

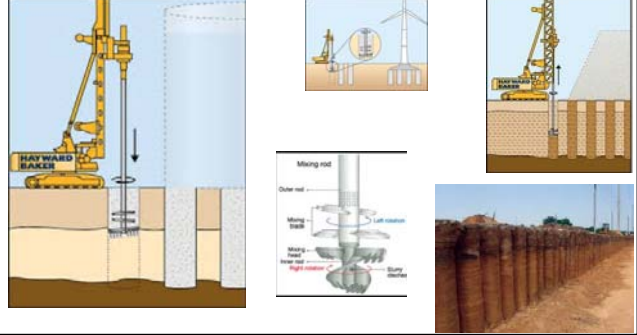



İNİŞANTAŞI
 ÜNİVERSİTESİ

ZEMİN İYİLEŞTİRME
YÖNTEMLERİ

Yrd. Doç. Dr. Selçuk Bildik

Nişantaşı Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü
selcuk.bildik@nisantasi.edu.tr
 İstanbul, 2017

HAYWARD
 BAKER

Mixing rod
 Outer rod
 Mixing blade
 Mixing head
 Inner rod
 Slurry discharge

DERİN KARIŞTIRMA (DEEP MIXING) YÖNTEMİ



2

Yöntemde, ucunda palet bulunan içi boş özel burgular (auger) kullanılır.



5

DERİN KARIŞTIRMA YÖNTEMİ

- Derin karıştırma, zeminin çimentolu kireçli maddeler kullanılarak yerinde karıştırılmasıdır.
- Özel karıştırma aletleri kullanılarak, yumuşak killi zeminlerin yerinde kireç veya çimento şerbeti ile karıştırılması sonucu rijit kolonlar oluşturulur.
- **Çimento, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, kireç**, çeşitli katkılar veya bunların kombinasyonları bağlayıcı madde olarak kullanılmaktadır.



DERİN KARIŞTIRMA YÖNTEMİ
KOLON ÖRNEKLERİ



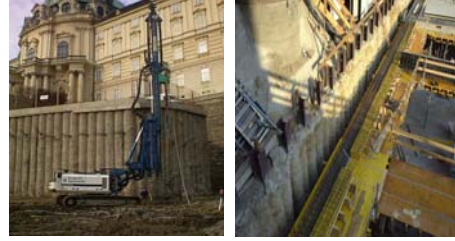
6

DERİN KARIŞTIRMA

- Kullanılan bağlayıcı, zemin cinsine bağlı olarak iyileştirilecek zemin hacminin %20-30'u kadar olmalıdır.
- İçi boş auger borusu istenilen derinliğe indirildikten sonra boru içinden bağlayıcı madde pompalanarak boru ucundaki paletler yardımı ile zemin ile karıştırılır.
- Karıştırma enerjisi (geri çekme ve dönme hızı) ve çimento oranı ayarlanarak iyileştirilen zeminin özellikleri belirlenir.

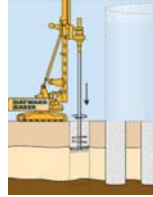


Avusturya-Hastane ek binası



Uygulama Alanları

- Kazı çukurlarının desteklenmesi
- Geçirimsizlik perdeleri
- Rıhtım yapıları
- Tünel zeminin desteklenmesi
- Temel takviyesi
- Sıvılaşmanın önlenmesi



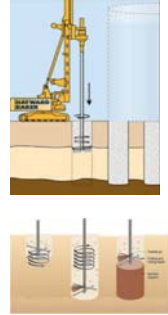
Hangi zeminlerde uygulanabilir?

