

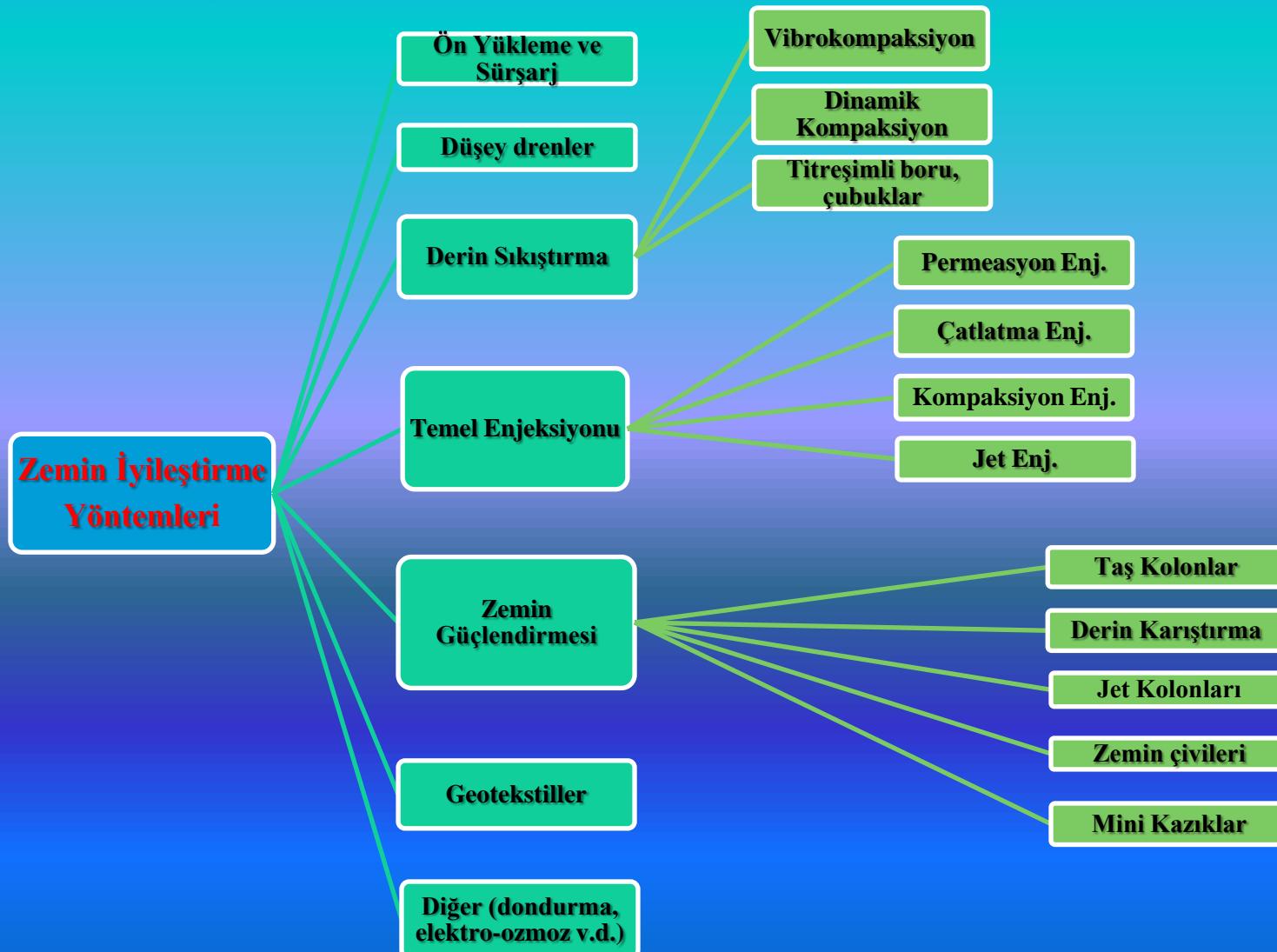
ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Dr. Aslı Özkeskin Çevik

Neden Zemin İyileştirme

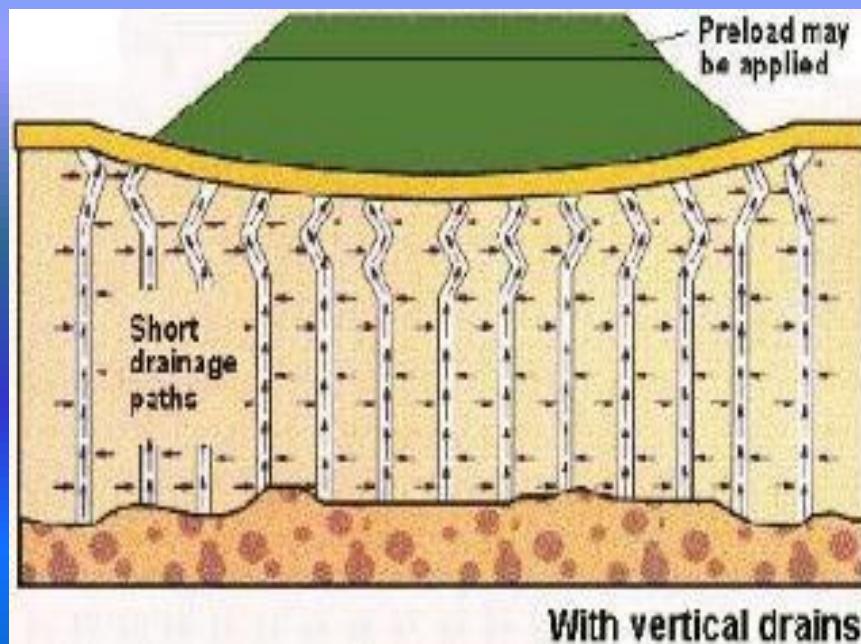
- ✓ Yetersiz taşıma gücü
- ✓ Aşırı oturmalar
- ✓ Aşırı farklı oturmalar
- ✓ Deprem sırasında sıvılaşma, taşıma gücü kaybı, aşırı yer değiştirmeler
- ✓ Temel kazısı veya dolgular ile ilgili sorunlar
- ✓ Şev duraysızlığı
- ✓ Kazı sırası ve sonrasında gelişebilecek kabarmalar
- ✓ Problemli zeminlerin varlığı (çöken, şişen, karstik, organik v.b zeminler)

Zemin İyileştirme Yöntemleri



ÖN YÜKLEME

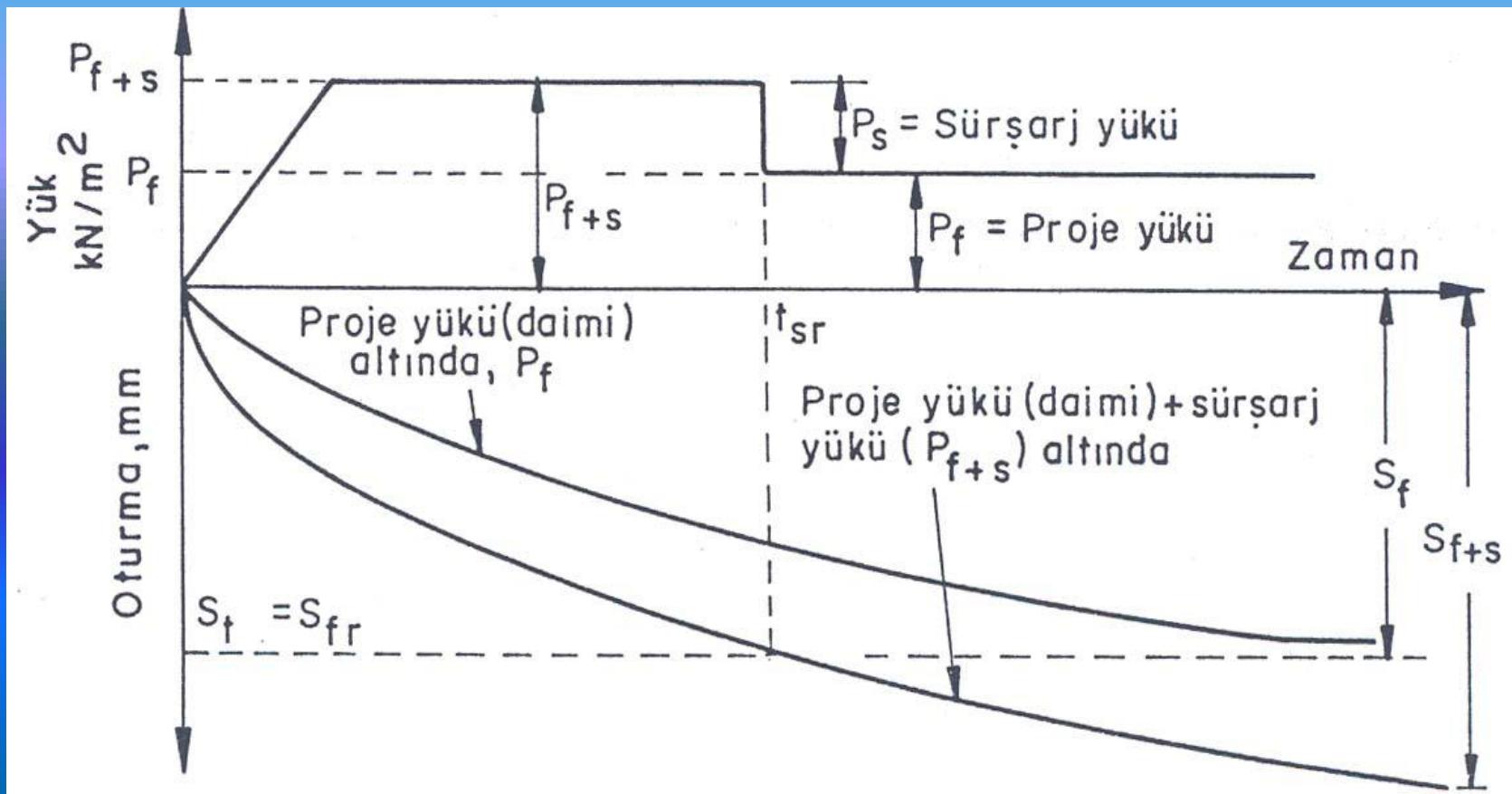
Yapının inşasından önce zeminin yayılı toprak yükü ile yüklenmesi



- Yumuşak, sıkışabilir kohesive zeminler uygundur (normal konsolidide killer)
- Ön yükleme ile beraber düşey drenler genellikle kullanılır.
- Ön yükleme ve konsolidasyon sonucu kohezyonlu zeminin drenajsız kayma mukavemeti artar. (kademeli inşaat tekniği)
- Konsolidasyon oturmalarının tamamının veya önemli bölümünün inşaat öncesinde tamamlanmasını sağlar.

