

Yeni Bir Derin Zemin Karıştırma Sistemi Tasarımı ve Arazi Uygulamaları

Mehmet İnanç ONUR^{1*}, Mustafa TUNCAN¹, H. Orkun KILIÇ², Ahmet TUNCAN¹

¹Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir

²Yerteknik Mühendislik Ltd. Şti, Eskişehir

(Geliş Tarihi/Received: 08.04.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 22.08.2016)

ÖZET

Zemin iyileştirme; zemin özelliklerinin çeşitli yöntemler kullanılarak, istenilen düzeyde ıslah edilmesidir. Derin zemin karıştırma yöntemi (deep soil mixing) ise; çimento ve/veya diğer malzemeler ile zeminin yerinde karıştırılması işlemidir. Bu çalışmanın amacı; derin zemin karıştırma sistemi tasarımını detaylı olarak açıklayıp, örnek çalışmalar ile uygulama sonuçlarını literatüre sunmaktır. Çalışma sonucunda ülkemizde derin zemin karıştırma yönteminin bilinirliğinin ve uygulamalarının artması, tasarım aşamalarının açıklanması ile yeni ve farklı sistem tasarımları için yön verici ve cesaretlendirici olması umulmaktadır. Ayrıca, bu çalışma ülkemiz zemin iyileştirme piyasası ve uygulamacı mühendisler için yeni bir bakış açısı ve alternatif getirecektir.

Anahtar kelimeler: Derin zemin karıştırma, zemin iyileştirme, sistem tasarımı.

Design of A New Deep Soil Mixing System and Field Applications

ABSTRACT

Soil improvement is the improvement of soil properties at required levels by using different types of methods. Deep soil mixing is the in-situ mixing of soil with using cement and/or other additives. The purpose this study is to explain the design of deep mixing system and also to give the results of the in-situ studies to the literature. At the end of this study, it is expected that increase accustomed to using deep mixing and applications, due to explanations of the design steps to give encourage and collimating to new and different system designs. Besides, this study will give different points of view and alternative method for the engineer and contractors.

Keywords: Deep Soil Mixing, Ground Improvement, System Design.

1. Giriş

Zemin iyileştirme; zemin özelliklerinin üstyapı inşası için uygun olmadığı durumlarda çeşitli yöntemler kullanılarak, istenilen düzeyde ıslah edilmesi olarak tanımlanmaktadır (Das, 1984). Zeminin kayma mukavemetinin artırılması, temellerin taşıma gücünün artırılması, oturma miktarının azaltılması, zeminin büzülme/kabarma ve sıvılaşma potansiyellerinin azaltılması ve yamaçların

stabilitesinin artırılması vb. durumlarda zemin iyileştirme yöntemleri kullanılmaktadır (Tuncan, 2007). Zemin iyileştirme metotlarının seçiminde yerel zemin koşulları ve deprem karakteristiklerine dikkat edilmeli, iyileştirme metotlarının deprem etkisi altındaki davranışları mutlaka incelenmelidir. Zemin iyileştirme işlemi sonrası gerekli kontroller yapılarak “neyi, nasıl, ne kadar iyileştiriyoruz?” sorusuna cevap verilmelidir (Sağlam, 2011). Zemin

iyileştirme yöntemleri kullanılan ekipmana, malzemeye ve zeminde amaçlanan iyileşmeye bağlı olarak isimlendirilmektedir. Geçmişten günümüze sıkça tercih edilen zemin iyileştirme yöntemleri ise; kompaksiyon, ön yükleme, ilave malzemelerle iyileştirme ve geotekstil kullanımı olarak belirtilebilir. Ayrıca zemin iyileştirme yöntemleri, uygulama derinliğine bağlı olarak derin iyileştirme yöntemleri ve yüzeysel iyileştirme yöntemleri şeklinde sınıflandırılmaktadır. Vibrasyonlu yöntemler kohezyonsuz zeminler için uygun fakat zemindeki ince dane oranı fazla ise vibrasyon yöntemleri etkisini kaybetmektedir. Enjeksiyon yöntemlerinde ise, bir bağlayıcı katkı malzemesiyle (çimento, kireç vb.) zemin karıştırılarak tanecikler arası bağların mukavemeti artırılır. Ayrıca boşluk suyu basınçlarının zemine etkisi izole edilerek iyileşme sağlanmaktadır. En uygun zemin iyileştirme yöntemi zemin tipine ve dane çapına göre seçilmelidir.

