

YÜKSEK MODÜLLÜ KOLONLARIN TEMEL MÜHENDISLIGİNDE KULLANIMI

H.Turan Durgunoglu¹

Altinci Ord. Prof. Dr. Ing. Hamdi Peynircioglu Konferansi

ÖZET

Çesitli infaat mühendisligi yapılarının geoteknik ve sismik risklerinin degerlendirilmesi sonucu gerekli görülen zeminin iyilestirilmesi ve güçlendirilmesi için kullanılan yöntemler tartisilmistir. Bu metodlardan ülkemizde yaygın bir kullanımı bulunan yüksek modüllü jetgrout kolonların temel mühendisliginde çesitli kullanımları, imalat parametreleri, kalite kontrol ve proje kriterlerinin tahkik deneyleri açıklanmıştır. Deprem yükleri altında zeminlerin sivilasmaya karsi güvenlik faktörlerinin hesap yöntemleri açıklanmış ve Chinese kriterinin ince daneli zeminler için geçerligi tartisilerek getirilen yeni bir öneri üzerinde durulmuştur.

Yüksek Modüllü Jetgrout kolonların sivilasma riskini azaltmada kullanımı detaylı olarak konu edilmiş, bu kullanıma ait gelistirilen bir tasarım metodu özetlenmiştir. Gelistirilen bu metodun özellikle 17 Agustos 1999 Depremi öncesi kısmen uygulandığı Izmit Carrefour-SA ticaret merkezi bir vaka analizi olarak incelenerek, metodun geçerligi kanıtlanmıştır.

1. GIRIS

Çesitli infaat mühendisligi yapılarının gerçekçi ve ekonomik temel ve temel zemini mühendislik tasarımları, ancak detaylı bir geoteknik modelleme sonucu gerçekleştirilebilir. Bu modelleme için zemin cinsine bağlı olarak gerek arazide gerekse laboratuarda etüd ve ölçümler yapılmaktadır. Bu tebligın konusunu teskil eden sismik aktivitenin ülkemiz gibi yüksek olduğu yerlerde statik yüklere paralel olarak zeminlerin tekrarlı yükler altındaki davranışının modellenmesi de büyük önem tasırmaktadır. Bu gaye ile arazide entegre SPT, CPT ve jeofizik yöntemler içeren, laboratuarda ise dinamik ve üç eksenli deneyleri de içeren bir program uygulanabilir, Durgunoglu ve dig. (2004a). Bu takdirde, çesitli geoteknik ve sismik risklerin degerlendirilmesi için gerekli geoteknik modelleme gerçekleştirilmiş olmaktadır.

Böyle bir geoteknik model ile literatürde olusturulan yöntemlerle zeminlerin deprem yükleri altında sivilasmaya karsi olan dirençleri, deprem sırasında meydana gelen kayma gerilmelerinin hesap yöntemleri ile beraber degerlendirildiğinde sivilasmaya karsi güvenlik katsayısı hesaplanabilmektedir, Seed ve Idriss (1971).

¹ Prof. Dr., Bogaziçi Üniversitesi Infaat Mühendisligi Bölümü, durgunoglut@zetas.com.tr

Çesitli mühendislik yapılarına ait temel mühendisliği tasarımlarında gerek üst yapı yüklerinden ve gerekse yapıya ait olan deplasman kriterlerinden ve/veya yukarıda açıklanan sismik risklerden dolayı, derin temel sistemleri veya zeminin islah edilmesi ve güçlendirilmesi söz konusu olabilmektedir. Bu gaye ile inşa edilen temel sistemleri “Rigid Foundation Systems-RFS”, “Controlled Modulus Foundation Systems-CMFS” ve “Deformable Foundation Systems-DFS” olarak tanımlanabilir. Rijit sistemler örneğin kazıklar ile deforme olabilen sistemler örneğin tas kolonlar literatürde bugüne kadar detaylı olarak çeşitli yönleri ile etüd edilmiş ve değerlendirilmiştirlerdir. Bu tebliğin ana teması özellikle ülkemizde son on sene içinde büyük bir uygulama sahəsi bulan Kontrol Modüllü Temel Sistemi bünyesine giren Yüksek Modüllü Jetgrout Kolonların temel mühendisliğinde kullanımı olacaktır.

Jetgrout kolonların temel mühendisliğindeki çeşitli kullanımları, imalat yöntemleri, imalat parametreleri, kalite kontrolü ve proje kriterlerinin sağlanması konuları detaylı olarak ve ülkemizdeki uygulamalarından örneklerle değerlendirilmiştir. Jetgrout kolonların zeminlerde sivilasmaya karşı güvenlik faktörünü arttırmada kullanımına ait son senelerde geliştirilen bir hesap metodu da açıklanmıştır.

Bu metodun 17 Ağustos 1999 depremi öncesi kullanıldığı İzmit Carrefour-SA ticaret merkezi vaka analizi ile yöntemin geçerliliği gösterilmiş ve ayrıca ince daneli zeminlerde son senelerdeki gelişmeler ışığı altında sivilasmaya yönelik Chinese kriterinin değiştirilmesi gerekliliği vurgulanmıştır.

2. YÜKSEK MODÜLLÜ KOLON TANIMI

Çesitli inşaat mühendisliği yapılarının temel tasarım ve uygulamalarında, çeşitli maksatlarla zemin içinde, muhtelif yöntemler kullanılarak, yapısal (tasiyici) elemanlar teskil edilmektedir. Genellikle teskil edilen bu yapısal elemanları, elemanın deformasyon modülüne bağlı olarak üç ana grupta toplamak mümkündür.

- Rijit Kolonlar-Rigid Foundation Systems-RFS. Bu tanıma çeşitli yöntemlerle ve malzemelerle inşa edilen kazıklı temeller girmektedir. Betonarme çakma kazıklar, fore kazıklar, mini kazıklar vb. bu gruba dahil edilebilir. Bu temel sisteminde üst yapıdan intikal eden yükler tamamen rijitliği yüksek çeşitli çap ve boydaki kazıklar tarafından uç ve/veya çevre direnci ile tasınır. Yatay yüklerin tasınması için tercihan zemine oturan kazık başlıkları ve/veya yatay tasiyici elemanları-döşeme teskil edilir. Betonarme bir kazık için beton kalitesine, inşa metoduna bağlı olmakla beraber deformasyon modülü, $E_{kl}=25,000$ Mpa olarak kabul edilebilir. Bu takdirde zemine göre modül oranı $E_{kl}/E_s \sim 1000-6000$ olarak alınabilir.

- Yüksek Modüllü Kolonlar-Controlled Modulus Foundation System -CMFA. Mevcut zeminin yerinde bir katkı malzemesi ile karıştırılarak bir kolon teskil edilmesi halinde oluşan kolonlardır. Katkı malzemesi olarak genellikle çimento serbeti (çimento-su karışımı) kullanılmaktadır. Çok yumuşak ve hassas İskandinav ülkelerinin killerinde, özellikle İsveç'te kireç veya belirli oranlarda kireç-çimento karışımı da kullanılmaktadır. Mevcut zemin çimento ile mekanik karıştırıcılar vasıtasıyla karıştırılması halinde yöntem “deep-mix” olarak tanımlanır. Bu yöntemin uygulanması ile ilgili detaylı bilgiler, Porbaha ve diğ. (2001) tarafından verilmiştir. Kolonların diğer bir teskil yöntemi ise mevcut zeminin önce özel delgi makinesi ile delinmesi ve bilahare yüksek basınçta 400-500 bar çimento serbetinin jetlenerek, zeminin yerinde parçalanarak karıştırılması ve kullanılan özel tij ve

monitörün belirli bir hızla döndürülerek yukarı çekilmesi suretiyle yerinde silindirik kolon teskil edilmektedir. Bu in-situ metodu ise jetgrout yöntemi olarak adlandırılmaktadır.

Her iki metotla teskil edilen zemin-çimento karışımı, zaman içinde priz yaparak “soilcrete” adını verdığımız belirli mekanik özellikleri olan kolonu meydana getirmektedir. Ortaya çıkan kolonun mekanik ve geometrik özellikleri yapım yöntemine bağlı olduğu gibi, her bir yöntemdeki değişken uygulama parametre ve donelere de bağlıdır. Her iki yönteme ait detaylı bilgiler, Yinekara ve diğ. (1996), ASCE (1997), Davies ve Schlosser (1997) ve Gouvenont (1998)’de detaylı olarak verilmektedir.

“Jetgrout” yöntemi ülkemizde özellikle son on sene içinde çok yaygın olarak ve çeşitli temel mühendisliği uygulamalarında kullanılmaktadır. Metodun ülkemizdeki ilk kullanımı Mut (1987) tarafından rapor edilmiştir. Togrol (1994) ülkemizdeki jetgrout kullanımı ile ilgili çeşitli uygulamalardan örnekler vermiştir.

Olusan ‘soilcrete’ mekanik özellikleri, serbest basınç mukavemeti R_f -Mpa, deformasyon modülü E_{jg} -Mpa diğer uygulama parametreleri ile birlikte mevcut zeminin cinsi ve su-çimento oranı ile kontrol edilmektedir. Aşağıda Tablo 1’de özetlenen çeşitli zeminler için soilcrete deformasyon-modülü ortalama $E_{jg} \sim 500-12,500$ Mpa olarak alınabilir. Bu takdirde zemine göre kolon deformasyon modülü oranı $E_{jg}/E_s \sim 10-250^+$ olarak verilebilir.

Tablo 1. Zemin Cinsine göre Soilcrete Serbest Basınç Mukavemeti ve Modülü

Zemin Cinsi	Serbest Basınç Mukavemeti, f_{jg} , Mpa	Modül Oranı ^(*) , E/f_{jg}
Kil	2-5	150
Silt	3-7	200
Kum	7-14	600
Çakıl	12-18	900

^(*) %40 gerileme seviyesine tekabül eden modül

Böyle bir sistemde üst yapıdan veya deprem kayma dalgalarından zemine intikal eden yükler bu kolon elemanları ve zemin ile birlikte müstereken taşınmaktadır. Deformasyon şartından dolayı rijitliği fazla olan kolon elemanları yüklerin büyük bir kısmını taşıyabilmektedir.

• Deforme Olabilir Kolonlar –Deformable Foundation Systems -DFS. Bu sistemde zemin içinde rijitliği zeminin deformasyon modülüne daha yakın elemanlar teskil edilmektedir. Gerek ıslak (wet) veya kuru (dry), yukarıdan (top-feed) veya aşağıdan (bottom-feed) beslenen “vibro-soil replacement” metodu gerekse ucunda bir çelik tapa bulunan muhafaza borusunu zemine çakmak ve olusan boşluğa tas doldurarak yerinde titre etmek suretiyle inşa edilen tas kolonlar (stone columns) bu gruba girmektedir. Ülkemizdeki tas kolon uygulamalarına ait çeşitli vaka analizleri, Ergun (1992), Durgunoglu ve diğ. (1995b), Akdoğan ve diğ. (1996), ve Düzceer ve Gökalp (2002) tarafından verilmiştir. Ülkemizde, tas kolon imalatında diğer ülkelerde geleneksel ve yaygın olarak kullanılan ‘vibro-replacement’ tekniği ve bu tekniğe ait özel vibratör ve besleme ünitelerini içeren teknolojinin bugüne kadar çok sınırlı kullanıldığı görülmektedir.

Tas kolonlara ait deformasyon modülleri, sıkılaşmaya ve taşın granülmetresine bağlı olarak $E_{ki}=40-80$ Mpa olarak alınabilir. Bu ise zemine göre $E_{ki}/E_s \sim 4-10$ oranına tekabül etmektedir.

Tas kolonlar yüksek hidrolik geçirgenlikleri dolayısıyla, zemin içinde aynı zamanda dren olarak görev yapabilmektedir. Ayrıca, tas kolonların teskili sırasında kolonlar arasındaki zemin de sıkıştırdığından kolon teskili sonrası ara zeminde kısmen ıslah edilmiş olmaktadır. Bu iki husus, bu tip kolonların deprem yükleri altında sivilasmaya karşı güvenlik katsayısının artırılmasında dünyada çok yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. Ancak tas kolonlar sınırlı rijitlikleri dolayısıyla statik ve deprem yükleri altında özellikle zayıf killi ve siltli zeminlerde düşük yanıl zemin direnci dolayısıyla kolayca deforme olabilmekte ve böylece üst yapıda arzu edilmeyen düzey toplam ve farklı deplasmanların oluşmasına neden olabilmektedir.

