INS305
Zemin Mekaniği I

Zeminlerin Kompaksiyonu

Doç. Dr. İnan KESKİN

inankeskin@karabuk.edu.tr, inankeskin@gmail.com

www.inankeskin.com

ZEMİN MEKANİĞİ

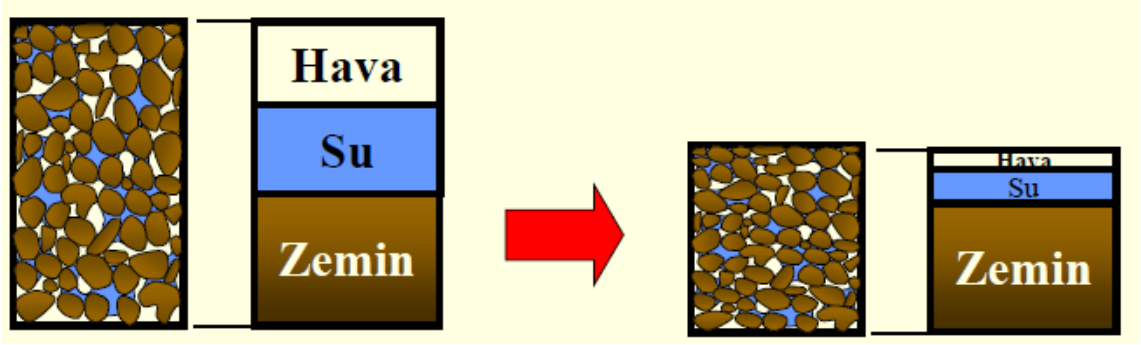
Haftalık Konular

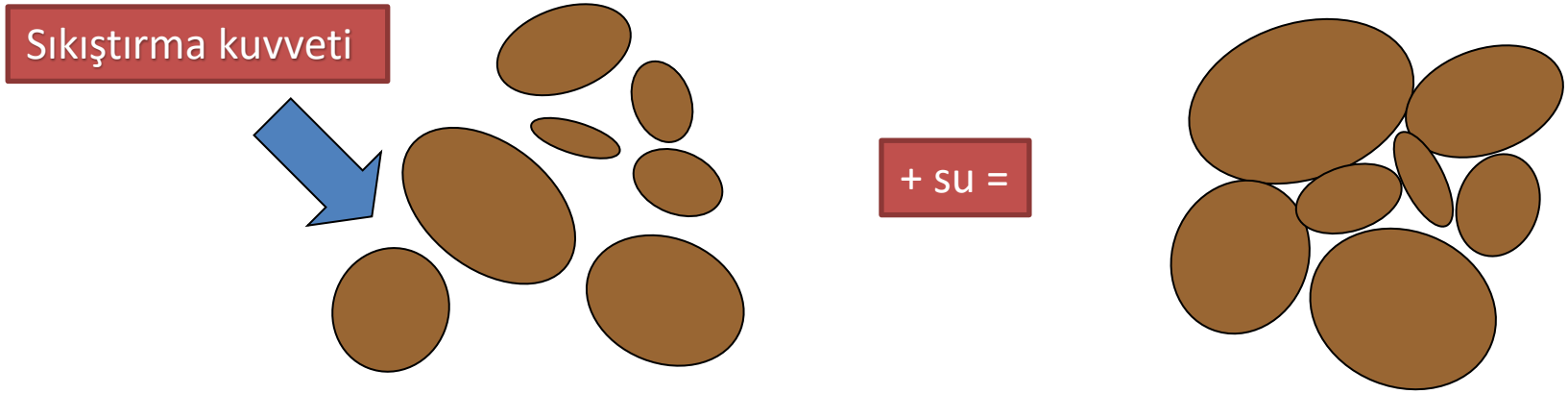
Hafta 1:	Zeminlerin Oluşumu
Hafta 2:	Zeminlerin Fiziksel ve Endeks Özelliklerinin Tanımlanması ve Problem Çözümleri
Hafta 3:	Zeminlerin Fiziksel ve Plastisite Özelliklerine Yönelik Deneyler
Hafta 4:	Zeminlerde Tane Dağılımı ve Analizi
Hafta 5:	Zeminlerin Sınıflandırılması
Hafta 6:	Zemin Sınıflama Sitemleri Uygulamaları ve Karşılaştırmalar
Hafta 7:	Zeminlerde Su
Hafta 8:	Yeraltı Gerilmeleri; Zemin kütlesi nedeniyle oluşan gerilmeler
Hafta 9:	Yeraltı Gerilmeleri; Düşey yükleme ile oluşan zemin kütlesindeki gerilmeler
Hafta 10:	Zeminlerin Kompaksiyonu
Hafta 11:	Standart Proktor Deneyi ve Modifiye Proktor Deneylerinin Uygulaması
Hafta 12:	Sıkışma ve Konsolidasyon Teorisi
Hafta 13:	Konsolidasyon Deneyi
Hafta 14:	İleri Zemin Mekaniği Problem Çözümleri
Hafta 15:	Bu ders için Ara Sınav, 7. ve 15. haftalar arasındaki bir tarihte yapılır. Sınavın yapıldığı tarihten itibaren konular bir hafta ileri alınır.

KOMPAKSİYON

Kompaksiyon; Zemin taneleri arasındaki hava boşluklarının mekanik araçlar yardımıyla azaltılarak zeminin sıkıştırılması işlemidir. Kompaksiyon miktarı kuru birim hacim ağırlık değerine bağlı olarak belirlenmektedir. Bu işlemle, zemin taneleri daha az boşluklu yerleşerek, zeminin boşluk oranı azaltılır.

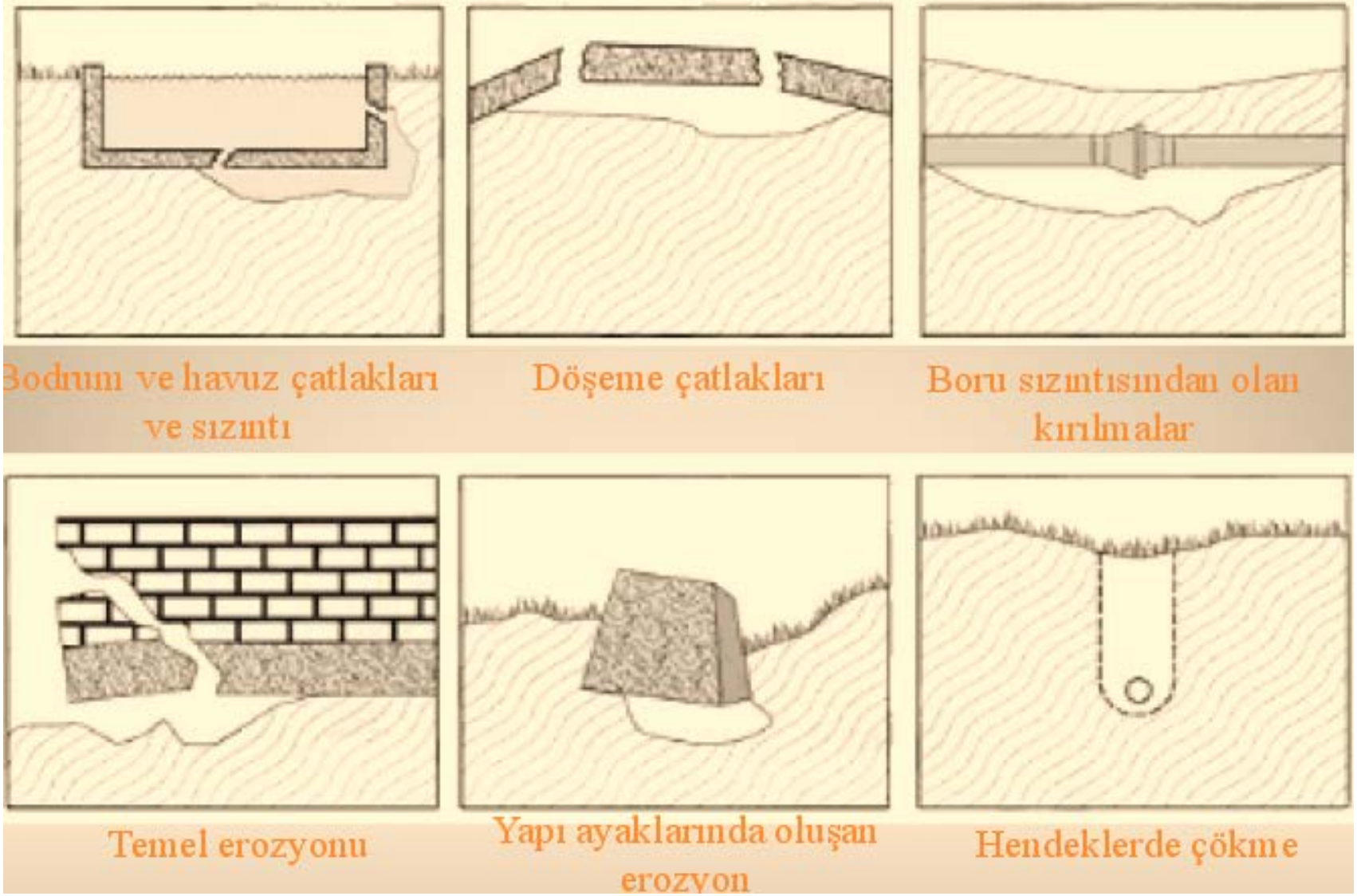
Zemin taneleri ve taneler arasındaki su pratik olarak sıkışmazdır. ***Sıkışma boşluklardaki havanın sıkışması veya dışarı çıkması sonucu kısa sürede (ani) olur. En yoğun durum, su içeriğinde hemen hemen hiç değişim olmadan zeminin içindeki havanın azaltılması ile sağlanır.***





NEDEN KOMPAKSİYON?

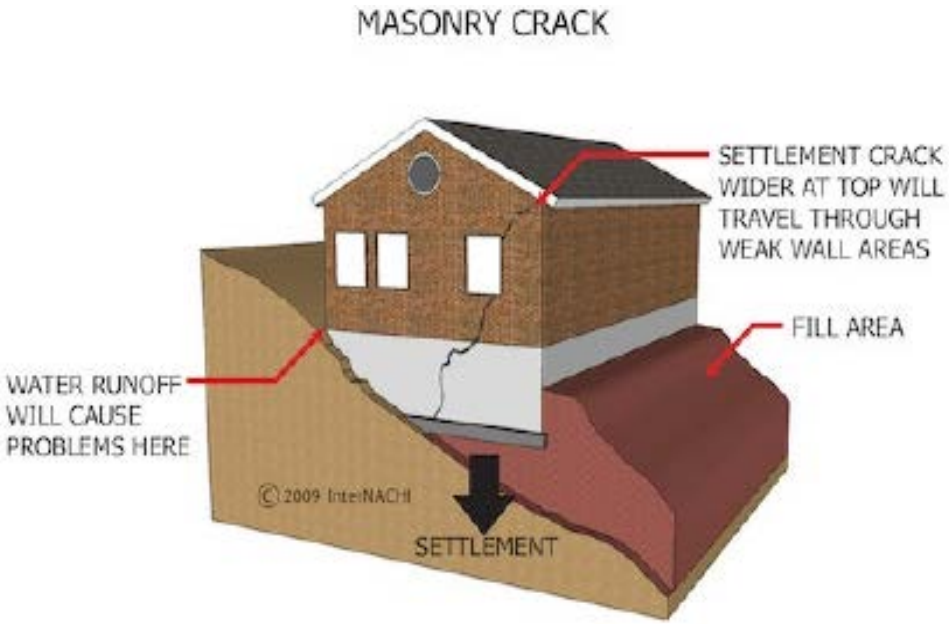
Karayolu, baraj, istinat duvarları, hava alanları, otoyollar gibi pek çok mühendislik uygulamasında zayıf zeminlerin sıkıştırılarak birim ağırlıklarının yükseltilmesi gerekmektedir. Bu işerde yapılacak yanlışlıklar önemli sonuçlar doğurabilir.