Ön Yükleme devam

P_f (proje yükü) + P_s (sürşarj yükü) = P_{f+s} eşdeğer toprak dolgu ağırlığı



Ön Yükleme devam

- Proje yükü altında (daimi P_f) konsolidasyon oturması:

$$S_f = \frac{H}{1+e_0} c_c \log\left(\frac{\sigma_{v0} + P_f}{\sigma_{v0}}\right)$$

- Proje yükü+sürşarj yükü altında (P_{f+s}) kons. oturması:

$$S_{f+s} = \frac{H}{1+e_0} c_c \log\left(\frac{\sigma_{v0} + P_f + P_s}{\sigma_{v0}}\right)$$

- Konsolidasyon yüzdesi :

$$\overline{U}_{f+s} = \frac{S_f}{S_{f+s}}$$

- Bu konsolidasyon yüzdesine karşı gelen zaman:

$$t_{sr} = \frac{T \ln 2}{C_v}$$

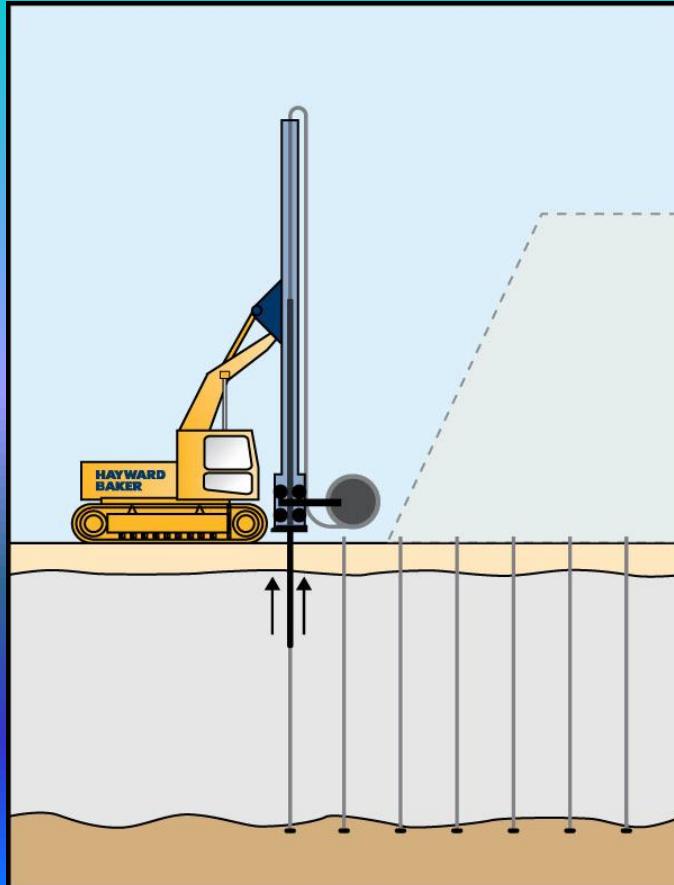
t_{sr} kadar zemin üzerinde tutulan bir $P_f + P_s$ yükü, proje yükü altındaki oturmaların tamamını karşılamaktadır!

Ön Yükleme devam

Ön yükleme uygulamalarında inşaat planlamasına bağlı olarak aşağıdaki tasarım kriterlerinden biri seçilebilir:

- ✓ Uygun bir sürşarj yükü P_s belirlenir ve oturmaların tamamlanması için gerekli sürşarj uygulama süresi hesaplanır.
- ✓ Sürşarj uygulama süresi belirlenir ve oturmaların tamamlanması için gerekli sürşarj miktarı P_s hesaplanır.

DÜŞEY DRENLER



Oturma hızlarını ve ön yükleme bekleme zamanlarını azaltmak için kullanılırlar (drenaj yolu azalır ve boşluk suyu basınçları hızla sökümlenir)

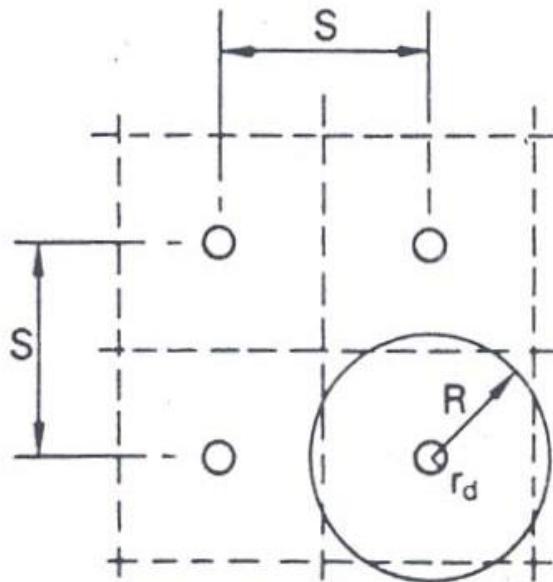
✓ Kum drenler; 20-60cm çaplı, 1.5-6m ara mesafeli kum doldurulmuş düşey kuyular

Deliklerin açılması sırasındaburgu ile foraj yöntemi tercih edilir.

✓ Yapay plastik şerit drenler; oluklu plastik kesitin etrafına sarılı geotekstil veya karton, yaklaşık 10cmx0.4cm kesitli

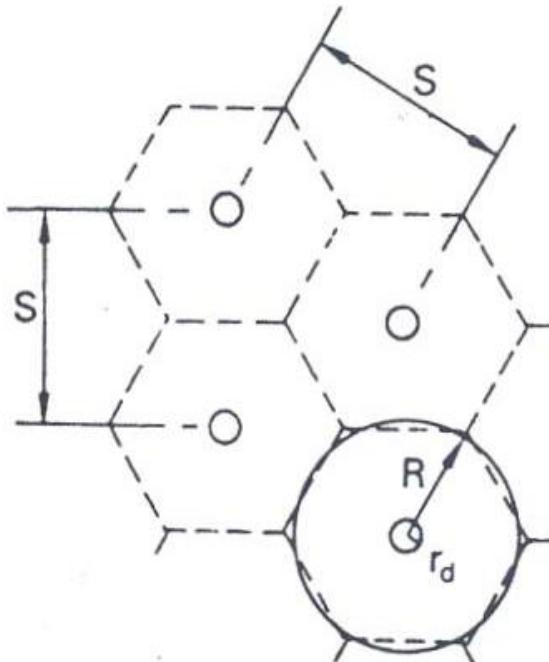
Makaraya takılmış şeritler halinde ve metal bir mandrelin yumuşak killi zeminlere itme ile sokulması ile yerleştirilirler

Düşey drenler devam



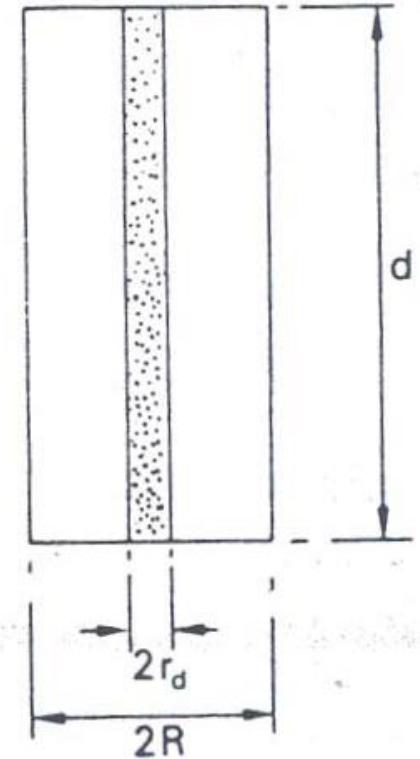
$$R = 0.564S$$

Kare yerlesim



$$R = 0.525S$$

Üçgen yerlesim

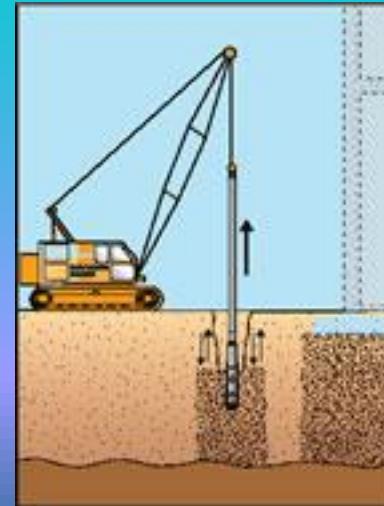


Düşey dren yerlesimi

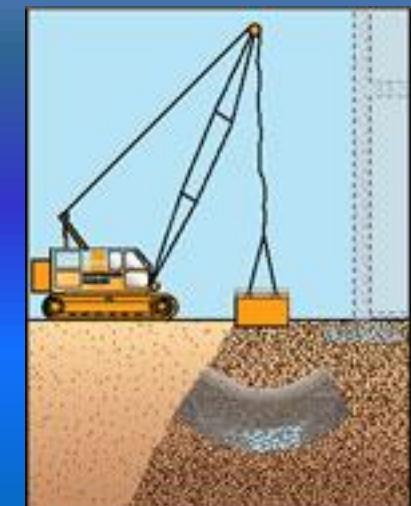
DERİN SIKIŞTIRMA

- ✓ Gevşek kohezyonsuz zeminler
- ✓ Sıvılaşma anında aşırı oturmalar

- Vibrokomپaksiyon
- Vibro (titreşimli) boru, çubuk veya sondalar
- Kompaksiyon kazıkları
- Dinamik kompaksiyon
- Patlatma



