

**DERİN KARIŞTIRMA YÖNTEMİ
TASARIM VE UYGULAMASI**

H. Orkun KILIÇ
Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
şubat 2013

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

H. Orkun KILIÇ'ın “**Derin Karıştırma Yöntemi Tasarım ve Uygulaması**” başlıklı **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 17.01.2013 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Prof.Dr. MUSTAFA TUNCAN	
Üye	: Prof.Dr. YÜCEL GÜNEY	
Üye	: Yard.Doç.Dr. NAZİLE URAL	

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DERİN KARIŞTIRMA YÖNTEMİ TASARIM VE UYGULAMASI

H. Orkun KILIÇ

**Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Mustafa TUNCAN
2013, 66 Sayfa**

Bu çalışmanın amacı; yıllardır dünyada, ülkemizde ise ancak son zamanlarda üzerinde çalışılmaya başlanan ve zemin iyileştirme yöntemleri içerisinde önemli bir yere sahip olan derin karıştırma (deep soil mixing) yöntemi konusuna genel bir bakış sağlamak ve bu alanda uygulamalar yapılabilecek bir ekipman sistemi tasarlamaktır. Özellikle derin karıştırma sistemi ekipmanlarının tasarımını detaylı olarak açıklayıp, örnek çalışmalar ile uygulama sonuçlarını literatüre sunmaktır.

Çalışma için öncelikle literatür araştırması yapılmış, zemin iyileştirmenin amacına değinilmiş, zemin iyileştirme yöntemleri verilmiş ve derin karıştırma yöntemi detaylı olarak anlatılmıştır. Tez çalışması sonucunda ise derin karıştırma sistemi tasarlanmış ve örnek uygulamalarla sistemin çalışması değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Derin Karıştırma, Zemin İyileştirme, Sistem Tasarımı

ABSTRACT

Master of Science Thesis

DESIGN AND APPLICATION OF DEEP SOIL MIXING

H. Orkun KILIÇ

**Anadolu University
Graduate School of Sciences
Civil Engineering Program**

**Supervisor: Prof. Dr. Mustafa TUNCAN
2013, 66 pages**

Aim of this study; to provide an overview of deep soil mixing, has an important role in soil improvement methods for many years in the world but recently in our country, and to design an equipment system that can have ability to make applications. Especially explain in detail the design of the deep mixing equipment system and to present application results of the case studies to the literature.

In order to study literature research was done firstly, purpose of soil improvement was mentioned, soil improvement methods were given and deep soil mixing method was explained in detail. As a result of this thesis a deep mixing system was designed and the operation of the system was evaluated with case applications.

Key Words: Deep Soil Mixing, Ground Improvement, System Design

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım tez danışmanım Prof. Dr. Mustafa TUNCAN ile çalışma boyunca desteğini esirgemeyen Araş. Gör. Mehmet İnanç ONUR' a teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Ayrıca çalışmalarımındaki yardım ve desteklerinden dolayı aileme ve YERTEKNİK Ltd. Şti çalışanlarına teşekkür ederim.

H. Orkun KILIÇ

Şubat, 2013

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Konu Üzerinde Yapılmış Çalışmalar.....	2
2. ZEMİN İYİLEŞTİRME	6
2.1. Zemin İyileştirmesi Nedir ?.....	6
2.2. Zemin İyileştirmesinin Amacı.....	6
2.3. Deprem ve Deprem Oluş Mekanizması.....	7
2.4. Dinamik Etkiler Altında Zemin Deformasyonu	9
2.5. Zemin Deformasyonunu Belirlemede Kullanılan Parametreler.....	10
3. ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ	12
3.1. Kompaksiyon Yöntemi.....	13
3.2. Titreşimli Sıkıştırma Yöntemi (Vibroflatasyon).....	14
3.3. Ön Sıkıştırma Yöntemi.....	14
3.4. Kum Drenler Yöntemi.....	14
3.5. İlave Malzemelerle İyileştirme Yöntemi.....	15
3.6. Geotekstil İle İyileştirme Yöntemi.....	15
3.7. Jet-Grout Yöntemi.....	16
3.8. Taş Kolon Yöntemi.....	17

4. DERİN KARIŞTIRMA YÖNTEMİ	18
4.1. Derin Karıştırma Yönteminin Tarihsel Gelişimi.....	18
4.2. Derin Karıştırma Yönteminin Uygulama Aşamaları.....	18
4.3. Derin Karıştırma Yönteminin Uygulama Şekilleri.....	19
4.4. Derin Karıştırma Yöntemi Tipleri.....	22
4.5. Derin Karıştırma Yönteminde Kullanılan Ekipmanlar.....	24
4.6. Derin Karıştırma İle Zemin Mukavemeti İlişkisi.....	27
4.7. Derin Karıştırma Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları.....	29
 5. DERİN KARIŞTIRMA UYGULAMA EKİPMANLARININ TASARIM VE İMALATI	 32
5.1. Karıştırıcı Bıçak Tasarım ve İmalatı.....	32
5.2. Ana Makina Tasarım ve İmalatı.....	33
5.3. Pompa ve Karıştırıcı Ünitelerin Tasarım ve İmalatı.....	37
 6. ÖRNEK UYGULAMA	 39
6.1. Uygulama Parametreleri.....	39
6.2 Örnek Uygulama 1.....	40
6.2.1. Uygulama İle İlgili Genel Bilgiler.....	40
6.2.2. Uygulama Sonuçları.....	43
6.3. Örnek Uygulama 2.....	46
6.3.1. Uygulama İle İlgili Genel Bilgiler.....	46
6.3.2. Uygulama Sonuçları.....	49
6.4 Örnek Uygulama 3.....	52
6.4.1 Uygulama İle İlgili Genel Bilgiler.....	52
6.4.2 Uygulama Sonuçları.....	55
6.5. Örnek Uygulama 4.....	58
6.5.1. Uygulama İle İlgili Genel Bilgiler.....	58
6.5.2. Uygulama Sonuçları.....	61
 11. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	 64

KAYNAKLAR	65
EK-1 Zemin İyileştirme Projesi Hesap Raporu.....	52
EK-2 Karot Numunesi Basınç Dayanımı Deney Raporu.....	66

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. Odak noktası, dış merkez ve sismik deprem dalgalarının yayılışı	8
2.2. Ayrılan levhalar	8
2.3. Çarpışan levhalar	9
2.4. Türkiye deprem bölgeleri haritası	9
3.1. İyileştirme yöntemlerinin zeminlere göre uygulanabilirliği	12
3.2. Titreşimli sıkıştırma yöntemi	14
3.3. Kum direnler yöntemi	15
3.4. Jet-Grout yöntemi	16
3.5. Taş kolon yöntemi	17
4.1. Uygulama şekli	18
4.2. Uygulama örnekleri-1	19
4.3. Uygulama örnekleri-2	21
4.4. Şaft sistemleri	22
4.5. Islak ve kuru sistem takımları	23
4.6. Çeşitli Tip Bıçaklar	24
4.7. Farklı zeminlerde derin karıştırma kolonları basınç dayanımları	27
5.1. Bıçak tasarımı için detay çizimleri	32
5.2. Karıştırıcı bıçak	33
5.3. Ana Makine-1	34
5.4. Ana Makine-2	34
5.5. Ana Makine-3	35
5.6. Kule ve Delici-1	36
5.7. Kule ve Delici-2	36
5.8. Kule ve Delici-3	37
5.9. Mixer Sistemi-1	38
5.10. Mixer Sistemi-2	38
6.1. DSM uygulaması-1	44
6.2. DSM uygulaması-1	44
6.3. DSM uygulaması-2	50
6.4. DSM karotları	50

6.5. DSM uygulaması-3.....	56
6.6. DSM uygulaması-3.....	56
6.7. DSM uygulaması-3.....	62
6.8. DSM uygulaması-3.....	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

4.1. Islak yöntem için kapasite değerleri.....	25
4.2. Islak yöntem için uygulama değerleri.....	26
4.3. Derin karıştırma ve zemin değerleri.....	28
6.1. Sondaj kuyusu SK-1 değerleri.....	41
6.2. Sondaj kuyusu SK-1 değerleri.....	42
6.3. Karot Sonuçları.....	43
6.4. Karot Basınç Dayanım Deneyleri ve Proje Yüğü Karşılaştırması	43
6.5. Mevcut Zemin ve İyileştirilmiş Zemin Emniyet Gerilmeler Karşılaştırması.....	45
6.6. Sondaj kuyusu SK-1 değerleri.....	47
6.7. Sondaj kuyusu SK-1 değerleri.....	48
6.8. Karot Sonuçları.....	49
6.9. Karot Basınç Dayanım Deneyleri ve Proje Yüğü Karşılaştırması	51
6.10. Mevcut Zemin ve İyileştirilmiş Zemin Emniyet Gerilmeleri Karşılaştırması.....	51
6.11. Sondaj kuyusu SK-1 değerleri.....	53
6.12. Sondaj kuyusu SK-1 değerleri.....	54
6.13. Karot Sonuçları.....	55
6.14. Karot Basınç Dayanım Deneyleri ve Proje Yüğü Karşılaştırması	57
6.15. Mevcut Zemin ve İyileştirilmiş Zemin Emniyet Gerilmeleri Karşılaştırması.....	57
6.16. Sondaj kuyusu SK-1 değerleri.....	59
6.17. Sondaj kuyusu SK-1 değerleri.....	60
6.18. Karot Sonuçları.....	61
6.19. Karot Basınç Dayanım Deneyleri ve Proje Yüğü Karşılaştırması	63
6.20. Mevcut Zemin ve İyileştirilmiş Zemin Emniyet Gerilmeleri Karşılaştırması.....	63