3. JETGROUT İLE KOLON TESKİLİ

Ülkemizde yaygın olarak kullanımı nedeni ile bu teknoloji ile teskil edilen yüksek modüllü kolonlar ile ilgili ilave açıklamalar bu bölümde yapılmaktadır. Jetgrout metodunda, imalatta yer alan üniteler, çimento silosu, karışım ünitesi, yüksek basınç pompası, su pompası, hava kompresörü ve delgi makinesi olarak sıralanabilir.

Bir kolon, belirli bir derinliğe kadar su kullanılarak delgi yapılması, delginin sona erdirilmesini müteakip suyun tahliye olduğu nozulun kapanarak tijin ucunda yer alan jetleme monitörünün üzerindeki nozullardan yüksek basınç altında çimento serbetinin jetlenmesinden ibarettir. Jetleme sırasında tijler belirli bir hızla döndürülmekte ve belirli bir hızla da zemin içinde aşağıdan yukarıya doğru çekilmektedir. Böylece, belirli bir çapta ve boyda zemin içinde silindirik bir 'soilcrete' kolon teskil edilmektedir.

Jetgrout sisteminde kullanılan imalat parametreleri

- Jet sistemi (Jet-1, Jet-2, Jet-3)
- Enjeksiyon Basıncı (Bar)
- Nozul Sayısı ve Çapı (rpm)
- Tij Dönme Hızı (rpm)
- Tij Çekme Hızı (cm/dak)
- Su/Çimento Oranı
- Pompa Kapasitesi (lt/dak)

olarak sıralanabilir. Bu parametrelerin tipik değerleri Tablo 2'de verilmektedir.

Jetgrout uygulaması sonucu seçilen sisteme ve zemin cinsine bağlı olarak oluşan kolon çapı değişken olmaktadır. Kolon çapı jetleme esnasında çimento yanında, hava ve su kullanmak suretiyle artırılmaktadır. Ülkemizde genellikle yaygın olarak Jet-1 ve Jet-2 sistemleri kullanılmaktadır.

Tablo 2 – Jetgrout İmalat Parametreleri, Lunardi, 1977

SİSTEM	ENJEKSİYON TİPİ	BASINÇ (bar)	NOZUL ADEDİ VE ÇAPI (adet, mm)	ÇEKME HIZI (cm/dak)	DÖNME HIZI (rpm)	SU/ÇİMENTO ORANI	POMPA KAPASİTESİ (lt/dak)
JET 1	ÇİMENTO	400 - 550	1-2 x 2-5	15 -100	5 - 15	1.0 - 1.5	70 - 600
JET 2	ÇİMENTO	400 - 550	1-2 x 2-5	10 - 30	4 - 8	1.0 - 1.5	70 - 600
	HAVA	10 - 12	-	10 - 30	-	-	4000 - 10 000
JET 3	ÇİMENTO	50 - 100	1-2 x 4-5	6 - 15	4 - 8	1.2 - 1.5	80 - 200
	HAVA	10 -12	-	6 - 15	-	-	4000 - 10 000
	SU			6 - 15	-	-	40 - 100

4.JETGROUT KALİTE VE PROJE KRİTER KONTROLLERİ

Jetgrout kalite kontrolü yöntemi ve kriterleri detaylı olarak Togrol (1998) tarafından verilmiştir. Ülkemizdeki çeşitli uygulamalara ait kalite kontrolü ile ilgili vaka analizleri Candogan ve dig. (2000), Durgunoglu ve dig. (2000a), Gökalp ve Düzceer (2002), Düzceer ve Gökalp (2003) tarafından rapor edilmiştir.

- **Kolon Çapı:** Bu kapsamda en önemli parametre oluşacak kolon çapıdır. Genellikle elde edilmesi gereken minimum kolon çapı proje kriteri olarak belirlenir. Seçilen sistem parametreleri ile bu çapın oluşup oluşmadığı kolonların etrafı açılarak çeşitli seviyelerde çevrelerinin ölçülmesi suretiyle tespit edilir. Farklı zemin tabakalasmaları olan yerlerde ince daneli zeminlerde seçilen parametreler altında en küçük çap oluşacağından tasarım, bu çap esas alınarak yapılır.

Yinekara ve dig. (1996) jetgrout ile ilgili raporda Japonya’da uygulanmaya başlayan ve Collision-Jet adı verilen iki ayrı nozuldan çıkan serbetin tıjden belirli bir mesafede bir noktada kesilmesi haline tekabül eden sistemde, jet enerjisi tıjden o mesafede tamamen son bulduğundan her zeminde uniform bir çap elde edilmektedir. Bu teknolojinin uygulamasına ülkemizde halen başlanmamıştır.

- **Kolon Boyu:** Uygulanan jetgrout kolonların boyları, kazıklardakine benzer şekilde ülkemizde de yaygın olarak kullanılan integrity deneyi ile tespit edilebilmektedir.
- **Kolon Basınç Mukavemeti-Deformasyon Modülü f_{jg} (Mpa)- E_{jg} (Mpa):** Genellikle soilcrete kolonlardan arazide alınan silindirik numuneler üzerinde laboratuvarda yapılan serbest basınç deneyi ile tespit olunur. Numuneler uygulama esnasında kolon yas iken piston numune alıcı veya prizini almış kolon üzerinde karot numune alınarak yapılır (Durgunoglu ve dig. 2003). Serbest basınç deneyinde tercihan deformasyonlarda ölçülerek deformasyon modülü, E_{jg} tayin edilir, Sağlamer ve dig. (2002).
- **Kolon Kayma Mukavemeti, τ_{jg} (Mpa):** Özellikle jetgrout kolonların sivilasma riskine karşı teskil edilmeleri halinde kolon kayma mukavemeti önem arz etmektedir. Teskil edilen kolonun kesme kuvveti direnci, V_{jg} deprem sırasında her bir kolon tarafından tasınan kesme kuvvetinden büyük olması gerekir. (A_{jg} = kolon kesit alanı).

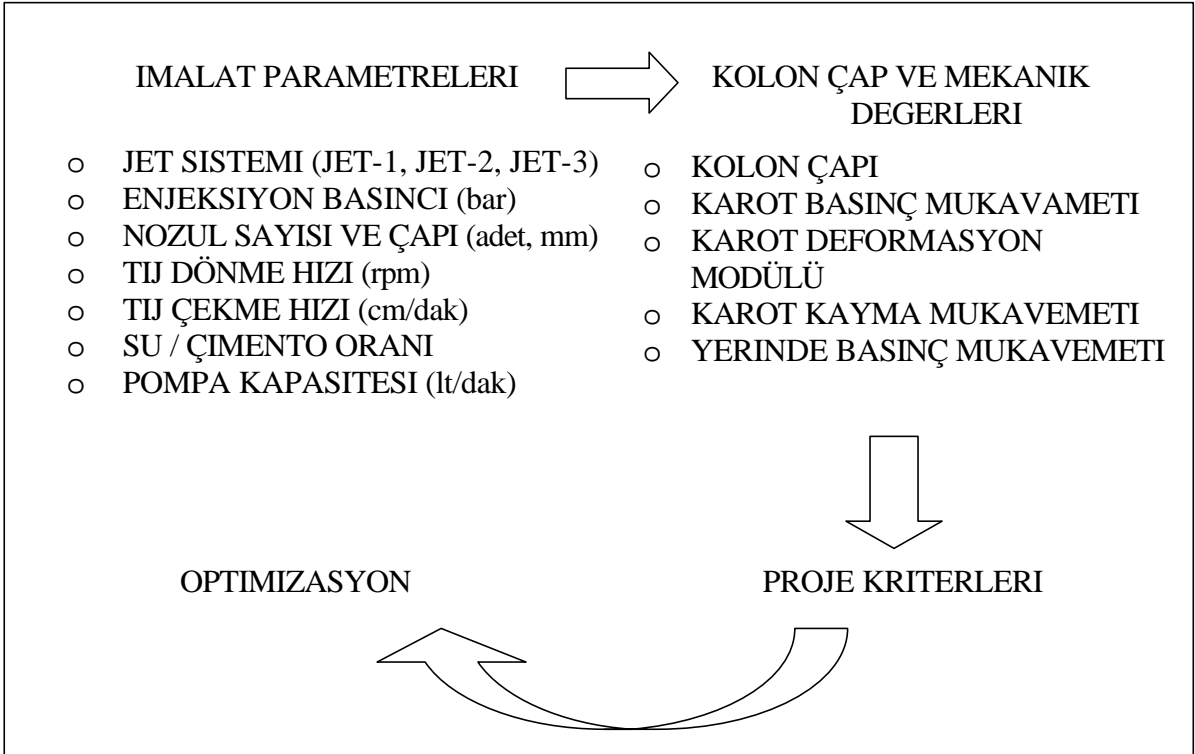
$$V_{jg} = t_{jg} \times A_{jg}$$

Amirik olarak τ_{jg}

$$t_{jg} = 0.3 \times \sqrt{fg'}$$

bagintisi ile bulunabilmektedir.

- **Kolon Yükleme-Basınç/Çekme Deneyi:** Herbir kolon tarafından tasınması öngörülen proje yükleri, kolon yükleme deneyleri ile kontrol edilir. Uç direncinin ihmal edildiği durumlarda kolon içine çekme donatısı yerleştirmek suretiyle çekme deneyi yapılması tercih edilir. Basınç deneyi tek bir kolon üzerinde Durgunoglu ve dig. (2003) veya bir grup kolon üzerinde bölgesel yükleme deneyi olarak teskil edilebilir.
- **Proje Kriterlerinin Kalibrasyonu:** Her önemli jetgrout uygulamasında seçilen proje kriterlerinin, özellikle kolon çap ve mukavemet değerlerinin arazide yapılacak ön kalibrasyonu çalışmaları sonucu değerlendirilmesi önerilmektedir. İmalat parametrelerindeki değişiklikler, sonuç kolon özelliklerini belirleyeceğinden Sekil 1’de özetlenen yöntemlerin uygulanarak proje kriterlerini sağlayan sistem parametrelerinin optimum değerlerinin tespiti yapılabilmektedir.

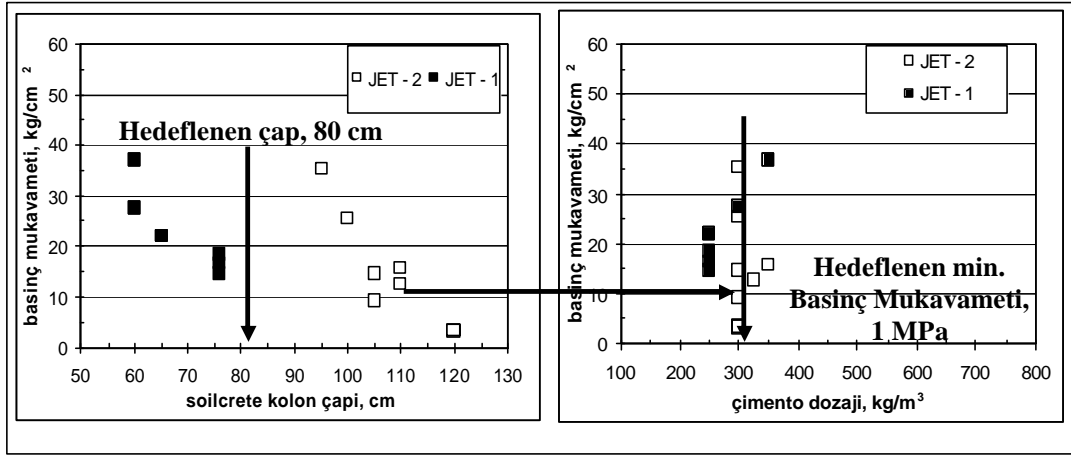


Sekil 1. Proje Kriterlerinin Sahada Ön Kalibrasyonu, Kontrol, Optimizasyonu

Buna ait ülkemizdeki BAT-Tire Sigara Fabrikasından örnekler verilmektedir. Çeşitli sistem parametrelerine ait 10 adet ön kalibrasyon çalışması Tablo 3’de özetlenmiştir. Elde edilen proje kriterleri ise Sekil 2’de verilmektedir, Durgunoglu ve dig. (2003).

