

İTÜ



250 YIL
1773 - 2023



TÜRK MÜHENDİS VE MİMAR ODALARI BİRLİĞİ
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI
İSTANBUL ŞUBESİ

MARJİNAL ZEMİNLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Gürkan Özden

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü



Takaaki Kagawa'nın hatırasına



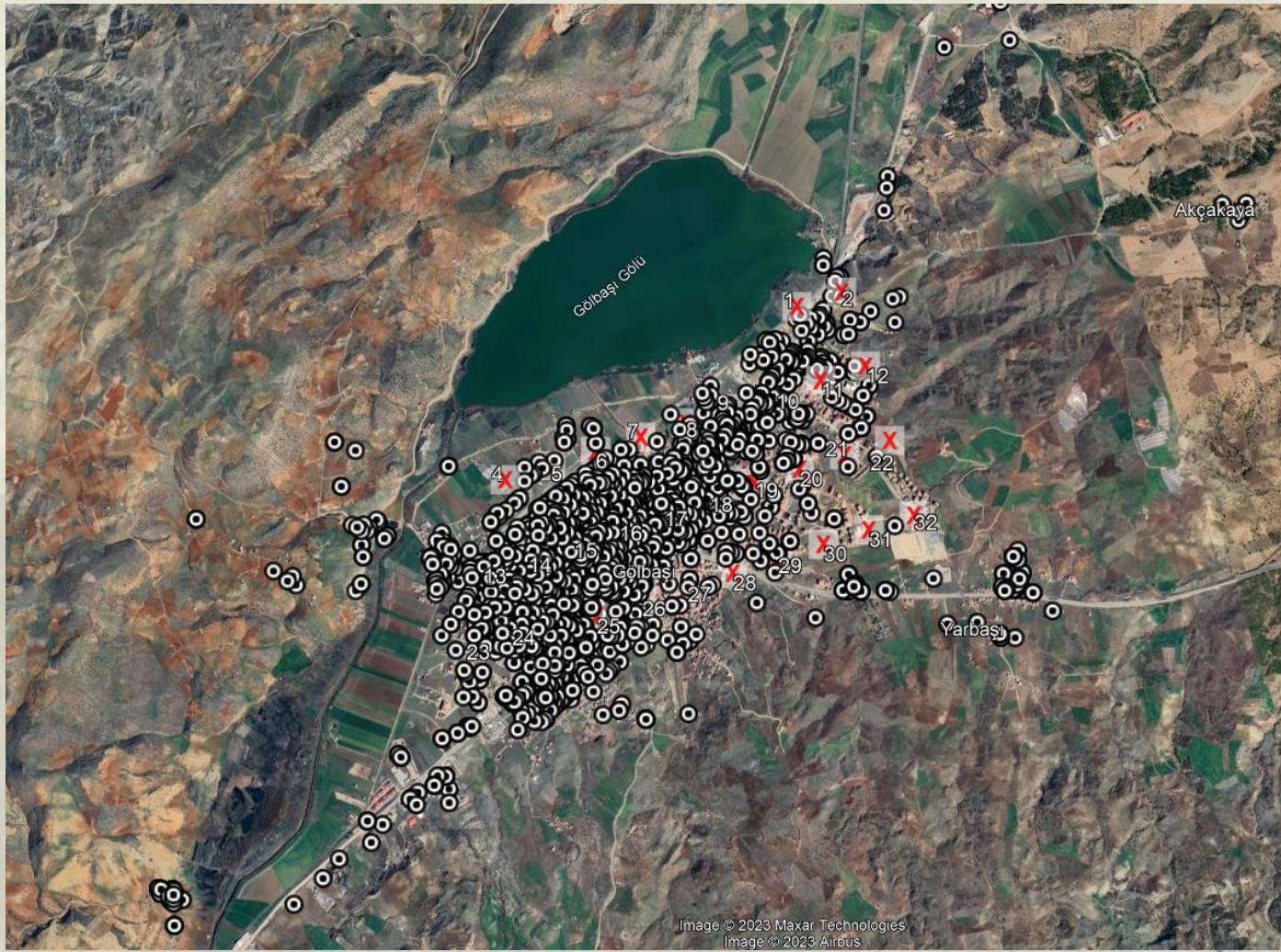
❖ Marjinal zemin inşaat mühendisliğinde yapılaşma için özel önlem gerektiren her türlü zemin profili olarak anlaşılabılır.

- Sıvılaşma potansiyeli taşıyan zeminler
- Çok yumuşak-yumuşak kıvam durumunda olup depremde mukavemet kaybı yaşayabilen zeminler
- Kalınlığı fazla alüvyon istifleri
- Çok yüksek oranda organik malzeme içeren (turba) zeminler
- Çatısı çökebilen (collapsible) zeminler
- Şev kaymasına müsait zeminler
- Kontrolsüz dolgular

Marjinal Zeminler

Sıvılaşan Zeminler





Gölbaşı-Malatya Otoyolu'nun göl tarafındaki bina stokunun neredeyse tamamı «orta hasarlı» veya «ağır hasarlı» olarak sınıflandırıldı. Az sayıda bina tamamen yıkıldı ve geri kalanı ya farklı derecelerde eğildi ya da ağır hasar aldı.



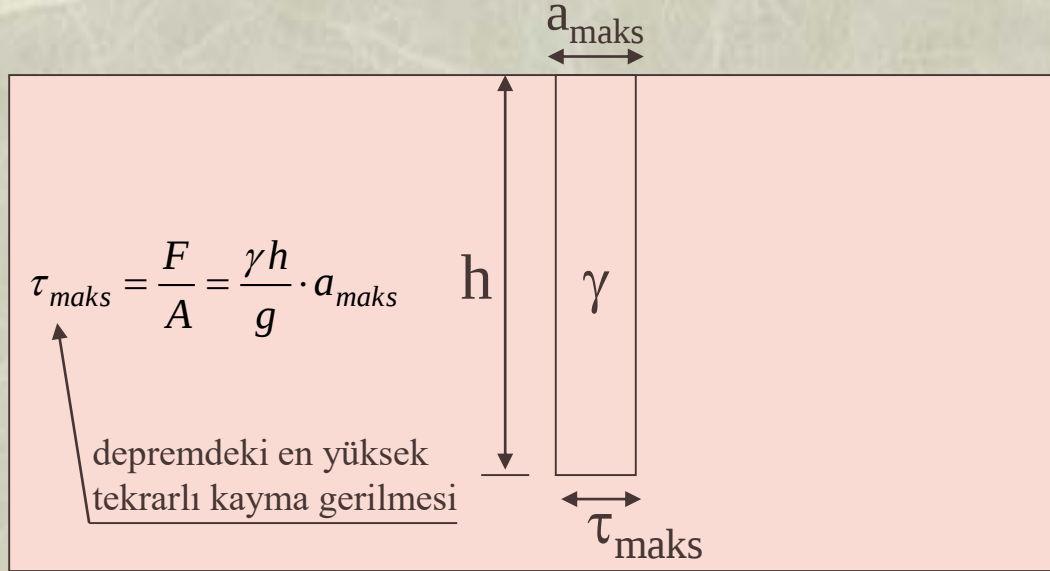
Gölbaşı-Malatya Karayolu'nda devrilen bina. Temel altındaki zeminin sıvılaştığı kesin değildir. Yetersiz devrilme emniyetinin binanın devrilmesinde bir rolü olabilir.



6 Şubat 2023 Gölbaşı Depremi sonrası sıvılaşma sonucu zemin desteğinin kaybolması sonucu binaların zemine batması ve dönmesi



- ❖ Sıvılaşma potansiyeli belirlenirken sıvılaşma direnci ile deprem sırasında oluşan tekrarlı kayma gerilmesi karşılaştırılır. Zeminin direnci tekrarlı kayma gerilmesinden büyükse sıvılaşma söz konusu değildir. Eşit veya düşükse sıvılaşma riski vardır.



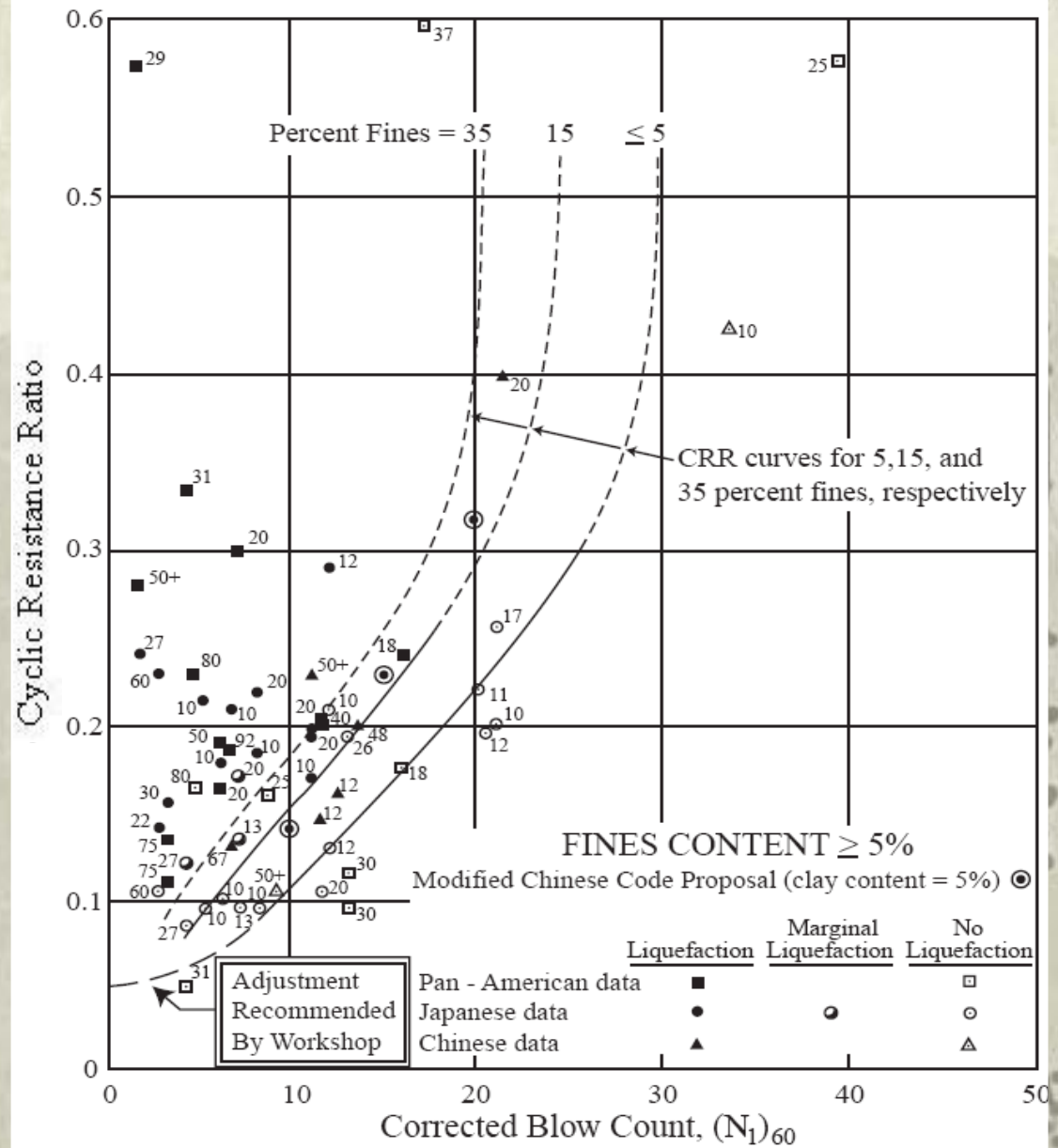
$$\tau_{deprem} = r_b \times \frac{\gamma h}{g} \times a_{maks} \times r_d$$