Derin zemin karıştırma yöntemi (deep soil mixing) ise; çimento ve/veya diğer malzemeler ile zeminin yerinde harmanlanmasına dayanan zemin iyileştirme yöntemidir (USFHA, 2000). Bu yöntem 1960'lerden beri dünyada uygulanmakta olup 2006 yılında TS-EN14679 numarası ile Türk Standartlarına girmiştir (TSE, 2006). Bu metot, zemin içerisinde yüksek modüllü kolonlar oluşturulması prensibine dayanmaktadır. Genel olarak yöntemin uygulanışı karıştırma aparatı ile zeminin harmanlanırken aynı zamanda çimento şerbetinin zemine enjekte edilmesi ve istenilen ebatlarda kolonun oluşturulması

esasına dayanır. Derin zemin karıştırma sisteminin uygulanması için gerekli ekipmanlar ise karıştırıcı shaft, çimento tankı, su tankı, mikser ve pompadır. Derin zemin karıştırma yöntemi çok farklı amaçlar için kullanılabilir (Bruce vd., 1998). Özellikle zemin taşıma gücünü artırmak ve sıvılaşma direncini artırmanın yanı sıra geçirimsizlik oluşturmak, yanal toprak basıncını karşılamak gibi amaçlar içinde kullanılabilir. Uygulama sırasında kolaylık ve hız başta olmak üzere çeşitli avantajlar sunması nedeniyle dünya çapında popülerliğini artırmıştır (Bruce, 2001).

Literatür incelendiğinde derin zemin karıştırma yöntemine olan ihtiyaç ve yöntem ile ilgili çok fazla çalışma olduğu görülmektedir. Onur, dinamik etkiler altında zemin deformasyonunun yerel zemin koşullarına bağlı olarak farklılıklar gösterdiğini belirtmiştir ve uygulanacak zemin iyileştirme yönteminin seçiminin önemini vurgulamıştır (Onur, 2007). Andromalos ve Bahner derin zemin karıştırma kolonlarını kazı destek sistemi olarak uygulamışlardır. Wisconsin ve Pennsylvania eyaletlerinde bu yöntem ile yanal hareketlerin limitler içinde olduğu ve yeraltı suyunun kontrolünün başarılı olduğunu tespit etmiştir (Andromalos ve Bahner, 2003). Shao ve ark. derin zemin karıştırma yönteminin derin kazılarda düşük maliyeti, az çevre zararları ve su drenajı gerektirmediğinden bahsetmişler ancak düşük çekme dayanımları nedeniyle çok kalın kesit alanına ihtiyaç duyulduğunu ve çok

derin çalışmalarda pratik olmadığını belirtmişlerdir (Shao vd., 2005).

Madhyannapu ve ark. şişen zeminlerin derin zemin karıştırma yöntemi ile iyileştirilmesini araştırmıştır. Gözlemler sonucunda iyileştirilmeyen zemin davranışına göre derin zemin karıştırma uygulanan bölgede şişme davranışının ve yatay düşey hareketlerin daha az meydana geldiği tespit edilmiştir (Madhyannapu vd., 2009). Kazemian ve Huat çalışmalarında farklı yöntemler denemiş özellikle derin zemin karıştırma yöntemi incelenmiş ve problemlili zeminlerde doğru yöntemin seçiminin önemini vurgulamıştır (Kazemian ve Huat, 2009). Holm derin zemin karıştırma yönteminin sıvılaşmaya karşı, oturmaya karşı ve iksa sistemi olarak problemlili zeminlerde çok farklı amaçlarla kullanılabileceğini ifade etmiştir (Holm, 2005). Fang çalışmasında derin zemin karıştırma yöntemiyle yumuşak zeminlerdeki iyileşmeyi numerik olarak modellemiştir. Çalışma sonucunda arazi uygulamalarıyla, bilgisayar modellemesi arasındaki benzerlikleri ve farklılıkları ortaya koymuştur (Fang, 2006).

Day ve Ryan ise çalışmalarında derin zemin karıştırma yöntemini kirliliğe maruz zeminler için uygulamışlar ve çalışma sonucunda düşük maliyet, daha az çevre kirliliği gibi avantajları gözlemlemiştir (Day ve Ryan, 1995). Ye ve ark. yumuşak zeminlerin iyileştirilmesi için derin zemin karıştırma yöntemi ve düşey drenler ile ön yükleme yöntemini incelemiştir. Çalışma sonuçları, derin zemin karıştırma yönteminin hem

