

4. KOMPAKSIYON



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 Y¼k

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 geçirimliliğini 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.



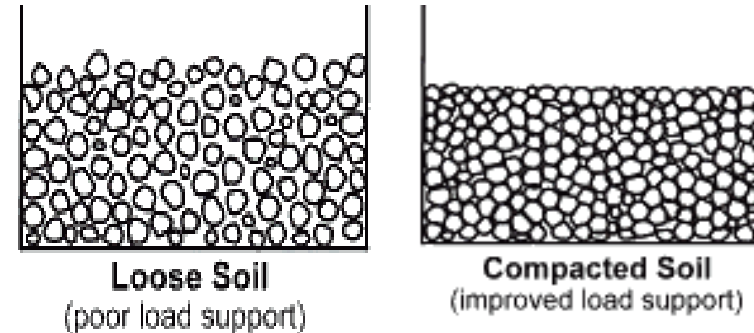
ZEMİN ÜZERİNDEKİ ETKİSİ:

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

Kompaksiyon Teorisi (Laboratuvar Deneyi)

TEORİ

- Bir toprağın sıkışma durumunun ölçüsü → **KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞI (γ_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 → **γ_d 'da artış**
- Ancak, belirli bir noktadan sonra ise, adsorbe su kalınlığındaki ve boşluklardaki su hacmindeki artış → **γ_d azalma**
- **HEDEF** → **SIKIŞTIRMA ETKİSİ ALTINDA maksimum γ_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

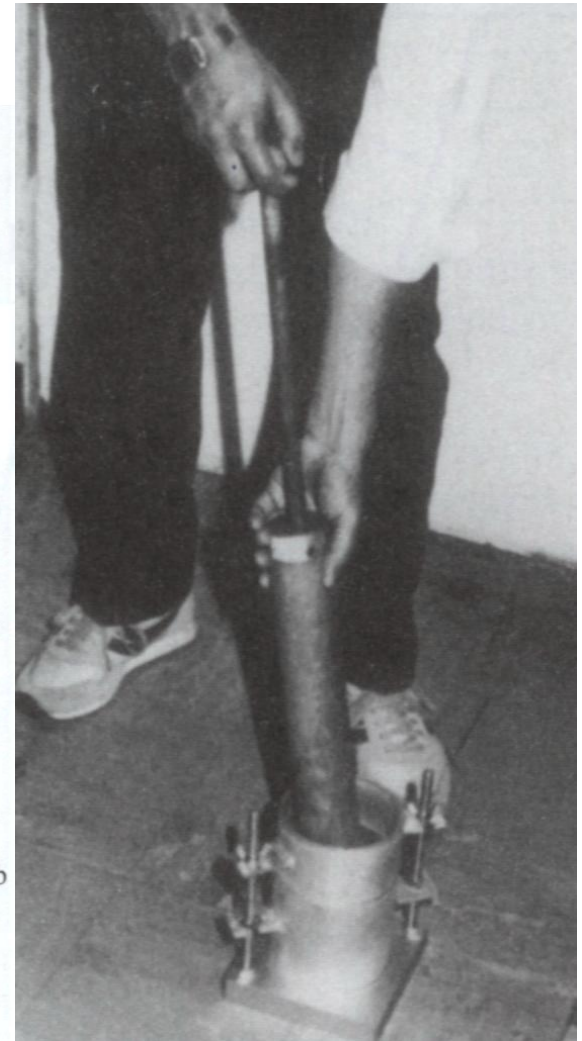
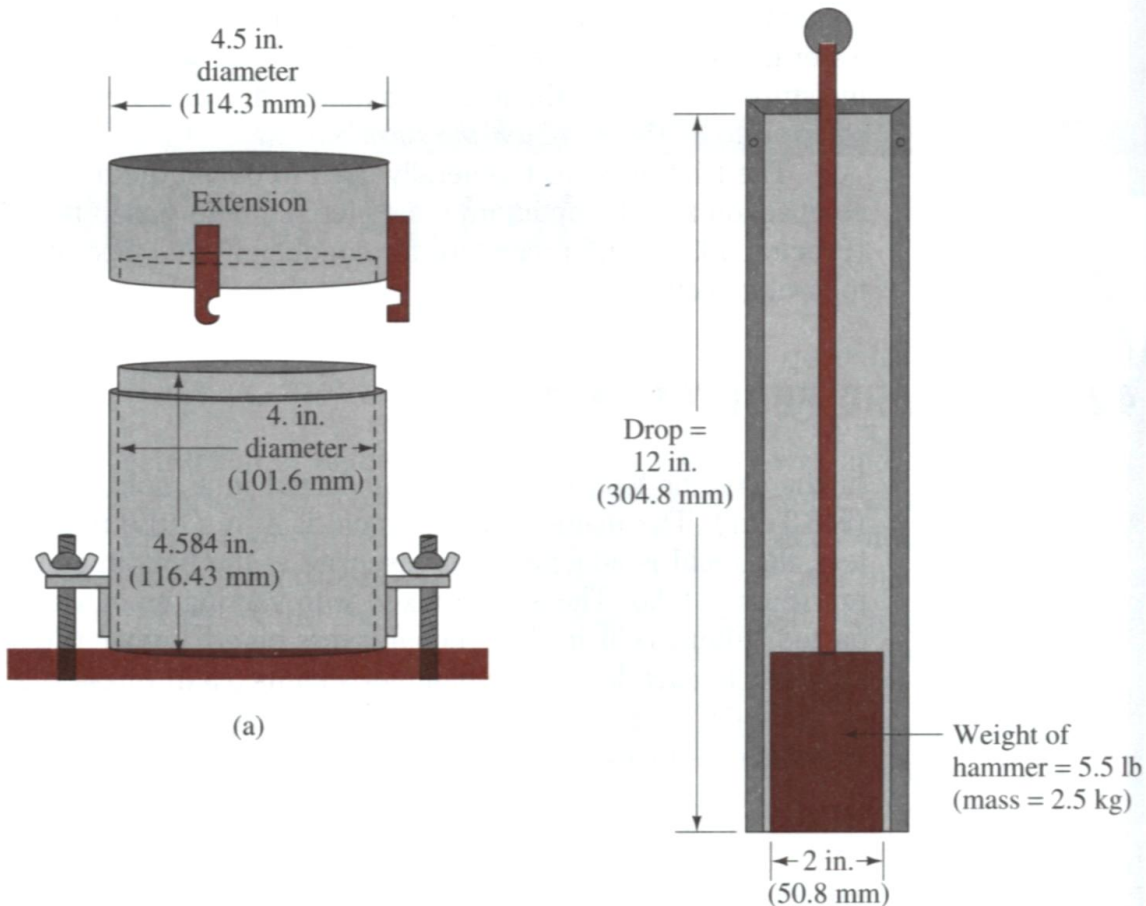
Proktor deneyi bir çarpma kompaksiyonudur. Proktor çekici zemin örneği üzerine çok sayıda düşürülür. Çekicinin kütlesi, düşme yüksekliği, düşme sayısı, zemin seviyesi sayısı ve kalıbın (mold) hacmi standarttır.