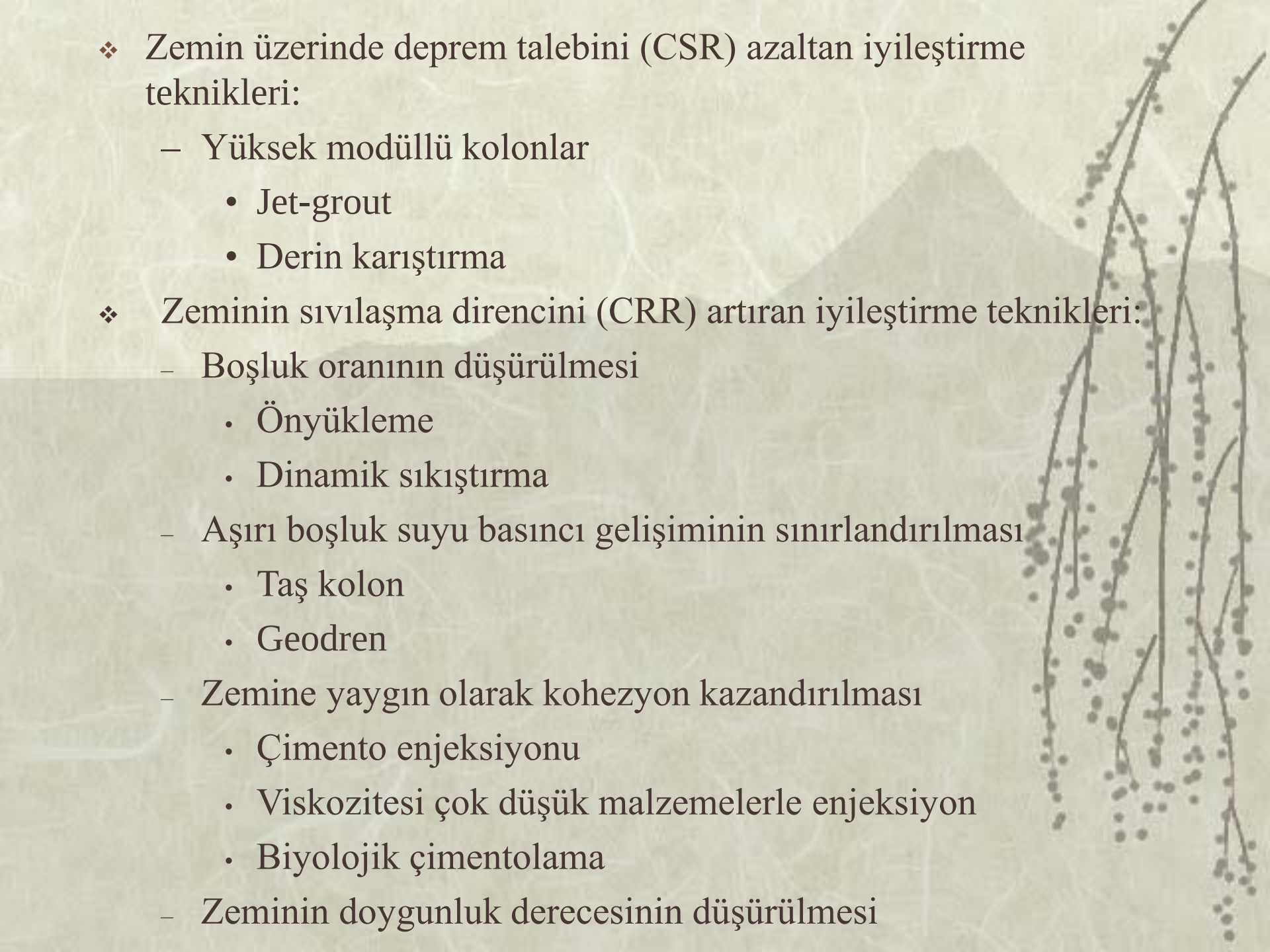
$$CSR = \frac{\tau_{deprem}}{\sigma_v'} \quad ; \quad CRR = \frac{\tau_{direnç}}{\sigma_v'}$$

$$F_s = \frac{CRR}{CSR} \geq 1.1$$

$$F_s = \tau_{direnç} / \tau_{deprem} \geq 1.1$$

*Sıvılaşmaya karşı zemin
ıslahında CSR
düşürülebilir veya CRR
artırılabilir.*

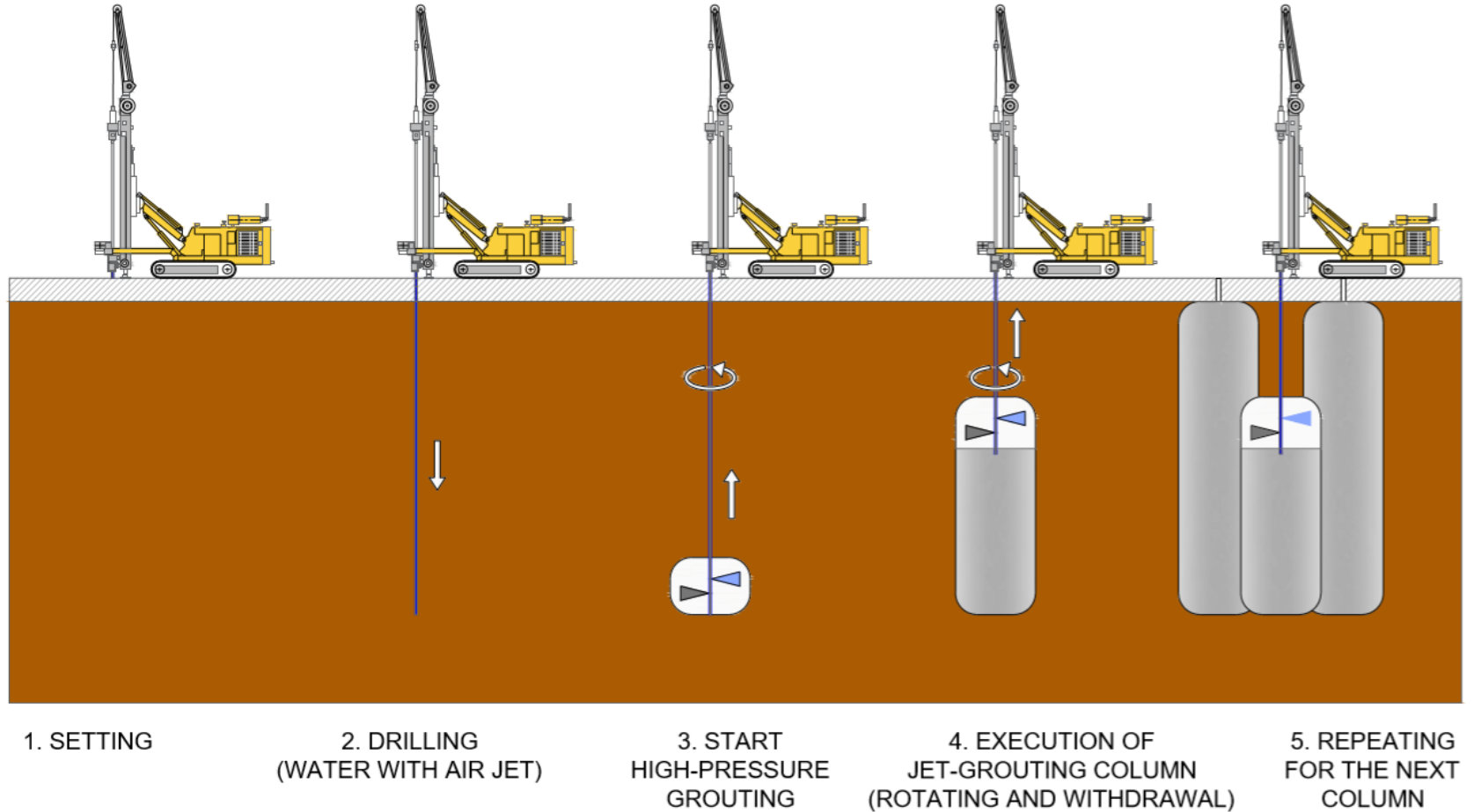


- 
- ❖ Zemin üzerinde deprem talebini (CSR) azaltan iyileştirme teknikleri:
 - Yüksek modüllü kolonlar
 - Jet-grout
 - Derin karıştırma
 - ❖ Zeminin sıvılaşma direncini (CRR) artıran iyileştirme teknikleri:
 - Boşluk oranının düşürülmesi
 - Önyükleme
 - Dinamik sıkıştırma
 - Aşırı boşluk suyu basıncı gelişiminin sınırlandırılması
 - Taş kolon
 - Geodren
 - Zemine yaygın olarak kohezyon kazandırılması
 - Çimento enjeksiyonu
 - Viskozitesi çok düşük malzemelerle enjeksiyon
 - Biyolojik çimentolama
 - Zeminin doygunluk derecesinin düşürülmesi

❖ Deprem Talebinin (CSR) Azaltılması

– Yüksek Modüllü Kolonlar

- Jet-grout





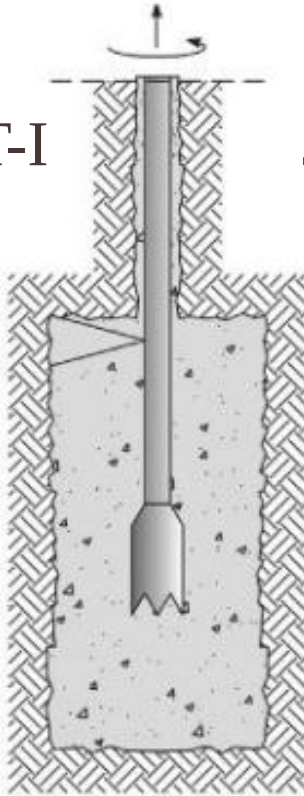
- ❖ Jet-grout tekniği tekil, ikili ve üçlü akışkan sistemleri olarak üç başlık altında ele alınabilir:
 - Tek akışkan sisteminde, su-çimento harcı bir veya daha fazla meme (nozul) aracılığıyla zemine enjekte edilir. Bu durumda, zeminin yoğurulması ve ardından çimentolanma aynı akışkan tarafından meydana getirilir.
 - İkili akışkanda zeminin entegrasyonunun bozulması ve çimentolanması yine tek bir akışkan, su-çimento harcı tarafından gerçekleştirilir, ancak harç jeti eş eksenli bir hava jetiyle yastıklanır, bu da enerji kayıplarını azaltarak etkinliğini artırır. Hava jeti, harç nozulunun etrafına yerleştirilmiş eş eksenli bir halka nozul aracılığıyla sağlanır.

- ❖ Üçlü akışkan sisteminde zeminin yoğurulması ve çimentolanması safhaları ayrılır. Yoğurulma monitörün üst kısmına yerleştirilen bir nozul aracılığıyla sağlanan yüksek hızlı bir su jeti tarafından tetiklenir.

Su jeti, çift sistem için kullanılabilecek bir halka nozul tarafından sağlanan bir koaksiyel hava jeti ile yastıklanır. Daha sonra su-çimento harcı, monitörün alt kısmına yerleştirilen ayrı bir nozuldan verilir. Bu durumda, harcın amacı daha önce su jeti tarafından yoğurulan zemini çimentolamaktır ve bu nedenle daha düşük bir hızda zemine verilir.