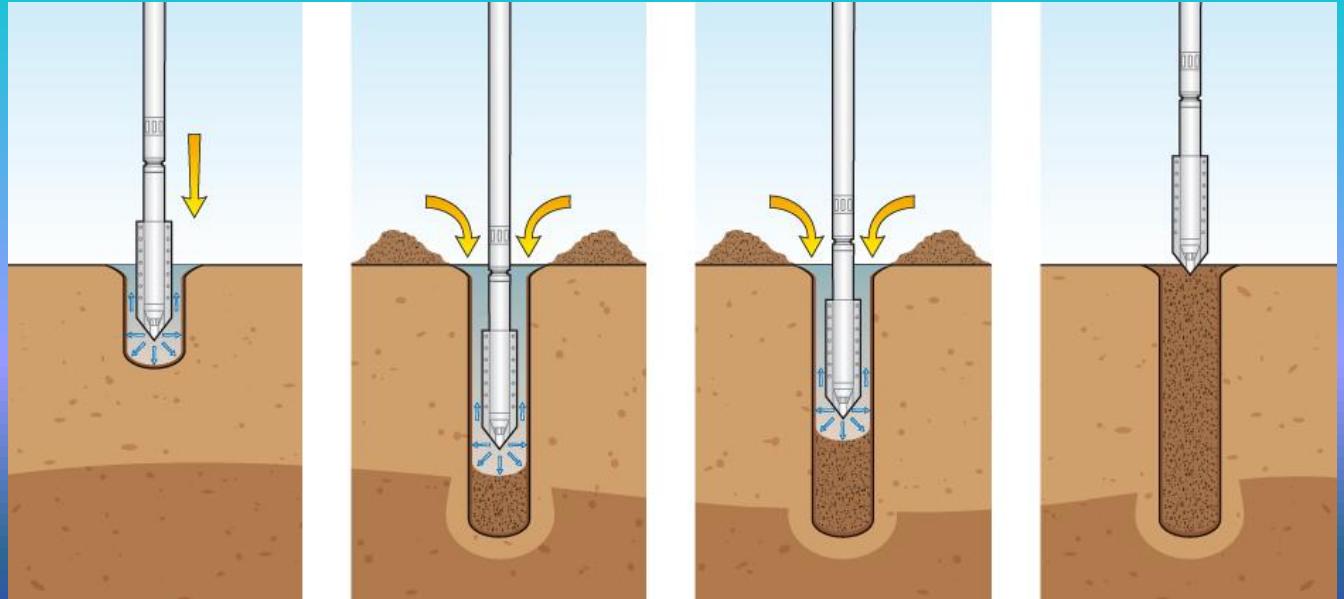
vibrokomپaksiyon



dinamik kompaksiyon

Derin Sıkıştırma

VİBROKOMPAKSİYON

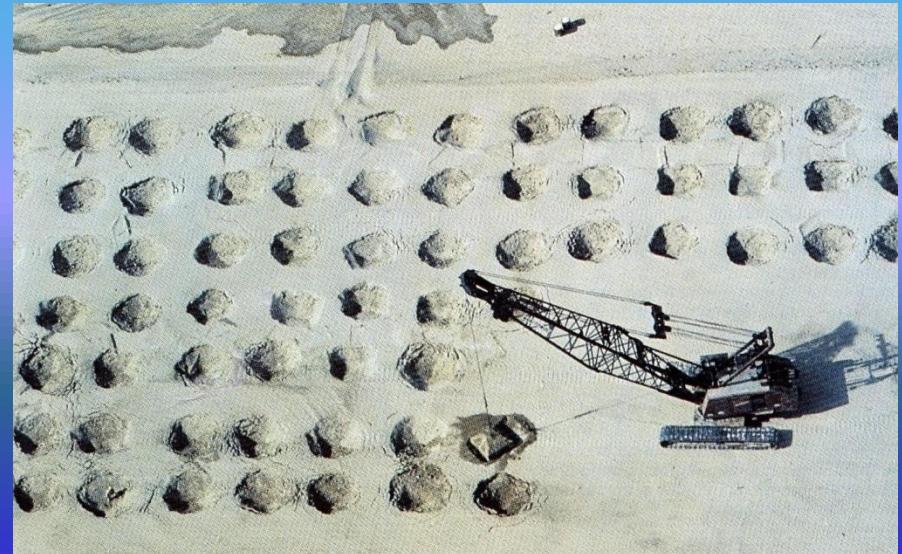


Kohezyonsuz zeminler
(ince malzeme oranı $\% < \text{No.}200$ elek en fazla $\% 20$)

- Aralık, derinlik, planda geometri ve uygulama noktaları arasında hedeflenen izafi sıkılık
- Genellikle $\% 75$ civarında bir izafi sıkılık proje kriteridir
- Uygulama aralıkları $1.5\text{-}3.0\text{m}$ arasında değişir

Derin Sıkıştırma **DİNAMİK KOMPAKSİYON**

**Ağır yüklerin belirli bir yükseklikten zemin yüzeyine düşürülmesi
ve zeminin sıkıştırılması**



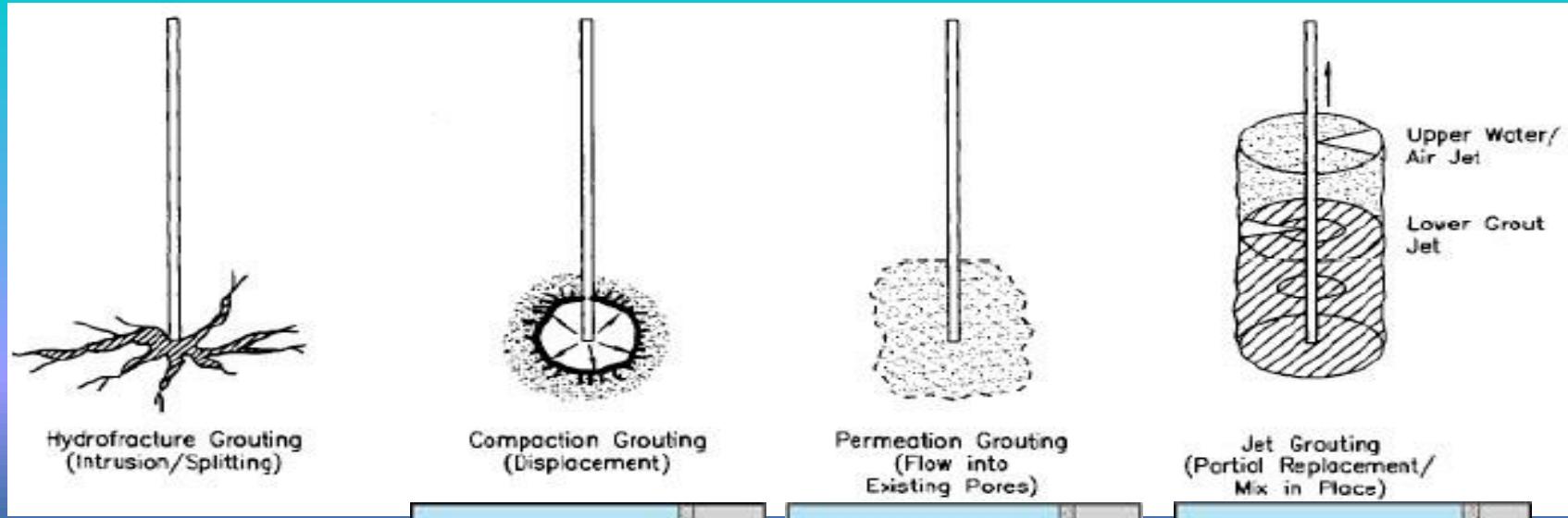
Tipik uygulama :
15-20ton ağırlık ve 15-20m den düşü

Literatürde “sıkıştırılacak zemin derinliği-enerji” ilişkileri çeşitli zemin tipleri için verilmektedir.

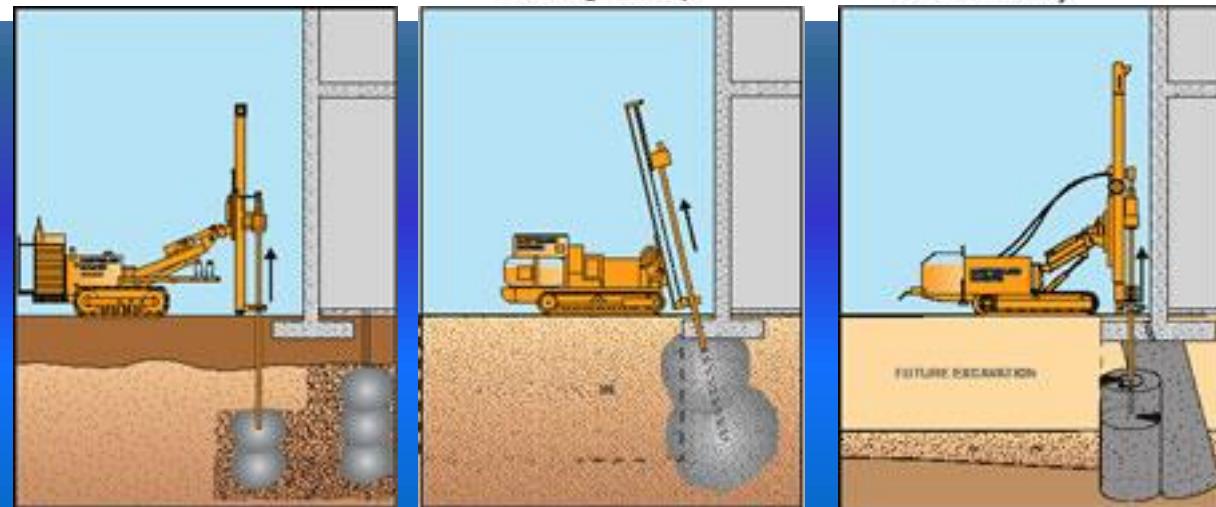
TEMEL ENJEKSİYONU

- ✓ Aşırı oturmaları önlemek amacıyla boşlukları doldurma
- ✓ Yeni yapılar veya mevcut yapıların büyütülmesi halinde zeminin emniyetli gerilmesini artırma
- ✓ Yer altı su akımını kontrol altına alma
- ✓ Tünel kazıları sırasında deplasmanları kontrol etme
- ✓ İksa problemlerini rahatlatmak amacıyla zemin güçlendirmesi
- ✓ Kazıkların düşey ve yatay kapasitelerini artırmak
- ✓ Sıvılaşmaya karşı gevşek kum tabakalarını taşlaşturma
- ✓ Temeli alttan destekleme
- ✓ Şev stabilizasyonu
- ✓ Şişen zeminlerin stabilizasyonu