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



• **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: $1/30 \text{ ft}^3$

Enerji: $12,375 \text{ ft}\cdot\text{lb}/\text{ft}^3$

Modifiye Proktor Testi

45 cm: düşme yüksekliği

4.5kg: çekiç

25 düşme/katman

5 katman

Mold hacmi: $1/30 \text{ ft}^3$

Enerji $56,250 \text{ ft}\cdot\text{lb}/\text{ft}^3$

DAHA YÜKSEK ÇARPMA ENERJİSİ

Kompaksiyonun Değişkenleri

- 4 değişken:

(1) Kuru yoğunluk (ρ_d) veya kuru birim hacim ağırlık γ_d

(2) Su içeriği, w

(3) Kompaksiyon enerjisi, (E)

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

Standart Proktor testi için:

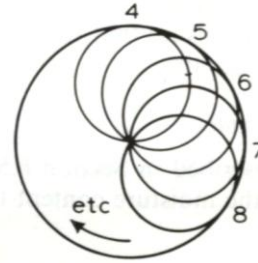
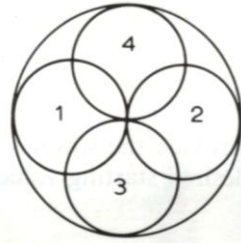
$$E = \frac{\text{Weight of hammer} \times \text{Height of drop of hammer} \times \text{Number of blows per layer} \times \text{Number of layers}}{\text{Volume of mold}}$$
$$E = \frac{2.495 \text{ kg}(9.81 \text{ m/s}^2)(0.3048 \text{ m})(3 \text{ layers})(25 \text{ blows / layer})}{0.944 \times 10^{-3} \text{ m}^3}$$
$$= 592.7 \text{ kJ / m}^3 \text{ (12,375 ft} \cdot \text{lb / ft}^3\text{)}$$