- Gevşek kumlar, yumuşak killer
- Uygulama derinliği ~30m
- İyileştirilmiş zeminde $qu = 70 \text{ kPa} - 3.5 \text{ MPa}$



Kalite Kontrolü

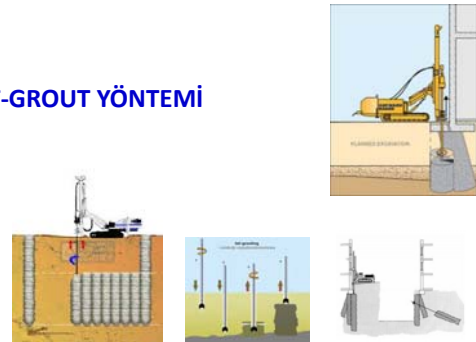
- Uygulama şartnamesinde yer alacak hususlar:
 - kolon çapı,
 - kolon derinliği,
 - kolonun başlama ve bitirme zamanı,
 - santralde bağlayıcının karıştırma süresi,
 - bağlayıcı karışımın özellikleri,
 - enjeksiyon basıncı,
 - bir kolona basılacak toplam enjeksiyon miktarı,
 - augerin zemine girişte ve çıkışta dönme hızı (rpm)
- Arazi yükleme deneyi



AVRUPADA İMAL EDİLEN SİSTEMLERDEN BAZI ÖRNEKLER

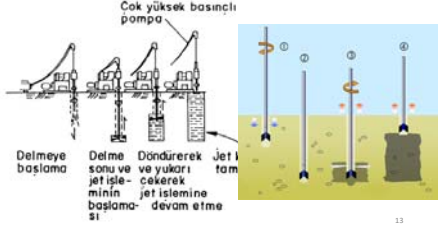


JET-GROUT YÖNTEMİ



Jet grout = jet enjeksiyon

- Yüksek basınç altında (700 kg/cm^2) çok küçük kuyulardan pompalanan çimento şerbeti zemini bıçak gibi keserek zemin içerisinde silindirik kolonlar oluşturmaktadır.
- Kazığa benzeyen bu kolonlar zeminin taşıma kapasitesini artırmakta ve sıkışabilirliğini azaltmaktadır.
- Birbirleri ile keşiştirildiğinde sızdırmazlık perdeleri oluşturulabilmektedir.

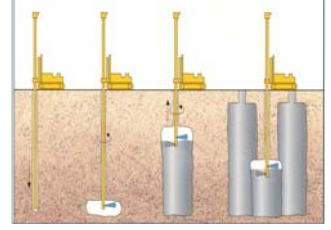


13

Jet-grout yönteminin uygulanışı

2 aşamada gerçekleştirilir:

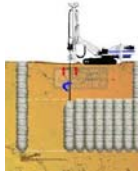
- Delme aşaması
- Enjeksiyon



16

Niçin jet-grout yöntemi?

- Çok farklı zemin koşullarında uygulanabilmesi
 - Çok geniş uygulama alanı
 - Büyük bir tasarım serbesti
 - İstenilen çap ve boyda ve istenilen mukavemette kolonlar imal edilebilmesi
 - Kontrol imkanı
- Uygulamadan önce,**
- Gerekli malzemenin miktarı
 - Zeminin taşıma kapasitesi
 - Zemin parametrelerinin önceden bilinmesi
 - İşin başında maliyetin belirlenebilmesi



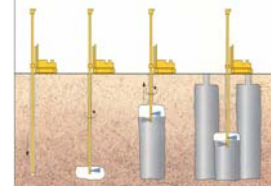
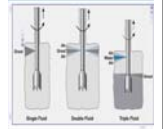
14

Delme Aşaması:

- Öngörülen derinliğe kadar özel delgi makinaları (genelde rotary usulü ile kuyu açılır.

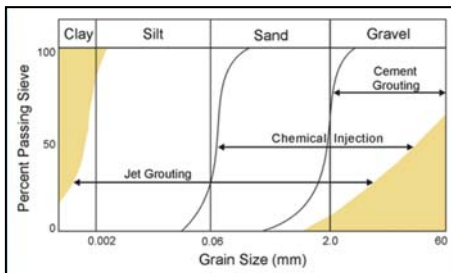
Enjeksiyon (püskürtme) aşaması:

- Delgi tijinin ucundaki delikler otomatik valflarla kapatılır
- Monitör denilen özel parçaya yatay olarak tespit edilen püskürtme nozullarından genellikle 400-600 bar basınçla jetleme enjeksiyonu yapılır.
- 1.5 veya 4.0mm çaplı nozul veya nozullardan 250 m/s gibi büyük bir hızla çıkan enjeksiyon malzemesi, taşıdığı büyük kinetik enerji ile çevresindeki zemini yırtarak karıştırır.