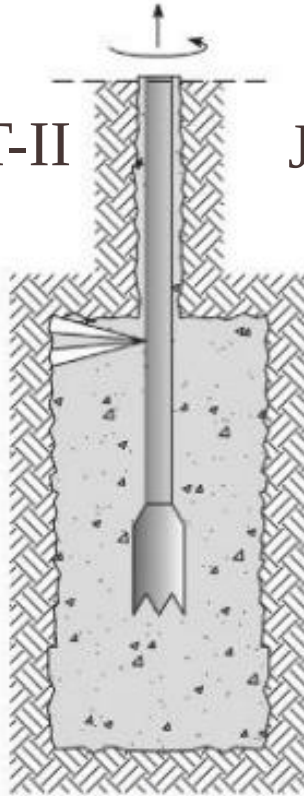


JET-I



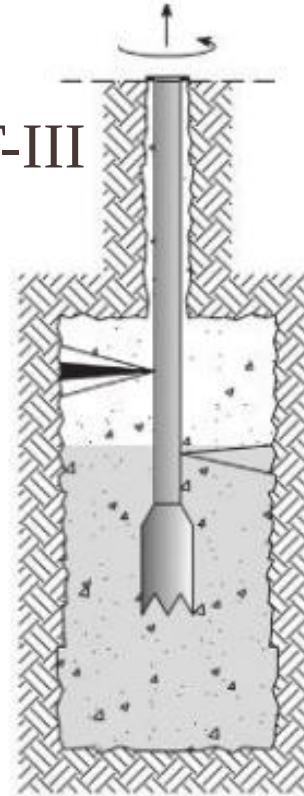
(a)

JET-II



(b)

JET-III



(c)

su-çimento
harcı

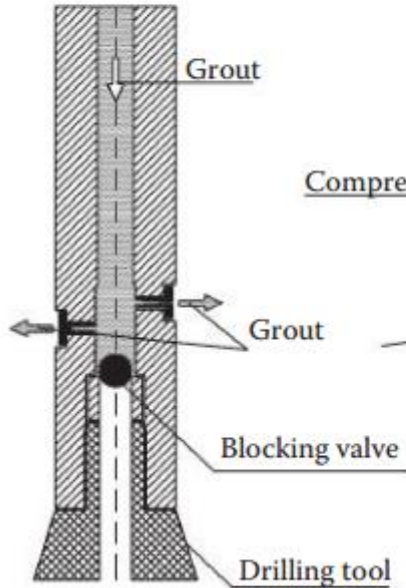
Hava

Su

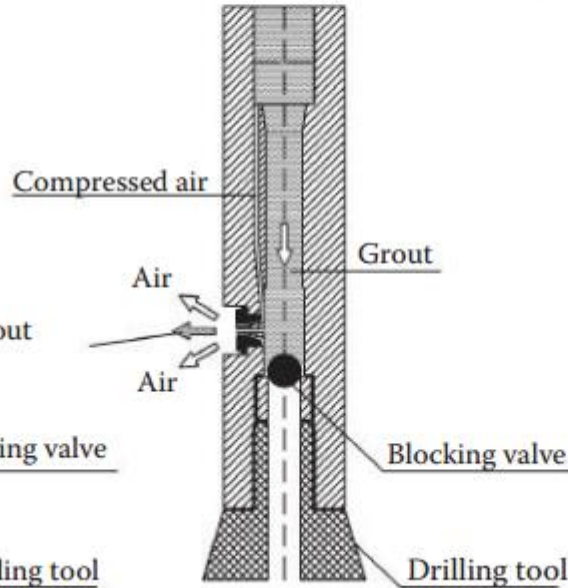
Jet
enjeksiyonu
yapılmış
zemin

Yoğurularak
enjeksiyona
hazırlanmış
zemin

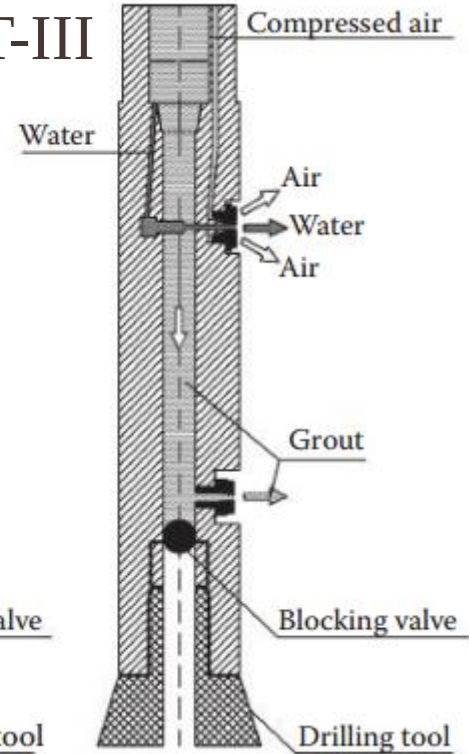
JET-I



JET-II



JET-III



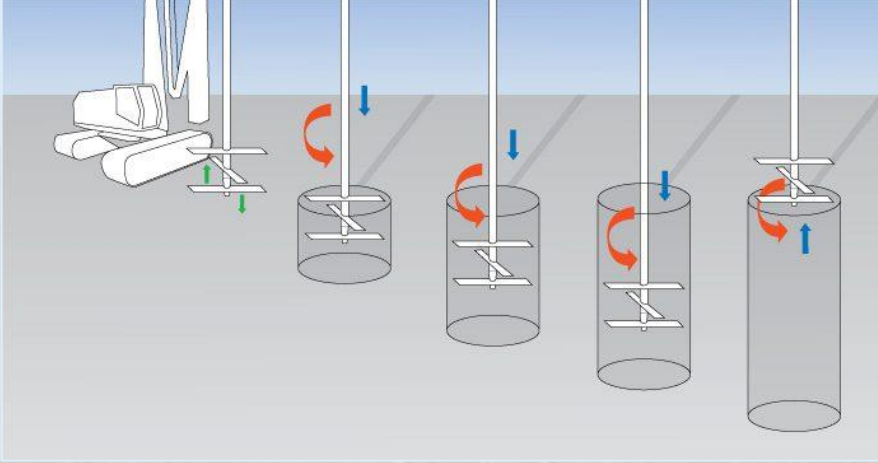
Jet-grout kolon tekniği ile ilgili şekiller için kaynak

Croce, P., Flora A. and Modoni, G. Jet Grouting: Technology, Design and Control, CRC Press, Taylor and Francis Group, 2014, ISBN 978-1-4822-4718-3

- ❖ Jet-grout ile sıvılaşmaya karşı ayrık sistemli yüksek modüllü kolon ile ıslah projeleri hazırlanırken JG kolonların zemin ve kolon rijitlikleri ile orantılı bir tarzda üzerlerine yük aldıkları ve zemin içindeki kayma gerilmelerini düşürdüğü kabul edilmiştir. Bu kabul altında hayata geçirilen projelerin bir kısmı deprem yüklemesine maruz kalmıştır.
- ❖ Jet-grout veya derin karıştırma teknikleri ile imal edilecek yüksek modüllü kolonlar ile sıvılaşmaya karşı zemin ıslahında güncel yaklaşım karelaj oluşturulması ve arada kalan zeminin deprem sırasında maruz kalacağı tekrarlı kayma gerilmelerinin azaltılması, ayrıca zeminin şekil değiştirmesinin kısıtlanmasıdır.

Derin Karıştırma

Derin karıştırma tekniğinde zemin içinde kanatlı bir karıştırma ucu vasıtasıyla sabit çapta bir kolon oluşturulması hedeflenir.



- ❖ Yüksek modüllü kolonların sıvılaşma güvenliğini artırıcı etkisi alan oranından hareketle hesaplanır:

Zeminde oluşan kayma gerilmesi talebi iyileştirme sonrası aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$CSR' = CSR \times K_G$$

Burada CSR iyileştirme yapılmadığı durumda zeminde oluşan talebi, CSR' iyileştirme sonrası talebi, K_G ise azaltma faktörünü göstermektedir. K_G gridler için aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$K_G = \frac{1}{G_r \cdot [A_r \cdot C_G \cdot \gamma_r + \frac{1}{G_r}(1 - A_r)]} \leq 1.0$$

$$C_G = 1 - 0.5\sqrt{1 - A_r}$$

$$\gamma_r = \left[1 - (1 - A_r)^{1.3} \cdot \left(\frac{G_r - 1}{185} \right)^{0.4} \right] \cdot \min\left(\frac{H}{S}, 1\right)$$

❖ Bir önceki slaytta verilen bağıntılarda;

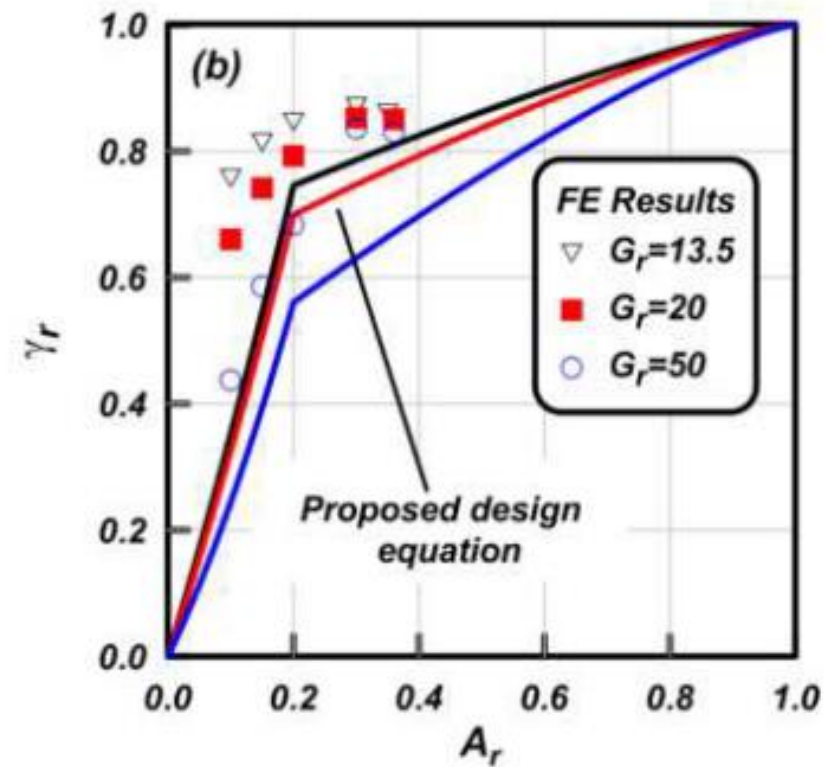
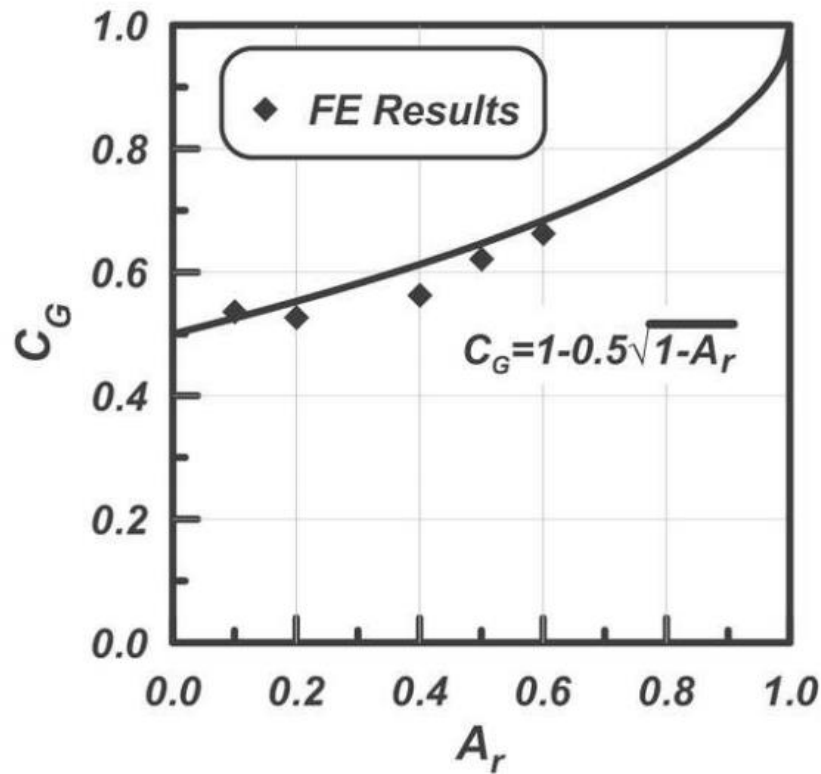
$G_r = G_{YM}/G_Z$: kayma modülü oranı (*yüksek modüllü kolon kayma modülünün zemin kayma modülüne bölünmesiyle elde edilir*)

A_r : alan oranı

$A_r = A_{JG}/A$ (A_{JG} : birim hücredeki JG kolon alanı; A : birim hücre içinde kalan zemin alanı) ile tanımlanır.

