



ÇORUM BELEDİYESİ

Yapı Kontrol Müdürlüğü



EĞİTİM SEMİNERLERİ

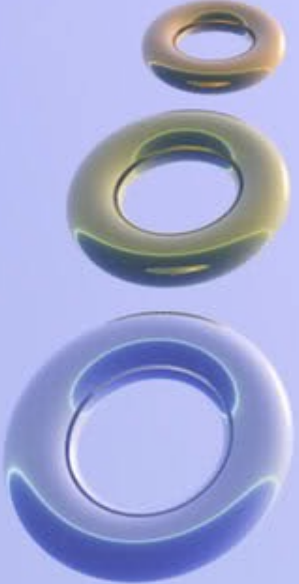
Zeminlerin İyileştirilmesi

Prof. Dr. Osman SİVRİKAYA

*KTÜ Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Geoteknik Anabilim Dalı*

osivrikaya@ktu.edu.tr

13 Temmuz 2023, Çorum



1. GİRİŞ

- Mevcut zemine göre yapı temellerini projelendirmek
- Zayıf zemini kaldırarak yerine taşıma gücü yüksek olan zeminler yerleştirmek
- Taşıma gücü zayıf olan zemini uygun bir yöntemle geçerek temelleri sağlam tabakada inşa etmek
- Zemin özelliklerini arazide yapılacak işlemlerle iyileştirmek

İyileştirme sonucu zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerinde değişimler

- Zeminin yoğunluğu artar ($\rho \uparrow$) ve boşluk oranı azalır ($e \downarrow$).
- Kohezyonlu zeminlerin kıvamı yumuşaktan katı hale ve kohezyonsuz zeminlerin sıklığı gevşekten sıkı hale gelir ($D_r \uparrow$).
- Zeminlerin permeabilite katsayısı azalır ($k \downarrow$).
- Mevsimsel değişimlerden dolayı hacimsel değişim yani şişme ve büzülme azalır ($C_s \downarrow$).
- Zeminlerin kayma mukavemeti parametreleri (c ve $\phi \uparrow$) artar.
- Zeminlerde elastik oturma parametreleri artar ($E \uparrow$) ve konsolidasyon parametreleri azalır (C_c , m_v ve $c_v \downarrow$).

Zemin iyileştirmesi ve stabilizasyonu yapılmasının başlıca amaçları

- Zayıf zeminin kayma mukavemetini arttırmak
- Toplam oturmayı azaltmak ve deformasyonu azaltmak
- Gerilmeler altında şekil değiştirmelerin azaltılması
- Konsolidasyonu hızlandırmak
- Geçirimsizliği azaltmak, su geçirgenliği ile su basınçları oluşumu ve sızıntı suyu kontrolünü sağlamak
- Dolgu ve yarma şevlerin stabilitesini arttırmak
- İstinat duvarlarını desteklemek ve zemini iksa duvarı gibi çalıştırmak
- İksa duvarlarını desteklemek ve yapıların yukarı kalkmasını önlemek
- Zeminin sıvılaşma potansiyelini azaltmak
- Erozyon direncinin artırılması
- Depremler ve tekrarlı yükler altında sıvılaşma, mukavemet ve rijitlik kaybı potansiyelinin azaltılması
- Yüzey bozulmalara karşı direncin artırılması
- Yeraltı suyunun drene edilmesini kolaylaştırmak ve boşluk suyu basıncını azaltmak
- Şişme ve büzülme potansiyelini azaltmak
- Çevresel etkiler (donma/çözülme, ıslanma/kuruma) sonucu olumsuz fiziksel ve kimyasal değişimlerin önlenmesi, durabilitenin artırılması.

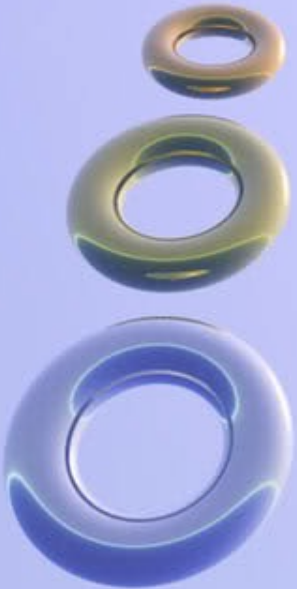


Yeni binaları veya köprüleri, tüneller ve yollar gibi diğer yapıları tasarlarken veya inşa ederken sıvılaşma tehlikelerinin azaltılması için göz önüne alınması gereken yaklaşımlar:

1) Sıvılaşmaya duyarlı zeminden kaçınmak: İlk tercih, sıvılaşmaya duyarlı zeminler üzerinde yapıdan kaçınmaktır. Sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı düşük kalın çökellerden oluşan sahalar; otopark veya yeşil alan olarak tasarlanmalıdır.

2) Zemini değiştirmek veya iyileştirmek: İkinci tercih, zemini sıyırarak veya iyileştirerek sıvılaşma tehlikelerinin azaltılmasıdır.

3) Sıvılaşmaya dirençli yapılar inşa etmek: Elverişli alan eksikliği gibi çok çeşitli nedenlerden dolayı bir yapının sıvılaşmaya eğilimli zeminler üzerine inşa edilmesi gerekebilir. Radye veya derin temel sistemleri kullanarak yapıyı sıvılaşmaya dirençli yapmak mümkün olabilir.

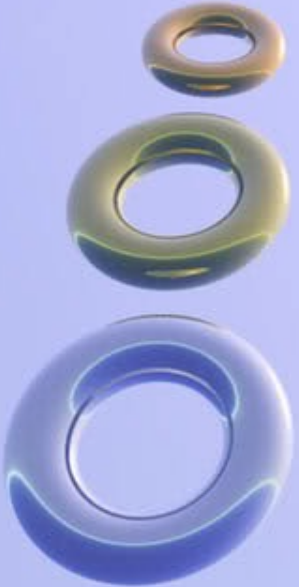


Tablo 12.1 Zemin iyileştirme yöntemleri.

Yöntem	Teknik	İlkeler	Uygun zeminler	Düşünceler
Zemin değiştirme yöntemleri	Kaldır ve değiştir	Arzu edilmeyen veya zayıf materyali kaz ve daha iyi zemin ile değiştir	Herhangi	Maliyetin belirleyici olduğu yerde sınırlı derinlik ve alan; genellikle < 10 m
	Yerdeğiştirme	Zayıf zeminleri, kaymaya zorlanacak ve daha kuvvetli dolgu ile yerdeğiştirecek şekilde aşırı yüklerle	Çok yumuşak	Çamur dalgalarından ve dolgu altında kapanlanmış sıkışabilir zeminden dolayı problem söz konusu
Sudan arındırma yöntemleri	Hendek kazma	Su drenajına izin verir	Yumuşak, ince taneli zeminler ve hidrolik dolgular	3 m derinliğe kadar etkili; hız zemine ve hendek aralığına bağlı; sonuçta oluşan çatlamış kabuk zemin mobilitesini geliştirebilir
	Önceden sıkıştırma	Zemin konsolidasyonuna imkan verecek şekilde inşaat öncesi yük uygulaması	Normal konsolide ince taneli zeminler, organik zeminler, dolgular	Genellikle ekonomik; konsolidasyonu sağlamak için uzun zaman gerekebilir; etkili derinlik sadece gerekli gerilmelere ulaşmayla sınırlı
	Düşey drenlerle birlikte önceden sıkıştırma	Konsolidasyonu hızlandırmak için drenaj yolunu kısaltır	Yukardaki ile aynı	Daha maliyetli; etkili derinlik genellikle ≤ 30 m ile sınırlı
Dayanımı arttırma yöntemleri	Elektro-osmoz	Elektrik akımı suyun katoda akmasına neden olur	Normal konsolide siltler ve siltli killer	Pahalı; nispeten hızlı; kısıtlı alanda kullanılabilir; iletken zeminlerde kullanılmaz; küçük alanlar için ideal
	Dinamik kompaksiyon	5 ile 35 ton arasındaki büyük ağırlıkların tekrarlı şekilde düşürülmesi; daha büyük ağırlıklar kullanılmaktadır	Kohezyonsuz zeminler en iyisi; ince tane içerenlerde de kullanılma imkanı, en kötü sonuçları su tablası altındaki kohezyonlu zeminler verir	Basit ve hızlı; su tablası altında ve üstünde kullanılabilir; 20 m'ye kadar etkin derinlikler; maliyet orta düzeyde; komşu yapılara potansiyel hasar
	Vibrokompaksiyon	Titreşimli ekipmanlar zemini sıkılaştırır	İnce tane oranı %20'den az kohezyonsuz zeminler	30 m derinliğe kadar etkili olabilir; iyi bir sıkılık ve üniformluk elde edilebilir; deliklerin grid aralığı kritiktir, nispeten pahalı

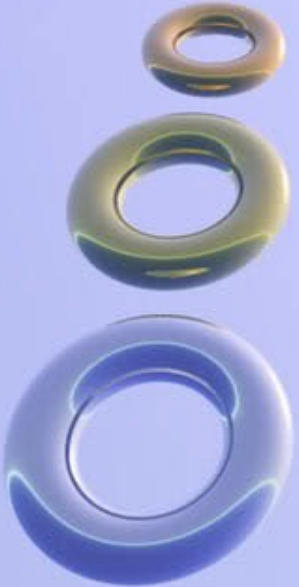
2. TESVİYE

- ❑ Konut inşaatı genellikle bakir arazide başladığından, inşaat işinde ilk adım, genellikle sahanın tesviyesinin yapılmasıdır. **Tesviye;** kazma, doldurma veya bunların birleşiminden oluşan herhangi bir işlem olarak tanımlanır. Projelerin çoğunda tesviye işlemi vardır.
- ❑ Saha tesviyesinin önemli bir bölümü çoğu zaman dolgunun kompaksiyonunu kapsar. *Kompaksiyon*, mekanik yöntemler ile bir dolgunun sıkıştırılması olarak tanımlanır. Zemini sıkı bir duruma getiren bu fiziksel işlem zeminin kayma direncini arttırırken, sıkışabilirliğini ve permeabilitesini azaltabilir.

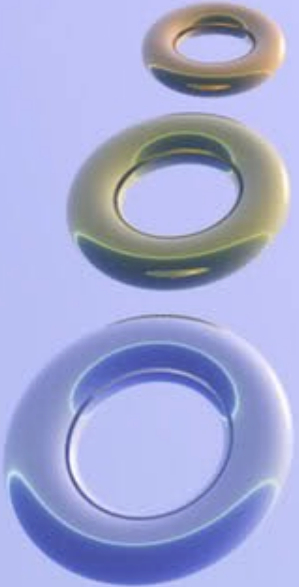


Deprem etkilerini azaltmada, tesviye esnasında yapılan aktivitelerin bazı örnekleri aşağıda verilmiştir:

- ❑ ***Şev stabilizasyonu:*** Buna örnekler; şev eğiminin azaltılması, şev yüksekliğinin azaltılması veya bir dolgu destek veya kesme kaması inşa ederek şevin emniyet faktörünü arttırmaktır.
- ❑ ***Şıvılaşmaya yatkın zeminler:*** Sıvılaşmaya yatkın zeminlerin siğ ve yeraltı su tablası da geçici olarak düşürülebilirse, tesviye işleri esnasında bu zeminler kaldırılarak yerine başka zemin konabilir. Diğer seçenek de, potansiyel olarak sıvılaşabilir zemini kaldırmak, yığmak ve kurummasını sağlamak (gerekli ise) ve sonra da yapısal dolgu olarak zemini yeniden sıkıştırmaktır.
- ❑ ***Deprem kökenli oturma:*** Yüzey yarığı ve kum kaynamaları gibi sıvılaşma kökenli yer hasarı için potansiyeli azaltmak amacıyla düz yüzeyli sahalarda kullanılan bir yaklaşım, sahaya bir dolgu tabakası ilave etmektir. Bu işlem, sahanın tesviyesi esnasında yapılabilir. Bu yöntemin, yanal yayılma nedeniyle yapısal hasarı ve yüzey çatlağını önlenemeyeceği için, eğimli yerlerde nispeten az fayda sağlayacağı unutulmamalıdır.



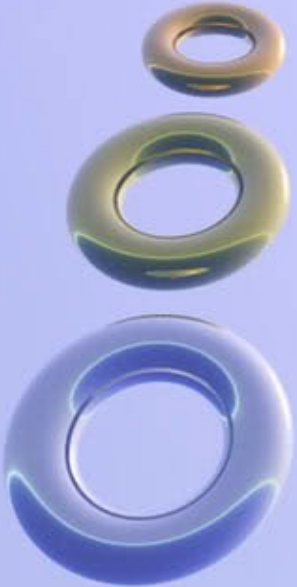
- ❑ **Hacimsel oturma ve sallanma oturması:** Gevşek zeminler ve plastik akmaya veya deformasyon yumuşamasına duyarlı zemin tipleri tesviye işleri esnasında kaldırılabilir ve yerine başka zemin kullanılabilir.
- ❑ Diğer tercih; zemini kaldırmak, yığmak ve kurummasını sağlamak ve sonra da yapısal dolgu olarak zemini yeniden sıkıştırmaktır.
- ❑ Tesviye esnasında zemini kaldırmak ve tekrar sıkıştırmak yerine diğer bir yaklaşım olarak, yumuşak killer ve organik zeminler için çoğunlukla etkin bir zemin iyileştirme yöntemi olan ön yüklemeyi kullanmaktır. Bu işlem, zeminlerin sıkışabilirliğini azaltan ve kayma direncini arttıran konsolidasyona yol açmak amacıyla, tesviye işleri esnasında zeminleri geçici olarak ilave yük ile yüklemekten ibarettir.
- ❑ **Deprem nedenli taşıma gücü:** Oturmadaki tercihlere benzer şekilde, tesviye işleri esnasında zayıf taşıyıcı zeminler sıyrılabilir ve değiştirilebilir veya ilave yük ile yüklenebilir.



3. DİĞER SAHA İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

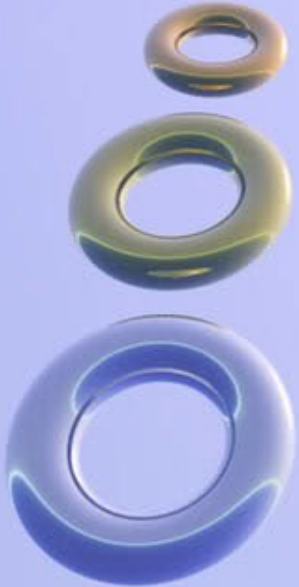
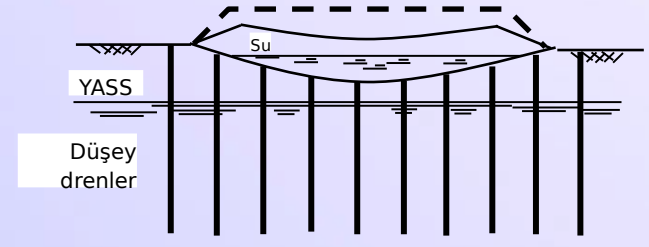
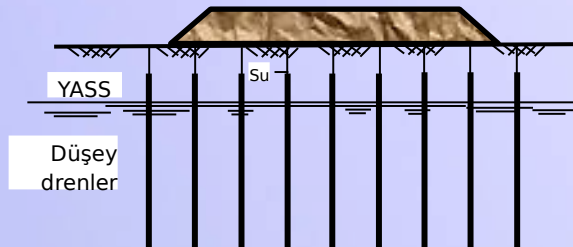
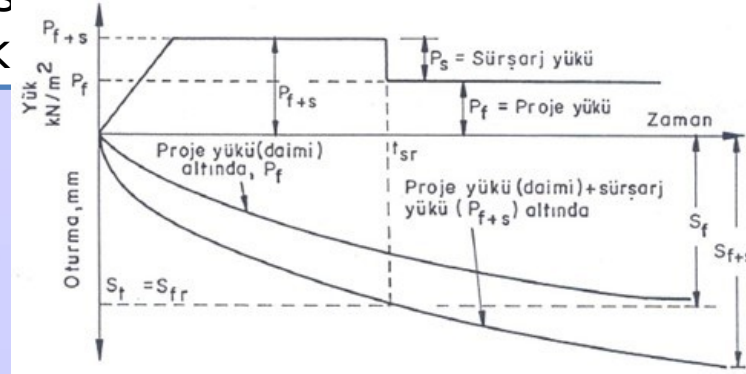
3.1 Zemin Değiştirme

- ❑ Zemin değiştirme işlemi tipik olarak tesviye esnasında yapılır. Temel olarak iki tip zemin değiştirme yöntemi vardır: Sıyırma ve değiştirme ve Yerdeğiştirme.
- ❑ Daha yaygın olan yaklaşım birinci yöntemin kullanılması olup, tesviye işleri esnasında sıkışabilir zemin tabakasının sıyırılmasından ve yapısal dolgu ile deęiŐtirilmesinden ibarettir.
- ❑ Genellikle, kaldır-değiştir tesviye seğeneği, sadece sıkışabilir zemin tabakasının zemin yüzeyine yakın ve yeraltı su seviyesi sıkışabilir zemin tabakasının altında olduğu durumda veya yeraltı su seviyesi ekonomik olarak düşürülebilir olduğu zaman kullanıŐlıdır.



