

Zemin İyileştirme Yöntemleri

1.) Ground Reinforcement

- Taş Kolon
- Derin Karışım
- Jet Grout
- Donatılı Zeminler
- Zemin Ankrajları
- Zemin Çivileri

2.) Ground Improvement

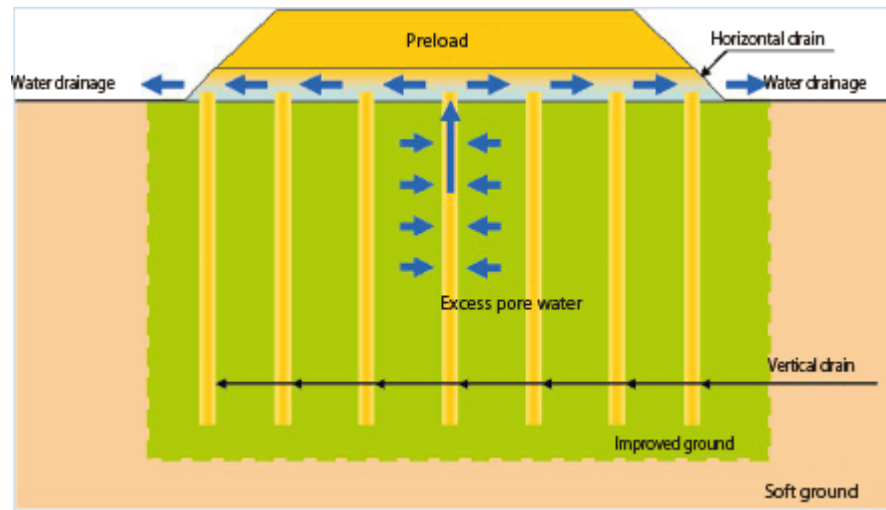
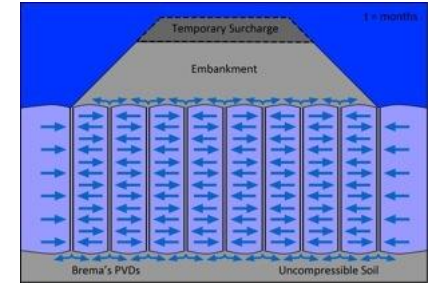
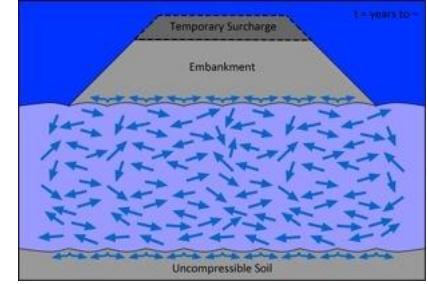
- Ön yükleme/düşey drenler
- Yüzeysel kompaksiyon
- Derin kompaksiyon
- Kompaksiyon enjeksiyonu

3.) Ground Treatment

- Zemin-Çimento enjeksiyonu
- Kireçle stabilizasyon
- Bitümlerle Stabilizasyon
- Uçucu kül

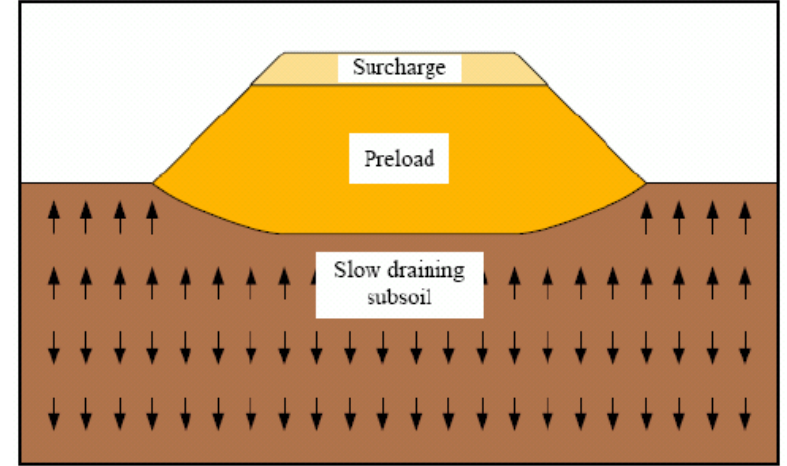
ÖN YÜKLEME VE DÜŞEY DRENLER

- Yumuşak kil zeminler (normal konsolide ve az aşırı konsolide killer) bu yöntem için uygundur.
- Yapının inşasında önce zeminin genellikle yayılı toprak yükü ile yüklenmesidir.
- Zemin üzerine yapı yükü (= proje yükü) ve ekstra yük sürşarj yüküne eşdeğer geçici bir toprak dolgu inşa edilir.
- Belli bir süre bekletilir ve sonra kaldırılır.



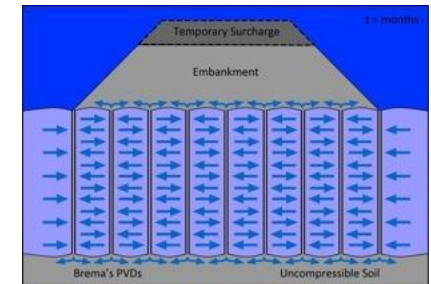
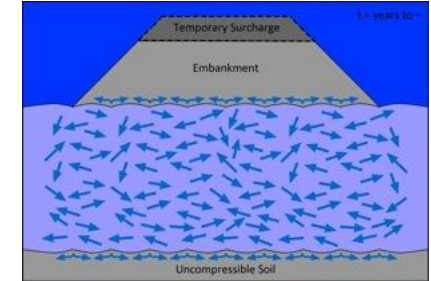
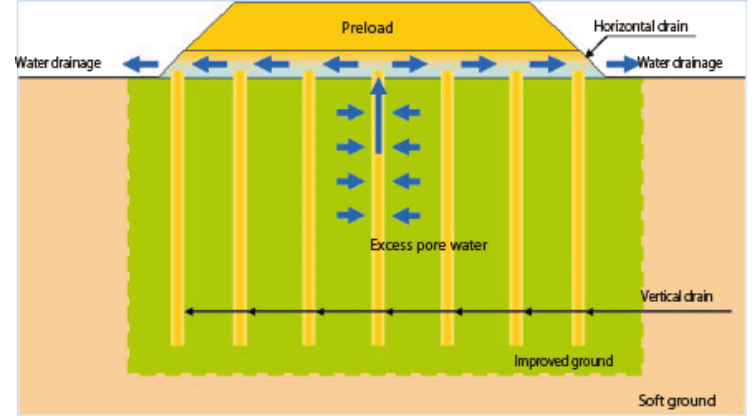
Ön yükleme yöntemi

- Amaç konsolidasyon oturmalarını en aza indirmektir.
- Ön yükleme ve sürşarj, konsolidasyon oturmalarına neden olur.
- Killi zeminin drenajsız kayma mukavemeti artışlarına sebep olur.
- Genellikle düşey drenlerle birlikte uygulanır.
- Düşey drenler ile oturmalar daha da hızlanır ve bekleme süresi kısılır.



Düşey drenler

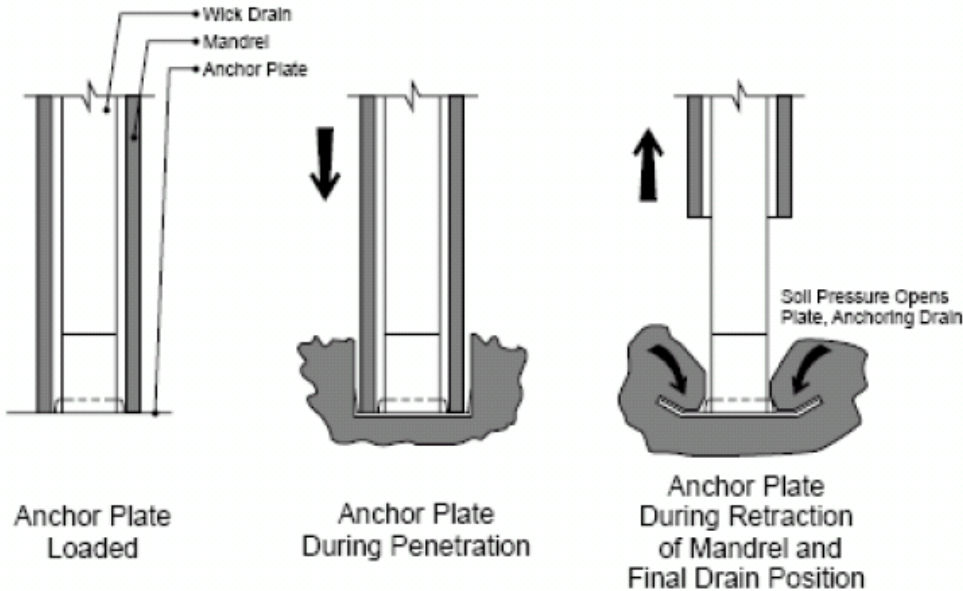
- Bekleme süresini azaltmak için sürşarj yükleri çok fazla hesaplanmaktadır.
- Ayrıca ani yükleme nedeniyle stabilite problemleri ortaya çıkabilmektedir
- Oturma hızını arttırmak ve ön yükleme bekleme süresini azaltmak için düşey drenler kullanılır.
- Drenaj yolu kısaltılarak boşluk suyu basınçları hızla sönmülenir ve konsolidasyon hızlandırılmış olur.