C_G : kesme faktörü

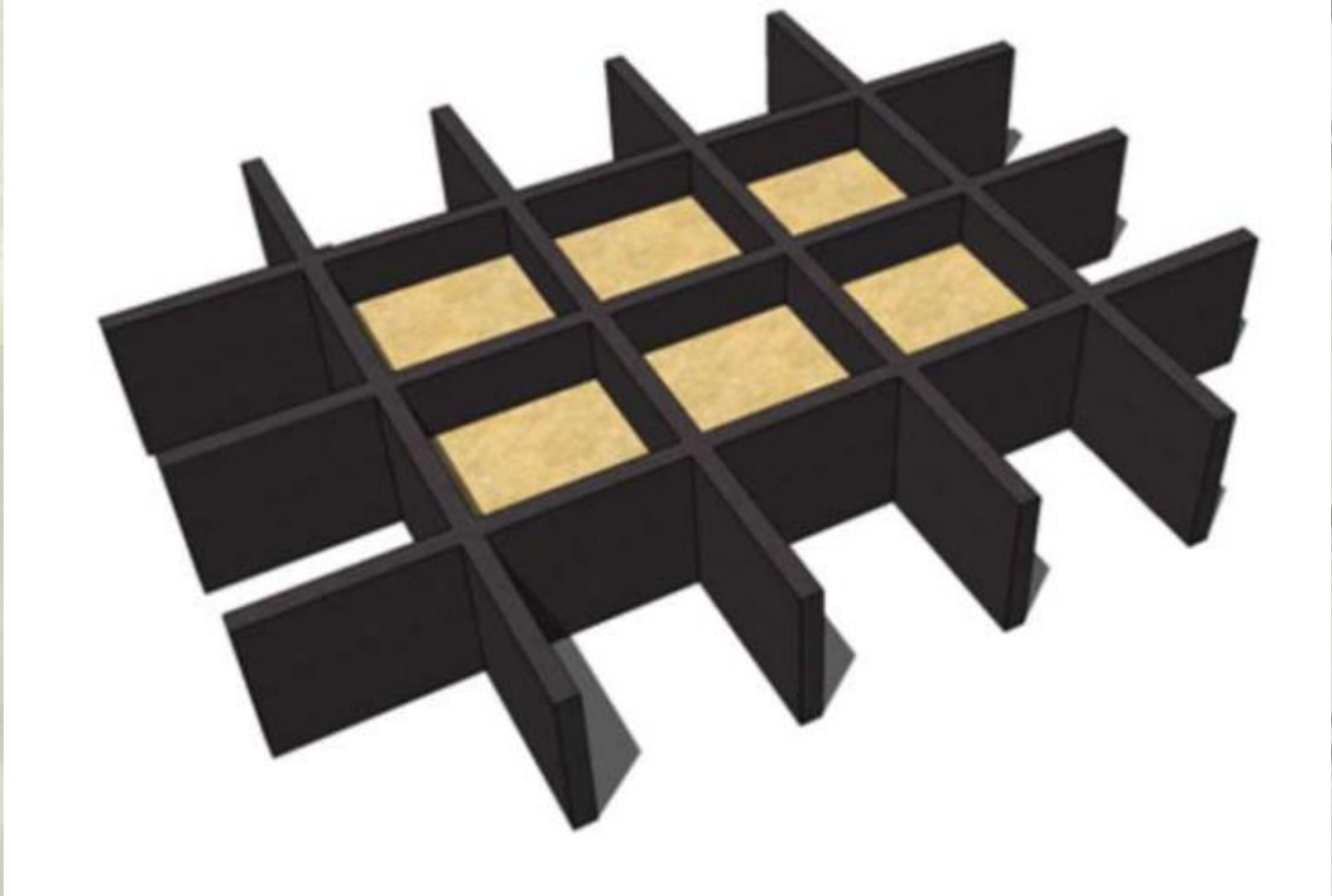
γ_r : grid üzerinde oluşan kayma deformasyonlarının çevreledikleri zemine kıyasla oranını verir.



Nguyen, T. V., Rayamajhi, D., Boulanger, R. W., Ashford, M., Lu, J., Elgamal, A., and Shao, L. (2013). "Design of DSM Grids for Liquefaction Remediation", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 139, No. 11, pp. 1923-1933

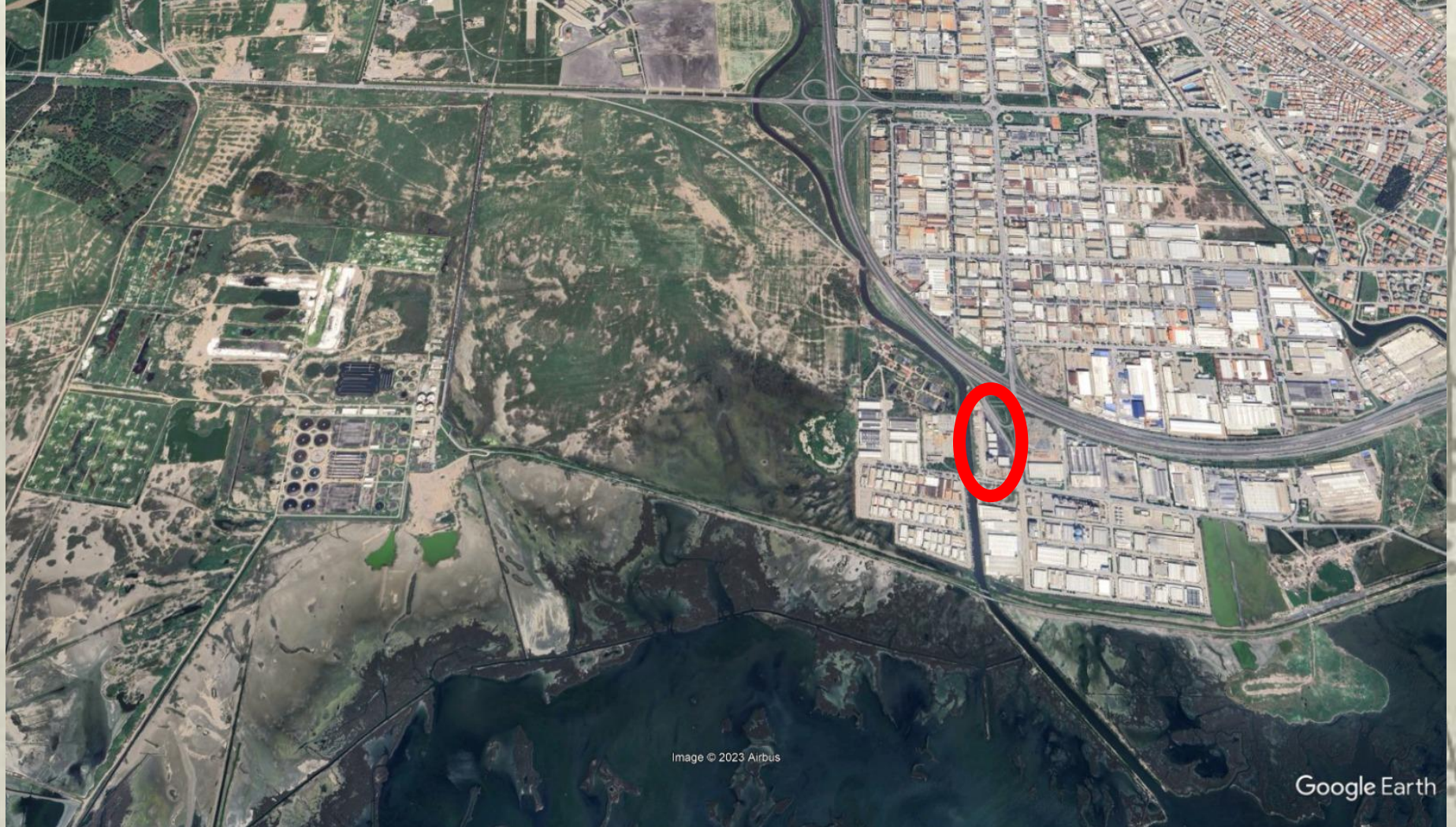
Olgun, G. C. and Martin II, J. R. (2010), "Seismic Performance of Soil-Mix Panel Reinforced Ground", Fifth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Engineering and Soil Dynamics and Symposium in Honor of Professor I. M. Idriss, May 24-29, Paper No. 5.47a, pp. 1-6

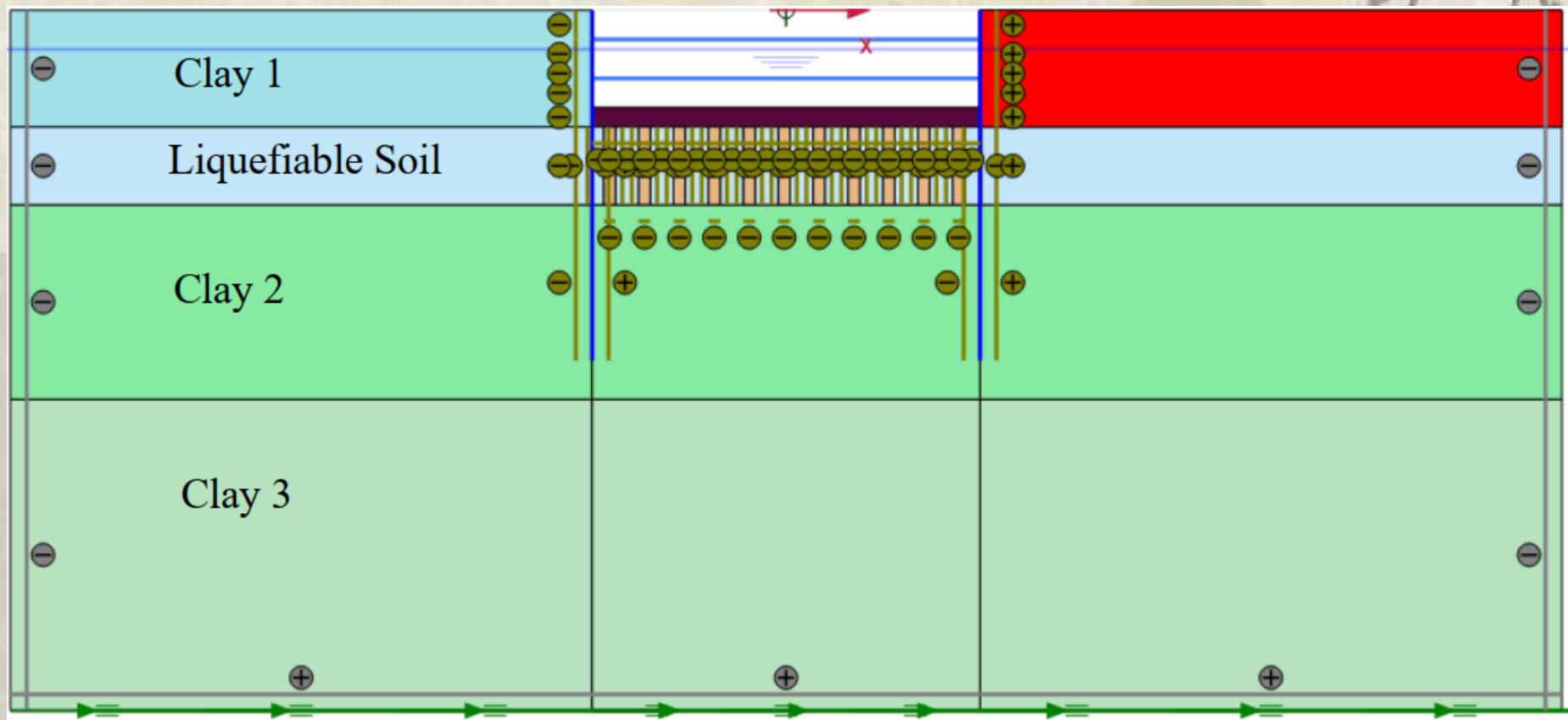
Erol, O. A. ve Bayram Z. Ç. (2018). Jet Enjeksiyon Yöntemi, Yüksel Proje Uluslararası A.Ş., Ankara, 153 sayfa



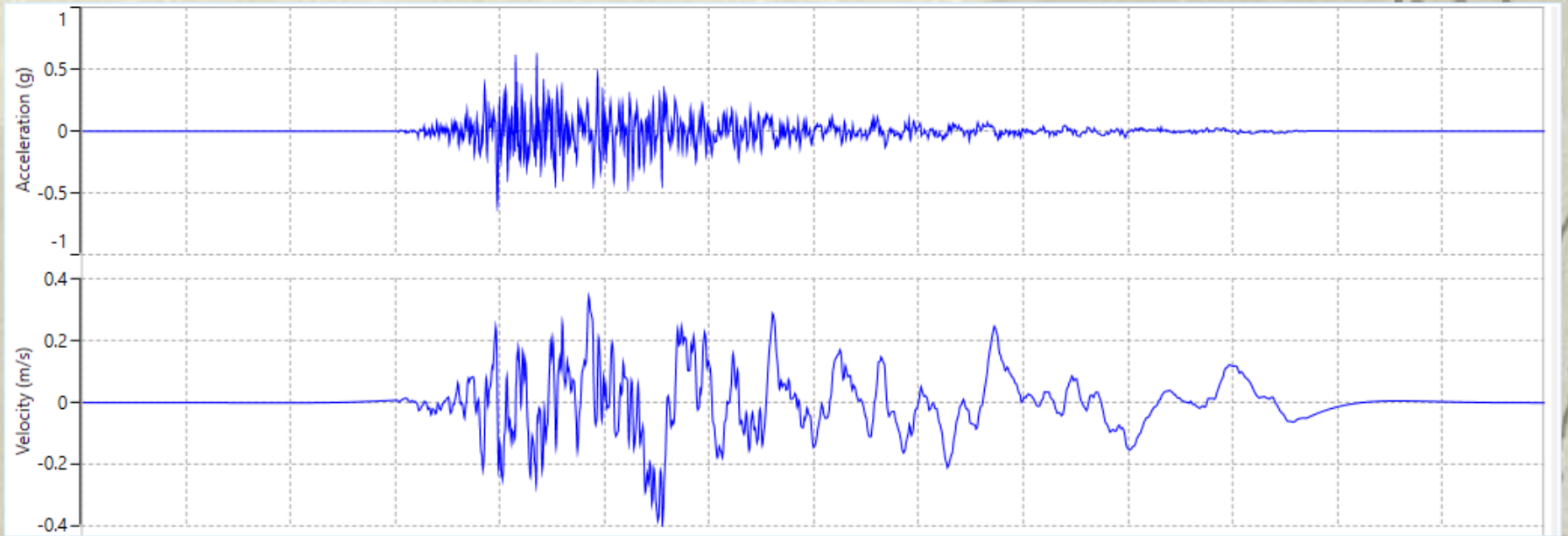
Tipik yüksek modüllü kolon uygulama örneđi

