




**NİŞANTAŞI**  
 UNİVERSİTESİ

**ZEMİN İYİLEŞTİRME**  
**YÖNTEMLERİ**

Yrd. Doç. Dr. Selçuk Bildik

Nişantaşı Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü  
[selcuk.bildik@nisantasi.edu.tr](mailto:selcuk.bildik@nisantasi.edu.tr)  
 İstanbul, 2017



## Geosentetikler

Geo = zeminle ilgili işlerde kullanıldığı için  
 Sentetik = kullanılan malzeme sentetik

**Niye Sentetik ?**

- Ucuz
- İstenilen her türlü özellik verilebilir.
- Çevre şartlarına dayanıklıdır.

## ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

### DONATILI ZEMİN YÖNTEMİ VE GEOSENTETİKLER

## GEOSENTETİK = Sentetik malzeme

- Sentetik malzeme yapı taşı **polimerdir**.
- Polimer davranışında polimerin moleküler ağırlığı çok önemli rol oynar .
- Molekül ağırlığı arttıkça
  - Mukavemet artar
  - Deformasyon özelliği artar
  - Darbe mukavemeti artar
  - Gerilme çatlağı dayanımı artar
  - Isıya dayanımı artar
  - İşlenebilme özelliği artar

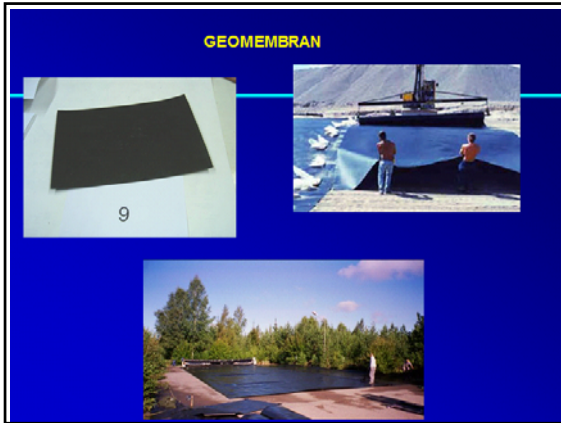
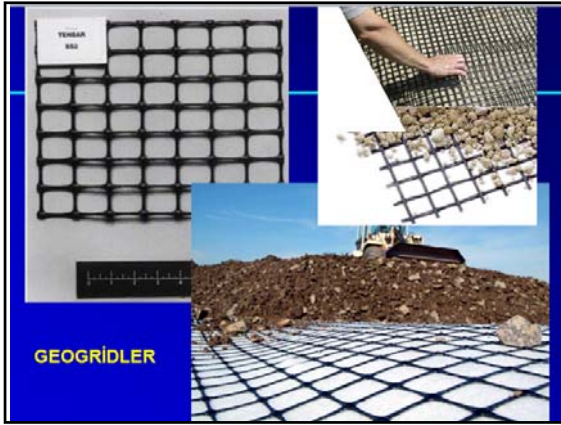
## Geosentetikler

- Son yıllarda İnşaat mühendisliğinde hemen hemen her alanda kullanımı çok artmıştır.
- Geoteknik mühendisliğinde devrim
- Ülkemizde kullanımı yaygın değildir.

## Geosentetiklerin sınıflandırılması

```

    graph TD
      GEOSENTETIKLER --> DogalElyaf[Doğal Elyaf]
      GEOSENTETIKLER --> SentetikElyaf[Sentetik Elyaf]
      SentetikElyaf --> Geotekstiller[Geotekstiller]
      SentetikElyaf --> YanUrunler[Yan Ürünler]
      Geotekstiller --> Orgusuz[Örgüsüz]
      Geotekstiller --> Orgulu[Örgülü]
      Orgusuz --> Mekanik[Mekanik]
      Orgusuz --> Termik[Termik]
      Orgusuz --> Kimyasal[Kimyasal]
      Orgulu --> TekLifli[Tek Lifli]
      Orgulu --> ÇokLifli[Çok Lifli]
      Orgulu --> SeritBant[Şerit-Bant]
      YanUrunler --> Geomembran[Geomembran]
      YanUrunler --> Geogrid[Geogrid]
      YanUrunler --> Geonet[Geonet]
      YanUrunler --> Geosel[Geosel]
      YanUrunler --> Geokompozit[Geokompozit]
      YanUrunler --> Biomet[Biomet]
  