düşük maliyeti hem zaman kazancı hem de taşıma kapasitesindeki daha fazla artış ile daha uygulanabilir ve avantajlı olduğunu göstermiştir (Ye vd., 2006). Ferrari Singapur'da bir derin kazı projesi için derin zemin karıştırma yönteminin avantajlarını araştırmıştır. Çalışma sonuçları uygulamanın istenilen niteliklerde olduğunu ve çözüm limitlerinin pratik avantajlar getirdiğini göstermiştir (Ferrari, 2007). Saride ve ark. köprü yaklaşım dolgusu için temel desteği olarak derin zemin karıştırma yönteminin uygulanmasını incelemişler ve gözlemler sonucunda hem yatay hareketlerde hem de farklı derinliklerdeki oturmalarda istenilen düzeylerde iyileştirmenin görüldüğünü belirtmiştir (Saride vd, 2010). Puppala ve arkadaşları yol kaplamalarında pürüzlülüğün azaltılması için derin zemin karıştırma yöntemini uygulamıştır. Uygulama sonucunda tahribatsız metotlar ve sismik metotlar kullanılarak bu bölgelerin kayma mukavemetlerinde artışlar olduğu tespit edilmiştir (Puppala vd., 2007). Yi ve ark. alışlagelmiş kolonlar yerine T şeklinde oluşturulan derin zemin karıştırma kolonlarının uygulama sonucu testlerinde daha başarılı olduğunu belirtmiştir (Yiv d., 2009). Long ve Bredenberg yumuşak killerde palplanj duvarlar için kireç ve çimento ile uygulanan derin zemin karıştırma kolonlarının performanslarını çeşitli kalınlıklar için analiz etmiştir (Long ve Bredenberg, 2000).

Bu çalışmanın amacı; yıllardır dünyada, ülkemizde ise ancak son zamanlarda üzerinde çalışılmaya başlanan ve zemin iyileştirme

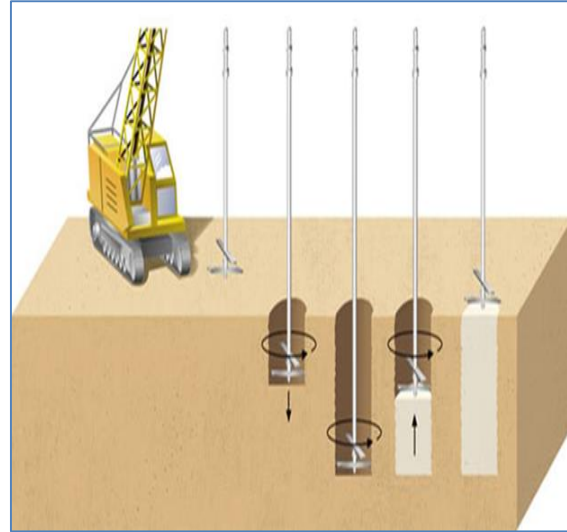
yöntemleri içerisinde önemli bir yere sahip olan derin zemin karıştırma yöntemi konusuna genel bir bakış sağlamak ve bu alanda uygulamalar yapılabilecek bir ekipman sistemi tasarlamaktır. Özellikle derin zemin karıştırma sistemi ekipmanlarının tasarımını detaylı olarak açıklayıp, örnek çalışmalar ile uygulama sonuçlarını literatüre sunmaktır. Ayrıca; ülkemizde depremler sonucu oluşan yıkımları en aza indirmek amacıyla sıkça uygulanan zemin iyileştirme çalışmaları için yeni bir sistemin faydalarını araştırmaktır. Çalışma sonucunda ülkemizde derin zemin karıştırma yönteminin bilinirliğinin ve uygulamalarının artması, tasarım aşamaları verilecek olan derin zemin karıştırma ekipmanı ile yeni ve farklı sistem tasarımları için yön verici ve cesaretlendirici olması umulmaktadır. Ayrıca, bu çalışmanın ülkemiz zemin iyileştirme piyasası ve uygulamacı mühendisler için depremlere karşı kentsel dönüşüm çalışmalarının başladığı şu günlerde yeni bir bakış açısı ve alternatif getireceği beklenmektedir.

2. Derin Zemin Yöntemi

Zemin iyileştirme yöntemi olarak derin zemin karıştırma metodu ilk kez Amerika Birleşik Devletleri'nde 1954 yılında uygulanmıştır. 1960 ve 1970 yıllarında ise Japonya'da çok fazla uygulaması bulunmaktadır. 1967 yılından itibaren ise ilk kez İsveç'te yumuşak killer de kireç kolanları olarak başlamış ve daha sonra diğer Avrupa ülkelerine yayılmaya başlamıştır (USFHA, 2000).

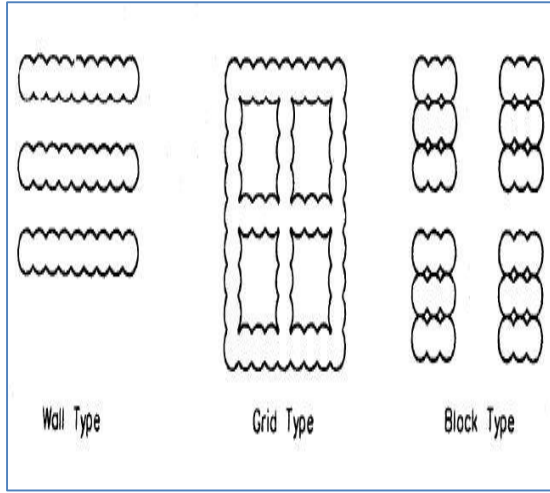
2.1. Derin Zemin Karıştırma Yönteminin Uygulanması

Delici makina kolon koordinatında pozisyon alır. Karıştırıcı shaft zemini parçalayarak istenilen derinliğe kadar indirilir. Karıştırıcı shaft istenilen derinliğe ulaştıktan sonra, zemini karıştırarak yukarıya çekilir. İstenilen derinliğe inme ve bu derinliğe ulaştıktan sonra geri çekme evrelerinin birinde veya her ikisinde de çimento veya kireç şerbeti verilerek zemin ile karışması sağlanır.