3.2 Suyun Uzaklaştırılması

- Sanada, altta sıkışabilir kohezyonlu bir zemin tabakası bulunması durumunda bu saha zemin yüzeyine yerleştirilen bir dolgu tabakası ile yüklenebilir.
- Drenaj yolunu kısaltmak ve konsolidasyon işlemini hızlandırmak için, sıkışabilir zemin tabakası içine düsey drenler (fitil drenler veya kum drenler gibi) yerleştirilebilir.
- Sıkışabilir kohezyonlu zemin tabakası yeterli konsolidasyona sahip olduğu zaman dolgu ilave yük tabakası k



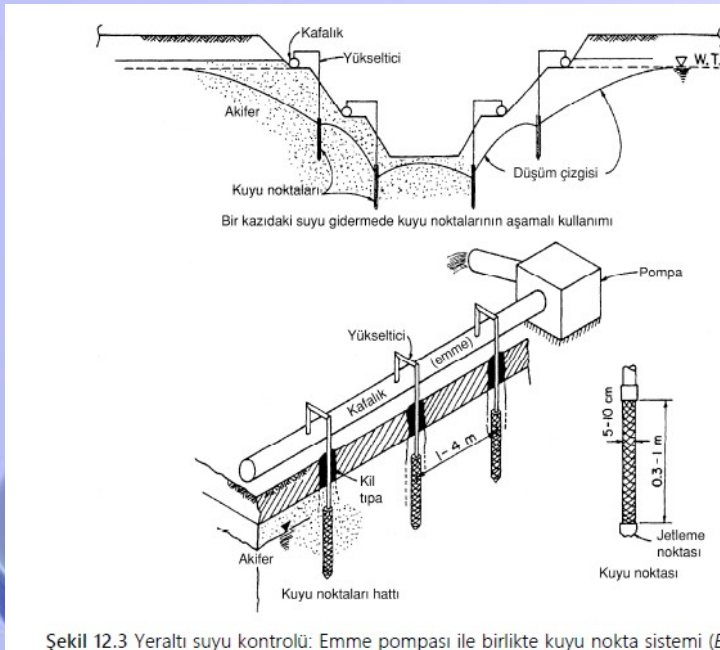
Yeraltı suyunu kontrol yöntemleri

Tablo 12.2 Yeraltı suyu kontrol yöntemleri.

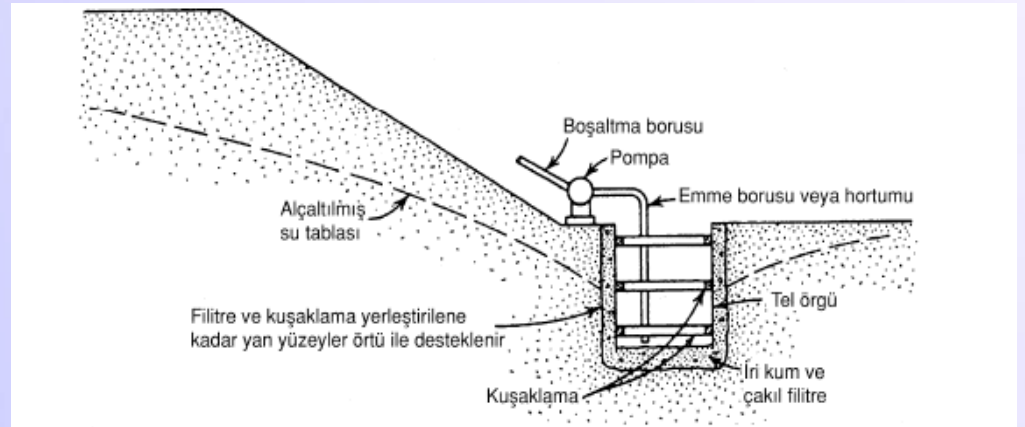
Yöntem	İyileştirme için uygun zeminler	Kullanımlar	Yorumlar
Çukur pompalaması	Temiz çakıllar ve iri kumlar	Açık, sığ kazılar	En pasit pompalama ekipmanı. İnce taneler zeminden kolaylıkla uzaklaştırılır. Formasyonlarda duraysızlığa neden olur. Bkz. Şekil 12.4
Çukur pompalı nokta kuyu sistemi	Kumlu çakıllardan ince kumlara kadar olan zeminler (belirli önlemlerle siltli kumlarda da uygulanabilir)	Yeraltı nakil hatları kazıları da dahil açık kazılar	Elverişli zeminlerde yerleştirilmesi çabuk ve kolay. Emme yaklaşık 5,5 m ile sınırlı. Daha büyük derinliklerde çokaşamalı sistem gerekir. Bkz. Şekil 12.3
Dalgıç pompalı derin kuyular	Çakıllardan siltli ince kumlara ve su bulunduran kayalar	Su taşıyan formasyonlarda veya su tablası üzerinde derin kazılar	Düşüm derinliğinde sınırlama yok. Kuyular tüm derinlikleri boyunca birkaç katmandan su alacak şekilde tasarlanabilir. Kuyular çalışma alanından uzağa yerleştirilebilir.
Jetleme sistemi	Kumlar, siltli kum ve kumlu siltler	Çok aşamalı nokta kuyuların kullanılmadığı kısıtlı alandaki derin kazılar	Jetleme sistemi vakum oluşturmada ve aynı zamanda suyu kaldırmada yüksek basınçlı su kullanır. Düşüm derinliğinde sınırlama yok.
Palplanşlı bariyer duvarı	Tüm zeminler (bloklu katmanlar hariç)	Pratikte sınırı olmayan kullanım	Yumuşak ve orta sıkı zeminlerdeki sığ kazılarda geçmeli ahşap perde kullanılır. Diğer durumlarda çelik palplanş. Çok iyi anlaşılmiş ve çabukça yerleştirilen bir yöntem. Çelik palplanşlar kalıcı olarak yerinde bırakılabilir veya çıkarılabilir. Bağlantı yerlerine bentonit, çimento, şerbet veya benzer malzeme doldurularak sızmalar önenebilir.
Bulamaç hendekli bariyer duvarı	Silt, kum, çakıl ve küçük bloklar	Pratikte sınırı olmayan kullanım; açık kazılar etrafında uzun perde duvarlar	Çabucak yerleştirilir. Kil veya şeyl gibi geçirimsiz katmanlara konabilir. Sert veya düzensiz anakaya yüzeylerinde veya açık çakıl ocaklarında pratik olmayabilir.

Yeraltı su seviyesini düşürmede yaygın kullanılan bir yöntem, emme pompalarla bir nokta kuyu sistemi düzenlemektir. Bu yöntemin amacı, bir çevre kuyu sistemi kurarak yeraltı su seviyesini düşürmektir. Şekil 12.3'de gösterildiği gibi, bu yöntemden çoğunlukla geçici kazılarda yararlanır. Ancak, sürekli bir yeraltı suyu kontrol sistemi olarak da kullanılabilir. Nokta kuyular, alt uç noktalarda deliklere sahip küçük çaplı borulardır. Borulardan suyu çıkartmada pompa kullanılmaktadır. Bu işlem, Şekil 12.3'de gösterildiği gibi, yeraltı su seviyesini düşürür. Sahada yeraltı suyu seviyesinin düşürülmesi ile çok yakın yapılarda oluşabilecek hasarı göz önünde bulundurmaktır önemlidir. Örneğin, yeraltı su seviyesinin düşürülmesi, yumuşak kil tabakalarının konsolidasyonuna veya ahşap kazığın çürümesine neden olabilir.

Yeraltı suyunun kontrolünde uygulanan diğer bir sistem de drenaj kuyularıdır. Şekil 12.4'de bu sistemin temel bileşenleri verilmiştir.



Şekil 12.3 Yeraltı suyu kontrolü: Emme pompası ile birlikte kuyu nokta sistemi (B)



Şekil 12.4 Yeraltı suyu kontrolü: Su tablasını düşürmede kullanılan toplama çukuru

Tablo 12.2 Yeraltı suyu kontrol yöntemleri (devam).

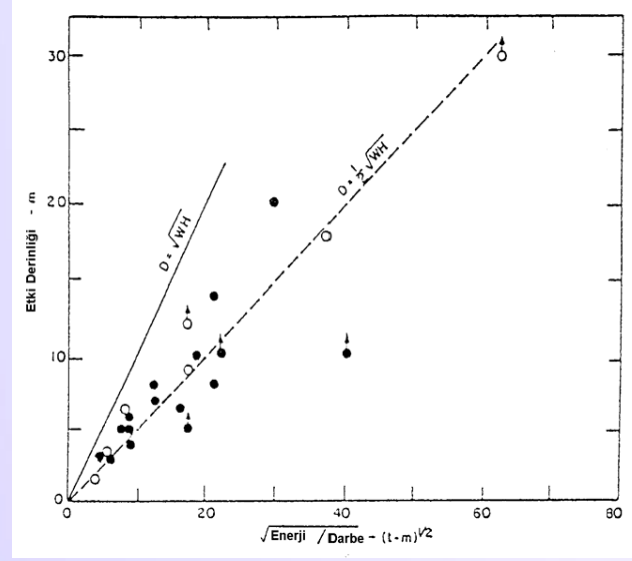
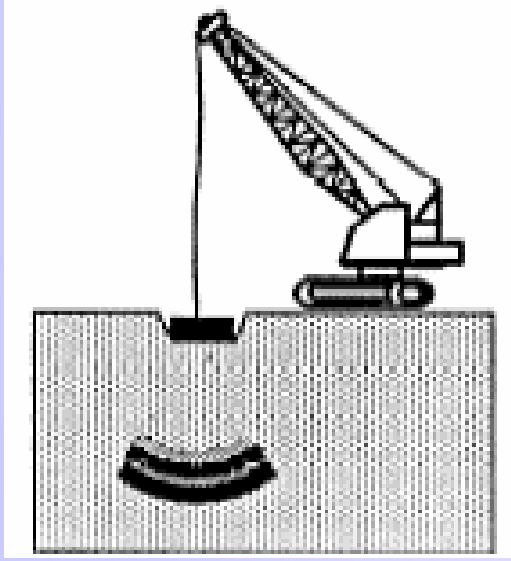
Yöntem	İyileştirme için uygun zeminler	Kullanımlar	Yorumlar
Dondurma: amonyum ve salamura tipi dondurucu	Doygun zemin ve kayaların her çeşidi	Boşluklarda buz oluşumu yeraltı suyu akışını durdurur	İyileştirme yöntemi çalışma yüzeyinden dışarı doğru etkin. Uzun süreli büyük uygulamalar için daha uygun. İyileştirmenin gelişmesi uzun zaman alır.
Dondurma: sıvı nitrojen dondurucu	Doygun zemin ve kayaların her çeşidi	Boşluklarda buz oluşumu yeraltı suyu akışını durdurur	Çabuk dondurmanın gerekli olduğu küçük alanlarda ve kısa süreli işlerde daha uygun. Sıvı nitrojen pahalı olup, sıkı bir saha kontrolü gerektirir. Bazan zemin kabarması olabilir.
Diyafram yapısal duvarları: yapı betonu	Blok da içeren her türlü zemin	Derin bodrumlar, yeraltı inşaatı ve shaftlar	Sürekli kalıcı temelin bir parçası olarak tasarlanabilir. Özellikle dairesel kazılarda etkin. Kayaya da yerleştirilebilir. Minimum titreşim ve gürültü. Kısıtlı alanda kullanılabilir. Mevcut temele de çok yakın olarak yerleştirilebilir.
Diyafram yapısal duvarları: forekazıklar veya yerinde karıştırılmış kazıklar	Tüm zemin çeşitleri, fakat bloklarda penetrasyon zor ve maliyetli olabilir	Derin bodrumlar, yeraltı inşaatı ve shaftlar	Çabucak yerleştirilebilen bir çeşit diyafram duvar. Kil veya yumuşak şeyl gibi geçirimsiz katmanlara da yerletirilebilir.

Kaynaklar: NAVFAC DM-7.2 (1982), Cashman ve Harris (1970)'in çalışmasına dayalı olarak.

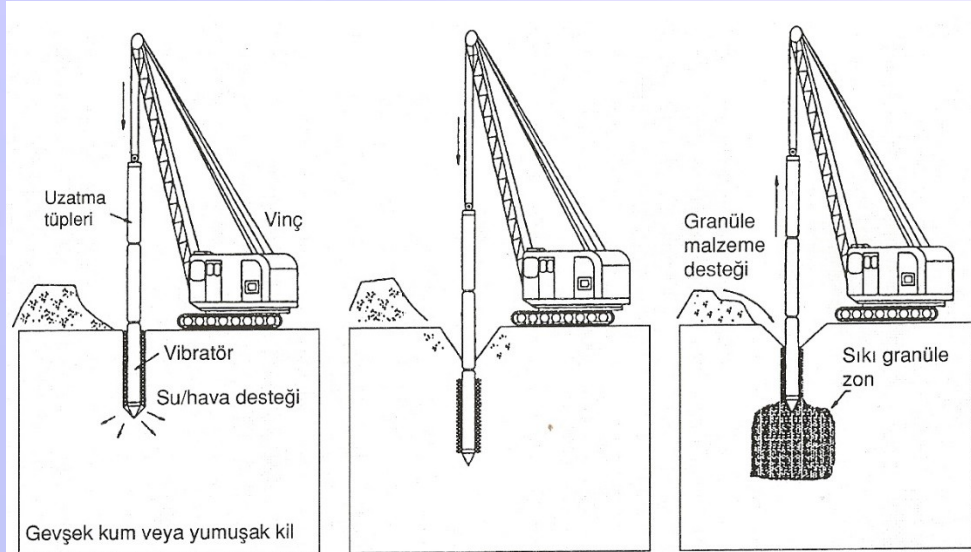
3.3 Saha güçlendirmesi

- ❑ **Dinamik kompaksiyon yöntemleri:** Ağır tokmaklama yöntemi, zemini titreştirmek ve yüzeye yakın granüle zeminlerin yoğunluğunu arttırmak amacıyla, büyük bir ağırlığı zemin yüzeyine defalarca kaldırıp ve düşüren bir vinçten oluşur. Bu yöntem ile zemin yoğunluğu 18 m derinliğe kadar arttırılabilse de, genellikle yaklaşık olarak 6 ile 9 m derinliklerde etkilidir. Bu yöntem ayrıca çarpma çukurlarının doldurulmasını ve zemin yüzeyinin tekrar düzleştirilmesini gerektirir.
- ❑ **Kompaksiyon kazıkları:** Önceden dökülmüş beton kazıklar veya bir ucu kapalı boş çelik kazıklar gibi büyük-yerdeğiştirme kazıklarını zemine çakmak suretiyle zeminin yoğunluğu arttırılabilir. Zemin, hem zeminin gerçek yerdeğiştirmesi hem de çakma işlemi esnasında oluşan yer titreşimi ile sıkıştırılır. Kazıklar tipik olarak yerinde bırakılır. Bu işlem, bu yöntemi diğerlerinden daha pahalı kılmaktadır. Ayrıca, kazıklar arasındaki zeminin makul düzeyde sıkışmasını sağlamak için, kazıklar nispeten yakın açıklıklı olmalıdır.
- ❑ **Patlatma:** Derinlerdeki zeminin sıkılaştırılması patlatma ile başarılabilir. Bu yöntemin birbirine bitişik yapılarda hasar riski yüksektir. Böyle bir yöntemin kullanımı hakkında yerel kısıtlamalar olabilir.
- ❑ **Titreşimli sondalar ile kompaksiyon:** Gevşek kum çökellerin yoğunluğunu arttırmada, genellikle derin titreştirme teknikleri kullanılır. Bu yöntemin, sıvılaştırılabilir zeminler derinde olduğu zaman, sıvılaşma tehlikesini azaltmada en güvenilir ve en kapsamlı yöntemlerden biri olduğu düşünülmektedir. Düşey çakıl drenler inşa etmek için bazı teknikler.
- ❑ **Düşey çakıl drenler:** Vibroflotasyon veya diğer yöntemler, sıkıştırılmış çakıl veya kırma taş ile doldurulan silindirik düşey bir delik yapmak için kullanılır. Bu çakıl ve kırma taş kolonların permeabilitesi çok yüksek olup, çevre zeminde deprem kökenli boşluk suyu basınçlarını hızlıca sönmüleyebilirler. Bu yöntem, kayma direnci kaybını

