

TEMEL ZEMİNLERİNİN ENJEKSİYON TEKNİĞİYLE İYİLEŞTİRİLMESİ

Fatih TUNÇDEMİR (*)

ÖZET

Bu çalışma zeminlerin farklı enjeksiyon teknikleriyle iyileştirilmesine ve bu tekniklerin hem zemin hem de enjeksiyon parametreleri bakımından karşılaştırılmasına yöneliktir. Permeasyon, kompaksiyon, çatlatma ve ülkemizde de yaygın olarak kullanılan jet enjeksiyonu teknikleri, enjeksiyon malzemesinin zemin içerisine işleyiş mekanizması başta olmak üzere detaya inilmeksizin açıklanmaya çalışılmıştır.

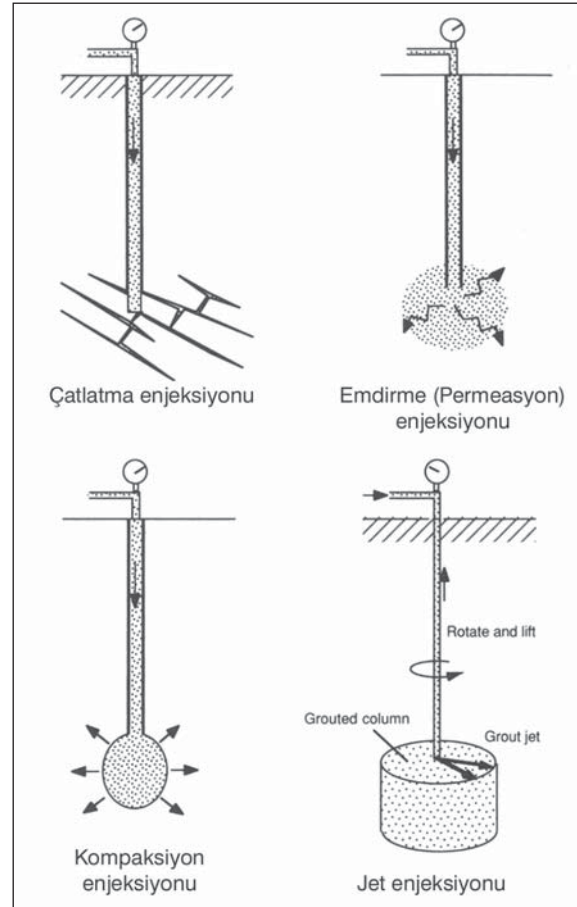
GİRİŞ

Zemin enjeksiyonu, temel olarak akışkan malzemelerin basınç altında zemin içerisindeki boşluklara enjekte edilmesidir. Buradaki amaç zeminin ya da kaya kütlesinin mühendislik özelliklerini iyileştirmektir. Nitekim bu iyileştirme zeminin gerilme-deformasyon ve dayanım gibi mekanik özellikleri ile geçirimsizlik gibi hidrojeolojik özellikleri değiştirilerek elde edilir.

Enjeksiyon teknolojisinin kökeni diğer zemin iyileştirme teknikleri gibi eskiye dayanmakla beraber bu teknoloji hem yeni enjeksiyon malzemeleri hem de bu malzemelerin zemin içerisine nüfuz ettirilmesi bakımından sürekli bir gelişim içerisinde. Enjeksiyon tekniği, başlangıçta su sızıntılarını önlemek ve dayanım kontrolü için maden endüstrisinde ve baraj temellerinde sızdırmazlık perdesi oluşturulmasında uygulanmaya başlanmış, daha sonra inşaat mühendisliğinde de tünel kazımı esnasında gevşek zeminlerin ve parçalı kayaların stabilizasyonunda, sondaj ve numune alma esnasında su problemlerinin çözümünde, zemin içerisindeki boşlukların doldurularak aşırı oturmaların engellenmesinde, hem mevcut hem de yeni inşaa edilecek yapıların zemin emniyet gerilmelerinin artırılmasında ve özellikle de son 10-15 yıllık bir süreç içerisinde tünel kazımı dolayısıyla yüzeydeki veya yakın çevredeki yapılarda meydana gelebilecek

zararlı oturmaların engellenmesinde ve deprem esnasında sıvılaşabilecek gevşek, suya doygun granüler zeminlerin sıvılaşma potansiyellerinin azaltılmasında kullanılmıştır.