Şekil 1. Uygulama aşamaları (Kılıç, 2013).

Derin zemin karıştırma tekniği geniş bir alanda zeminlerin iyileştirilmesi için kullanılabilir. Aşağıdaki şekilden görülebileceği gibi tekil elemanlar, duvar veya paneller, ızgaralar veya kafesler ya da bloklar şeklinde inşa edilebilir (Şekil 2). Derin zemin karıştırma tekniği, uygulama şeklinin belirlenmesi, projenin limitleri, karakteristiği ve geometrisine bağlıdır.



Şekil 2. Uygulama şekilleri (Kılıç, 2013).

Derin zemin karıştırma yöntemi, hidrolik cut-off duvar şeklinde yer altı suyu akışını engellemek amacıyla örtüşen kolonlar veya paneller şeklinde imal edilebilir. Ayrıca, kazı yüzeylerinde durağan bir zemin yüzeyi elde etmek, yüksek dayanım elde etmek ve zemin sıklılığını artırmak için çelik elemanlar yerine kullanılarak maliyeti düşürmek amacıyla tercih edilebilir. Zemin iyileştirme olarak derin zemin karıştırma yönteminin zemin mukavemetini artırdığı sıkışabilirliğini azalttığı ve zemin stabilitesini arttırdığı gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra metro, tünel gibi yeraltı inşaatları içinde zemin hareketini kontrol altında tuttuğu belirlenmiştir. Sıvılaşmaya karşı uygulanan derin zemin karıştırma yöntemi ise sıvılaşmanın engellenmesi, zeminin güçlendirilmesi ve boşluk suyu basıncının azaltılması amaçları için uygulanmaktadır. Bu yöntem ekonomik nedenler ve derinlik faktörü düşünüldüğünde uygulamada sıkça yer bulmuş ve birçok projede geleneksel olarak tercih edilmektedir.



Şekil 3. Uygulama örnekleri (Kılıç, 2013).

2.2. Derin Zemin Karıştırma ile Zemin Mukavemeti Arasındaki İlişki

Derin zemin karıştırma yöntemi uygulanmış zeminlerde mukavemet artışı çeşitli faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Bu faktörler bağlayıcı maddenin karakteristik özellikleri (tipi, kalitesi, su ve diğer katkıları), zeminlerin karakteristik özellikleri (fiziksel, kimyasal ve minerolojik özellikleri, organik madde içeriği, boşluk suyu basıncı, pH ve su içeriği), karıştırma özellikleri (karıştırma derecesi, karıştırma zamanı, karıştırma kalitesi), kütleme özellikleri (sıcaklık, nem, donma/çözünme vb.) olarak literatürde verilmiştir (USFHQ, 2000). Ayrıca yeni geliştirilen metotlar, yeni geliştirilen bağlayıcı malzemelerinde elde edilecek zemin dayanımı üzerinde etkisi vardır. Zemin tiplerine bağlı olarak elde edilen yaklaşık basınç dayanımı değerleri Tablo 1'de verilmiştir (USFHA, 2000). Kohezyonlu zeminler, granüler zeminlere göre daha yüksek çimento miktarı gerektirmektedir. İstenilen seviyede iyileştirme olup olmadığı

mutlaka alınacak numunelere serbest basınç testi yapılarak belirlenmelidir.

Tablo 1. Farklı zeminlerde derin zemin karıştırma kolonları yaklaşık basınç dayanımları (USFHA, 2000)