Temel enjeksiyonu devam



çatlatma



kompaksiyon

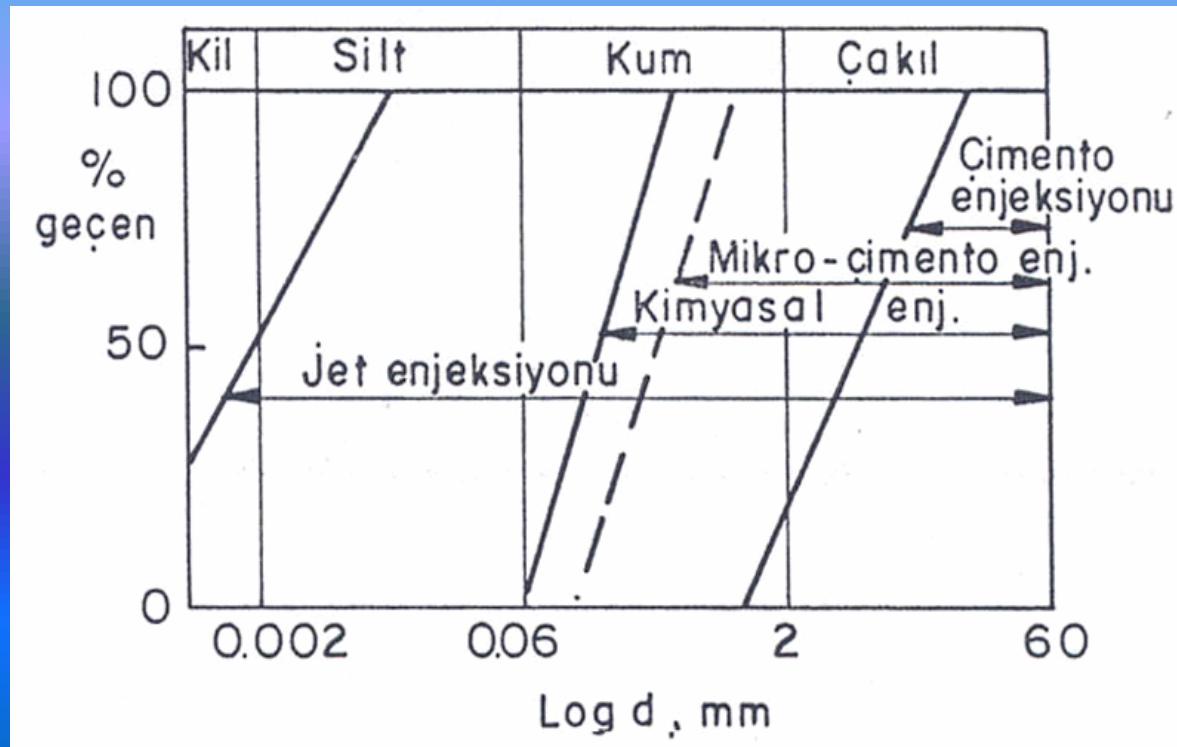
permeasyon

jet

Temel Enjeksiyonu

PERMEASYON ENJEKSIYONU

Daneler arası boşlukları doldurmak » dane çapına göre enjeksiyon malzemesi



Temel Enjeksiyonu Permeasyon Enjeksiyonu devam

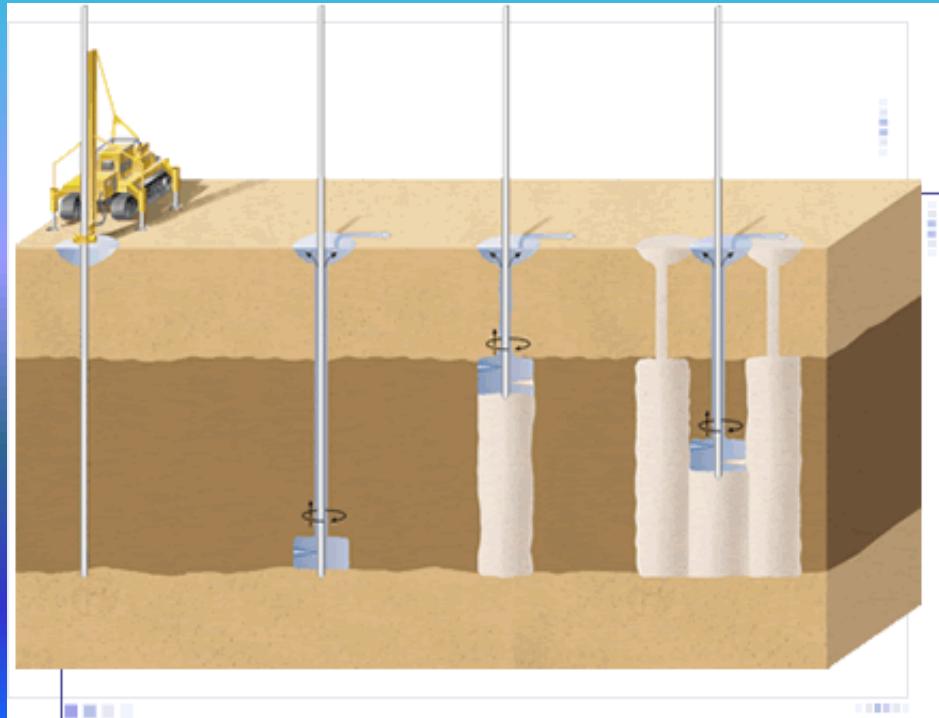
Enjekte edilebilirlik oranları (Mitchell,1981)

D15(zemin) /D85(enjeksiyon malz.)	<24	enjeksiyon düzgün olarak mümkün
	<11	enjeksiyon mümkün değil
D10(zemin)/D95(enjeksiyon malz.)	<11	enjeksiyon düzgün olarak mümkün
	<6	enjeksiyon mümkün değil

İnce malzeme oranının %20'den fazla olduğu zeminlerde permeasyon enjeksiyonu mümkün olmaz!

Temel enjeksiyonu

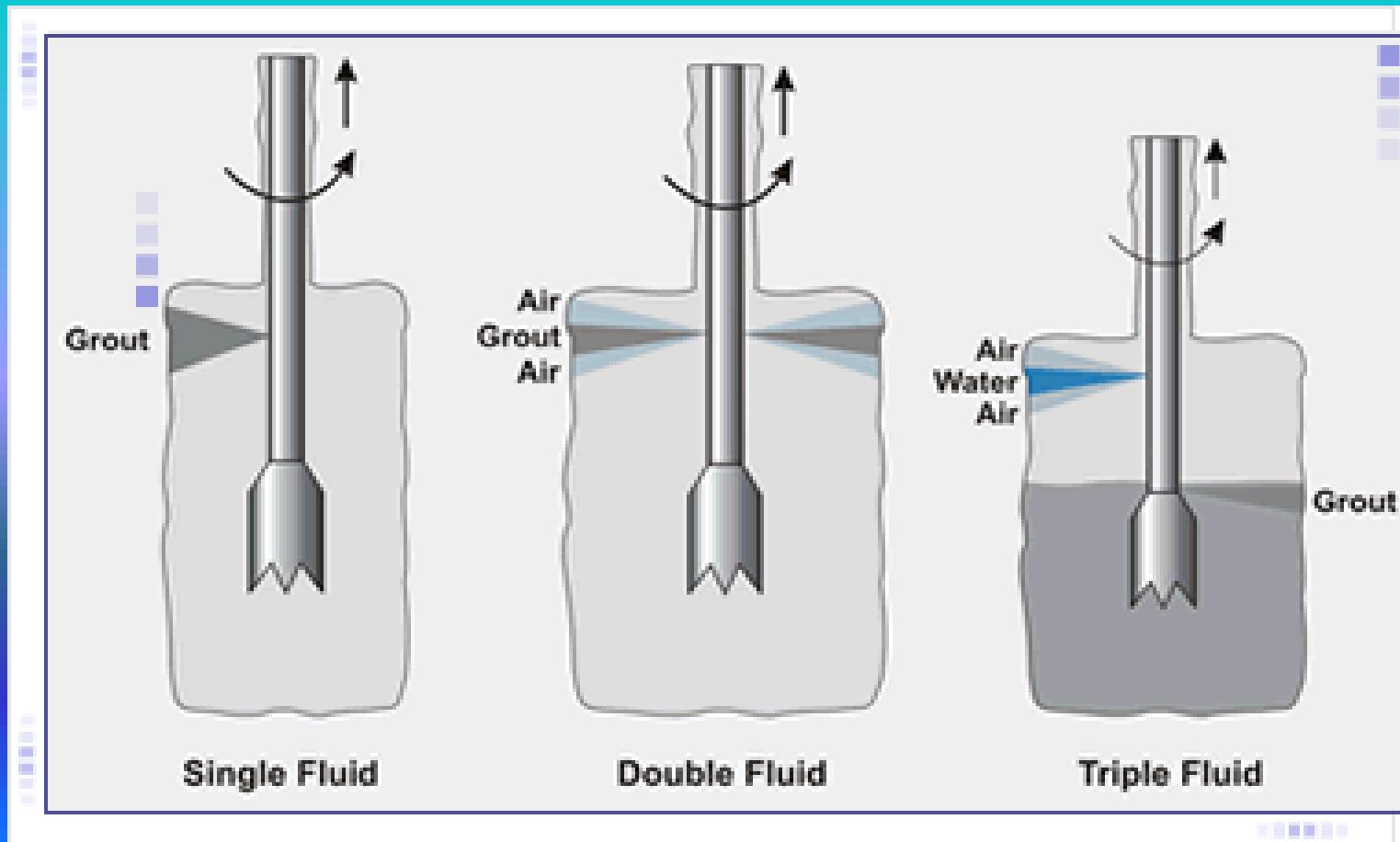
JET ENJEKSIYONU



- **Yüksek basınç :** (400-700bar)
- **Nozul çapları :** (1.8-3.5mm)
- **Dönme hızı :** (5-40 rpm)
- **Çekme hızı :** (15-100 cm/dk)
- **Enjeksiyon şerbeti :**
su+çimento (1:1)
- **Kolon çapları :** (40-240cm)