```



- Donatılı Zemin Yönteminin Üstünlükleri**
- Hızlı
  - Kolay
  - Ekonomik
  - Etkif

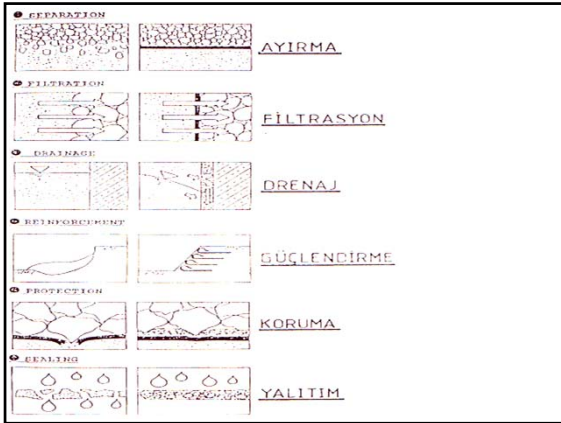


- Geosentetik malzemenin üstünlükleri**
- Donatı-zemin sürtünmesi daha yüksek
  - Daha efektif
  - Çevre koşullarına daha dayanıklı
  - Çekme mukavemeti yüksek
  - Elastisite modülü yüksek
  - Sıyırılma direnci yüksek
  - Sünme(creep) daha küçük

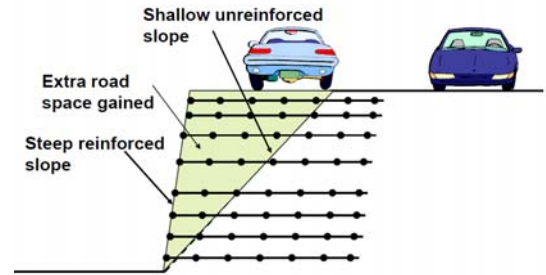
### Geosentetiklerin fonksiyonları;