Burada dikkatle üzerinde durulması gereken nokta, bütün bu uygulamalar için aynı enjeksiyon malzemesinin ve enjeksiyon parametrelerinin kullanılmayacağıdır. Enjeksiyon malzemesi ve enjeksiyon parametreleri (enjeksiyon basıncı, enjeksiyon hızı, enjekte edilen hacim vs.) zemin koşullarına (dane



Şekil 1 - Enjeksiyon tekniklerinin şematik gösterimi

(*) İnşaat Yüksek Mühendisi,
ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara

çapı dağılımı, rölatif sıklık, geostatik gerilmeler vs.) ve uygulama amacına yönelik olarak tasarlanmalıdır. Dolayısıyla bu çalışmanın amacı farklı enjeksiyon tekniklerini, uygulama bazında ve enjeksiyon parametreleri ile zemin koşullarıyla olan ilişkileri doğrultusunda karşılaştırmaktır.

ENJEKSİYON TEKNİKLERİ

Enjeksiyon teknikleri enjeksiyon malzemesinin zemin içerisine yerleştirilme biçimine bağlı olarak değişmektedir. Fakat enjeksiyon malzemesinin özelliğine bağlı olarak da (çimento enjeksiyonu veya kimyasal enjeksiyon) bir ayırım yapılabilir.

Zemin içerisine yerleştirilmesine göre temel enjeksiyon teknikleri Şekil 1’de gösterilmiştir.

Emdirme (Permeasyon) Enjeksiyonu:

Bu enjeksiyon tekniğinde düşük vizkoziteli enjeksiyon malzemesi, zemin içerisindeki boşluklara, düşük basınçlarda nüfuz etmekte dolayısıyla zeminin hacmi ve yapısında bir değişiklik meydana getirmemektedir. Zemin içerisine enjekte edilen malzeme zamanla sertleşmekte ve böylece zeminin mekanik ve hidrojeolojik özelliklerini değiştirmektedir.

Emdirme enjeksiyonunda hem süspansiyon

türünde olan çimento şerbeti hem de koloit yapıdaki saf kimyasal çözeltiler kullanılabilir. Fakat zeminin geçirirliiliği azaldıkça hem teknik hem de ekonomik zorluklar artmaktadır.

Zeminin geçirirliilik katsayısı, k , açısından baktığımızda silikat karışımlar için permeasyon limiti 10^{-3} cm/s , en pahalı reçine malzemeler içinse 10^{-4} cm/s civarındadır.

Tablo 1 aşağıdaki faktörleri göz önüne alarak permeasyon enjeksiyonu için genel bir çerçeve oluşturmaktadır.

- Temel reolojik kategoriler ve enjeksiyon malzemesi türleri
- Enjekte edilecek zemine bağlı olarak uygulama alanları
- Geçirirliilik katsayısı ve özgül dane yüzeyi cinsinden yaklaşık enjekte edilebilirlik sınırları
- Temel enjeksiyon teknikleri

Son yıllarda yeni çimento karışımları üzerinde çalışılmış ve normal portland çimentoları ile permeasyonu mümkün olmayan zeminler enjekte edilebilmeye başlanmıştır. Bu sayede daha ince daneli zeminlerin de iyileştirilmesi mümkün olmuş ve hem çevresel koruma hem de ekonomik açıdan olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 1 - Enjeksiyon malzemelerinin sınıflandırılması (Gallavresi, 1992)