Temel enjeksiyonu

Jet enjeksiyonu devam



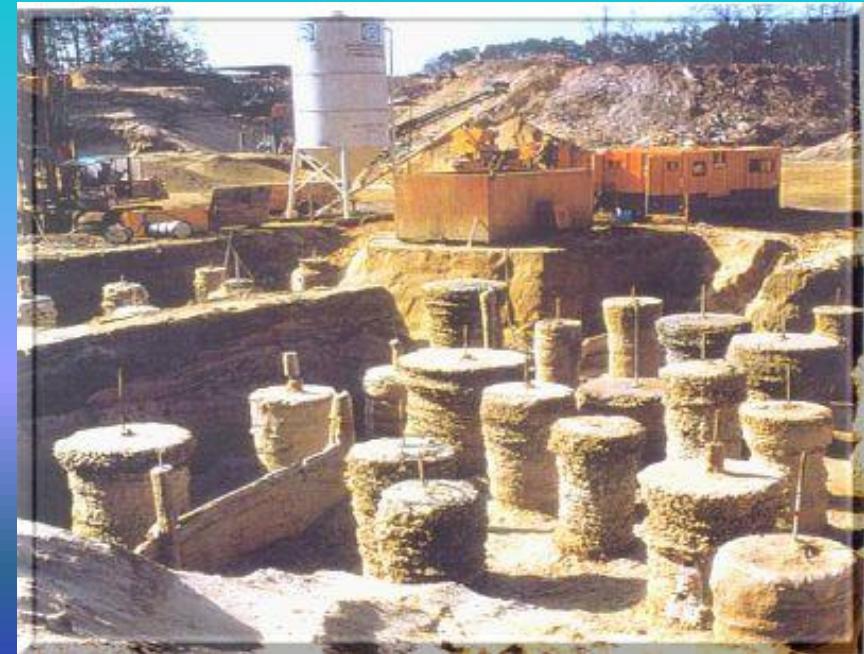
Temel jet enjeksiyonu sistemleri a. Tekli sistem b. İkili sistem c. Üçlü sistem

Temel enjeksiyonu

Jet enjeksiyonu devam



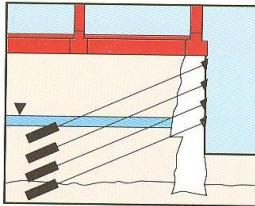
Jet Enjeksiyonu Ekipmanı



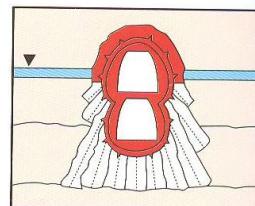
Jet Enjeksiyonu Kolonları

Temel enjeksiyonu

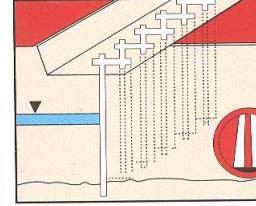
Jet enjeksiyonu devam



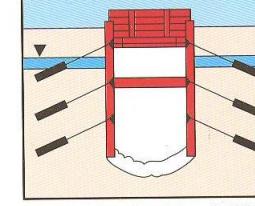
Altın Destekleme
Underpinning



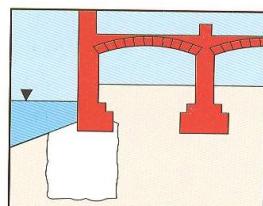
Tünel Destekleri
Tunnel Protection



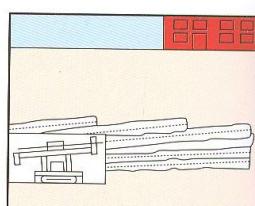
Panel Duvarlar
Panel Walls



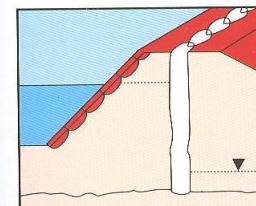
Derin Kazı Geçirimsizliği
Vault Slabs



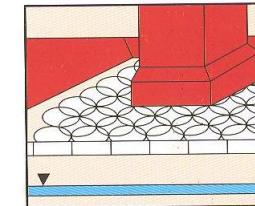
Aşınma Engellemesi
Scour Protection



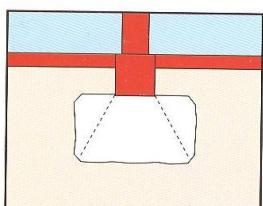
Yatay Jet Grout
Horizontal Jet Grout



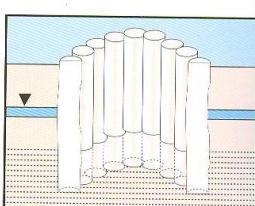
Kolon Duvarlar
Column Walls



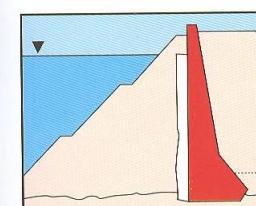
Geçirimsizlik Kaplamalar
Sealing Cover



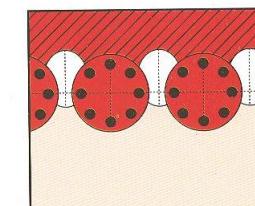
Temel İyileştirmesi
Foundation Modification



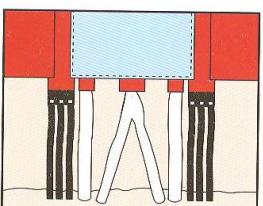
Şaft Destekleri
Shaft Supports



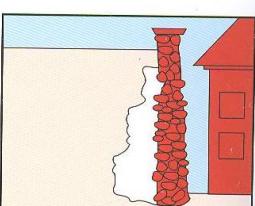
Baraj Geçirimsizliği
Dam Sealing



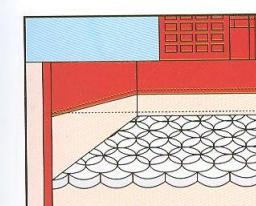
Kazık Arası Geçirimsizliği
Joint Sealing



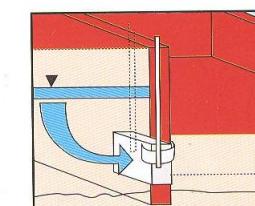
Temel İyileştirmesi
Foundation Modification



Yanal Basınç Desteği
Earthpressure Relief



Geçirimsizlik Tapası
Sealing Slabs



Yeraltısu Geçirimsizliği
Groundwater Exits

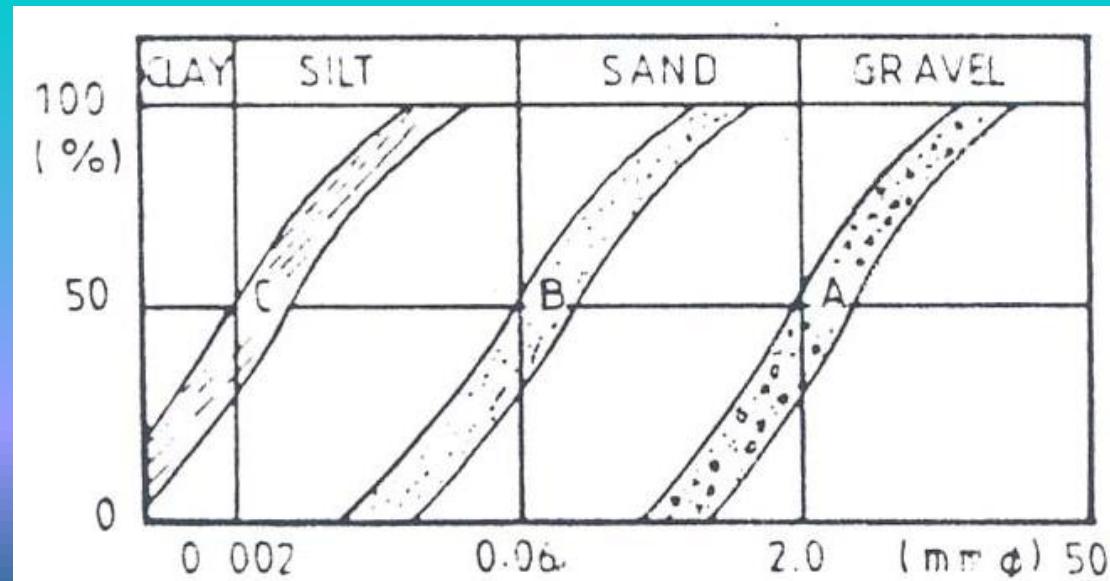
U
y
g
u
l

E
n
j
e
k
s
i
y
o
n
u

A
l
a
n
l
a
r
t

Temel enjeksiyonu

Jet enjeksiyonu devam



Zemin Tanımı	Jet Kolon Çapı S(m)	Jet Kolon Çapı T(m)
C. Killi Silt	0.4-0.5	0.8-1.0
B. Siltli Kum	0.8-0.9	1.4-1.6
A. Kumlu Çakıl	0.9-1.0	2.0-2.4