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

$\emptyset$	: içsel sürtünme açısı
C	: kohezyon
γ	: birim hacim ağırlığı
σ_v	: düşey gerilme
G.W.T	: yer altı su seviyesi
E	: elastisite (Young) modülü
V _s	: kayma dalgası
a	: yer ivmesi
M _w	: deprem büyüklüğü
N, N ₃₀	: spt sayısı

1. GİRİŞ

Bu çalışmanın amacı; yıllardır dünyada, ülkemizde ise ancak son zamanlarda üzerinde çalışılmaya başlanan ve zemin iyileştirme yöntemleri içerisinde önemli bir yere sahip olan derin karıştırma (deep soil mixing) yöntemi konusuna genel bir bakış sağlamak ve bu alanda uygulamalar yapılabilecek bir ekipman sistemi tasarlamaktır. Özellikle derin 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.

Zemin iyileştirme; zemin özelliklerinin üstyapı inşası için uygun olmadığı durumlarda çeşitli yöntemler kullanılarak bu zemin özelliklerinin istenilen düzeylere ıslah edilmesi olarak tanımlanmaktadır [1]. Örneğin, zeminin kayma mukavemetinin artırılması ve böylece yüzeysel temellerin taşıma gücünün artırılması, yapıların oturma miktarlarının azaltılması, zeminin büzülme/kabarma ve sıvılaşma özelliklerinin azaltılması, toprak dolgu barajların ve yamaçların stabilitesinin artırılması vb. durumlar zemin iyileştirme yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir [2]. Başlıca zemin iyileştirme yöntemleri ise;

- Kompaksiyon
- Ön Yükleme
- İlave Malzemelerle İyileştirme
- Geotextile Kullanımı

olarak sıralanabilir. Derin karıştırma yöntemi (DSM) ise; çimento ve / veya diğer malzemeler ile zeminin yerinde harmanlanmasına dayanan zemin iyileştirme yöntemidir [3]. Bu yöntem 1960'lerden beri dünyada uygulanmakta olup 2006 yılında TS-EN14679 numarası ile Türk Standartlarına girmiştir. 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

tamamlanması şeklindedir. Derin karıştırma sisteminin uygulanması için gerekli ekipmanlar ise aşağıda verildiği gibi sıralanmaktadır:

- Karıştırıcı şaft
- Çimento tankı
- Su tankı
- Mikser
- Pompa

Zemin iyileştirme metotlarının seçiminde yerel zemin koşulları ve deprem karakteristiklerine dikkat edilmeli, iyileştirme metotlarının deprem etkisi altındaki davranışları mutlaka incelenmelidir [4]. Zemin iyileştirme işlemi sonrası gerekli kontroller yapılarak “Neyi Nasıl Ne kadar iyileştiriyoruz?” sorusuna cevap verilmelidir [5].

Bu çalışma sonucunda ülkemizde derin karıştırma (deep soil mixing) yönteminin bilinirliğinin ve uygulamalarının artması, tasarım aşamaları verilecek olan derin 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.

1.1. Konu Üzerinde Yapılmış Çalışmalar

Dinamik etkile altında zemin deformasyonunun belirlenmesi isimli çalışmasında Onur (2007), deprem kaynaklı olarak zeminler üzerinde oluşan dinamik etkilerin yerel zemin koşullarına bağlı olarak farklılıklar gösterdiğini belirtmiştir. Çalışmada, dinamik etkiler sonucu oluşan deformasyonlara karşı önlemlerin alınabilmesi için geçmiş deprem karakteristiklerinin ve yerel zemin koşullarının çok iyi bilinmesi gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca çalışma sonucunda, zemin iyileştirme metotlarının seçiminde yerel zemin koşulları ve deprem

karakteristiklerine dikkat edilmesi gerektiği ve Eskişehir ili için taş kolon metodunun deprem etkisi karşısında yetersiz kaldığı, jet-grout metodunun kısmen yeterli olduğu, ancak özellikle sıvılaşma riski bulunan derinliklere mutlaka inilmesi gerektiği tespit edilmiştir [4].

Andromalos ve arkadaşları, derin karıştırma kolonlarını kazı destek sistemi olarak uygulamışlardır. Wisconsin ve Pennsylvania’ da uygulanan derin karıştırma yönteminin yanıl hareketleri limitler içinde tutmada ve yeraltı suyunun kontrolünde başarılı olduğu tespit edilmiştir. Uygulamalar sırasında çoklu auger yöntemi, tek auger ve jet karıştırma sistemi denenmiş ve her iki sisteminde başarılı olduğu görülmüştür. Ayrıca tekli auger ve derin karıştırma ve jet-grout yöntemi istinad duvarı amaçlı olarak kullanılmıştır [6].

Shao ve arkadaşları kazılarda dayanma yapıları için derin karıştırma kolonlarının bileşimleri ismini verdikleri çalışmalarında şu analizleri yapmışlardır. Derin karıştırma yöntemi derin kazılarda düşük maliyeti, az çevre zararları ve su drenajı gerektirmediğinden sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak düşük çekme dayanımları nedeniyle çok kalın kesit alanına ihtiyaç duyulmaktadır ve çok derin çalışmalarda pratik olmamaktadır. Ancak betonarme fore kazıklar ile beraber uygulandığı takdirde olumlu sonuçlar alınmaktadır. [7].

Madhyannapu vd. şişen zeminlerin derin karıştırma yöntemi ile iyileştirilmesini araştırmışlardır. Laboratuvarda kireç ve çimento içeren karışımlar hazırlanmıştır. Derin karıştırma kolonları test amaçlı tasarlanıp iki yıl boyunca gözlenmiştir. Gözlemler sonucunda iyileştirilmeyen zemin davranışına göre derin karıştırma uygulanan bölgede şişme davranışının ve yatay düşey hareketlerin daha az meydana geldiği tespit edilmiştir [8].

Enjeksiyon yöntemlerinin değerlendirme ve karşılaştırmasını Kazemian ve Huat çalışmalarında şu şekilde ortaya koymuşlardır. Dünya çapında çok farklı enjeksiyon yöntemi kullanılmaktadır. Ancak doğru iyileştirme yönteminin belirlenmesi zemin tabakalarına, yük şekline, proje özelliklerine ve diğer nedenlere bağlı olarak değişmekte ve çeşitlenmektedir. Çalışmada farklı yöntemler denemiş özellikle derin karıştırma yöntemi incelenmiş ve problemlili zeminlerde doğru yöntemin seçiminin önemi vurgulanmıştır [9].

Holm derin karıştırma yönteminin özellikleri ve uygulamaları isimli çalışmasında bu yöntemin 1970'lerden beri kullanıldığı ve geniş bir zemin aralığında etkili olduğunu belirtmiştir. Problemlili zeminlerde çok farklı amaçlarla kullanılabileceğini, sıvılaşmaya karşı, oturmaya karşı ve iksa sistemi olarak kullanılabileceğini ifade etmiştir [10].

Fang çalışmasında derin karıştırma yöntemiyle yumuşak zeminlerdeki iyileşmeyi numerik olarak modellemiştir. Numerik analizlerinde FORTRAN programlama dilini, zeminlerin modellenmesi için ise Mohr-Coulomb yöntemini kullanmıştır. Çalışma sonucunda arazi uygulamalarıyla modellemesi arasındaki benzerlikleri ve farklılıkları ortaya koymuştur [11].

Day ve Ryan ise çalışmalarında derin karıştırma yöntemini kirlenmiş zeminler için uygulamışlar ve sonuçları yorumlamışlardır. Karışım içerisinde çeşitli organik kimyasallar katarak atık taşıyan ve kirlenmiş zeminler içerisinde derin karıştırma kolonlarının performanslarını çeşitli testlerle incelemişlerdir. Çalışma sonucunda düşük maliyet, daha az çevre kirliliği gibi avantajları gözlemlemişlerdir [12].