Reolojik Kategori	Partiküler Süspansiyonlar (Bingham Akışkanları)			Çözeltiler (Newton Akışkanları)			Gaz Emülsiyonları	
	Kararsız	Kararlı		Koloit Çözeltiler (Vizkozite zamanla artmakta)	Saf Çözeltiler (Vizkozite zamanla değişmemekte)			
Enjeksiyon Malzemelerinin Ana Türleri	Sadece çimento	Bentonit veya kil ile birlikte çimento	Topaklaşmamış bentonit	Kimyasal Enjeksiyon Malzemeleri			Şişebilen Enjeksiyon Malzemeleri	
				Sodyum Silikat bazlı		Organik Reçineler bazlı	Çimento bazlı	Organik Ürünler bazlı
				Yüksek dayanımlı	Orta-Düşük dayanımlı			
Uygulama Alanları	Çatlaklı kaya ve duvar			Mikro fisürlü ve geçirimli kaya			Büyük boşluklar veya oyuklar	Boşluklar ve hızlı akan sızıntı suları
				GRANÜLER ZEMİNLER				
		Çakıl	Kaba Kumlar	Orta-İnce Kum		İnce Siltli Kumlar (Kumlu Siltler)		
Geçirimsizlik Katsayısı, k , (m/s)		$>5.10^{-4}$	$>5.10^{-5}$	$>5.10^{-5}$	$>1.10^{-5}$	$>1.10^{-6}$		
Özgül Yüzey, S_g , (m ² /N)		<0.5	<1.5	<1.5	<4	<10		
Temel Enjeksiyon Tekniği	Yüksek Basınç	Kontrollü hacim ve basınç					Düşük basınç (Boşlukların doldurulması)	

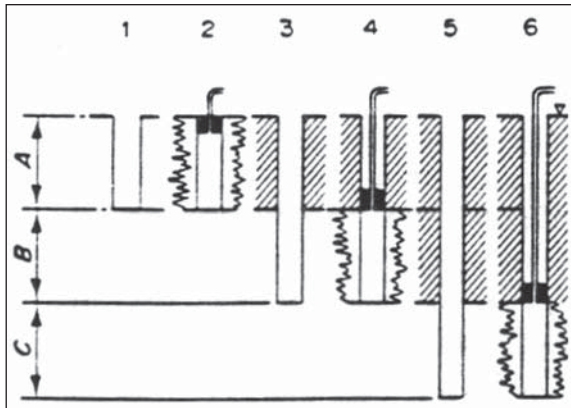
Yukarıda sözü edilen bu karışımlar çok ince daneli çimentolar (microfine cements) ve değişik katkı malzemeleri kullanılarak elde edilmiştir. Bu sayede elde edilen karışımlar için segregasyon (karışım içerisindeki çimento veya katkı malzemesi danelerinin zamanla çökmesi ve karışım suyundan ayrılması) ve filtrasyon oranları (karışım içerisindeki danelerin zemin tanecikleri tarafından tutulması ve enjeksiyonun engellenmesi) çok daha az, vizkozite parametrelerinden olan akma değeri belli bir süre boyunca sabit ve daha düşük, uzun vadedeki dayanım daha yüksek ve geçirimsizlik daha azdır.

Silikat bazlı çözeltilerde de hem teknik hem de çevresel açıdan bakıldığında yüksek kararlılıkta ve kristal yapıda yeni tip karışımlar elde edilmiştir.

Son 10-15 yıllık literatür taraması yapıldığında enjeksiyon malzemelerinin reolojik özellikleri (vizkozite ve zamanla değişimi, statik ve basınç altındaki segregasyon miktarı, filtrasyon oranı, ilk ve son priz zamanı), bu özelliklerin farklı dane çapı dağılımındaki zeminlere enjekte edilebilirliği nasıl etkilediği ve değişik pozolanik katkı maddelerinin bu özellikleri nasıl değiştirdiği hakkında birçok çalışma olduğu görülecektir. Dolayısıyla kritik olan husus zeminin geoteknik özellikleriyle enjeksiyon malzemesinin reolojik özelliklerinin tam olarak belirlenmesi ve bu özelliklerin birbirleriyle uyumlu olarak biraraya getirilmesidir.