Tablo 3 – BAT Tire Sigara Fabrikasi Jetgrout Uygulaması Parametreleri

Set / jg no	Jetleme metodu	Su/ çimento oranı	Çimento Dozajı (kg/m ³)	Basınç (bar)	Çekme hızı (cm/dak)	Dönme hızı (rpm)	Nozul Çapı (mm)	Ön yıkama
1/C	Jet-2	1.0	300	400	67	20	2x2.5	Yok
2/E	Jet-2	1.2	300	450	91	20	2x3.0	Yok
3/F	Jet-1	1.0	300	500	48	20	2x2.0	Yok
4/G	Jet-1	1.0	350	500	50	20	2x2.2	Yok
5/H	Jet-2	1.0	325	400	63	20	2x2.5	Yok
6/I	Jet-2	1.0	350	400	56	20	2x2.5	Var
1'/C'	Jet-2	1.0	300	400	67	50	2x2.5	Var
6'/I'	Jet-2	1.0	350	400	56	50	2x2.2	Var
7/O	Jet-2	1.5	300	350	45	50	2x2.5	Var
8/P	Jet-1	1.5	250	550	43	50	2x2.0	Var



Şekil 2. BAT Tire Sigara Fabrikasi Elde Edilen Jetgrout Uygulaması Parametreleri

5. JETGROUT KOLONLARIN TEMEL MÜHENDİSLİĞİNDE KULLANIMI

Temel mühendisliğinde gerek diğer ülkelerdeki gerekse ülkemizdeki jetgrout kolonların çok maksatlı ve yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir, Kauschinger ve dig. (1992), Togrol (1994), Gouvement (1998), Keskin ve Çimen (2002).

Jetgrout kolonların çeşitli maksatlarla kullanımları aşağıda sıralanmıştır.

- Temeller altında, dikey yükler için basınç elemanı olarak taşıma gücü ve deplasman kontrolü
- Dösemeler altında dikey ve özellikle yüksek yayılı yükler altında basınç elemanı olarak taşıma gücü ve deplasman kontrolü
- Dolgular altında basınç elemanı olarak taşıma gücü ve deplasman kontrolü
- Köprülerde yaklaşım dolguları altında dikey dolgu yüklerinin taşınması, dolgu altında oturma kontrolü ve kenar ayak kazıklarına negatif çeper sürtünmesi intikalinin önlenmesi

- Havuzlarda, yeraltı depolarında ve su yapılarında, donatı ile teçhiz edilerek çekme elemanı olarak
- Kazılarda, ağırlık tipi istinat yapısı teskili ile yanal zemin itkilerinin alınması
- Kazılarda donatı ile teçhiz edilerek düşey eğilmeye maruz iksa elemanı olarak
- Kazılarda ve ankrajlı istinat yapılarında özel donatı ile ankraj elemanı olarak
- Geçirimli zeminlerde ve yüksek YASS ile kazılarda taşıyıcı elemanlar arasında batardos kapama elemanı olarak
- Yumuşak killerdeki kazılarda kazı öncesi kazı taban seviyesi altında teskil edilen payanda elemanı olarak
- Kazı tabanından kazıya gelecek yeraltı suyunun kontrolü için tikaç elemanı olarak
- Sevelerde stabilitenin sağlanması için zemin takviye elemanı olarak veya ağırlık batardosu teskili ile
- Yumuşak zeminde açılan yüzeye yakın tünellerde tünel üstündeki zeminin iyileştirmesi amacı ile
- Yumuşak zeminde açılan tünellerde tünel içinde ve ayna önünden yapılarak, kazı öncesi tünel kesiti üzerinde taşıyıcı bir semsiye oluşturulması amacı ile
- Önemli ve ağır yapılarda sivilasma güvenlik sayısı düşük olan yerlerde kazıklı temellere gelecek yatay yüklerin ve oluşacak deplasmanların kontrolü için, kazıklarla birlikte
- Sivilasma sonucu oluşacak zemin yanal ve düşey deplasmanlarının sınırlandırılması için yapı etrafında veya altında kapama elemanları olarak
- Sivilasma riskine karşı güvenlik sayısının artırılması, zeminde oluşan kayma gerilmelerinin bir kısmının tasınarak deprem sonucu oluşabilecek düşey ve yanal deplasmanların sınırlandırılması

Bütün bu kullanımlardan, özellikle ülkemizin aktif deprem kuşağı içinde yer alması nedeni ile son kırk sene içinde dünyadaki diğer ülkelerdeki depremlerde de güncellenen sivilasma riskinin azaltılması gayesi ile kullanıma ait metodoloji, tasarım yöntemi ve ülkemizdeki uygulamalardan 17 Ağustos 1999 Gölcük Depremine münhasır örneklemelere bundan sonraki bölümlerde yer verilmektedir.

6.SIVILASMAYA KARŞI JETGROUT YÜKSEK MODÜLLÜ KOLON KULLANIMI

Son kırk sene boyunca dünyanın dâgınlık noktalarında oluşan depremlerde Alaska 1964, Niigata 1964, Loma Prieta 1989, Kobe 1995, Gölcük 1999, Taiwan 1999 zeminlerin sivilastığı ve buna bağlı olarak çok önemli infaat mühendisliği yapı ve altyapılarında çok boyutlu hasar meydana geldiği görülmüştür.

Özellikle suya doymuş gevşek granüler zeminlerin deprem sırasında oluşan asiri boşluk suyu basıncı sonucu, efektif gerilmelerin küçülerek kayma direncini yitirmesi sonucu zeminin bir sivi gibi hareket etmesi halinin genel tanımı sivilasma-liquefaction olarak verilmektedir. Orta siki veya siki zeminler, kayma gerilmeleri altında hacim arttırmaya (dilation) yönelik davranış gösterdiğinden gerilme seviyesinin belirli bir seviyeye ulaşması ile boşluk suyuındaki artış bu tür zeminlerde gerçekleşmediği için, genellikle sivilasmaya en hassas zeminler gevşek, diğer bir deyişle düşük izafi siki siki granüler zemin katmanları olarak belirlenmektedir.

Ülkemizde özellikle 17 Ağustos 1999 depreminde Gölcük, Sapanca, İzmit, Yalova, Adapazarı gibi önemli yerleşim yerlerinde gözlenen sivilasma ile oluşan hasarlar sonucu

bazi konutların ve yapıların çökmesi neticesinde çok sayıda can kaybı olmuş ve maddi kayıp milyarlarca dolara ulaşmıştır, Youd ve diğ. (2000).

Dolayısıyla, özellikle 2000'li yıllarda ülkemizde sivilasma riskinin önemi daha da iyi kavranmış ve sivilasma riskinin belirlenmesi ve buna karşı gerekli mühendislik önlemlerinin alınması son deprem yönetmeliğinde yer almıştır.

Sivilasma sonucu oluşan düşey deplasman ve yanal yayılmalar sonucu her türlü üst ve altyapıya çok önemli ve onarılması güç hasarlar meydana gelmektedir. Kobe depreminde olduğu gibi sivilasma sonucu oluşan büyük deplasmanlar altında ve zemin mukavemetini kaybetmesi sonucu zemin içinde yer alan kazıklı temeller dahi gelen özellikle yanal ilave yükleri taşıyamaz duruma gelebilmektedir, Cubrinovski ve Ishihara (2001).

Yukarıda açıklanan büyük boyutlu deplasmanlar sivilasma sonucu olduğundan, yeni yapılacak veya mevcut bir yapıya ait taban zemininin olası bir deprem halinde sivilasmaya karşı güvenliğinin hesaplanması büyük önem taşımaktadır.

7.SIVILASMAYA KARŞI GÜVENLİK FAKTÖRÜ

Alaska ve Niigata 1964 depremlerindeki gözlem sonuçlarından ve sivilasman ve sivilasmayan yerlerdeki zeminin özelliklerinden yararlanmak suretiyle 'Basitleştirilmiş Yöntem' olarak tanımlanan metod Seed ve Idriss (1971) tarafından geliştirilmiştir. Bu arada geçen otuz aşkın yıl boyunca çeşitli teknik toplantılar düzenlenmiş ve bu metod bir sürü yönü ile geliştirilmiştir. Bu safhalara ait çalışmalar ve ilgili referanslar aşağıda özetlenmiştir.

- Seed (1979), ASCE
- Seed & Idriss (1982), EERI
- NRC (1985)
- Youd & Idriss (1997), NCEER
- Youd ve diğ.,(2001) ASCE
- Idriss & Boulanger, (2004),ASCE

Seed ve Idriss (1971)'e göre sivilasmaya karşı güvenlik faktörü, FS_1 ,

$$FS_1 = CRR/CSR$$

olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda CRR-Cyclic Resistance Ratio-Devirsel Direnç Oranı, CSR-Cyclic Stress Ratio-Devirsel Gerilme Oranı olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle, CRR zeminin sivilasmaya karşı dayanım kapasitesini, CSR ise depremde zemine uygulanan sismik etkiyi göstermektedir.

- Devirsel Gerilme Oranı-CSR Hesabı: Bu metoda göre CSR:

$$CSR = 0.65 (a_{max}/g) (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo}) r_d$$

bağıntısı ile verilmektedir. Bu bağlamda:

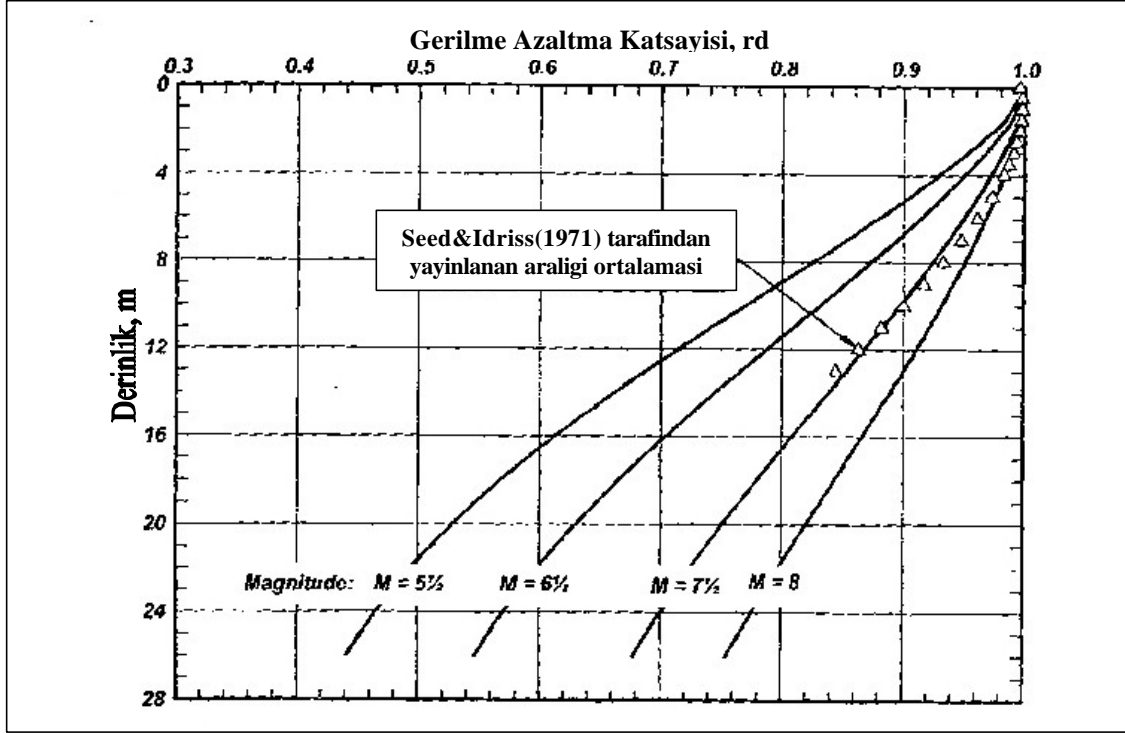
- a_{max} : Zeminde oluşan yatay ivmenin maksimum değerini
- σ_{vo} ve σ'_{vo} : Toplam ve efektif düşey gerilmeleri

rd : Derinlige bagli gerilme azaltma katsayisini

göstermektedir. Bu katsayi, derinlige bagli olarak Liao ve Whitman, 1986:

$$\begin{aligned}rd &= 1.0 - 0.00765z & z < 9.15 \text{ m} \\rd &= 1.174 - 0.0267z & z = 9.15 \text{ to } 23 \text{ m}\end{aligned}$$

Ancak, Idriss ve Boulanger (2004), rd degerinin depremin büyüklüğüne de bagli oldugunu belirterek Sekil 3'te verilen rd (z, M) bagintilarini vermistir.



Sekil 3. Gerilme Azaltma Katsayisinin Derinlikle ve Deprem Büyüklüğü ile Degisimi (Idriss ve Boulanger, 2004)

• Devirsel Direnç Orani-CRR Hesabi: Seed ve Idriss (1971) yönteminde CRR oranı ise sivilasmaya hassas zeminlerin granüler olduğu gözönüne alınarak SPT-N Darbe sayıları veya CPT-qc statik sondaj uç mukavemeti arazi deneylerinden yararlanılarak tayin edilmektedir.

• SPT Deneyi ile CRR:

SPT deneylerinden yararlanmak suretiyle CRR (%) - $(N_1)_{60}$ abagi verilmistir. Bu abak temiz kumlar için (FC(%)=5) geçerlidir. Burada

$(N_1)_{60}$: Jeolojik gerilmeye göre normalize edilmiş ER=%60'a tekabül eden darbe sayisini

FC(%) : Ince dane yüzdesini

ER : SPT deneyindeki enerji oranini göstermektedir.

