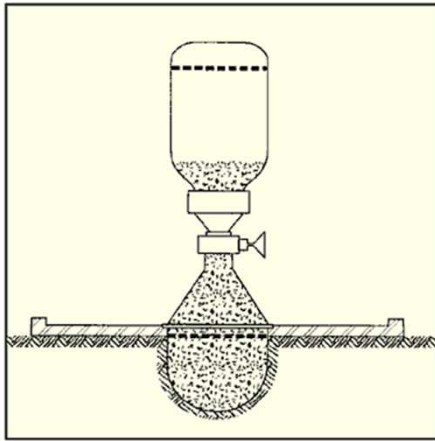
$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$$

En yoğun  $\rightarrow D_r=1$

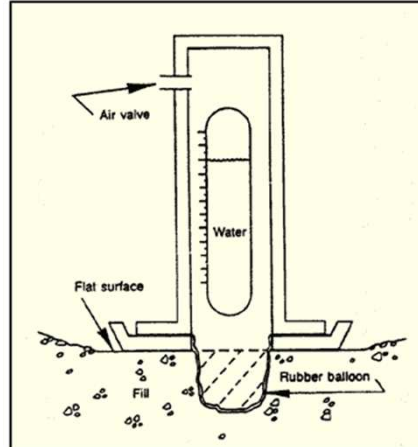
47 sonucun istatistiksel değerlendirmesi ile aşağıdaki ilişki elde edilmiştir:

$D_r = 0 \rightarrow R.C. \text{ is } 80$

$R.C. = 80 + 0.2D_r$



**Kum konisi ile  
hacim belirleme**



**Su ile hacim belirleme  
-Rubber Balloon**

- Kum Konisi Yönteminde, zemin yoğunluğunun sahada belirlenmesi ve toprak dolgu, yol dolgusu gibi dolguların, arazi kompaksiyonu sonuçlarının kontrolünde kullanılır.
- Yerinde kazılarak çıkartılan zeminin ağırlığı belirlenir.
- Çukurun hacmi, yoğunluğu bilinen kumla doldurularak bulunur.
- Yerinde birim hacim ağırlığı ve kuru birim hacim ağırlıkları belirlenir.
- $\gamma = W/V$      $\gamma_k = \gamma / (1+w)$



**Nuclear  
Densometre**



## Yöntemler

- Gama ışınlarının su ve toprak tarafından absorbe edilmesini ölçer. Yoğun zeminler ve daha fazla su içeren zeminler daha fazla gama ışını absorbe eder.
- 2 ile 12 inç derinliğinde uygulanabilir