1. Ayırma/separasyon
2. Filtrasyon
3. Drenaj
4. Güçlendirme/sağlamlaştırma
5. Su yalıtımı
6. Şev koruma, erozyon önleme

### Donatılı Duvarlar

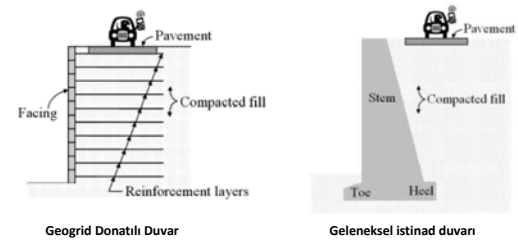


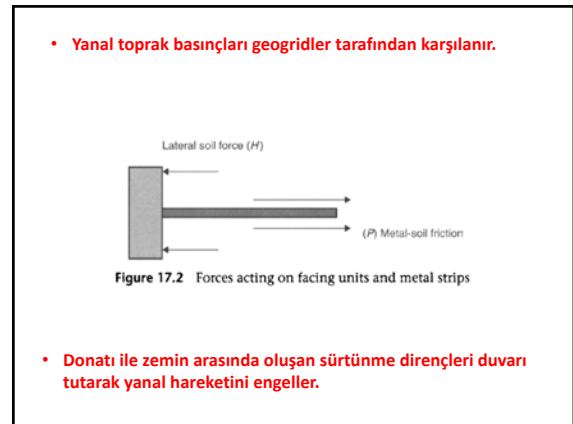
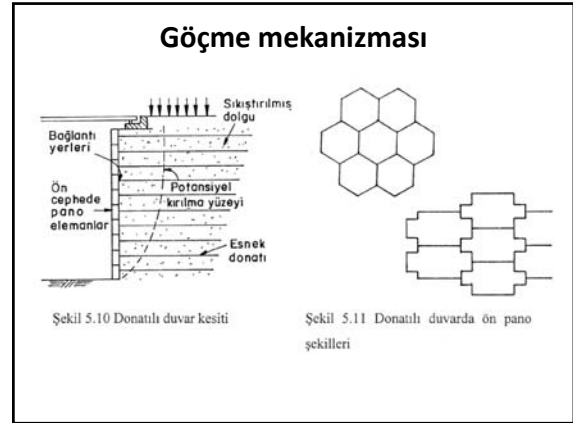
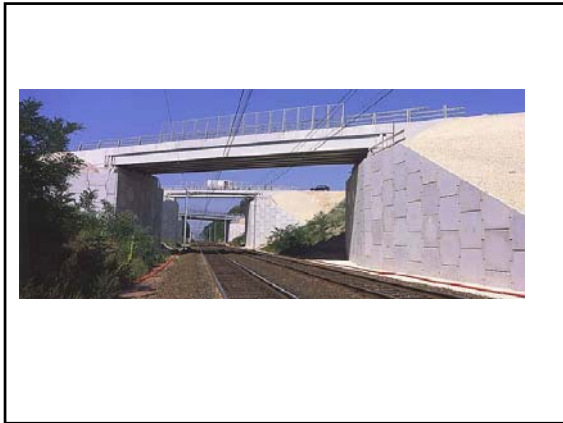
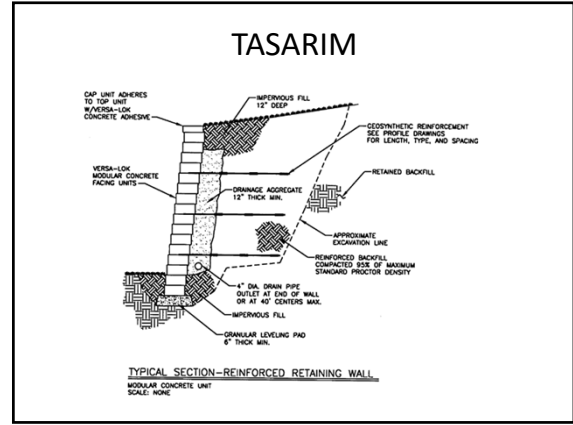
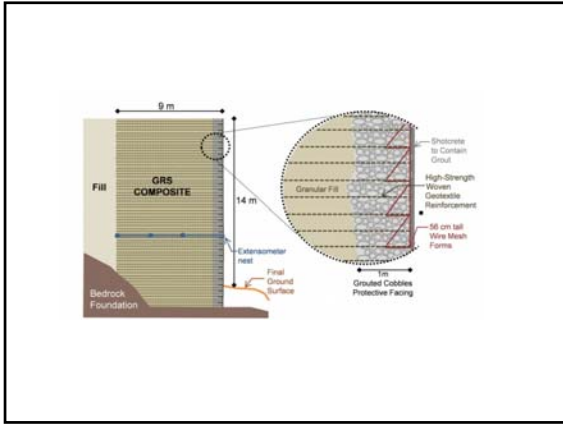
### Güçlendirme amaçlı geogrid kullanımı



### Donatı ile Zeminlerin Güçlendirilmesi

- Donatılı zemin = Zeminlerin metal veya geosentetik türü malzemeler kullanılarak mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi
- Zemin içerisine çekmeye dayanıklı lif, çubuk, şerit, levha veya sentetik donatı elemanı yerleştirilerek elde edilen kompozit bir malzeme olarak da tanımlanabilir.





**Tasarımda ilk olarak duvara gelen yanal toprak basınçları hesaplanmalıdır**

$\sigma'_v$  = vertical effective stress  
 $\sigma'_h = K_a \times \sigma'_v$  = horizontal stress  
 $K_a$  = lateral earth pressure coefficient =  $\tan^2(45 - \phi/2)$   
 lateral soil pressure,  $F = (K_a \times \sigma'_v) \times \text{area of the facing unit}$