Değişik zeminlerde beklenen jet enjeksiyon kolon çapları
(Bell,1993)

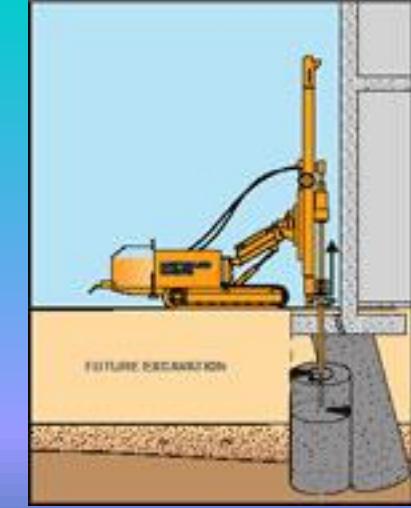
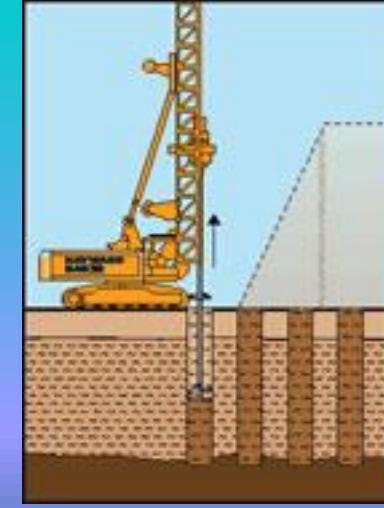
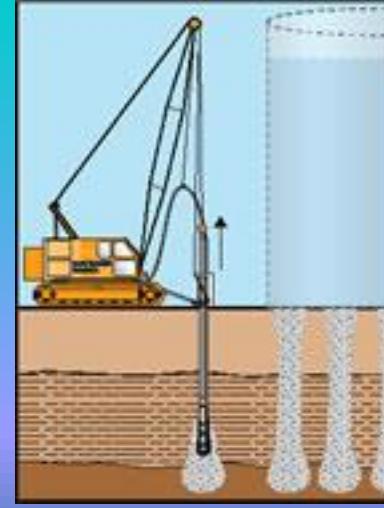
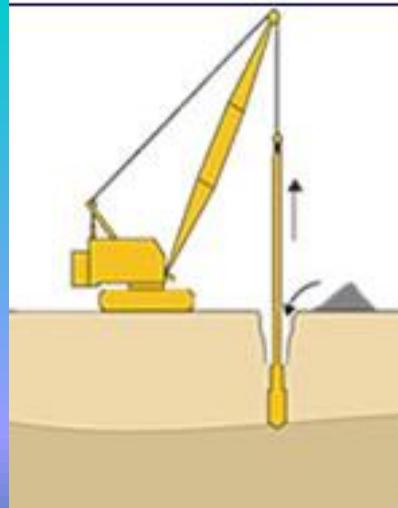
Temel enjeksiyonu

Jet enjeksiyonu devam

Zemin Cinsi	Basınç Dayanımı (N/mm ²) (kg/cm ²)	Geçirgenlik Katsayısı (m/s)
Çakıllar (kumlu çakıllar dahil)	5->30 (50->300)	10 ⁻⁷ -10 ⁻⁹
Kumlar (siltli veya çakılı kumlar dahil)	5->25 (50->250)	10 ⁻⁷ -10 ⁻¹⁰
Siltler (killi siltler dahil)	4-18 (40 -180)	10 ⁻⁷ -10 ⁻¹⁰
Killer (siltli killer dahil)	0.5-8 (5-80)	10 ⁻⁷ -10 ⁻¹⁰

**Jet enjeksiyon ile iyileştirilmiş zeminlerde beklenen
basınç dayanımı ve geçirgenlik katsayısı değerleri
(Bell,1993)**

ZEMİN GÜÇLENDİRMEŞİ

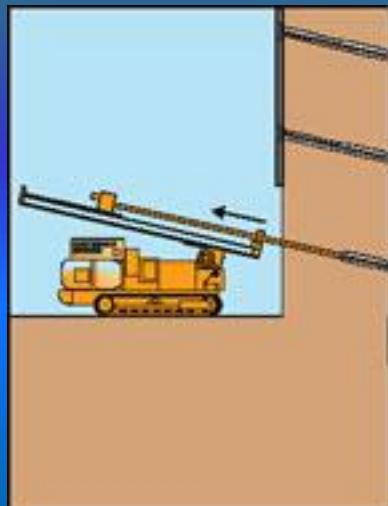


(vibro) taş kolonlar

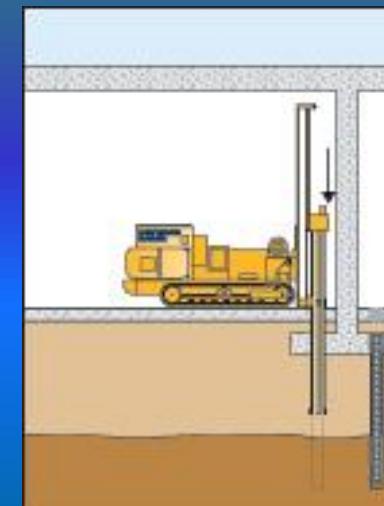
(vibro) beton kolonlar

derin karıştırma

jet kolonlar



zemin civileri



mini kazıklar

Zemin Güçlendirmesi

TAŞ KOLONLAR

Yumuşak ve orta
yumuşak killerde



Oturmaları
azaltmak ve
kayma dayanımını
artırmak



Düsey dren olarak

Kohezyonsuz
veya düşük
kohezyonlu
zeminlerde



Zemin
sıklığını
artırmak

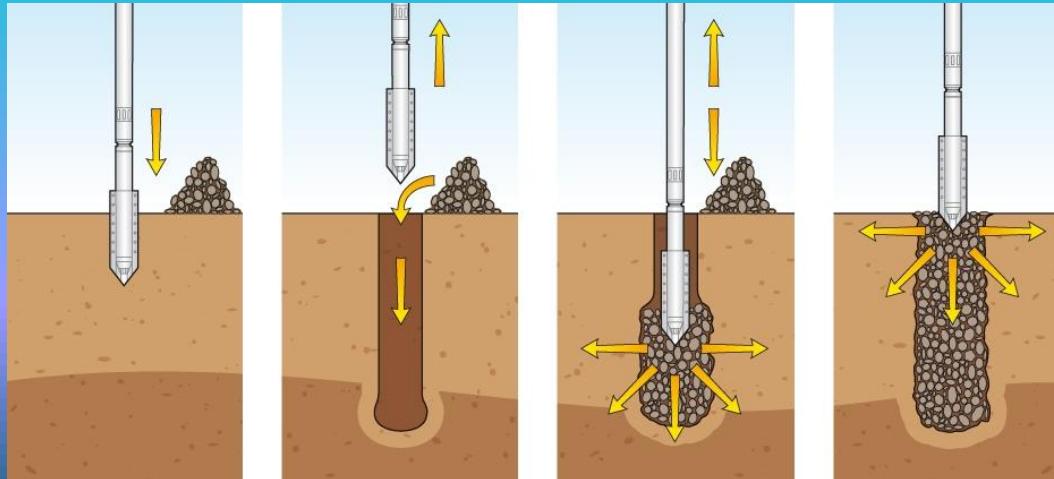


Sivilaşmaya
karşı önlem

Taş Kolonlar devam

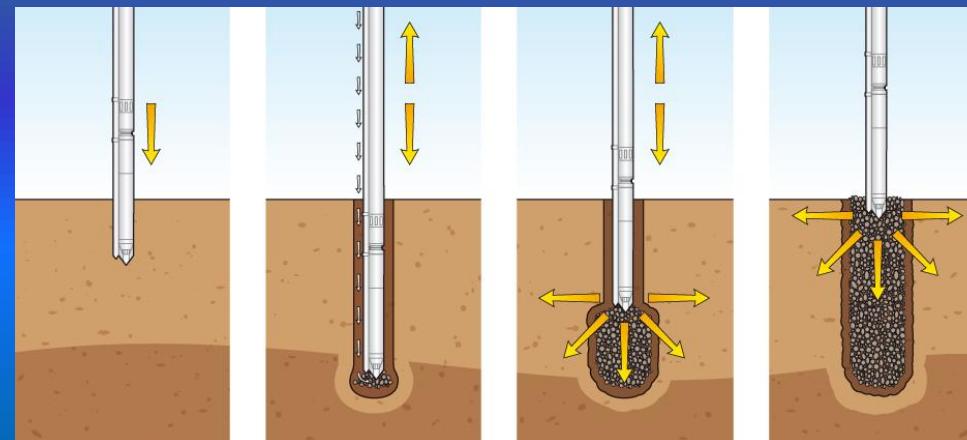


Taş Kolonlar devam



Vibroflotasyon ile ıslak,
üstten besleme metodu

Vibroflotasyon ile
alttan besleme metodu



Taş Kolonlar devam

Tek kolonun emniyetli taşıma yükü yaklaşık: (Mitchell,1982)

$$Q_{em} = \frac{25c_u}{GS} A_s$$

c_u = kılın drenajsız kayma mukavemeti

A_s = taş kolon kesit alanı

GS = güvenlik sayısı (3.0 önerilmektedir)