Metodoloji ve Sonuçlar

Metodoloji

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

İlk 4 darbe



Diđer darbeler

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

$$\rho = \frac{M_t}{V_t}, \rho_d = \frac{\rho}{1 + w}$$

ρ_d deđerini, ρ ve w ile belirle

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

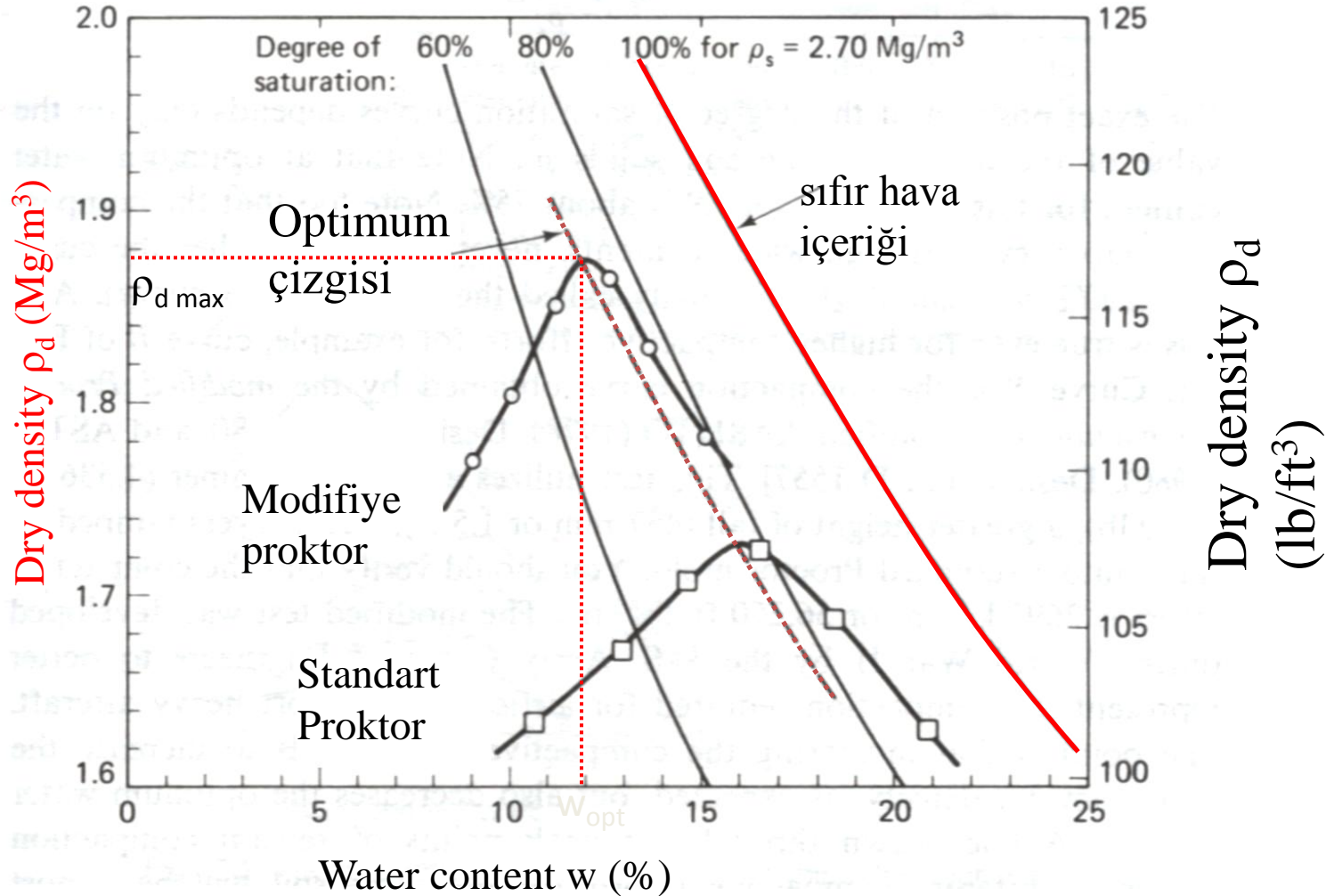
Metodoloji ve Sonuçlar (devam)