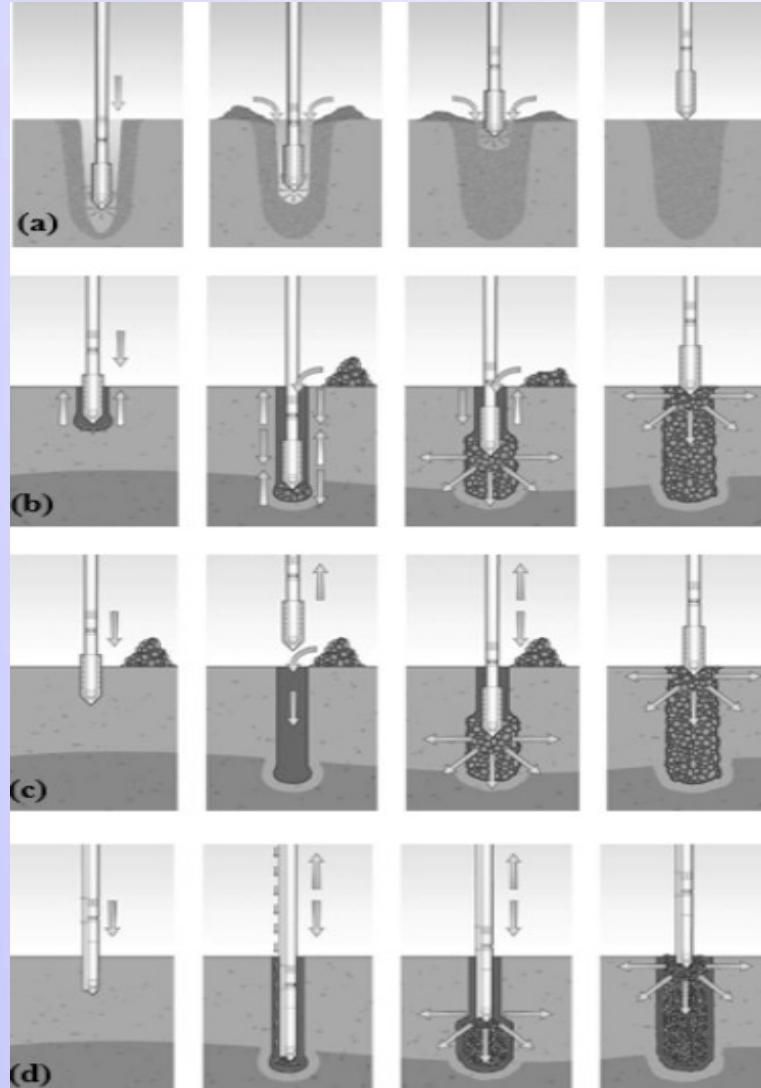
Dinamik kompaksiyon yöntemi



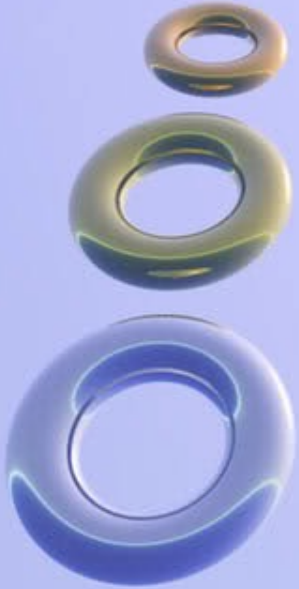
Vibro-kompaksiyon ve Vibro-yerdeğiştirme (Taş kolon) yöntemleri



Şekil 12.1 Derin titreşimli tekniklerde kullanılan cihazlar (Rollings ve Rollings, 1996'dan; McGraw-Hill, Inc.'den izin alarak basılmıştır).



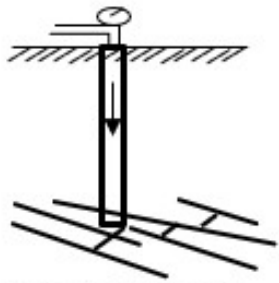
Şekil 11.16. Taş kolon imalat sistemleri a) vibro-kompaksiyon b) üstten beslemeli ıslak vibro- yer değiştirme c) üstten beslemeli kuru vibro- yer değiştirme d) alttan beslemeli kuru vibro- yer değiştirme (Burland ve diğ., 2012)



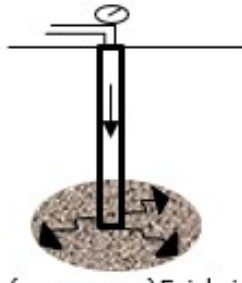
3.4 Enjeksiyon

Zemin iyileştirmede kullanılan **değişik enjeksiyon yöntemleri** vardır. Bunlardan bazıları:

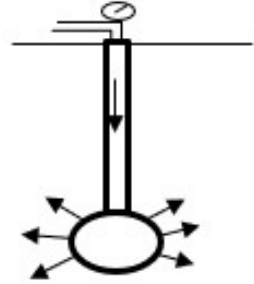
- 1) Kompaksiyon enjeksiyonu:** Yaygın olarak başvurulanan bir zemin iyileştirme tekniği; gevşek zemini hem yer değiştiren hem de sıkılaştıran, zemin içine çok katı kıvamlı bir enjeksiyon kütlesini basınçla yerleştirme ile yapılan kompaksiyon enjeksiyonudur. Kötü sıkıştırılmış dolgu, alüvyon ve sıkışabilir veya çökebilir zeminin sıkılığını arttırmada başarılı bir yöntemdir.
- 2) Jet enjeksiyonu:** Enjeksiyonla zemin kolonları oluşturmada kullanılır. Enjeksiyonla oluşturulan kolonlar genellikle kırılğan olup, yanal hareketlere direnci çok az veya sıfırdır; bu nedenle de yanal zemin hareketleri ile kırılabilirler.
- 3) Derin karıştırma:** Stabilize edici malzeme ile zemini fiziksel olarak karıştırmak için jet veya burgular kullanılır. İyileştirilmiş ve daha dirençli zon oluşturmak için, imal edilen kolonların üst üste binmesi sağlanabilir.



Çatlatma Enjeksiyonu



Emdirme (permeasyon) Enjeksiyonu

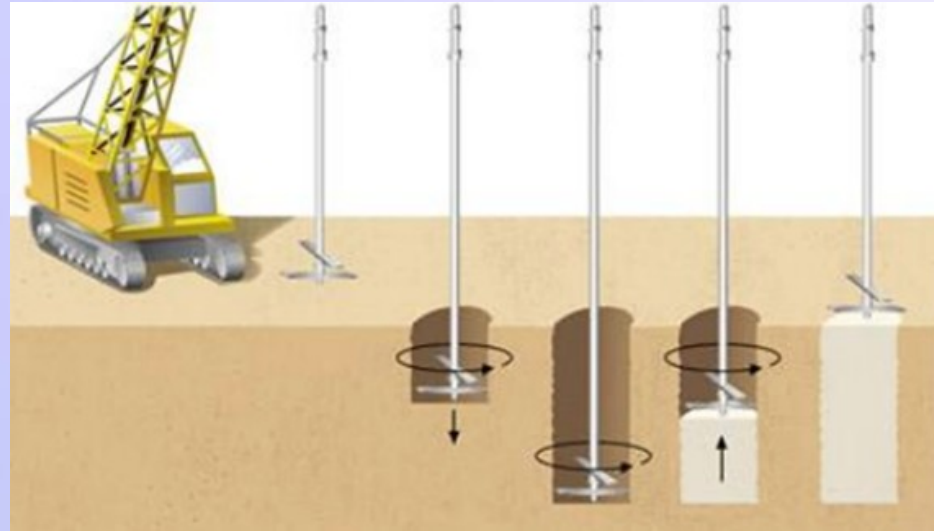
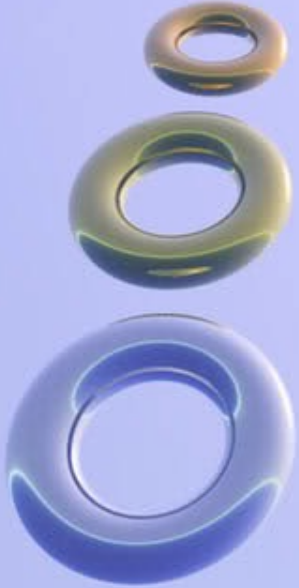
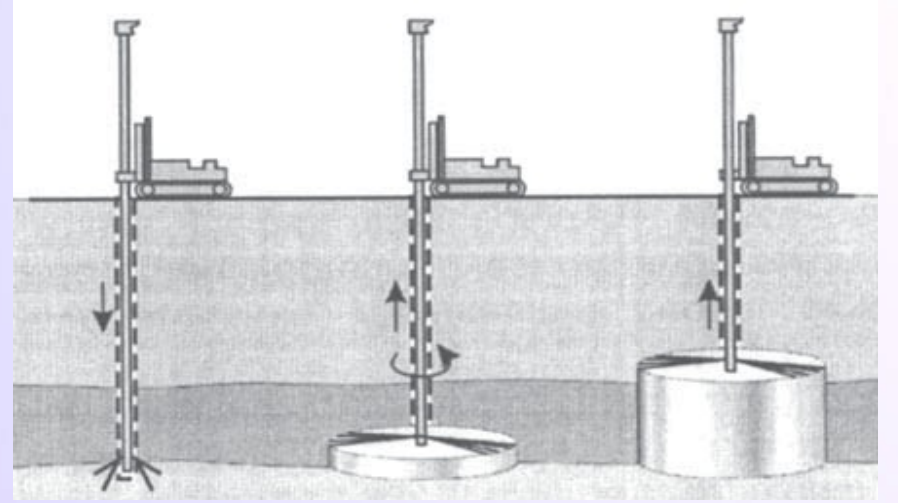


Kompaksiyon Enjeksiyonu



Jet Enjeksiyonu

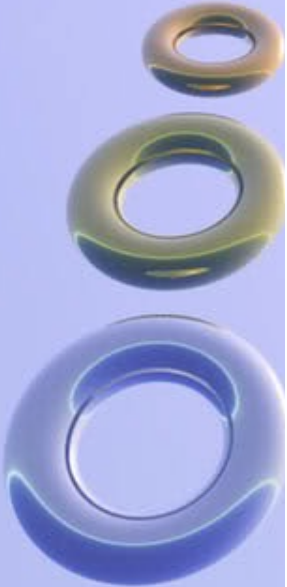
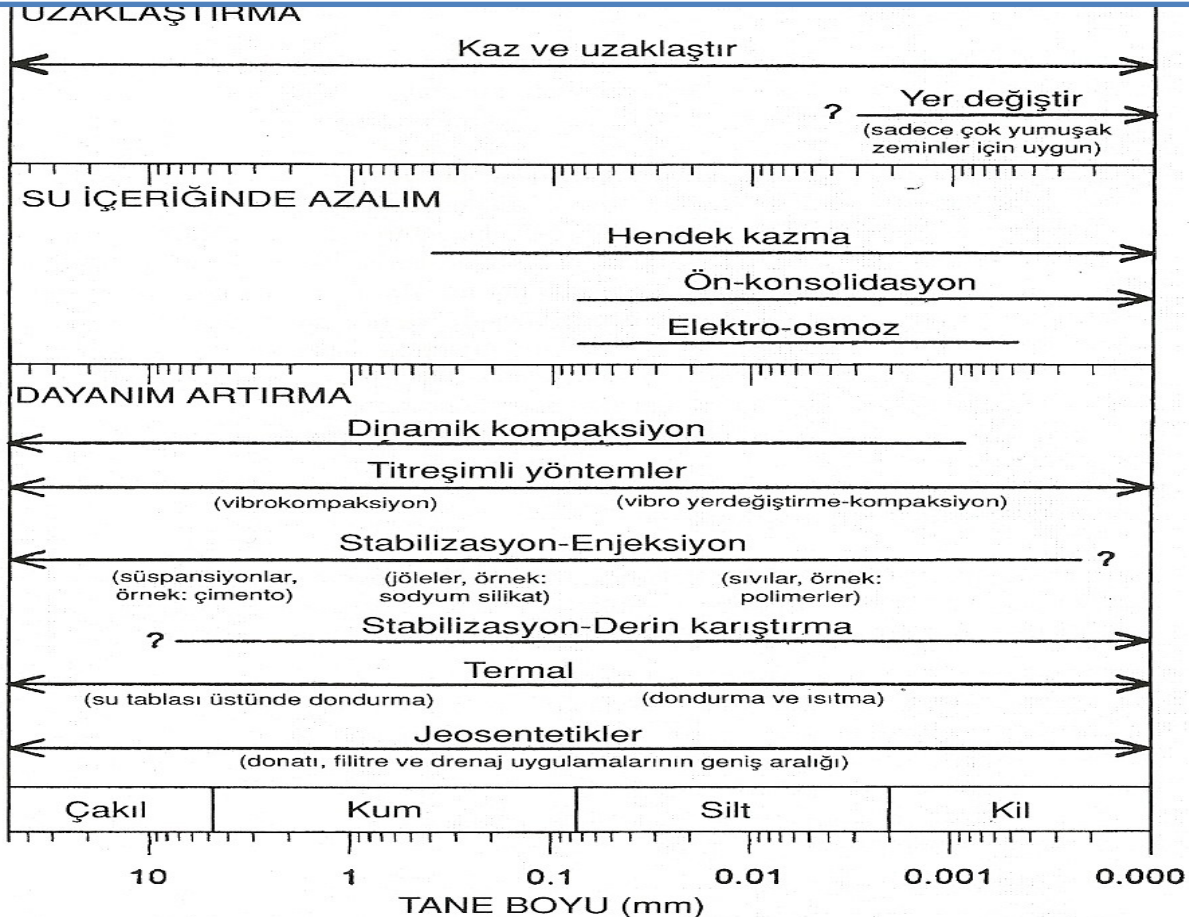
Şekil 11.27. Enjeksiyon tekniklerinin şematik gösterimi



3.5 Termal

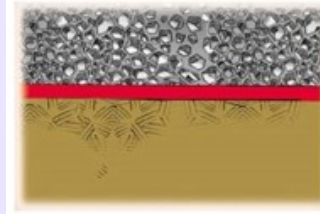
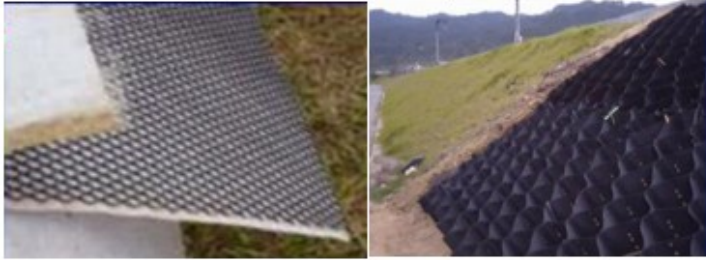
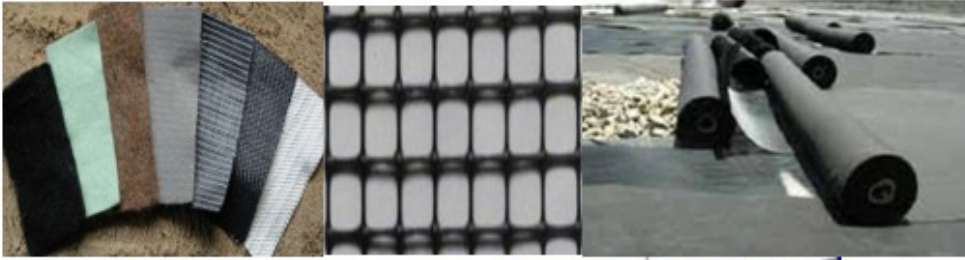
Kayma direncini iyileştirmek ve permeabiliteyi azaltmak amacıyla yapılan termal iyileştirme yöntemi, zemini ısıtarak veya dondurarak gerçekleştirilir. Bu tip zemin iyileştirme yöntemleri genellikle çok pahalı olduğundan, kullanımları da sınırlıdır.

Zemin boyutunun bir fonksiyonu olarak, arazi iyileştirme yöntemlerinin bir özeti verilmiştir.

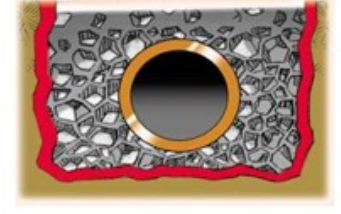


Tablo 12.2 Yeraltı suyu kontrol yöntemleri (devam).