KOMPAKSİYON ETKİLERİ

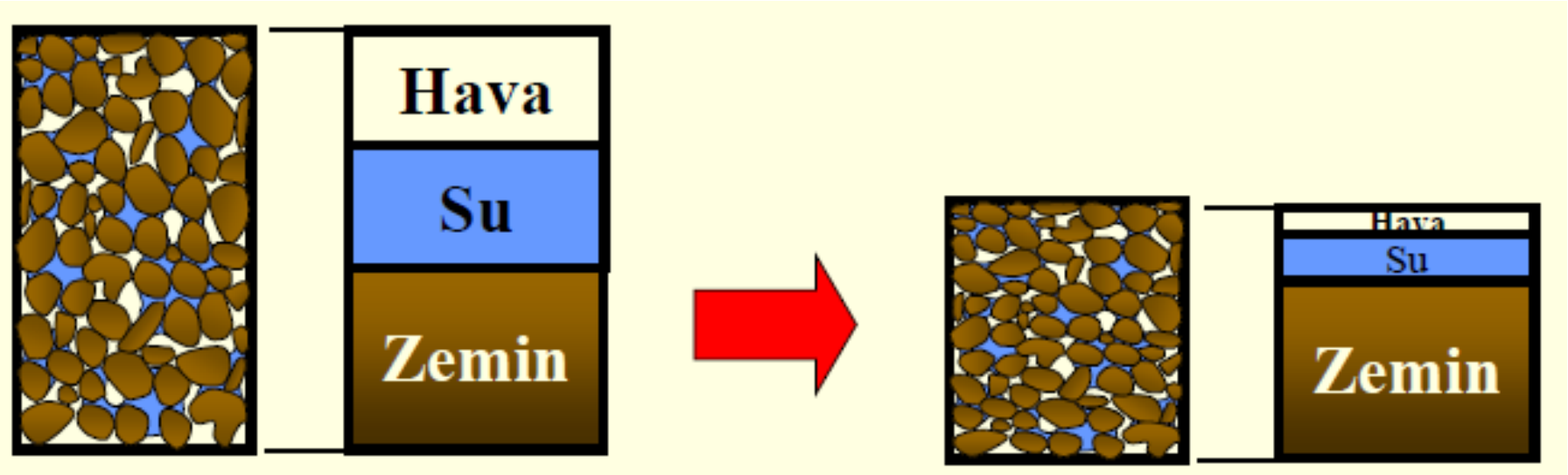
Kompaksiyonla genel olarak şu yararlar sağlanır;

1. Kayma direnci yükselir,
2. Zeminin taşıma gücü artırılır.
3. Zeminin geçirimliliği azaltılır, zemine daha kararlı bir yapı kazandırılır. Böylece zeminin su alarak, hacim değişikliklerine uğraması azaltılır.
4. Zeminin sabit, hareketli, dinamik yükler altında yapacağı oturmalar, çökmeler azaltılır.
5. Sıkışabilirliği azalır,
6. Şişme-büzülme davranışı kontrol altına alınabilir,
7. Aşınabilirliği azalır veya gecikir,
8. Sıvılaşma yeteneği kaybolabilir,
9. Dondan aşırı etkilenmez.



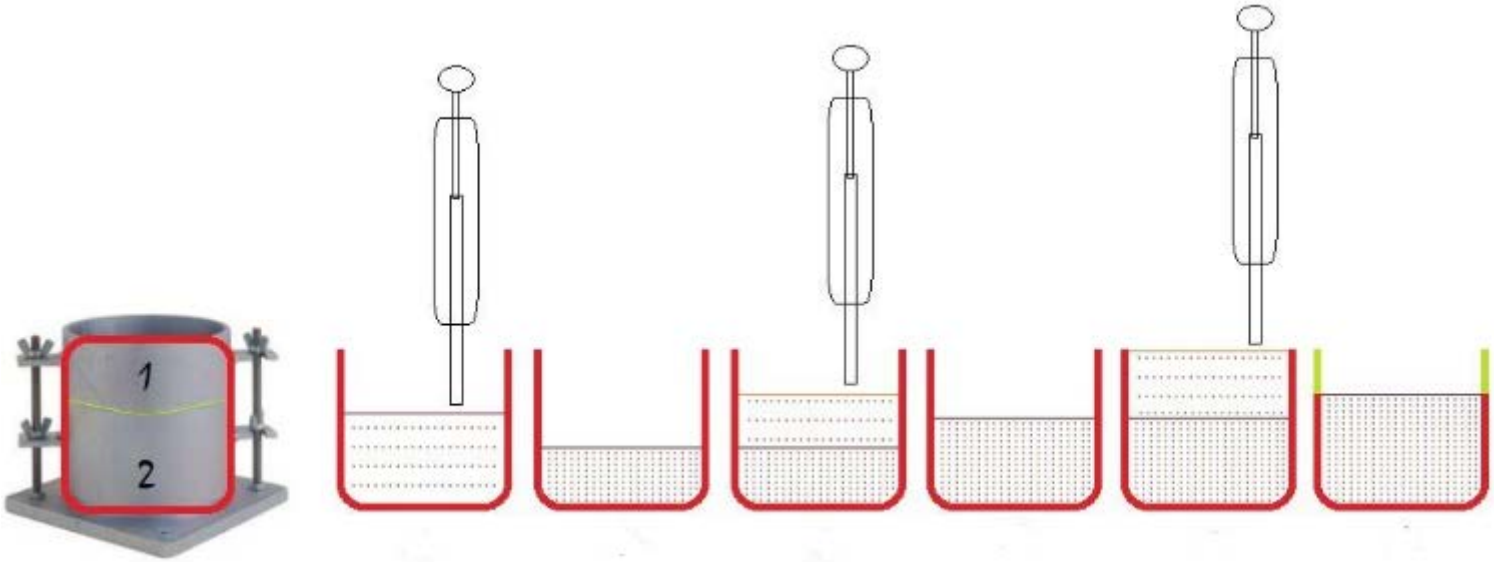
SIKIŞTIRMAYI ETKİLEYEN ÖZELLİKLER

1) Zeminin türü (kum, kil),
2) Tane dağılımı (Dmax, cu, cr),
3) Kıvam limitleri (wL, wp),
4) Boşluk suyu kimyası (pH, tuzluluk),
5) Hava sıcaklığı (donma)

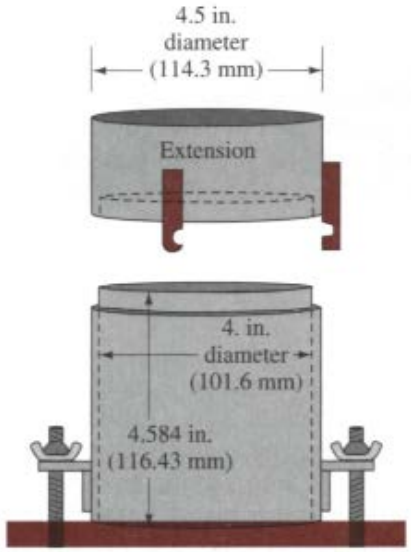


KOMPAKSİYON DENEY TÜRLERİ

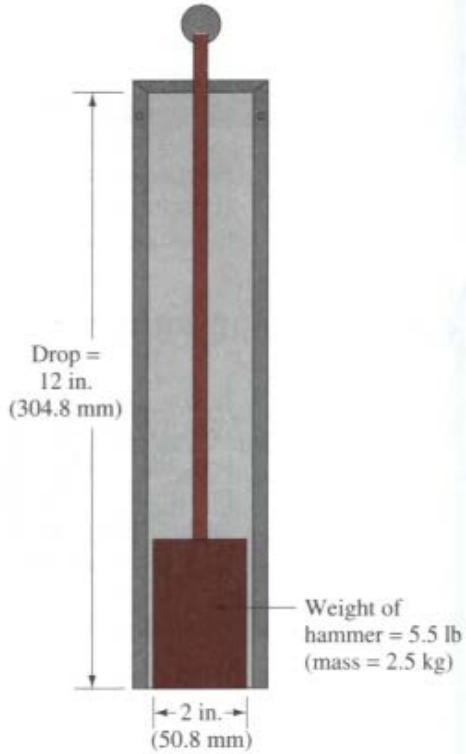
	Standart Kompaksiyon Deneyi	Değiştirilmiş Kompaksiyon Deneyi
Standartlar	ASTM D 698 , AASHTO T-99	ASTM D 1557 ve AASHTO T-180
Tokmak Kütlesi	2,5 kg	4,54 kg
Tokmak Düşü Yüksekliği	305 mm	457 mm
Zemin Katman Sayısı	3	5
Katman Başına Düşen Tokmak Düşüş Sayısı	25	25
Her Numuneye Uygulanan Enerji	600 kN-N/m^3	2700-N/m^3
Kalıp Hacmi	900 cm^3	900 cm^3



KOMPAKSİYON DENEY TÜRLERİ



(a)



Standart ve modifiye proctori yapılırken küçük kalıp standart proctor deneyinde, büyük kalıp ise modifiye proctor deneyinde kullanılınır diye genel bir kural yoktur. Her iki silindirik kapta da bu iki deney yapılabilir.

Ancak ;

Standart proctor da tokmak ağırlığı 2.5 kg, tabaka sayısı 3 ve deney tokmağı 30,5 cm den serbest bırakılır. Deney küçük silindirik kapta yapılacak ise 25 darbe, büyük silindirik kapta yapılacak ise 56 darbe uygulanır.

modifiye proctorde ise tokmak ağırlığı 4,5 kg, tabaka sayısı 5 ve deney tokmağı 45,7 cm den serbest bırakılır. Deney küçük silindirik kapta yapılacak ise 25 darbe, büyük silindirik kapta yapılacak ise 56 darbe uygulanır.

KOMPAKSİYON DENEY TÜRLERİ

Kullanım şartı	Kullanılan malzeme	Kalıp boyutları	Tabaka sayısı	Her tabakaya vuruş sayısı
%20 ve daha az malzeme 4.75 mm elek üzerinde kalıyor ise	4.75 mm elekten geçen	Çap: 105 mm Boy: 115.5 mm	3	25
%20 ve daha fazla malzeme 4.75 mm lik elek üzerinde kalıyor ve %20 ve daha az malzeme 9.5 mm lik elek üzerinde kalıyor ise	9.5 mm elekten geçen	Çap: 105 mm Boy: 115.5 mm	3	25
%20 den fazla malzeme 9.5 mm lik elek üzerinde kalıyor ve %30 ve daha az malzeme 20 mm lik elek üzerinde kalıyor ise	20 mm lik elekten geçen	Çap: 152.4 mm Boy: 115.5 mm	3	56

2.5 kg lık çekiç ile yapılan deney için kullanım şartları

4.5 kg lık çekiç ile yapılan deney için kullanım şartları

Kullanım şartı	Kullanılan malzeme	Kalıp boyutları	Tabaka sayısı	Her tabakaya vuruş sayısı
%20 ve daha az malzeme 4.75 mm elek üzerinde kalıyor ise	4.75 mm elekten geçen	Çap: 105 mm Boy: 115.5 mm	5	25
%20 ve daha fazla malzeme 4.75 mm lik elek üzerinde kalıyor ve %20 ve daha az malzeme 9.5 mm lik elek üzerinde kalıyor ise	9.5 mm elekten geçen	Çap: 105 mm Boy: 115.5 mm	5	25
%20 den fazla malzeme 9.5 mm lik elek üzerinde kalıyor ve %30 ve daha az malzeme 20 mm lik elek üzerinde kalıyor ise	20 mm lik elekten geçen	Çap: 152.4 mm Boy: 115.5 mm	5	56

DENEY YÖNTEMİ

KOMPAKSİYON DENEY FORMU

G_s = ...					
Birim Hacim Ağırlık					
Deney No	1	2	3	4	5
Kalıp Ağırlığı (g)					
Kalıp Hacmi (cm^3)					
Yaş Numune+ Kalıp (g)					
Islak Numune (g)					
BHA (γ_n) (g/cm^3)					