**Figure 17.2** Forces acting on facing units and metal strips

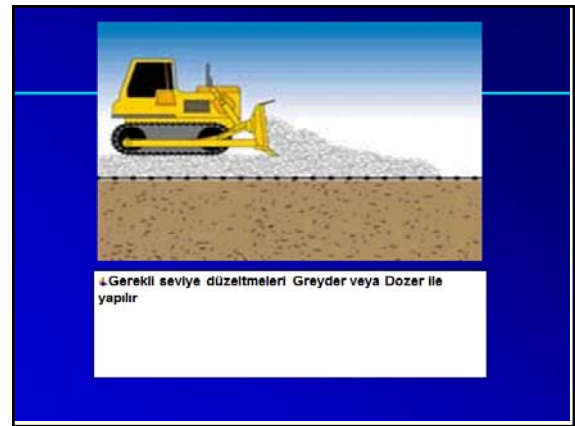
**Güçlendirme ve ayırma**

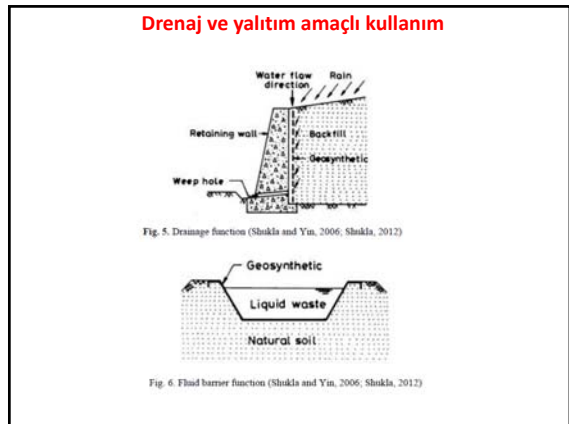
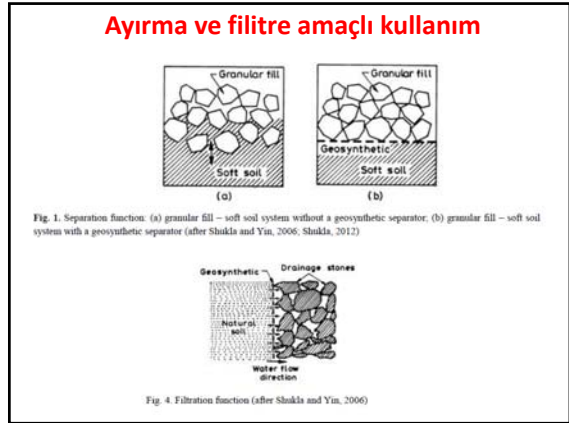
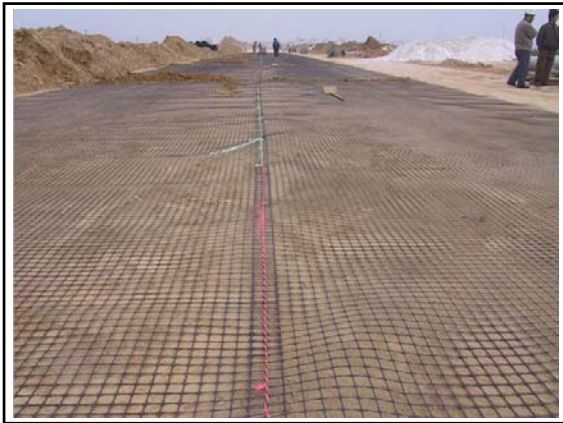
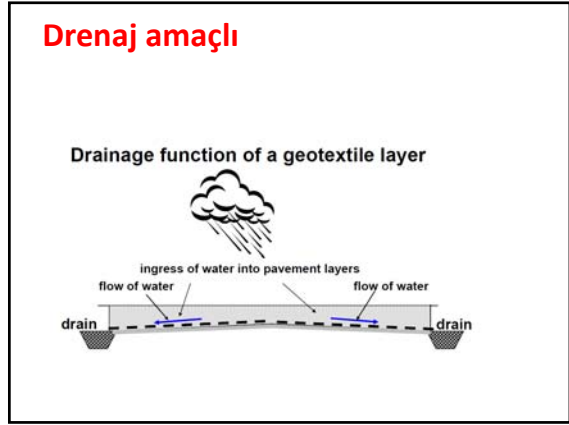
**Göçme mekanizması**