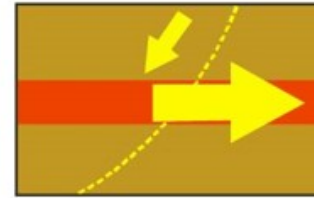
Yöntem	İyileştirme için uygun zeminler	Kullanımlar	Yorumlar	
Eneksiyon	Vibro-değiştirme	Zemine nüfuz etme ve uzaklaştırmada jetleme ve titreşim kullanılır; sonra, örselenmemiş zeminle kuşatılan destek kolonları oluşturmak üzere deliğe yerleştirilir	Yumuşak, kohezyonlu zeminler ($s_v = 15$ ile 50 kPa arası)	Nispeten pahalı
	Vibro-yerdeğiştirme	Zeminin kuyudan uzaklaştırılması yerine yanal olarak yerdeğiştirmesi durumu hariç vibro-değiştirmeye benzer	Daha katı kohezyonlu zeminler ($s_v = 30$ ile 60 kPa arası)	Nispeten pahalı
	Çimento enjeksiyonu	Dayanımı arttırma ve permeabiliteyi azaltma amacıyla zemin boşluklarının bağlayıcı madde ile doldurulması	İri ve ince taneli zeminlerin geniş bir yelpazesi	Pahalı; daha ince taneli zeminler için daha pahalı enjeksiyon maddesi gerekli; basınç enjeksiyonu, zemin çatlatma veya kompaksiyon teknikleri kullanılabilir
	Derin karıştırma	Stabilize edici ile zemini fiziksel olarak karıştırmada jetler veya burgular kullanılır	İri ve ince taneli zeminlerin geniş bir yelpazesi	İleri derecede kohezyonlu killerde ve bazı çakıllı zeminlerde jetleme zayıftır; derin karıştırma yumuşak zeminlerde 50 m derinliğe kadar iyi sonuçlar verir
Termal	Isı	Gerü dönüşü olmayan dayanım artışını sağlamada ve suya duyarlılığı azaltmada ısı kullanılır	Kohezyonlu zeminler	Yüksek enerji gerekliliği; maliyet pratikliği engeller
	Dondurma	Partikülleri bir arada tutmak ve kayma dayanımını arttırıp permeabiliteyi azaltmak amacıyla zemindeki nem dondurulur	Su tablası altındaki tüm zeminler; su tablası üstündeki kohezyonlu zeminler	Pahalı; kazılarda ve tünellerde oldukça etkin; fazla yeraltı suyu akışı sorun çıkarır; yavaş bir işlem
Geosentetikler	Geogridler, geotekstiller, geonetler ve geomembranlar	Filtreler, erozyon kontrolü, su bariyerleri, drenler veya zemin güçlendirmesi için geosentetik malzemelerin kullanımı	Tüm zeminler için etkin filtreler; yumuşak zeminler için çoğunlukla donatı kullanılır	Çok değişik amaçlı işlerde genişçe kullanılır; diğer yöntemlerle birlikte (örnek; sürşarjla birlikte şerit drenaj veya saha girişi için platform inşa etmede) yaygınca kullanılır



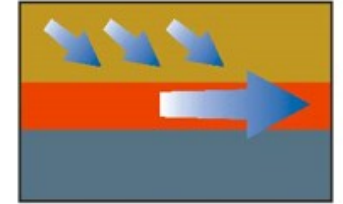
a) Ayırma



b) Filtrasyon



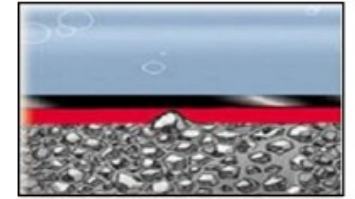
c) Güçlendirme



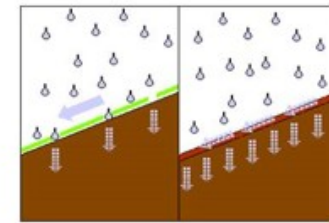
d) Drenaj



e) Yalıtım



f) Koruma



g) Erozyon kontrol



4. ZEMİN İYİLEŞTİRİLMESİNİN KONTROLÜ

- ❑ Zemin iyileştirme konusundaki tüm girişimler, istenen iyileştirmenin oluştuğundan emin olmak için kontrol edilmelidir.
- ❑ Belirli bir zemin iyileştirme tekniğinin etkinlik derecesini kontrol etmenin en kısa yolu, iyileştirmeden önce ve sonra olmak üzere, yetersiz sayılan zemin özelliklerinin ölçülmesidir.
- ❑ Ancak, yetersiz kabul edilen özelliği her zaman doğrudan ölçmek mümkün olmayabilir. Böyle durumlardaki kontrol işlemi, genellikle ölçümü yapılması planlanan parametre ile dolaylı ilişkisi olan ve daha kolay ölçülebilen bir özellik yardımıyla yapılmaktadır.
- ❑ Kontrol işleminde, laboratuvar veya arazi deney sonuçları kullanılabilir. Laboratuvar deneyleri uzun zamandır zemin iyileştirilmesinde kontrol için kullanılsa da, arazi deney tekniklerinde son zamanlardaki gelişmelerle kontrol mekanizmaları arttırılmıştır.
- ❑ Çok kullanılan kontrol teknikleri;
 - a) Laboratuvar Deney Teknikleri
 - b) Arazi Deney Teknikleri: SPT ve CPT deney sonuçlarından N_{60} , q_c , f_s
 - c) Jeofizik Deney Teknikleri: P ve S dalgalarından v_p ve v_s dalga hızları

5. ÖZET

- ❑ Elverişsiz zemin koşulları, zemin iyileştirme teknikleri kullanılarak çoğu zaman iyileştirilebilmektedir. Geliştirilen çok sayıda zemin iyileştirme teknikleri arasında bazıları uzun dönemli statik yükleme şartlarına, bazıları da sismik yükleme şartlarına uygulanmaktadır.
- ❑ Değişik zemin iyileştirme tekniklerinin maliyeti de büyük ölçüde değişim gösterir. Bu maliyetler; iyileştirilecek zeminin hacmi ve yayılımı, sahaya giriş kolaylığı, sahanın titreşime karşı hassasiyeti, kalıcı yer hareketi ve diğer faktörlerden etkilenir.
- ❑ Yapıların, boru hatlarının ve diğer tesislerin varlığı, çoğu zemin iyileştirme tekniklerinin belirli bir sahada kullanılmasını engellemektedir. Böyle sahalarda kullanılabilen tekniklerin maliyeti genellikle yüksektir.
- ❑ Zemin iyileştirme tekniklerinin çoğunda amaç, bir zemin çökelinin dayanımını ve rijitliğini arttırmaktır. Artan dayanım ve rijitlik, genellikle hem statik hem de sismik yükleme şartlarında arzu edilen bir durumdur.
- ❑ Mevcut zemin iyileştirme teknikleri; sıkılaştırma teknikleri, güçlendirme teknikleri, enjeksiyon-karıştırma teknikleri ve drenaj teknikleri olarak dört ana gruba ayrılır. Ancak, zemin iyileştirme tekniklerinin tamamı tek bir kategoriye düşecek nitelikte değildir. Örneğin tas kolonlar; bir zemini sıkılaştırma, güçlendirme ve drenaj

- ❑ Sismik tehlikeleri azaltmada yaygın olarak kullanılan zemin iyileştirme tekniklerinin birkaçında amaç, gevşek ve doygun daneli zeminlerin deprem sarsıntısı sırasında aşırı boşluk suyu basıncı geliştirme eğilimini azaltmaktır. Bu teknikler tipik olarak zeminin sıkılaştırılmasını içerir.
- ❑ **Sıkılaştırma** (Vibroflatasyon, dinamik kompaksiyon, patlatma, kompaksiyon enjeksiyon gibi), sismik tehlikeleri azaltmada belki de en çok olarak kullanılan zemin iyileştirme tekniğidir. Sıkılaştırma tekniklerinin çoğu, granüle zeminlerin titreşime maruz kaldığında sıkılaştırma eğilimine dayanır. Bazı prosedürler, sıkılaştırmadan kaynaklanan hacim değişimindeki dengeyi sağlamak için, zemine yeni malzeme verilmesine imkan verse de, sıkılaştırma işlemi önemli ölçüde oturmaya neden olabilmektedir.
- ❑ Sıkılaştırma tekniklerinin çoğu; yapılar, boru hatları ve diğer tesisler için potansiyel hasar oluşturabilen titreşimlere dayanmaktadır. Böyle titreşimler ayrıca, iyileştirilmesi istenen sahanın yakınında yaşayan ve çalışanların da tepkilerini çekebilir.
- ❑ Sıkılaştırma tekniklerinde, zeminin ince dane oranı yüksek zeminlerde titreşimli tekniklerin etkinlik derecesi azalmaktadır.
- ❑ **Güçlendirme teknikleri** (taş kolonlar, kompaksiyon kazıkları gibi) bir zemin çökeline belirli alanların rijitliğini ve dayanımını arttırmaktadır. Bu şekilde zemine yerleştirilen güçlendirme bileşenlerinin yüksek rijitliği ve dayanımı, bu bileşenler arasındaki

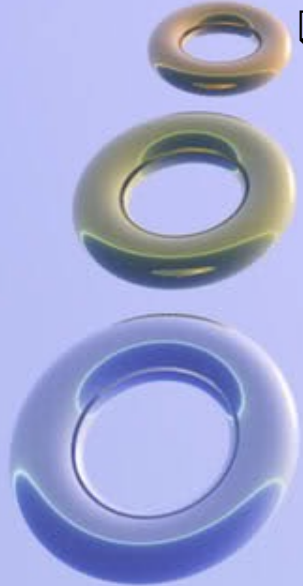
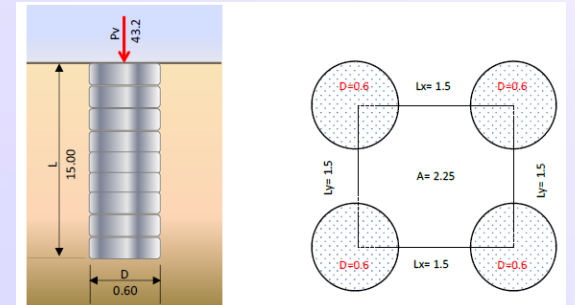
- ❑ Çimentolu malzemeler, zemine enjekte edilebilir veya zeminle karıştırılabilir. Bu malzemeler münferit daneler arasındaki bağı kuvvetlendirmek ve aralarındaki boşlukları doldurmak suretiyle zemini iyileştirmektedir.
- ❑ **Enjeksiyon teknikleri**, zeminin dane yapısının sağlam kalmasına yardımcı olmak amacıyla bu malzemelerin zeminin boşluklarına veya zemindeki çatlaklara enjekte edilmesini kapsar. Sızma (emdirme, permeasyon) enjeksiyonunda, çok düşük vizkoziteli şerbetler zemin yapısını örselemeden zemine enjekte edilir. Çatlatma enjeksiyonunda daha kalın ve daha viskoz şerbetler büyük basınçlarla zeminde kontrollü çatlaklar oluşturmak suretiyle zemine enjekte edilir.
- ❑ **Karıştırma tekniklerinde**, çimentolu malzeme zeminle karıştırılmak ve zeminin dane yapısını tamamen bozmak suretiyle zemine verilmektedir. Karıştırma işlemi ya mekanik olarak (zemin karıştırma şeklinde) veya hidrolik olarak (jet enjeksiyon şeklinde) yapılmaktadır. Zemin karıştırma ve jet enjeksiyon yöntemlerinin ikisi de geride nispeten üniform bir zemin-çimento karışımı bırakır. Kolonları örtüştürmek suretiyle yeraltında duvarlar veya diyaframlar inşa edilebilmektedir.
- ❑ **Drenaj teknikleri** bir zemin çökeliindeki drenaj yollarını kısaltmak suretiyle depremler sırasındaki boşluksuyu basıncı birikimini en aza indirmektedir. Drenlerin yerleştirilmesi sırasında genellikle bir miktar sıkışma meydana gelir ve drenlerin kendisi zeminde bir miktar güçlendirme sağlayabilir.
- ❑ **Zemin iyileştirmesinin etkinlik derecesinin kontrol edilmesi**, sismik tehlike azaltılması işleminin önemli bir bölümünü oluşturur. Rijitlik, dayanım ve yoğunluk özelliklerinin iyileştirilmeden önce ve sonra deşürden

Jet Kolonlarla İyileştirilen Yapıların Taşıma Gücü Kontrolü

- ❑ Belirlenen radye temel (B,L) için zeminin emniyetli taşıma gücü (tasarım dayanımı) ($q_{em,zemin}$) belirlenir.
- ❑ Üst yapıcı tarafından modellenen yapıdan, statik ve depremlili durumlar için maksimum temel tabancı ($q_{taban} = q_{maks}$) belirlenir.
- ❑ $q_{taban} > q_{em,radye}$ olması veya oturmaların izin verilen oturmaları aşması ($\delta_{maks} > \delta_{izin}$) halinde, jet grout kolon/kazık iyileştirme yöntemi olarak seçilebilir.
- ❑ Bu durumda belli bir karelajda kolon/kazıklar planlanır ve iyileştirme sonucu elde edilen emniyetli taşıma gücü (q_{islah}), taban basıncından büyük hale getirilir. ($Q_{malzeme, kazık}$) büyük olmamalıdır.

$$q_{taban} \leq q_{islah} = q_t$$

$$q_{islah} = \frac{q_{em,zemin} (A_{karelaj} - A_{kazık}) + Q_{kazık,em}}{A_{karelaj}}$$



- Tek bir kazığın emniyetli taşıma kapasitesi ($Q_{em,kazık} = Q_t$) bulunur.

$$Q_{em,kazık} = Q_t = \frac{Q_s}{1.5} + \frac{Q_p}{2}$$

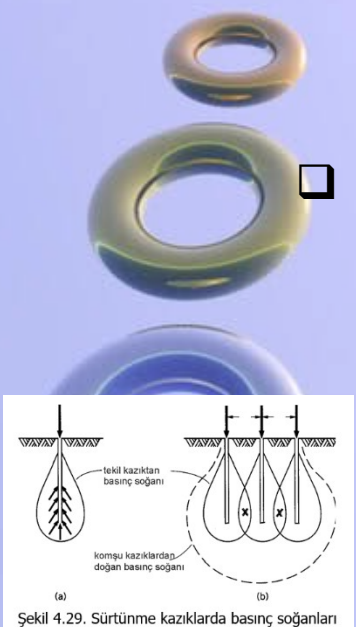
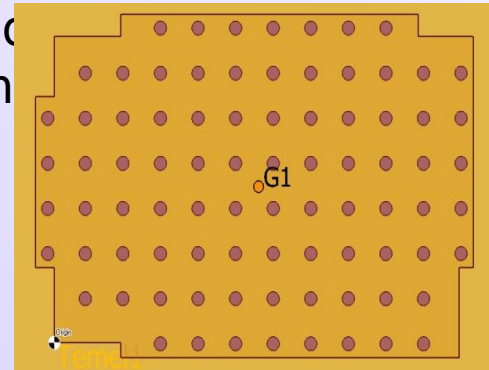
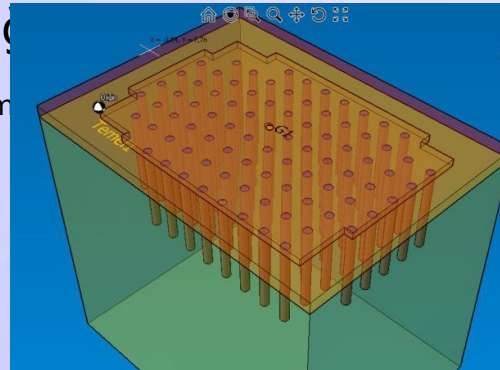
- Sonlu farklar/elemanlar yöntemi kullanan paket programı yardımıyla yada yaklaşık yöntemle tüm yapı yükü kazıklara eşit dağıtılarak her bir kazığa gelen yük ($Q_{yük,kazık}$) belirlenir.

- Kazığa gelen en büyük yük ($Q_{yük,kazık}$), kazığın malzeme dayanımından ($Q_{malzeme,kazık} = \frac{A_p \cdot \sigma_{ul}}{1.35}$) büyük olmamalıdır.

- Kazığa gelen en büyük yük ($Q_{yük,kazık}$), kazık grubu içerisinde bir kazığın dayanımından ($Q_{malzeme,kazık}$) büyük olmamalıdır.

$$Q_{yük,bina} \leq N \eta Q_{em,kazık}$$

- ✓ Bireysel göçme
- ✓ Blok göçme



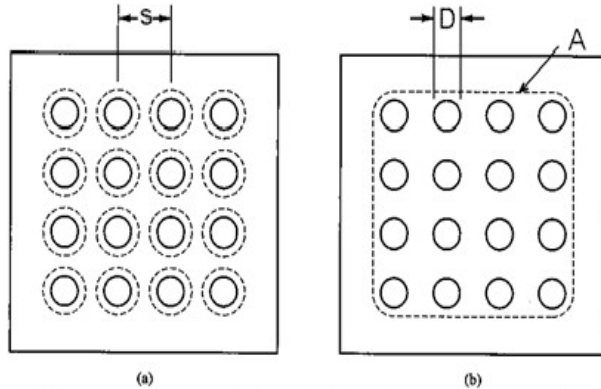
Şekil 4.29. Sürtünme kazıklarda basınç soğanları

Sürtünme Kazık Grubunun Taşıma Gücü

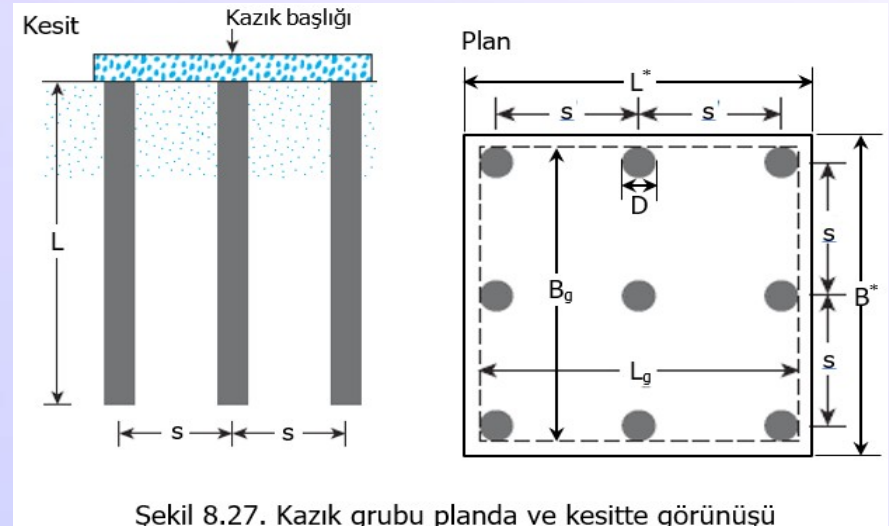
A- Killi Zeminlerde

Genel olarak kohezyonlu zeminlerde kazıkların grup taşıma gücü, toplam kazıkların kapasitelerinin toplamından daha azdır. Kazık grubunun taşıma gücüne karar verilirken, kazığın bireysel göçmesine (Şekil 8.30a) ve blok göçmesine (Şekil 8.30b) göre yapılan hesaplardan küçük olanı hangisi ise o kazık grubunun taşıma gücü olarak kabul edilir.