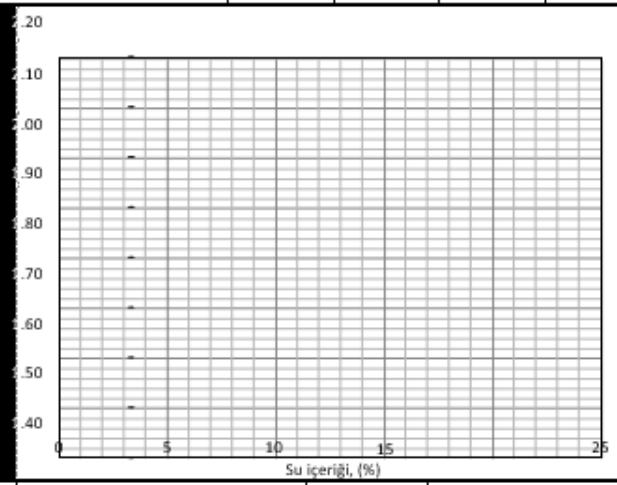
Su İçeriği										
Kap No	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Yaş Num.+ Kap (g)										
Kuru Num. + Kap (g)										
Kap ağırlığı (g)										
Suyun ağırlığı (g)										
Kuru num. ağ. (g)										
Su içeriği, w (%)										
Ortalama Su İçeriği (%)										
KBHA, γ_k (g/cm^3)										

KOMPAKSİYON DENEYİ
KURU YOĞUNLUK-SU İÇERİĞİ İLİŞKİSİ

İş No.	1	Yer	KBÜ LAB.	Sondaj no.	SK-7
Proje	INM305			Numune No.	İK-7
Tarih	01.11.2022			Derinlik (m)	1.5
Zemin Tanımı	Kahverengi kumlu silt		Tane yoğunluğu, ρ_s (g/m^3)		2.1
			20mm elek üzerinde kalan (%)		40
Test türü	2.5kg-1L kalıp	**Çekiç**	Kütle (kg)	2.5	Düşüş yüksekliği (mm) 300
	3 layers, 27 vuruş/tabaka	**Kalıp**	Çap. (mm)	105	Kalıp hacmi (ml) 1000

YOĞUNLUK	Test no.	1	2	3	4	5	6
	Eklenen su hacmi (ml)						
	Kalıp kütlesi + taban (g)						
	Kalıp kütlesi + taban + zemin (g)						
	Sıkıştırılan zemin kütlesi(g)						
	Yoğunluk (g/m^3)						
SU İÇERİĞİ	Kap no.	1	2	3	4	5	6
	Kabın kütlesi (g)						
	Kabın kütlesi + ıslak zemin (g)						
	Kabın kütlesi + kuru zemin (g)						
	Suyun kütlesi (g)						
	Kuru zemin kütlesi (g)						
	Su içeriği (%)						
	Kuru Yoğunluk (g/m^3)						

KOMPAKSİYON EĞRİSİ



SONUÇ

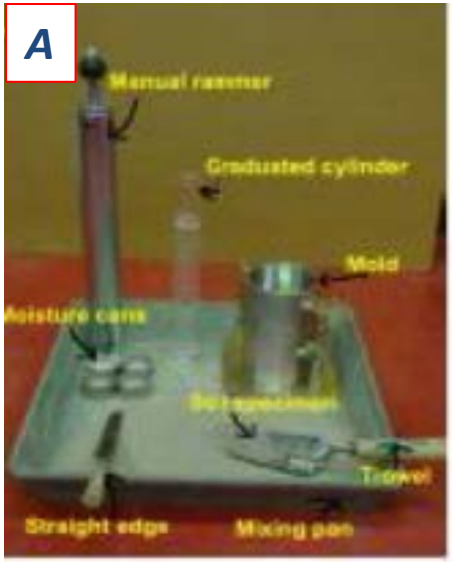
Optimum Su İçeriği (%)	
Maksimum Kuru Yoğunluk (g/m^3)	

Uyarılar:

Testi yapan	INM305 Öğrencileri	Kontrol eden	Doç. Dr. İnan KESKİN

KARABÜK ÜNİVERSİTESİ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

DENEY YÖNTEMİ



DENEY YÖNTEMİ

Modifiye proktör; 5 tabaka, 56 vruş, 4.54 kg çekiç, 45.7 düşüş, 152.4mm*116.4 mm kalıp

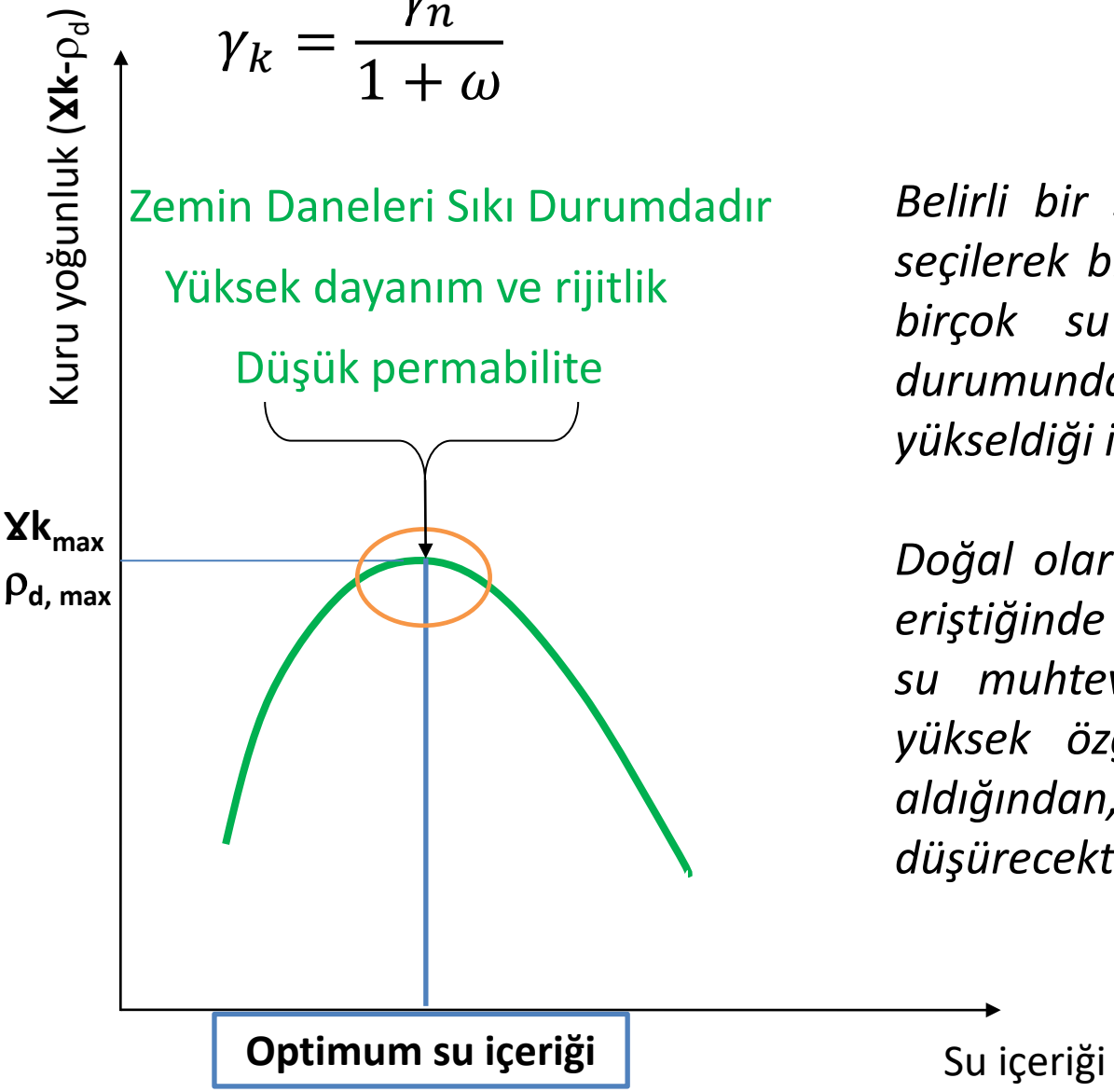
KALIP/MOULD	1	2	3	4	5
KALIP + ISLAK TOPRAK (A) g. WEIGHT of MOULD + SOIL	8888	9115	9340	9125	9134
KALIP AĞIRLİGİ (B) g. WEIGHT of MOULD	4055	4055	4155	4046	4155
ISLAK TOPRAK AĞIRLIGI C=(A-B) g. WEIGHT of SOIL	4833	5060	5185	5079	4979
KALIP HACMİ (D) VOLUME of MOULD cm^3	2124	2124	2124	2124	2124
ISLAK YOGUNLUK E=(C/D) MOIST DENSITY g/cm^3	2.275	2.382	2.441	2.391	2.344

KAP/ TARE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
KAP AĞIRLIGI + ISLAK TOPRAK (a) g. WET SAMPLE + TARE	247.3	262.7	224.8	211.2	210.9	196.7	234.8	255.8	302.7	282.8
KAP AĞIRLIGI + KURU TOPRAK (b) g. DRY SAMPLE + TARE	243	258.2	217.4	204	200.3	186.8	219.3	238.4	277.2	259.1
SU AGIRLIGI c=(a-b) WEIGHT of WATER g.	4.3	4.5	7.4	7.2	10.6	9.9	15.5	17.4	25.5	23.7
KAP AĞIRLIGI (d) g. WEIGHT of TARE	19.3	27.2	20.1	19.9	25.7	26.4	23.6	22.1	27.1	26.8
KURU TOPRAK AĞIRLIĞI e=(b-d) g. WEIGHT of DRY SAMPLE	223.7	231	197.3	184.1	174.6	160.4	195.7	216.3	250.1	232.3
SU İCERİGİ f=(c/e)*100 % WATER CONTENT	1.92	1.95	3.75	3.91	6.07	6.17	7.92	8.04	10.20	10.20
ORTALAMA SU ICERIGI g=(f1+f2)/2 % AVERAGE WATER CONTENT	1.9		3.8		6.1		8.0		10.2	
KURU YOĞUNLUK h=(100*E)/(100+g) DRY DENSITY g/cm3	2.232		2.294		2.300		2.214		2.127	

KOMPAKSİYON EĞRİSİ

Kompaksiyon eğrisi kuru birim hacim ağırlık ve su muhtevasına bağlı olarak çizilir

$$\gamma_k = \frac{\gamma_n}{1+\omega}$$

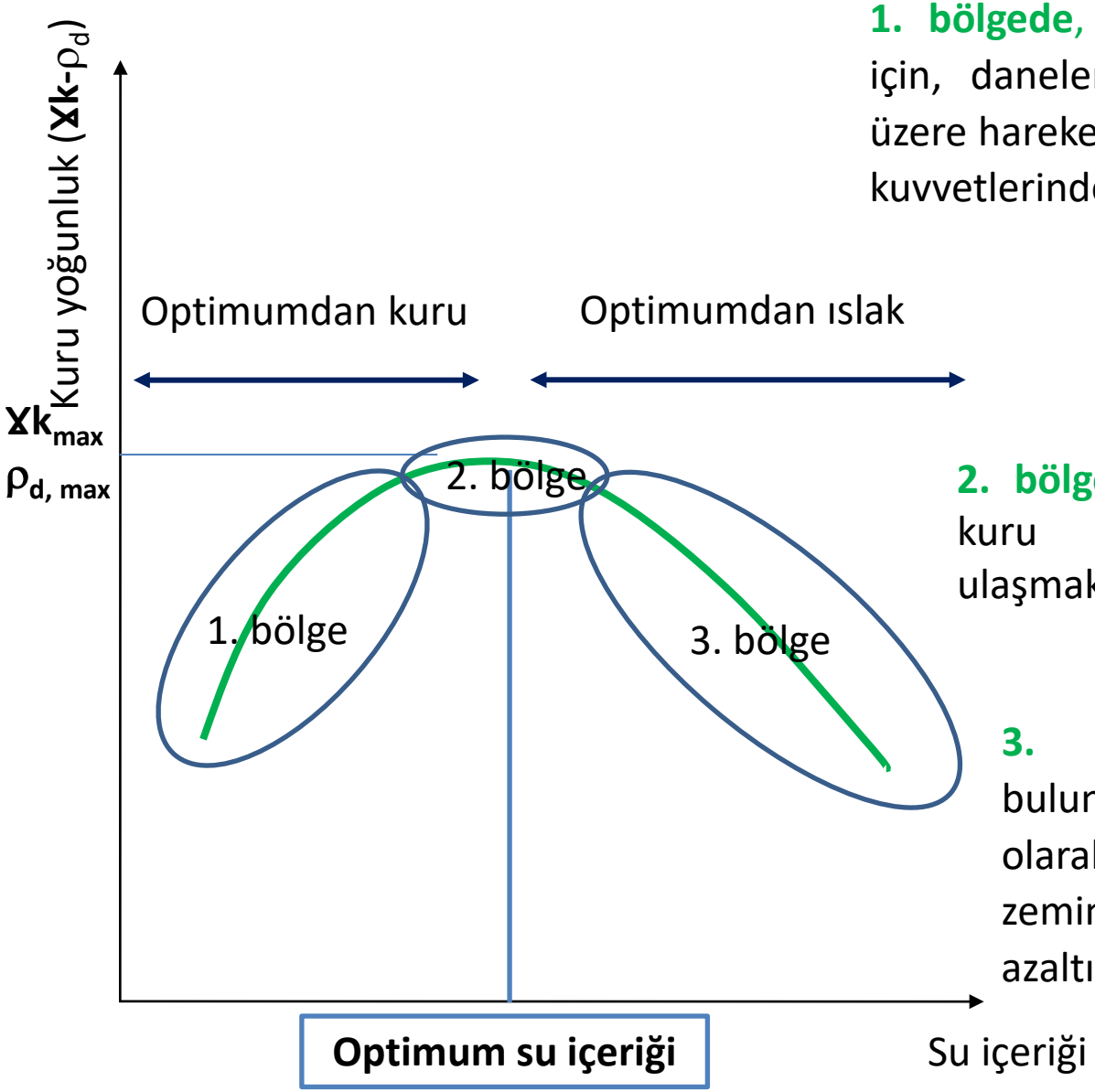


Belirli bir sıkıştırma yöntemi ve enerjisi seçilerek bir zeminin kurudan başlayarak birçok su muhtevasında sıkıştırılması durumunda birim hacım ağırlığının yükseldiği izlenecektir.