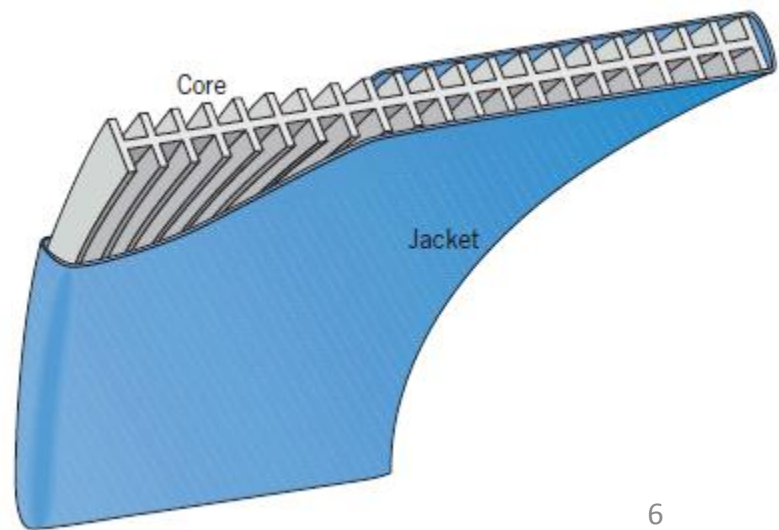
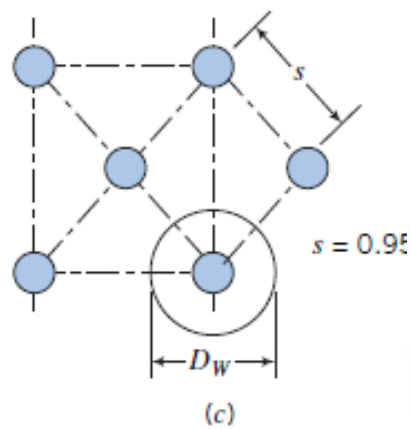
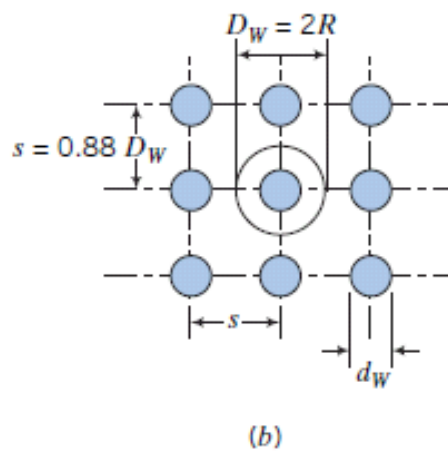
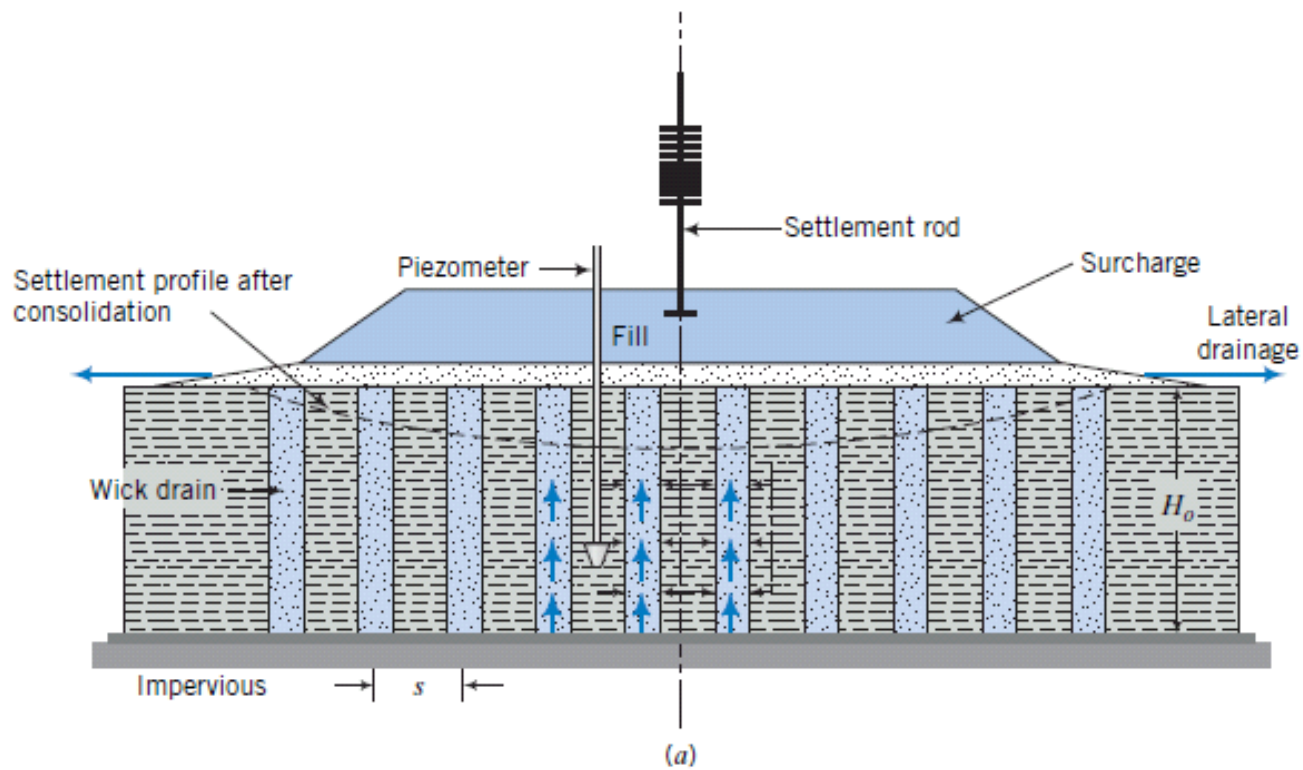


DüŖey dren çeŖitleri

- Uzun yıllar kum drenler kullanılmıŖtır
- Son 30 yıldır plastik Ŗerit vb. prefabrik düŖey drenler kullanılmaktadır.
- DüŖey drenlerin imalatı sırasında örselenme, permeabiliteyi azaltacağı için dikkat edilmelidir.

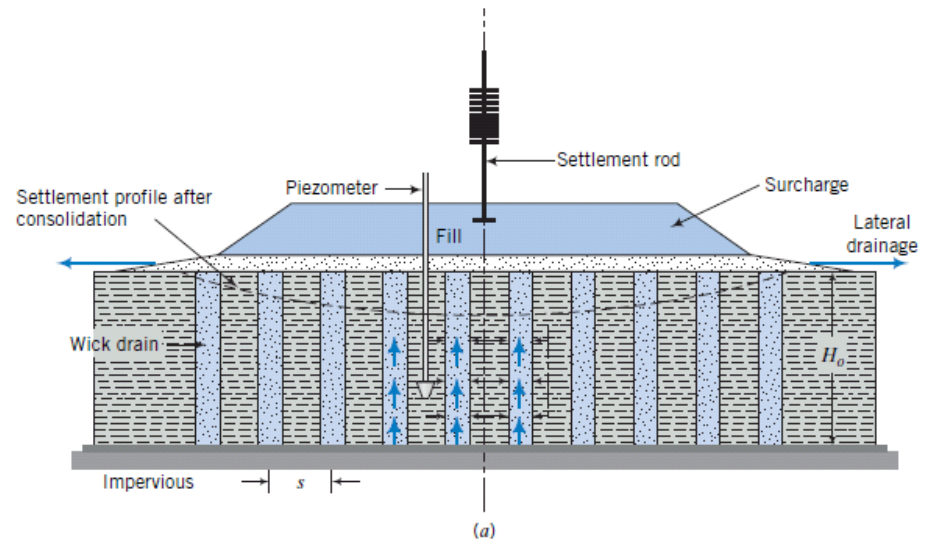
Wick Drain Anchoring System and Procedures





Yöntemin uygulanması

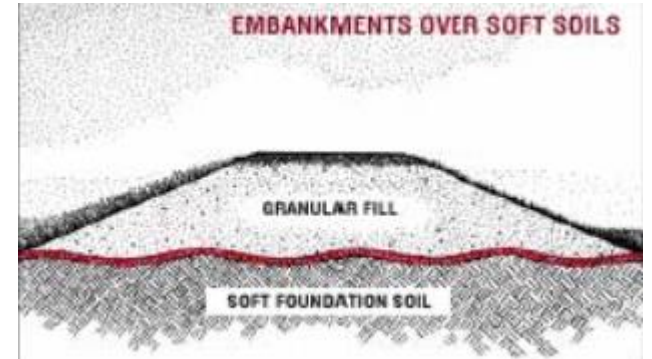
- Yapının inşasından önce inşaat sahası geçici olarak bir toprak dolgu ile kaplanır
- Bir süre beklenerek temel zeminini oluşturan tabakaların bu dolgu ağırlığı altında konsolide olması sağlanır.
- Daha sonra bu dolgu kaldırılarak yerine yapı inşa edilir.
- Sonuçta, kil zemin ön konsolidasyona uğradığı için yapıdan aktarılan yükler altında meydana gelecek oturmalar da azalmış olacaktır.