Ayrık JG Kolonlar için Bir Sayısal Analiz Çalışması (Barış Kaymaz & Gürkan Özden)





Hector Mine Depremi Kaydı



(a) Jet Grout Column Variables

Symbol	Value		Unit
	$q_u=15 \text{ Mpa}$	$q_u= 2 \text{ Mpa}$	
Y_{unsat}	18	18	kN/m^3
v_{nu}	0.3	0.3	-
E_{ref}	3.10E+06	5.00E+05	kN/m^2
G_{ref}	1.19E+06	1.92E+05	kN/m^2
E_{oed}	4.18E+06	6.73E+05	kN/m^2
V_s	807.1	323.7	m/s
V_p	1510	605.7	m/s
c_{ref}	3685	342	kN/m^2
ϕ	38	54	°
ψ	0	0	°
Tensile Strength	1530	160	kN/m^2
R_{inter}	1	1	-

(b) SandUBC 3D Variables

Symbol	Value	Unit
ϕ_{cv}	22	°
ϕ_{p}	23	°
c	0	kN/m^2
K_G^e	855	-
K_G^p	250	-
K_B^e	599	-
n_e	0.5	-
n_p	0.5	-
m_p	0.5	-
R_f	0.81	-
P_A	100	-
σ_t	0	kN/m^2
fac_{hard}	0.2	-
$N_{1.60}$	8	-
fac_{post}	0.02	-

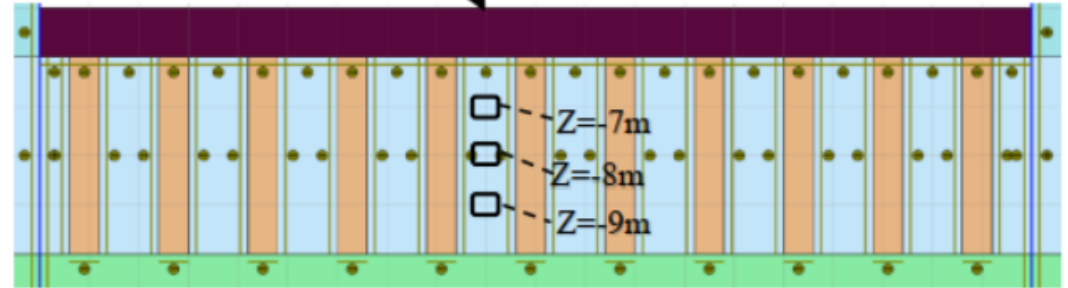
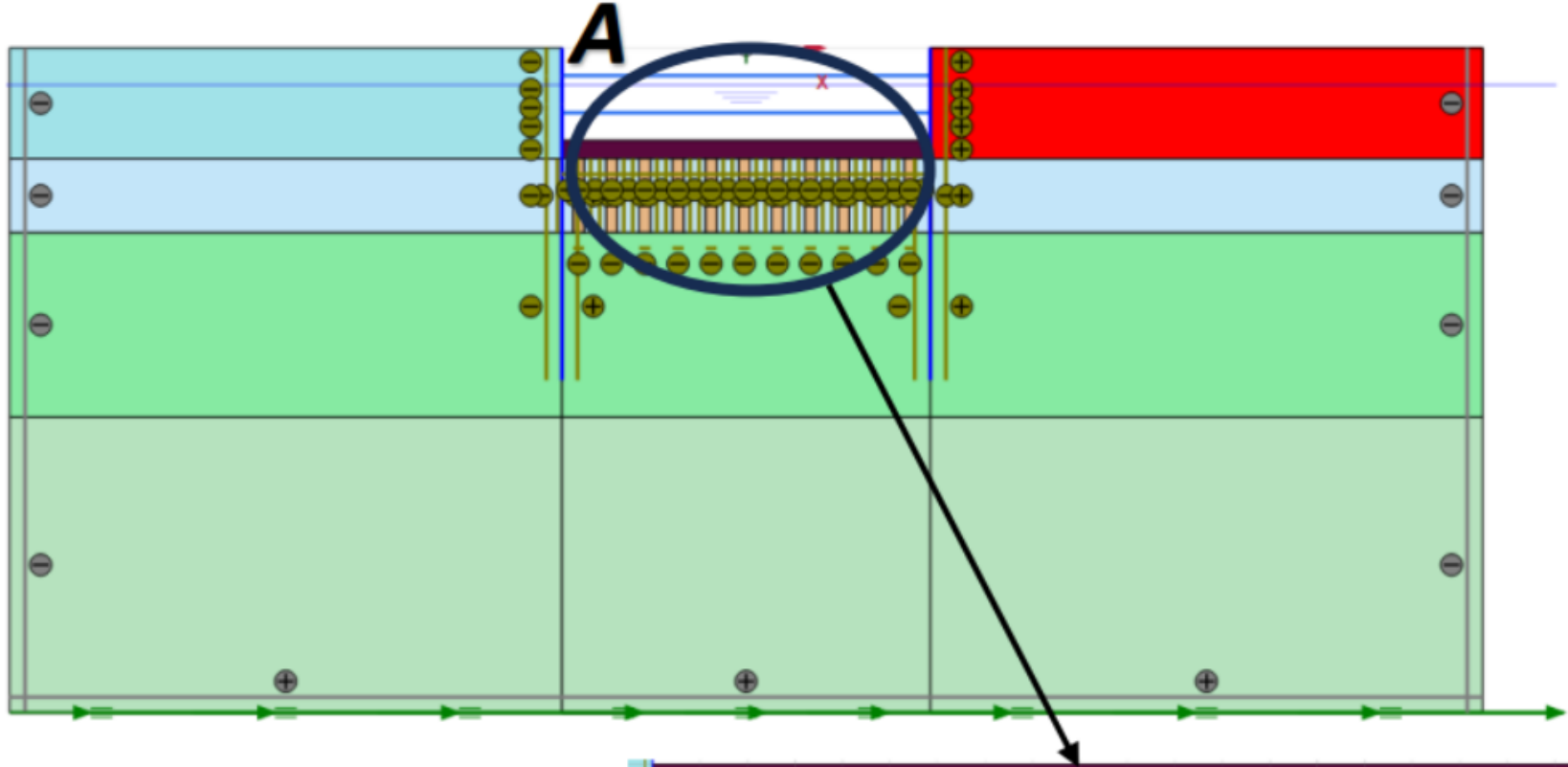
Symbol	Value			Unit
	Clay Layer 1	Clay Layer 2	Clay Layer 3	
Y_{unsat}	18	18	18	kN/m ³
Y_{sat}	20	20	20	kN/m ³
G_0^{ref}	36000	65000	122000	-
$Y_{0.7}$	2.00E-04	4.00E-04	4.00E-04	-
v_{ur}	0.2	0.2	0.2	kN/m ²
E_{50}^{ref}	1800	10000	30000	kN/m ²
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$	1800	9000	30000	kN/m ²
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	8000	35000	90000	kN/m ²
p^{ref}	100	100	100	kN/m ²
m	0.6	0.75	0.7	-
c	10	20	40	kN/m ²
ϕ	24	25	28	°
ψ	0	0	0	°
R_{inter}	0.67	0.67	0.67	-
K_0^{nc}	0.5933	0.5774	0.5305	-

R_u

Birim
Kayma
Şekil
Değiştirme
si

Analyses Name	Description
A0	$q_u = 2 \text{ MPa}, L_{\text{socket}} = 0$
A1	$q_u = 2 \text{ MPa}, L_{\text{socket}} = 1.67B$
A3	$q_u = 2 \text{ MPa}, L_{\text{socket}} = 5B$
A6	$q_u = 2 \text{ MPa}, L_{\text{socket}} = 10B$
B0	$q_u = 15 \text{ MPa}, L_{\text{socket}} = 0$
FF	Free Field

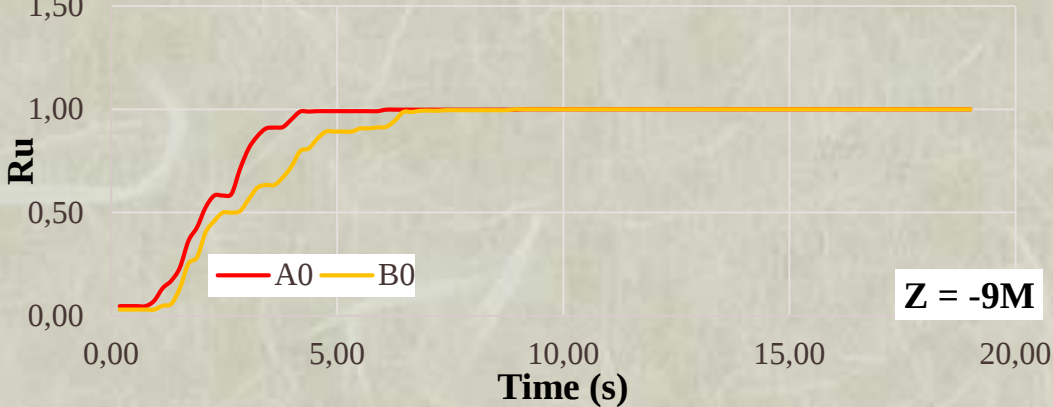
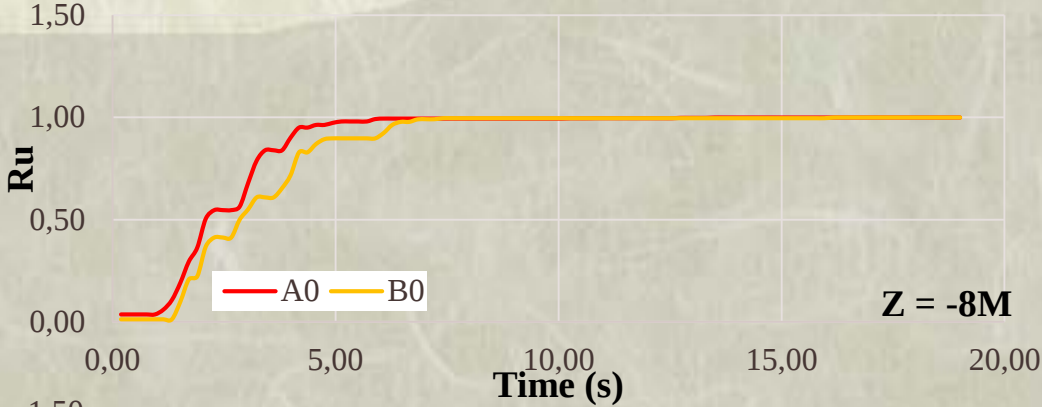
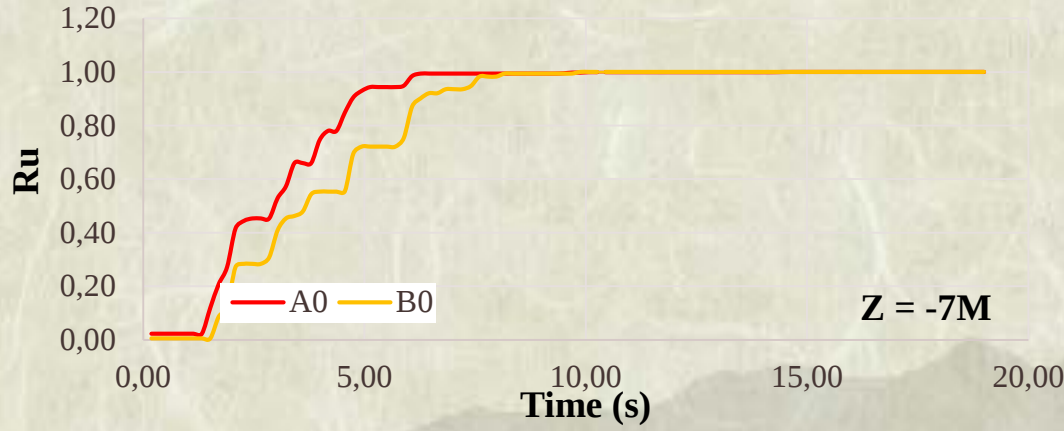
JG Kolon Tek Eksenli Basıncı Dayanımının Etkisi