Yüzeysel derinliklerde enjeksiyon işlemi tek aşamada yapılabilir. Bu durumda enjeksiyon kuyusu tasarım derinliğine kadar açılır ve enjeksiyon borusu yardımıyla yukarıya doğru enjeksiyon işlemi gerçekleştirilir. Alternatif olarak kuyu açılırken de enjeksiyon işlemi yapılabilir. Kuyu belli bir derinlikte açıldıktan sonra enjeksiyon borusu indirilir ve açılan derinlik boyunca enjeksiyon işlemi gerçekleştirilir. Bu durum tasarım derinliğine kadar tekrar ettirilir.

Kademeli enjeksiyon işlemi ise rölatif olarak yüksek enjeksiyon basınçlarının gerektiği daha derin zemin-

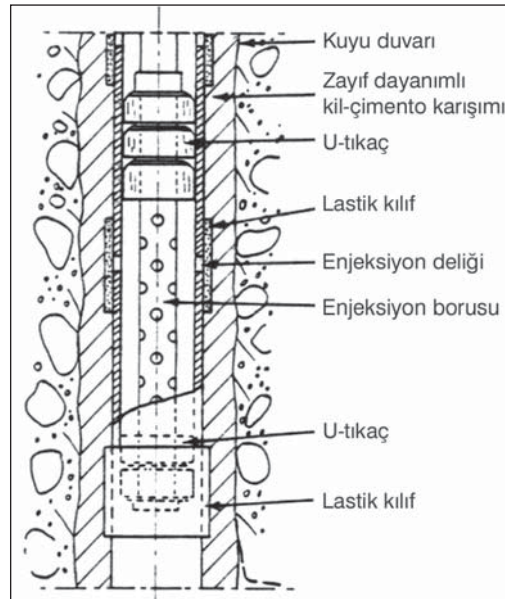


Şekil 2 - Kademeli enjeksiyon işlemi (Bell, 1993)

lerde ve daha efektif bir permeasyon için uygulanır. Burada enjeksiyon kuyusu belli bir derinliğe kadar açılır ve enjeksiyon yapılır. Enjeksiyon malzemesi sertleştikten sonra kuyu biraz daha derinleştirilir ve tekrar enjeksiyon yapılır (Şekil 2). Kademeli enjeksiyon derinliğinin artması, enjeksiyon basıncının artırılmasını sağlar ve yüzeydeki sızıntıdan meydana gelebilecek enjeksiyon malzemesi kaybını engeller.

Herhangi bir zemin enjeksiyonu uygulamasında ve özellikle tüneller için enjeksiyon işleminin enjekte edilen malzeme hacmi cinsinden zamana bağlı kontrolü büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla her ne kadar uzun zaman önce kullanılmaya başlansa da Tube a' Manchette tipi enjeksiyon borusu hala en uygun sistem olarak görülmektedir.

Tube a' Manchette, üzerinde yaklaşık 8 mm çaplı küçük deliklerin bulunduğu bölmelerden oluşan ve çapı 37.5 ve 62.5 mm arasında değişen çelik bir borudur. Delikli bölmeler yaklaşık 30 cm aralıklı olup tek yönlü vana gibi çalışan lastik kılıflarla kapatılmışlardır (Şekil 3). Muhafaza borusu yardımıyla enjeksiyon kuyusu istenilen tasarım derinliğine kadar açıldıktan sonra tube a' manchette kuyu içerisine indirilir. Daha sonra muhafaza borusu yukarı çekilir ve tube a' manchette ile kuyu duvarı arasındaki boşluk zayıf dayanımlı bir enjeksiyon malzemesi olan kil-çimento veya bentonit karışımıyla doldurulur. Asıl enjeksiyon işlemi ise tube a' manchette içerisine uç kısmı delikli ve U-tıkaçlarla kapalı olan küçük çaplı bir enjeksiyon borusu indirilerek gerçekleştirilir. Tıkaçlar tube a' manchette üzerindeki delikli bölmelerden herhangi biri üzerine merkezlenebilir. Enjeksiyon işleminin başlamasıyla