17

Hangi tip zeminlerde uygulanabilir?



15

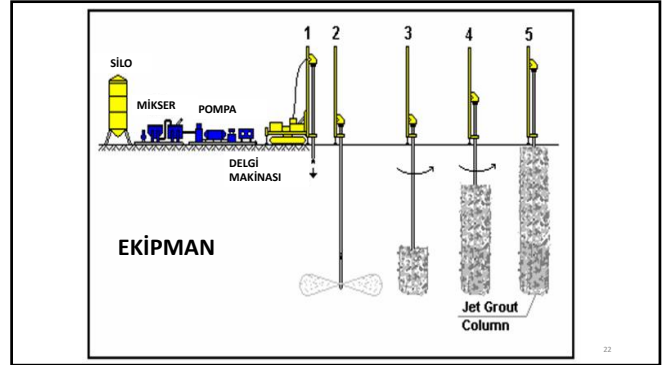
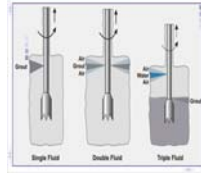
Nozullardan 500-600 barlık basınçla çimento şerbeti enjekte edebilme özelliğine sahiptir.



18

Jet grout tipleri

- Tekli, çiftli ve üçlü sistemler bulunmaktadır.
- Tek bir boru hattından çimento ve su karışımından oluşan basınçlı enjeksiyon malzemesi verilebileceği gibi, birbirinin içinden geçmeli üç borudan hava, su ve çimento karışımı ayrı ayrı ve değişik enjeksiyon basınçlarında verilebilmektedir.
- Su ve hava karışımları yüksek basınçlarda özellikle sert zemini gevşetmeye ve kazmaya yarar.
- Enjeksiyon basınçları ise aynı sistemin içinde daha düşük tutulmaktadır.
- Çok borulu sistemler ile zemin tipine bağlı olarak daha büyük kolon çapları elde edilebilmektedir.



22



20

Karıştırma ünitesi

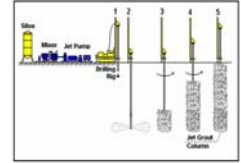
Basınçlı püskürtme için gerekli çimento pompası ve silosu, su deposu ve mikserden oluşan karıştırma ünitesi.

Pompa

Hazırlanan karışım daha sonra jet-grout pompasına aktarılır

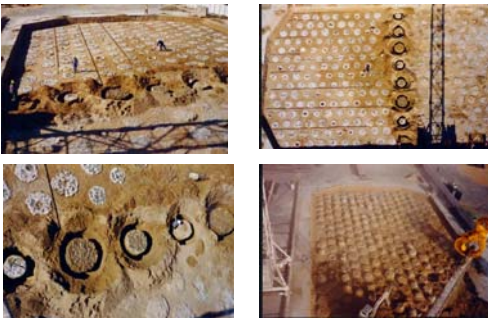
Monitör

Tijin ucuna yerleştirilmekte olup gerekli sayıda ve çok küçük çaplı enjeksiyon nozulları içermektedir



23

İmalat sonunda temel zemini



21

Kontrol paneli

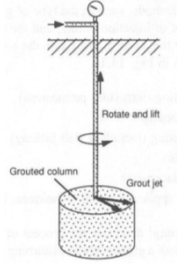
Tijin devir hızı, yukarı çekilme hızı ve diğer gerekli süreler istenilen kolon çapı ve çimento dozajını koruyabilmek için delgi makinesinin kontrol panelinden ayarlanmaktadır



24

TASARIM PARAMETRELERİ

- Jet-grout tasarımı ve uygulamasında en önemli unsurlar enjeksiyonun özellikleri ve çalışma parametreleridir.
- **Çalışma parametrelerinin seçimi;**
 - zemin şartları,
 - kolon çapı,
 - istenilen taşıma gücü değeri
- **Uygulanacak yöntem belirlenir. Bunlar;**
 - Basınç,
 - Dane yapısı,
 - Dönme ve çekme hızı,
 - Dozaj,
 - Püskürtme nozulları



25

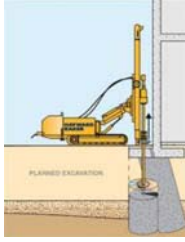
- Zemin cinsine göre aşırı çimento tüketimi gözlemlenir.