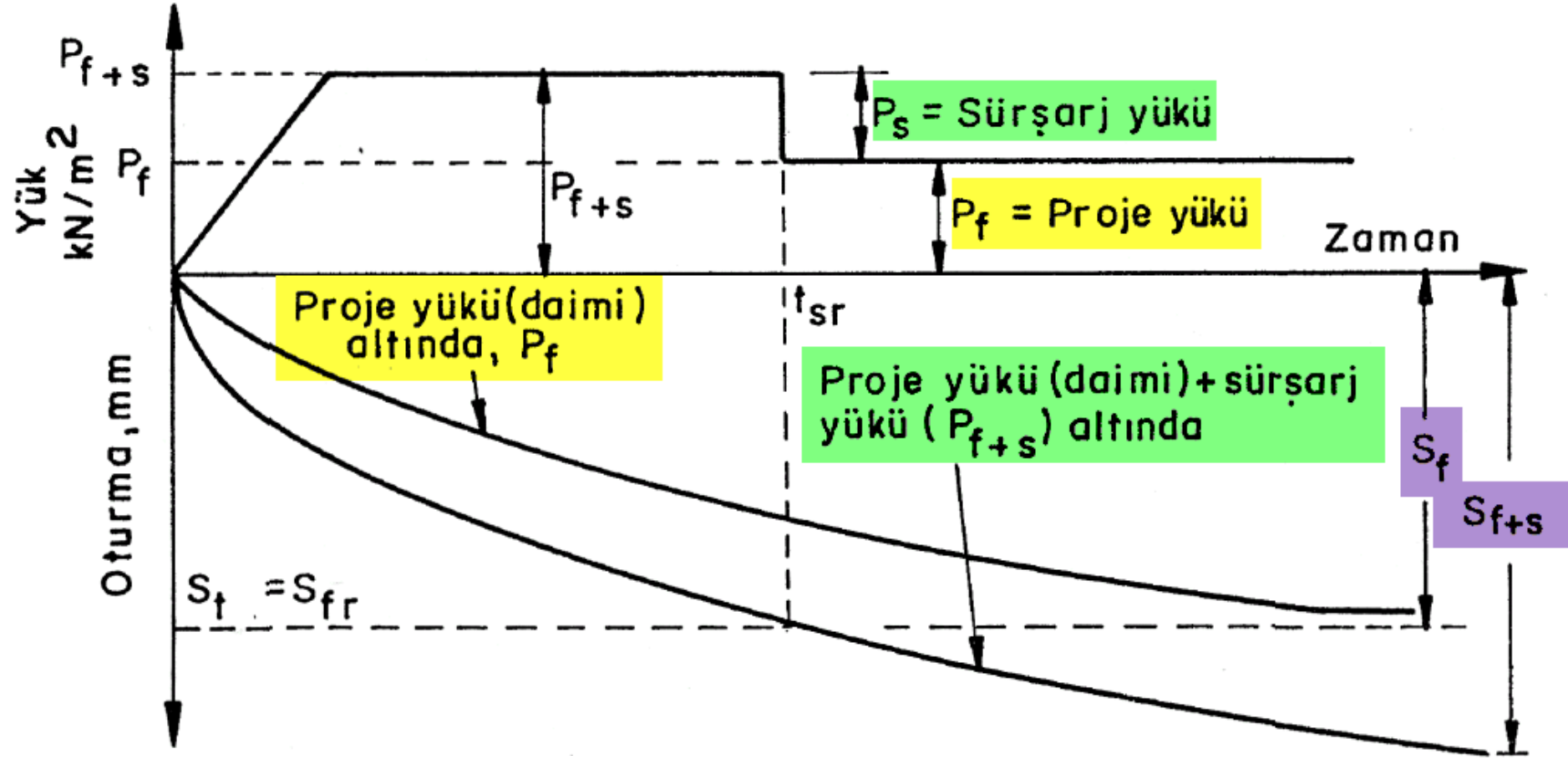


Önemli !!!

- ✓ Ön yükleme sırasında temel zemininde kayma göçmeleri meydana gelebilir.
- ✓ Bu nedenle dolgu tabakası kademeli olarak inşa edilmeli ve her kademedeki belirli süre beklenmelidir.
- ✓ Konsolidasyonun tamamlanması için de yeterli süre beklenilmesi gerektiğine dikkat edilmelidir.
- ✓ Bu nedenle arazi ölçüm sistemi ile boşluk suyu basınçları ve oturmalar takip edilmeli
- ✓ Tasarım = konsolidasyon teorisi



2 H kalınlığında normal konsolide olmuş bir zemin tabakasının bir boyutlu toplam konsolidasyon oturması: Proje yükü altında (Şekil 5.1),



$$S_f = \frac{2H}{1+e_0} \cdot c_c \cdot \log\left(\frac{\sigma_{vo}' + P_f}{\sigma_{vo}'}\right)$$

(5.1)

Zemin İyileştirme Yöntemleri

1.) Ground Reinforcement

- Taş Kolon
- Derin Karışım
- Jet Grout
- Donatılı Zeminler
- Zemin Akrajları
- Zemin Çivileri

2.) Ground Improvement

- Ön yükleme/düşey drenler
- Yüzeysel ve derin kompaksiyon
- Kompaksiyon enjeksiyonu

3.) Ground Treatment

- Zemin-Çimento enjeksiyonu
- Kireçle stabilizasyon
- Bitümlerle Stabilizasyon
- Uçucu kül

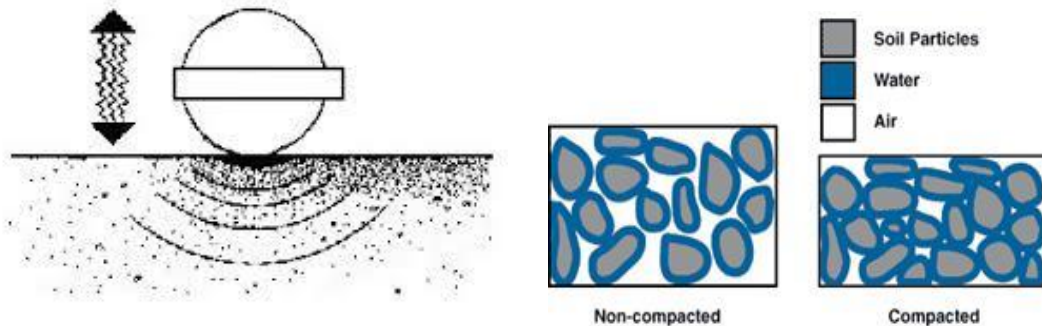
Kompaksiyon Yöntemi



- Yüzeysel kompaksiyon
- Derin kompaksiyon

Kompaksiyon nedir?

- Kompaksiyon : Statik, vibrasyonlu ve darbeli aletlerle
 - zeminin mekanik olarak sıkıştırılması,
 - zemin boşluklarındaki havanın atılması
 - zeminin kayma mukavemetinin arttırılması
 - permeabilitesinin azaltılması
 - sıkışabilirliğinin azaltılması,
 - sıvılaşma riskinin düşürülmesi işlemidir.