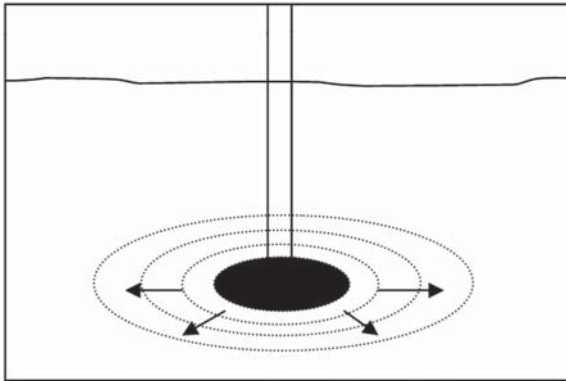
Şekil 3 - Tube a' Manchette sisteminin detayı (Bell, 1993)

beraber lastik kılıf ve tube a' manchette ile kuyu duvarı arasındaki zayıf enjeksiyon malzemesi yırtılana kadar enjeksiyon basıncı artacaktır. Lastik kılıfların tek yönlü çalışması enjeksiyon malzemesinin tube a' manchette içerisine geri girmesini engelleyecek, tube a' manchette ile kuyu duvarı arasındaki zayıf enjeksiyon malzemesi de meydana gelebilecek sızıntıları önleyecektir.

Tube a' manchette kullanımı, aynı enjeksiyon deliğinden birden fazla enjeksiyonun değişik enjeksiyon malzemeleriyle yapılabilmesini sağlamaktadır. Fakat yoğun şehir merkezlerinde veya çalışma alanı yetersizliğinde tube a' manchette sisteminin yer yüzeyinden, kuyulardan veya tünel yüzeylerinden kurulması uygun olmayabilir. Bu durumlarda tube a' manchette sisteminin yeni geliştirilen yatay yönlü foraj (horizontal directional drilling) sistemi ile yerleştirilmesi söz konusudur.

Kompaksiyon Enjeksiyonu:

1980 yılında toplanan ASCE Enjeksiyon Komitesi, kompaksiyon enjeksiyonunu 25 mm'den daha az çökme değeri olan, yeterli plastisiteyi sağlayacak kadar silt ve içsel sürtünmeyi sağlayacak kadar da kum içeren katı enjeksiyon malzemesinin, zemin boşlukları içerisine girmeksizin enjeksiyon noktası etrafında giderek genişleyen bir kütle oluşturacak ve bu sayede etrafındaki gevşek zeminleri sıkıştırarak şekilde yüksek basınçlarda enjekte edilmesi olarak tanımlamıştır (Şekil 4).



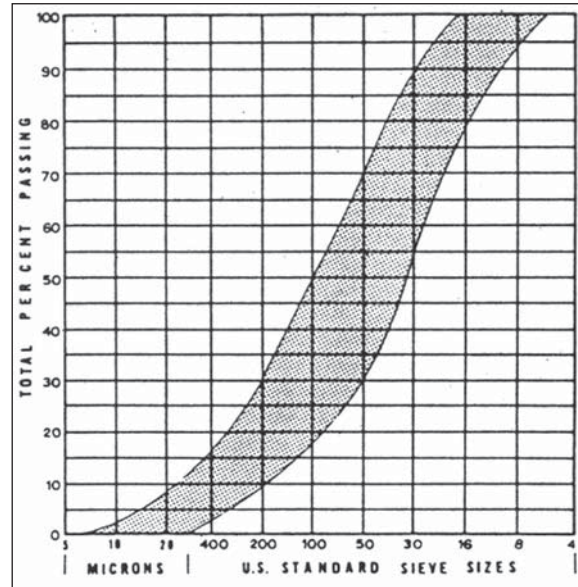
Şekil 4 - Kompaksiyon enjeksiyonunun şematik gösterimi (Essler, 2000)

50 yıl kadar önce ABD'de uygulanmaya başlayan yöntem, çoğunlukla zayıf veya yumuşak zeminlerin sıkıştırılmasında, temel ve döşemelerin alttan desteklenmesinde, yapı oturmalarının kontrol edilmesinde, farklı oturmalar gösteren yapı temellerinin rehabilitasyonunda ve tekrar eski seviyelerine yükseltilmesinde kullanılmıştır.