Doğal olarak bu artış zemin doygunluğa eriştiğinde durmaktadır. Bunun ötesindeki su muhtevalarında, zeminde su daha yüksek özgül ağırlıkta tanelerin yerini aldığından, birim hacim ağırlık düşürecektir.

KOMPASİYON EĞRİSİ

Kompaksiyon eğrisi kuru birim hacim ağırlık ve su muhtevasına bağlı olarak çizilir

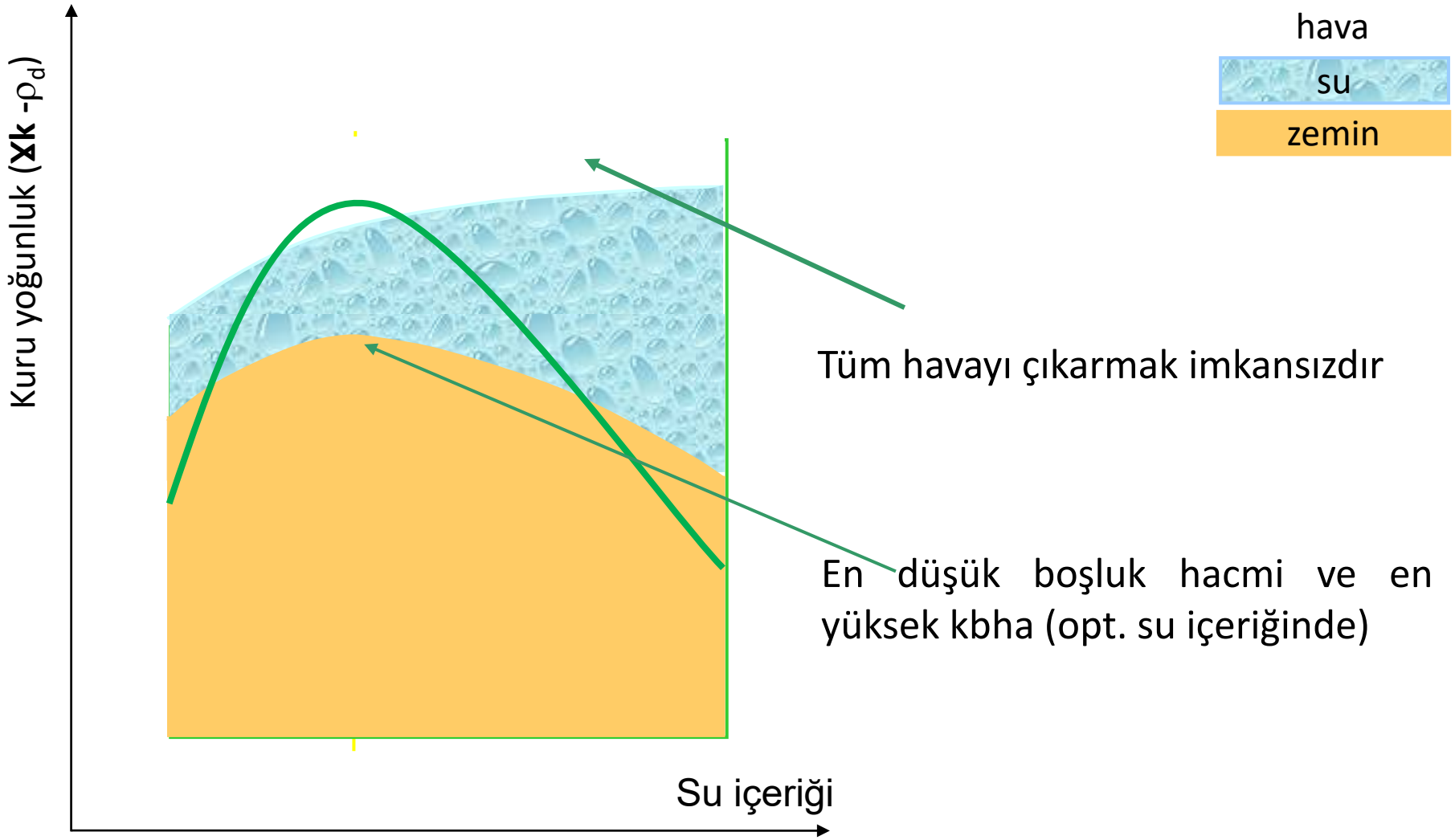


1. bölgede, zeminde yeterli su bulunmadığı için, danelerin daha az boşluklu yerleşmek üzere hareket etmeleri, daneler arası sürtünme kuvvetlerinden dolayı zordur.

2. bölgede, sıkışma en yüksek olmakta, kuru yoğunluk maksimum değere ulaşmaktadır.

3. bölgede, zeminde fazla su bulunduğundan ve suyun da pratik olarak sıkışmaz olmasından dolayı, gene zeminin boşluk hacmi fazla azaltılamamaktadır

KOMPASİYON EĞRİSİ



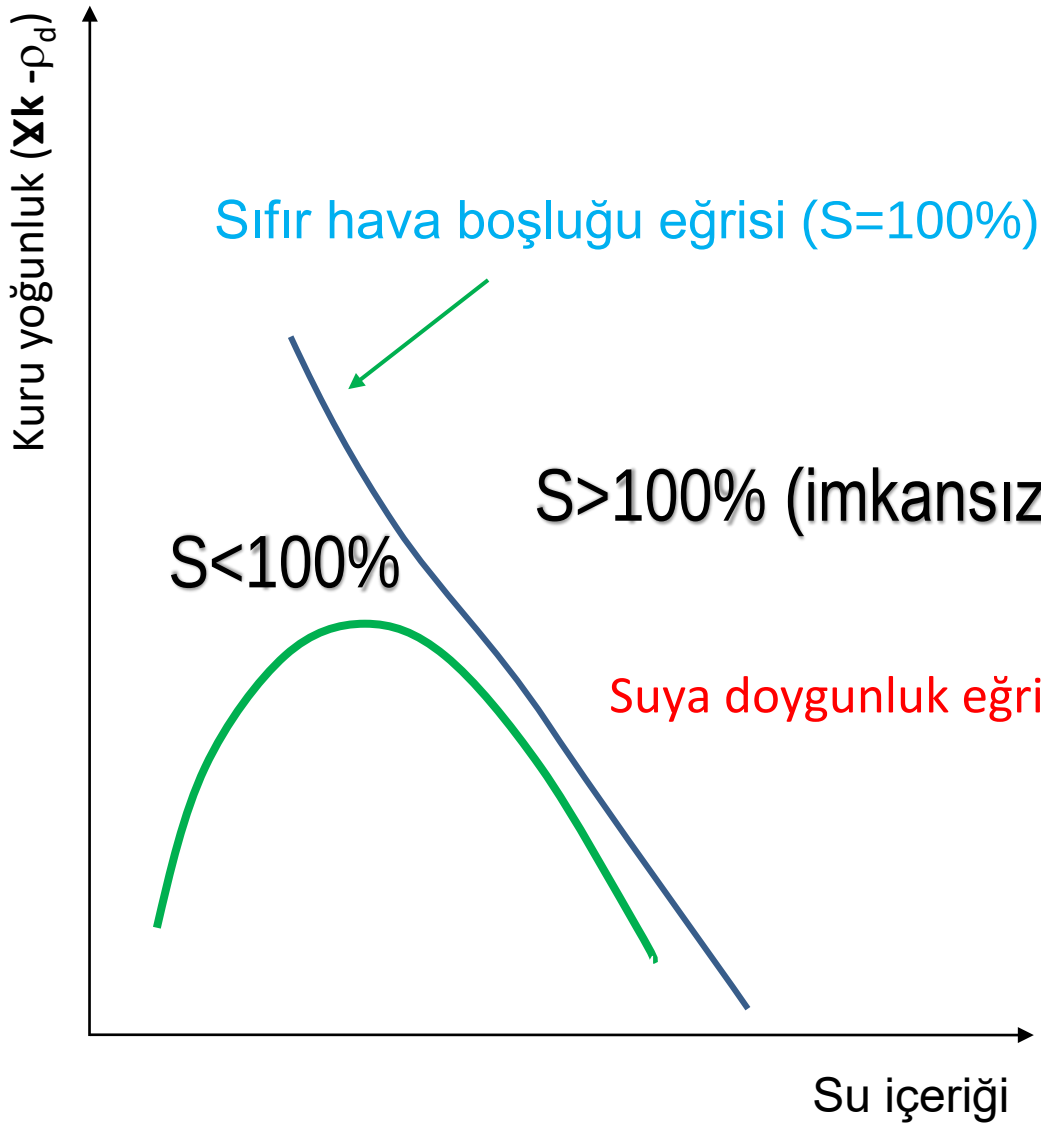
Üç fazlı zemine su ilave edilmesi durumunda oluşan durum

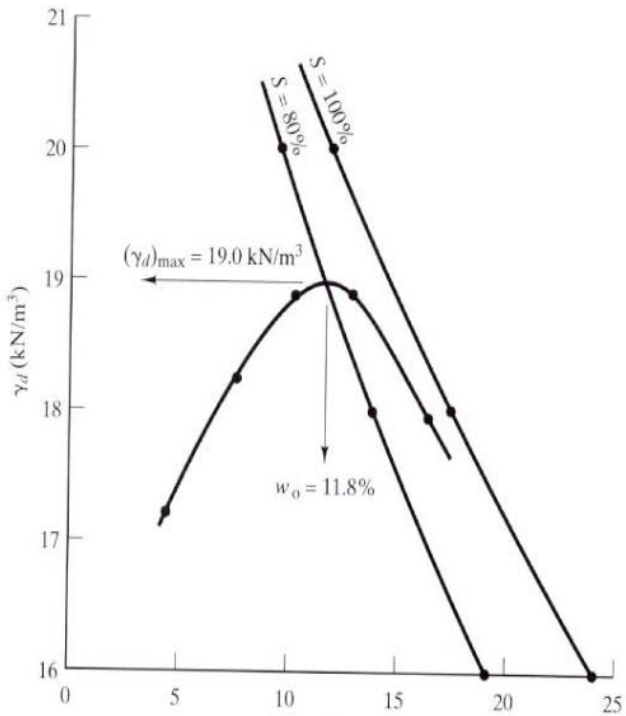
SIFIR HAVA BOŞLUĞU EĞRİSİ

- 100% doygunlukla karşılaştırma

Tepe noktasında doygunluk derecesi ne kadar yüksekse sıkışma o kadar iyidir.