Uygulama alanları

- Toprak dolgular
- Karayolu ve Havaalanı kaplama altı dolguları
- Toprak barajlar
- Su bentleri
- Akarsu seddeleri
- Temel altı dolgusu

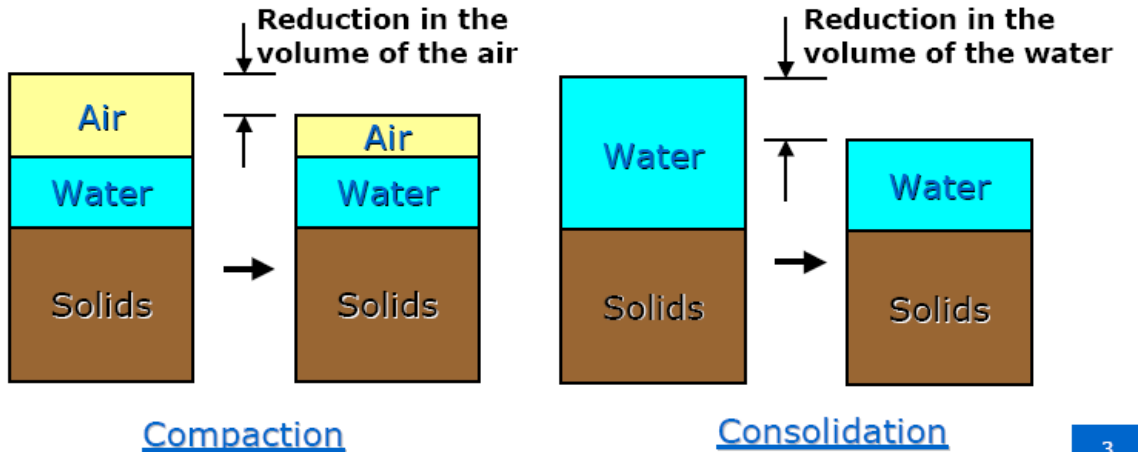
• Dolgudan beklenen özellikler

- Mukavemet
- Oturma
- Permeabilite

• Kontrol parametreleri

- Malzemenin cinsi
- Su muhtevası
- Sıkılık derecesi

Kompaksiyon-Konsolidasyon arasındaki fark



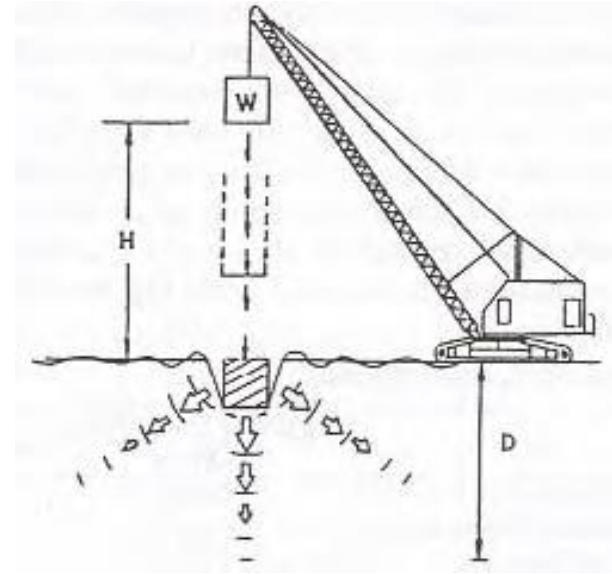
Arazide Kompaksiyon Araçları

- Düz silindir
- Vibratörlü Plakalar
- Lastik tekerlekli silindirler
- Keçi ayaklı silindir
- Titreşimli silindirler





Dinamik veya Derin Kompaksiyon



TANIM

- Ağır yüklerin belirli bir yükseklikten zeminin yüzeyine düşürülmesi ve zeminin sıkıştırılması esasına dayanır.
- Düşürülen yükseklik: 40 m ye kadar çıkabilir



Ağırlık olarak

- Betonarme bloklar veya beton doldurulmuş çelik saç plakalar yük olarak kullanılır.
- Ağırlık: 5-30 ton civarında ayarlanabilmektedir.

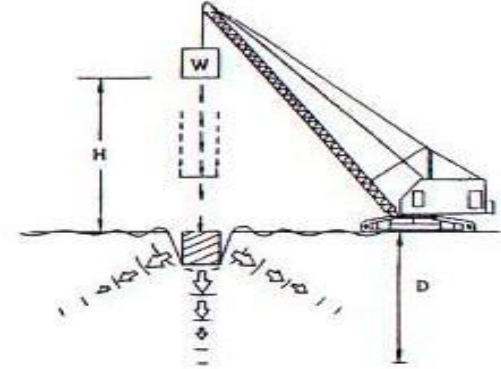


Hangi zeminler için uygundur?

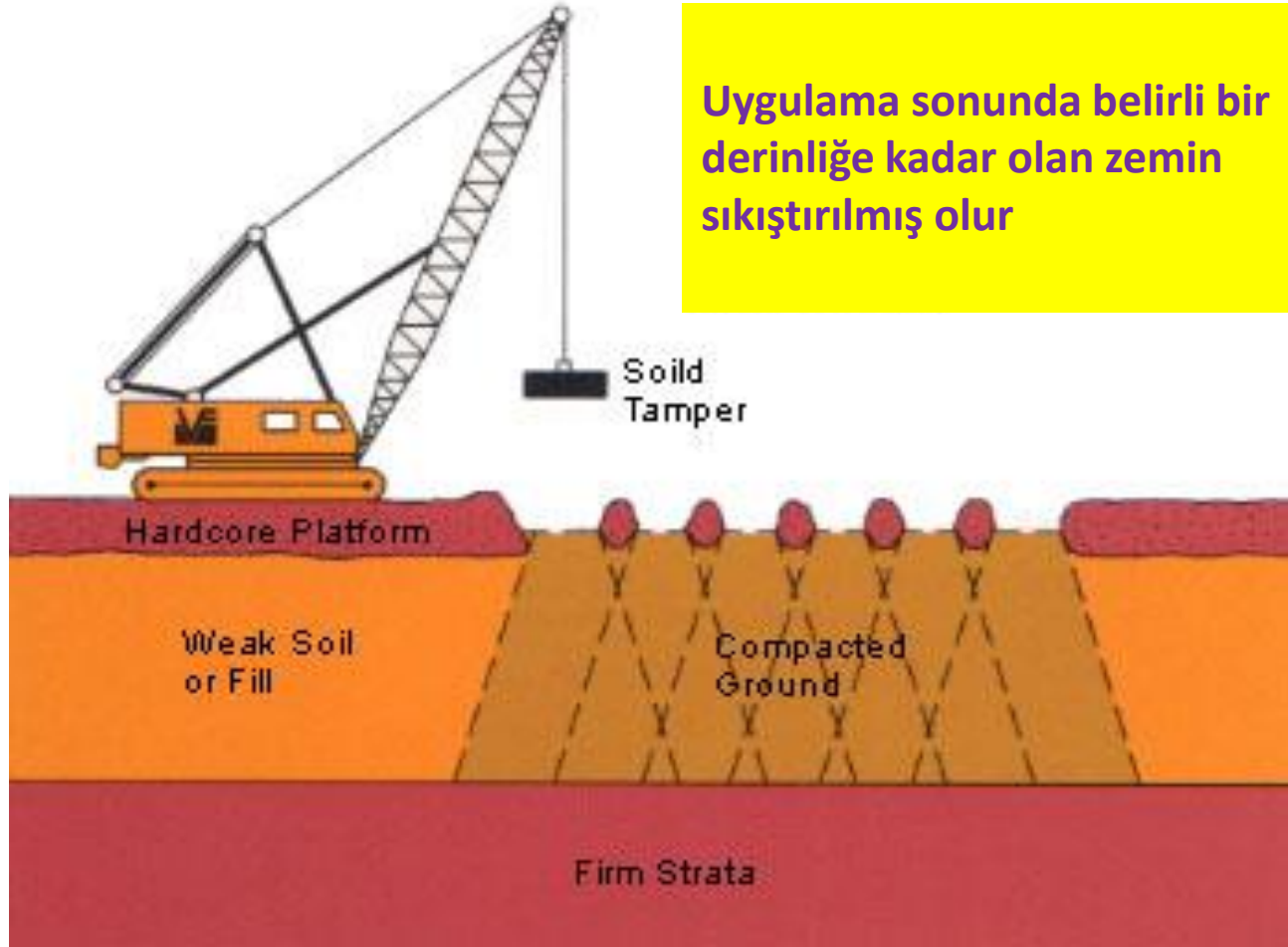


Uygulama

- 5 ila 30 ton'luk bir tokmak bir vinç üzerinden 10 ila 40 m yükseklikten ıslah edilecek zemin üzerine defalarca düşürülmek suretiyle kompaksiyon yapılmaktadır.
- Bu işlem bir veya daha fazla pas geçilerek tüm alana belli aralıklarla düşme yükü uygulanır.
- Ağırlık, genellikle betonarme dikdörtgen bir blok olup, dışı kalın saca kaplıdır.
- Uygulamada birkaç metre aralıklı noktalarda tokmaktama ortalama 2-3 vuruş/m² kılavuzuyla yapılır.
- Her geçiş arası boşluk suyu basınçlarınının sönümüne izin verecek kadar zaman bırakılmalıdır.
- Her pasdan sonra oluşan çukurlar ya dozer ile düzeltilmekte ya da içleri granüler malzeme ile doldurulmaktadır. Daha sonraki pasda tekrar sıkıştırılıp işleme devam edilmektedir.