Analyses Name

Description

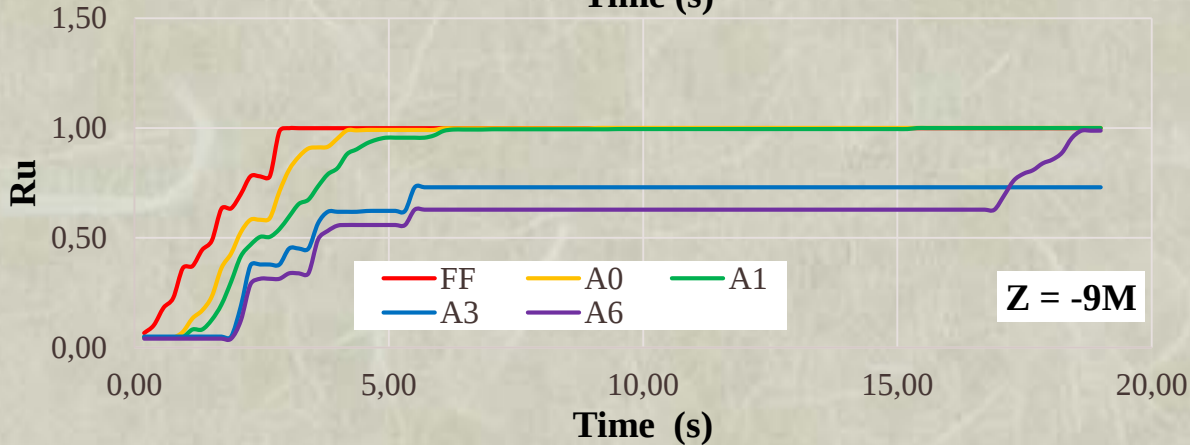
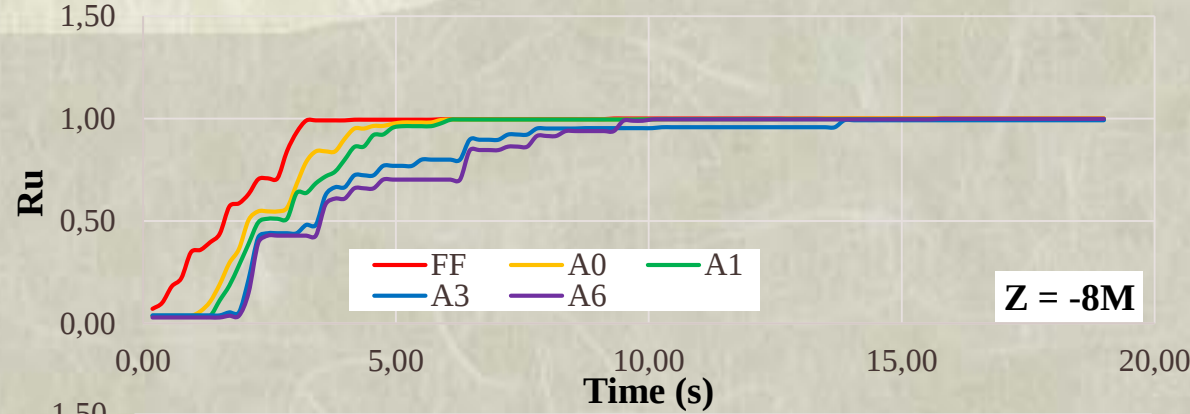
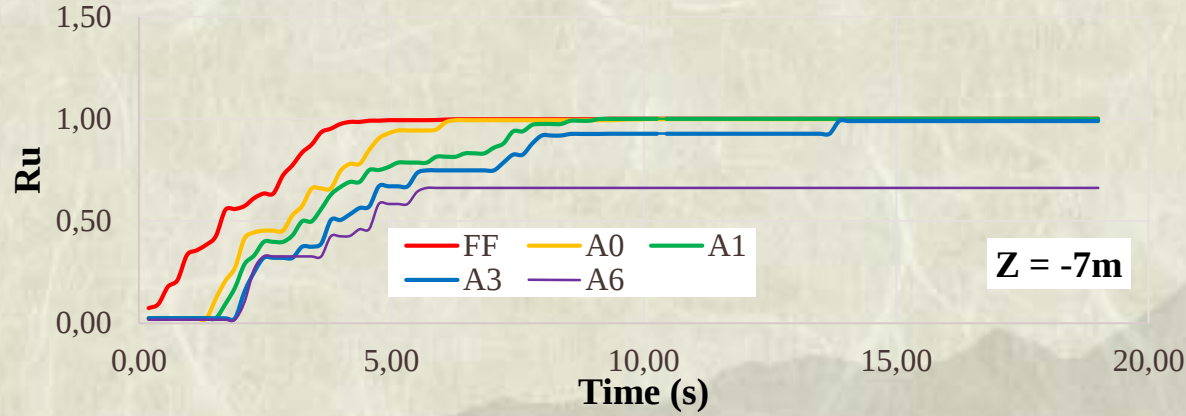
A0	$q_u = 2 \text{ MPa}, L_{\text{socket}} = 0$
A1	$q_u = 2 \text{ MPa}, L_{\text{socket}} = 1.67B$
A3	$q_u = 2 \text{ MPa}, L_{\text{socket}} = 5B$
A6	$q_u = 2 \text{ MPa}, L_{\text{socket}} = 10B$
B0	$q_u = 15 \text{ MPa}, L_{\text{socket}} = 0$
FF	Free Field



15 MPa serbest basınç dayanımı olan «B0» analizi sıvılaşmayı geciktirdi. Ancak etkisi çok belirgin değil.

Analyses Name	Description
A0	$q_u = 2 \text{ MPa}$, $L_{\text{socket}} = 0$
A1	$q_u = 2 \text{ MPa}$, $L_{\text{socket}} = 1.67B$
A3	$q_u = 2 \text{ MPa}$, $L_{\text{socket}} = 5B$
A6	$q_u = 2 \text{ MPa}$, $L_{\text{socket}} = 10B$
B0	$q_u = 15 \text{ MPa}$, $L_{\text{socket}} = 0$
FF	Free Field

JG Kolon Soket Boyunun Etkisi



R_u

Sonuçlar, soket uzunluğu arttıkça R_u parametresinin azaldığını göstermektedir.

Analyses Name	Description
A0	$q_u = 2 \text{ MPa}$, $L_{\text{socket}} = 0$
A1	$q_u = 2 \text{ MPa}$, $L_{\text{socket}} = 1.67B$
A3	$q_u = 2 \text{ MPa}$, $L_{\text{socket}} = 5B$
A6	$q_u = 2 \text{ MPa}$, $L_{\text{socket}} = 10B$
B0	$q_u = 15 \text{ MPa}$, $L_{\text{socket}} = 0$
FF	Free Field

- ❖ Yüksek modüllü kolon uygulamalarında kalite kontrolü çok önemlidir. Uygulama derinliği boyunca çap ve boy kontrolü yapılmalıdır. Deneme kolonları bu kapsamda önem taşır.

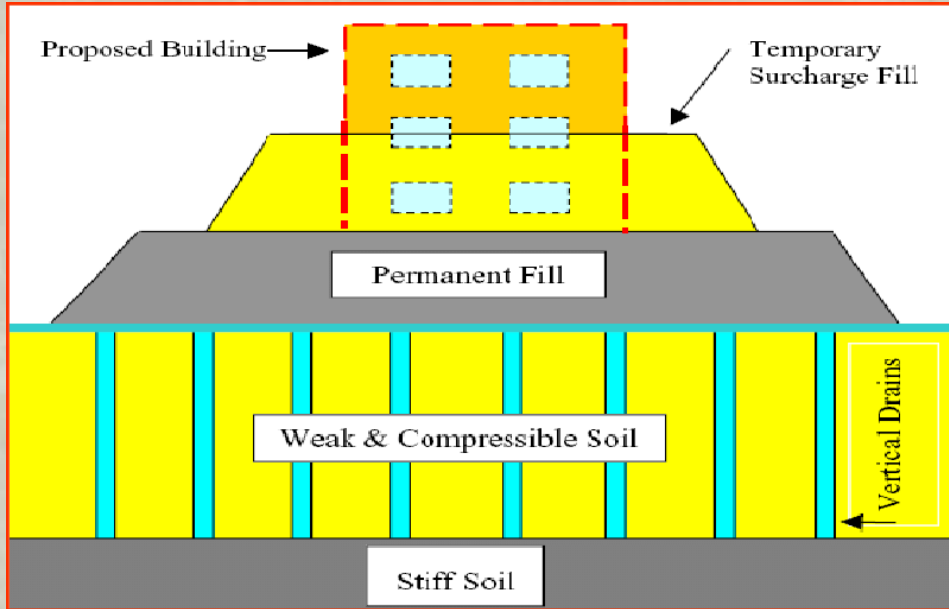


Yanılıcı kalite kontrol uygulamalarına iki örnek

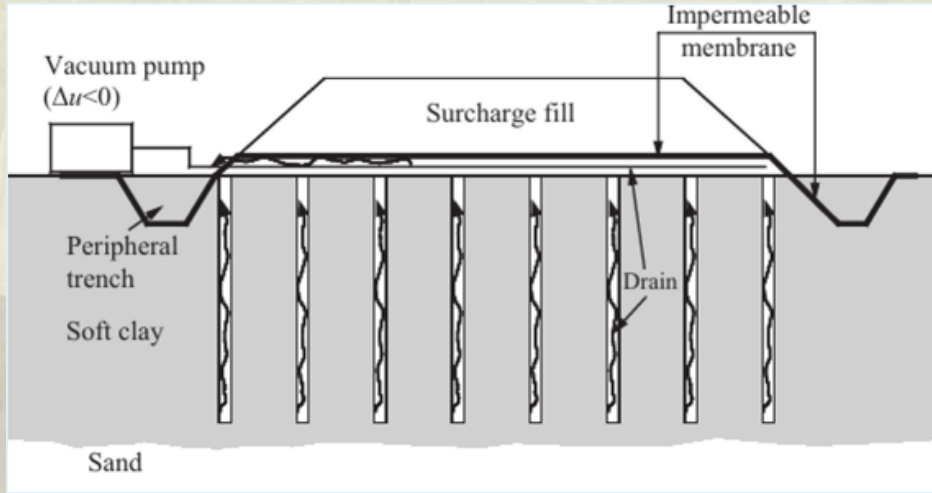
❖ Boşluk Oranının Düşürülmesi

- Önyükleme

Önyükleme ile zeminin maruz kalacağı yükün bir kısmını veya tamamını uygulanarak bu yük altında sıkışmasını tamamlaması beklenir. Konsolidasyon sürecinden geçecek düşük permeabiliteli zemin tabakaları mevcutsa geodren veya taş kolon yapılmadan önyüklemenin tamamlanması çok uzun zaman alır.