26

JET-GROUT YÖNTEMİNİN AVANTAJLARI

- Yaklaşık her türlü zeminlerde uygulanabilir
- Hafif ve küçük ekipmanla gerçekleştirilebilir,
- Çimento ve su karışımı kullanıldığı için kimyevi enjeksiyonlar gibi çevre kirlenmesi yapmaz,
- Önceden belirlenebilecek geometrik ölçüler çerçevesinde uygulanacağından malzeme sarfiyatı büyük ölçüde önceden hesaplanabilir.
- Delinen küçük çaplı (10 cm) delgi deliğinden başlayarak geniş çaplı (50-300 cm) kolonlar elde etmek mümkündür.
- İstenilen derinlikten başlatılıp zemin yüzeyi altında istenilen derinlikte bitirilebilir.
- İstenilen mukavemet ve permabilite tasarlanabilir.
- Zararlı vibrasyon etkisi yaratmadığından hassas ve tarihi yapılar yakında uygulanabilir.



26

- Zemin cinsine göre kolon çapları istenilenden farklı olabilir bunun için **ön kontrol** çok önemlidir.



29

JET-GROUT YÖNTEMİNİN DEZAVANTAJLARI

- Genellikle belirli bir tasarım yöntemi yoktur.
- **Tecrübeler** ile uygulama sırasında yapılan **gözlemlere** dayalı tasarım yapılmaktadır.
- Zemin içinde enjeksiyonun dağılımını ve oluşan geometriyi belirlemek zordur. Bu nedenle, **dikkatli ve detaylı gözlem ve kontrol testleri** yapmayı zorunlu kılmaktadır.
- **Çok yüksek basınç, zeminde çatlak ve kırıklara sebep olabilir.**
- Bunun sonucunda zeminin taşıma gücünde düşüş olabilmekte ve komşu yapılarda bazı oturmalar gözlemlenir.



27

UYGULAMADA DİKKAT EDİLECEK HUSUSLAR

- Bu konuda yetmişmiş tecrübeli eleman kullanılmalı ve geniş emniyet tedbirleri alınmalı



30

- Yüksek basınçla çalışırken nozullar tıkanabilir.
- Önleyici tedbirler alınarak enjeksiyon hortumlarının patlamasının önüne geçilmelidir



31

Karot numuna alınması



Yapım Sırasında

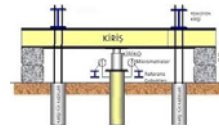
- Bir jet-grout kolunu yapımı tamamlandıktan sonra 2-3 gün geçmeden hemen yanındaki kolonun yapımına başlanmamalıdır.
- Yüksek basınçlı püskürtme, prizi tamamlanmamış kolonu tahrip edebilir.
- Bu bakımdan kolonların yapım sırası dikkatle programlanmalıdır.
- Yüksek basınç ve aşınmanın yüksek olmasından dolayı tamir ve bakım süresi mümkün olduğu kadar kısa tutulmalıdır.
- Enjeksiyon sırasında uygulanan basıncın kontrollü olarak ortadan kaldırılabilmesi sağlanarak zeminde arzu edilmeyen kabarma, çatlama ve kırılmaların önüne geçilmelidir.



32

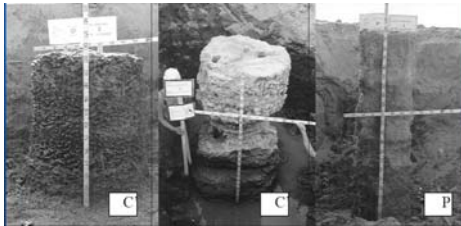
Kolonun taşıma gücü

- Kolonların imalatından sonra Jet-grout kolonlarında **yükleme deneyi** yapılarak beklenen taşıma kapasitesini sağlayıp sağlamadığı belirlenmelidir.