Kompaksiyon enjeksiyonu ile permeasyon enjeksiyonu arasında hem enjeksiyon parametreleri hem de uygulanabilecek zeminler arasında büyük fark-

lar vardır. Kompaksiyon enjeksiyonunda çok katı bir enjeksiyon malzemesi ve çok yüksek basınçlar (3.5 MPa'a kadar) gerekmektedir. Dolayısıyla zeminin orijinal yapısı bozulmakta ve bu sayede radyal olarak sıkıştırılabilmektedir. Ayrıca kompaksiyon enjeksiyonu tüm zeminlere uygulanabilirken permeasyon enjeksiyonunun uygulanabilirliği, burada zemin içerisindeki boşluklara nüfuz etme söz konusu olduğundan, hem zeminin dane çapı dağılımı hem de enjeksiyon malzemesinin dane çapı dağılımı tarafından belirlenmektedir.

Literatür çalışmaları göz önüne alındığında kompaksiyon enjeksiyonunun başarılı sonuçlar vermesi enjeksiyon malzemesinin katı ve yüksek vizkozitede olmasına bağlıdır. Bu yüzden karışımlarda plastisiteyi gereğinden fazla artıracak silt ve gereğinden fazla mobilite sağlayacak bentonitin kullanılmaması öngörülmektedir. Karışımında kullanılacak kum için de tercih edilen dane çapı dağılım aralığı Şekil 5 'de gösterilmiştir.



Şekil 5 - Kompaksiyon enjeksiyonu karışımındaki kum için öngörülen dane çapı dağılım aralığı (Warner & Brown, 1974)

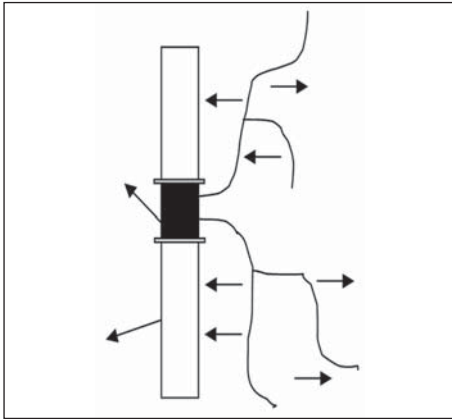
Kompaksiyon enjeksiyonunun son 10 yıllık bir süreç içerisinde sivilaşmayı önleyici bir teknik olarak da kullanılmaya başlandığını görmekteyiz. Gerçekten Boulanger ve Hayden (1995) kompaksiyon enjeksiyonunun sivilaşmayı önlemek için kullanıldığı geniş bir vaka analizleri özeti hazırlamışlardır. Vaka analizlerinde, bu enjeksiyon tekniğinin siltli kumlarla siltli zeminlerin SPT ve CPT direnç değerlerini önemli ölçüde artırdığı belirtilmiştir. Fakat şu da unutulmamalıdır ki kompaksiyon enjeksiyonu sonucu zemin içerisinde oluşturulan kütlelerin uzun vadede de yeterli dayanımda olması gerekir. Ayrıca bu tekniğin

çok yumuşak killerde uygulanması ekstra boşluk suyu basınçları oluşturacak bu da uzun vadede oturmalara yol açacaktır. Dolayısıyla bu hususların uygulama öncesinde enjeksiyon parametreleri ve enjeksiyon malzemelerinin tasarımı esnasında göz önünde bulundurulması gerekir.

Çatlatma Enjeksiyonu:

Çatlatma enjeksiyonu Avrupa'da ortaya çıkmakla beraber diğer enjeksiyon tekniklerine göre daha yenidir. Burada zeminin kontrollü bir şekilde, kararlı fakat düşük vizkoziteli çimento enjeksiyonu ile yüksek basınçlarda (4 MPa) çatlatılması söz konusudur. Bu enjeksiyon tekniği temel olarak permeasyon enjeksiyonunun mümkün olmadığı düşük geçirimsizliğe sahip, ince daneli zeminlerin stabilizasyonunda uygulanmaktadır. Çatlatma enjeksiyonunun gelişimi tünel veya kazı aktiviteleri esnasında meydana gelen oturmaları önleme (kompense etme) çalışmalarına dayanmaktadır.