Bireysel göçme durumu: Kazıkların sık yerleştirilmesi (kazıklar arası mesafe $3D$ 'den küçük) durumunda grup taşıma gücü, bireysel etki ile toplam taşıma gücünden küçük olacaktır. Grup taşıma gücü, her bir kazığın taşıma güçlerinin toplamı ile kazık grup verimliliği olarak adlandırılan η katsayısının çarpılması sonucu bulunur. Kazık grubu taşıma kapasitesi ($Q_{u,grup}$)'nin, tek kazık taşıma gücü ($Q_{u,tekel}$) ile kazık sayısına (N) oranı, kazık grubu verimliliği (η) olarak tanımlanır.



Şekil 8.30. Kohezyonlu zeminlerde kazık grubunda göçme türleri



Şekil 8.27. Kazık grubu planda ve kesitte görünüşü

$$\eta = \frac{Q_{u,grup}}{NQ_{u,tekel}}$$

$$\eta = \frac{Q_{u,grup}}{NQ_{u,tekil}} \quad (8.95)$$

Kazık grubu verimliliği (η); aşağıda verilen etkenlere bağlı olarak değişkenlik gösterir:

- Grubu oluşturan kazıkların sayısı (n), uzunluğu (L), çapı (D), aralığı (s)
- Yapım (inşa) yöntemi,
- Zemin cinsi
- Kazık-başlık etkileşimi
- Uygulanan yükün yönü
- Kazık çakma/imalinden sonra geçen süresi

$$\eta = \frac{Q_{u,grup}}{NQ_{u,tekil}}$$

Pratik olarak kohezyonlu zeminlerde kazık grubu verimlilik katsayısı için Tablo (8.24)'teki değerler kullanılabilir. Literatürde birçok önerilen ampirik yöntemler mevcuttur. Burada yaygın kullanılan Converse – Labarre (8.96) bağıntısı sadece verilmiştir.

Tablo 8.24. Kazık yerleşimine göre verimlilik katsayıları (Prakash ve Sharma, 1990)

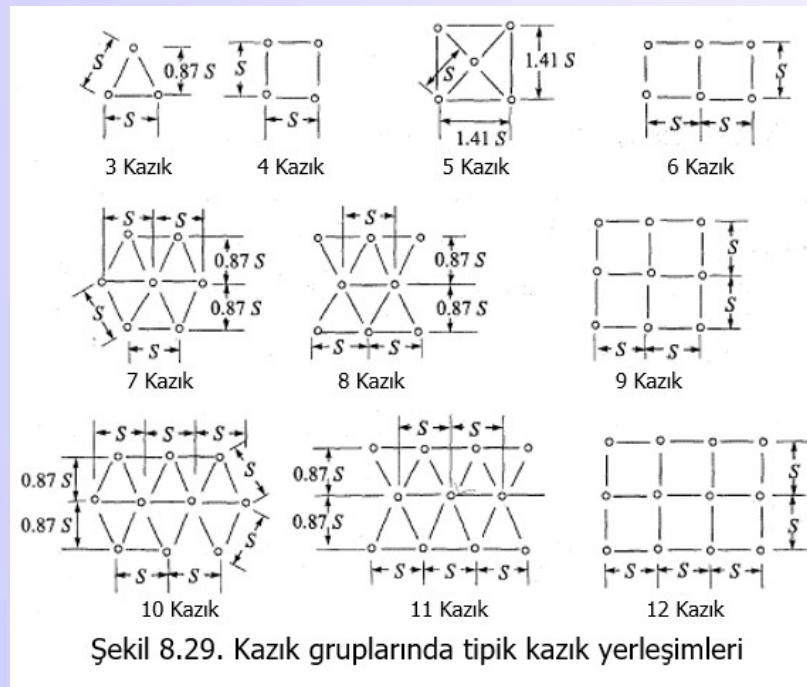
Kazık yerleşimi (s)	3D	4D	5D	6D	8D
η	0.7	0.75	0.85	0.9	1.0

$$\eta = 1 - \frac{\theta}{90} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn} \right] \quad (8.96)$$

Burada; n bir sıradaki kazık sayısı, m gruptaki kazık sıra sayısı, $\theta = \tan^{-1}(d/s)$, s aksan aksa kazıklar arası mesafe, D kazık çapıdır.

Bu tür yaklaşımda verimlilik, sadece kazıkların geometrik konumuna bağlı olarak hesaplanmakta, zemin ve yükleme özellikleri göz önüne alınmamaktadır. Artan kazık aralığının, verimliliği artırdığı ancak bunda her kazığın taşıma gücünün de katkısının olduğu görüşünü yansıtmaktadır.



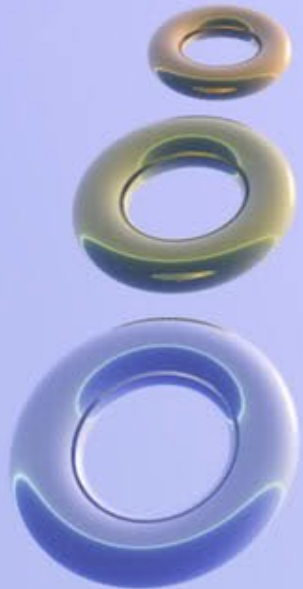


Çakma kazıklar için önerilen yaklaşımlarda (Hannigan ve diğ., 1998); kazık başlığı (plaka) zemine temas etmiyorsa, $s \geq 3D$ ve killi zeminin drenajsız kayma mukavemeti $c_u < 95$ kPa ise,

- $s/D = 3$ ise $\eta = 0.7$
- $s/D \geq 6$ ise $\eta = 1$

alınır. $s/D = 3 \sim 6$ ise interpolasyon yapılarak η belirlenir. Ancak kazık başlığı zemine sağlam şekilde temas ediyorsa, $s \geq 3D$ ve killi zeminin drenajsız kayma mukavemeti $c_u < 95$ kPa ise, kazık başlığı herhangi bir yük karşılamadığı kabulü yapılarak, üst yapıdan gelen yüklerin tamamen kazıklar tarafından karşılanarak ($\eta = 1$, $Q_{grup} = N \cdot Q_{tekil}$) tasarım yapılmaktadır. Eğer killi zeminin $c_u > 95$ kPa kazık başlığı zemine temas etsin ya da etmesin ise $\eta = 1$ alınabilir. Böylece bireysel göçme durumuna göre kazık grubun taşıyacağı nihai yük aşağıdaki bağıntı ile bulunur:

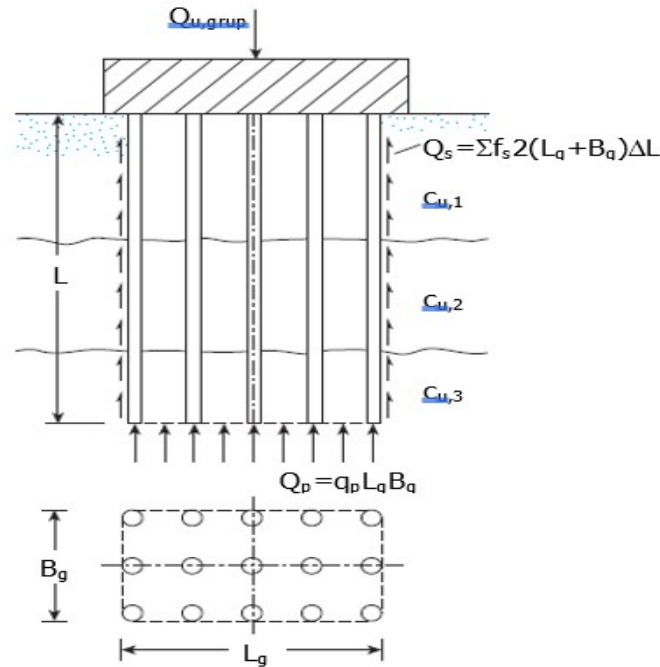
$$Q_{u,grup} = \eta N Q_{u,tekil} = \eta N (9c_u A_p + \alpha c_u A_s) \quad (8.97)$$



Blok göçme durumu: Bu yaklaşımda zayıf zemine yeterince yakın konumda oturan kazık grubunun, Şekil 8.28'deki gibi kazıkları kapsayan bölgenin bir yüzeysel temel olarak etkiği kabul edilir. Bu hesaplamada kazık başlığının tam rijit, kazıkların da rijit bir blok olarak davrandığı varsayılmaktadır. Blok etkisi ile taşıma gücü, bireysel etki ile taşıma kapasitesinden daha büyük çıkmaktadır. Şekil 8.31'de görünen kazık grubu taşıma kapasitesi; Terzaghi ve Peck (1967)'in önerdiği aşağıdaki bağıntılardan belirlenebilir:

$$Q_{u,grup} = q_p A_{taban} + f_s A_{çevre} - LA_{taban} \gamma \quad (8.98)$$

$$Q_{u,grup} = 5.14 c_u (B_g L_g) + \bar{c}_u [2 (B_g + L_g) L] + LB_g L_g \gamma \quad (8.99)$$



Şekil 8.31. Kohezyonlu zeminde kazık grubu kapasitesi

Burada $A_{çevre}$ bloğun çevresinin alanı, A_{taban} bloğun tabanının alanı, L kazık uzunluğu, B_g planda bloğun eni, L_g planda blokun boyu, c_u blok tabanındaki zeminin drenajsız kayma mukavemeti, \bar{c}_u blok çevresindeki zeminin ortalama drenajsız kayma mukavemeti ve γ blok çevresindeki zeminin birim hacim ağırlığıdır.

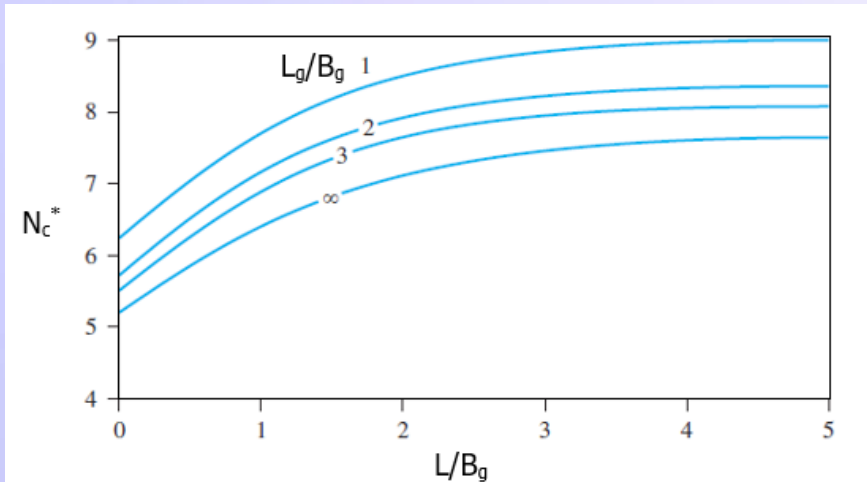
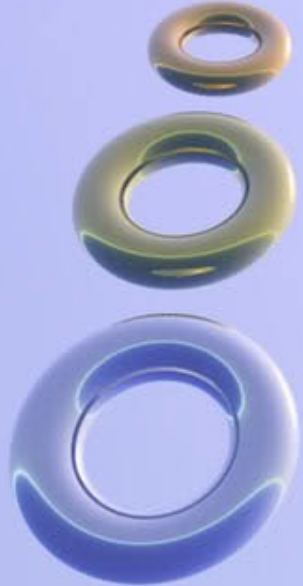
Ayrıca (8.99) bağıntısı, Tomlinson (1994) tarafından (8.100) bağıntısı ve Das (2011) tarafından (8.101) bağıntısı olarak önerilmiştir.

$$Q_{u,grup} = 1.3c_u N_c K (B_g L_g) + \bar{c}_u [2(B_g + L_g)L] \quad (8.100)$$

$$Q_{u,grup} = c_u N_c^* (B_g L_g) + \bar{c}_u [2(B_g + L_g)L] \quad (8.101)$$

Burada N_c 'nin değerleri kazık grubunun L/B_g bağılı olarak ve K şekil faktörünün değerleri kazık grubunun L_g/B_g oranına bağılı verilmektedir (Şekil 8.32). Daire veya kare yerleştirilmiş kazıklarda $L/B_g \geq 2$ olması durumunda $N_c=9$ alınabilir. $L_g/B_g=4$ olması durumunda $K=1.05$ olmakta, oranın daha büyük olması durumunda ise küçük değerler almaktadır. $L_g/B_g=2$ olması durumunda $K=1.10$ değerini almaktadır (Toğrol ve Tan, 2003).

Göçme, daha çok silt veya yumuşak kildeki sürtünme kazıklarında veya kalın bir silt veya yumuşak kil tabakası üstündeki sağlam tabakaya oturan uç kazıklarında meydana gelir. Terzaghi ve Peck (1967)'ye göre, kazıklara gelen toplam proje yükü (Q), $Q_{u,grup}/3$ değerinden küçük olduğu ($Q < Q_{u,grup}/3$) sürece blok halinde göçme tehlikesi bulunmamaktadır (Toğrol ve Tan, 2003)



Şekil 8.32. N_c^* 'in L/B_g ve L_g/B_g 'ye bağılı değişimi (Das, 2011)

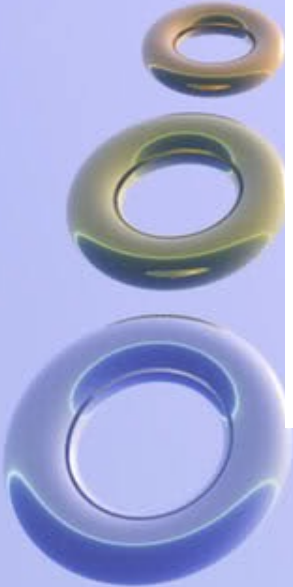
B- Kumlu Zeminlerde

Kohezyonsuz zeminlerde grupta yer alan kazıkların altında meydana gelen gerilme zarflarının diğer kazıklarla olan etkileşimi az olduğu için, $S \geq 3D$ olmak şartıyla verimlilik katsayısı (η)=1 alınır. Bu nedenle pratik olarak, tekil kazıkların taşıma güçlerinin toplamı kazık grubunun taşıma gücüne eşit kabul edilir. Kazık grubunun taşıma kapasitesi ile ilgili olarak Vesic (1977)'in önerdiği aşağıdaki bağıntı kullanılabilir:

$$Q_{u,grup} = NQ_{u,tekil} \quad (8.102)$$

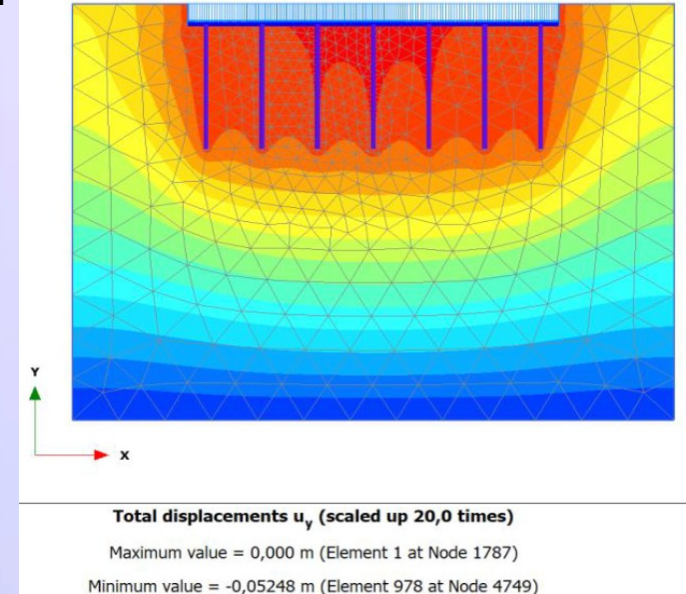
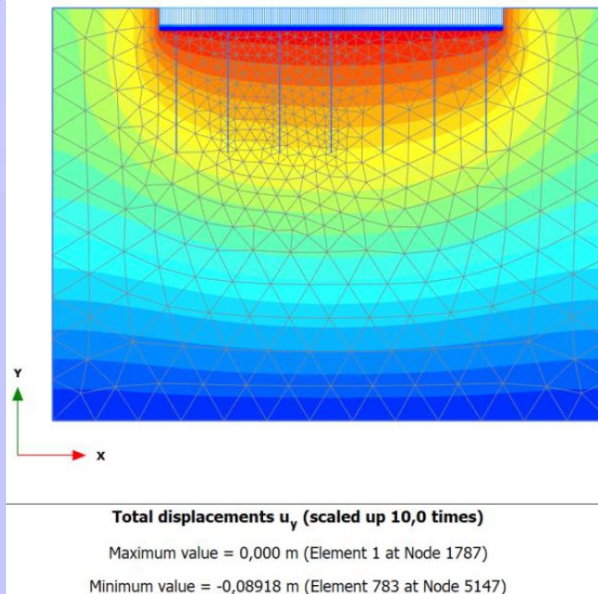
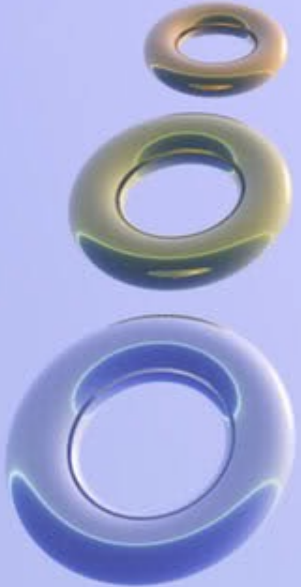
Burada $Q_{u,grup}$ kazık grubunun taşıma gücü, $Q_{u,tekil}$ tek kazığın taşıma gücü ve N kazık sayısıdır.