Ye ve arkadaşları yumuşak zeminlerin iyileştirilmesi için derin karıştırma yöntemi ve düşey drenler ile ön yükleme yöntemini incelemişlerdir. Yumuşak zeminlerin iyileştirilmesinde her iki yöntemde sıkça kullanılmaktadır. Ancak çalışma göstermiştir ki derin karıştırma yöntemi hem düşük maliyeti hem zaman kazancı hem de taşıma kapasitesindeki daha fazla artış ile daha uygulanabilir ve avantajlı bir yöntemdir [13].

Ferrari Singapur'da bir derin kazı projesi için derin karıştırma yönteminin avantajlarını araştırmıştır. Derin kazılarda duvar deformasyonunun minimuma indirilmesi ve eğilme momentine karşı duvarın direnç göstermesi beklenmektedir. Bu sebeple tasarımlarda önce analizler gerçekleştirilir. Bu çalışmada Singapur'da inşa edilecek bir proje için önce sonlu elemanlar yöntemiyle analizler gerçekleştirilmiş daha sonra derin karıştırma yöntemi uygulanmıştır. Çalışma sonuçları uygulamanın istenilen niteliklerde olduğunu ve çözüm limitlerinin pratik avantajlar getirdiğini göstermiştir [14].

Saride vd. köprü yaklaşım dolgusu için temel desteği olarak derin karıştırma yönteminin uygulanmasını incelemişler ve şu konulara değinmişlerdir.

Köprü yaklaşımlarında görülen oturmalar ulaştırma sistemleri için en büyük problemlerden biridir. Buradaki problemlili zeminlerin iyileştirilmesi için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bu çalışmada derin karıştırma yöntemi hem dolguların oturmasına karşı hem de temel altındaki zeminlerin desteklenmesi için kullanılmış inclinometre ve extensometre ile sonuçlar gözlenmiştir. Gözlemler sonucunda hem yatay hareketlerde hem de farklı derinliklerdeki oturmalar istenilen düzeylerde iyileştirmenin görüldüğü vurgulanmıştır [15].

Puppala ve arkadaşları yol kaplamalarında prüzlülüğün azaltılması için derin karıştırma teknolojisini uygulaması isimli projelerinde şu sonuçlara ulaşmışlardır. Şişen zeminler üzerindeki yol kaplamaları çeşitli deformasyonlara uğramaktadır. Çeşitli malzemelerle bu şişen zeminlerin iyileştirilmesi gerekmektedir, bu amaçla laboratuvar ve arazide derin karıştırma metodu uygulanarak kireç ve çimento karışımları kullanılmıştır. Ayrıca ilave olarak geogrid de uygulamalarda kullanılmıştır. Uygulama sonucunda tahribatsız metodlar ve sismik metodlar kullanılarak bu bölgelerin kayma mukavemetlerinde artışlar olduğu tespit edilmiştir [16].

Yi ve arkadaşları T şeklinde derin karıştırma kolonları ile desteklenen temelleri deneysel olarak incelenmişlerdir. Alışlagelmiş kolonlar yerine T şeklinde oluşturulan derin karıştırma kolonlarının uygulama sonucu testlerinde daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir, temel altlarına yapılacak bu tip kolonlar ile dayanım artırılabilceği gibi daha ekonomik sonuçlarda elde edilmektedir [17].

Long ve Bredenberg yumuşak killerde derin palplanj duvarlar için kireç-çimento kolonları ile zemin iyileştirme çözümünü sunmuşlardır. Çalışmada sonlu elemanlar metodu ile analiz için plaxis paket programı kullanılmış ve parametrik bir çözüm sunulmuştur. Palplanj duvarlar için kireç ve çimento ile uygulanan derin karıştırma kolonlarının performansları çeşitli kalınlıklar için analiz edilmiştir. Optimum sonuçlar çalışma sonucunda verilmiştir [18].

2. ZEMİN İYİLEŞTİRME

2.1. Zemin İyileştirmesi Nedir?

Zemin iyileştirme; zemin özelliklerinin üstyapı inşası için uygun olmadığı durumlarda çeşitli yöntemler kullanılarak bu zemin özelliklerinin istenilen düzeylere ıslah edilmesi olarak tanımlanmaktadır [1]. Örneğin, zeminin kayma mukavemetinin artırılması ve böylece yüzeysel temellerin taşıma gücünün artırılması, yapıların oturma miktarlarının azaltılması, zeminin büzülme/kabarma ve sıvılaşma özelliklerinin azaltılması, toprak dolgu barajların ve yamaçların stabilitesinin artırılması vb. durumlar zemin iyileştirme yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir [2]. Granüler zemin depozitleri çok gevşek ve fazla elastik oturmaları sebep olabilir, yumuşak suya doymuş kil zeminler ve sıvılaşma potansiyeli olan zeminler olabilir, bu durumlarda, zeminin birim hacim ağırlığını ve kayma mukavemetinin artırılması gerekir. Bu amaçla, zemin belirli bir enerji ile sıkıştırılması işlemine **Kompaksiyon**, zemin titreşim ve ilave malzemelerle iyileştirilmesi işlemine **Titreşimli Sıkıştırma**, yumuşak zeminlerin ilave yüklerle yüklenerek konsolide edilmesi işlemine **Ön Yükleme**, yumuşak suya doymuş kohezyonlu zeminlerin ilave yüklerle oturmasının sağlanması işlemine **Kum Direnler**, ortama ilave edilen malzemelerle zeminin iyileştirilmesi işlemine **İlave Malzemelerle İyileştirme**, petrol ürünü maddelerle yapılmış kumaşların kullanılması ile yapılan iyileştirme işlemine **Geotextile Kullanımı** tanımı yapılmaktadır [2].

2.2. Zemin İyileştirmesinin Amacı

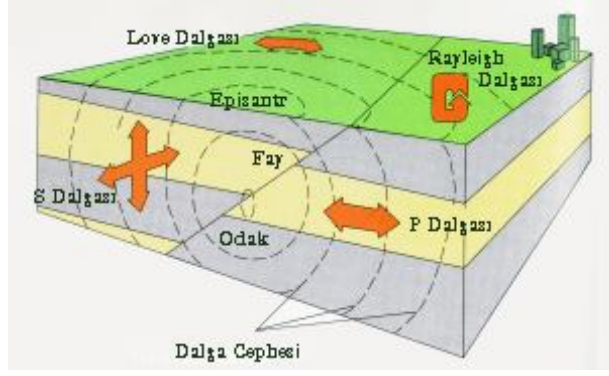
Zemin iyileştirmesinin amacı genel olarak zeminin kayma mukavemetinin artırılması ve böylece yüzeysel temellerin taşıma gücünün artırılması, yapıların oturma miktarlarının azaltılması, zeminin büzülme/kabarma ve sıvılaşma özelliklerinin azaltılması, toprak dolgu barajların ve yamaçların stabilitesinin artırılması olarak sıralanabilir. Özellikle depremler nedeniyle zemin ve

üstyapılarda oluşabilecek olumsuz etkileri en aza indirmek amacıyla zemin iyileştirme yöntemleri uygulanmaktadır.

Depremler hazırlıksız yakalanıldığında büyük yıkımlara neden olur, ülkemizde jeolojik koşulları nedeniyle yıkıcı deprem etkileri altındadır. Depremlere hazırlık, zemin koşullarının belirlenmesi, malzeme özelliklerinin tespiti ve yeterli özellikleri taşıyan malzeme kullanımı ve güvenli üst yapı tasarımını içerir [50]. İnşaat sahasının öncelikle zemin koşulları tanımlanmalı ve üst yapı (baraj, yol, karkas yapı vb.) tasarımına geçmeden önce statik veya dinamik yükler altındaki zemin davranışı ve bu zeminin davranışının üst yapıya etkisi net olarak belirlenmeli ve gerekli iyileştirmeler gerçekleştirilmelidir [50]. Deprem nedenli dinamik etkiler altında zemin deformasyonuna karşı zemin iyileştirme yöntemi geliştirilebilmesi için öncelikle deprem ve deprem oluş mekanizmasının açıklanması, olası zemin deformasyonlarının önceden tahmini gereklidir.