Çatlatma enjeksiyonu sonucunda zemin içerisinde ağaç dallarına benzer bir şekilde sertleşmiş çimento kanalları oluşmakta ve bu sayede zemin kontrollü bir şekilde ve bölgesel olarak sıkıştırılmaktadır (Şekil 6). Çimento şerbeti başlangıçta yüksek basınçlarda enjekte edilmekte ve zeminin çatlamasıyla beraber oluşan çatlaklar çimento ile doldurulmaktadır. Oluşan çatlakların boyu, genişliği ve hacmi enjeksiyon basıncına ve mevcut geostatik gerilmelere bağlıdır.



Şekil 6 - Düşey yönde çatlakların oluşumu ve yatay sıkıştırma

Teorik olarak bakacak olursak, normal konsolide, homojen bir zemin içerisinde meydana gelecek ilk çatlaklar düşey doğrultuda (büyük asal gerilme doğrultusunda) olacak, bu sayede yatay gerilmeleri artıracak ve zemini sıkıştıracaktır (Raabe ve Esters, 1990). Eğer tube a' manchette sistemi ile aynı noktadan birden fazla enjeksiyon işlemi tekrarlanacak olursa asal gerilmelerin doğrultuları değişecek ve yatay yönde çatlaklar meydana gelmeye başlaya-

caktır. Bu da sonuç olarak (bazen ani bir şekilde) yer yüzeyinde ya da üst yapılarda kabarmaya neden olacaktır. Fakat pratikte, meydana gelecek çatlakların yönü zemin içerisinde mevcut çatlaklara, zayıf bölgelere veya fisürlere bağlı olarak değişmektedir (Rawlings vd., 1998).

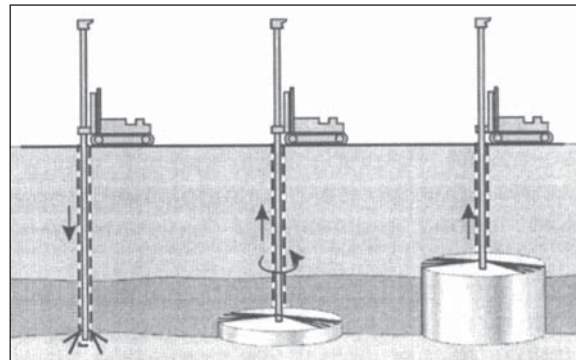
Bu tip enjeksiyon türünün uygulanmasında da tube a' manchette kullanılmakta ve örneğin tünel kazımı esnasında meydana gelen oturmalara bağlı olarak aynı noktadan birden fazla gerektiğinde farklı enjeksiyon malzemeleriyle enjeksiyon yapılabilmektedir.

Literatürdeki vaka analizleri incelendiğinde çatlatma enjeksiyonunda kullanılan çimento şerbetinin su/çimento oranlarının nispeten daha yüksek olduğu ve karışıma mobilite vermek için başta bentonit olmak üzere değişik katkı malzemelerinin kullanıldığı görülmektedir. Bu açıdan kompaksiyon enjeksiyonundan ayrılmaktadır.

Jet Enjeksiyonu:

Bu enjeksiyon türünde tasarım derinliğine kadar, su kullanılarak delgi yapılmakta ve delgi için kullanılan tijlerin ucundaki nozullardan yüksek basınçlarda çimento şerbeti zemine jetlenmektedir. Bu jetleme esnasında tijler de belirli bir hızla döndürülmekte ve yine belirli bir hızla da zemin içinde aşağıdan yukarıya doğru çekilmektedir. Böylece, belirli bir çapta ve boyda zemin içinde silindirik bir kolon oluşturulmaktadır (Şekil 7). Jetleme esnasında kolon çapını artırabilmek için çimento jeti yanında hava ve su jetleri de kullanılabilir. Buradaki mekanizmadan anlaşılabilir gibi jet enjeksiyonu aslında bir enjeksiyon tekniği değil bir karıştırma yöntemidir. Sonuçta zemin içerisinde beton-zemin karışımı yüksek dayanımlı ve geçirimsizliği düşük kolonlar elde edilmektedir. Bu yönüyle jet enjeksiyonu diğer enjeksiyon türlerinden kesin olarak ayrılmaktadır.