Sıkı kum içine kazık çakılması sırasında kolaylık sağlamak için kazık ucu önündeki zemin su jeti ile gevşetilir. Kazıklar arasında merkezden merkeze mesafe en az kazık çapının 3 katı olması istenir. Gevşek kumlarda oluşturulan kazık grupları zeminin sıkılığının artmasına sebep olur. Blok olarak daha derin tabakalar ve geniş bir alan etkilenir. Genel olarak derinlikle zeminin deformasyonu artar (Toğrol ve Tan, 2003).



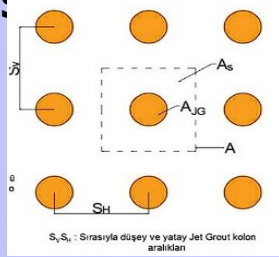
Jet Kolonlarla İyileştirilen Yapıların Oturma Kontrolü

- ❑ Radye temelde oluşacak oturmalar, izin verilebilir oturmayı aştığı ($\delta_{maks} > \delta_{izin}$) zaman zemin iyileştirilmesi amacıyla oluşturulan belli bir karelajda kazıklar oluşturulur.
- ❑ Sonlu farklar/elemanlar yöntemi kullanan paket programı yardımıyla, sistemde oluşacak maksimum toplam oturma ve farklı oturma belirlenir.
- ❑ Yapıda oluşacak oturmaların izin verilen oturmaları aşmaması ($\delta_{maks} \leq \delta_{izin}$) beklenir.



Jet Kolonlarla İyileştirilen Zeminin Sıvılaşma Kontrolü

Seed ve Idriss yöntemine göre sıvılaşma analizinde belirlenen tekrarlı gerilme oranı (CSR) değeri (3.41) bağıntısından belirlenmektedir. Baez (1995) **sıvılaşmaya karşı zeminde imal edilen kolonların** deprem kayma gerilmelerinin (CSR_i), orijinal zemindeki kayma gerilmelerine oranı (CSR) olarak azaltma faktörü olan S_R kavramını tanımlamıştır.



$$E_{JG} = 4730 \sqrt{f_{JG}} \text{ (MPa)}$$

$$G_{JG} = \frac{E_{JG}}{2 \times (1 + \nu)}$$

$$CSR = 0.65 r_d \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) (0.4 S_{DS})$$

$$CSR_i = S_R * CSR$$

$$G_s = CRR / CSR_i$$

$$\tau_{ort} = 0.65 r_d \sigma_{v0} (0.4 S_{DS})$$

$$V_{ort} = \tau_{ort} A (1 - S_R)$$

$$\gamma_s = \gamma_{cr} \quad \frac{\tau_s}{G_s} = \frac{\tau_c}{G_c}$$

$$\tau_d A_T \approx \tau_s A_s + \tau_c A_c$$

$$a_r = \frac{A_c}{A}$$

$$G_r = \frac{G_c}{G_s}$$

$$\tau_c = \frac{\tau}{\left[a_r + \frac{1}{G_r} (1 - a_r) \right]}$$

$$\tau_s = \frac{\tau_c}{G_r}$$

$$S_R = \frac{\tau_s}{\tau_d} = \frac{CSR_i}{CSR} = \frac{1}{G_r} \left[\frac{1}{a_r + \frac{1}{G_r} (1 - a_r)} \right]$$

γ_s : zemindeki kayma birim deformasyonu

γ_c : kolondaki kayma birim deformasyonu

τ_s : zemindeki kayma gerilmesi

τ_c : kolondaki kayma gerilmesi

G_s : zeminin kayma deformasyon modülü

G_c : kolonun kayma deformasyon modülü

G_r : kayma modülü oranı

τ_d : depremin oluşturduğu kayma gerilmesi

A_t : bir jet kolonun toplam etki alanı
($A = A_s + A_c$)

A_s : zemin alanı

A_c : jet kolon kesit alanı

a_r : alan değişim oranı

S_R : CSR gerilim azaltma faktörü

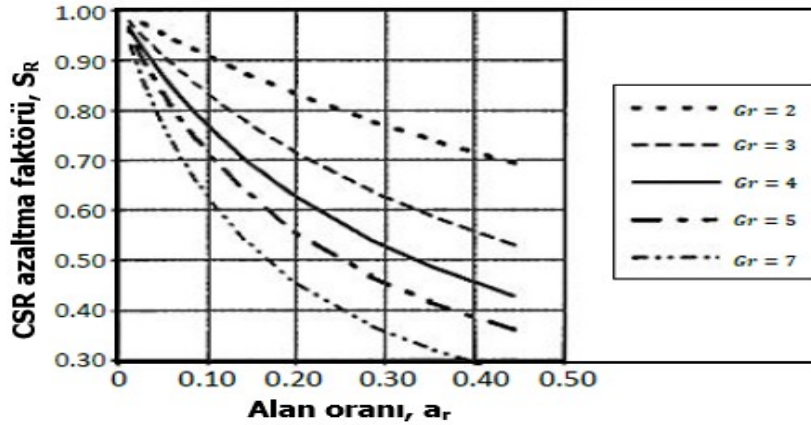
CSR_i : iyileşme sonrası tekrarlı gerilme

oranı
 $V_c = 0.3 \sqrt{q_{uc}} A$
 CSR : iyileşmeden önceki tekrarlı gerilme

oranı
 $V_c > V_{ort}$

Jet kolonun
kesmeye karşı
güvenlik
kontrolü

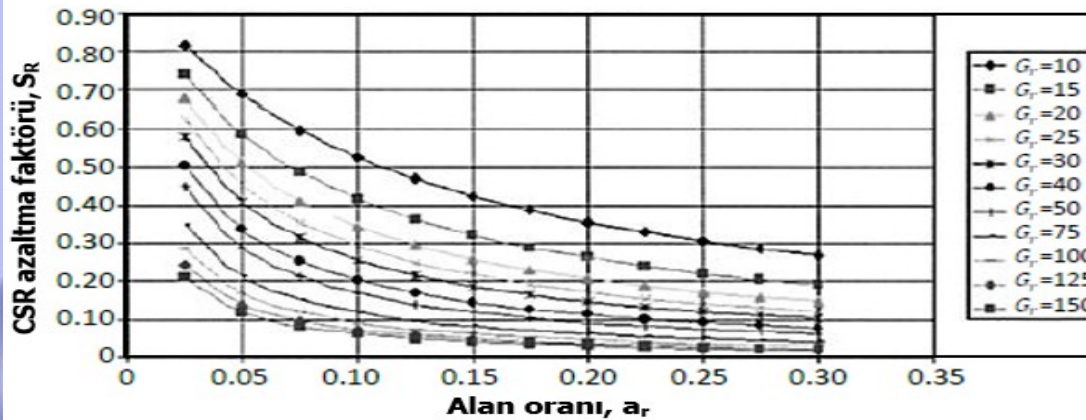
- İyileşme sonrası yapılacak analizlerde, Seed ve Idriss (1971) yöntemindeki sıvılaşma abaklarına, belirlenen $CSR_i (=S_{R^*}CSR)$ değeri girilerek sıvılaşma potansiyeli belirlenir.
- S_R değeri, Şekil 4.46a'da **taş kolonlar** uygulamaları için türetilen modül oranları $G_r=2\sim 7$ aralığında verilmişken, Şekil 4.46b'de ise **jet enjeksiyon kolonlarına** uyarlaması gösterilmektedir. Açıklanan bu yaklaşımlarda zeminde ve zemin içerisinde oluşturulan rijit kolonlarda sismik kayma birim deformasyonlarının uyumlu olması



a) Baez (1995)

$$CSR = \frac{\tau_{tek}}{\sigma'_{v0}} = 0.65r_d \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \left(\frac{a_{maks}}{g} \right)$$

$$CSR = 0.65r_d \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) (0.4S_{DS})$$



b) Özsoy ve Durgunoğlu (2003)

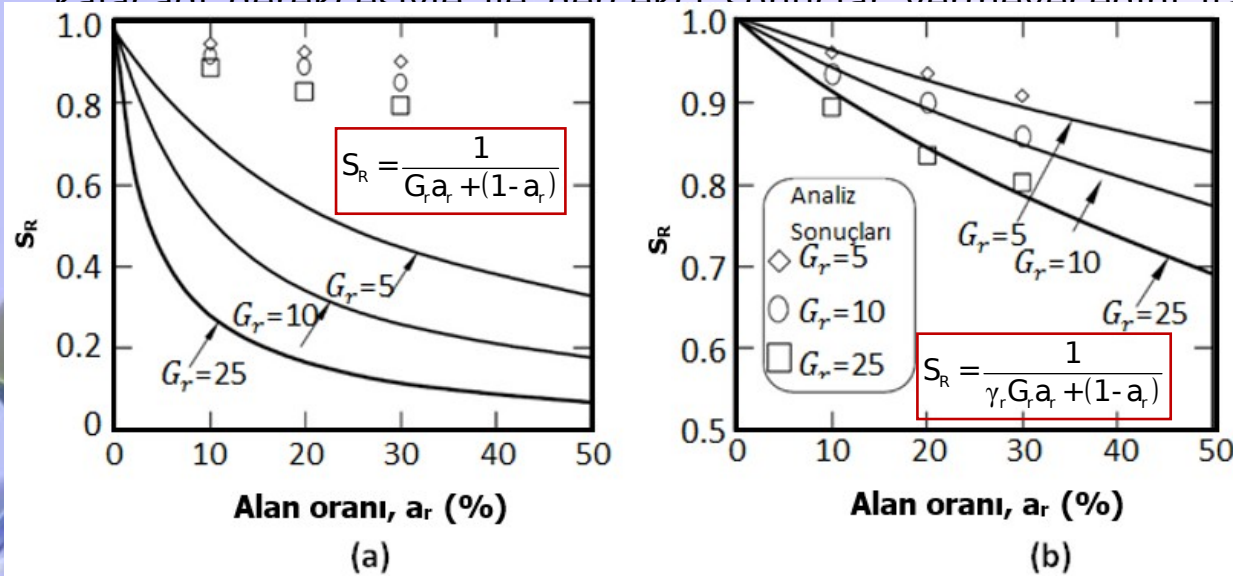
$$a_r = \frac{A_c}{A}$$

$$G_r = \frac{G_c}{G_s}$$

$$S_R = \frac{\tau_s}{\tau_d} = \frac{CSR_i}{CSR} = \frac{1}{G_r} \left[\frac{1}{a_r + \frac{1}{G_r}(1-a_r)} \right]$$

Şekil 4.46. Azaltma faktörü-alan oranı-rijitlik (modül) oranı ilişkileri

- Açıklanan bu yaklaşımlarda zeminde ve zemin içerisinde oluşturulan rijit kolonlarda sismik kayma birim deformasyonlarının uyumlu olması gerekmektedir. Araştırmacılar, jet kolon uygulamalarında modül oranının yüksek olması nedeniyle, rijit jet kolonlarda zemine oranla daha küçük birim kayma deformasyonları oluşacağını ifade etmektedirler.
- Dolayısıyla yüksek modül oranlı (G_r) sistemlerde kayma birim deformasyonlarında bir uyumsuzluk olacağını belirtmişlerdir. Araştırmacılar, uyumlu birim deformasyon kabulüne ($\gamma_s \cong \gamma_c$) dayalı yaklaşımların taş kolonlar gibi göreceli olarak küçük modül oranları için geçerli olabileceğini, jet kolonlarda olduğu gibi uyumlu olmayan birim deformasyon koşullarında ($\gamma_s > \gamma_c$) (kafes tipi hariç) bu yaklaşımın güvensiz tarafta kalacağı gerekçesiyle ile gerçekçi sonuçlar veremeyeceğini ifade etmektedirler (Şekil



γ_r : rijit kolondaki kayma birim deformasyonun zemindeki kayma birim deformasyonuna

$$\gamma_r = 1.04 \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_c} \right)^{0.5} - 0.04 \leq 1.0$$

Şekil 4.47. Zemin ve jet kolon kayma deformasyonlarının a) uyumlu ($\gamma_s \cong \gamma_c$) olması (küçük modül oranı) ve b) uyumsuz ($\gamma_s > \gamma_c$) olması (yüksek modül oranı) durumlarında S_R değeri (Boulangier, 2012)

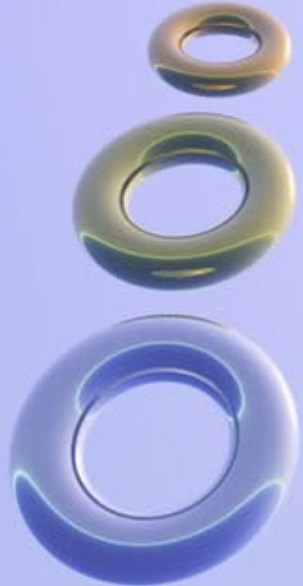
Örnek Uygulama: İnşaat alanına, yaklaşık 5400 m² oturma ve net 2696 m²'lik temel taban alanına sahip tek katlı depo bina, TBDY (2007)'ye göre tasarlanması planlanmaktadır. Zemin incelemesi çalışması kapsamında inşaat arsasında 10 adet 15 metre derinliğe kadar inen ve SPT deneyleri içeren temel sondajı yapılmıştır. Sondaj çalışmaları sırasında yapılmış SPT-N değerleri, laboratuvar deney sonuçlarına göre zemin sınıfları (Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi-USCS) ile tabakalara ait ince dane oranları (İDO) ve birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiştir. Yer Altı Su Seviyesinin (YASS) yüzeyden yaklaşık 2.5-3.5 m derinliklerde olduğu belirlenmiştir. Sondajlar ve laboratuvar deney sonuçları ile tipik genel zemin profili aşağıda verilmiştir. TBDY (2007) dikkate alınarak, temel tasarımını detaylı şekilde değerlendiriniz.

0-1 m	Bitkisel toprak
1-2 m	Kum içeren killi silt (ML)
2-4 m	Az çakıl ve kum-silt içeren kil (CH)
4-15 m	Çakıl içeren siltli killi kum (SM)

Çözüm: Mevcut zemin şartlarına göre temel tasarımı için taşıma gücünün ve sıvılaşmanın problem olacağı söylenebilir. Bu amaçla jet grout kolon ile iyileştirilmiş zemin üzerine mütemadi temel tasarlanmıştır. Yapılan değerlendirmeler aşağıda özetlenmiştir:

Temel Zeminin Geoteknik Değerlendirmesi

- Sahanın temel zemini, alüvyon tabakasından oluşmaktadır. Yapılan sondaj çalışmalarında, sondaj kayıtlarında 1 m kalınlığında doğal zemin, devamında ortalama 3~4 m'ye kadar ince daneli zeminler olan siltli/killi zeminlerden oluşurken, bu tabakayı takiben killi siltli kum tabakası izlenmektedir. Yer yer az çakıl daneleri, tabakalar içerisinde mevcuttur. YASS yüzeyden yaklaşık 2.5~3.5 m derinliklerde olup mevsimsel yağış rejimlerine bağlı olarak temelleri etkileyecek düzeyde artış gösterebileceği dikkate alınması gereken bir husustur.
- Temel zemini, taşıma gücü açısından güvenilir bir yapılanma göstermemektedir. Ayrıca yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın oluşu ve bölgede yükselebilecek olması zemin özelliklerini olumsuz yönde etkileyecektir. Ayrıca bölgenin sismisitesi ve zemin türü düşünüldüğünde, sıvılaşma potansiyeli yüksek gözükmektedir. Temel zeminine yüzeysel suların çeşitli nedenlerle girmesi halinde, zemin taşıma gücünün azalacak ve oturmalar ise artacaktır. Yapılacak yapıda yeraltı ve yer üstü sularına karşı önlem alınmalıdır.
- Ayrıca sahanın don seviyesi yaklaşık 0.5 m olduğundan inşa edilecek olan yapının temeli, zeminin don seviyesi altında inşa edilmesi için temel derinliği değişiklikler arz etmekle birlikte parselde yakın kısımlarda $D_f=1.20$ m ve yapı içinde ise $D_f=1.70$ m olarak ele alınmıştır. Yapı, depo ve ticari dükkan amaçlı kullanılacağından tasarımda statik verilere göre yaklaşık $G+Q=50165$ ton yük göz önüne alınmıştır.