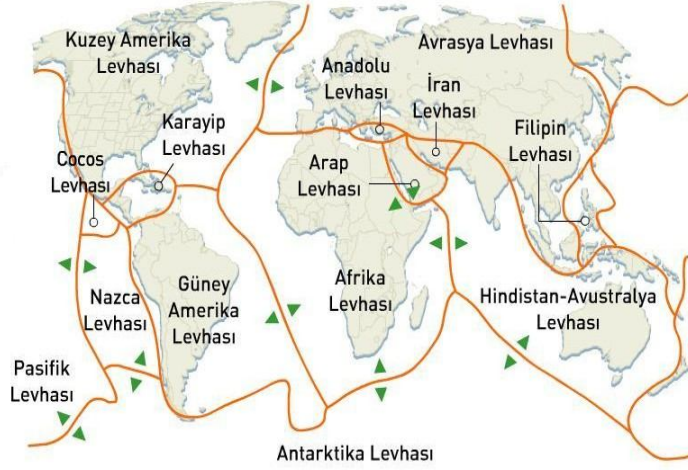
2.3. Deprem ve Deprem Oluş Mekanizması

Yerkabuğunda biriken enerjinin faylarda neden olduğu kırılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları sarsma olayına **DEPREM** denir [4]. Depremler, yeryüzünde tüm yapılarda hasar oluşturup, can kaybına neden olacak şekilde yıkılabileceğini gösteren bir doğa olayıdır. Deprem anında, yer kabuğunda soğuma veya çeşitli etkilerden meydana gelen şekil değiştirme enerjisi ani olarak açığa çıkar ve sonucunda çok uzaklara kadar yayılabilen deprem (sarsıntı) dalgaları oluşur. Bu sırada yeryüzünde, bazen gözle görülebilen, kilometrelerce uzanabilen ve **FAY** adı verilen arazi kırıkları oluşabilir [4]. Deprem dalgasının yayılışı Şekil 2.1 de verilmiştir.

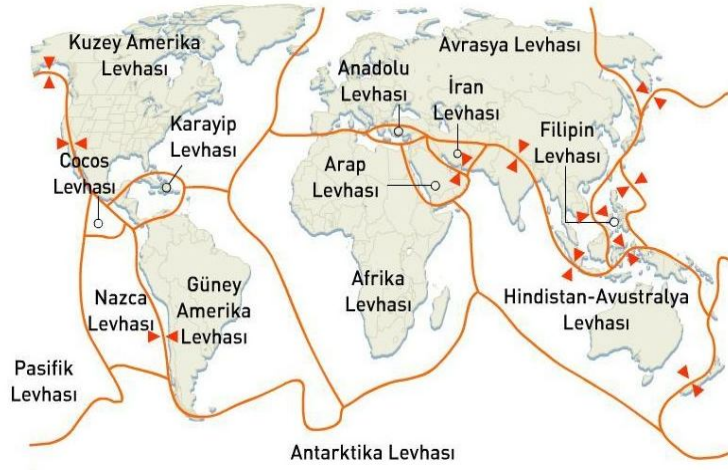


Şekil 2.1. Odak noktası, dış merkez ve sismik deprem dalgalarının yayılışı [4]

Dünyamızda depremler genellikle yeryüzünün belirli bölgelerinde daha sık olarak ortaya çıkmaktadır. Bu bölgeler tektonik plakalar olarak adlandırılan levhaların ayrılan levhalar ve çarpışan levhaların olarak rölatif hareketlerine göre haritalanmıştır (Şekil 2.2 ve 2.3).

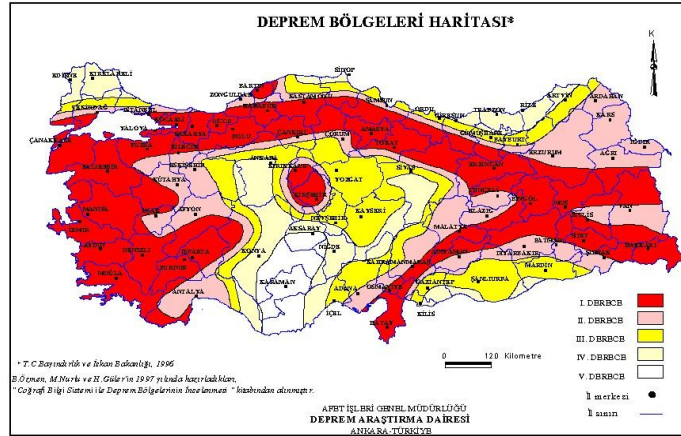


Şekil 2.2. Ayrılan levhalar [4]



Şekil 2.3. Çarpışan levhalar [4]

Ülkemizde ise Avrasya plakası tarafından Arap plakasının hareketi engellenmiş bunun sonucunda da Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fayları oluşmuştur. Ayrıca Ege Çöküntü Bölgesinde farklı büyüklüklerde karmaşık yapılara sahip, küçük atımlı faylarla sınırlı birçok blok bulunmaktadır [4].



Şekil 2.4. Türkiye deprem bölgeleri haritası [4]

2.4. Dinamik Etkiler Altında Zemin Deformasyonu

Dinamik etki altındaki zemin özelliklerinin belirlenmesi için çeşitli arazi, laboratuvar ve model deneyleri geliştirilmiştir. Arazi deneyleri; sismik yansıma

deneyi, sismik kırılma deneyi, yatay katmanlanma ve eğimli düzensiz katmanlanma deneyleri, askıda loglama deneyi, rayleigh dalgası deneyi, kuyudan-kuyuya sismik deneyi standart penetrasyon deneyi, konik penetrasyon deneyi, dilatometre deneyi ve presiyomere deneyidir. Laboratuvar deneyleri rezonant kolon deneyi, ultrasonik pals deneyi ve piyezoelektrik bender element deneyi, tekrarlı üç eksenli deneyi, tekrarlı doğrudan basit kesme ve tekrarlı burulmalı deneyleridir. Model deneyleri ise, sarsma tablası deneyleri ile santrifüj deney sistemleridir [4].

Dinamik zemin özellikleri yoğunluk ve gerilme şartları, zemin yapısı, yaşı gerilme deformasyon tarihçesi ve çimentolanma gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Ayrıca, zemin rijitliğinin tekrarlı birim deformasyon genliği, boşluk oranı, ortalama asal efektif gerilme, plastisite indisi, aşırı konsolidasyon oranı ve tekrarlı yük sayısı gibi faktörlere bağlı olduğu araştırmalar sonucunda ortaya konmuştur [4].

Dinamik etkiler sonucu zeminlerde gözlemlenen deformasyonlar yüzey yırtılması, bölgesel çökme, yamaç hareketleri, hacimsel sıkışma, sıvılaşma şeklinde sıralanmaktadır. Yüzey Yırtılması, bir fayın iki kenarının göreceli hareketi olarak tanımlanmıştır. Yüzey kırıklarından farklı olarak, depremlerle birlikte gelişen diğer tektonik etkiler de yükselme veya bölgesel çökmeler olarak gözlemlenmiştir. Sıvılaşma deprem anında, dinamik etki sonucu yeraltı suyunun hareketi ile boşluk suyu basıncı artımı ve efektif gerilmenin sıfırlanması olayıdır [4]. Sıvılaşma olgusu oturma ve taşıma gücü yenilmeleri, akma kaymaları ve kum volkanları olarak üç farklı şekilde gözlemlenmektedir.

2.5. Zemin Deformasyonunu Belirlemede Kullanılan Parametreler

Dinamik etkiler altında zemin deformasyonu gözlenen zeminler ve potansiyeli belirlemede kullanılan parametreler literatürde verilmiştir. Zemin yüzeyinden ilk 15 m ile 20 m arası derinlikte bulunan ve taşıma gücü düşük, suya doymuş kumlu, siltli kumlu ve az killi kumlu birimler deformasyon potansiyeli taşımaktadır. Zemin sıklığı açısından standart penetrasyon deneyi sayısı yüzeye

yakın derinliklerde $N < 10$ ve 20 metre civarındaki derinliklerde $N < 20$ olan özellikle düşük rölatif sıklıktaki kumlu katmanlar risk oluşturmaktadır [4].

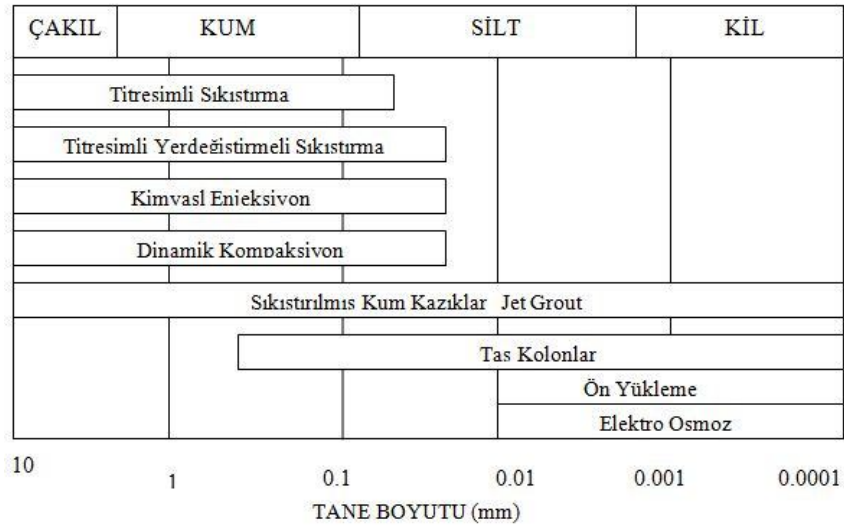
Dinamik etkiler altında zeminlerde olası deformasyonların tahmini için aşağıda verilen parametrelerin bilinmesi gerekmektedir [4].