Uygulama sonunda belirli bir derinliğe kadar olan zemin sıkıştırılmış olur



Zemin ıslah derecesi uygulanan enerjinin büyüklüğüne bağlıdır. Uygulama enerjisi,

- Tokmak ağırlığına
- Düşme yüksekliği
- Düşme sayısı

Dinamik kompaksiyonda ıslah etki derinliği;
Burada;

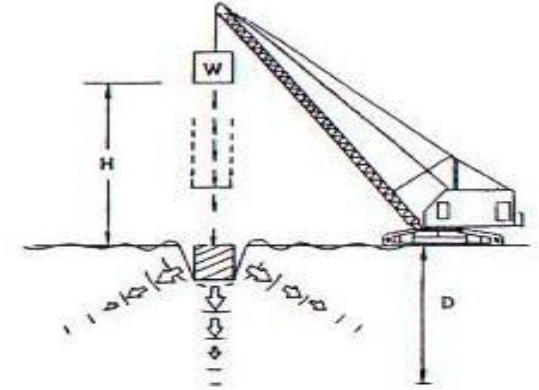
D : ıslah derinliği, metre

W : Tokmak ağırlığı, ton

H : Tokmağın düşme yüksekliği, metre

n : Ampirik katsayı

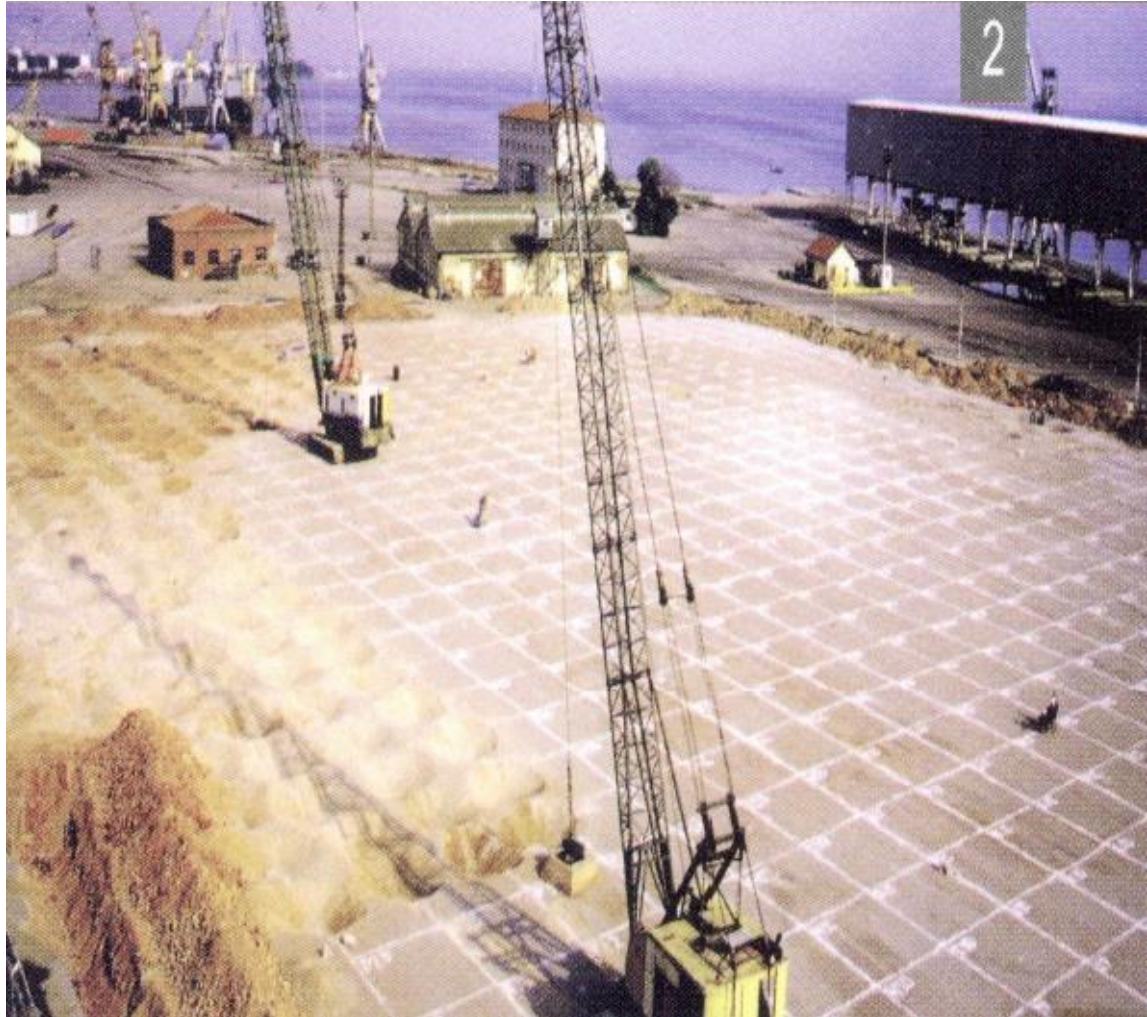
Dinamik etki derinliğini hesaplamak için kullanılan n katsayısı tablodan alınabilir.



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

Sonuç olarak;

- Doygunluk derecesi az, permeabilitesi yüksek ve drenaj şartları iyi olan gevşek granüler zeminler için çok ideal bir yöntemdir.
- Permeabilitesi düşük ve suya doymuş killer için ise tavsiye edilmez.
- Çünkü dinamik kompaksiyon sırasında oluşan ilave boşluk suyu basınçlarının sönmelenmesi mümkün olmadığından sıkışma gerçekleşmez.
- Siltler, killi siltler ve kumlu siltler için ise çok sayıda pas geçmek ve çok sayıda tokmak sayısı gerekebilir.
- Paslar ve düşmeler arasında yeterli süreler bırakılarak boşluk suyu basınçlarının sönmelenmesi sağlanmalıdır.



Zemin İyileştirme Yöntemleri

1.) Ground Reinforcement

- Taş Kolon
- Derin Karışım
- Jet Grout
- Donatılı Zeminler
- Zemin Akrajları
- Zemin Çivileri

2.) Ground Improvement

- Ön yükleme/düşey drenler
- Yüzeysel ve derin kompaksiyon
- Kompaksiyon enjeksiyonu

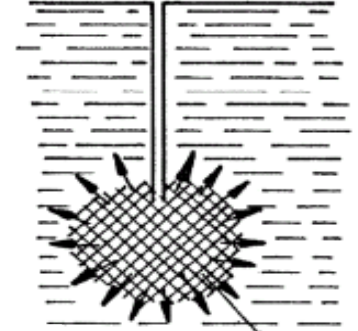
3.) Ground Treatment

- Zemin-Çimento enjeksiyonu
- Kireçle stabilizasyon
- Bitümlerle Stabilizasyon
- Uçucu kül

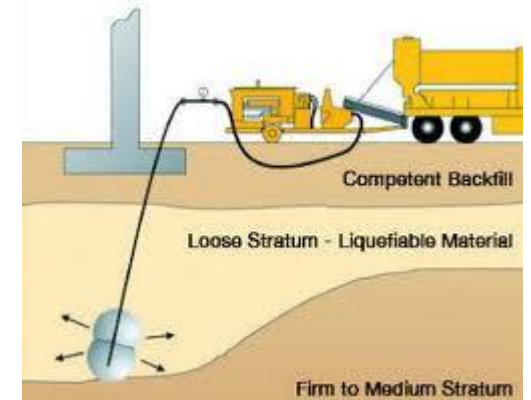
Kompaksiyon enjeksiyonu

- Zemini deplase ederek katı enjeksiyon malzemesinin zemin içine yerleştirilmesidir
- Zemin hem enjekte edilen malzemenin etrafında hacim değişikliğine uğrayıp sıkışacak hem de enjeksiyon malzemesinin (genellikle beton) desteğini alacaktır
- Enjeksiyon malzemeleri katı veya düşük kıvamlı çimento şerbetidir