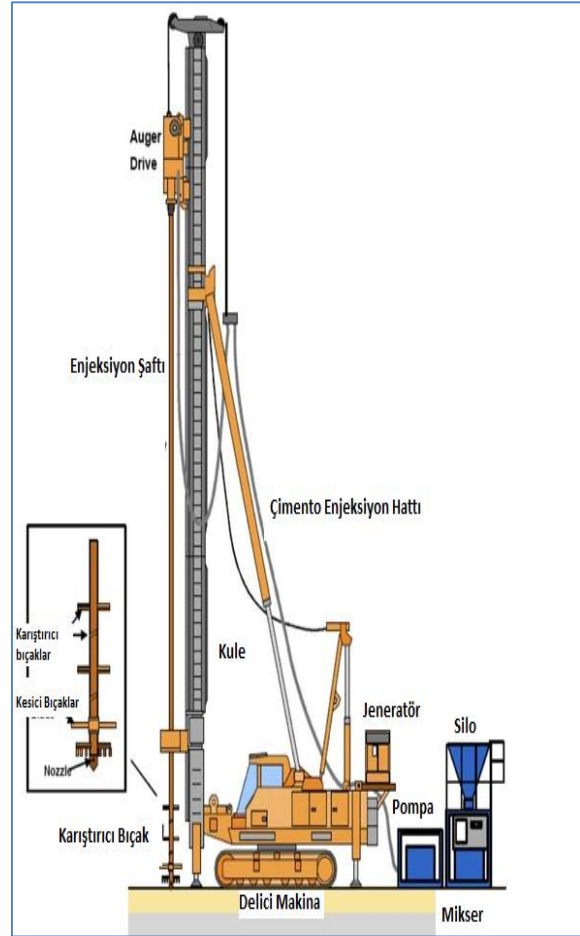
Bağlayıcı miktarı (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (MPa)		
	Turba	Kil	Kum
100	0,1	0,2	-
250	0,15	1,0	2,0
350	0,2	4,0	6,0
450	-	-	11,0

2.3. Derin Zemin Karıştırma Yöntemi Tipleri

Teknolojik gelişmelerle birlikte çeşitli ülkelerde çeşitli kurum ve özel firmalar tarafından tasarlanan ve uygulanan farklı tipte derin zemin karıştırma yöntemleri bulunmaktadır. Yapılan bir araştırmaya göre dünya çapında 24 farklı tip uygulama metodu tespit edilmiştir. Genel olarak farklılıklar zemine enjekte edilen bağlayıcının şekli (kuru veya ıslak), zemine batırılma yöntemi (yalnızca dönerek batırma ve düşük basınçla enjeksiyon veya dönerek batırmaya ilave yüksek basınç ile enjeksiyon), nozulların yeri ve mesafesine göre değişmektedir (milin sonunda veya belirli bölgelerinde). Ayrıca tek şaftlı veya çok şaftlı sistemlerde kullanılmaktadır.

2.4. Derin Zemin Karıştırma Yönteminde Kullanılan Ekipmanlar

Derin zemin karıştırma sisteminin uygulanması için gerekli ekipmanlar; karıştırıcı şaft, çimento tankı, su tankı, mikser ve pompa olarak belirtilebilir. Karıştırıcı şaft; kesme bıçakları, karıştırma bıçakları, enjeksiyon portları ve enjeksiyon nozullarından oluşmaktadır. Sistem genel olarak Şekil 4'de verilmiştir. Kolonun homojenliği her noktaya eşit miktarda enjeksiyon verilmesi ve karıştırıcı aparat üzerindeki gözeneklerin yerleşiminden büyük ölçüde etkilenmektedir.



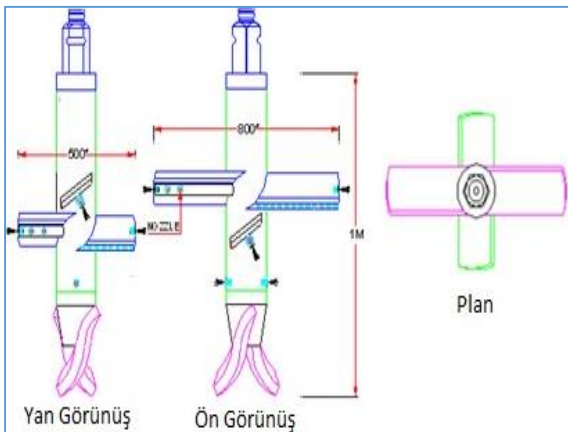
Şekil 4. DSM sistemi (Kılıç, 2013)

3. Derin Zemin Karıştırma Uygulama Ekipmanlarının Tasarımı

Çalışma kapsamında Avrupa'da sıkça kullanılmakta olan derin zemin karıştırma yönteminin uygulanabileceği bir sistem geliştirmek amaçlanmıştır. Böylece, ülkemizde zemin iyileştirme problemlerine karşı mühendislerin kendi sistemlerini imal edebilmelerinin önü açılmak istenmiştir. Bu amaçla, öncelikle karıştırıcı bıçak tasarım ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Ana makinanın tasarım ve imalatından sonra diğer mikser, pompa vb. ekipmanın tasarım ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tasarım ve uygulama detayları aşağıda verilmiştir.

3.1. Karıştırıcı Bıçak Tasarım ve İmalatı

Literatürde kullanılan bıçaklar ve detay çizimler doğrultusunda zeminin mekanik enerji ile en iyi şekilde parçalanarak çimento şerbetiyle homojen bir şekilde karıştırılabilmesi için 1 m boyunda 60 cm çapında çift kanatlı ve kanatlarında nozzullar bulunan bir karıştırıcı bıçak tasarlanmıştır. Karıştırıcı bıçak tasarımı için detay çizimleri Şekil 5'de imal edilen bıçak ise Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5. Bıçak tasarımı için detay çizimleri



Şekil 6. Karıştırıcı bıçak

3.2 Ana Makina Tasarım ve İmalatı

Uygulamada zemin mekanik enerjiyle parçalandığı için güçlü bir delici makinaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla aşağıdaki özelliklere sahip bir ana makine seçilmiştir.