- Bölge için beklenen en büyük deprem büyüklüğü (M_w)
- O bölgede beklenen en büyük yer ivmesi (a)
- Yeraltı suyu seviyesi ve su tutan katman kalınlığı
- Zemin katmanları ve katmanların türü
- Katmanların (V_s) kesme dalgası hızı ya da (N_{30}) değerleri
- Yapının temel boyutu, ağırlığı ve oturuş biçimi
- Efektif düşey gerilme değerleri (σ'_v)

3. ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Zemin iyileştirme yöntemleri kullanılan ekipmana, malzemeye ve zeminde amaçlanan iyileşmeye bağlı olarak isimlendirilmektedir. Zemin iyileştirme yöntemleri, uygulama derinliğine bağlı olarak derin iyileştirme yöntemleri ve yüzeysel iyileştirme yöntemleri şeklinde sınıflandırılmaktadır [5].

Vibrasyonlu yöntemler çok kirli olmayan kohezyonsuz zeminler için uygun fakat zemindeki ince oranı fazla ise vibrasyon yöntemleri etkisini kaybetmektedir. Enjeksiyon yöntemlerinde ise bir bağlayıcı katkı malzemesiyle (çimento, kireç gibi) zemin karıştırılarak tanecikler arası bağların mukavemeti artırılır. Ayrıca boşluk suyu basınçlarının zemine etkisi izole edilerek iyileşme sağlanmaktadır [4]. Zemin tipine ve dane çapına göre en uygun zemin iyileştirme yöntemi aşağıda verilmiştir (Şekil 3.1)



Şekil 3.1. İyileştirme yöntemlerinin zeminlere göre uygulanabilirliği [2]

Genel olarak uygulanan bu yöntemler şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Deplasman Teknikleri
 - Kompaksiyon Kazıkları
 - Ağırlık Düşürme
 - Kompaksiyon Enjeksiyonu

- Vibrasyonlu (titreşimli) yöntemler
 - Vibroflotasyon
 - Vibrasyonlu sondalar ile sıkıştırma
 - Patlatma
- Karıştırma Teknikleri
 - Kireç kolonları
 - Derin Karıştırma
 - Jet Enjeksiyonu
- Diğer Yöntemler
 - Zemini değiştirme ve yapısal dolgular
 - Çakıl dren kuyuları
 - Y.A.S.S. düşürme yöntemleri (kuyular, hendekler, vb.)
 - Permeasyon (Sızdırma) Enjeksiyonu

Bu bölümde ülkemizde sıkça kullanılan zemin iyileştirme yöntemleri detaylı olarak açıklanmıştır.

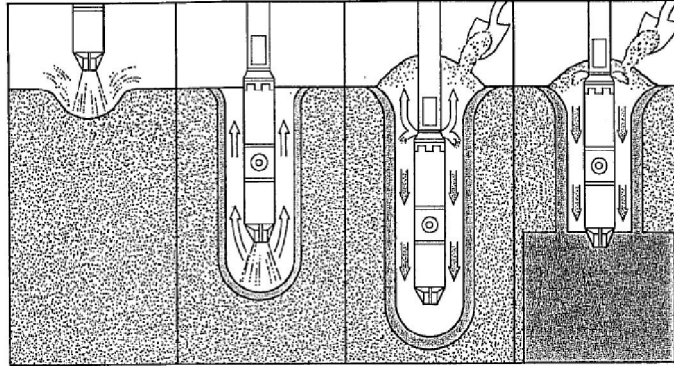
3.1. Kompaksiyon Yöntemi

Eğer zemine su ilave edilip enerji ile sıkıştırılırsa, zemin belirli bir birim hacim ağırlık ile sıkıştır ve su ilavesi artırılırsa ve kompaksiyona devam edilirse zeminin kuru birim hacim ağırlığı artar [1]. Kompaksiyon ile su zemin tanelerinin daha da yoğun hale gelmesini ve tanelerin yeniden düzenlenmesini sağlar. Ancak belirli bir su muhtevassından sonra zeminin kuru birim hacim ağırlığı azalmaya başlar. Sıkıştırma parametreleride olan bu su muhtevasına optimum su muhtevası ve buna karşılık gelen birim hacim ağırlığına ise maximum kuru birim hacim ağırlığı denir [2].

Dinamik kompaksiyon ise, zeminlerin özelliklerini daha derin seviyelere kadar iyileştiren bir yöntemdir. Zemin yüzeyine belirli yüksekliklerden ağırlıkların düşürülmesiyle uygulanır. Bu yöntem suya doymun olmayan zeminlerde ve yeraltı su seviyesi altındaki granüler zeminlerde uygulanabilmektedir [5].

3.2. Titreşimli Sıkıştırma Yöntemi (Vibroflatasyon)

Bu yöntem tabaka kalınlığı büyük gevşek granüler zemin depozitlerin arazide sıkıştırılmasında kullanılmaktadır. Yöntemde titreştirici ünite içinde eksantrik bir ağırlık vardır ve santrifüj bir kuvvet doğurarak titreşim meydana getirir. Açılan çukurun içine üstten granüler malzeme dökülürken deliklerden su çıkışı yapılarak granüler malzemenin çukurun içinde aşağıya doğru hareketi sağlanır [1]. Zeminin sıkıştırılması zeminin tane çapı dağılımına ve kullanılan dolgu malzemesinin özellikleri gibi bazı faktörlere bağlıdır. Yöntemin uygulama aşamaları Şekil 3.2 de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Titreşimli sıkıştırma yöntemi [1]

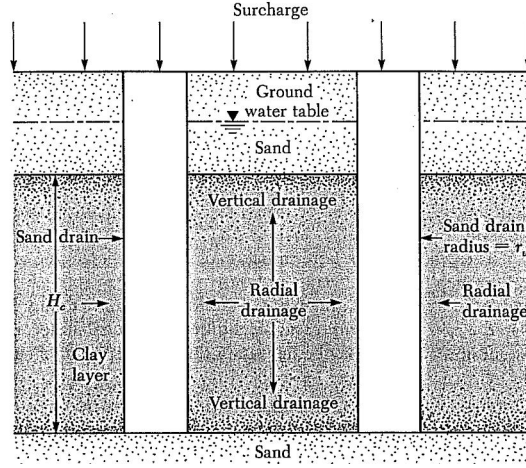
3.3. Ön Sıkıştırma Yöntemi

Zeminin sıkışabilir olduğu normal konsolide kil zemin tabakalarında, binaların, yol dolguların veya toprak barajların etkisi altında konsolidasyon oturmaları meydana gelir. Bu oturmaları önlemek için bu tip zeminlerin önceden yüklenmesi işlemine ön yükleme denir [2].

3.4. Kum Drenler Yöntemi

Kum drenler normal konsolide yumuşak kil zeminlerin konsolidasyonunu hızlandırmak için kullanılmaktadır. Düzenli aralıklarla sondaj kuyuları açılarak kum malzeme ile doldurulur ve zemin yüzeyine sürşarj yükü uygulanır (Şekil 3.3)

Oluşan aşırı boşluk suyu basıncı drenaj ile kaybolur. Drenaj düşey ve yanal yönde olur böylece kil tabakasının oturması hızlanır [1].



Şekil 3.3. Kum drenler yöntemi [1]

3.5. İlave Malzemelerle İyileştirme Yöntemi

İnce taneli zeminlerin iyileştirilmesi için kireç, kül ve çimento gibi ilave malzemeler kullanılabilir. Bu iyileştirmenin amacı, zeminin permeabilitesini azaltmak ve mukavemetini artırmaktır. Zemin uygun miktarda kireç ile arazide karıştırılır ve su ilavesi ile sıkıştırılır. Bu yöntem kabarma özelliği olan zeminlerin şişmesinin kontrolü için yararlıdır. Ayrıca kireç kullanımı sodyum ve hidrojen killerin (şişme tabiatlı killer) iyileştirilmesinde daha uygundur [5]. Çimento ise özellikle yol ve toprak barajların yapımı sırasında, kumlu ve killi zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılabilir. Ayrıca çimento kullanılarak kil zeminlerin plastisitesi azaltılarak mukavemeti artırılabilir. Kül sönmüş kireç ile karıştırılırsa çimentolaşmış bir ürün meydana gelir. Dolayısıyla kireç-kül karışımları yol alt zeminlerin iyileştirilmesi için kullanılabilir [2].

3.6. Geotextil İle İyileştirme Yöntemi

Geotextil zemini kuvvetlendirmek için kullanılan petrol ürünü polyester, polietilen ve polipropilen kumaşlardır. Drenaj amaçlı, ince ve kaba taneli zeminler

arasına yerleştirilerek filtrasyon amaçlı ve geotextil malzemenin çekme mukavemeti olduğu için zeminin taşıma gücünü artırma amaçlı kullanılabilir [1].