Kompozit zemin kütlesinin kayma dayanımı parametreleri:

$$\tan \bar{\phi} = m \tan \phi_s + (1-m) \tan \phi_c'$$

$$\bar{c} = (1-m)c \bar{c} \text{ ve } \bar{\phi}$$

:kompozit zeminin kayma dayanımı parametreleri
 ϕ_s : taş kolonun kayma drenci açısı
 c ve ϕ_c : kılın kayma dayanımı parametreleri
 m : taş kolona etkiyen gerilme oranını belirleyen katsayı

$$m = \frac{a_s n}{1 + (n-1)a_s} -$$

a_s :alan oranı

A_c : kolon etki alanı

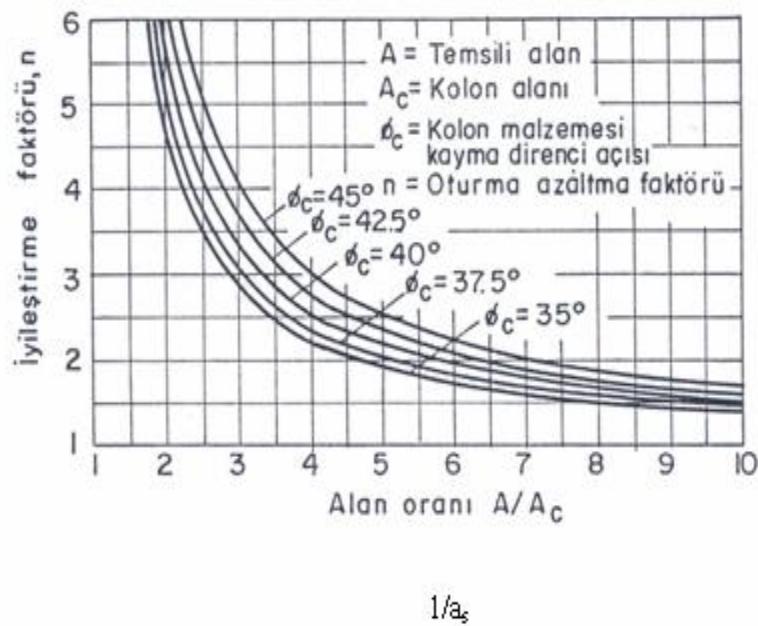
n : taş kolon/kıl gerilme dağılım oranı

n= 2-6 genellikle 3-4 (Mitchell,1982)

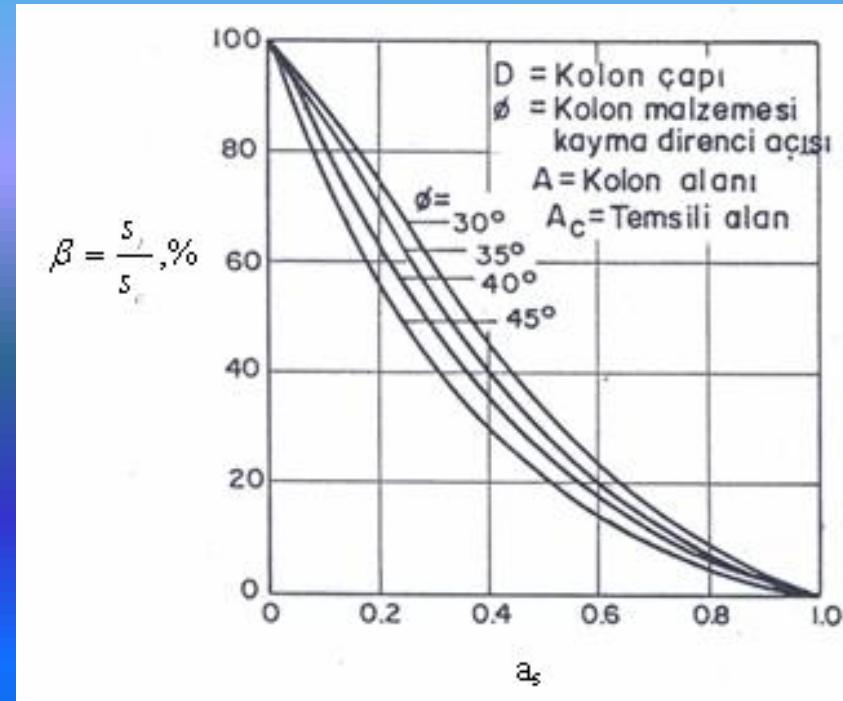
$$\text{burda } a_s = \frac{A_s}{A_c + A_s}$$

Taş Kolonlar devam

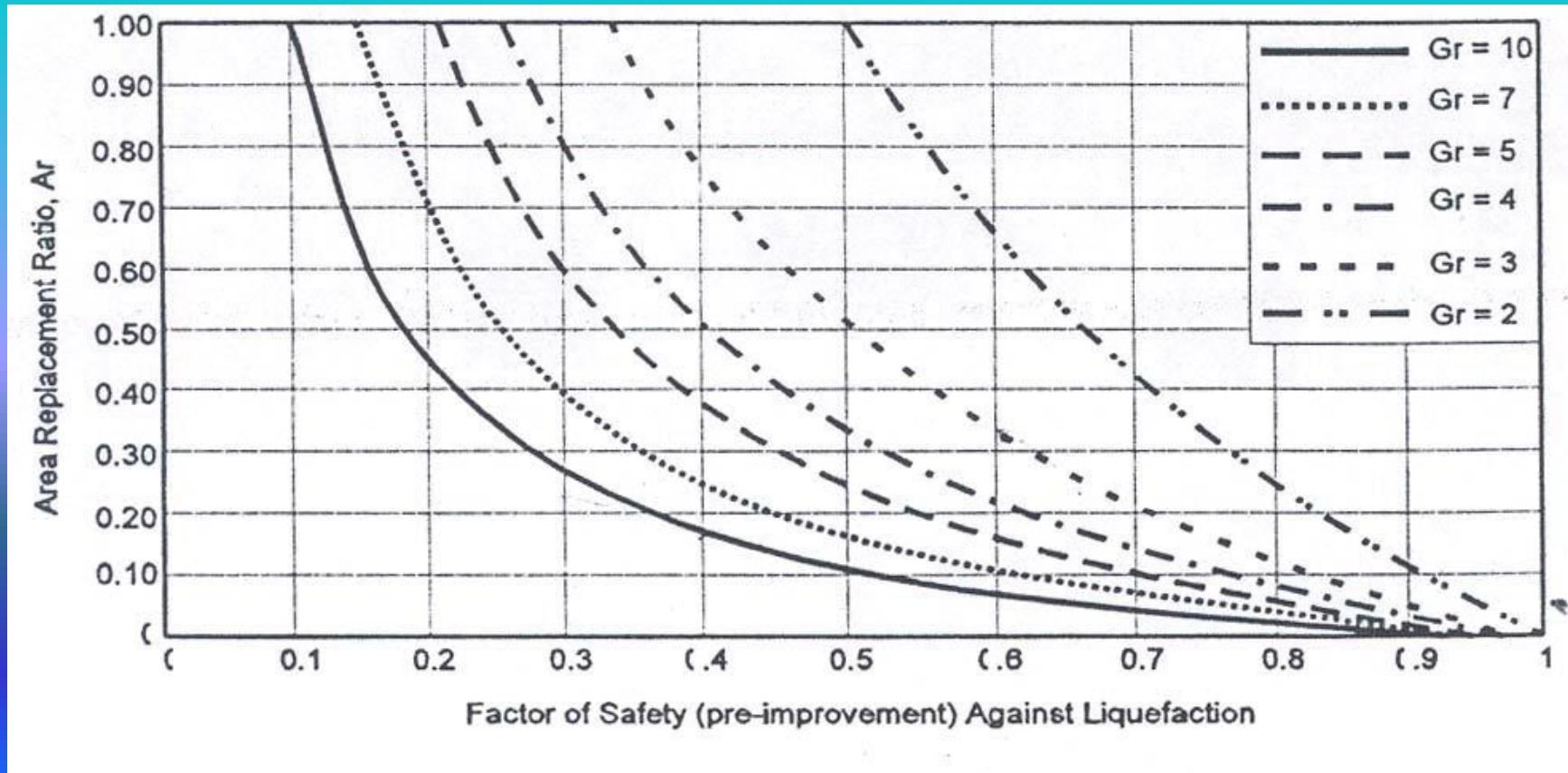
Oturma azalma faktörü, n
(Priebe, 1976)



Oturma azalma faktörü, β
(Van Impe ve De Beer, 1983)

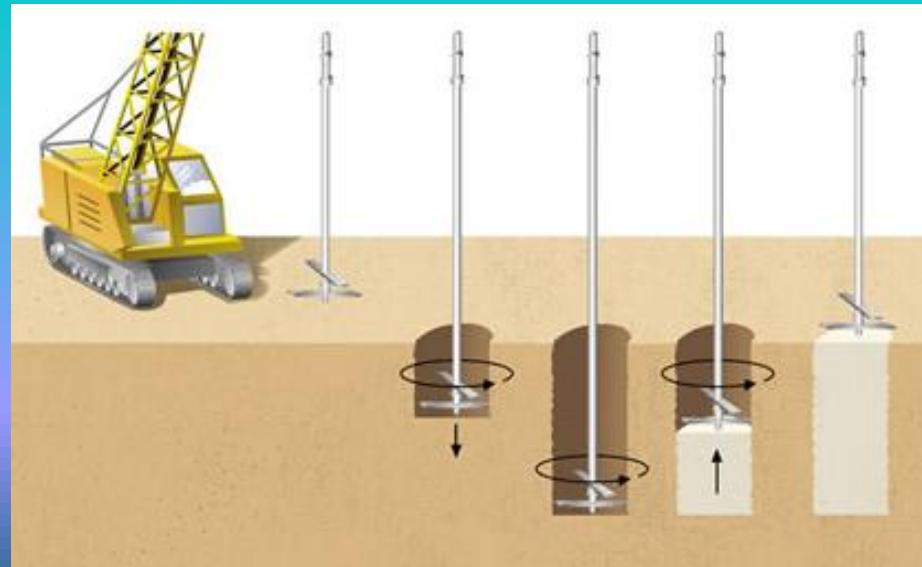


Taş Kolonlar devam



Sivilaşmaya karşı güvenlik sayısı değerinin $FL=1.0$ değerine ulaşımak için gerekli alan oranı

DERİN KARIŞTIRMA



Yumuşak ve ince daneli zeminlerde (yumuşak killerde) **kireç veya çimentonun (bazen cüruf ve diğer katkılar)** ortası delik burgular veya kanatlı karıştırıcılar aracı ile zeminle karıştırılıp kolonlar oluşturulması