Ana makine özellikleri

- Motor Gücü: 170HP
- Hidrolik Güç: 140HP
- Hidrolik Pompa: 2x286lt/dk
- Palet genişliği: 600mm
- Palet uzunluğu: 4500mm
- Paletler arası mesafe: 3500mm
- Tırmanma Gücü: 218kN
- Yürüme Hızı: 2,2 / 4,4 km/h



Şekil 7. Ana makine

Uzun strok gereksinimleri ve yüksek tork güçlerine dayanıklılık bir arada düşünülerek 13 metre uzunluğunda 450x600 mm ebatlarında bir delici kule tasarlanarak ana makinaya montajı yapılmıştır.

Kule ve delici özellikleri

- Delici Tork Gücü: 120kNm
- Dönüş Hızı: 45rpm
- Kule Baskı Kuvveti: 124kN
- Baskı Hızı: 15m/min
- Kule vinç gücü: 41kN
- Vinç Halat Çapı: 15mm
- Vinç Çekme Hızı: 78m/dk



Şekil 8. Kule ve delici

Pompa ve karıştırıcı ünitelerin tasarım ve imalatı

Uygulamada en önemli noktalardan biri tüm kolonlara eşit ve homojen çimento şerbetinin aktarılabilmesidir. Bu düşünceden hareketle 7 inç dokunmatik bir ekranla tam otomatik kontrol edilebilen çimento ve su miktarlarını yüklenen reçetelere göre alıp karıştıran ve makinaya sevk eden bir pompa ünitesi tasarlanmıştır.

Pompa ve karıştırıcı üniteler

- Debi: 220 lt/dk
- Basınç: 120 bar
- Mixer Tankı: 1000 lt
- Dinlendirici Tankı: 1750 lt
- Karışım Kapasitesi: 250 lt/dk
- Silo Kapasitesi: 40 ton



Şekil 9. Mikser sistemi

4. Sistem Kontrol Uygulamaları

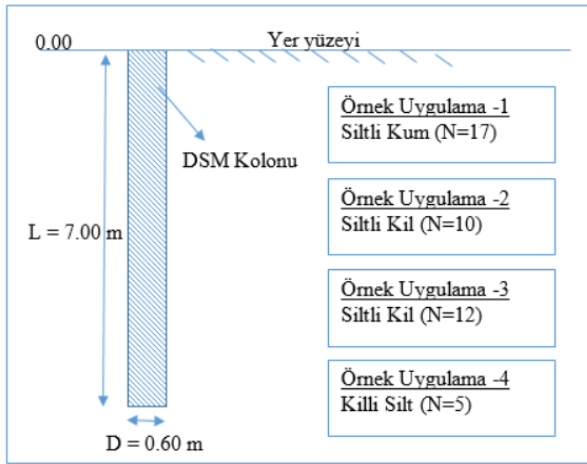
Çalışma kapsamında tasarlanan sistem ile Eskişehir il merkezi sınırları içerisinde farklı zemin özelliklerine sahip alanlarda 4 adet örnek uygulama gerçekleştirilmiş ve uygulama sonrası testler ile derin zemin karıştırma işleminin başarısı ve farklı zeminlerdeki dayanım sonuçları irdelenmiştir. Uygulamada “TS EN 14679 Özel Jeoteknik Uygulamalar – Derin Karıştırma” esas alınmıştır (TSE, 2006).

4.1 Örnek Uygulama Detayları

Örnek uygulamaların tamamında derin karıştırma kolonu oluşturulmak amacıyla seçilen parametreler aşağıda özetlenmiştir:

- Enjeksiyon Basıncı: 0-100 Bar
- İlerleme hızı: 50-150 cm/dak
- Geri çekme hızı: 50-200 cm/dak
- Nozzle Çapı: 5-13 arası
- Dönme Hızı: 5 - 40dev/dak
- Dozaj: 450 kg/m³

Tüm uygulamalar için 60 cm kolon çapı ve 7 metre kolon derinliği sabit olarak oluşturulmaya çalışılmıştır. Tüm örnek uygulamaların şematik olarak gösterimi Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. DSM örnek uygulama şeması