Bölgenin Depremelliği

- İnşaat sahası, 18.04.1996 tarih ve 96/8109 sayı ile yürürlüğe giren T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına göre **Birinci Derece** deprem bölgesinde bulunmaktadır. Yapı inşa alanı, tektonik bakımından etkin bir bölgede bulunmaktadır.
- **Deprem Riski:** Kuzey Anadolu Fay (KAF) zonu sahanın doğusunda üç paralel kola ayrılmakta, sismisite açısından en aktif durumda olan kuzey kol körfezi takip ederek Marmara denizi tabanının oluşturmaktadır. KAF hattı üzerinde, 17 Ağustos 1999 tarihinde merkez üssü Gölcük ve **büyüklüğü $M=7.4$** ile 12 Kasım 1999 tarihinde merkez üssü Bolu ve **büyüklüğü $M=7.2$** olarak bildirilen en büyük depremler meydana gelmiş ve bunlara bağlı $M=5.0$ 'ı aşan pek çok artçı deprem yaşanmıştır.
- **Sıvılaşma Riski:** Yapılması planlanan saha alanında 10 adet 15 metre temel sondajı yapılmıştır. Temel derinliği 1.2 m kabul edilmiş olup bu derinlikten sonra yer alan 1 m kum içeren killi silt (ML) ve 2 m az çakıl ve kum-silt içeren kil (CH) ile 12 m Çakıl içeren killi siltli kum (SM) tabakalarının sıvılaşma riski aşağıda değerlendirilmiştir. Söz konusu alanda yer altı su seviyesi sondajlarda değişkenlik (2.5~3.5 m) göstermekte olup en yüksek YASS zemin yüzeyinden itibaren 2.5 m derinlikte yer almaktadır.

Jet kolonla zemin iyileştirme yapılmadan önce SPT-N değerleri, YASS, kıvam limitleri deney sonuçları ve zemin sınıfı incelenerek sıvılaşma potansiyelleri irdelenmiştir. 2 m ile 5 m arasındaki zeminler, ince daneli zeminler (ML, CL, MH, CH) olup sıvılaşma riski söz konusu olup olmadığı, **Bray ve diğ. (2004) tarafından silt ve killer için önerilen yöntem**e göre irdelenmiştir. Bu yöntemle göre $I_p \leq 20$ ve $w_n/w_L > 0.80$ şartlarının sağlanması durumunda zeminde sıvılaşma riskinden söz edilebilir. Yapılan değerlendirmeler sonucu, arazideki bu tabakaların bazı derinliklerinde sıvılaşma olabileceği belirlenmiştir.

5 m altındaki zeminler (SM, SC, ML, CH), yoğun olarak kaba daneli zeminler olması nedeniyle siltli kum (SM) kabul edilerek, kaba daneli zeminlerin sıvılaşma potansiyelleri "Tekrarlı Kayma Gerilmesi Oranı Kriteri"ne göre (10.54) ve (10.59) bağıntıları ile Şekil 10.74 kullanılarak değerlendirilmiştir. Söz konusu $M=7.5$ büyüklüğündeki bir deprem için zemin profili boyunca sıvılaşma potansiyeline sahip zemin tabakalarının yer aldığı derinliklerde **zemin iyileştirme öncesi ve sonrasında sıvılaşmaya karşı elde edilen Güvenlik Sayıları (G_s)** Tablo 1'de verilmiştir. Sahanın **1. Derece deprem bölgesinde bulunduğu**ndan etkin yer ivme katsayısı **en büyük yer ivmesi olarak kabul edilip $a_{maks}=0.40g$** olarak alınmıştır. Zemin iyileştirilmesi sonrası, Özsoy ve Durgunoğlu (2003)'ün önerdiği birim hücre yöntemine göre (4.61) ve (4.62) bağıntıları ile (4.65) bağıntısı veya Şekil 4.47a kullanılarak yapılan sıvılaşma analiz sonuçlarına göre sıvılaşma potansiyeli ihtimalinin ortadan kalktığı belirlenmiştir (Tablo 1).

- Sonuç olarak; inşaat alanında yer alan zemin tabakaları için yapılan sıvılaşma analiz sonuçlarına göre bu tabakaların büyük bir çoğunluğu sıvılaşma riski taşımaktadır. Bu nedenle, zemin tabakalarının tamamı sıvılaşmaya hassas olarak kabul edilebilir. Aşağıda önerilen iyileştirme yönteminin uygulanması durumunda tabakalarındaki var olan sıvılaşma riskinin ortadan kalktığı, elde edilen güvenlik sayılarından anlaşılmaktadır (Tablo 1).

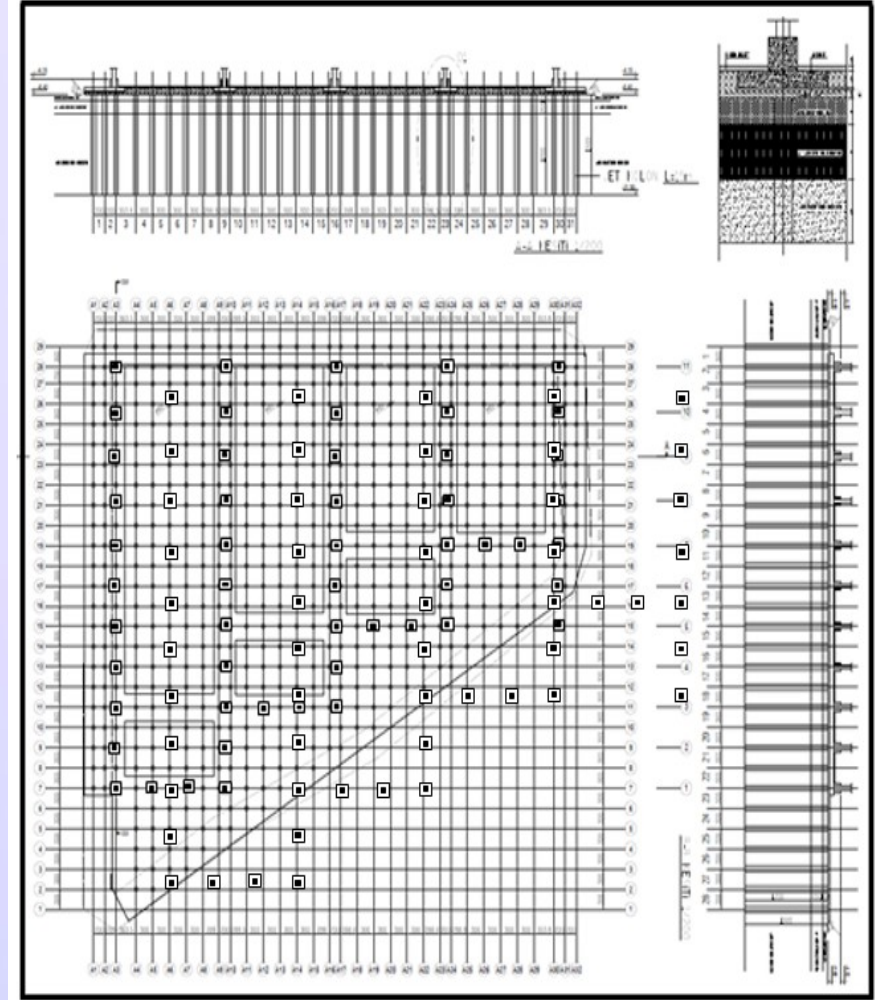
Tablo 1. Sıvılaşma analizi sonuçları

Derinlik (m)	USCS	$G_{s,5}$	$G_{s,c}$
		(İyileştirme Öncesi)	(İyileştirme Sonrası)
5.0	SM	0.508	1.204
6.5	SM	0.544	1.290
9.5	SM	0.535	1.270
12.5	SM	0.559	1.326
15.0	SM	0.589	1.396

Önerilen İyileştirme Yöntemi

Söz konusu inşaat alanında zemin tabakalarında görülen sıvılaşma riskine karşı jet grout kolonları ile zeminin iyileştirilmesi ve muhtemel sıvılaşma probleminin önlenmesi amaçlanmıştır. Aşağıda belirtilen konuların tasarım ve yapım sırasında dikkate alınması gerekir:

- Depo binası için temel taban kotu (temel derinliği, $D_f=1.2$ m) göz önüne alınarak hafriyat çalışmaları yapılmalıdır.
- Jet kolonlarının çapı $D=80$ cm olup temel altları $A=2.5 \times 3$ m, temel dışında kalan alanlar $A=3 \times 3$ m karelej ile imal edilecektir. Arazide jet kolonların yerleşim detayları Şekil 1'de gösterilmiştir. Depo binası temel zemininde yapılacak jet grout kolon sayısı toplam $N=655$ adet'dir. Jet kolon boyları sabit olup $L=15$ m'dir.
- Temel tabanından itibaren yukarı $L=0.3$ m, altında ise $L=15$ m olacak şekilde jet kolonlar imal edilmelidir. Yapılacak temel kazı esnasında 0.3 m'lik kısım kazılarak hem jet kolon kontrol edilmiş olur hem de yastık tabakası hazırlanmış olur.
- Parsel sınırları olan kısımlarda 1.2 m, iç kısımlarda 1.7 m derin olacak kazıya müteakip, jet kolon imalatları tamamlandıktan sonra temel tabanından itibaren 0.3 m kalınlığında %95 rölatif kompaksiyona sahip kontrollü dolgu ile yastık tabakası oluşturulur. Kontrollü dolgu, Karayolları Teknik Şartnamesi'ne uygun olarak gerçekleştirilir.

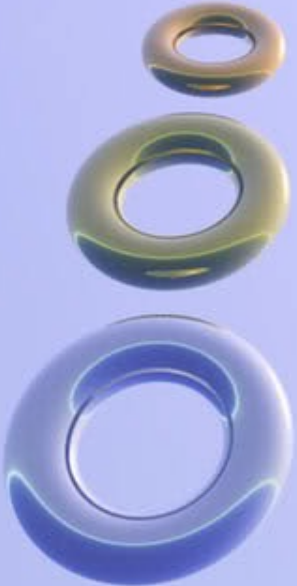


Şekil 1. Jet kolonların yerleşimi planı



İmalat Kontrolü ve Deneyleri

- **Karot Numunelerinin Alınması:** Jet kolonlardan arazide alınan silindirik numuneler üzerinde laboratuvarında yapılan standart serbest basınç deneyi ile jet kolon elemanının basınç dayanımı ($q_{u,c}$) elde edilmelidir. Numuneler, uygulama esnasında kolon yaş iken piston numune alıcı ve prizini almış kolon üzerinde ise karot numune alınmalıdır. Karot numuneleri imal edilen kolondan imal tarihinden 28 gün sonra, TS 10465'e (Beton Deney Metotları-Yapı ve Yapı Bileşenlerinde Sertleşmiş Betondan Numune Alınması ve Basınç Mukavemetinin Tayini Yönetmeliği) uygun şekilde alınmalıdır. Standart basınç deneyinde tercihen deformasyonlarda ölçülerek deformasyon modülü (E_c) belirlenmelidir. Deneylerden ölçülen mukavemet değerlerinin servis yüklerini belli bir güvenlik sayısı ile taşıdıkları ispat edilmelidir.
- **Jet Grout Kazık Yükleme Deneyi:** Projede jet kolon yüklerinin ve jet kolon imalatı kalitesinin belirlenmesi amacıyla tüm proje kapsamında sahada imal edilen kolonlardan seçilecek en az bir kolon üzerinde yükleme deneyi yapılmalıdır. Yükleme deneyi için iki adet basınç kolonu ile iki adet çekme kolonu olarak kullanılacak kolonlar imal edilmelidir. Deney doğrultusunda basınç kolonuna statik eksenel basınç yükü yüklenerek yük-oturma, yük-zaman ve oturma-zaman grafikleri hazırlanarak değerlendirilmelidir. Deney yükü için ise Jet Grout Kolonun toplam taşıma kapasitesinin 1.30 katı dikkate alınmalıdır.
- **Jet Grout Kazık Süreklilik Deneyi:** Jet kolon çap ve boy sürekliliğinin denetlenmesi için kazık süreklilik deneyi (integrity test), imal edilen her jet grout kolonunda yapılması tavsiye edilir. Bu deney, kazık yükleme deneyine göre daha ucuz olup kısa sürede sonuç alınabilmektedir.
- **Çap Kontrolü:** Jet kolonunun projede istenilen ortalama çapını elde etmek için gerekli imalat parametreleri test kolonları oluşturularak belirlenmelidir. Çalışma platformunda imalatı tamamlanan kolonlardan bazıları kazılarak kolon meydana çıkartılmalı ve kolon boyutları ölçülerek istenen çapın sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmelidir.
- **İmalat Esnasında Dikkat Edilmesi Gereken Durumlar:** Jet kolonların zemine işaretlenmesi uzman ölçüm ekibi tarafından tek tek yapılacaktır. Tüm jet kolonlar, uygulama projelerinde gösterilen konumlarından en fazla 75 mm mesafe içinde kalacak şekilde oluşturulmalıdır. Jet kolon deliğinin oluşturulması esnasında, delgi ucu mümkün olduğunca düşey bir konumda tutulmalı ve düşeyden sapma 1/50'den daha fazla olmamalıdır. Su/çimento karışımında, su çimento oranı kütlece 1 olmalıdır. Bir jet kolonu bitiminden en az 24 saat geçmeden 2 çap çevresinde delgi yapılmamalı ve imalata atlamalı olarak devam edilmelidir.
- **Proje Kriterlerinin İmalat Esnasında Değerlendirilmesi:** Jet kolon uygulamasında belirlenen proje kriterlerinin arazide yapılacak ön kalibrasyonu çalışmaları sonucu değerlendirilmelidir. Bu duruma özellikle Jet kolon çap, boy ve mukavemet değerlerinin belirlenmesinde dikkat edilmelidir. İmalat parametrelerindeki değişiklikler, kolon özelliklerini belirleyeceğinden, proje kriterlerini sağlayan parametrelerin optimum değerlerinin tespiti tekrar yapılmalıdır.
- **İmalatın Raporlanması:** İmalatta jet kolonlarının yerleşim planlarına (aplikasyon) uyulmalıdır. Aplikasyonda belirtilen jet kolonlarının imalat tarihi detaylı olarak günlük raporlarda mutlaka tutulmalıdır. Jet kolon uygulama plâni ve bütün kayıtlar işin tamamlanmasından sonra da muhafaza edilmelidir.



Sıvılaşmaya Karşı Jet Grout Kolon Hesabı: Özellikle jet grout kolonların sıvılaşma riskine karşı tasarlanmaları durumunda, jet kolonun kayma mukavemeti önem arz etmektedir. Teşkil edilen kolonun kesme kuvveti direnci (V_c), deprem sırasında her bir kolon tarafından taşınan kesme kuvvetinden (V_{ort}) büyük ($V_c > V_{ort}$) olması gerekir.

$q_{u,c}$, jet kolonlarının kayma modüllerinin tanımlanmasında kullanılan karot numunelere ait tek eksenli basınç deneyi mukavemeti olup SM zemin sınıfı için ortalama 10 MPa seçilmiştir. $G_s=2$ için $q_{u,c}=10/2=5.0$ kullanılmıştır. Göz önüne alınan serbest basınç mukavemeti değeri, laboratuvar sonuçlarına göre tanımlanmış zemin sınıfı esas alınarak seçilmiş olup bu $q_{u,c}$ değerinin imalat aşamasında deneysel olarak doğrulanması gerekir.

Bu serbest basınç mukavemetine ($q_{u,c}=5$ MPa) karşılık gelen Elastisite ve Kayma modülleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (Özsoy ve Durgunoğlu, 2003):

$$E_c = 4730 \sqrt{q_{u,c}} = 10577 \text{ MPa}$$

$$\nu = 0.5 \text{ olarak alınarak } G_c = \frac{E_c}{2(1+\nu)} = 3526 \text{ MPa}$$

Sahanın farklı güzergahları boyunca sismik ölçümler yapılmış olup ölçülen kayma dalgası hızları değerlendirildiğinde zemin tabakaları için ortalama kayma dalgası hızı $v_s=250$ m/sn olarak seçilmiştir.

İnşaat Mühendisliğinde Temel İnşaatı-I Bölüm 3'teki (3.60) bağıntısından,

$G_s = \rho(v_s)^2 = 1.8 \cdot 250^2 = 112.5$ MPa bulunur.

$$(4.62) \text{ bağıntısından, } G_r = \frac{G_c}{G_s} = \frac{3526}{112.5} = 31.34 \text{ MPa bulunur.}$$

$$(4.62) \text{ bağıntısından, } a_r = \frac{A_c}{A} = \frac{\pi \cdot (0.8 \cdot 0.9)^2 / 4}{3 \cdot 3} = 0.045 \text{ bulunur.}$$

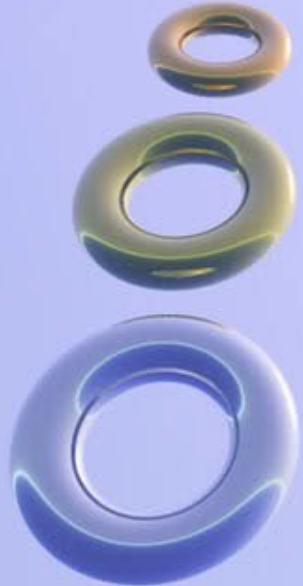
Şekil 4.46b'den veya (4.65) bağıntısından CSR gerilim azaltma faktörü,

$$S_r = \frac{1}{G_r} \frac{1}{\left[a_r + \frac{1}{G_r} (1 - a_r) \right]} = 0.42 \text{ bulunur.}$$

$$(4.42) \text{ bağıntısından } \tau_{maks} = r_d \sigma_{v0} \left(\frac{a_{maks}}{g} \right) = 73 \text{ kPa ve}$$

$$\tau_{ort} = 0.65 \tau_{maks} = 0.65 \cdot 73 = 47 \text{ kPa bulunur.}$$

Birim alana gelen kayma (kesme) kuvveti, $V_{ort} = \tau_{ort} A (1 - S_r) = 246$ kN olarak bulunur. Jet kolonunun güvenle taşıyacağı kesme kuvveti (Durgunoğlu, 2004), $V_c = 0.3 \sqrt{q_{u,c}} A_c = 273$ kN olarak bulunur. Jet kolonunun güvenle taşıyacağı kesme kuvveti $V_c = 273$ kN $>$ $V_{ort} = 246$ kN olup sistem güvenlidir. Jet kolon yerleşimi Şekil 1'de verilmiştir.