Normalize edilmiş darbe sayisi

$$(N_1)_{60} = N C_N C_E C_B C_R C_S$$

bağıntısı ile hesaplanabilmektedir. Burada N arazide ölçülen SPT darbe sayısını, C_N düşey jeolojik yük düzeltme faktörünü, C_E ise enerji oranı düzeltme faktörünü göstermektedir. C_B , C_R , C_S ise SPT deneyinin yapısına bağlı değer düzeltme faktörleridir. Bu faktörlerin değerleri ilgili referansta verilmektedir. C_N faktörü ise

$$C_N = \left(\frac{P_a}{s_{vo}} \right)^{0.5}, C_N < 1.7$$

bağıntısı ile verilmektedir. P_a , 100kPa olarak referans gerilmeyi göstermektedir.

$$C_E = ER/60$$

kullanılan sahmerdanin cinsine tabidir.

Abakların $(N_1)_{60}$ için geliştirilmiş olması nedeni ile SPT deneyini düzeltme yerine %60ER'da yapılması tercih edilmektedir. Bu gaye ile SPT çarığına accelometre yerleştirmek sureti ile gerçek enerji değeri hesaplanabilmekte ve %60 ER değerine göre kalibre edilebilmektedir, Durgunoglu ve dig. (2000b). Ülkemizde Adapazari zemini üzerinde böyle bir uygulama yapılmıştır.

- CPT Deneyi ile CRR:

Devirsel Direnç Oranı arazide yapılan CPT deneylerinde ölçülen uç mukavemeti, q_c , yardımı ile bulunabilmektedir. Ülkemizdeki CPT uygulamalarına ait rapor Durgunoglu ve Togrol (1995) tarafından hazırlanmıştır. Bu takdirde Robertson ve Fear (1997) (CRR- q_{c1N}) abakları verilmektedir. Bu abak yine temiz kumlar ($FC(\%) < 5$) için verilmistir. Burada q_{c1N} -Jeolojik yüke göre normalize edilmiş CPT uç mukavemetini göstermektedir.

İnce dane oranının $FC(\%) > 5$ olması halinde,

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c q_{c1N}$$

bağıntısı ile esdeğer temiz kum $(q_{c1N})_{cs}$ değeri bulunur. Bu bağıntıda $K_c = f(I_c)$ olup, I_c ise $FC(\%)$ 'in fonksiyonu olarak hesaplanabilmektedir. Genellikle $I_c > 2.6$ olması $FC(\%)$ oranının yüksek olması nedeni ile zemin sivilasmaz olarak tanımlanmıştır. Bu metoda ait detaylı bilgi Youd ve dig. (2001)'de verilmektedir.

- Büyüklik Düzeltme Faktörü-MSF:

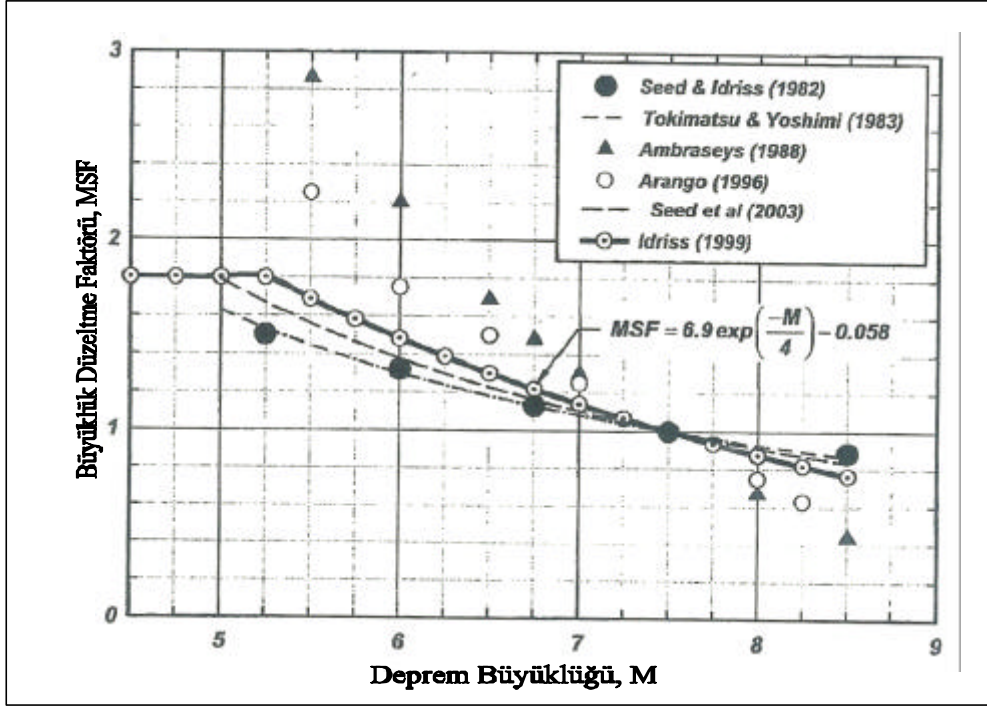
Yukarıda açıklanan her iki metotla da bulunan CRR değerleri arazi gözlemlerine dayandığından $M=7.5$ moment magnitud'lu bir deprem için geçerli olup $CRR_{7.5}$, başka büyüklükteki bir deprem için güvenlik sayısı,

$$FS_l = \frac{(CRR)_{7.5}}{CSR} \times MSF$$

ile verilmektedir. Bu bagintida MSF, büyüklük düzeltme faktörü olarak tanımlanmıştır. Idriss ve Boulanger (2004)

$$MSF = 6.9 \exp\left(-\frac{M}{4}\right) - 0.058$$

bagintisini vermiş olup, diğer bagintılarla birlikte Sekil 4'te verilmektedir.



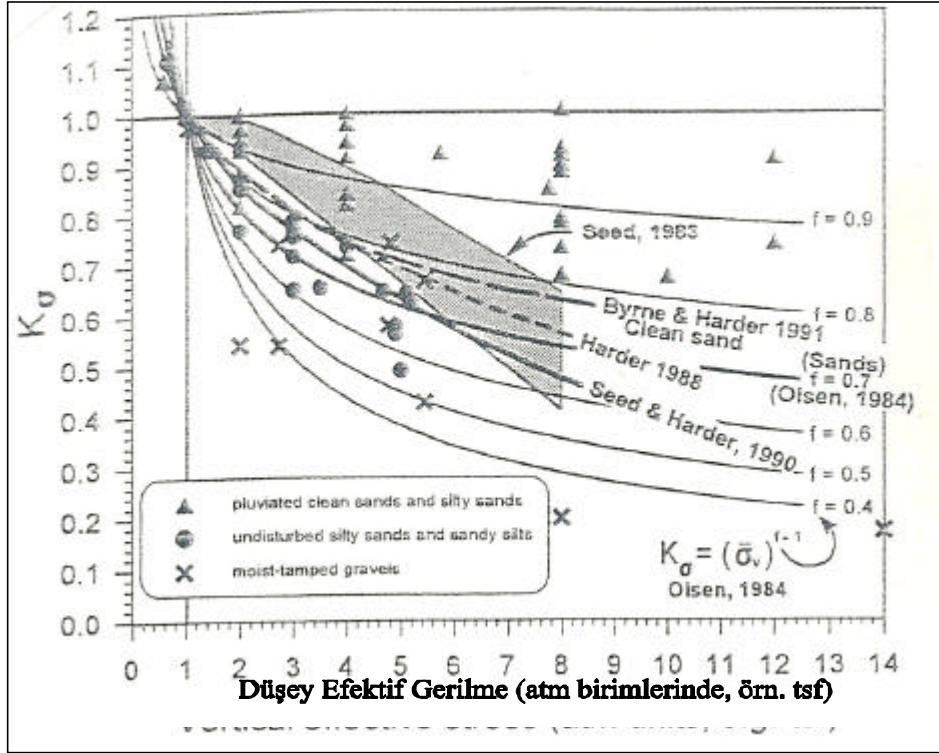
Sekil 4. Büyüklük Düzeltme Faktörleri

- Diger Düzeltme Faktörleri:

Jeolojik yüke ve arazinin egimli olması haline ait düzeltme faktörleri sırası ile K_{σ} ve K_{α} ile tanımlanırsa

$$FS_l = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} \times MSF \times K_{\sigma} \times K_{\alpha}$$

bagintisi ile verilmektedir, Youd ve dig. (2001). $K_{\sigma}=f(\sigma_{v_0}')$ bagintisi Sekil 5'de verilmekte olup, K_{α} faktörü sevli arazide mevcut ilk kayma gerilmelerinin etkisini göstermek üzere yapılacak özel dinamik basit kesme deneyleri ile tayin edilebilir.



Sekil 5. Jeolojik Yük Düzeltme Faktörleri

- Chinese Kriteri

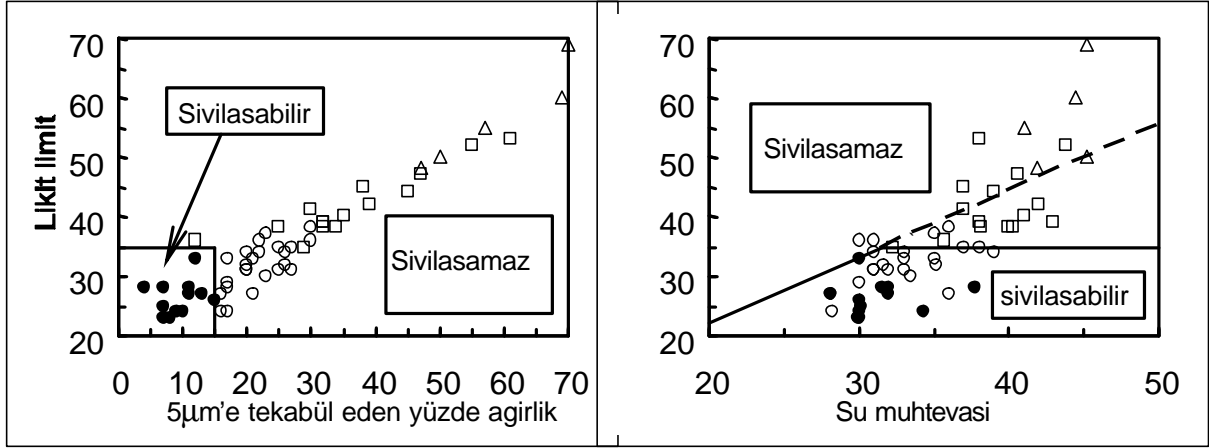
Seed ve Idriss (1971) ince daneli zeminlerin sivilasma riskine ait üç sarti içeren ve literatürde 'Chinese Criteria' olarak bilinen asagida tanımlanan kriteri belirtmiştir.

Kil içeriği (% < 5m) < 15%
 Likit limit < 35%
 $w_n > 0.9w_L$ Sivilasabilir

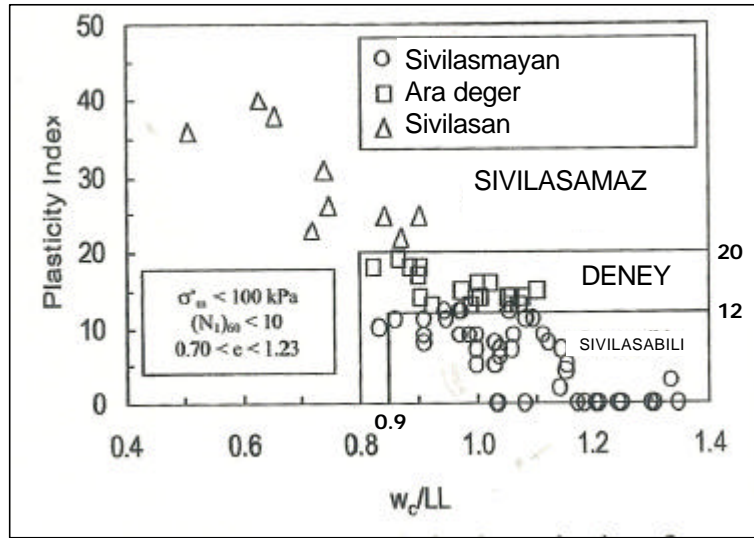
Ancak, özellikle 17 Agustos 1999 depreminde Adapazarındaki silt ve düşük plastisiteli killerin yukarida kriteri sağlamadigi halde sivilastigi görülmüştür. Bunun üzerine UC Berkeley'den Prof. Bray, teblig sahibinin de yeraldigi ülkemiz arastirmacilari ile müsterek çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda Sancio ve dig. (2003) gösterildigi ve Sekil 6'da özetlendiği şekilde Adapazari silt ve killerin Chinese Kriterini sağlamadigi açıkça belirlenmiştir. Yapılan detayli çalışmalar sonucu Sekil 7'de gösterilen yeni bir kriter önerilmektedir, Bray ve dig. (2004). Bu kriter göre

$I_p < 12$ ve $w_n/LL > 0.9$ Sivlasabilir
 $12 < I_p < 20$ ve $0.8 < w_n/LL < 0.9$ Ara durum, deney yapilmali
 $I_p > 20$ ve $w_n/LL < 0.8$ Sivlasmaz

olarak tanımlanmaktadır.