Sonuçlar

Doruk noktası

Optimum çizgisi

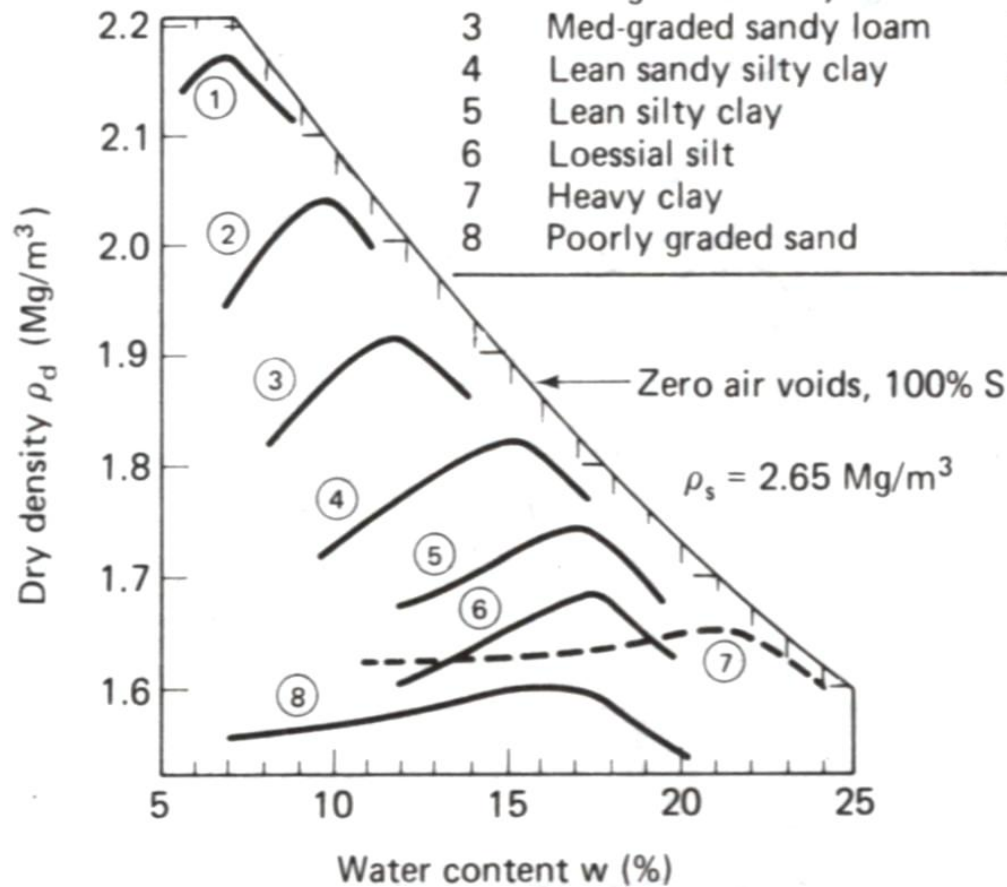
Sıfır hava içeriği



Toprak türünün Kompaksiyona etkisi

Soil texture and plasticity data

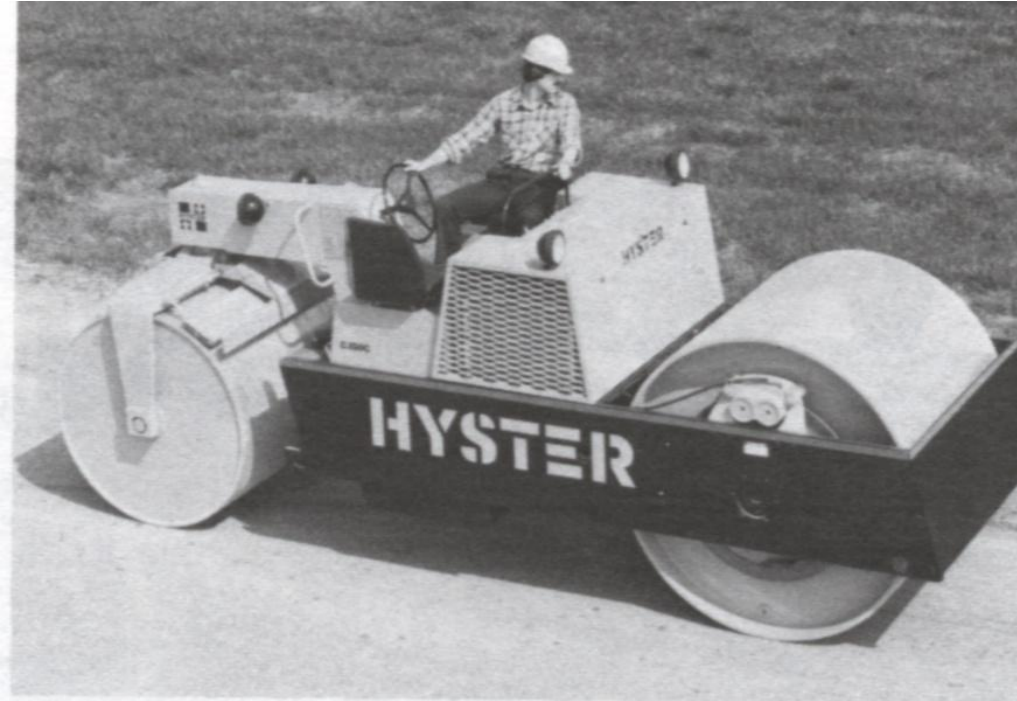
No.	Description	Sand	Silt	Clay	LL	PI
1	Well-graded loamy sand	88	10	2	16	N.P.
2	Well-graded sandy loam	72	15	13	16	N.P.
3	Med-graded sandy loam	73	9	18	22	4
4	Lean sandy silty clay	32	33	35	28	9
5	Lean silty clay	5	64	31	36	15
6	Loessial silt	5	85	10	26	2
7	Heavy clay	6	22	72	67	40
8	Poorly graded sand	94	—	6	—	—



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 sıkıştırırmada yaygın olarak kullanılır.
- Kompaksiyon şekli: Statik ağırlıkla



Ekipman (devam ediyor)

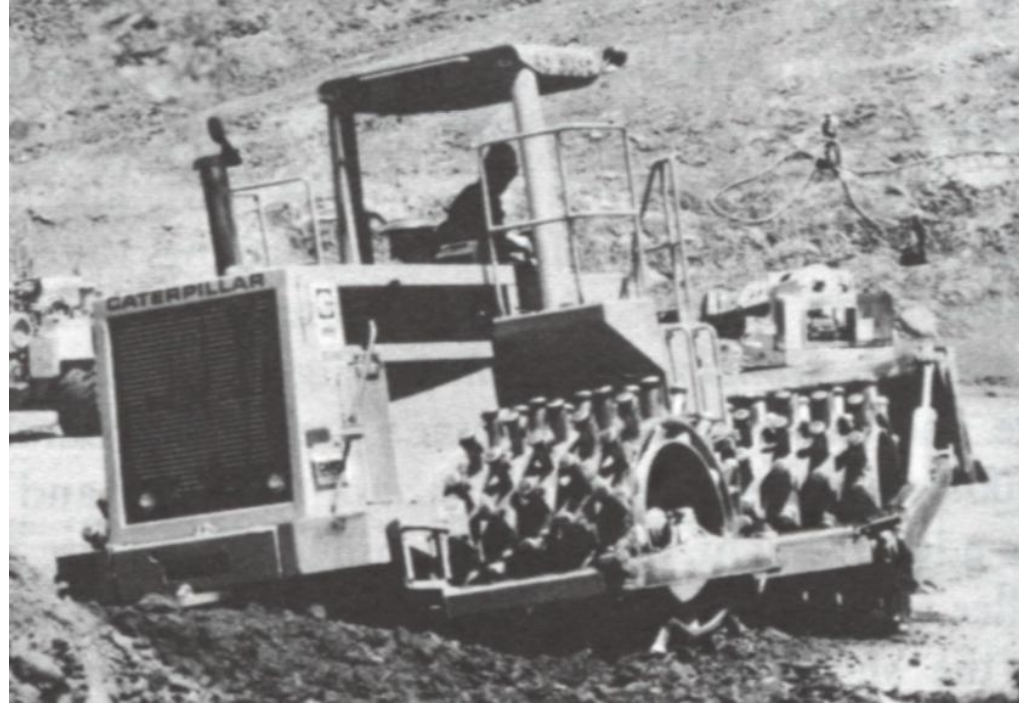
Lastik Tekerlekli Silindir
(Pneumatic (or rubber-tired)
roller)



- 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)