3.7. Jet-Grout Yöntemi

Jet grout yöntemi ile zemin kısmi olarak taşlaştırarak çimentolu zemine dönüştürülür. Zemine çimento+su karışımı yüksek basınçla püskürtülür ve çimento ile zemin karışarak kolonlar elde edilir. Zemin jet grout'un uygulanacağı derinliğe kadar delinir. Su jeti takılı olan boru jet grout yapılacak derinliğe indirilir. Boru yukarı çekilirken çimento+su karışımı yüksek hızla püskürtülür. Püskürtmenin etkisini arttırmak için boru yukarı çekilirken döndürülür [2]. Böylece zemin içinde silindirik bir çimentolu zemin kütlesi elde edilir (Şekil 3.4)



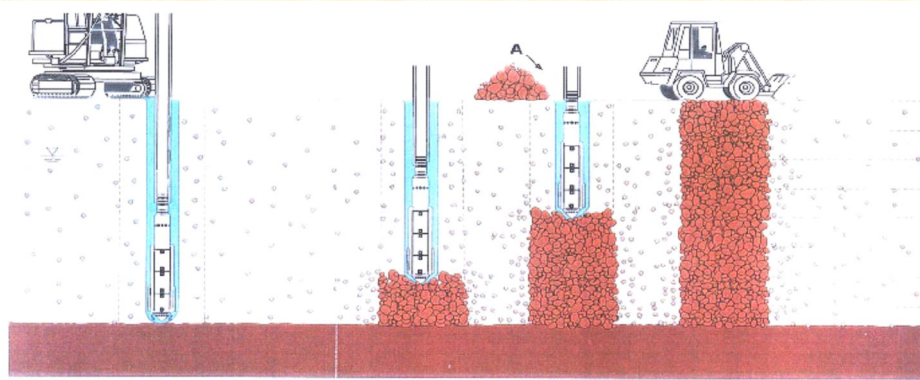
Şekil 3.4. Jet-Grout yöntemi [2]

Jet grout uygulamasında iyileştirilen zemin için başlıca tasarım parametreleri kolon çapı ve kolonun mukavemetidir. Jet enjeksiyonun kalitesine etkileyen parametreler ise; Püskürtme ağızlığı (nozzle) çapı, uygulanan basınç, su/çimento oranı, tijin dönme hızı, tijin geri çekilme hızı ve zeminin özellikleri olarak sıralanabilir. Kolonlardan karot numuneleri alınmalı ve kolon boyu ve kesitinin kontrolü pile integrity testi veya kazı ile ölçülmelidir [5].

3.8. Taş Kolon Yöntemi

Taş kolonlar zeminin taşıma kapasitesini artırmak, toplam ve farklı oturumları azaltmak, oturumları hızlandırmak, dolguların ve doğal şevlerin stabilitesini artırmak ve sıvılaşma potansiyelini azaltmak amacı ile titreşimle sıkıştırılmış agregadan oluşan düşey kolonlardır [2]. Fazla miktarda atık veya ayrışabilir organik madde içeren zeminlerde tavsiye edilmez. Aynı şekilde suya doygu siltli zeminlerde yapılan uygulamalarda mukavemet kaybı gözlenebilir. Taş kolon yapılan kohezyonlu zeminlerde, taş kolon inşasından sonra ön yükleme ile zeminin oturmasının hızlandırılması gerekir [2].

Taş kolon tasarım parametreleri ise: taş kolonun çapı, taş kolonların yerleşimi, taş kolonların boyu, taş kolon imalatında kullanılan malzemenin içsel sürtünme açısı, taş kolon malzemesinin tane çapı dağılımı olarak sıralanabilir [5]. Taş kolonların performansı için imal edilen taş kolonların arasındaki zeminde yapılacak konik penetrasyon (CPT) ve standart penetrasyon testleri (SPT) yükleme deneyleri; kolonun taşıma kapasitesi ve oturma miktarının belirlenmesinde en etkin yöntemlerden biridir. Taş kolonlar titreşimli yer değiştirme metodu, titreşimli kompaksiyon metodu, titreşimle oluşturulmuş metot ve kılıflı kuyu metodu gibi yöntemlerle imal edilebilir (Şekil 3.5)



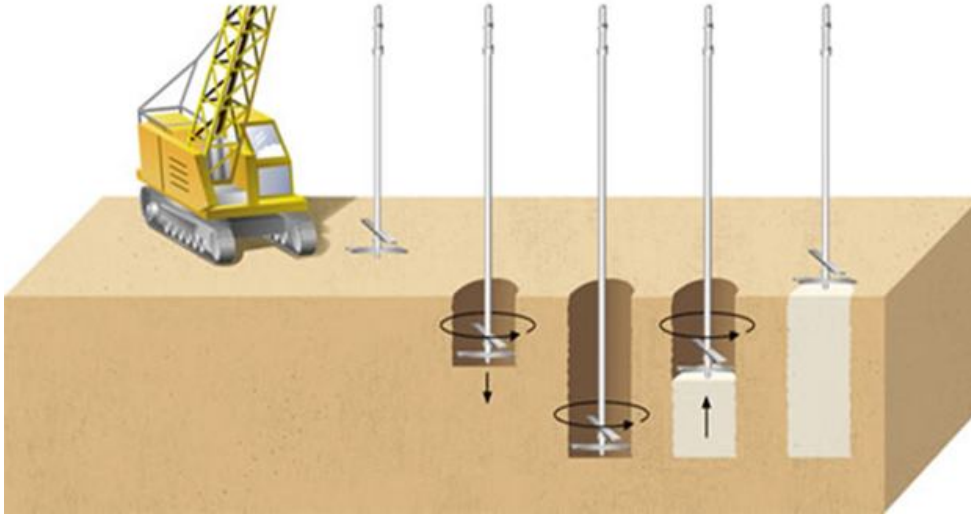
Şekil 3.5. Taş kolon yöntemi [2]

4. DERİN KARIŞTIRMA YÖNTEMİ

4.1. Derin Karıştırma Yönteminin Tarihsel Gelişimi

Zemin iyileştirme yöntemi olarak derin karıştırma metodunun ilk kez uygulanması 1954 yılına dayanmaktadır. Amerika’da tekli auger ile ilk karıştırma uygulaması İnstrusion Prepakt isimli bir firma tarafından uygulanmıştır. 1960 ve 1970 yıllarında ise Japonya’da çok fazla uygulanması bulunmaktadır. 1967 yılından itibaren ise ilk kez İsveç’te yumuşak killer de kireç kolanları olarak başlayan uygulama daha sonra diğer Avrupa ülkelerine yayılmaya başlamıştır. 1960’ların sonunda Çin’de ilk kez denenen derin karıştırma yöntemi daha sonraları yaygın bir iyileştirme metodu olmuştur. 1990’larda ise şu anki şekline benzer uygulamalar başlamış, çeşitli ülke ve firmalar tarafından farklı yöntemler ile derin karıştırma yöntemi uygulanmıştır [3].

4.2. Derin Karıştırma Yönteminin Uygulama Aşamaları



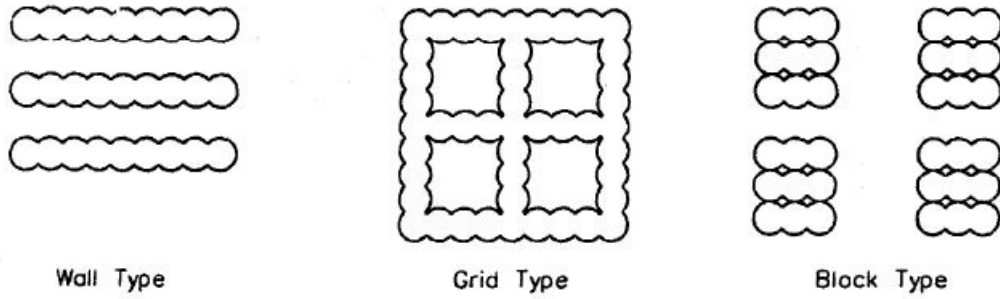
Şekil 4.1. Uygulama şekli [19]

- 1-) Delici makina kolon koordinatında pozisyon alır
- 2-) Karıştırıcı şaft zemini parçalayarak istenilen derinliğe kadar indirilir.
- 3-) Karıştırıcı şaft 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 şerbeti verilerek zemin ile karışması sağlanır.

4.3. Derin Karıştırma Yönteminin Uygulama Şekilleri

Derin karıştırma tekniği geniş bir alanda zeminlerin iyileştirilmesi için kullanılabilir. Aşağıdaki şekilden de görülebileceği gibi tekil elemanlar, duvar veya paneller ızgaralar veya kafesler ya da bloklar şeklinde inşa edilebilir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Uygulama şekli [19]

Derin karıştırma tekniği uygulama şeklinin belirlenmesi, projenin limitleri, karakteristiği ve geometrisine bağlıdır. Genel olarak uygulama amaçları ise hidrolik cut-off duvarlar, kazık destek duvarları, zemin iyileştirme, sıvılaşmanın azaltılması, ağırlık duvarları ve çevresel etkileri olarak sıralanabilir [3].