Sekil 6. "Chinese Criteria"nin Grafik Presentasyonu. $PI < 12$ olan numuneler daire ile, $12 < PI < 20$ olan numuneler kare ile ve $PI > 20$ olan numuneler üçgen ile gösterilmiştir. Dolu daireler "Chinese Criteria"nin her üç kriterini de sağlayan numunelerdir. (Sancio v.dig., 2003)



Sekil 7. Yeni Kriter (Bray v.dig., 2004)

8. OTURMALAR VE YANAL YAYILIMLAR

Yukarıda açıklanan metot ile sivilasmaya karşı güvenlik faktörünün bulunması halinde, $FS_1=1.0$ için meydana gelecek oturma ve yanıl yayılımlar çok büyük mertebelerde olmakta ve mühendislik yapılarında büyük hasarlar meydana gelmektedir. Belirli bir güvenlik faktörü için meydana gelebilecek oturmalar Seed ve dig. (1985) ve Tokimatsu ve Seed (1987) yöntemleri ile bulunabilir.

Benzer şekilde yanıl yayılımlar için Ishihara (1993), Çetin ve dig. (2002), Çetin ve dig. (2004) ve Zhang ve dig. (2004) tarafından önerilen yöntemler kullanılabilir.

Tüm bu metodlardan da görülebileceği gibi oturma ve yanıl yayılımlar belirli değerlerin altında gerçekleşmesi ancak sivilasmaya karşı güvenlik faktörünün 1.0'den büyük olması halinde gerçekleşebilmektedir. Dolayısıyla, mühendislik yapılarının yer alacağı sivilasmaya potansiyel zeminlerin, belirli mühendislik çözümleri ile sivilasmasının önlenmesi gerekmektedir.

9. SIVILASMAYA KARSI TEMEL MÜHENDISLIGI ÇÖZÜMLERİ

Sivilasmaya karşı güvenlik faktörünün artırılması için uygulama metodoloji dört ana grupta toplanmaktadır.

- Asiri boşluk suyu basıncı oluşmasına mani olunması
- Zeminin yerinde sıkıştırılması
- Zeminin içinde yüksek modüllü kolon oluşturulması
- Zeminin yanal hareketlerini sınırlamak için zemini hapsedecek elemanların teskili

Bu farklı metodolojileri içeren çeşitli temel mühendisliği uygulamaları Tablo 4’de gösterildiği şekilde prefabrik dren, vibroflotasyon, kompaksiyon kazıkları, tas kolon, dinamik kompaksiyon, deep mix ve jetgrout olarak sıralanabilir.

Tablo 4 – Sivilasmaya Karşı Temel Mühendisliği Uygulamaları

Metodoloji	Prefabrik Dren	Vibro Flotasyon Vibro Kompaksiyon	Kompaksiyon Kazıkları (Compaction Piles)	Tas Kolon (5)	Dinamik Kompaksiyon (4)	Deep Mixing	Jet Grout
Asiri Boşluk Suyu Basıncı Oluşumuna Mani Olunması	v	-	-	-	-	-	-
Zeminin Yerinde Sıkıştırılması - İzafi Sıkılığının Artırılması	-	v (2)	v	v (3)	v	-	-
Zemin İçinde Rijit Kolon Oluşturulması Suretiyle Kayma Gerilmelerini Alınması	-	-	v	- (1)	-	v	v
Zeminin Yanal Hareketine Mani Olmak Üzere Zemin İçinde Zemini Hapsedecek Elemanların Teskili	-	-	-	-	-	v	v
Üstyapının Daha Rijit Ve Farklı Oturma Ve Yatay Deplasmanlardan Daha Az Etkilenecek Tarzda Teskili Veya Takviye Edilmesi							

(1) İhmal edilebilir

(2) Yalnız kumlarda $FC < 5\%$

(3) İnce daneli zeminlerde $5\% < FC < 35\%$

(4) Enerjinin daha derine iletilmesi için tas keson / stone pillar uygulaması, Emrem ve dig. (2001)

(5) Ucu kapalı tapa ile boru çakılarak veya vibroreplacement metodu ile

Bu tabloda belirtilen ve ülkemizde yaygın bir şekilde 1999 depremi öncesi ve özellikle sonrası kullanılan jetgrout ile zemin içinde yüksek modüllü kolon teskiline ait sistemin aşağıda çalışma prensibi, hesap yöntemi verilmiş ve uygulamadan örneklerle desteklenmiştir.

10. ZEMİNDE YÜKSEK MODÜLLÜ KOLONLAR TESKİLİ

Bu sisteme ait hesap yöntemi Özsoy ve Durgunoglu (2003) tarafından açıklanmıştır. Bu hesap yönteminde “Birim Hücre-Unit Cell” kavramı kullanılmıştır. Bu yöntemde kolon ve zemin arasındaki gerilme dağılımının hesabında deprem halinde kolonların ve onları çevreleyen zeminin deplasmanlarının aynı olacağı tezinden hareket edilmiştir. Bu taktirde depremde oluşan kayma gerilmeleri, kolon ile zemin arasındaki rijitlik farkından dolayı, nisbeten daha rijit olan kolonlar üzerinde yoğunlaşacaktır.

Hesap yönteminde yapılan zemin değıstirmesini tanımlamak için jetgrout kolon kesit alanının A_{JG} , birim hücre alanına A , oranı,

$$a_r = A_{JG}/A$$

a_r , alan oranı olarak tanımlanmaktadır. Jetgrout kolonlar arasındaki ara mesafelerin iki yönde S_H ve S_V olması halinde $A = S_H \times S_V$ olarak hesaplanır.

Bu taktirde, deplasman şartından zeminin tasıdığı kayma gerilmesinin τ_s , oluşan toplam kayma gerilmesine, τ olan oranı, S_R ,

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

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Bu bağıntıda, $G_r =$ Modül oranı olarak tarif edilmekte olup,

$$G_r = G_{JG}/G_s$$

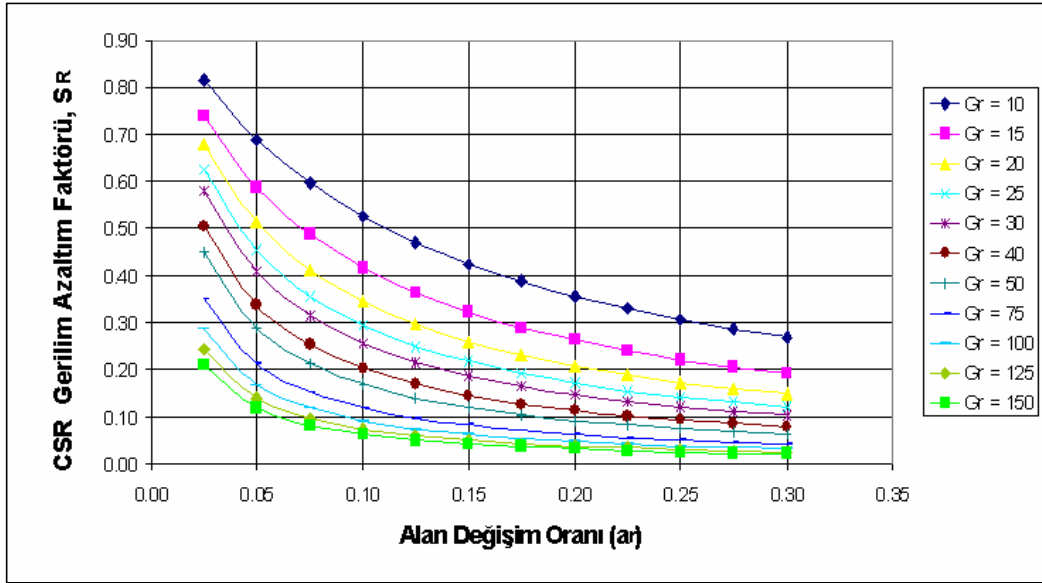
olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda, deprem sırasında oluşan kayma gerilmelerinin büyük bir kısmı kolonlar tarafından tasındığından, zemin tarafından tasınan, $\tau_s = S_R \times \tau$ olmaktadır. Diğer bir deyişle, daha önce belirlenen CSR değerinin S_R faktörü ile azaltılması gerekmektedir.

$$CSR_{design} = S_R \times CSR$$

$S_R = f(a_r, G_r)$ olup, dağılımı Şekil 8’de verilmiştir. Bu şekilde modül oranı aralığı jetgrout kolonları kapsamak üzere $G_r = 10-150$ olarak seçilmiştir. Bu durumda da sivilasmaya karşı güvenlik faktörü, \overline{FS}_ℓ

$$\overline{FS}_\ell = \frac{CRR}{CSR} = \frac{CRR}{S_R \times CSR}$$

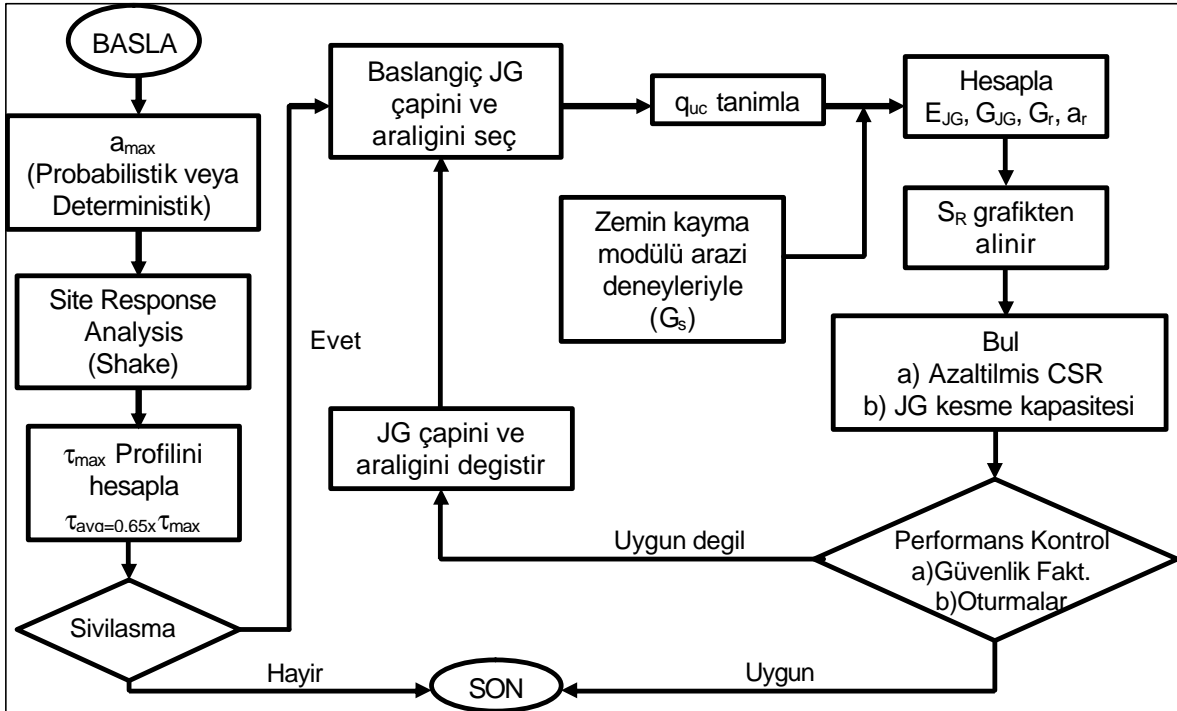
olarak hesaplanabilir. Diğer bir deyişle, islah sonrası güvenlik faktörü, \overline{FS}_ℓ , islah öncesi güvenlik faktörü, FS_1 , arasında



Sekil 8. Alan Değişim Oranı ile Gerilim Azaltım Faktörü Değişimi (Özsoy ve Durgunoğlu, 2003)

$$\overline{FS}_\ell = FS_1 \times \frac{1}{S_R}$$

bağıntısı vardır. Bu yöntem kullanılmak suretiyle yapılacak tasarım algoritması Sekil 9'da verilmektedir.