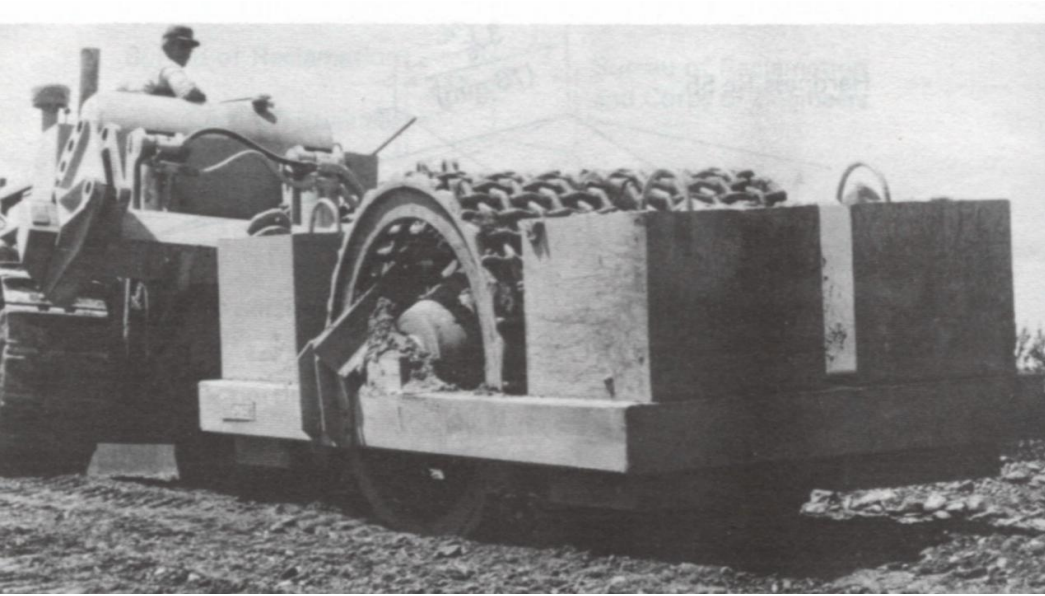


- 40% Baskı temas oranı
- Temas yükü 1400-8400 KPa
- İnce taneli topraklarda iyi
- Kompaksiyon şekli: Statik ağırlık ve yoğurma



Ekipman (devam ediyor)

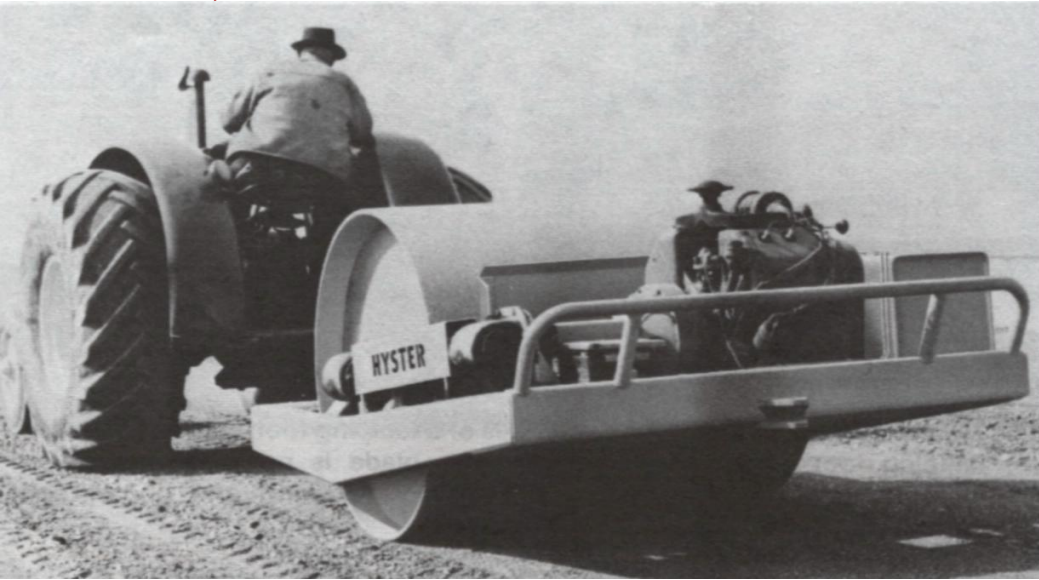
Hasır Silindir (Mesh (or grid pattern) roller)



- 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)







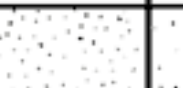
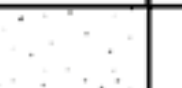
Titreşimli tamburlu silindir
(Vibrating drum on smooth-wheel
roller)