Derin Karıştırma devam

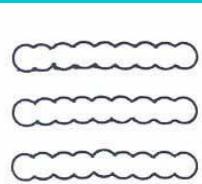
*zeminin
mühendislik özellikleri
değişir*



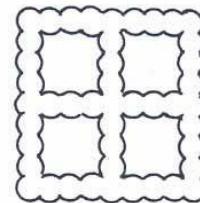
Yapım Yöntemleri :

- ***Yaş derin karıştırma*** : çimento veya kirecin su ile bir çamur oluşturacak şekilde önceden karıştırılması ve bu bağlayıcıyı sıvı halde zemin içerisinde aktarılması
- ***Kuru derin karıştırma*** : zeminlerin suya doygun ve yer altı suyu seviyesi altında olduğu durumlarda katkı malzemesinin karıştırıcısının ucundan kompresörler yardımıyla kuru olarak enjekte edilmesi

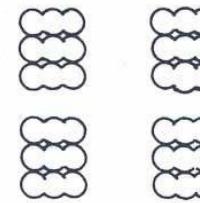
Derin Karıştırma devam



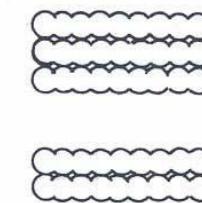
Duvar tipi



Grid tipi



Blok tipi



Alan tipi

Karada belli başlı SMW uygulamaları



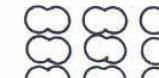
Blok tipi



Duvar tipi



Grid tipi



Kolon tipi



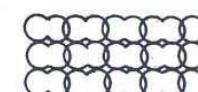
Teğet kolon



Teğet duvar



Teğet grid

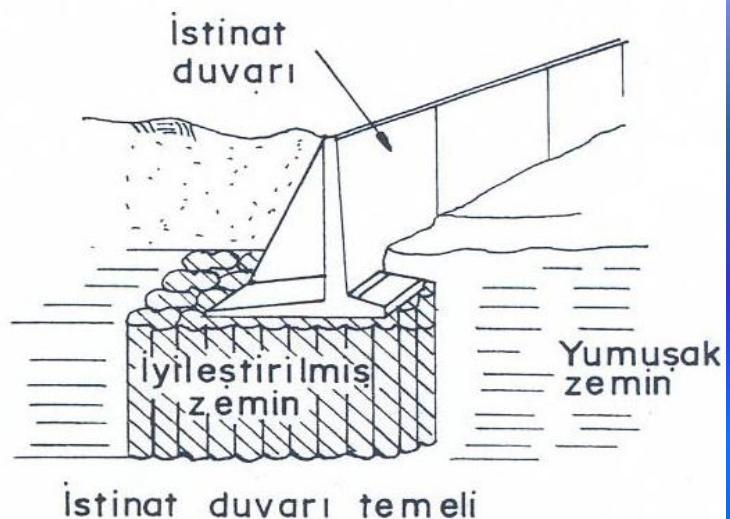
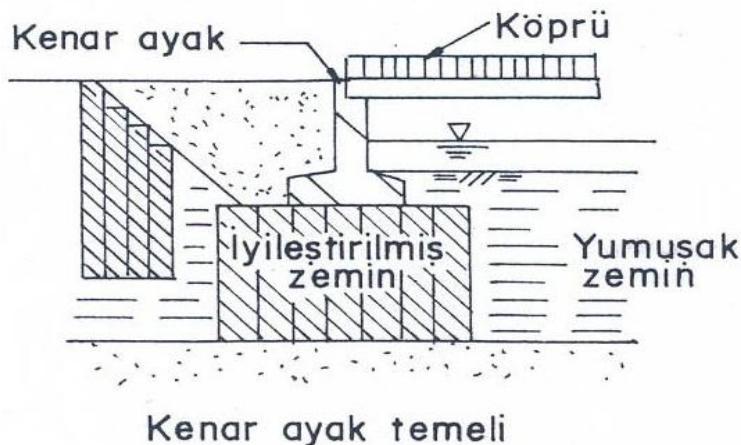
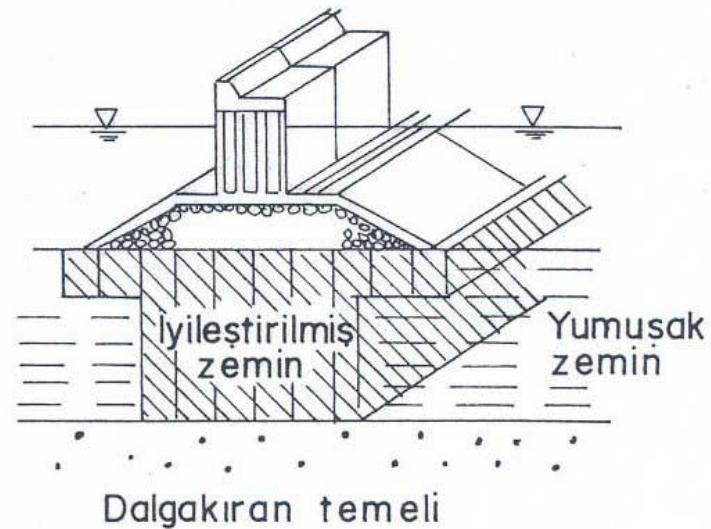
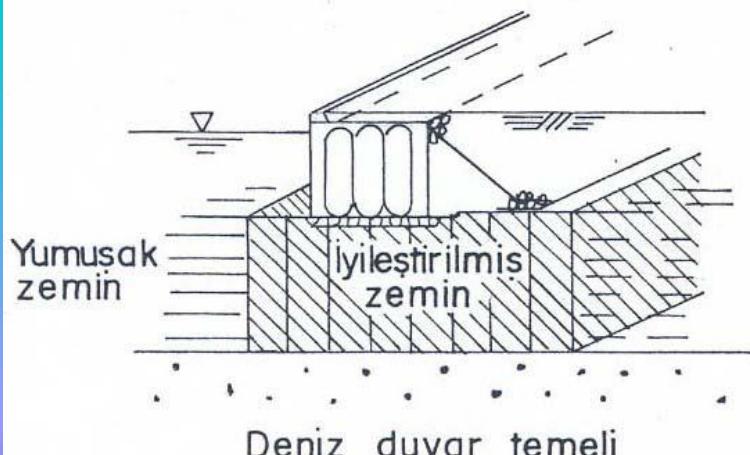


Teğet blok

Denizde belli başlı CDM uygulamaları

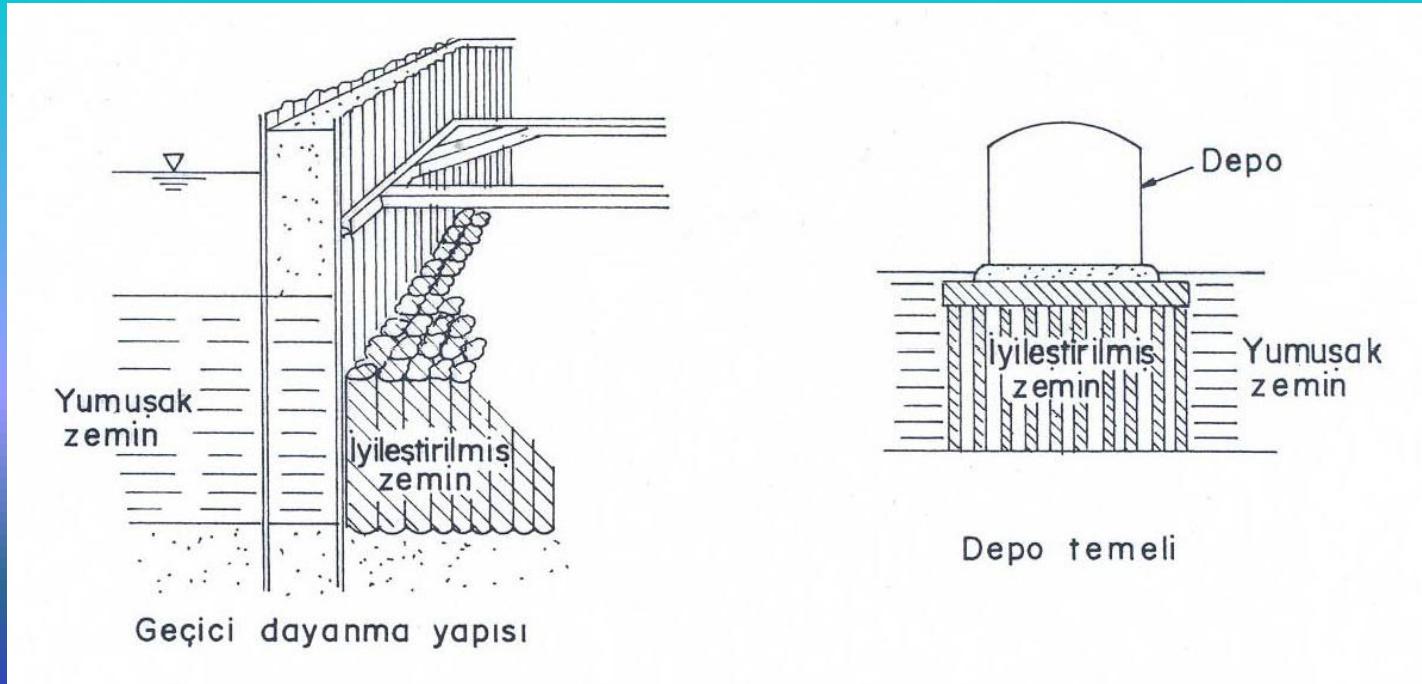
Belli başlı derin karıştırma uygulama şekilleri

Derin Karıştırma devam



Derin karıştırma ile zemin iyileştirmesinin değişik uygulamaları

Derin Karıştırma devam



Derin karıştırma ile zemin iyileştirmesinin değişik uygulamaları