b) Deplasman kompaksiyon

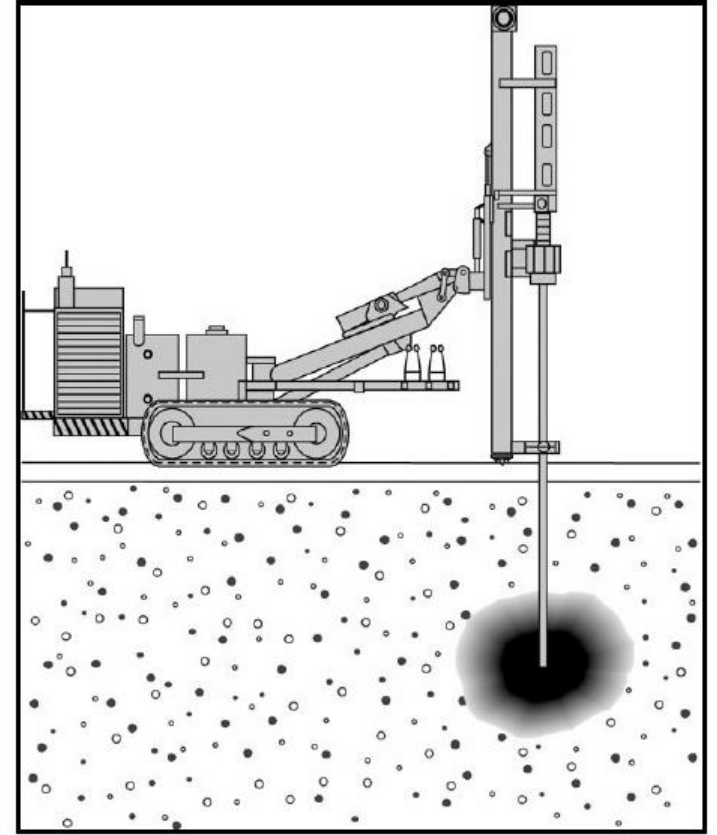


Kompaksiyon enjeksiyonu



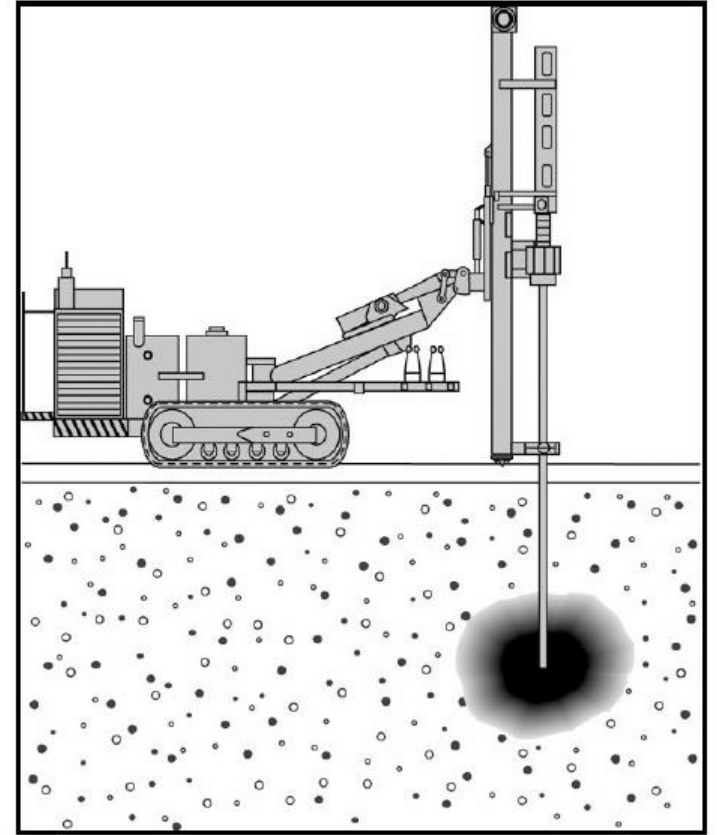
Kompaksiyon Enjeksiyonu

- Katı enjeksiyon malzemesi, yüksek basınçlarda zemin boşlukları içerisine girmeksizin, enjeksiyon noktası etrafında giderek genişleyen bir kütle oluşturur.
- Bu sayede etrafındaki gevşek zeminler sıkışır.
- Kompaksiyon enjeksiyonunda çok katı bir enjeksiyon malzemesi ve çok yüksek basınçlar (3.5 MPa'a kadar) gerekir.
- Dolayısıyla zeminin orijinal yapısı bozulmakta ve bu sayede radyal olarak sıkışmaktadır.



Kullanıldığı alanlar;

- Çoğunlukla zayıf veya yumuşak zeminlerin sıkıştırılmasında,
- temel ve döşemelerin alttan desteklenmesinde,
- yapı oturmalarının kontrol edilmesinde,



Örnek:

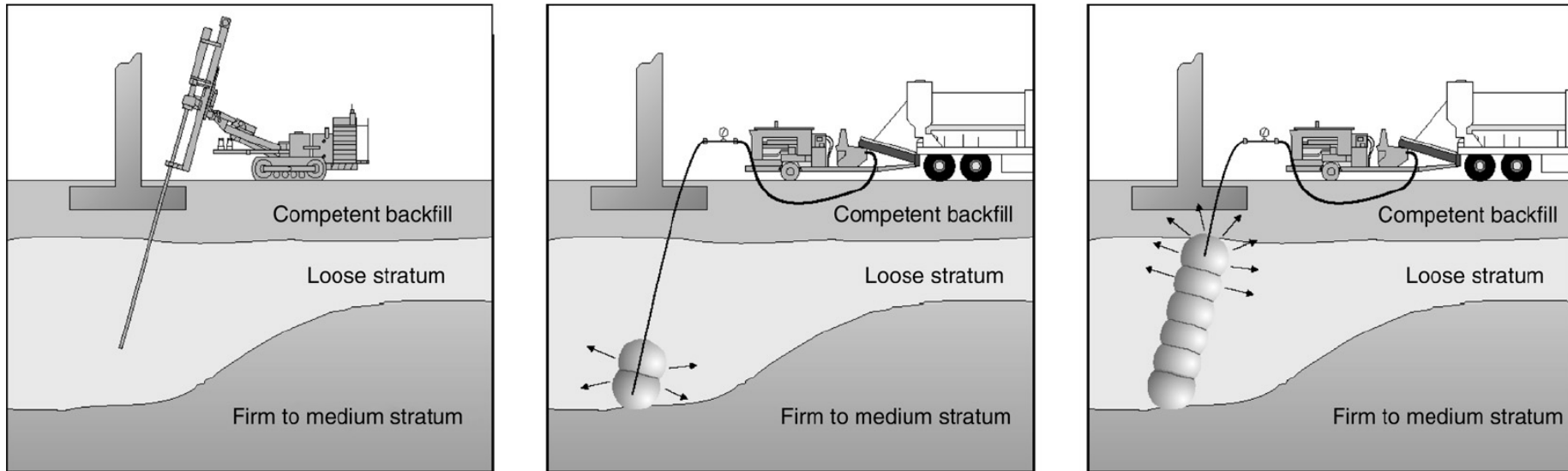


FIGURE 12.8

Compaction grouting process. (From Hayward Baker Inc. With permission.)

Zemin İyileştirme Yöntemleri

1.) Ground Reinforcement

- Taş Kolon
- Derin Karışım
- Jet Grout
- Donatılı Zeminler
- Zemin Ankrajları
- Zemin Çivileri

2.) Ground Improvement

- Ön yükleme/düşey drenler
- Yüzeysel ve derin kompaksiyon
- Kompaksiyon enjeksiyonu

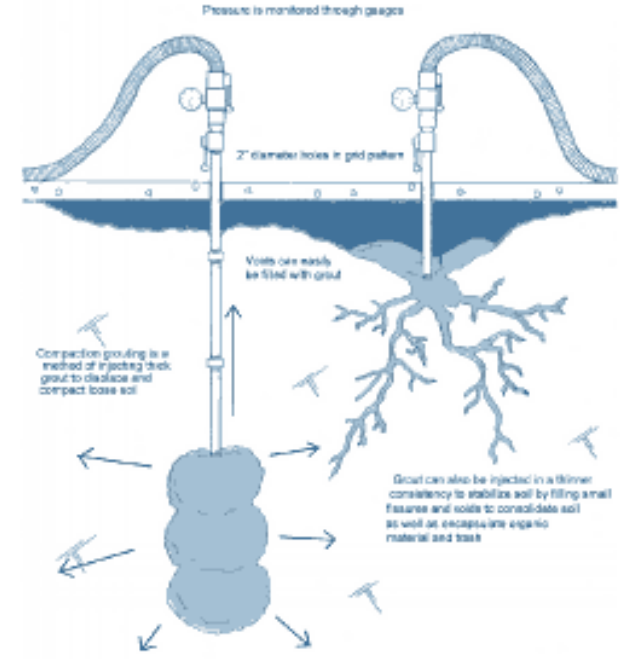
3.) Ground Treatment

- Zemin-Çimento enjeksiyonu
- Kireçle stabilizasyon
- Bitümlerle Stabilizasyon
- Uçucu kül

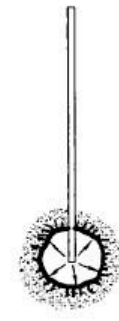
ZEMİNLERİN ENJEKSİYON TEKNIĞİYLE İYİLEŞTİRİLMESİ

Tanım:

- Akışkan, yarı akışkan veya katı kıvamda malzemelerin **basınç** altında zemine enjekte edilmesidir.
- Buradaki amaç zemin ya da kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerini iyileştirmektir.