Zemin özelliklerinin belirlenmesinde, Yerteknik Ltd. Şti. tarafından hazırlanan zemin sondaj logları dikkate alınmıştır. İlk deneme kolonu SPT sayısı (N=17) olan siltli kum zeminde imal edilmiştir. Ayrıca, "All Pile" bilgisayar programı kullanılarak yapılan hesaplar neticesinde bir kolonun emniyetli taşıma gücü 391,62 kN olarak belirlenmiştir. İkinci deneme kolonu SPT sayısı (N=10) olan Siltli kil zeminde oluşturulmuştur, Bu zemin özelliklerinde "All Pile" bilgisayar programı kullanılarak yapılan hesaplar neticesinde bir kolonun emniyetli taşıma gücü 350 kN olarak

belirlenmiştir. Üçüncü deneme ise SPT sayısı (N=12) olan siltli kil zeminde uygulanmıştır. Bu zeminde "All Pile" bilgisayar programı kullanılarak yapılan hesaplar neticesinde bir kolonun emniyetli taşıma gücü 340 kN olarak belirlenmiştir. Son uygulama ise SPT sayısı (N=5) olan killi silt zeminde denetlenmiştir. Bu zemin için "All Pile" bilgisayar programı kullanılarak yapılan hesaplar neticesinde bir kolonun emniyetli taşıma gücü 250 kN olarak belirlenmiştir.

4.2 Örnek Uygulama Sonuçları

Uygulamanın kontrolü amacıyla öncelikle Şekil 11'de gösterildiği gibi kolonların çevresi açılmıştır.



Şekil 11. DSM uygulaması kontrolü-1

Çap kontrolü yapılmış ve uygulamalarda minimum 63 cm, maksimum 65 cm kolon çapları olduğu görülmüştür. İlave olarak Şekil 12'de görüldüğü gibi tüm deneme kolonlarından tam boy karot alınmış ve 7 metrelik kolon oluşumu kontrol edilmiştir. Ayrıca yine Şekil 13'de verildiği şekilde kolonlardan alınan karotlara basınç testi uygulanmıştır. Oluşturulan kolonlardan alınan karot numunelerinin basınç testi

sonuçları Çizelge 2'de özetlenmiştir. Kolonların ön tasarım yükleri ile karot sonuçları Çizelge 3'de karşılaştırılmıştır.



Şekil 12. DSM uygulaması kontrolü-2

Çizelge 2. Karot sonuçları

Açıklama	Karot Çapı (mm)	Karot Yüksekliği (mm)	Boy/Çap Oranı	Kırılma Yüğü (kN)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
Uyg- 1	92	92	1,00	160	14,57
Uyg- 2	94	94	1,00	67	9,63
Uyg- 3	84	84	1,00	67,50	12,23
Uyg- 4	84	84	1,00	36,75	6,67

Çizelge 3. Karot sonuçlarının tasarım yükleri ile karşılaştırılması

Açıklama	Karot Basınç Dayanımı (kN/m ²)	Kolon Ön Tasarım Yüğü (kN/m ²)
Uygulama 1	14570	392,0 kN / 0,28 m ²
Uygulama 2	9630	350,0 kN / 0,28 m ²
Uygulama 3	12230	340,0 kN / 0,28 m ²
Uygulama 4	6670	250, kN / 0,28 m ²

5. Sonuçlar ve Değerlendirme

Bu çalışmada Eskişehir il sınırları içerisinde zemin iyileştirme çalışmaları yapmak üzere bir adet derin zemin karıştırma sisteminin tasarlanması aşamaları ve sistem kontrol uygulamalarına değinilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında yerli malzeme ve milli ekipman ile sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada ise Eskişehir il merkezinde farklı zemin özelliklerine sahip dört bölgede derin zemin karıştırma kolonları imal edilmiştir. İmal edilen bu kolonlara standartlarda bulunan, çap ve boy kontrolü ile karot basınçları testi gerçekleştirilmiştir. Çap ve boy kontrollerinde amaçlanan boy ve çapın elde edildiği tespit edilmiştir. Karot kontrollerinde ise hesaplanan proje yükünün yaklaşık 6 ile 10 katı arasında basınç dayanımı elde edildiği görülmüştür. Böylece standartlarda ve literatürde verilen gerekli kontrol uygulamaları tamamlanmış ve sistemin başarısı test edilmiştir. Kontrol çalışmaları sonucunda yerli üretim ekipman kullanılarak, gerekli donanımına sahip yerli üretim zemin iyileştirme sistemi geliştirildiği görülmüştür.

Ayrıca, çalışma ile ilgili diğer değerlendirme ve öneriler aşağıda verilmiştir (Kılıç, 2013)

Zemin iyileştirme metotlarının seçiminde yerel zemin koşulları ve deprem karakteristiklerine dikkat edilmeli, iyileştirme metotlarının deprem etkisi altındaki davranışları mutlaka incelenmelidir. Ayrıca, iyileştirme sonrasında uygulama alanında mutlaka test yapılmalıdır.

Derin zemin karıştırma (deep soil mixing) yöntemi standartlara uygun ekipman ile uygun zemin koşullarında ve standartlarda belirtildiği şekilde uygulanırsa ülkemiz için uygulanabilirliği yüksek alternatif bir iyileştirme yöntemi olabilir.