Pratik olarak tam doygun durum elde edilmez





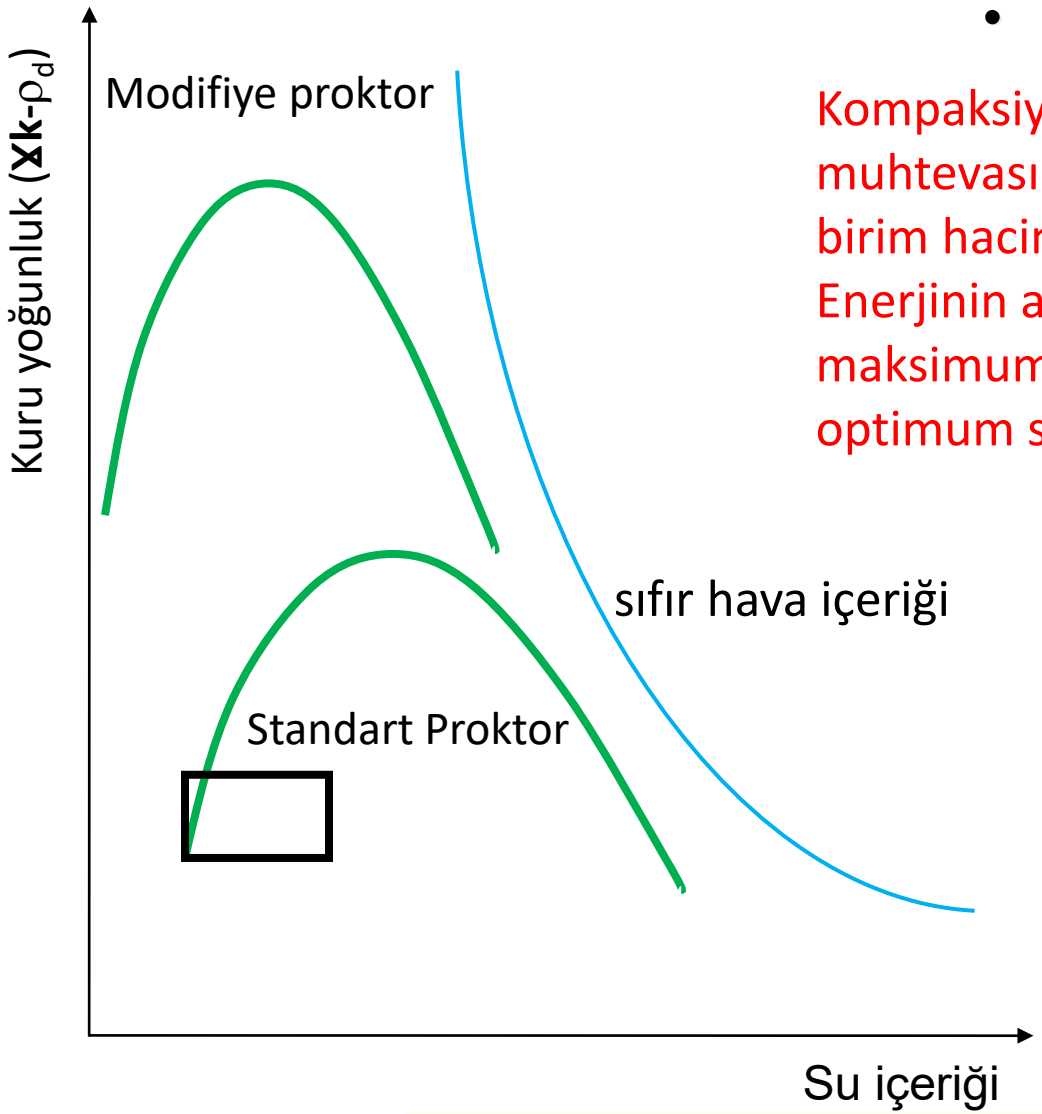
Suya doygunluk eğrilerinin denklemi, $\gamma_{k\%x} = \dfrac{G_s * \gamma_w}{1 + \dfrac{G_s * \omega}{S_r}}$

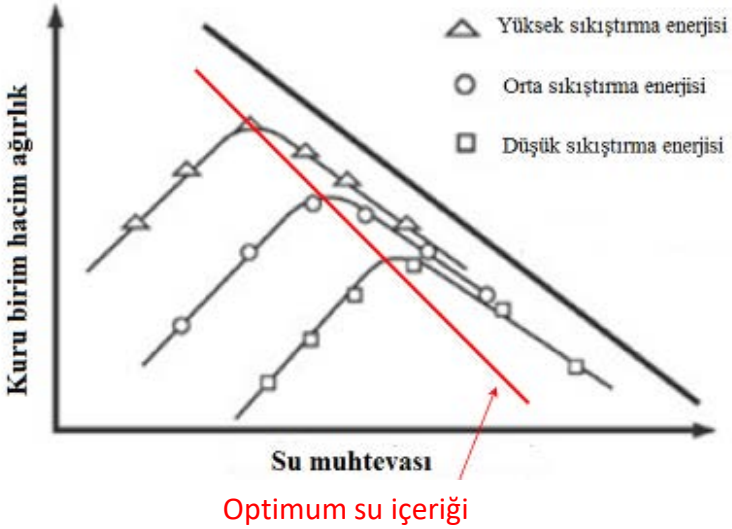
Bütün kompaksiyon noktaları sıfır hava boşluğu eğrisinin solunda olmak zorundadır.

KOMPAKSİYON ENERJİSİNİN ETKİSİ

- Optimum su içeriği düşer
- Maksimum kuru yoğunluk yükselir

Kompaksiyon enerjisini artırmakla aynı su muhtevasındaki zemini daha yüksek bir doğal birim hacim ağırlığa getirmek mümkündür.
Enerjinin artmasıyla
maksimum kuru birim hacim ağırlık artmakta, optimum su muhtevası azalmaktadır.

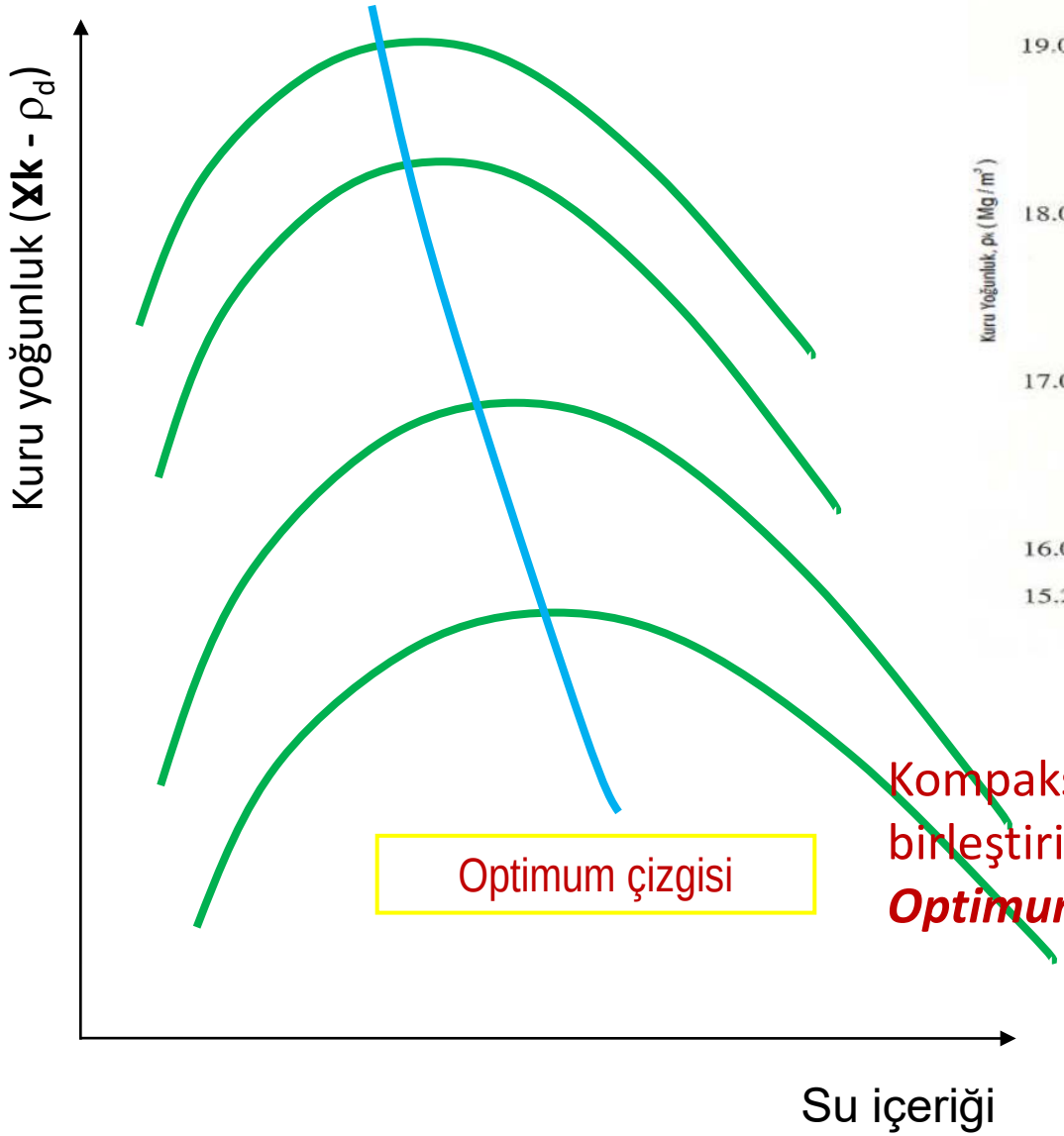


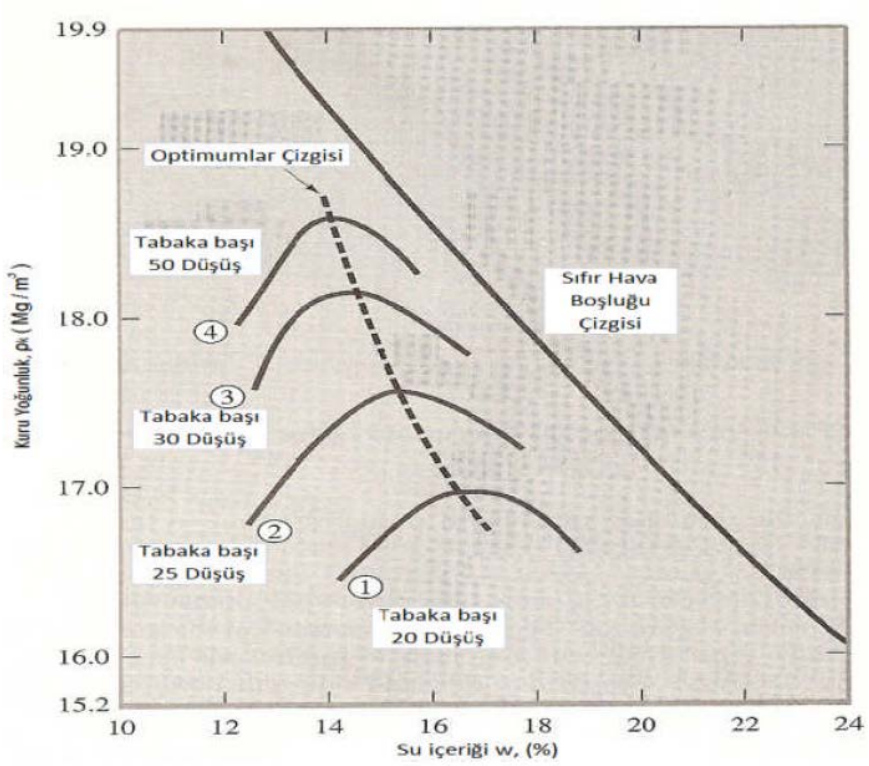


Kompaksiyon Enerjisi $E = \dfrac{(\text{Her tabakaya düşüş sayısı}) \times (\text{Tabaka sayısı}) \times (\text{Çekiç ağırlığı}) \times (\text{düşüş yüksekliği})}{\text{Kalıp hacmi}}$