35

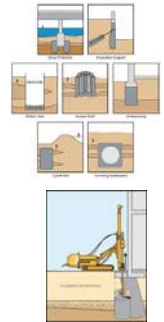
Kalite kontrol



33

JET-GROUT YÖNTEMİNİN UYGULAMA ALANLARI

- Temel zeminin güçlendirilmesi
 - Kazıklı temel yerine yapı yüklerini daha derin taşıyıcı zemine aktarmak amacıyla
 - Geniş temel alanlarında zemin iyileştirilmesi
 - Mevcut yapılar altında zemin iyileştirilmesi ve temellerin takviyesi
- Oto yollarda köprü ve viyadük temelleri altında
- Geçirimsiz perdeler teşkilinde
- Tünel inşaatlarında zemin stabilitesini artırmak için
- Dolguların temel takviyesi
- Şev stabilitesinin iyileştirilmesi işlerinde ve daha bunun gibi birçok alanda yüksek basınçlı enjeksiyon sistemi başarıyla uygulanmıştır.



36

Kompaksiyon Yöntemi



- Yüzeysel kompaksiyon
- Derin kompaksiyon

Uygulama alanları

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

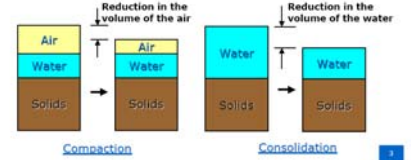
• Dolgudan beklenen özellikler

- Mukavemet
- Oturma
- Permeabilite

• Kontrol parametreleri

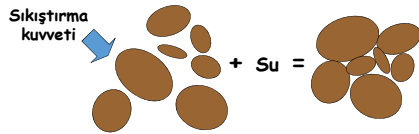
- Malzemenin cinsi
- Su muhtevası
- Sıklık derecesi

Kompaksiyon-Konsolidasyon arasındaki fark



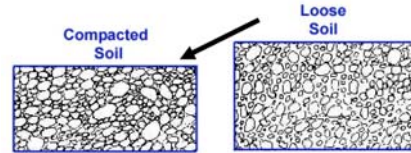
Kompaksiyon Nedir?

• Mekanik enerji uygulamak sureti havanın dışarı atılması ile zemin yoğunluğunun artırıldığı, basit bir zemin iyileştirme yöntemidir.



Kompaksiyon Kontrol parametreleri

- Kompaksiyon enerjisi
- Malzemenin cinsi ve gradasyonu
- Su muhtevası
- Kuru birim hacim ağırlık

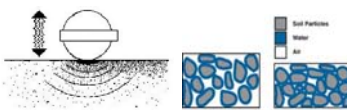


41

Kompaksiyon nedir?

• Kompaksiyon : Statik, vibrasyonlu ve darbeli aletlerle

- zeminin mekanik olarak sıkıştırılması,
- zemin boşluklarındaki havanın atılması
- zeminin kayma mukavemetinin artırılması
- permeabilitesinin azaltılması
- sıkışabilirliğinin azaltılması,
- sıvılaşma riskinin düşürülmesi işlemidir.



KOMPAKSİYON TEORİSİ

- Enerji uygulanarak daneler arasındaki havanın dışarı çıkarılmasıdır
- Daha sıkı bir yerleşim,
- Boşluklar azalır
- Birim hacim ağırlığı artar
- Danelerin birbirlerine göre hareketi önemli
- Su muhtevasına bağlı olarak sürtünme azalır ve yağlanma etkisi gösterir
- Su muhtevasına bağlı olarak danelerin hareketi önemlidir.

42

Laboratuvar Kompaksiyon Deneyleri

Dolguda kullanımı düşünülen zemin belli bir sıkıştırma enerjisinde sıkıştırılıp, kompaksiyon eğrisinden optimum su muhtevası (w_{opt}) ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı ($\gamma_{k,max}$) elde edilir.