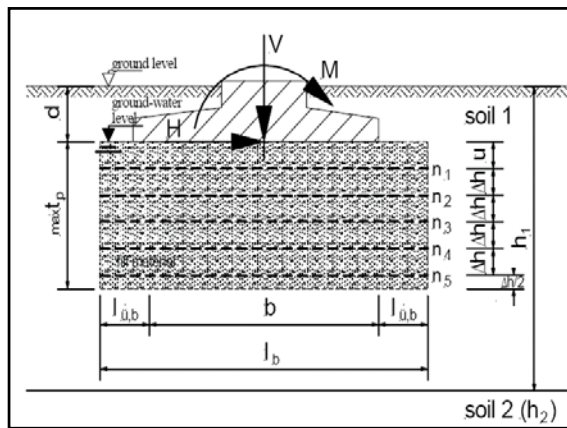
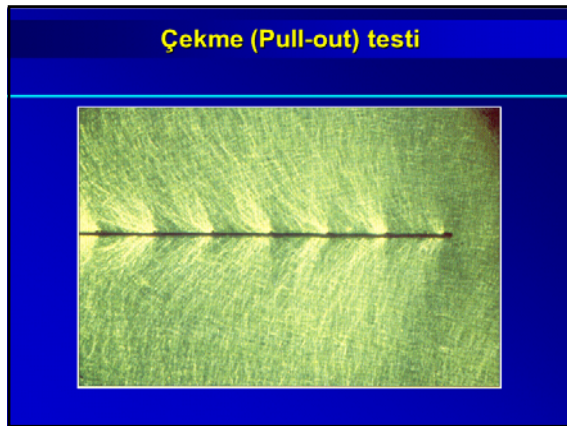
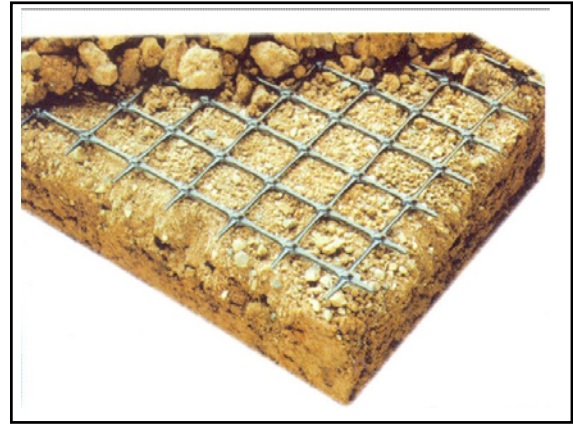
**Yol inşaatında güçlendirme**

**Donatılarda oluşan sürtünme dirençleri**

$L = L_r + L_e$







- Zeminlerin içine değişik katkı maddeleri karıştırarak 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.

- **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 katılaşma (sertleşme) sırasında bu çimento partikülleri komşu çimento danelerini sararak (bağlayarak) sertleşmiş bir iskelet oluşmasını sağlarlar ve zeminin mukavemetinde önemli bir artış olur.

- Puzzolonik reaksiyon zamanla gelişen bir reaksiyon olduğu için zemin – çimento karışımının uzun süreli mukavemeti üzerinde etkilidir.

- **Kireçle stabilizasyon:** Kil zeminlerde kireç katkısıyla plastisite indisi düşürülür, kuru birim hacim ağırlığı arttırılır.

- Şişebilen kil zeminler su ile temas ettiklerinde su alıp hacimlerini arttırmakta, 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 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 kullanımı 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.



• **Bitümle stabilizasyon:** Granüler malzemeye kohezyon verir.

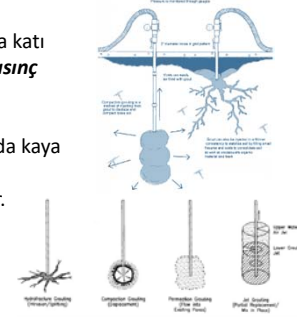
- Bitümle iyileştirilen ince daneli zeminler için suya dirençli ama yüksek kohezyonlu
- Kumlu zeminler için ise daneler arasında güçlü bağ kuvveti olan stabil bir yapı elde edilir.
- İki veya daha fazla zemin karıştırılarak iyi bir gradasyon elde edilebilirse nispeten daha az miktarda asfalt katkısı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

- 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 artırılması bu değerden sonra mukavemeti fazla etkilememektedir.
- Uçucu kül ve kireç ilave edilmiş zeminlerde kireç miktarına bağlı olarak yaklaşık %50 oranında mukavemet artışı gözlenmiştir.