Derin zemin karıştırma (deep soil mixing) yöntemi düşük maliyet, kolay uygulanabilirlik ve çevreye minimum etki ile tercih edilebilir bir zemin iyileştirme yöntemidir.

Derin zemin karıştırma (deep soil mixing) yöntemi ile düşük mukavemetli zeminlerde yüksek modüllü kolonlar oluşturularak hem taşıma gücü artışı hem de sıvılaşmaya potansiyelinin azaltılması sağlanabilir.

Standartlara uygun olarak yeni ve farklı sistem tasarımları gerçekleştirilebilir ancak mutlaka gerekli test ve kontroller yapılmalıdır.

6. Kaynaklar

Andromalos, K.B, Bahner, E.W. 2003. The Application of Various Deep Mixing Methods for Excavation Support Systems. Grouting and Ground Treatment, Asce, 515-526.

Anonim, 2000. An Introduction to The Deep Soil Mixing Methods as Used in Geotechnical Applications. U.S Federal Highway Administration.

Anonim, 2006. TS EN 14679 Özel Jeoteknik Uygulamalar-Derin Karıştırma. TSE Ankara,

Bruce, D.A., Bruce, M.E.C., DiMillio, A.F. 1998. Deep Mixing Method: A Global Perspective. Civil Engineering. Vol. 68, No. 12, December, pp. 38-41.

Bruce, D.A. 2001. Practitioner's Guide to the Deep Mixing Method. Ground Improvement, Vol. 5, No. 3, July, pp. 95-100.

Das, B.M., 1984. Principles Of Foundation Engineering, Brooks Cole Engineering Division, A.B.D.

Day, S.R., Ryan, C.R. 1995. Containment, Stabilization and Treatment of Contaminated Soils Using In-Situ Soil Mixing. Geo Environment 2000 Conference, 1-15, Los Angles.

Fang, Z., 2006. Physical And Numerical Modeling Of The Soft Soil Ground Improved By Deep Cement Mixing Method, Ph.D Thesis, The Hong Kong Politechnic University.

Ferrari, A.A. 2007. Remedial Approach to Stabilize a Deep Excavation in Singapore, Master Thesis, Massachusetts Institute of Technology,

Holm, G. 2005. Deep Mixing Properties and Applications, Star Conference, Cambridge.

Kazemian, S., Huat, B.B.K. 2009. Assessment and Comparison of Grouting and Injection Methods in Geotechnical Engineering. European Journal of Scientific Research, 27:2, 234-247.

- Kılıç, H.O. 2013. Derin Karıştırma Yöntemi Tasarım ve Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Long, P.D., Bredenberg, H. 2000. Soil Stabilization with Lime-Cement Columns a Solution for Deep Sheet Pile Wall in Soft Clay. Geoeng 2000 Conference, 16-22, Melbourne.
- Madhyannapu, R.S, Puppala, A.J, Bhadriraju, V., Nazarian, S. 2009. Deep Soil Mixing (DSM) Treatment of Expansive Soils, Us-China Work Shop on Ground Improvement Technologies, Asce, 130-139.
- Onur, M.İ. 2007. Dinamik Etkiler Altında Zemin Deformasyonunun İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Puppala, A.J., Madhyannapu, R.S, Nazarin, S., Yuan, D., Hoyos, L. 2007. Deep Soil Mixing Technology for Mitigation of Pavement Roughness. Technical Report.
- Sağlamer, A. 2011. Zemin İyileştirme Yöntemleri. ZM11 Sunum Notları, Trabzon.
- Saride, S., Archeewa, E., Puppala, A.J., Nazarian, S., Williammee, R. 2010. Deep Soil Mixing (DSM) Columns To Improve Foundation Support For Bridge Approach Embankments, Geo Florida 2010. Advances in Analysis, Modeling & Design, Asce, 199, 1866-1875,
- Shao, Y., Macari, E.J., Cai, W. 2005. Compound Deep Soil Mixing Columns for Retaining Structures in Excavations. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Asce, 11, 1370-1377.
- Tuncan, A. 2007. Yapı Denetimi Alanında Hizmet Veren Yapı Denetçileri Ve Yardımcı Kontrol Mühendisleri İçin Hazırlanan Meslek İçi Eğitim Programı Kurs Notları. İnşaat Mühendisleri Odası, Eskişehir
- Ye, G., Xu, C.A., Gao, Y. 2006. Improving Soft Soil Using Combined Cement Deep Mixing Column and Preloading with Prefabricated Vertical Drains. Ground Modification and seismic Mitigation, Asce, 152, 23-28.
- Yi, Y., Liu, S., Zhang, D., Zhu, Z. 2009. Experimental Study On T-Shaped Soil- Cement Deep Mixing Column Composite Foundation. GeoHunan International Conference, Asce, 197, 1-7.