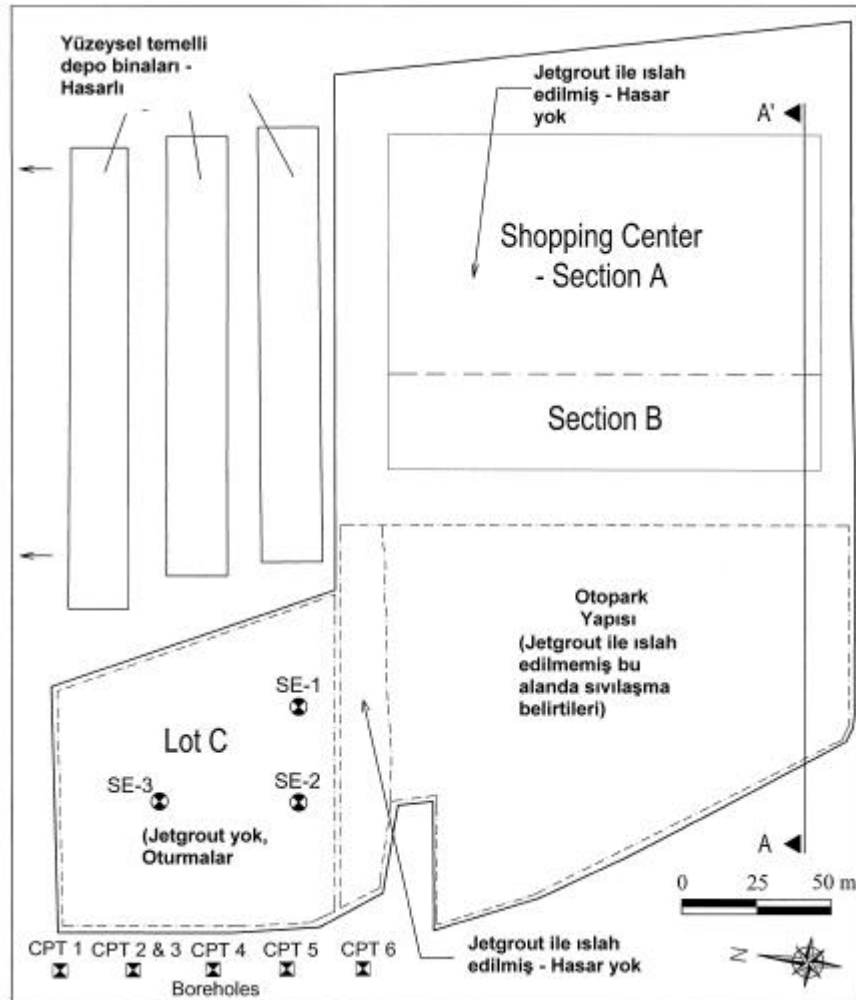


Sekil 9. Önerilen Hesap Adımları (Özsoy ve Durgunoğlu, 2003)

11. UYGULAMADAN ÖRNEKLER

17 Agustos 1999 Kuzey Anadolu Fayi'nin yirtilmesi ile Mw=7.4 büyüklüğünde Kocaeli-Gölcük depremi meydana gelmiştir. Bu deprem sırasında bu yörede yer alan çeşitli yapıların temel ve temel zemini davranışları detaylı olarak incelenmiştir, Martin ve diğ. (2001). Bu yapılardan sivilasmaya karşı yukarıda açıklanan jetgrout kolon uygulaması yapılmış Gölcük Ford Otosan Sağlamer ve diğ. (2002) tarafından, Karamürsel Ipekkagit Fabrikası Durgunoglu ve diğ. (2003) tarafından, Izmit CarrefourSA ise Durgunoglu ve diğ. (2001) ve Martin ve diğ. (2004) tarafından detaylı olarak etüd edilmiştir. CarrefourSA Izmit sahasında deprem oluştugu tarihte, sahanın zemin islahinin yalnız bir kısmının tamamlanmış olmasından dolayı, islah edilmemiş ve edilmiş kısımların mukayesesi yönünden aşağıda açıklandığı üzere çok kıymetli bir vaka analizi oluşturmıştır.

Izmit Carrefoursa Sekil 10'da görüldüğü gibi yaklaşık 55,000m² alan üzerine kurulan ve KAF hattına 5 km mesafede yer alan bir ticaret merkezidir. Bu sahada zemin etüdüleri sonucu belirlenen zemin şartları Tablo 5 ve Sekil 11'de özetlenmektedir. Görüldüğü gibi 6.5m-9.0m arasında yer alan siltli kum, SM, ile kumun üzerinde ve altında yer alan düşük plastisiteli ML/CL, siltli-kil tabakasının sivilasma riski yönünden değerlendirilmesi gerekmektedir.

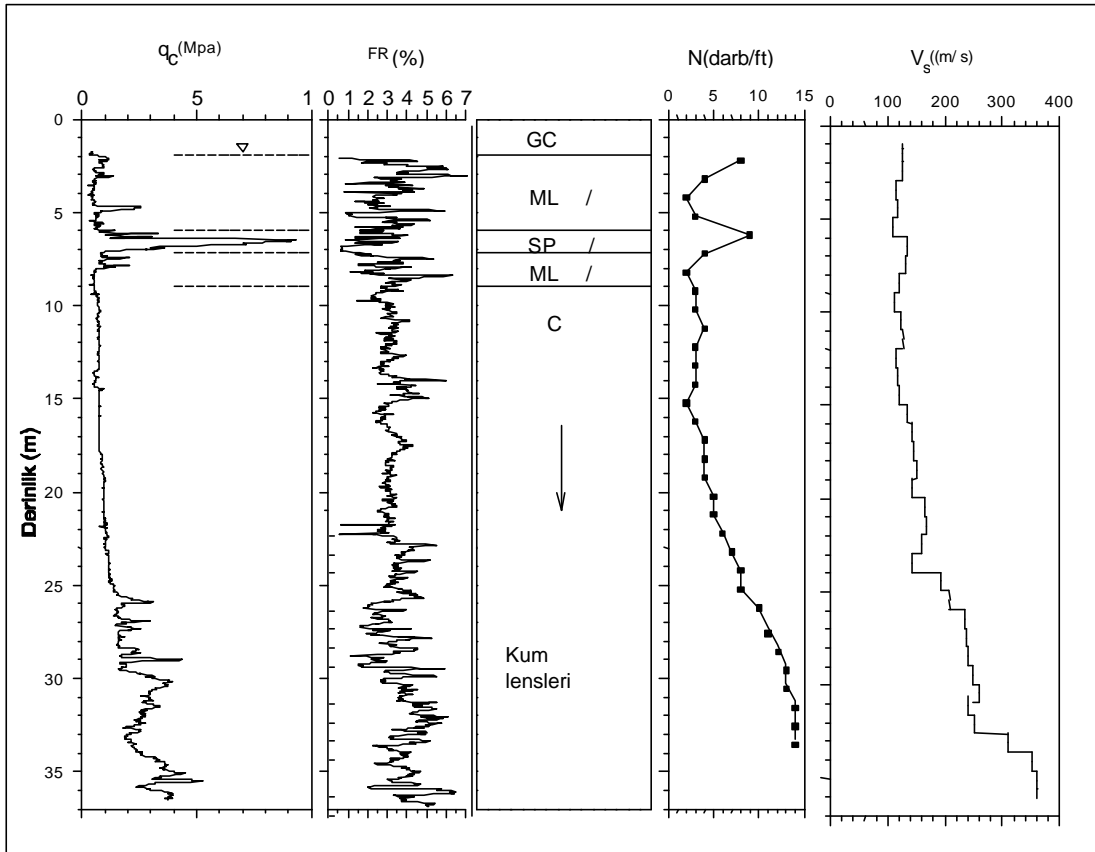


Sekil 10. Deprem sonrası gözlenen hasarlar ile islah edilmiş ve edilmemiş alanları gösteren Carrefoursa alışveriş merkezi yerleşim planı (Martin v.diğ., 2004)

Tablo 5– Carrefour-SA Izmit Sahasi Ortalama Dane boyutu ve Indeks Özellikleri

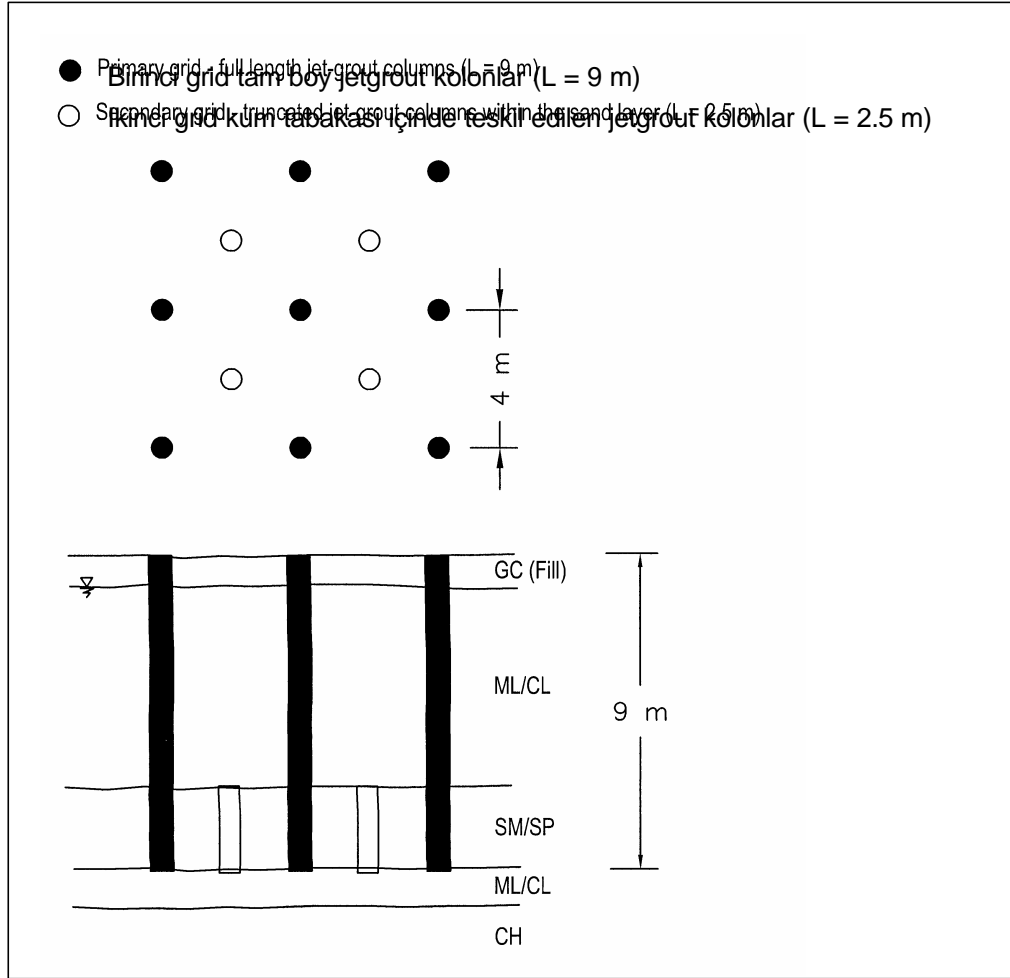
Tabaka Derinligi (m)	USCS	LL (%)	PL (%)	> #4 elek (%)	< #200 elek (%)	< 5 μm (%)	< 2 μm (%)	CPT deneyinden I_c Degerleri*
0 ila 3	Dolgu (GC)	-	-	-	-	-	-	-
3 ila 6.5	ML/CL	33	23	0	88	47	38	3.0
6.5 ila 9	SM SP, SC mercekleri	NP	NP	6	30	16	14	2.2
9 ila 10	ML/CL	35	24	0	95	55	42	2.9
10 ila 35	CH SM, ML mercekleri	66	29	0	100	74	61	3.3

* I_c = Zemin Davranis tipi indeksi



Sekil 11. Carrefoursa Izmit Sahasi Islah Öncesi Tipik Geoteknik Parametreleri (Martin v.dig., 2004)