## ZEMİNLERİN ENJEKSİYON TEKNİĞİYLE İYİLEŞTİRİLMESİ

### Tanım:

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



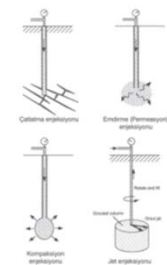
### Uçucu küller inşaat alanındaki kullanım yerleri:

- ❑ 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.

## Enjeksiyon teknikleri

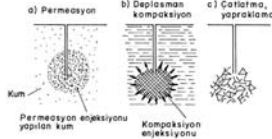
- Enjeksiyon malzemesinin zemin içerisine yerleştirilme biçimine bağlı olarak

- Emdirme (Permeasyon) Enjeksiyonu
- Kompaksiyon Enjeksiyonu
- Çatlatma Enjeksiyonu
- Jet Enjeksiyonu



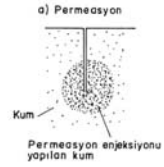
### Enjeksiyon işlemi dört şekilde olmaktadır:

- **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)
- **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 viskoziteli 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.

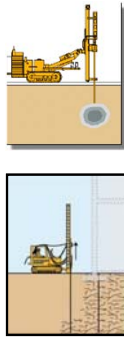


#### ÖNEMLİ:

- Permeasyon enjeksiyonunun uygulanabilirliği, zemin içerisindeki boşluklara nüfuz etme söz konusu olduğundan
- zeminin dane çapı dağılımı
- enjeksiyon malzemesinin dane çapı dağılımı

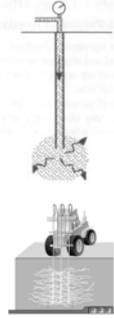
### Tasarım Yöntemi

- Uygulama amacı (sızdırmazlık, dayanım v.b.)
- Zemin koşulları (**dane çapı dağılımı, izafi(rölatif) sıklık, geostatik gerilmeler, vs.**)
- Hangi yöntem uygulanacak,
- Enjeksiyon malzemesi seçilmesi,
- Enjeksiyon parametreleri (**enjeksiyon basıncı, enjeksiyon hızı, enjekte edilen hacim, vs.**)



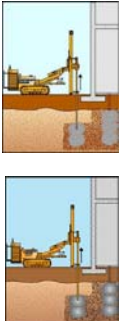
### Permeasyon (Sızdırma –Emdirme) Enjeksiyonu

- 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 geçirimsizliği 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 artırılması
- Yeraltı su akımını kontrol altına alma
- Tünel kazıları sırasında deplasmanları kontrol altına alma
- Sivilaşmaya karşı gevşek kum tabakalarını taşlaştırma
- Temeli alttan destekleme
- Şev stabilizasyonu
- Şişen zeminlerin stabilizasyonu



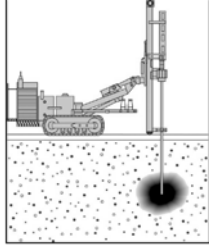
### Kompaksiyon enjeksiyonu

- 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



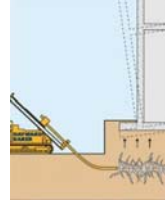
### Kompaksiyon Enjeksiyonu

- 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 katlı bir enjeksiyon malzemesi ve çok yüksek basınçlar (3.5 MPa'a kadar) gerekmektedir.
- Dolayısıyla zeminin orijinal yapısı bozulmakta ve bu sayede radyal olarak sıkışmaktadır.



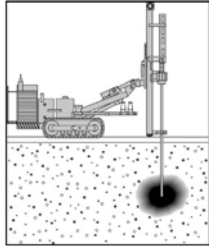
### Çatlatma Enjeksiyonu

- Zeminin kontrollü bir şekilde, kararlı fakat düşük viskoziteli 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.