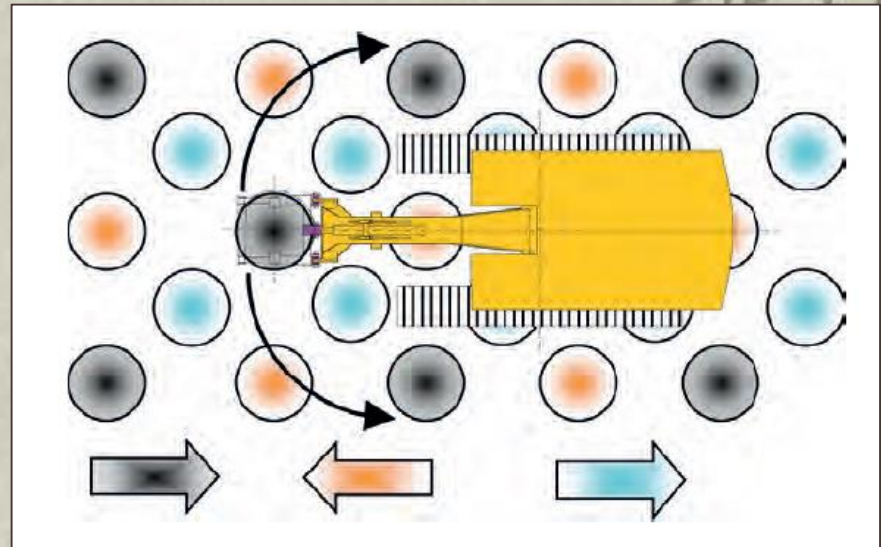
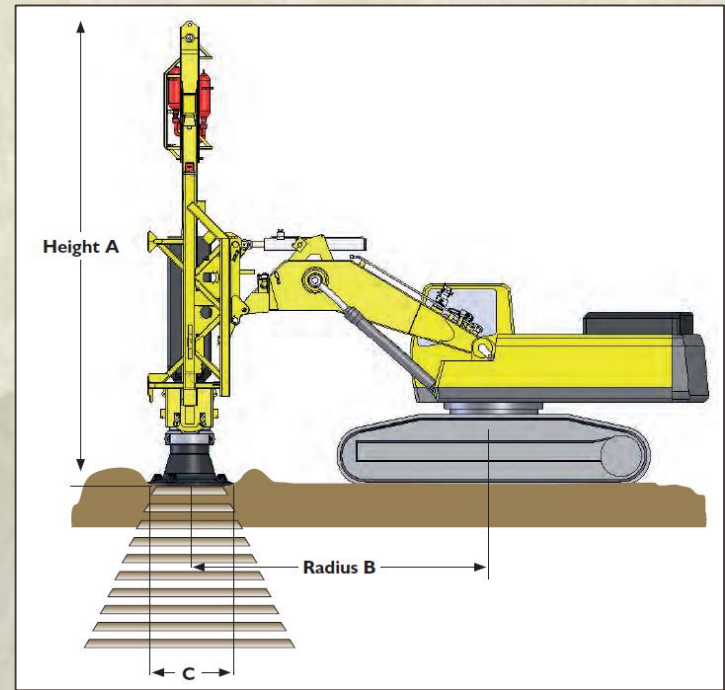
- ❖ Vakum konsolidasyonu geodrenler ile birlikte kullanıldığında fiziksel dolgu ihtiyacını azaltır ve konsolidasyon süresini makul sürelerle indirir.



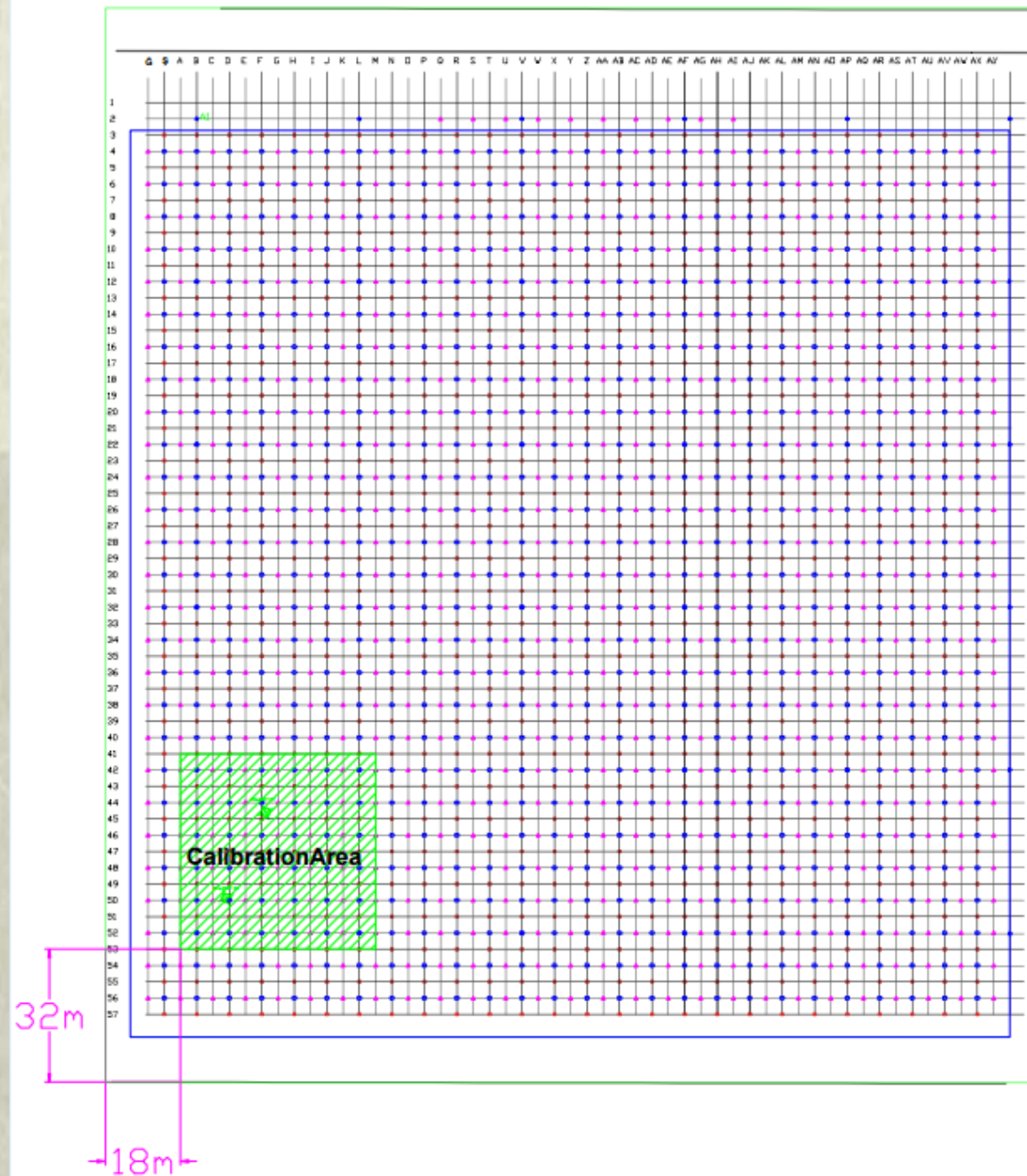
Dinamik Sıkıştırma

Dinamik sıkıştırma sıvılaşma potansiyeli taşıyan kumlu zeminlerde uygulanabileceği gibi iri bloklar içeren heterojen kontrolsüz dolguların sıkışma potansiyelinin düşürülmesi ve taşıma kapasitesinin artırılması için de kullanılabilir. Yakın komşuluğunda bina bulunmayan sahalar ve büyük alanlar için uygundur.

Vincin frenleme mekanizması sağlıklı bir imalat için hayati derecede önem taşır. Sıkıştırma sonrasında oluşan kraterler doldurulur ve «ütüleme» denilen faz sırasında sıkıştırılır. Suyu doygun kohezyonlu zeminlerde dinamik yer değiştirme yapılır. Sıkıştırma derinliği üzerinde düşürülen ağırlık, grid aralığı ve zemin türü etkili olmaktadır.









Aşırı boşluk suyu basıncı gelişiminin sınırlandırılması

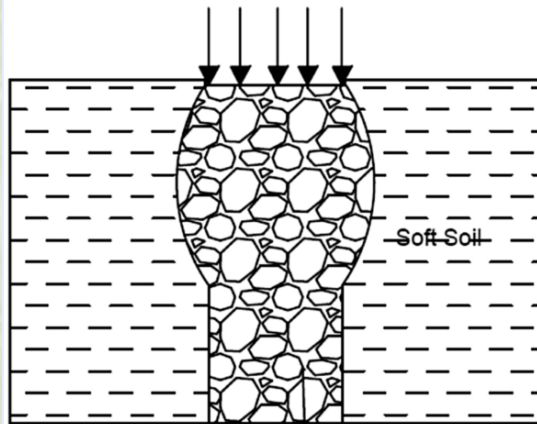
Taş kolon ve geodrenler dinamik yükleme sırasında kumlu zeminlerde aşırı boşluk suyu basıncı gelişimini yüksek permeabiliteleri nedeniyle sınırlayabilirler.

Geodrenlerin taşıyıcı özelliği bulunmadığından tasarım ve uygulama esasları daha sadedir.

Taş kolonların yumuşak kil tabakaları içinde deformasyon «göbeklenme» yapması mümkündür. Buna karşın geosentetik sargılı taş kolon tekniği geliştirilmiş ve olumlu performansı bilimsel yayınlar ile desteklenmiştir. Gerekli koşullar sağlandığında taş kolon yüksek permeabilitesi ile boşluk suyu basıncı gelişimini sınırlayacağı gibi yük taşıma özelliği de sergileyebilir.



Applied Loading

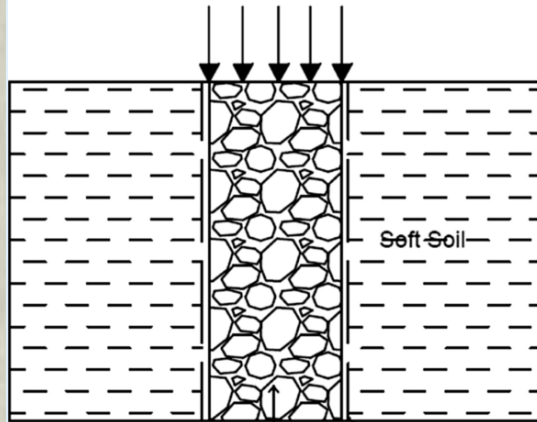


Stone Column

Ordinary Stone Column

(a)

Applied Loading



Stone Column

Encased Stone Column

(b)

Construction Sequence - Bottom Feed Process



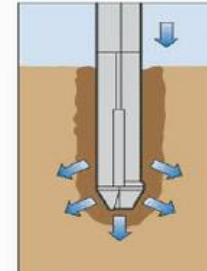
1

With the vibracat stabilised on hydraulic outriggers, the leaders are elevated to the vertical and the vibrator located on the ground at the stone column position. The skip is charged with stone.



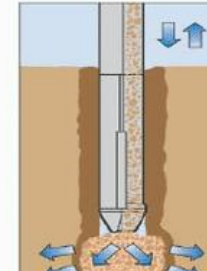
2

The skip travels up the leaders and automatically discharges stone into the reception chamber at the top of the vibrator.



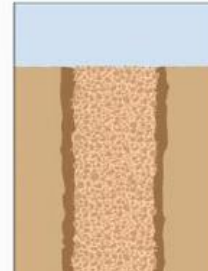
3

The vibrator penetrates the weak soils to the design depth under the action of the vibrations, compressed air and pull-down winch facility.