Taban Basıncı ve Taşıma Gücü Açısından Değerlendirme

- Yapının ölü yükünün yanında, 1. derece deprem bölgesinde olmasından dolayı deprem yükleri ve hareketli yükler dikkate alınarak; paket programı ile yapılan analizler sonucunda, mütemadi temel (4 m ve 7 m genişliklerinde) tasarlanarak temel sisteminde belirlenen en büyük taban basıncı depremsiz ve depremlı durumda sırasıyla

$$q_t = k_v \delta_{\text{maks}} = 1680 * 0.0085 = 14.28 \text{ t/m}^2 = 143 \text{ kPa}$$

$$q_t = k_v \delta_{\text{maks}} = 1680 * 0.0117 = 19.66 \text{ t/m}^2 = 197 \text{ kPa}$$

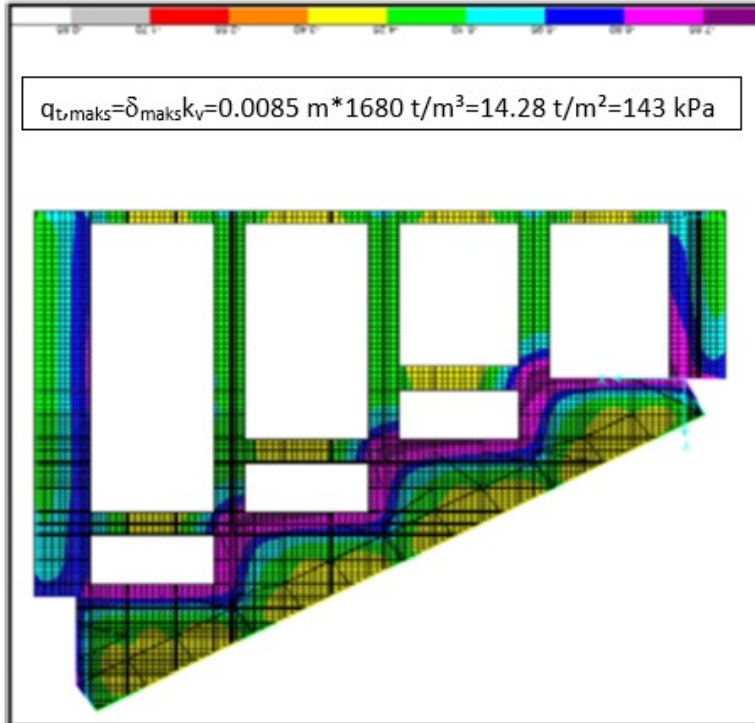
olarak belirlenmiştir (Şekil 2, Şekil 3).

Mütemadi temel sistemi Şekil 4'te gösterilmiştir. Net taban basıncı ise yaklaşık olarak depremsiz ve depremlı durumda sırasıyla

$$q_{t(\text{net})} = q_t - \sigma_{v0}' = 143 - 17 * 1.20 \cong 123 \text{ kPa}$$

$$q_{t(\text{net})} = q_t - \sigma_{v0}' = 197 - 17 * 1.20 \cong 177 \text{ kPa}$$

olarak bulunmuştur.

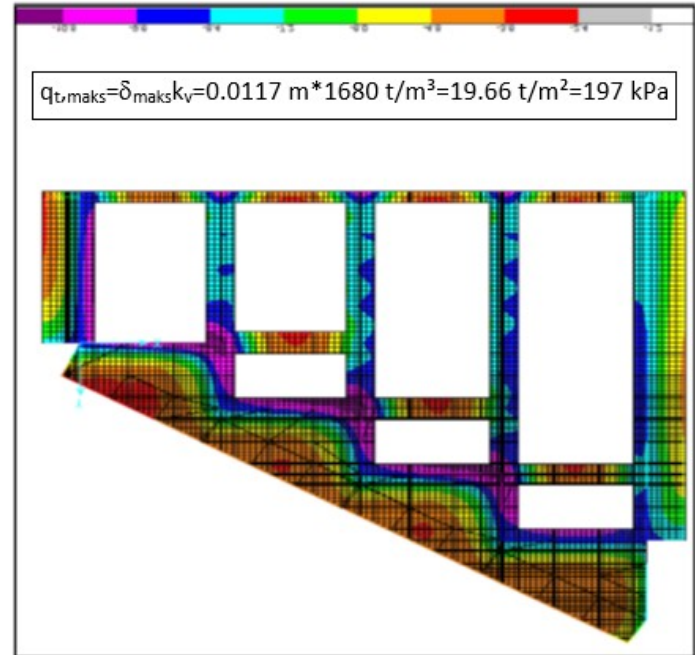


Şekil 2. G+Q yüklemesi altında deplasmanlar

Temel derinliği (0.60 m temel kalınlığı dahil) yaklaşık 1.20 m olan, temel için hesaplanan en olumsuz ($\phi_u=0$) duruma göre yapılan taşıma gücü hesabında,

$$q_{em} = (c_u * N_c) / G_s = (45 * 5.7) / 3 \cong 86 \text{ kPa}$$

- Emin taşıma gücü yaklaşık $q_{em}=86$ kPa olduğundan, yapıda taşıma gücü problemi ($q_t > q_{em}$) ortaya çıkmaktadır. Temelin boyutlarına ait detaylar Şekil 4'te detaylı şekilde verilmiş olup, temelin kalınlığı 60 cm olarak belirlenmiştir.
- Bu tasarımda, D=80 cm çapında oluşturulacak jet kolonlar, yapısal taşıyıcı elemanlar ve zeminin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik olarak tasarlanacaktır. Jet kolonların yük taşıma hesabında, zemin ortamının özellikleri dikkate alınarak, sürtünme ve uç taşıma değerlerinin alındığı, sürtünme elemanı yaklaşımı kullanılmıştır. Jet kolonların inşası sonrası, kolon başları ve temel tabanı altında 30 cm kalınlıkta oluşturulacak granüler dolgu tabakası (balast malzeme kullanılarak) yüklerin, jet kolonlara üniform dağıtılmasında ve zemindeki suyun temel tabanı altında kontrolü ve olası boşluk suyu basınçlarının sönmülmesine katkı sağlayacaktır.



Şekil 3. G+Q+E yüklemesi altında deplasmanlar

- Tasarımda D=80 cm jet kolonların asıl amacı, zemini istenen taşıma gücü değerlerine çekmektir. Yapısal taşıyıcı elemanlar olarak tasarlandığından aynı zamanda mevcut sıvılaşma risklerine karşı çözüm olacaktır ve oturma miktarını azaltacaktır. Taşıma gücü parametreleri, güvenilir tarafta kalmak amacıyla, SPT deney verileri ve laboratuvar verileri birlikte kullanılarak jet kolonların taşıma kapasiteleri hesaplanmıştır (Tablo 1). Hesaplamalar, beklenmeyen problemlere karşı kolon çaplarının % 10 azaltılarak ($D=0.8*0.9=0.72$ m) yapılmıştır.

$$Q_u = Q_s + Q_p$$

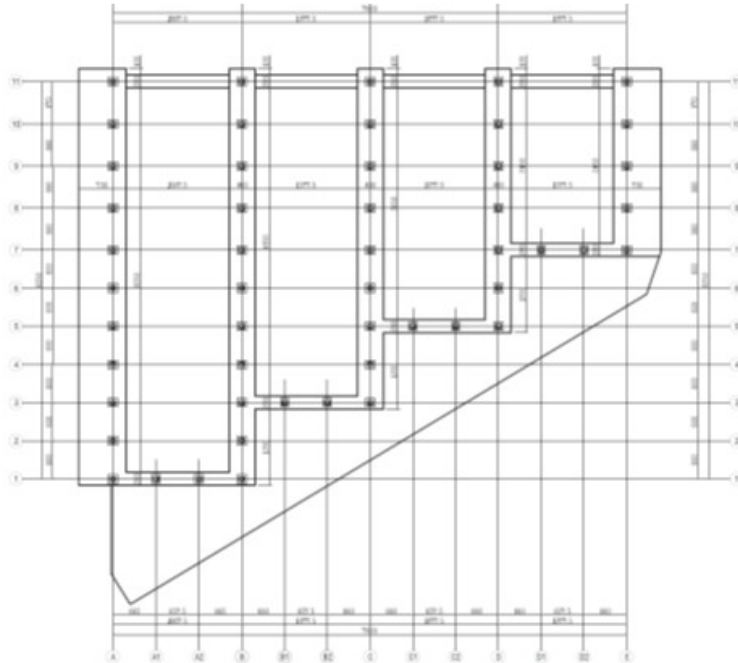
$$Q_s = A_{s1}f_{s1} + A_{s2}f_{s2} = (\pi DL_1)(\alpha C_u) + (\pi DL_2)[\sigma'_v(1 - \sin\phi)\tan(2\phi/3)]$$

$$Q_p = (\sigma'_v N_q) + (k_2 D \gamma N_\gamma)$$

$$Q_{em} = Q_u / G_s$$

$$Q_{em,c} = (217 + 333 + 851) / 3 = 467 \text{ kN}$$

Bu durumda tek bir jet grout kolonun taşıyacağı yük ($Q_{em,c}$), 467 kN'dir.

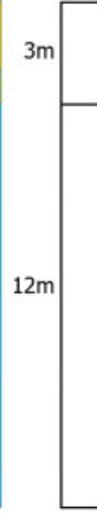


Şekil 4. Temel kalıp planı

Tablo 1. Jet Grout Kolon taşıma gücü hesap detayları

Derinlik (m)	N ₆₀	C _u (kPa)	φ	γ (kN/m ³)
1				17
2	7.5	45	-	18
3				
4	9	45	-	18
5				
6				
7				
8				
9				
10	14.5	-	28	18
11				
12				
13				
14				
15				
16				

D_{hesap}=0.72 m



$$f_{s1} = 32.0 \text{ kPa} \quad G_s = 3$$

$$A_{s1} = 6.78 \text{ m}^2$$

$$Q_{s1} = 217 \text{ kN}$$

$$\phi = 28$$

$$N_c = 31.6$$

$$N_q = 17.8$$

$$N_\gamma = 13.7$$

$$f_{s2} = 12.3 \text{ kPa}$$

$$A_{s2} = 27.13 \text{ m}^2$$

$$Q_{s2} = 333 \text{ kN}$$

$$q_u = 2091 \text{ kPa}$$

$$A_u = 0.41 \text{ m}^2$$

$$Q_u = 851 \text{ kN}$$

$$Q = 1401 \text{ kN}$$

$$Q_{em} = 467 \text{ kN}$$

İmalatın Detayları: Tasarım kapsamında tek tip, L=15 m ve D=0.8 m'lik 655 adet jet grout kolon imalatı yapılacaktır. 1 m uzunluğunda D=80'lık Jet kolon imalatı için yaklaşık 226 kg çimento sarfiyatı yapıldığı düşünülürse, tüm imalat için toplam 2220.5 ton çimento sarfiyatı gerçekleşecektir.

Jet Grout Kolonların Taşıma Gücüne Etkisi: Hesaplanan taşıma gücü, projeden kaynaklı taban basıncından düşüktür. Yapılan zemin iyileştirmesi ile taşıma gücü belli oranda artmıştır.

Toplam kolonların taşıyacağı yük;

$$Q_{toplam} = N Q_{em,c} = 655 * 467 = 305885 \text{ kN} \cong 30589 \text{ ton}$$

Jet kolon uygulandıktan sonraki zemine katacağı taşıma gücü değeri;

$$q_{em,c} = Q_{toplam} / A = 305885 / 5400 = 57 \text{ kPa}$$

Jet grout kolon uygulandıktan sonraki zeminin nihai taşıma gücü değeri;

$$q_{em,toplam} = q_{em,c} + q_{em,s} = 57 + 86 = 143 \text{ kPa}$$

Depremsiz durumda $q_{t(net)} = 123 \text{ kPa} < q_{em,toplam} = 143 \text{ kPa}$ ve depremlili durumda $q_{t(net)} = 177 \text{ kPa} < q_{em,toplam} = 143 * 1.5 \cong 215 \text{ kPa}$ olduğundan, yapıda taşıma gücü problemi ortaya çıkmayacaktır.

Oturma Açısından Değerlendirme

- Yapıda asıl problemin taşıma gücü ve sıvılaşma problemi olduğu söylenebilir. Bu yüzden daha önceden, taşıma gücünü artırmak ve sıvılaşma potansiyelini düşürmek amacıyla, temel alt kotundan başlayarak L=15 m boyunda n=655 adet D=80 cm çapında jet kolonlar inşa edilmesi hesaplanmıştır.
- Kaba daneli zeminler için SPT-N değerine göre 25 mm'lik oturma durumuna göre (5.4) bağıntısı ile zeminin emniyetli taşıma gücü hesabından, meydana gelebilecek oturma miktarı (19 mm), aşağıda gibi hesap edilmiştir. Ayrıca paket programıyla yapılan analizlerde maksimum oturma 12 mm mertebesinde bulunmuştur. Bu oturma miktarları, zeminlerin ince dane içermesinden dolayı daha fazla olması beklenecektir. Bununla birlikte, yapının prefabrik olması ve jet kolonların aynı zamanda oturmaları azaltıcı elemanlar olarak görev yapacağından dolayı, oluşacak oturmaların yapıya yapısal hasar veremeyecek düzeyde olacağı beklenmektedir.

$$q_{t(net)}=177 \text{ kPa} \leq q_{em} \text{ hareketle,}$$

$$q_{em} = 12.5N \left(\frac{s}{25} \right) \left(\frac{B+0.305}{B} \right)^2 k_d \rightarrow$$

$$k_d = 1 + \left(\frac{D_f}{3B} \right) = 1 + \left(\frac{1.2}{3 \cdot 4} \right) = 1.1 \leq 1.33$$

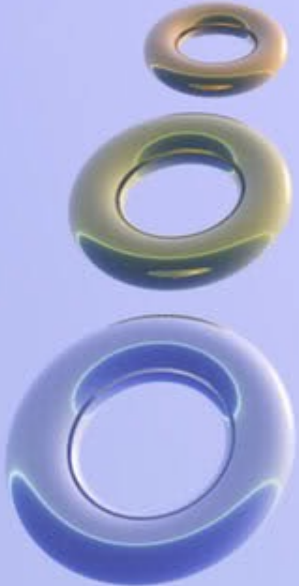
En kritik mütemadi temel durumu ve temel derinliği dikkate alınarak, yapılan oturma hesabında;

$$177 = 12.5 \cdot 15 \cdot \left(\frac{s}{25} \right) \cdot \left(\frac{4+0.305}{4} \right)^2 \cdot 1.1 \rightarrow s \leq 19 \text{ mm bulunmuştur.}$$

- Oturma süreci, inşaat yapımı esnasında takip edilmelidir. Sonlu elemanlar bir paket programı kullanılarak, temel ve üst yapı birlikte beraber analizinin yapılması, deformasyonların görülmesi açısından yararlı olacaktır.
- Jet kolon yükleme deneyi yapılması halinde oturmalar ve taşıma gücü açısından çıkan sonuçlara göre tasarım değerleri gerekirse yeniden gözden geçirilebilir.

Deney sonuçları ve sondaj loglarına göre genel oluşum, tabakalaşma durumu ve jeolojik yapılanma, temel zemin iyileştirme yönteminin uygulandığı göz önüne alındığında, temel zemini parametreleri ile ilgili gerekli görülen sonuç ve öneriler **TBDY (2007)'ye göre** aşağıda verilmiştir:

- ✓ Jet kolon uygulaması ile iyileştirme sonrası kontrollü dolguya oturacak olan mütemadi temellerin altındaki temel zemini için emniyetli taşıma gücü : $q_{em}=140 \text{ kPa}$.
- ✓ Zemin yatak katsayısı : 16800 kN/m³
- ✓ Zemin Grubu : C
- ✓ Yerel Zemin Sınıfı : Z3
- ✓ Spektrum Karakteristik Periyotları (T_A, T_B) : 0.15, 0.60
- ✓ Etkin yer ivmesi Katsayısı (A_0) : 0.40
- ✓ Bina Önem Katsayısı (I) : 1.00



V- SORU CEVAPLAR BÖLÜMÜ



Sabrınız İçin Teşekkürler