Standart Proktor

- 3 tabaka
- Her tabakada 25 düşüş
- 2.7 kg tokmak ağırlığı
- 300 mm düşüş yüksekliği

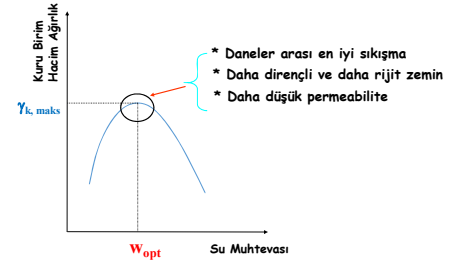


1000 ml hacminde Kompaksiyon Kalıbı

Modifiye Proktor

- 5 tabaka
- Her tabakada 25 düşüş
- 4.9 kg tokmak ağırlığı
- 450 mm düşüş yüksekliği

Deney eğrisinin değerlendirilmesi



Laboratuvarda kompaksiyon

* Origin

R.R. Proctor tarafından 1930'lu yıllarda bulunmuştur.

* Amaç

Laboratuvar kompaksiyon deneyinde amaç; Arazide sıkıştırılacak zeminler için en iyi sıkıştığı su muhtevasını belirlemek. Bu su muhtevasına **optimum su muhtevası** denir.

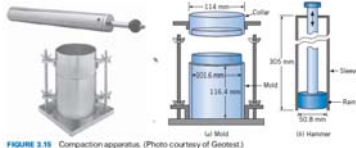
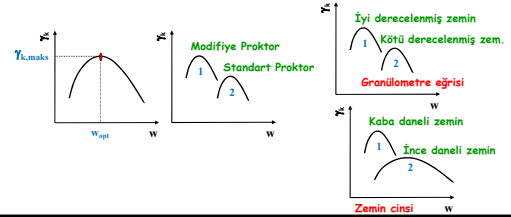


FIGURE 3.19 Compaction apparatus. (Photo courtesy of Geosoft.)

Kompaksiyonu Etkileyen Faktörler

- Kompaksiyon nedeniyle, zeminin γ'_s 'ında meydana gelen artış, başlıca **zeminin su muhtevasına, zemin cinsine ve uygulanan kompaksiyon enerjisine** bağlıdır.
- Belirli bir kompaksiyonda her zemin için γ'_s 'ı maksimum yapan bir optimum su muhtevası (w_{opt}) vardır.

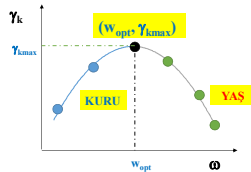


Standard Proctor deney sonuçları

Deney farklı su muhtevalarında tekrarlanır ve aşağıdaki eğri çizilir.

$$\gamma_k = \frac{W_{kuru}}{V_{toplam}}$$

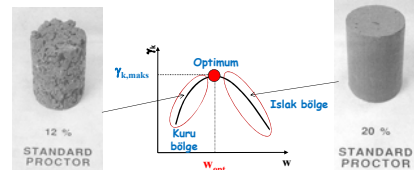
$$\gamma_k = \frac{\gamma}{1 + \omega}$$



- $\gamma_k \uparrow \Rightarrow$ Sıkışmışlık yüksek (iyi)
- $\gamma_k \downarrow \Rightarrow$ Sıkışmışlık düşük (kötü)

Su etkisi

- **su az** iken zemin sert olup sıkıştırılması güçtür. Böylece γ_k ve yüksek hava muhtevaları elde edilir. Bu bölgeye **kuru bölge** denir.
- **su artarsa**, su yağlayıcı gibi hareket ederek zeminin yumuşamasına ve daha iyi işlenebilir bir hale gelmesine neden olur. Bu yüksek γ_k ve düşük hava muhtevası sağlar. Bu optimum durumdur.



Arazide Kompaksiyon

- Yüzeysel kompaksiyon makineleri genel olarak **silindirler**, **tokmaklar** ve **vibratörler** olmak üzere üç grupta toplanır.
- **Arazide kompaksiyon**, zemin cinsine bağlı olarak şartnamede belirtilen değere göre, çeşitli araçlarla zemin tabakalar halinde serilip sıkıştırılması işlemi ile gerçekleştirilir.