Jet enjeksiyonu sonucu zemin içerisinde oluşturulan kolonlar, temeller, döşemeler ve dolgular altında taşıma gücü ve oturma kontrolü için kullanılabilir. Yumuşak zeminlerde açılan tünellerde tünel kesiti üzerinde taşıyıcı şemsiye, yine yumu-



Şekil 7 - Jet enjeksiyonu işlemi



Şekil 8 - SuperJet kolonlar

şak killerdeki derin kazılarda kazı tabanı altında payanda elemanı olarak da kullanılabilir. Ayrıca Durgunoğlu (2004) bu enjeksiyon tekniğinin sıvılaşma riskinin azaltılması gayesiyle kullanımına ait bir metodoloji ve tasarım yöntemi de göstermiştir.

Ülkemizde de yaygın olarak kullanılan jet enjeksiyonunun, bir zemin iyileştirme tekniği olarak dünyanın birçok bölgesinde, özellikle de Japonya, Avrupa ve ABD’de uygulanıyor olmasına rağmen halen bir tasarım standardı bulunmamaktadır.

Uygulamanın maliyeti, jet enjeksiyonunun devam eden gelişimini kısmen düşürmüştür. Fakat Japonya’da çok yüksek çapta (5 m’ye kadar) kolonlar oluşturabilme metodu geliştirilmiş ve bu sayede enjeksiyon noktalarının sayısı azaltılarak maliyet düşürülmüştür. Bu teknoloji Japonya ve ABD’de SuperJet Enjeksiyonu (Şekil 8), Avrupa’da ise Soilcrete-DS (Toprakarme) Enjeksiyonu olarak bilinmektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada zemin enjeksiyon teknikleri, enjeksiyon parametreleri ve enjeksiyon malzemeleri açısından detaya inilmeksizin karşılaştırmalı olarak

incelenmiştir. Değişik enjeksiyon tekniklerinde enjeksiyon malzemelerinin zemin içerisine işleyiş mekanizmalarının farklı olduğu vurgulanmış ve uygulanması gereken enjeksiyon tekniği ile tasarım parametrelerinin mevcut zemin koşullarına ve uygulama amacına göre seçilmesi gerektiği belirtilmiştir.

REFERANSLAR

1. Bell, F.G., 'Engineering Treatment of Soils', E&FN SPON, London, 1993
2. Boulanger, R.W., and Hayden, R.F. (1995), 'Aspects of Compaction Grouting of Liquefiable Soil', *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Cilt 121, No.12.
3. Committee on Grouting of the Geotechnical Engineering Division, 1980, *Preliminary Glossary of Terms Relating to Grouting*, *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, Cilt 106, No. GT7, s. 803-815.
4. Durgunoğlu, H.T., 'Yüksek Modüllü Kolonların Temel Mühendisliğinde Kullanımı', *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi*, 2004.
5. Gallavresi, F., 'Grouting Improvement of Foundation Soils' *Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics*, *Geotechnical Special Publication*, ASCE, 1992, Cilt 1, s. 1-39.
6. Raabe, E.W., Esters, K., 'Soil Fracturing Techniques for Terminating Settlements and Restoring Levels of Buildings and Structures', *Ground Engineering*, Mayıs 1990, s. 33-45.
7. Rawlings, C.G., Helliwell, E.E. ve Kilkenny, W.M. (1998). *CIRIA Report CP/56 Mart 1998-Grouting for Ground Engineering*.
8. Warner, J., ve Brown, D.R. (1974), 'Planning and Performing Compaction Grouting', *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, Cilt 100, No. GT6, s. 653-666.