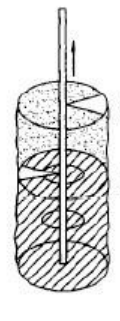
Hydrofracture Grouting
(Intrusion/Splitting)



Compaction Grouting
(Displacement)



Permeation Grouting
(Flow into Existing Pores)

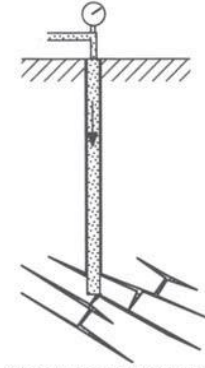


Jet Grouting
(Partial Replacement/
Mix in Place)

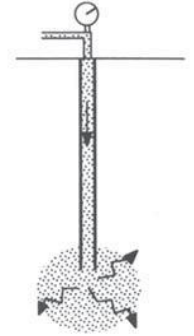
Upper Water/
Air Jet
Lower Grout
Jet

Enjeksiyon teknikleri

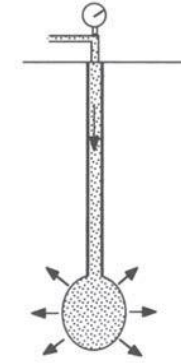
- Enjeksiyon malzemesinin zemin içerisine yerleştirilme biçimine bağlı olarak
 - Emdirme (Permeasyon) Enjeksiyonu
 - Kompaksiyon Enjeksiyonu
 - Çatlatma Enjeksiyonu
 - Jet Enjeksiyonu



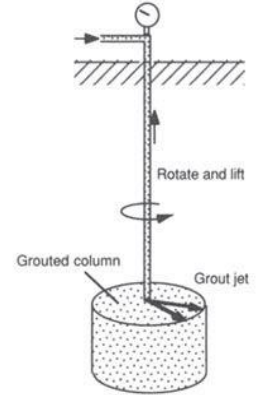
Çatlatma enjeksiyonu



Emdirme (Permeasyon) enjeksiyonu



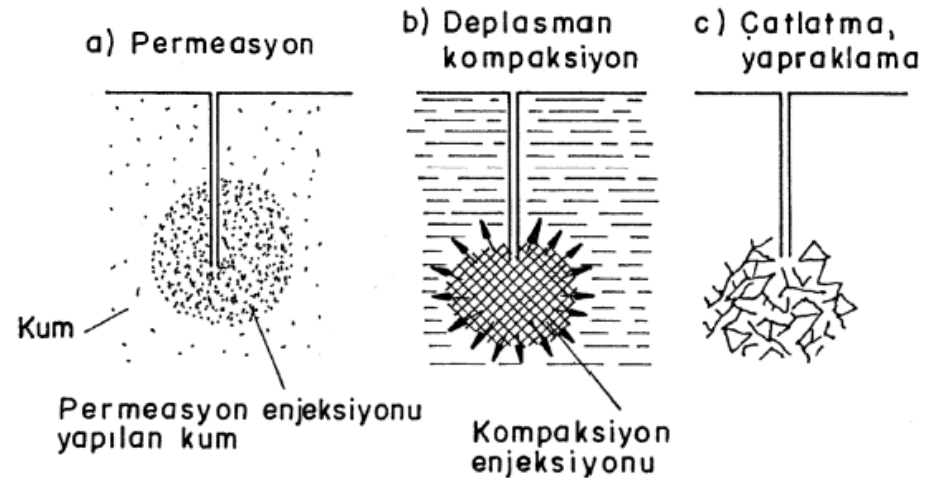
Kompaksiyon enjeksiyonu



Jet enjeksiyonu

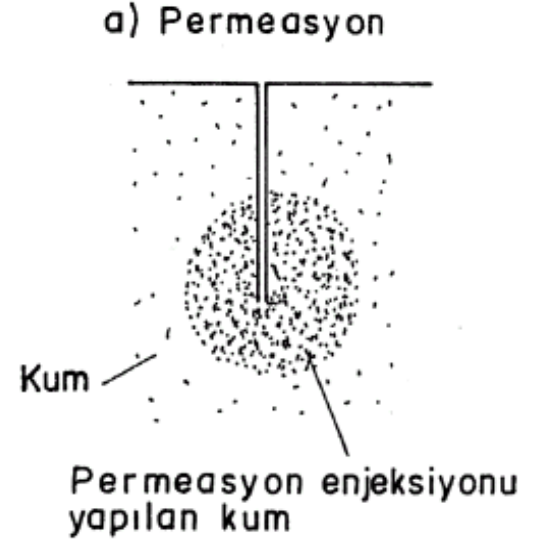
Enjeksiyon işlemi dört şekilde olmaktadır:

- **Permeasyon enjeksiyonu** (danelerin konumunu bozmadan, daneler arası boşluklara girerek zemin hacmini ve yapısını değiştirmeden yapılan enjeksiyon)
- **Deplasman ve kompaksiyon enjeksiyonu** (zemini tamamen deplase ederek enjeksiyon malzemesinin zemine sokulması suretiyle yapılan enjeksiyon **(daha önce anlatıldı)**)
- **Hidrolik çatlatma** veya zeminin içine belirli zayıf bölgeler itibarı ile girerek kısmi deplasman enjeksiyonu (yapraklanma)
- **Jet-enjeksiyonu** **(daha önce anlatıldı)**



Permeasyon (Sızdırma –Emdirme) Enjeksiyonu

- **Düşük vizkoziteli enjeksiyon malzemesi, zemin içerisindeki boşluklara düşük basınçlarda nüfuz etmektedir.**
- **Amaç:** zeminin daneleri arasındaki boşlukları doldurmaktır.
- Bu nedenle enjeksiyon malzemesi zemin **dane çapı** göz önüne alınarak seçilmelidir.



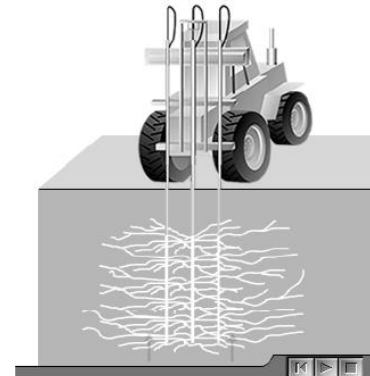
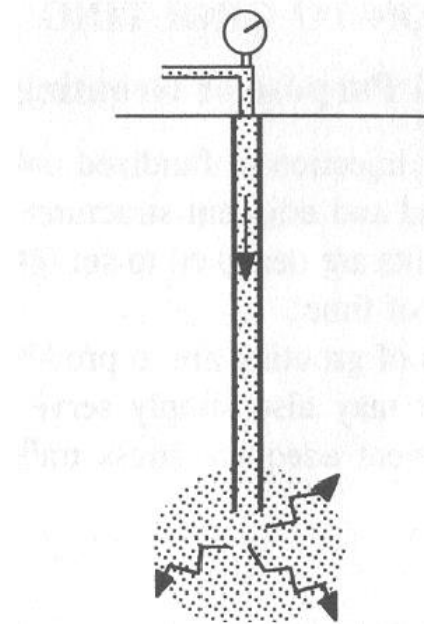
ÖNEMLİ:

Permeasyon enjeksiyonunun uygulanabilirliği, zemin içerisindeki boşluklara nüfuz etme söz konusu olduğundan

- zeminin dane çapı dağılımı
- enjeksiyon malzemesinin dane çapı dağılımı

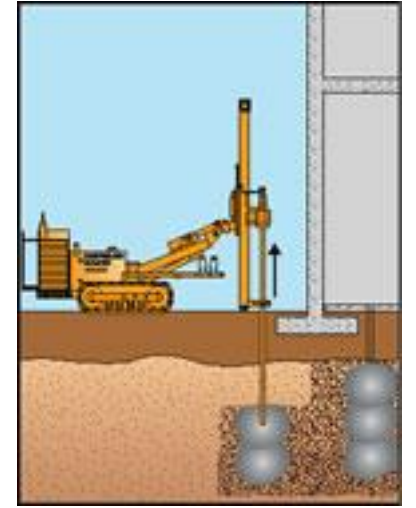
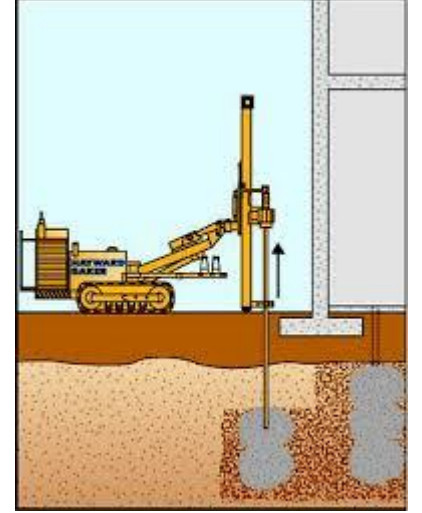
Permeasyon (Sızdırma –Emdirme) Enjeksiyonu

- Zeminin hacmi ve yapısında bir değişiklik meydana gelmez.
- Zemin içerisine enjekte edilen malzeme zamanla sertleşmekte ve böylece zeminin mekanik ve hidrojeolojik özelliklerini iyileştirmektedir.
- Genellikle çimento şerbeti kullanılır
- Özel kimyasal çözeltiler de kullanılabilir.
- Çimento; katkılı veya katkısız daha ince mikro çimento olabilir.
- Çimento dane çapı ancak kaba kumların veya daha kaba zeminlerin daneleri arasına girmeye uygundur.
- Fakat zeminin geçirimliliği azaldıkça hem teknik hem de ekonomik zorluklar artmaktadır.