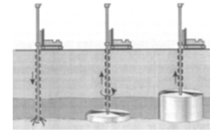
### Kullanıldığı alanlar;

- Çoğunlukla zayıf veya yumuşak zeminlerin sıkıştırılmasında,
- temel ve döşemelerin alttan desteklenmesinde,
- yapı oturmalarının kontrol edilmesinde,
- farklı oturmalar gösteren yapı temellerinin rehabilitasyonunda ve tekrar eski seviyelerine yükseltilmesinde kullanılmaktadır.



### Jet Enjeksiyonu

- Bu enjeksiyon türünde tasarım derinliğe kadar delgi yapılmakta ve delgi için kullanılan tijlerin ucundaki küçük deliklerden yüksek basınçlarda çimento şerbeti zemine jetlenmektedir.
- Bu jetleme esnasında tijler de belirli bir hızla döndürülmekte ve yine belirli bir hızla da zemin içinden aşağıdan yukarıya doğru çekilmektedir.
- Böylece, belirli bir çapta ve boyda zemin içinde silindirik bir kolon oluşturulmaktadır.



Jet enjeksiyonu işlemi

### Örnek:

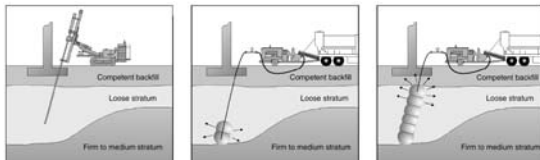
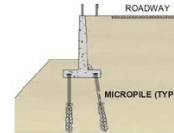
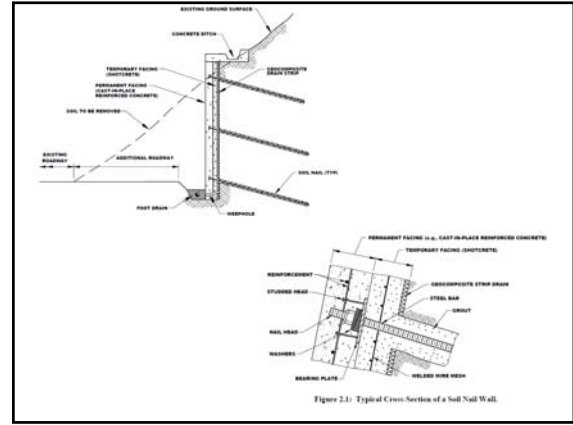
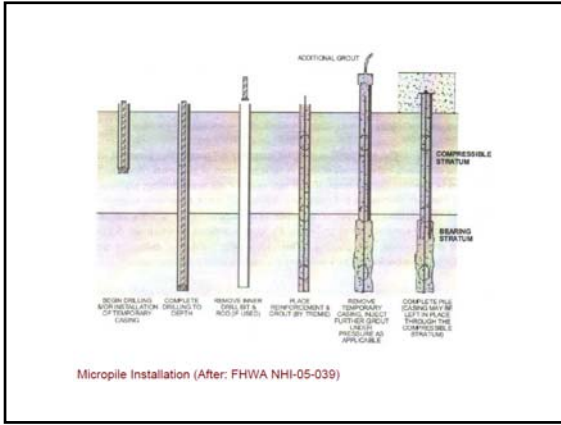


FIGURE 12.3  
Compaction grouting process. (From Hayward Baker Inc. With permission.)

### MİNİ veya MİKRO KAZIKLAR

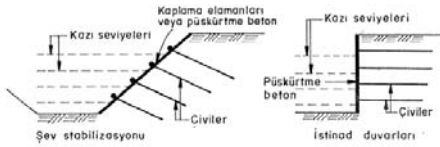
- Mini kazıklar,  $\varnothing 15-35$  cm çaplarındaki küçük çaplı kazıklardır.
- Mini kazık imalatında, genellikle fore kazıklar gibi önce delme işlemi yapılır.
- Daha sonra deliğe donatı indirilir ve betonlama yapılır.
- Mevcut temellerin alttan desteklenmesinde uygulanır
- Küçük ekipman ile bodrum katlarda her açıda imal edilebilir.