UYGUNLUK EĞRİLERİ Optimumlar Eğrisi

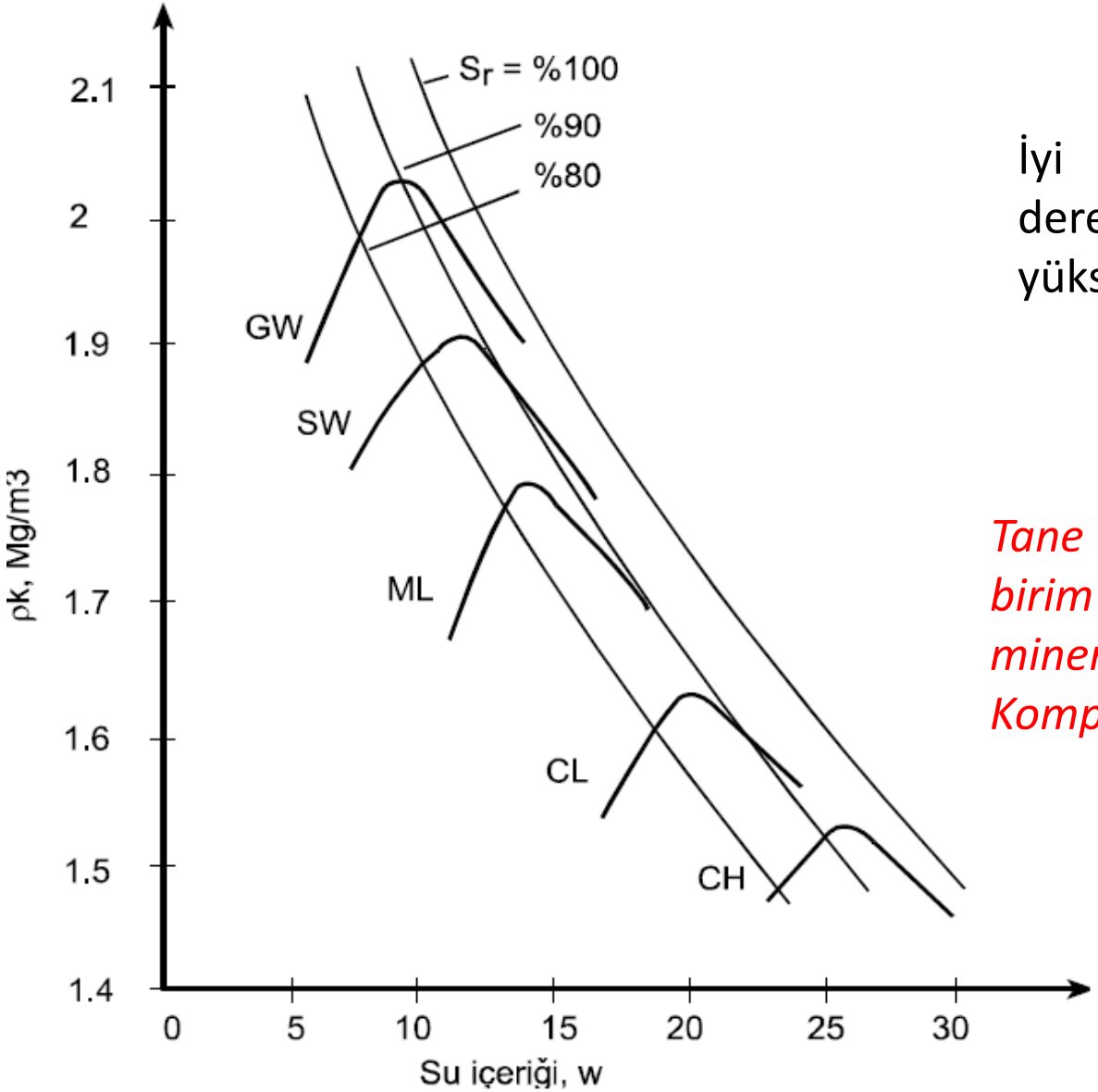
Farklı durumlardaki kompaksiyon eğrisi





Kompaksiyon eğrilerinin tepe noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen eğriye ***Optimumlar Çizgisi*** adı verilir.

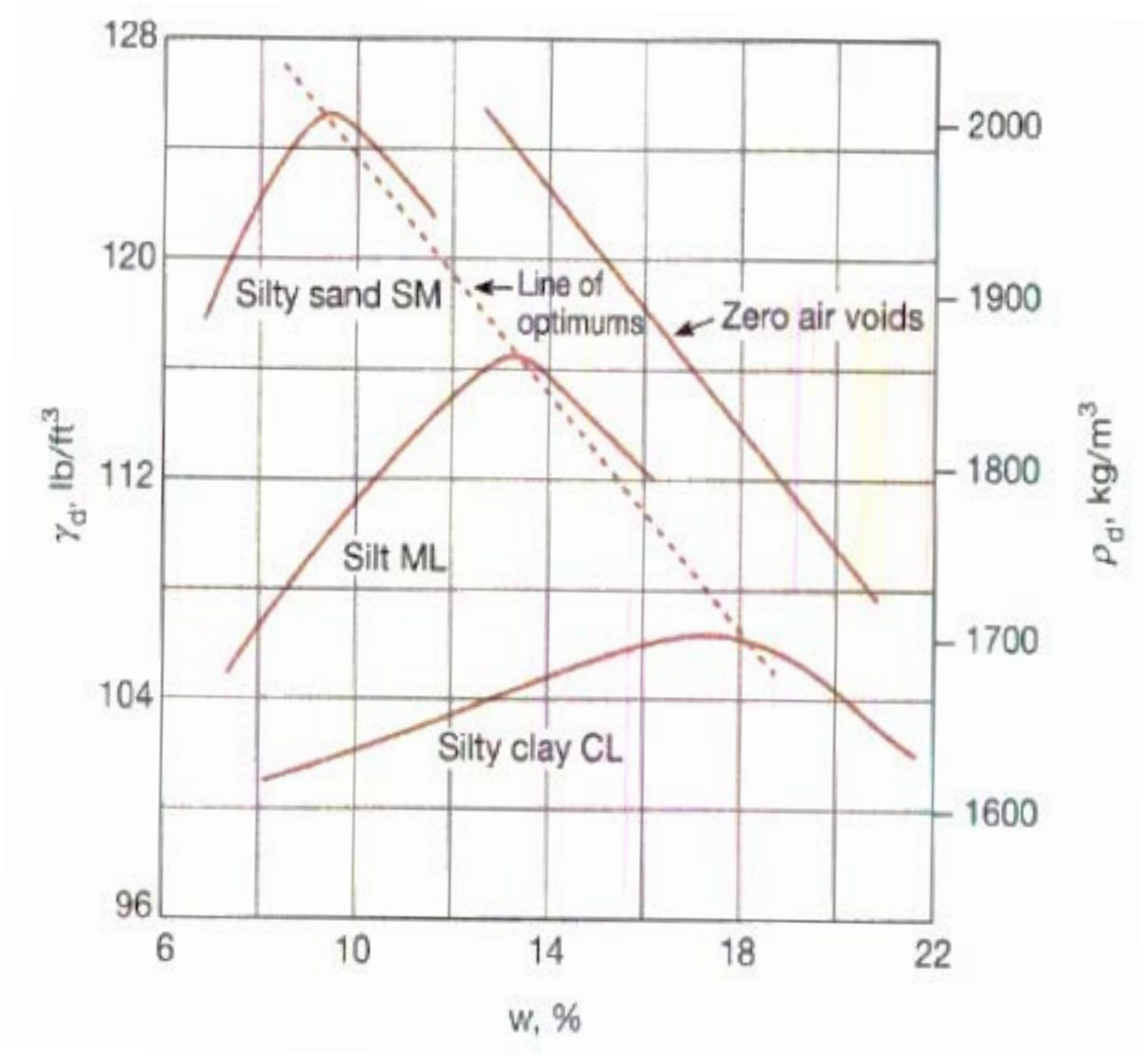
ZEMİN CİNSİ VE DANE DAĞILIMININ KOMPAKSIYONA ETKİSİ



İyi derecelenmiş zemin, kötü derecelenmiş zemine göre daha yüksek γ_{kmax}'a sahip olur

Tane çapı dağılımı, Tane şekli, Tane birim hacim ağırlığı, Mevcut kil minerallerinin miktarı ve özellikleri Kompaksiyon derecesini etkiler.

ZEMİN CİNSİ VE DANE DAĞILIMININ KOMPAKSİYONA ETKİSİ



İnce taneli zeminler optimuma ulaşmak için daha fazla suya ihtiyaç duyarlar,

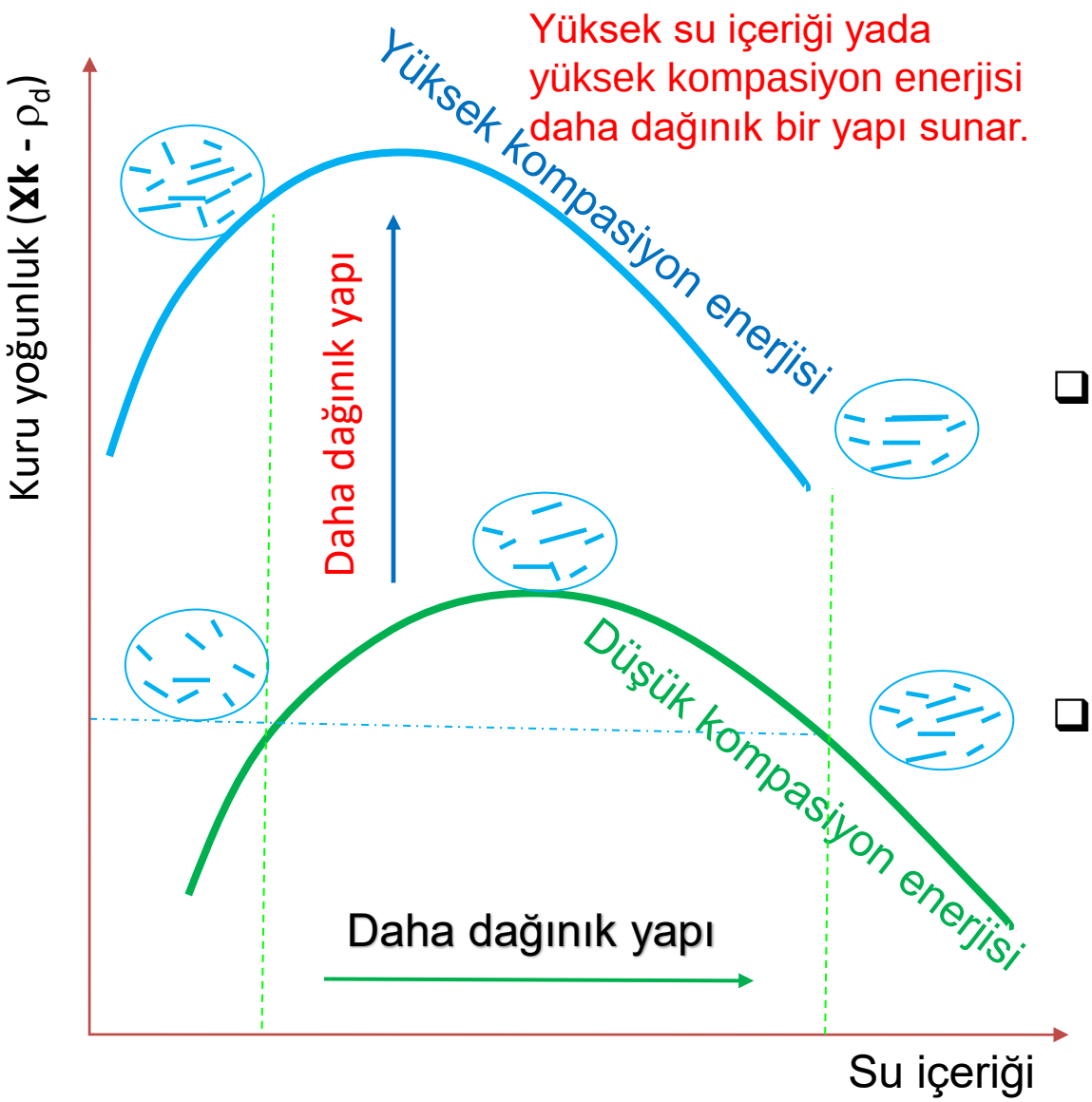
Kaba raneli zeminler ise optimum su muhtevasına daha az bir su ile ulaşırlar.