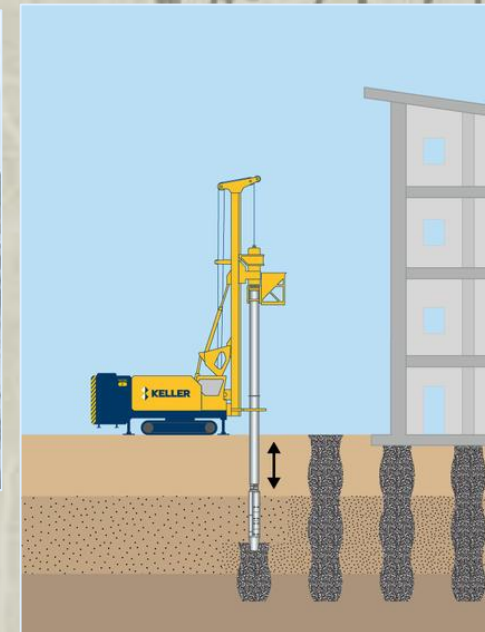
4

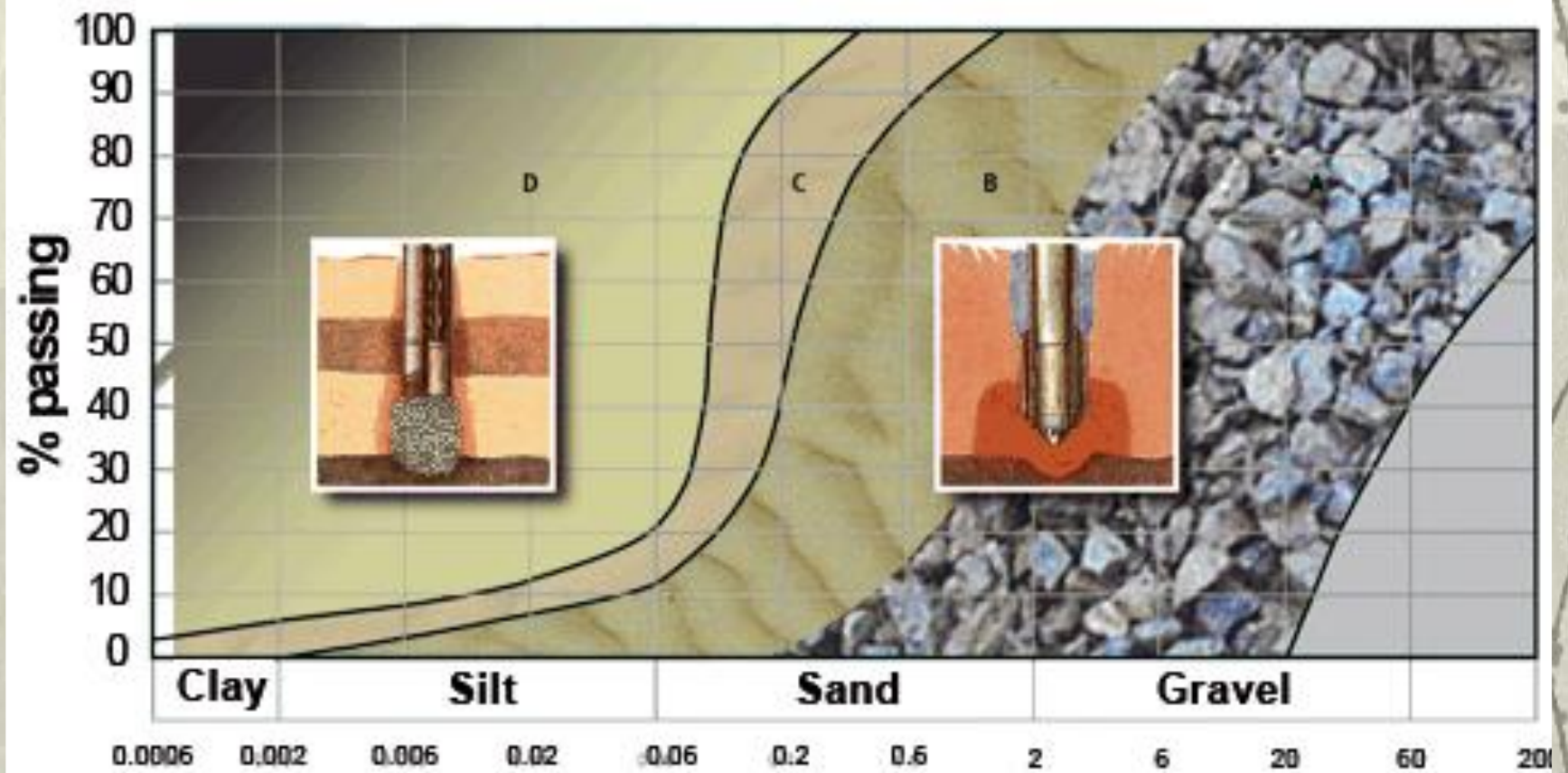
At the required depth, stone is released and compacted by small upward and downward movements of the vibrator, the pull-down being employed on the downward compacting action.

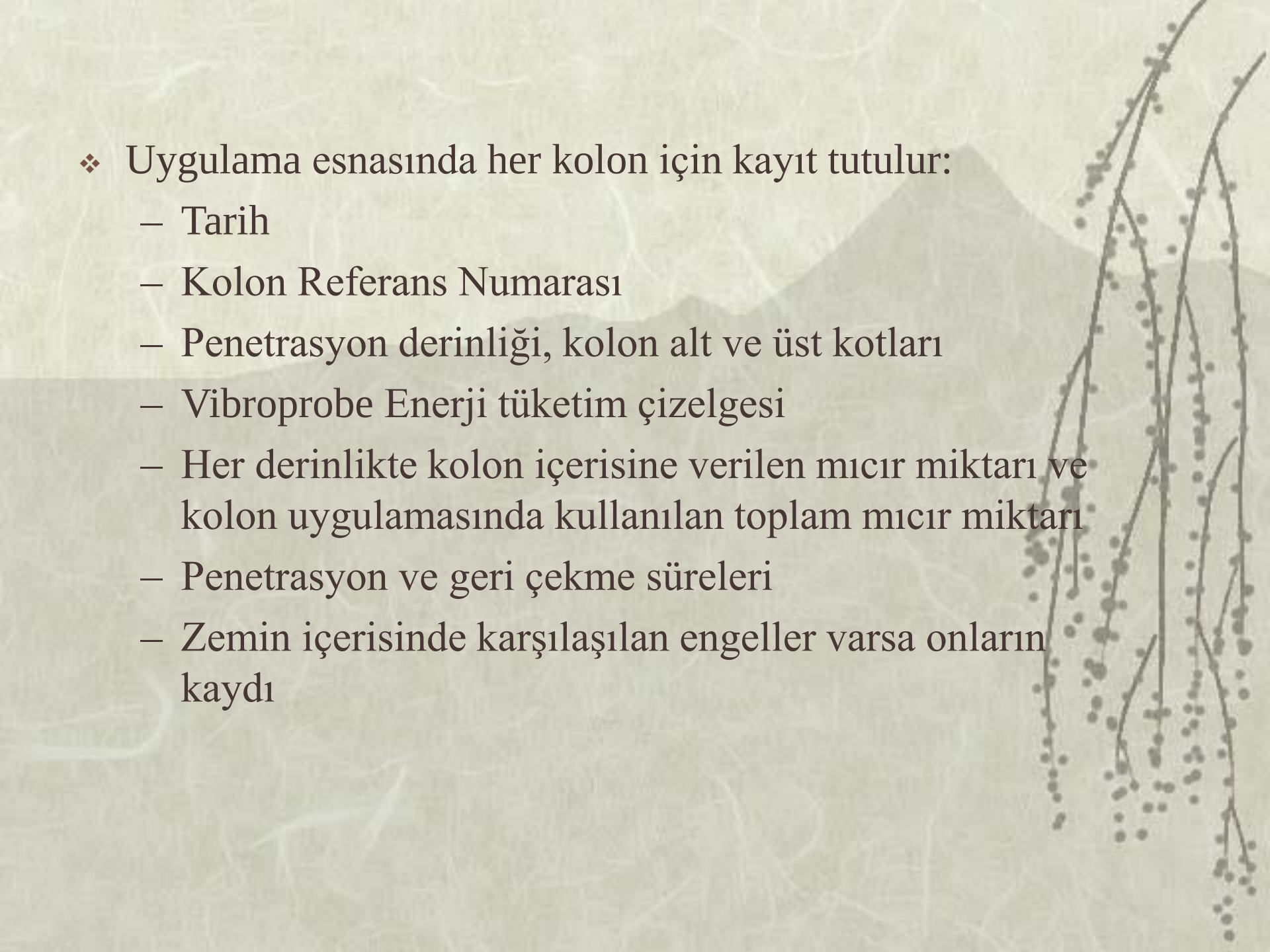


5

With stone being added to the system as necessary at any stage of the construction procedure, a stone column of very high integrity, tightly interlocked with the surrounding soil, is built up to ground level.



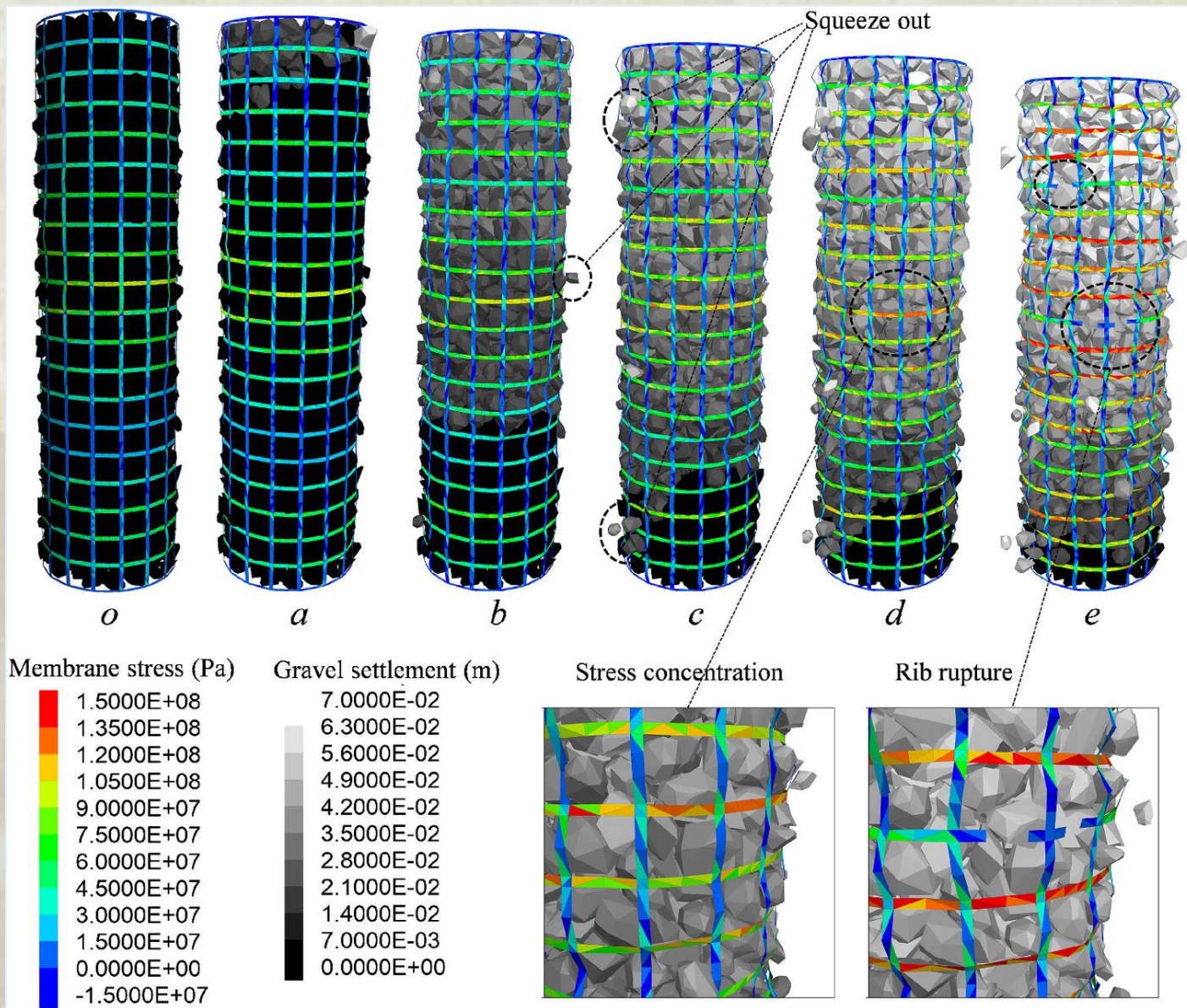


- 
- ❖ Uygulama esnasında her kolon için kayıt tutulur:
 - Tarih
 - Kolon Referans Numarası
 - Penetrasyon derinliği, kolon alt ve üst kotları
 - Vibroprobe Enerji tüketim çizelgesi
 - Her derinlikte kolon içerisine verilen mıcır miktarı ve kolon uygulamasında kullanılan toplam mıcır miktarı
 - Penetrasyon ve geri çekme süreleri
 - Zemin içerisinde karşılaşılan engeller varsa onların kaydı

- İstenilen derinliğe inildikten sonra zemin içine indirilen iri daneli malzeme ve zemin sıkıştıkça vibratörün çektiği amperage artar.
- Çoğunlukla ilk kolon uygulamaları ve yükleme testlerini müteakiben sistem kalibre edilir ve hedef kalite kontrol kriteri belirlenir.
- Her kademedede gerekli ampere ulaşıldıkça probe bir üst kota çekilir.
- ❖ Bu işlem ve kullanılan enerji ile sarf edilen iri daneli malzeme hacmi sürekli olarak kayıt edilir.

Kontrol sistemi









Teşekkür ederim.