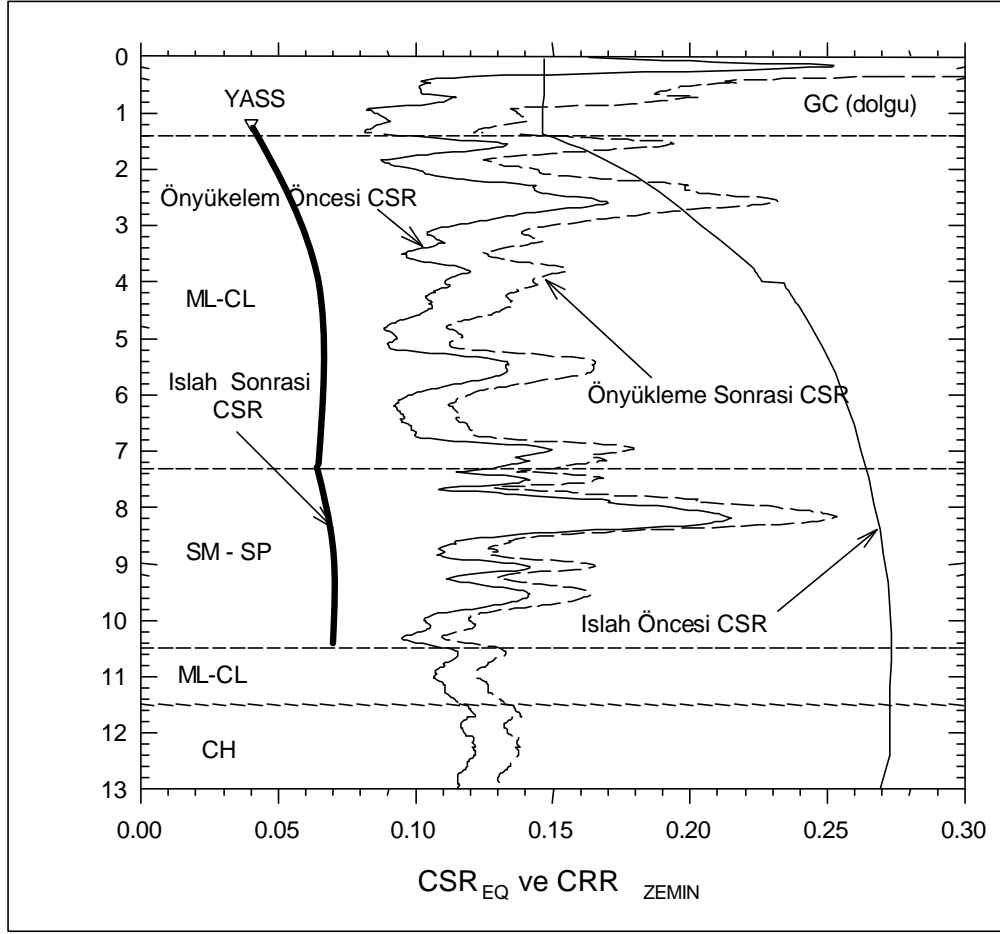
Bu değerlendirme sonucu, Sekil 12’de gösterilen jetgrout kolonların inşa edilmesi önerilmiştir. Bu uygulama sonucu açıklanan yöntemle göre SM-SP için $a_t = \%7$ ve $G_r = 30-50$, $S_R = 0.22-0.32$, $S_{Rav} = 0.27$, ML-CL için ise $a_t = \%2$ ve $G_r = 100$ için $S_R = 0.28$ olarak bulunmuştur.



Sekil 12. Carrefoursa sahası alisveris merkezi yapısı altında uygulanan islah silte jetgrout yerleşimi. İlave kolonlar ilave taşıma gücü amacıyla uygulanmıştır. Bina altındaki ortalama değişirme oranı SM tabakada %7 üstteki tabakada ise %2'dir.

Bu durumda yine bu makalede açıklanan yöntemlerle hesaplanan islah öncesi ve sonrası CSR eğrileri ile CRR eğrisi Sekil 13'de verilmistir. Bu sekilden görüldüğü gibi deprem öncesi kolonların teskil edildiği bölgelerde, deprem sırasında sivilasma beklenmemektedir. Nitekim, deprem sonucu yapılan gözlemler de bu sonucu teyit etmiştir. Zemin islahinin deprem esnasındaki etkinliği çeşitli kesimlerde uygulanan islah, islah olmaksızın öngörülen davranış, gözlenen davranış ve islahın gözlenen etkinliği olarak Tablo 6'da özetlenmektedir.

Islah yapılmamış C bölgesinde, ön yükleme dolgusu altında prefabrik drenlerle konsolidasyonun gerçekleşmesinin izlenmesi için yerleştirilen oturma kolonları, islah yapılmamış bu bölgede, deprem sırasında zeminin sivilasma yönünden davranışı ve oluşan oturmalar hakkında çok önemli bilgiler sağlamıştır. Nitekim, oturma kolonlarında ölçülen dikey deplasmanların derinlikle değişiminden, siltli kum-SM tabakası kadar, düşük plastisiteli silt-ML tabakasının da depremde sivilastığını veya buna bağlı önemli dikey deplasmanlar gösterdiğini kanıtlamıştır. Bu bulgu, ince daneli zeminler üzerinde bu tebligde de daha önce açıklandığı vechile özellikle Adapazarı depremi sonrası yapılan çalışmalar sonucu bulunan yeni sonuçlarla uyusmaktadır.



Sekil 13. Carrefoursa sahasında temsili zemin koşulları altında sivilasma analizi sonuçları. (Kesikli çizgi ile gösterilen devrsel direnç oranı önyükleme yapılmayan alanlar içindir, düz çizgi ile gösterilen ise 3.3 m yüksekliğinde önyükleme dolgusu yüklenen ve kaldırılan önyükleme sonucu asiri konsolidasyon oranı sonrası artan sivilasma direncidir.)

Diğer bir deyişle Chinese Kriteri'ne göre, sivilasma riski kapsamına alınmaması gereken ML zemininin sivilasma kapsamında değerlendirilmesinin daha doğru bir yaklaşım olacağı, bu tarz düşük plastisiteli silt ve killerin de sivilasmaya karşı zemin iyileştirme yönünden detaylı olarak etüd edilerek değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur.

12. ÖZET VE SONUÇLAR

1. Ülkemizde meydana gelen 17 Ağustos 1999 ve 12 Kasım 1999 Düzce depremleri sonucunda ve ülkemizin büyük bir kesimindeki mevcut sismik aktivite dolayısıyla, çeşitli inşaat mühendisliği yapılarının yer seçiminde, mevcut zemin şartları ve bunların deprem yükleri altındaki davranışlarının belirlenmesi daha da önem kazanmıştır.
2. Bu yapıların temel mühendisliği tasarımlarında, tasarıma esas zemin şartlarının belirlenmesi için zeminlerin dinamik yükler altındaki davranışlarını da içeren yeterli ve güvenilir bir jeoteknik modelleme yapılması şart ve kaçınılmazdır.

Tablo 6– Carrefoursa Izmit Zemin Islahinin Deprem Esnasinda Gözlenen Etkinligi, (Martin ve dig. 2004)

Kisim	Uygulanan Islah Asamasi*	Islah olmaksizin öngörülen davranis	Gözlenen davranis	Islahin Gözlenen Etkinligi
Süpermarket yapisi (60% tamamlanmis)	Siltli kum seviyesinde degistirme oranı %7 üst seviyelerde %2 Jet-grout kolonlar	Sivilasma FS ~ 0.6 Kum kaynaklari beklenmiyor $\Delta H \approx 6$ ila 10 cm	Yapisal veya zemin hasari yok Kum kaynamasi veya oturma yok	Sivilasma ile ilgili hasar önlendi; Devirsel kayma birim deformasyonlari azaldi, bosluk suyu basinci artisı önlendi.
Otopark yapisi	3.3 m yükseklike önyükleme dolgusu yüklenmis ve kaldırilmis Sentetik drenler mevcut, sahanin sadece %10'unda jetgrout imalati yapilmis	Sivilasma FS ~ 0.7 Kum kaynaklari beklenmiyor $\Delta H \approx 7$ ila 11 cm	Oturmalar 7 ila 10 cm (tahmin) Kum kaynamasi yok	Önyükleme dolgusu sivilasma direncini bir miktar arttirdi. Sentetik drenler deprem esnasinda bosluk suyu basinci artisini azaltmadi ancak kum kaynamasini önlemeye yardimci olmus olabilir
Lot C	Deprem esnasinda sentetik drenler yerlestirilmis, 3.3 m yükseklike önyükleme dolgusu mevcut. Jetgrout yok.	Sivilasma FS~ 0.75 (dolgu altında) Kum kaynaklari beklenmiyor ΔH ölçüldü, Tahmine gerek yok	10 ila 12 cm oturma ölçüldü Kum kaynamasi yok	Sentetik drenler deprem sonrası konsolidasyonda kum kaynamasini önlemeye yardimci oldu.
Komsu depolar ve binalar	Yok	Sivilasma FS~0.6** $\Delta H \approx 6$ ila 12cm** (varsayilan)	Binalar altında 5 ila 10 cm oturmalar Kum kaynamasi yok	--

* Kocaeli depremi esnasinda

** Zemin kosullarinin CarrefourSA sahasi ile benzer oldugu varsayimi ile

3. Jetgrout yöntemi ile ilgili ülkemizdeki yaygın kullanımdan örnekler verilmiş, kolon teskili ile ilgili uygulama parametreleri ve kalite kontrol yöntemleri tartışılmıştır.
4. Sismik parametrelerin belirlenmesi halinde tanımlanan geoteknik modeli kullanmak suretiyle deprem yükleri altında zemin ve temel davranışları ile ilgili riskler mevcut metodlarla değerlendirilebilir ve güvenlik faktörü iyi bir yaklaşımla önceden hesaplanabilir.
5. Sivilasmaya karşı direnci olan zeminlerin tanımındaki Chinese Kriteri'nin son senelerde özellikle 1999 depremi sonrası ince daneli zeminler üzerinde yapılan deneyler sonucu, bazı koşullarda geçerli olmadığı belirlenmiş ve bu tür zeminler için yeni bir öneri getirilmiştir.
6. Güvenliğin yeterli olmadığı yerlerde, çeşitli temel mühendisliği zemin iyileştirme ve/veya takviye yöntemleri ile, ilerideki potansiyel depreme karşı güvenlik istenilen seviyeye yükseltilebilir.
7. Bu temel mühendisliği tasarımları,
 - mevcut zeminin sıkıştırılarak, sismik yükler altındaki kayma dayanımının arttırılması, vibroflotasyon, dinamik kompaksiyon, vb. gibi;

- deprem yükleri altında asiri boşluk suyu basıncının süratle drenajı ile zeminin tekrarlı yükler altındaki kayma dayanımının azalmasını önlemek, çakıl dren, prefabrik dren gibi;
 - zeminin hem sıkıştırılarak, hem de asiri boşluk suyu basıncının süratle drenajına imkan tanıyan, “vibroreplacement” metodu ile tas kolon teskili gibi;
 - zemin içinde rijitliği – deformasyon modülü büyük elemanlar teskili ile “jetgrout” ve “deep mix” yöntemleri ile zemine gelen deprem kayma gerilmelerinin azaltılması yöntemlerini içermektedir.
8. Yüksek modüllü kolonların sistematik olarak yapı altında belirli aralıklarla teskil edilmesi halinde tasarım için bir yöntem geliştirilmiştir.
 9. Bu yöntemin uygulanması ile, İzmit Carrefoursa örneğinde, uygulamanın 17 Ağustos 1999 depremindeki davranışı ile ilgili bilgiler verilmiş ve yöntemin geçerliliği kanıtlanmıştır.
 10. Yüksek modüllü kolonlar çeşitli diğer geometrik tasarımlarla uygulanabilmekte ve bu taktirde bir sınırlama yapısı oluşturularak, zeminin yanıl yayılımı ve düşey deplasmanlarını sınırlayabilmektedir.
 11. Yüksek modüllü kolonların, yeni yapılarda olduğu kadar, mevcut yapılarda da sonradan uygulanabilir olması, diğer metodlara göre büyük bir avantaj sağlamaktadır. Kolon teskili özel makinalar ile çok sınırlı boyutlardaki bodrum kat döşemesinden yapılabileceği gibi, yapı çevresinde de uygulanmak suretiyle gerçekleştirilebilmektedir.

TESEKKÜR

Tam otuzsekiz yıl önce İTÜ İnşaat Fakültesinde öğrencisi olarak beni Zemin Mekanığı ile tanıştıran rahmetli hocam Ord. Prof. Dr. Ing. Hamdi Peynircioğlu anısına her iki yılda bir değişik konuda hazırlanan tebliğlerden altıncısını sunmak görev ve onurunu şahsıma tevdi eden Zemin Mekanığı ve Temel Mühendisliği Türk Milli Komitesi’ne tesekkürü bir borç bilirim.

Bu tebliğin hazırlanması esnasında gösterdikleri yardım ve katkılardan dolayı, Zetas Zemin Teknolojisi A.S.’den, İns. Yük. Müh. Turhan Karadayılar’a, Dr. Canan Emrem’e, İns. Yük. Müh. Rasim Tümer’e ve İns. Yük. Müh. Emel Hacıoğlu’na tesekkür ederim.