Kompaksiyon sonucu iri taneli zeminlerin sıkılık derecesi artmakta, bunun sonucu olarak da kayma mukavemetinde artışlar, yük altında sıkışmada (kompresibilitede) ise azalmalar meydana gelmektedir.

Böylece iri taneli zeminler kompaksiyon sonucu daha yüksek taşıma gücüne sahip olmakta ve daha az oturmaya uğramaktadır.

KOMPAKSİYON VE ZEMİN DOKUSU

Kompaksiyon su muhtevası ve sıkıştırma yöntemi sıkıştırılmış kohezyonlu zeminlerin tane iç yapısını etkilemektedir.



- Optimum su muhtevasından daha düşük su muhtevalarında (kuru tarafta) sıkıştırılan kohezyonlu zeminlerin iç yapısı incelendiğinde, zemini oluşturan tanelerin genellikle birbirlerine göre eğimli olduğu ve taneler arasında kenar-yüzey temasının hakim bulunduğu,
- Optimum su muhtevasından daha yüksek su muhtevalarında (ıslak tarafta) sıkıştırılan zeminlerin ise hemen hemen birbirlerine paralel uzanan tanelerden oluştuğu gözlemektedir
- Kompaksiyon enerjisinin arttırılması ve yoğrulma etkisi gösteren kompaksiyon yöntemlerinin (keçi ayaklı silindir gibi) kullanılması da tanelerin birbirine paralellik derecesini arttırıcı yönde etki yapmaktadır.

OPTİMUM SU MUHTEVASININ KURU VE ISLAK TARAFINDA SIKIŞTIRILAN ZEMİNLER

Özellik	Karşılaştırma
1. Zemin İç yapısı yapısı,	Kuru taraf gelişi güzel, Islak taraf eğimli tane Kuru tarafın iç yapısı daha çabuk göçmeye müsait
2 .Permeabilite	Kuru taraf daha geçirgen
3. Sıkışabilirlik	**Düşük basınçlarda** ıslak taraf yüksek sıkışabilirlikte. **Yüksek basınçlarda** kuru taraf yüksek sıkışabilirlikte. Kuru taraf basınç altında daha hızlı sıkışır ve şişmeye daha yatkındır.
4. Mukavemet	Kompaksiyon Su muhtevasında a-) Drenajsız Mukavemet, kuru tarafta daha yüksek. b-) Drenajlı Mukamemet, kuru taraf biraz daha yüksek. Suya doygun hale geldikten sonra a-) Drenajsız Mukavet, şişmeye izin verilmezse kuru taraf aksi halde ıslak taraf daha yüksek. b-) Drenajlız ve Dranajslı Mukavet hemen hemen aynı.
5. Boşluk suyu basıncı	Islak tarafta daha yüksek.
6. Sensitivite	Kuru taraf için daha yüksek.

ARAZİDE KOMPAKSİYON

Arazide kompaksiyon işlemi esnasında tabakalar halinde serilen zeminin yerinde sıkıştırılması yapılmaktadır.

- Bu sıkıştırma işleminin en randımanlı ve ekonomik olarak gerçekleştirilebilmesi amacı ile değişik türde birçok arazi kompaksiyon makinesi geliştirilmiştir.
- Proje amaçlarına en uygun kompaksiyon makinesinin seçimi kompaksiyon işleminin başarı ile yürütülmesinde en önemli unsurlardan birini oluşturmaktadır.
- Zeminin dolgu sahasına yerleştirilmesi sırasında kalınlıkları belirli sınırlar altında kalacak şekilde tabakalar halinde serilmesi gerekmektedir.
- Zeminin cinsine, uygulanacak kompaksiyon enerjisine ve elde edilmesi istenilen sıkılık derecesine bağlı olarak seçilecek serilme kalınlığının genellikle 15-50 cm arasında kalmasına dikkat edilmelidir.

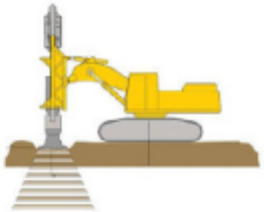
KOMPAKSİYON MAKİNELERİ

Arazide Kompaksiyon

SIKIŞTIRMA ARACI	UYGUN ZEMİN SINIFI	UYGUN OLMAYAN ZEMİN SINIFI
Düz silindir	GW, SW, ML, CL	SP, SM, CH
Keçi ayaklı silindir	SC, GC, CL, CH	GP, GW, SP, SW
Lastik tekerlekli silindir	GW, SW, SM, ML, CL	CH, OH
Titreşimli silindir	GW, SW (Kil içermeyen)	CL, CH, ML, MH, OH

Vibratory roller

Vibrating plate compactor



Rapid impact compactor

Tamping roller

High energy impact roller

Landfill compactor

Smooth wheel rollers

Sheep-footed roller

Upright rammer

Pneumatic tyred roller

Lift roller

Grid roller

KOMPAKSİYON MAKİNELERİ

Düz silindirler

- Sıkıştırma etkisi yalnızca 200-300 mm dir bu nedenle, sığ tabakalarda kullanılır.
- Baskı temas oranı 100%
- Temas yükü 380 kP'a kadar çıkabilir
- Her zemin türünde ve asfalt kaplama ile dolgu sıkıştırmada yaygın olarak kullanılır
- Kompaksiyon şekli: Statik ağırlıkla

KOMPAKSİYON MAKİNELERİ

Lastik Tekerlekli Silindirler

Birbirine yakın çok sayıda lastik tekerleği olan ağır bir araçtan oluşan bir silindirler kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerin sıkıştırılmasında kullanılmaktadır. Zeminin yüzeyi ile temas alanı yaklaşık % 80'e kadar olabilmektedir.

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

KOMPAKSİYON MAKİNELERİ

Keçi ayaklı silindir

Killerde oldukça uygundur.

Çelik bir silindirik gövde üzerinde “ayak” biçiminde çok sayıda çıkıntıdan (alanları 30 - 80 cm2) oluşan bu silindirlerde temas alanı % 8 - % 12, uygulanan basınç 1400 - 7000 kPa arasında olup sıkıştırma basınç etkisi yanında yoğrulma etkisinden de yararlanarak sağlanır. Geçiş sayısı arttıkça tabaka kalınlığı boyunca aşağıdan yukarı doğru sıkışma gerçekleşir. Keçi ayaklı silindirler özellikle kohezyonlu zeminlerin sıkıştırılmasında kullanılır.

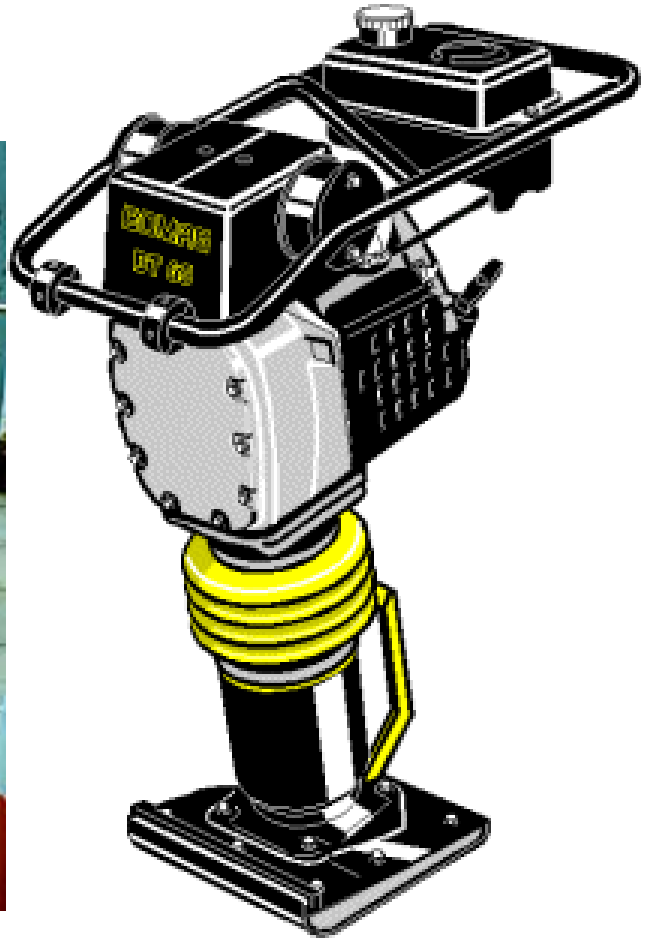
KOMPAKSİYON MAKİNELERİ

Çarpmalı silindirler

Derin bir sıkıştırma etkisi vardır (2-3m) hava alanları gibi büyük mühendislik yapılarında tercih edilir.

KOMPAKSİYON MAKİNELERİ

Vibratörler



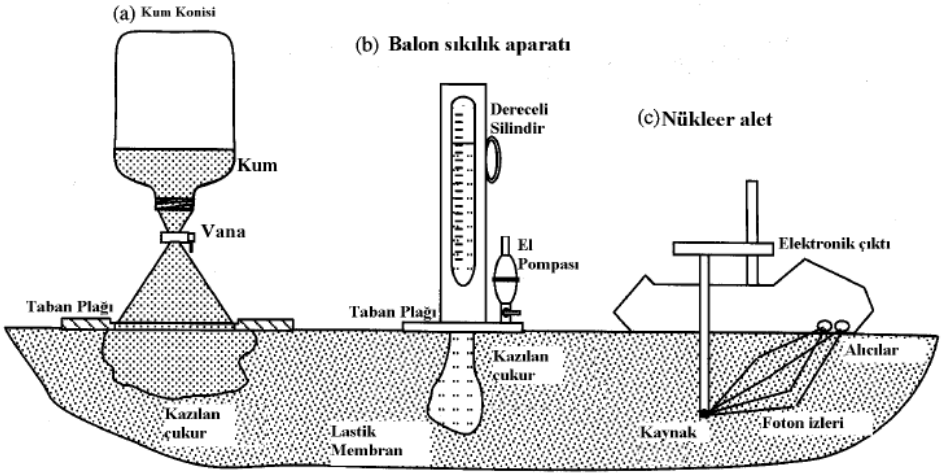
Küçük alanlarda kullanılmaktadır

Taneli zeminlerde etkilidir

ARAZİDE KOMPAKSİYONUN ÖLÇÜLMESİ (Kompasiyonun Kontrolü)

Arazi sıkışmasını değerlendirmek için, arazideki kuru birim hacim ağırlık ve su içeriğinin belirlenmesi gerekmektedir. Bazı yöntemler;

- Kum konisi yöntemi
- Su Balonu Balon yöntemi (Washington Densometer)
- Nükleer yöntem



Sıkışmanın uygulamada düzenli bir şekilde kontrol edilmesi gerekir

1000 m3 sıkışmış zemine bir deney

Max. kuru bha
Su içeriği değişimi

ARAZİDE SIKIŞMA (KOMPAKSİYON) KONTROLÜ

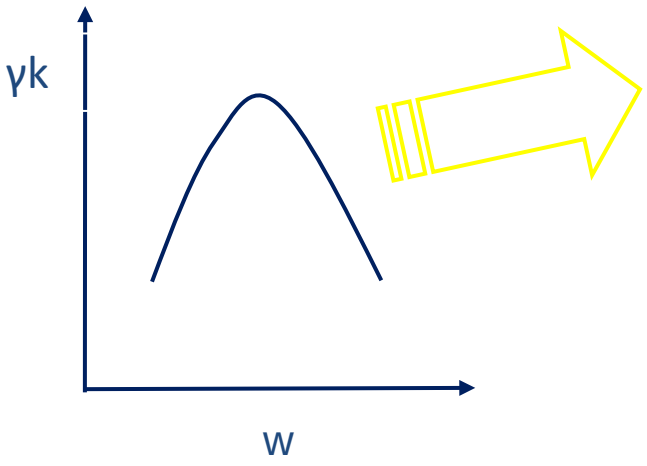
- Arazide kompaksiyon sonucu istenen sıkılığa ulaşılıp ulaşılmadığı Relatif kompaksiyon değeri ile ölçülür.
- Laboratuarda yapılan Standart veya Modifiye Proktor Deney sonuçlarından elde edilen maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevası değerlerine arazide ne kadar yaklaşıldığı esas alınır.
- % Relatif Kompaksiyon

R ~ (90 – 100%)

$$R(\%) = \frac{\gamma_{k(arazi)}}{\gamma_{k\max(lab)}} \times 100$$

- Şartnamelerde genellikle zeminin standart proktor deneylerinden elde edilen değerler doğrultusunda %95 relatif kompaksiyon değerine ulaşılıncaya kadar sıkıştırılması istenir.
- Zemin su muhtevası ise ($w_{opt} \pm \%2$) olmalıdır.