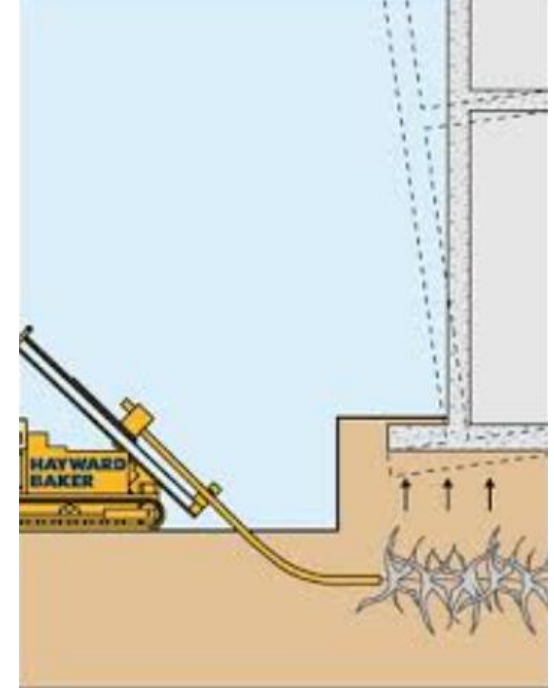
Uygulama Alanları

- Aşırı oturmaları önlemek amacıyla boşlukları doldurma
- Yeni yapılar veya mevcut yapıların büyütülmesi halinde zemin emniyet gerilmesinin arttırılması
- Tünel kazıları sırasında deplasmanları kontrol altına alma
- Sıvılaşmaya karşı gevşek kum tabakalarını taştlaştırma
- Temeli alttan destekleme
- Şev stabilizasyonu
- Şişen zeminlerin stabilizasyonu



Çatlatma Enjeksiyonu

- Zeminin kontrollü bir şekilde, kararlı fakat düşük vizkoziteli çimento enjeksiyonu ile yüksek basınçlarda (5-40 bar, genellikle 20-40)) çatlatılması işlemidir.
- Çatlatma enjeksiyonu sonucunda zemin içerisinde ağaç dallarına benzer bir şekilde sertleşmiş çimento kanalları oluşmakta ve bu sayede zemin kontrollü bir şekilde ve bölgesel olarak sıkıştırılmaktadır.



Zemin İyileştirme Yöntemleri

1.) Ground Reinforcement

- Taş Kolon
- Derin Karışım
- Jet Grout
- Donatılı Zeminler
- Zemin Akrajları
- Zemin Çivileri

2.) Ground Improvement

- Ön yükleme/düşey drenler
- Yüzeysel ve derin kompaksiyon
- Kompaksiyon enjeksiyonu

3.) Ground Treatment

- Zemin-Çimento enjeksiyonu
- Kireçle stabilizasyon
- Bitümlerle Stabilizasyon
- Uçucu kül

Ground Treatment

**KATKI MADDELERİ İLE
İYİLEŞTİRME**

- Zeminlerin içine değişik katkı maddeleri karıştıırarak bazı fiziksel özelliklerini iyileştirmek mümkün olmaktadır.

Katkı maddeleri;

- Kireç ile iyileştirme
- Çimento ile iyileştirme
- Uçucu kül ile iyileştirme
- Bitüm ile iyileştirme

Katkı malzemesi seçiminde;

- Zemin cinsi
- Zeminin hangi özelliğinin iyileştirilmesi
- Katkı malzemesi ile iyileştirilmiş zeminin özelliklerinin laboratuvar deneyleri ile araştırılması
- Maliyet analizi, gibi hususlar daima göz önünde tutulmalıdır.

- **Kireçle stabilizasyon:** Kil zeminlerde kireç katkısıyla plastisite indisi düşürülür, kuru birim hacim ağırlığı arttırılır.
- Şişebilen kil zeminler su ile temas ettiklerinde su alıp hacimlerini artırmakta, üzerlerinde bulunan yapılara basınç uygulamaktadır.
- Hafif yapılar (karayolu, demir yolu, zemin üzerine oturan döşemeler, kanal ve rezervuar kaplamaları, sulama kanalları v.b.) alttan gelen şişme basıncını karşılayamazlarsa deforme olabilir
- Şişen kil zeminler kireç kullanılarak olumsuz özelliklerinin iyileştirilmesi yoluna gidilebilir.



- **Çimento stabilizasyonu:** Organik zeminler hariç tüm zemin cinslerinde uygulanır. Özellikle kum-çakıl türü zeminlerde daha efektif çalışır.
- Zeminin boşluklarındaki su, çimento ile karşılaştığında, çimento hızlı bir şekilde hidrasyona uğramaktadır.
- Hidrasyon sonucu meydana gelen katılma (sertleşme) sırasında bu çimento partikülleri komşu çimento danelerini sararak (bağlayarak) sertleşmiş bir iskelet oluşmasını sağlarlar ve zeminin mukavemetinde önemli bir artış olur.
- Yöntem zamana bağlı olarak zemin – çimento karışımının uzun süreli mukavemeti üzerinde etkilidir.

- ❑ Çimento ile iyileştirme yönteminin en etkili olduğu zemin çeşitleri kumlu ve siltli zeminler ile düşük plastisiteli killerdir.

Çimento ile iyileştirilmiş zeminlerin özelliklerini etkileyen parametreler aşağıda sıralanmıştır:

- ❑ Çimento oranı
- ❑ Su muhtevası
- ❑ Sıkıştırma yöntemi
- ❑ Yoğunluk
- ❑ Çevre basıncı
- ❑ Kür süresi ve koşulları

Uçucu Kül ile İyileştirme

- Dünyada artan enerji ihtiyacı ile beraber uçucu kül üretimi de giderek büyük miktarlara ulaşmaktadır.
- Termik santrallerde üretilen külün yaklaşık %75-85'i uçucu kül olarak elde edilmektedir.
- Bu kadar fazla üretilen bir malzeme beraberinde istenmeyen bazı çevre ve ekonomik sorunlar meydana getirmiştir.
- Kimyasal özellikleri, kolay ve ucuz temin edilmesi, çevreye verilen zararların azaltılması ve ekonomik çözümler üretilmesi nedeni ile uçucu küllerin mühendislik uygulamalarında kullanımını artmıştır.



Uçucu kül, taş kömürü veya linyit kömürünün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucunda oluşan, baca gazları ile taşınan mekanik ve elektrostatik filtrelerde tutulan silis ve alümina – silisli toz halinde bir yanma kalıntısıdır.



- Uçucu kül silt boyutlu bir malzemedir.
- Kireç veya su ile karıştırıldıklarında katılaşma özelliğine sahip malzemelerdir.
- Zemin içerisine karıştırılan uçucu kül oranı arttıkça zeminin kayma mukavemeti de artmaktadır.
- %5 uçucu kül ilave edilmiş zeminlerde mukavemet kür süresine bağlı olarak %20 artmaktadır.
- Uçucu kül yüzdesinin arttırılması bu değerden sonra mukavemeti fazla etkilememektedir.
- Uçucu kül ve kireç ilave edilmiş zeminlerde kireç miktarına bağlı olarak yaklaşık %50 oranında mukavemet artışı gözlenmiştir.

Uçucu küller inşaat alanındaki kullanım yerleri:

- ❑ Çimento, beton, tuğla ve ateş tuğlası üretiminde
- ❑ Baraj gövdesinde
- ❑ Enjeksiyonda
- ❑ Yol dolgu malzemesi olarak
- ❑ Yol inşaatlarında zemin iyileştirmesi ile temel ve alt temel malzemesi olarak
- ❑ İstinat duvarı arkasında dolgu malzemesi olarak vb.

Bitümlerle stabilizasyon:

- Granüler malzemeye kohezyon verir.
- Bitümlerle iyileştirilen ince daneli zeminler suya dirençli ama yüksek kohezyonlu olur.
- Kumlu zeminler için ise daneler arasında güçlü bağ kuvveti oluşur ve stabil bir yapı elde edilir.
- İki veya daha fazla zemin karıştırılarak iyi bir gradasyon elde edilebilirse nispeten daha az miktarda asfalt katkısı ile su geçirimsiz stabil zeminler elde edilebilir.

SONUÇLAR

Elverişsiz zemin koşullarına sahip inşaat alanlarında;

- Güvenli ve ekonomik yapılaşma için zemin iyileştirmesi tekniklerinden yararlanma olasılığı araştırılmalıdır.
- Alternatifler değerlendirilmeli ve maliyet analizi yapılmalıdır.
- Zemin iyileştirmesi tasarımlarında zeminin hangi özelliklerinin hangi oranda iyileştirilmesinin amaçlandığı açık bir şekilde belirlenmelidir.

- Uygulanacak zemin iyileştirme tekniğinin seçimi önemli bir konudur.
- Arazi zemin koşulları, uygulanabilirlik ve hedeflenen amaçlara ulaşılabilirlik dikkate alınmalıdır.
- Bu bağlamda gerekli malzeme, ekipman ve uzman uygulayıcılara ulaşılabilirlik önemle dikkate alınmalıdır.
- Uygulanan zemin iyileştirme tekniklerinin analiz ve tasarım aşamaları önemlidir.
- İmalat sonrası kalite kontrolü önemlidir. Arazi kontrol sisteminin kurulması ve izlenme programının oluşturulması gerekir.