Hidrolik cut-off duvarlar, yer altı suyu akışını engellemek amacıyla örtüşen kolonlar veya paneller şeklinde imal edilen yapılardır. Yüzeye yakın geçirimli tabakadan derinlerdeki geçirimsiz kaya tabakasına kadar imal edilen duvarlar genellikle kaba daneli zeminlerin su geçişini önlemek amaçlı olarak kullanılırlar. En büyük yer altı suyu kontrollü proje Cusman gölü barajı için inşa edilmiş 43 metre ile 61 metre arası uzunluklarda geçirimsiz perde oluşturulmuştur [3]. Ayrıca dünya çapında farklı barajlar için kil çekirdeklerini destek amaçlı uygulamalarda bulunmaktadır. Benzer şekilde çöp depolama alanlarında kirliliğin yayılımını engellemek için bentonit panel duvarlarda sıkça uygulanmaktadır.

Kazı destek duvarları ise kazı yüzeylerinde durağan bir zemin yüzeyi elde etmek, yüksek dayanım ve zemin sıkılığını artırmak, çelik elemanlar yerine kullanılarak maliyeti düşürmek için tercih edilmektedir. Kazı destek sistemlerinde ayrıca yeraltı suyunun geçişinin kontrolü de amaçlanmaktadır. Singapur’da 225 metre boyunda ve 23 metre genişliğindeki kazı için 41.5 metre uzunlukta, 1.2 metre çapında derin karıştırma kolonları imal edilmiştir [3]. Derin kazı destek amaçlı dünya çapında birçok örnek ve uygulama bulunmaktadır. Yapılan uygulama sonuçları derin karıştırma sisteminin yanal hareketleri minimuma indirmede başarılı olduğunu göstermiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Uygulama örnekleri-1

Zemin iyileştirme olarak derin karıştırma yöntemi zeminlerin mukavemetini artırdığı sıkışabilirliklerini azalttığı, zemin stabilitesini artırdığı gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra metro, tünel gibi yeraltı inşaatları içinde zemin hareketlerini kontrol altında tuttuğu belirlenmiştir. Yöntemin kullanıldığı en büyük örneklerden biri olan Trans-Tokyo körfez tüneli projesinde 1.8 milyon metre küplük alanda uygulanmış ve bölge bu yöntemle iyileştirilmiştir [3]. Çin, Japonya, Tayvan gibi ülkelerde bu yöntem sıkça kullanılmakta ve geniş alanlarda derin karıştırma ile zemin iyileştirmesi yapılmaktadır.

Sıvılaşmaya karşı uygulanan derin karıştırma yöntemi ise sıvılaşmanın engellenmesi, zeminin güçlendirilmesi ve boşluk suyu basıncının azaltılması amaçları dahilinde uygulanmaktadır. Bu yöntem ekonomik nedenler ve derinlik faktörü düşünüldüğünde uygulamada sıkça yer bulmuş, çoğu projede geleneksel

olarak tercih edilmiştir. Özellikle kohezyonsuz zeminlerde boşluk suyu basıncının izole edilmesi ve sıvılaşmanın önlenmesi amacıyla, bina temellerinde uygulanmıştır. Zeminlerin sıvılaşmaya karşı güçlendirilmesi için blok şeklinde, duvar şeklinde veya ızgara şeklindeki patenlerde uygulamaları bulunmaktadır. Karışımda çimento enjeksiyonu ile zeminin basınç dayanımı artırılmakta, sıvılaşma nedenli oluşacak kuvvetlere karşı direnç oluşturulmaktadır. Jackson gölü barajı temelinde karma gerilmesinin absorbe edilmesi, boşluk suyu basıncı artışının engellenmesi, yanal yayılmaların engellenmesi, oturmaının minimize edilmesi amacıyla uygulanmıştır [3]. Derin karıştırma yönteminin sıvılaşmaya karşı direncini gösteren uygulamalardan biri ise 1995 yılı Kobe depreminde gözlemlenmiştir. Bölgede fazlaca sıvılaşma olayı gözlemlenmesine rağmen derin karıştırma yöntemi uygulanan Kobe limanı oteli deprem sırasında yüksek performans göstermiş ve minimum hasar oluşmuştur [3]. Benzer şekilde dünyada sıvılaşmaya karşı uygulama bulunmakta ve literatür de başarılı sonuçlar bulunmaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Uygulama Örnekleri-2

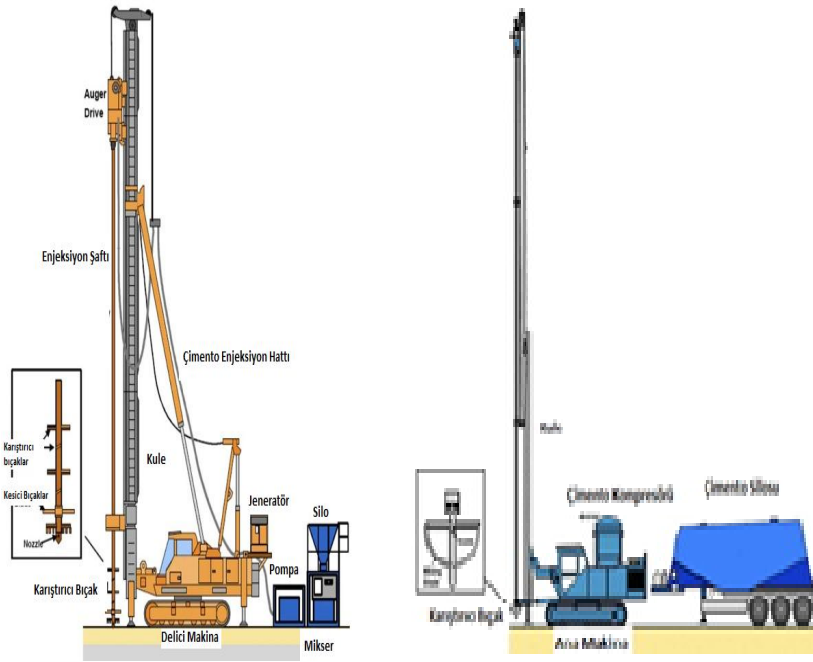
4.4. Derin Karıştırma Yöntemi Tipleri

Teknolojik gelişmelerle birlikte çeşitli ülkelerde çeşitli kurum ve özel firmalar tarafından tasarlanan ve uygulanan farklı tipte derin 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 (Şekil 4.4)



Şekil 4.4. Şaft Sistemleri

Islak metotta karışım şerbet halinde dönme enerjisiyle birlikte şafttan yüksek oranlarda verilirken, kuru metotta kuru karışım şaftın alt ucundan daha küçük miktarlarda daha fazla enerji ile zemine karıştırılır. Ayrıca ekonomik düşük mukavemetli iyileştirme içeren zemin çalışmalarında uçucu kül, alçı taşı ve çimento karıştırılarak enjekte edilmektedir. Islak metodun kuru metoda göre daha büyük kolon çapı oluşturabilme ve daha derinlere enjeksiyon yapabilme avantajı vardır (Şekil 4.5)



Şekil 4.5. Islak ve Kuru Sistem Takımları

Tüm yöntemlerde amaç uniform iyileşmiş bir alan sağlama, zemin içerisinde herhangi bir topaklanmayı engelleme, uniform bir su muhtevası sağlama ve zemin içerisinde bağlayıcının uniform olarak dağılımını sağlamaktır. Bu sebeple zemin içerisine bağlayıcının uniform ve düzenli olarak karıştırılması, uygun su/çimento oranının belirlenmesi, uygun enjeksiyon değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir [3]. Japonya, İskandinav ülkeleri, Birleşik devletler ve Avrupa ülkelerinde benzer ve projelere göre farklılıklar gösteren derin karıştırma metodları uygulanmaktadır. Burada farklılıkların nedenlerinden birisi de ulaşılması amaçlanan zemin değerleridir. Elde edilmek istenen mukavemet ve sıklık değerlerine göre sistemler modifiye edilebilmektedir.

4.5. Derin Karıştırma Yönteminde Kullanılan Ekipmanlar

Derin karıştırma sisteminin uygulanması için gerekli ekipmanlar, karıştırıcı şaft, çimento tankı, su tankı, mikser, pompa şeklinde sıralanmaktadır. Karıştırıcı şaft kesme bıçakları, karıştırma bıçakları, enjeksiyon portları, enjeksiyon nozullarından oluşmaktadır. Aşağıdaki şekilde dünyada kullanılan çeşitli karıştırıcı şaftlar verilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Çeşitli tip bıçaklar

Kolonun homojenliği eşit miktarda enjeksiyon verilmesi ve karıştırıcı aparat üzerindeki gözeneklerin yerleşiminden büyük ölçüde etkilenir. EN14679:2005 standardına göre Çizelge 5.1 ve 5.2 de Derin Karıştırma yönteminde kullanılan ekipmanların genel karakteristikleri tanımlanmıştır. [19].