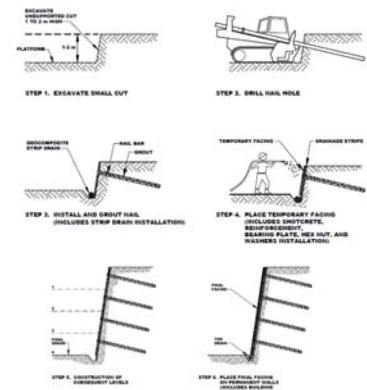


## Zemin Çivileri

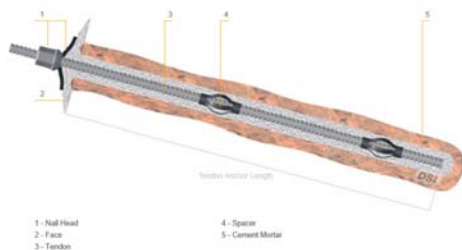
- Düşey yük taşımaktan ziyade yanal hareketlerin hapsedilmesi prensibine dayanmaktadır.
- Kazı kenarları, istinat duvarları ve şevlerin stabilizasyonunda yatay veya yataya yakın konumda yerleştirilir.
- İç ve dış stabilite tahkikleri yapılmalıdır. Yeterli sıklıkta yerleştirilmelidir
- Tasarım yöntemi henüz gelişme aşamasındadır. Genellikle, 2 çivi/m<sup>2</sup> ile 1 çivi/5m<sup>2</sup> arasında uygulanır.

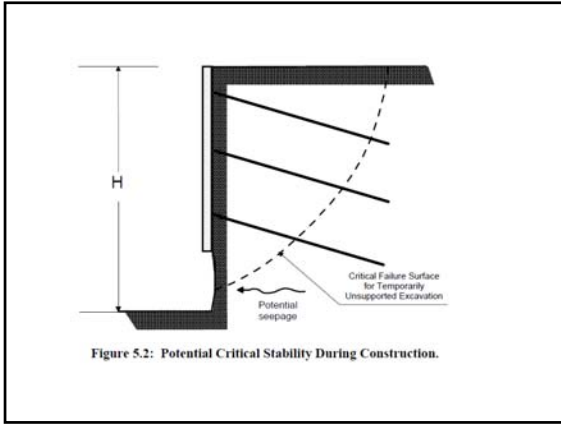


**Uygulama:**  
Önce delme işlemi yapılır, donatı yerleştirilir ve basınçsız bir şekilde çimento şerbeti ile doldurulur.

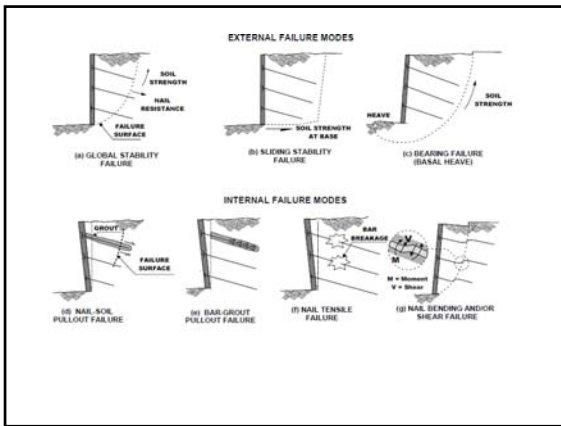


## Zemin çivisi





- 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.



**DİNLEDİĞİNİZ İÇİN TEŞEKKÜRLER**

## SONUÇLAR

- Elverişsiz zemin koşullarına sahip inşaat alanlarında güvenli ve ekonomik yapılaşma için **zemin iyileştirme tekniklerinden** yararlanma olasılığı araştırılmalıdır.
- Alternatifler değerlendirilmeli ve **maliyet analizi** yapılmalıdır.
- Zemin iyileştirme tasarımlarında zeminin hangi özelliklerinin **hangi oranda iyileştirilmesinin amaçlandığı** açık bir şekilde belirlenmelidir.