- 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



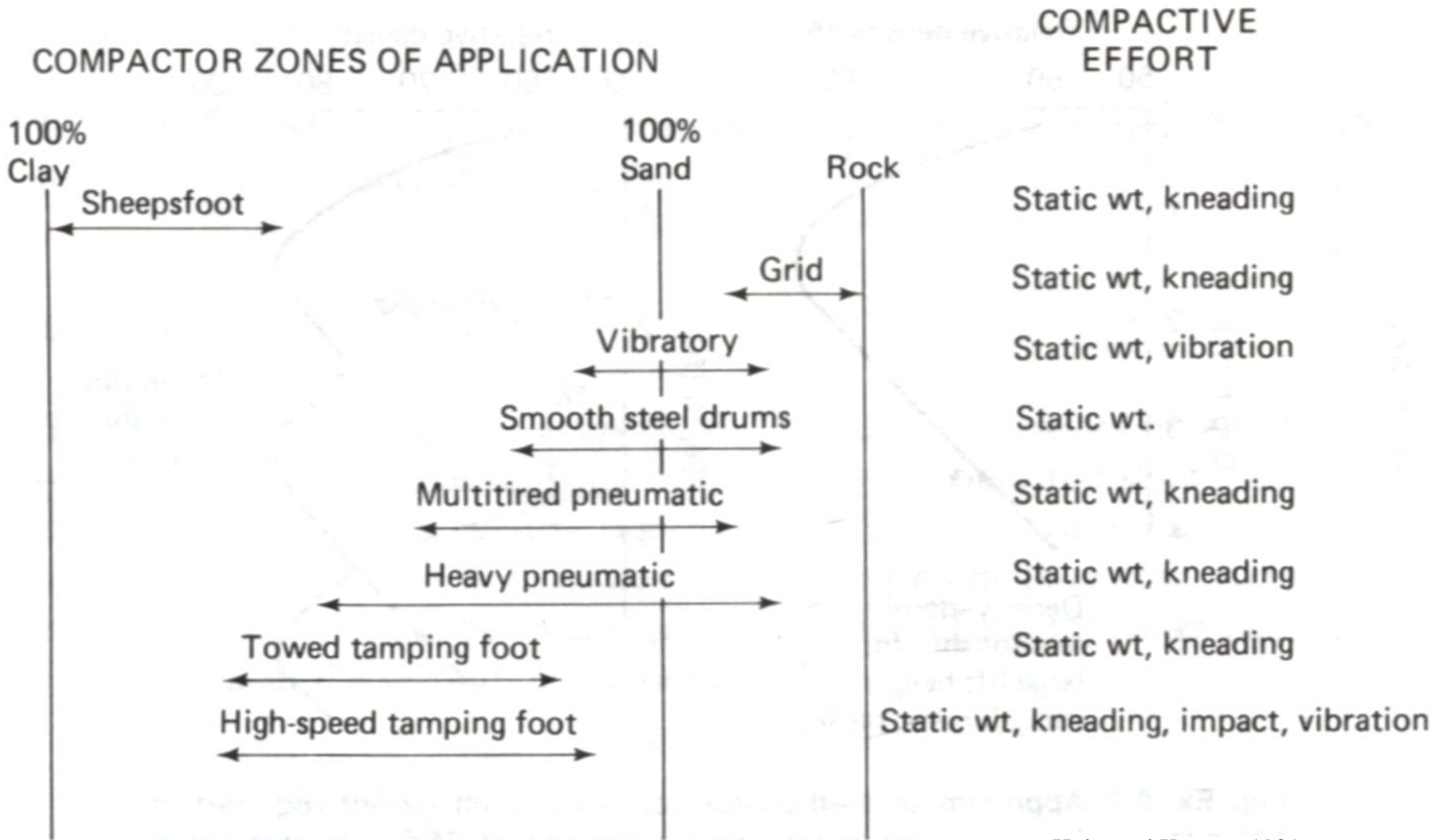
Compaction Selection Chart

	Rock Fill	Gravel	Sand	Sand Silt Gravel	Sandy* Silt Clayey Sand & Gravel	Clay Low Shear	Clay High Shear	HMA
Type Compactor Ride on:								
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.

Ekipman özeti



Dinamik Kompaksiyon



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

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

W = Kullanılan kütlenin ağırlığı (ton).

h = düşme yüksekliği

Sahada Uygulanan Kompaksiyonun Kontrolü

Bağlı (Relative) Kompaksiyon (Compaction) (RC)

Bağlı kompaksiyon (%)

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

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

Bağlı yoğunluk (D_r)

Bağlı kompaksiyon ile korelasyon sağlar

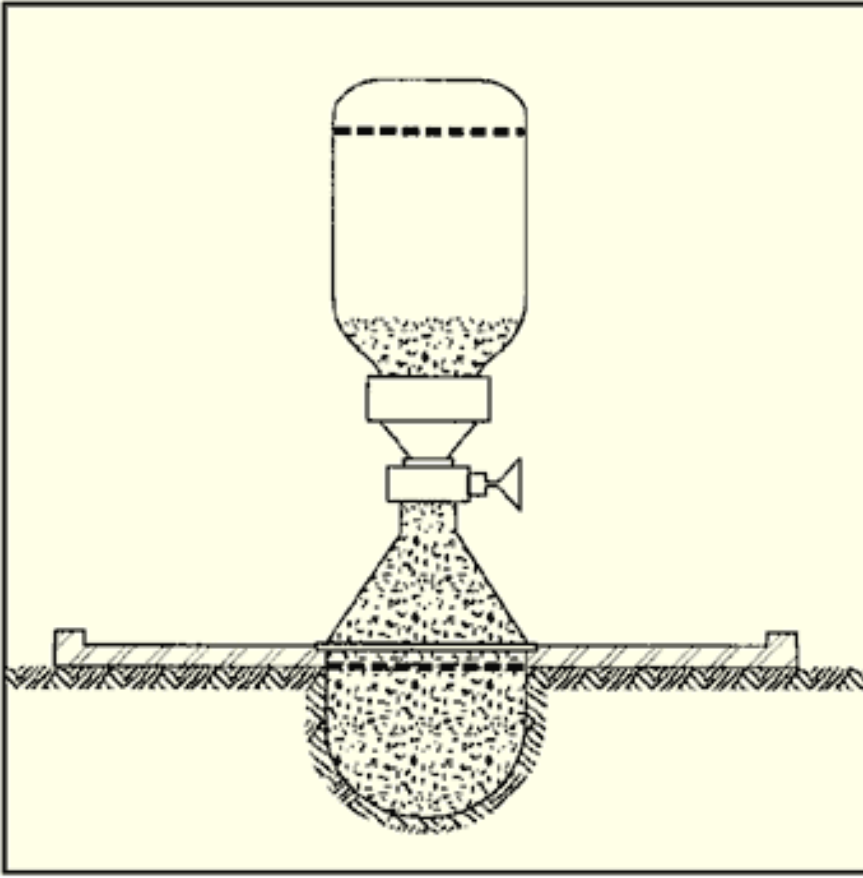
$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