ARAZİDE SIKIŞMA (KOMPAKSİYON) KONTROLÜ



Kompaksiyon parametreleri

$\gamma k_{arazi} = ?$

$w_{arazi} = ?$

Karşılaştır!

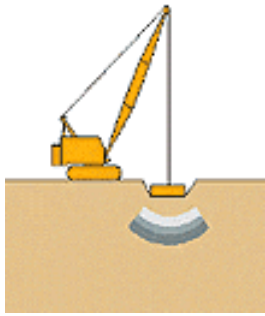
Sıkıştırılmış zemin

DİĞER ZEMİN SIKIŞTIRMA YÖNTEMLERİ

- Dinamik Kompaksiyon
- Vibro-flotasyon
- Patlatma

DİNAMİK KOMPAKSİYON

Zemine yüksekten ağırlık düşürülmesi ile yapılmaktadır

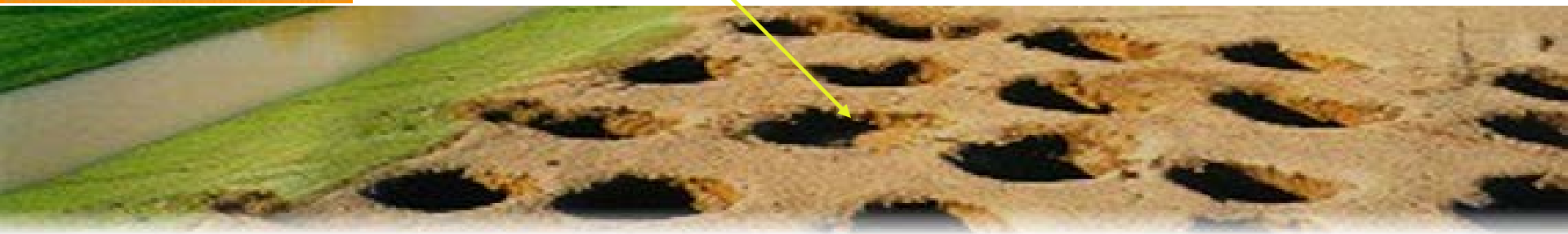


Granüler zeminler, dolgu alanları ve karstik ortamlar için uygundur.

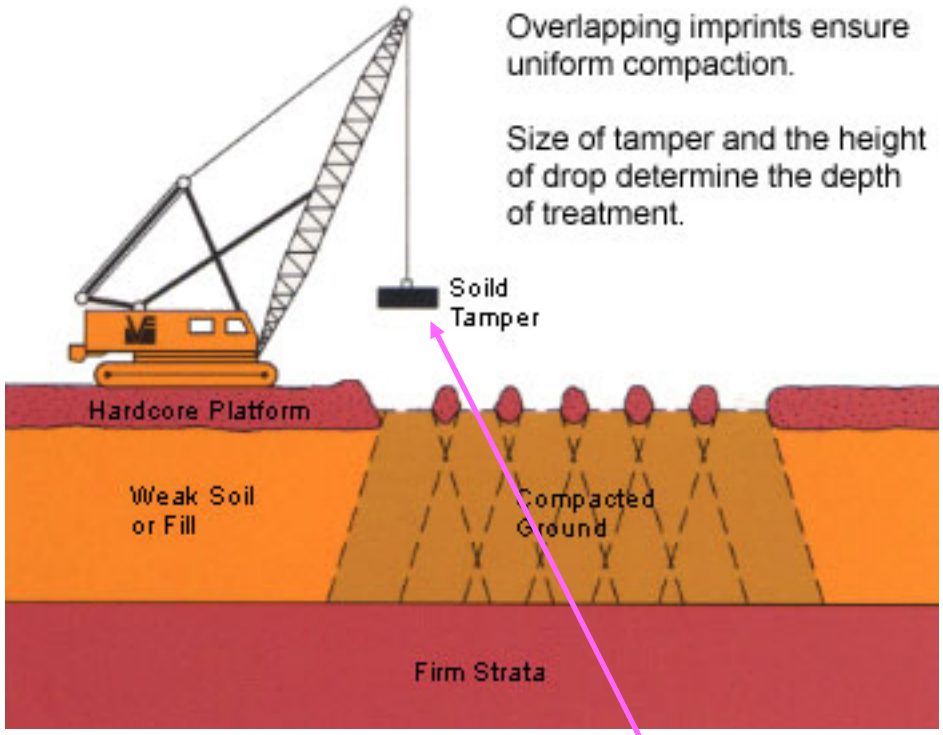
Zemin cinsi	Enerji (kj/m$^{3)}$
Kumlu zemin	220-250
Suya doygun olmayan siltli/killi zemin	250-300
Kontrolsuz dolgu	600-1100

Ağırlık

Düşme etkisi ile oluşan çukurlar



DİNAMİK KOMPAKSİYON



Ağırlık

Kütle = 5-30 ton
Yükseklik = 10-30 m

DİNAMİK KOMPAKSİYON

DİNAMİK KOMPAKSİYON

Etki Derinliği:

$$D = n\sqrt{W * H}$$

n - zemin tipine dayalı ve değişkenlik gösteren deneysel bir değer (0,35-0,6)
W - Mg cinsinden ağırlık
H - metre cinsinden damla yüksekliği

Uygulanan Enerji (AE):

$$AE = N * W * H * P/grid\ açıklığı^2$$

N: düşme sayısı
W: Mg cinsinden ağırlık
H: metre cinsinden düşme yüksekliği
P: geçiş sayısıdır

Zemin tipine göre önerilen Enerji Seviyeleri
Geçirgen Kaba Taneli Zeminler (Bölge 1) - 200 ila 250 kJ/m^3
Yarı Geçirgen Zeminler (Bölge 2 ve 3) - 250 ila kJ/m^3
Düzenli Dolgu Malzemesi - 600 ila 1.100 kJ/m^3

VİBROFLOTATİON

Granüler zeminler için uygundur. Yeraltında titreşim yapılarak sıkıştırılma yapılır.

Vibroflot (vibrating unit)

Uzunlu = 2 – 3 m
Çap= 0.3 – 0.5 m
Kütle= 2 tonnes

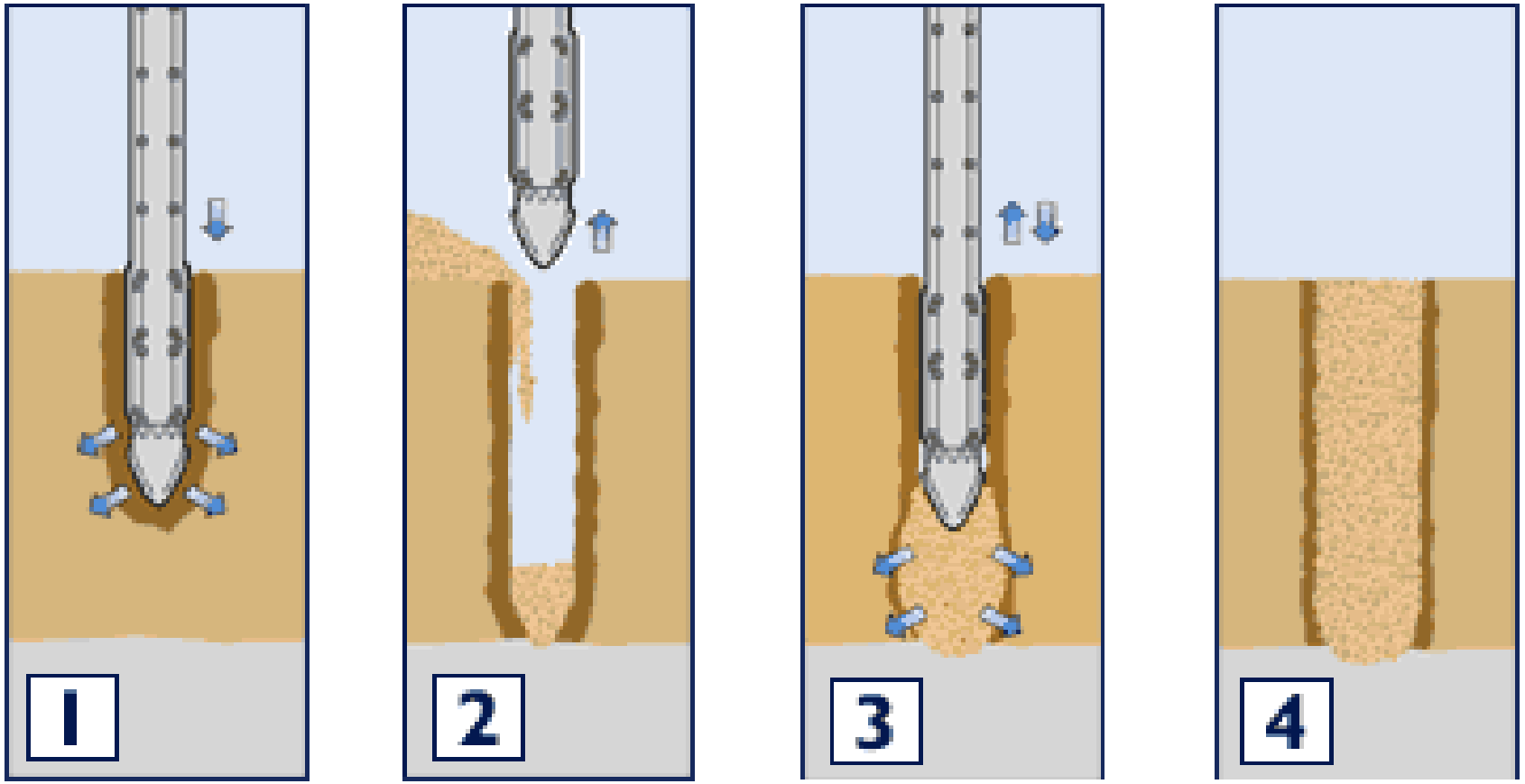
Uygulama şekilleri

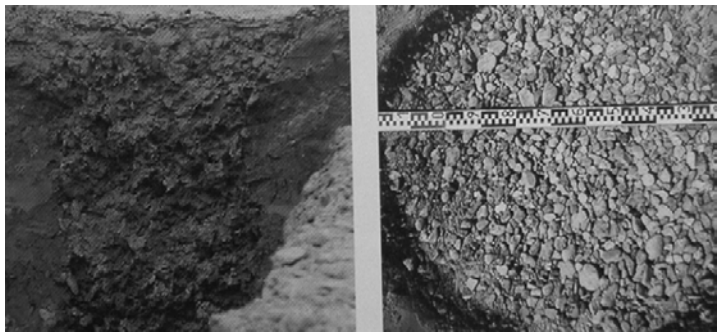
- vibro–kompaksiyon
- taş kolınlar
- titreşimli yer değiştirme

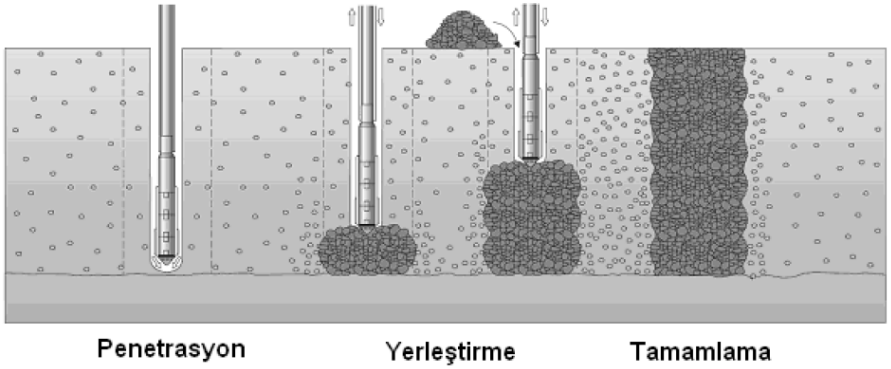
VİBROFLOTATİON

VİBROFLOTATİON

TAŞ KOLONLAR







PATLATMA