Arazide kompaksiyonu etkileyen parametreler aşağıdaki gibi sıralabilir:

- Zemin cinsi ve su muhtevası
- Tabaka serilme kalınlığı
- Silindir özellikleri(cinsi,ağırlığı,uyguladığı basınç,titreşim frekansı,vb.)
- Uygulanan kompaksiyon enerjisi(silindir geçiş sayısı ve hızı)

- Aracın ağırlığı
- Aracın geçiş sayısı
- Aracın geçiş hızı
- Tabaka kalınlığı



□ Arazide Kompaksiyon Araçları

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

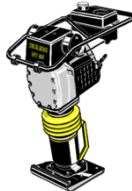


Düz Silindir



- * Sadece 20-30 cm derinliğe kadar etkilidir.
- * Bu yüzden; zemini ince tabakalar halinde sermek gerekir.

Vibratörlü Plakalar



- * Çok küçük alanlardaki kompaksiyon için uygundur.
- * Granüler zeminlerde etkilidir.

Lastik Tekerlekli Silindir



Keçi Ayaklı Silindir



* Yoğurma etkisi yapar; killi zeminlerde iyi verim alınır.

Kompaksiyonun Kontrolü

Şartnamelerde öngörülen esaslara göre kompaksiyonun yapılması

Sıkışma yüzdesi ve su muhtevası dikkate alınır

Genellikle her 1000 m³ sıkıştırmada 1 deney önerilir

Arazide yoğunluğun ölçülmesi

- kum konisi yöntemi
- nükleer yoğunluk ölçer

Darbeli Silindir



- * Hava alanı dolgularında kullanılabilir.
- * Derin kompaksiyon (2-3m) sağlar.

Kompaksiyon Kontrol Deneyleri



Arazide Sıkışma Kontrolü

▣ Arazide Kompaksiyon Kontrolü : Toprak dolgu imalatı sırasında sürekli olarak dolgunun sıkıştırılmış yoğunluğunun ve su muhtevasının yerinde kontrolü gerekmektedir.



▣ Sıkıştırılmış Zeminlerin Özellikleri : İmal edilen toprak dolguların proje gereksinimlerine uygun mukavemet, şekil değiştirme, şişme/büzülme, hidrolik iletkenlik(permeabilite) mühendislik tasarım özelliklerine sahip olması gerekmektedir.

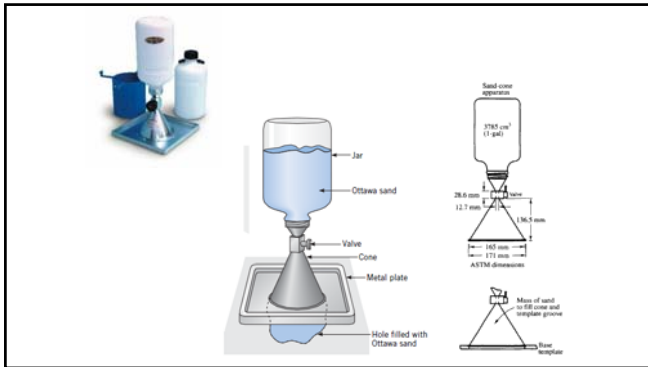


Sıkışma kontrolü

- Laboratuvarında Proctor deneyi sonucu bulunan sıkıştırma miktarının, arazide ne ölçüde gerçekleştirildiği, **izafi sıkışma değeri (Rc)** ile kontrol edilir.
- Normal dolgular için %95 mertebesinde bir izafi sıkışma çoğu zaman uygun sayılabilir yada **şartnamede önerilen değer** kabul edilir.

$$R_c = \frac{\gamma_k(\text{dolgu})}{\gamma_{k,\text{maks}}(\text{lab.})} \geq \%95$$

Sıkışma yüzdesi ve su muhtevası aralığı



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.
- Ağırılık, genellikle betonarme dikdörtgen bir blok olup, dışı kalın saca kaplıdır.
- Uygulamada birkaç metre aralıklı noktalarda tokmaklama ortalama 2-3 vuruş/m² kılavuzuyla yapılır.
- Her geçiş arası boşluk suyu basınçlarının sönmüne 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.