KAYNAKLAR

- AKDOĞAN, M., EROL, O., ERGÜN O., (1996), “Tas Kolonların Performansı-Bir Vaka Analizi”, ZMTM 6. Ulusal Kongresi, 24-25 Ekim 1996, pp. 370-381, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir
- ASCE (1997) Soil Improvement and Geosynthetics Committee Report, Ground Improvement –Ground Reinforcement , 17-19 July 1997, GSP No:69, pp. 1-371, Utah
- BRAY, J. D., SANCIO, R. B., RIEMER, M. and DURGUNOĞLU, H. T. (2004), “Liquefaction Susceptibility of Fine Grained Soils” Proceedings 11th ICSD and 3th ICEGE, 7-9 January 2004, UC Berkeley, California, U.S.A
- CANDOGAN, A., YILMAZ, E., SAGLAMER, A., (2000), “Jet Grout Tekniğı ile Yapılan Zemin İyileştirmelerinde Kalite Kontrolüne Yönelik Testler Gebze-Adapazarı ve İzmir Doğalgaz, Afsin-Elbistan B Termik Santralleri”, ZMTM 8. Ulusal Kongresi, 26-27 Ekim 2000, pp. 301-309, İTÜ, İstanbul

- ÇETİN, K. Ö, YOUND, T.L., SEED, R. B., BRAY, J. D., SANCIO, R. B., LETTIS, W., YILMAZ, M. T., DURGUNOGLU, H.T. (2002) "Liquefaction - Induced Ground Deformations at Hotel Sapanca During Kocaeli (Izmit), Turkey Earthquake", Soil Dynamics and Earthquake Engineering Journal, Elsevier Science Ltd., 2002, Vol. 22, pp. 1083-1092
- CETIN, Ö. K., YOUND, L. T., SEED, R. B., BRAY, J. D., DURGUNOGLU, LETTIS, W., YILMAZ, T. M. (2004) "Liquefaction-induced Lateral Spreading at Izmit Bay During the Kocaeli (Izmit)-Turkey Earthquake", ASCE, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, (to be published), 2004.
- CUBRINOVSKI, M., ISHOHARA, K., (2001), "Analysis of the Performance of an Oil-tank Pile Foundation in Liquified Deposits" Proceedings of Satellite Conference Lessons Learned From Recent Strong Earthquakes, August 24, 2001, Istanbul
- DAVIES, M.C.R., SCHLOSSER, F. (Editors), (1997), "Ground Improvement Geosystems, Densification and Reinforcement", Proc. Third IC. Ground Improvement Geosystems, London
- DURGUNOGLU, H. T., TOGROL, E. (1995a). "CPT in Turkey, National Report" CPT'95 International Symposium on Cone Penetration Testing, 4/5/10/1995, Vol.1, pp. 243-252, Linköping, Sweden.
- DURGUNOGLU, H.T., NUR, O., AKBAL, Ö., KULAÇ, H. F., IKIZ, S., OLGUN, C.G. (1995b). "A Case Study on Determination of Soil Improvement Using CPT" CPT'95 International Symposium on Cone Penetration Testing, Vol. 2, pp. 441-446, Linköping, Sweden.
- DURGUNOGLU H. T., KULAÇ, H. F., ORUÇ, K., EMREM ÖGE C., EKER, F. S. (2000a), "A Case History of Jetgrouting Column Application in Turkey," 4th International Conference on Ground Improvement Geosystems, Helsinki, June 7-9, 2000
- DURGUNOGLU, H. T., KARADAYILAR, T., BRAY, D. J., SANCIO, R. B., ÖNALP, A. (2000b), "Sivilasmis Zeminlerde Zemin Davranisi Modellemesinde Kullanilan Zemin Arastirma Yöntemleri- Adapazari Örneği," ZMTM 8. Ulusal Kongresi, 26-27 Ekim, 2000, Istanbul
- DURGUNOGLU, H. T., EMREM, C. , KARADAYILAR, T., MITCHELL, J. K., MARTIN, J. R., OLGUN, C. G. (2001), "Case History for Ground Improvement Against Liquefaction Carrefoursa Shopping Center-Izmit, Turkey, Proceedings of Satellite Conference Lessons Learned From Recent Strong Earthquakes, August 24, 2001, Istanbul
- DURGUNOGLU, H. T., KULAÇ, H. F., ORUÇ, K., YILDIZ, R., SICKLING, J., BOYS, I. E., ALTUGU, T., and EMREM, C., (2003), "A Case History of Ground Treatment with Jet Grouting Against Liquefaction for a Cigarette Factory in Turkey", Grouting and Grout Treatment, February 2003, New Orleans, USA
- DURGUNOGLU, H. T., YILMAZ, O., KALAFAT, M., KARADAYILAR, T., ESER, M. (2004a), "An Integrated Approach for Characterization and Modeling of Soft Clays Under Seismic Loading; A Case Study," Proceeding 11th ICSD and 3th ICEGE, 7-9 January 2004, UC Berkeley, California, U.S.A
- DURGUNOGLU, H. T., CHINCHELLI, M., IKIZ, S., EMREM, C., HURLEY, T., and CATALBAS, F. (2004b), "Soil Improvement with Jet-Grout Columns; A Case Study from the 1999 Kocaeli Earthquake," Proceedings of Fifth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering New York, N.Y., April 13-17, 2004
- DUZCEER, R., GÖKALP, A., (2002), "Akaryakit Tank Temellerinin Tas Kolonlarla İyileştirilmesi" ZMTM 9. Ulusal Kongresi, 21-22 Ekim 2002, pp. 454-463, Anadolu Üniversitesi, Eskisehir

- DUZCEER, R., GÖKALP, A., (2003), "Construction and Quality Control of Jet Grouting Applications in Turkey", Proceedings Third I.C. Grouting & Ground Treatment", GSP No 120, 10-12 Febr, 2003, pp. 281-293, New Orleans
- EMREM, C., SPAULDING, C., DURGUNOGLU, H. T., and VARAKSIN, S. (2001), "A Case Study of Soil Improvement Against Liquefaction-Carrefoursa Shopping Center Izmir, Turkey," Proceedings of the 15th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Istanbul, pp. 1737-1742
- ERGUN, M.O., (1992), "Design and Performance of Two Port Silos on Improved Ground", Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics, GSP NO 30, 23-25 Feb. 2002, pp. 842-854, New Orleans
- GOUVEMONT, D., (1998), "State-of-the-art in European Grouting", Ground Improvement, ISSMGE, Thomas Telford, Vol 2, No 2 pp. 51-67
- GÖKALP, A., DUZCEER, R., (2002), "Jet Grout Uygulaması İçin Kalite Kontrol, İş Sağlığı ve Güvenliği Denetimi", ZMTM 9. Ulusal Kongresi, 21-22 Ekim 2002, pp. 574-583, Anadolu Üniversitesi, Eskisehir
- IDRISS, I. M., BOULANGER, R. W. (2004) "Semi-Empirical Procedures for Evaluating Liquefaction Potential During Earthquakes" Proceedings 11th ICSD and 3th ICEGE, 7-9 January 2004, UC Berkeley, California, U.S.A.
- ISHIHARA, K., (1993) "Liquefaction and Flow Failure During Earthquake", The 33rd Rankine Lecture, Géotechnique, Vol.43 (3), pp.351-415.
- KAUSCHINGER, J.L., PERRY, E.B., HANKOUR, R., (1992), "Jet-Grouting:State-of-the Practice", Grouting, Soil-Improvement and Geosynthetics, 25-28 Feb. 1992, GSP No:30, pp.169-181, New Orleans
- KESKIN, N., ve ÇİMEN, O., (2002), "Zemin İyilestirmesinde Jet-Grout Yöntemi Kullanılması Üzerine Bir Uygulama", ZMTM 9. Ulusal Kongresi, 21-22 Ekim 2002, pp. 641-647, Anadolu Üniversitesi, Eskisehir
- LUNARDI, P., (1977), "Ground Improvement by Means of Jet-Grouting", Ground Improvement, ISSMFE Thomas Telford, Vol 1 No:2, pp. 65-86
- MARTIN, J. R., MITCHELL, J. K., OLGUN, C. G., DURGUNOGLU, H. T., and EMREM, OGE C. (2001), "Performance of Improved Ground During the 1999 Turkey Earthquake," Geotechnical Special Publ. No.113, Foundation and Ground Improvement, ASCE-Geo Institute, pp.565-579
- MARTIN, J. R., OLGUN, C. G., MITCHELL, J. K., DURGUNOGLU, H.T. (2004), "High Modulus Columns for Liquefaction Mitigation", ASCE, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 130, No.6, June 2004
- MUT, T., (1987), "Jet-Grouting Methodu ile Zemin Islahı", ZMTM 2. Ulusal Kongresi, 11-13 Mayıs 1987, pp. 437-443, Bogaziçi Üniversitesi, Istanbul
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC), (1985), "Liquefaction of Soils During Earthquakes, National Academy Press, Washington D.C.
- ÖZSOY, B., DURGUNOGLU, H. T., (2003), "Sivilasma Etkilerinin Yüksek Kayma Modüllü Zemin-Çimento Karisimi Kolonlarla Azaltılması", 5. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, Istanbul
- PORBAHA, A., RAYBAUT, J.L., NICHOLSON, P., (2001), "State-of-the-art in Construction Aspects of Deep Mixing Technology" Ground Improvement ISSMGE, Thomas Telford, Vol 5 No:3, pp. 123-140
- ROBERTSON, P.K., FEAR, C. E. (1997) "Cyclic Liquefaction and Its Evaluation Based on SPT and CPT" *Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils*, Technical report NCEER-97-0022, pp.41-87, 1997.
- SAGLAMER, A., DÜZCEER, R., GÖKALP, A., YILMAZ, E. (2002) "Ground Improvement by Jet Grout Columns for the Foundations of an Automobile Plant in Turkey" Deep

- Foundations 2002, Proceedings of the International Deep Foundations Congress 2002, February 14-16, 2002, Orlando, Florida, GSP No.116.
- SANCIO, R. B., BRAY, J. D., REIMER, M. F., DURGUNOGLU, H. T., (2003) "An Assesment of the Liquefaction Susceptibility of Adapazari Silt", Pasific Conference on Earthquake Engineering, paper no.172
- SEED, H. B. (1979) "Soil Liquefaction and Cyclic Mobility Evaluation for Level Ground During Earthquakes", Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol.105(GT2), pp.201-255, 1979.
- SEED, H. B., IDRIS, I. M. (1971) "Simplified Procedure for Evaluating the Soil Liquefaction Potential", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division. ASCE, Vol.97(SM9), pp.1249-1273, 1971.
- SEED, H. B., IDRIS, I. M. (1982) "Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes", Earthquake Engineering Research Institute, 1982.
- SEED, H.B., TOKIMATSU, K., HARDER, L. F., CHUNG, R. (1985) "Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.111(12), pp.1425-1445, 1985.
- TOGROL., E., (1994), "Temel Takviyesi Yöntemlerine Yeni Bir Bakis", Ord. Prof. Dr. -Ing Hamdi Peynircioglu 1. Konferansi, ZMTM 5. Ulusal Kongresi, pp. 887-918, ODTU, Ankara
- TOGROL, E., (1998), " 'Jet-Grout' Kolonların Yapımında Kalite Denetimi", ZMTM 7. Ulusal Kongresi, 22-23 Ekim 1998, pp. 393-402, Yıldız Üniversitesi, İstanbul
- TOKIMATSU, K. SEED, H.B. (1987), "Evaulation of Settlements in Sands Due to Earthquake Shaking", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.113 (GT8), pp.861-78
- YINEKARA, R., TERASHI, M., SHIBAZAKI, M. (editors), (1996), "Grouting and Deep Mixing", Proceedings of IS-Tokyo'96 2nd IC Ground Improvement Geosystems, Vol's 1-3, Tokyo
- YOUD, L. T. v.d. (21 farkli yazar) (2001) "Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER-NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol.127(10), pp.817-833, 2001.
- YOUD, L., T., and IDRIS, I.M., eds (1997), Proc. NCEER Workshop on Evaluation Liquefaction Resistance of Soils, NCEER, Buffola, Newyork
- YOUD, L.,T, BARDET, J.P., BARY, J.,D., (eds), (2000), "Kocaeli, Turkey Earthquake of August 17, 1999 Reconnaissance Report, Earthquake Spectra, Supplement Vol 16.
- ZHANG, G., ROBERTSON, P.K., BRACHMAN, R. W. I. (2004) "Estimating Liquefaction-Induced Lateral Displacements Using the Standard Penetration Test", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol.127(10), pp.817-833, 2001.