En yoğun $\rightarrow D_r=1$

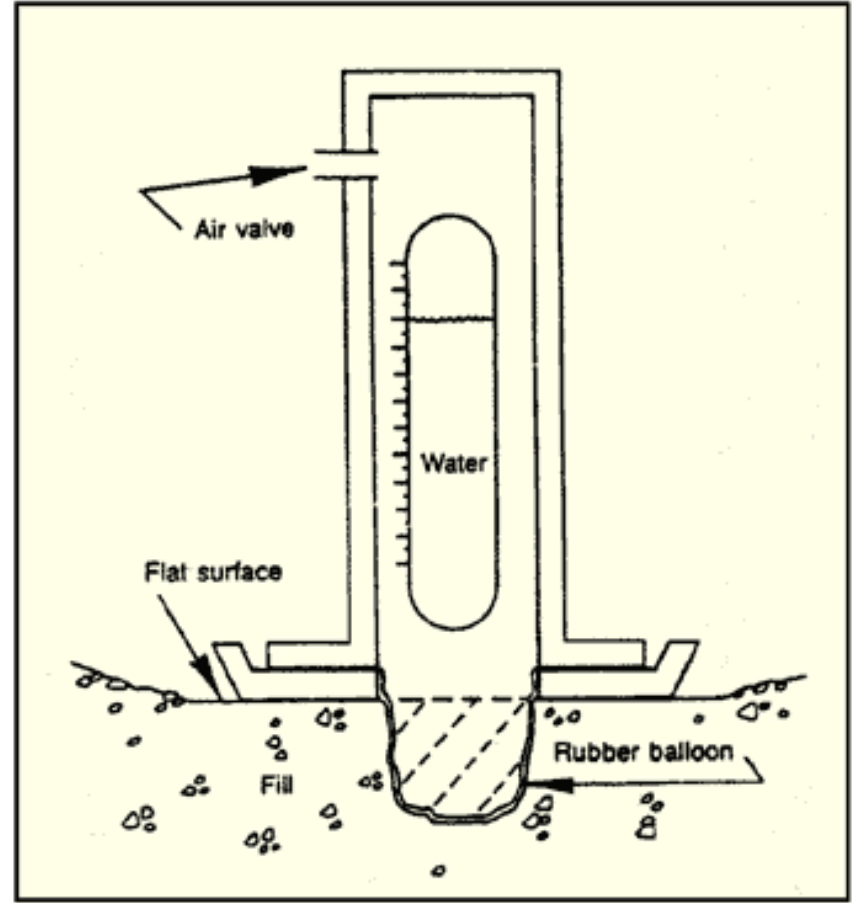
47 sonucun istatistiksel değerlendirmesi ile aşağıdaki ilişki elde edilmiştir:

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

$$R.C. = 80 + 0.2D_r$$



**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**



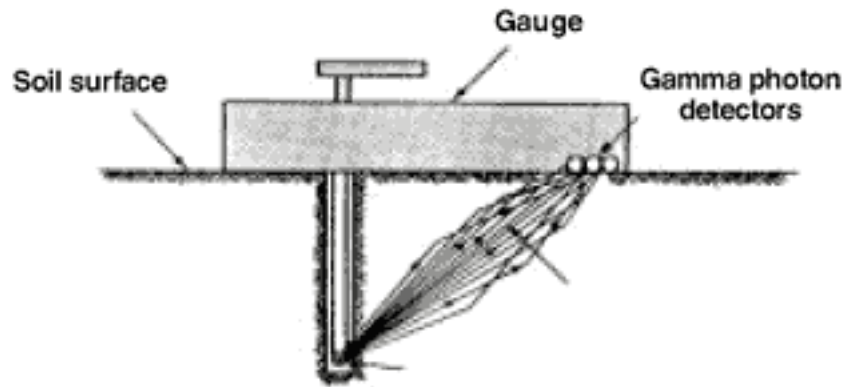
Yöntemler

- 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

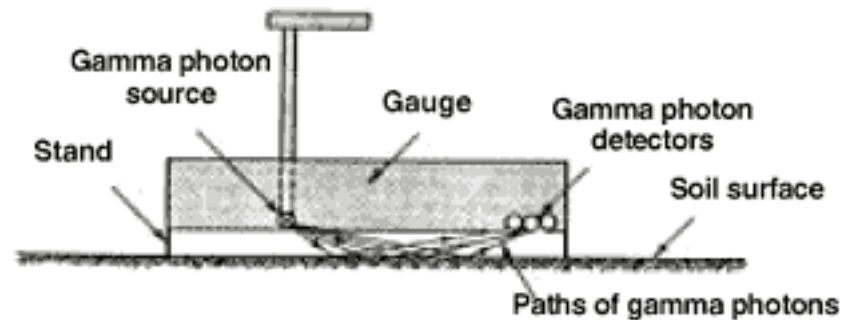
NUCLEAR MOISTURE-DENSITY METHODS

MOST ACCURATE

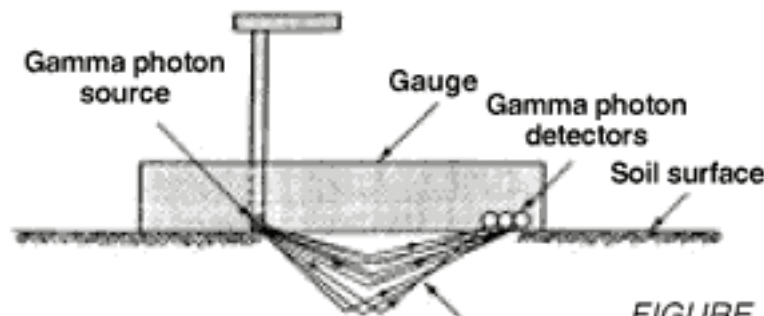
SOIL/ASPHALT



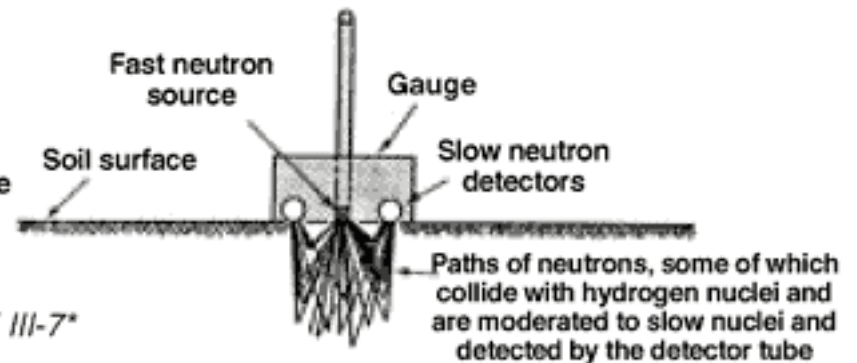
(a) Direct transmission density measurement



(c) Air-gap density measurement



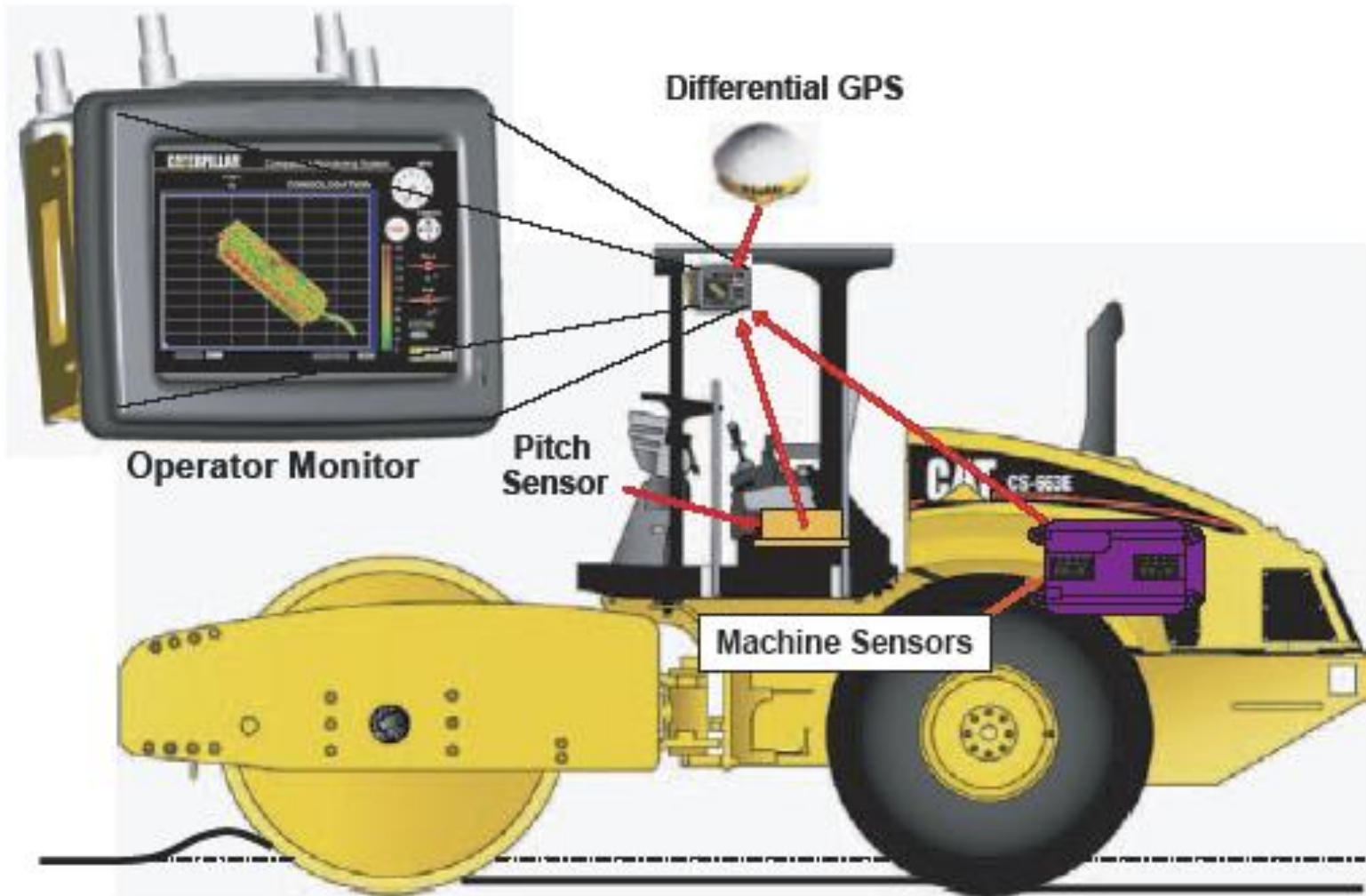
(b) Backscatter density measurement



(d) Backscatter moisture measurement

FIGURE III-7*

Illustration of different modes for measuring soil density and moisture content by nuclear methods. (Courtesy of Troxler Electronic Laboratories, Inc., North Carolina)



CAT compaction monitoring system