Zemin ıslah derecesi uygulanan enerjinin büyüklüğüne bağlıdır. Uygulama enerjisi,

- Tokmak ağırlığına
- Düşme yüksekliği
- Düşme sayısı

Dinamik kompaksiyonda ıslah etki derinliği;

Burada;

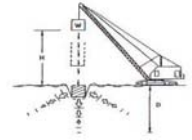
D : ıslah derinliği, metre

W : Tokmak ağırlığı, ton

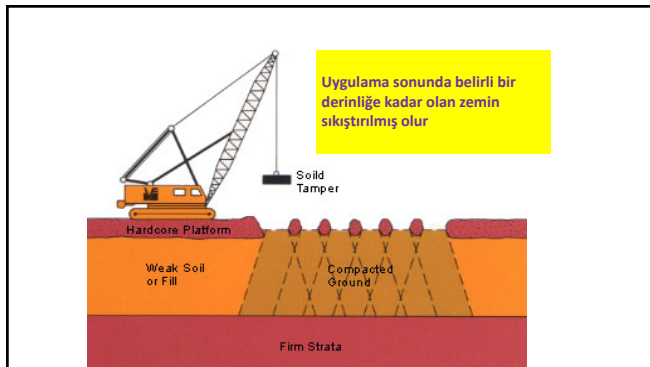
H : Tokmanın düşme yüksekliği, metre

n : Ampirik katsayı

Dinamik etki derinliğini hesaplamak için kullanılan *n* katsayısı tablodan alınabilir.



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

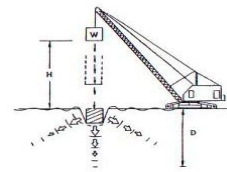


Uygulama sonunda belirli bir derinliğe kadar olan zemin sıkıştırılmış olur

Tasarım parametreleri

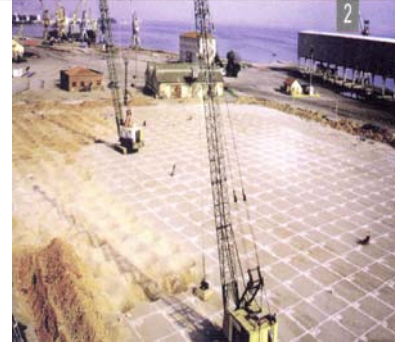
- Etki derinliğine bağlı olarak W ve H değerleri
- Uygulama enerjisi
- Düşüş aralığı ve sayısı
- Pas sayısı

Zemin cinsi	Enerji (kJ/m ³)
Kumlu zemin	220-250
Suya doymun olmayan siltli/killi zemin	250-300
Kontrolsüz dolgu	600-1100



Sonuç olarak;

- **Doygunluk derecesi az, permeabilitesi yüksek ve drenaj şartları iyi olan gevşek granüler zeminler için çok ideal bir yöntemdir.**
- Permeabilitesi düşük ve suya doymun killer için ise tavsiye edilmez.
- Çünkü dinamik kompaksiyon sırasında oluşan ilave boşluk suyu basınçlarının sönmülmesi 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 sönmülmesi sağlanmalıdır.



Uygulamada



- Dinamik Kompaksiyon genelde iyileştirilecek zeminin eşit karelere bölünmesiyle (karelaj yöntemi) uygulanır.
- Şekilden de görüleceği üzere karelajdaki kare boyutları yaklaşık olarak ağırlığın en kesit boyutlarına eşittir.



Dinamik Kompaksiyon Uygulama Örneği

- TCDD Derince Limanı, Bunge Gıda Depolama Tesisi'nde Dinamik Kompaksiyon Uygulaması yapılmıştır.
- 220.000 ton kaya dolgu ile 15.000 m² denizden dolgu ile alan elde edilmiştir.
- 32 m çapında ve 33 m yüksekliğinde 15.000 ton/adet kapasiteli 3 adet silo ve 45.000 ton kapasiteli yatay depo inşa edilmiştir.



12 ton 22m'den düşürülerek toplam 16.000 darbe ile zemin iyileştirilmesi yapılmıştır.