Çizelge 4.1. Islak yöntem için kapasite değerleri [19]

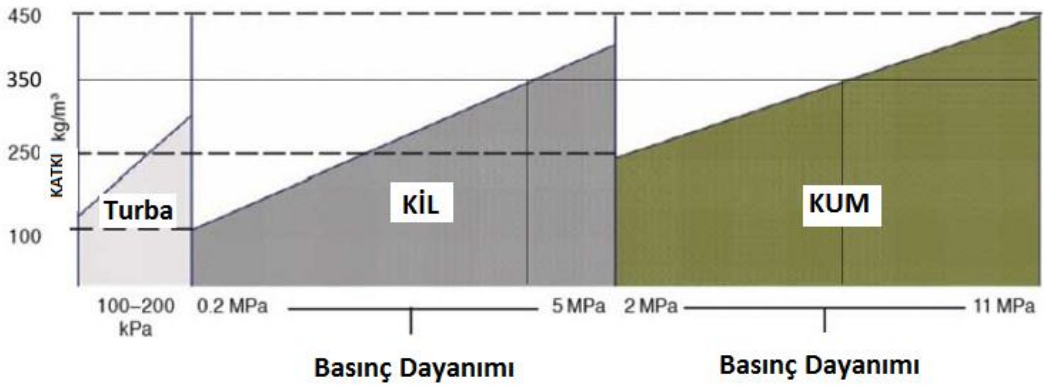
Ekipman	Detay	Karada (Avrupa)	Karada (Japonya)	Denizde (Japonya)
Karıştırma makinesi	Karıştırma mili sayısı	1-3	1-4	2-8
	Karıştırıcı çapı	0.4m-0.9m	1.0m-1.6m	1.0m-1.6m
	Maksimum iyileştirme derinliği	25m	48m	70m
	Nozulun yeri	Mil üzeri	Mil ve bıçak üzeri	Mil ve bıçak üzeri
	Enjeksiyon basıncı	500kPa-1000kPa	300kPa-600kPa	300kPa-800kPa
Enjeksiyon tesisi	Depolanan karışım miktarı	3m ³ -6m ³	3m ³	3m ³ -20m ³
	Üretim kapasitesi	0.08m ³ /dak-0.25m ³ /dak	0.25m ³ /dak-1m ³ /dak	0.5m ³ /dak-2m ³ /dak
Bağlayıcı depolama tankı	Maksimum kapasite	-	30 ton	50 ton- 1600 ton

Çizelge 4.2. Islak yöntem için uygulama değerleri [19]

Karıştırma makinesi	Karada (Avrupa)	Karada (Japonya)	Denizde (Japonya)
Karıştırma şaftının batma hızı	0.5m/dak-1.5m/dak	1.0m/dak	1.0m/dak
Karıştırıcı şaftın geri çekme hızı	3.0m/dak-5.0m/dak	0.7m/dak-1.0m/dak	1.0m/dak
Karıştırıcı bıçakların dönme hızı	25devir/dak- 50devir/dak	20devir/dak- 40devir/dak	20devir/dak- 60devir/dak
Bıçak dönme sayısı	Auger ile birlikte	Metrede 350	Metrede 350
Bağlayıcı enjeksiyon miktarı	80kg/m ³ -450kg/m ³	70kg/m ³ -300kg/m ³	70kg/m ³ -300kg/m ³
Enjeksiyon aşaması	Batma ve/veya geri çekme sırasında		

4.6. Derin Karıştırma İle Zemin Mukavemeti İlişkisi

Derin 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 içerikleri, boşluk suyu basıncının pH derecesi ve su içeriği), karıştırma özellikleri (karıştırma derecesi, karıştırma zamanı, karıştırma kalitesi), kürlenme özellikleri (sıcaklık, nem, donma veya çözünme vb.) olarak literatürde verilmiştir [3]. Ayrıca yeni geliştirilen metotlar, yeni geliştirilen bağlayıcı malzemelerinde elde edilecek zemin dayanımı üzerinde etkisi vardır. Aşağıda zemin tiplerine bağlı olarak elde edilen yaklaşık basınç dayanımı değerleri verilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.7. Farklı Zeminlerde Derin Karıştırma Kolonları Basınç Dayanımları

Islak metotlar için genellikle çimento enjeksiyonu 1 metre küp zemin için 100-500 kg arasında değişmektedir ve enjeksiyonun zemin kütlesine hacimsel oranı ise %20 ile %40 arasındadır. Kuru metotta ise genellikle çimento enjeksiyonu 1 metre küp zemin için 100-300 kg arasında değişmektedir ancak gerçekçi bir iyileşme beklenebilmesi için zemin su içeriğinin %60 ile %200 arasında olması gereklidir [3].

Kohezyonlu zeminler, granüler zeminlere göre daha yüksek çimento miktarı gerektirmektedir. İstenilen seviyede iyileştirme olup olmadığı mutlaka alınacak numunelere serbest basınç testi yapılarak belirlenmelidir. Aşağıdaki

tabloda derin karıştırma yöntemi ile iyileştirilmiş bir zemin için elde edilen laboratuvar test sonuçları verilmiştir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Derin Karıştırma ve Zemin Değerleri [3]

Serbest Basınç Direnci	Granüler zeminlerde 0.5-5 MPa Kohezyonlu zeminlerde 0.2-2 Mpa
Permeabilite Katsayısı	10^{-6} 10^{-9} m/s
Elastisite Modülü	Laboratuvar numuneleri için serbest basınç direncinin 350-1000 katı Arazi numuneleri için serbest basınç direncinin 150-500 katı
Kayma Mukavemeti	Serbest basınç direncinin 1 MPa'dan küçük olduğu durumlar için %40-50
Çekme Mukavemeti	Serbest basınç direncinin %8-14
28 Günlük Serbest Basınç Mukavemeti	Silt ve killer için 7 günlük mukavemetin 1.5 katı Kumlar için 7 günlük mukavemetin 2 katı

4.7. Derin Karıştırma Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

Derin karıştırma yöntemi kullanıldığı kategorilerdeki diğer alternatif uygulamalarla karşılaştırıldığında geoteknik, lojistik, ulaşılabilirlik, çevresel etkiler, maliyet, performans ve benzeri faktörle göz önüne alındığında çeşitli avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Genel olarak derin karıştırma yöntemi yumuşak zeminlerin iyileştirilmesi, kirlilik problemi gibi uygulamalarda istenilen seviyelerde olmasa da diğer amaçlı uygulamalarda daha pratik daha ekonomik ve tercih edilebilir bir yöntemdir. Özellikle; zeminin çok fazla sıkı olmadığı veya çok kaba daneler içermediği durumlarda, iyileştirme derinliğinin 40 metreden daha az olduğu durumlarda, iyileştirilecek zemin hacminin geniş olduğu durumlarda, performans limitlerinin belli olduğu durumlarda ve iyileştirilecek zeminin mukavemetinin 0.1 ve 5 MPa arasında olduğu durumlarda avantajlıdır [3]. Derin karıştırma yöntemine alternatif olan Jet-grout, diyafram duvar, palplanj, kesonlar, kazıklar, direnler, vibrokompaksiyon ve benzeri yöntemlerle karşılaştırıldığında avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır.

Hidrolik cut-off olarak kullanıldığında diyafram duvarlara, kesişen kazıklara, palplanjlara göre avantajları şunlardır:

- Atık malzeme hacmi azdır.
- Atık malzeme kolayca katı atığa dönüştürülür.
- Vibrasyon düşüktür, gürültü azdır.
- Heterojen zeminlerde uniform olarak uygulanabilir.
- Düşük maliyet getirir.
- Kalite kontrol testleri kolaydır.

Hidrolik cut-off olarak kullanıldığında diyafram duvarlara, kesişen kazıklara, palplanjlara göre dezavantajları şunlardır:

- Derinlik sınırı vardır.
- Geniş çalışma alanı gerektirir.

- Çok sıkı ve katı zeminlerde uygulanamaz.
- Yalnızca düşey yönde imal edilebilir.
- Palplanjlar sıfır atık oluşturur.

Kazı destek sistemi olarak kullanıldığında diyafram duvarlara, kesişen kazıklara, palplanjlara, zemin çivilerine göre avantajları şunlardır:

- 15 ile 40 metre derinlikler için düşük birim maliyet.
- İlave kaplama gerektirmemesi.
- Su geçirgenliğini düşürmesi.
- Atık malzeme kolayca katı atığa dönüştürülür.
- Vibrasyon düşüktür, gürültü azdır.
- Heterojen zeminlerde uniform olarak uygulanabilir.

Kazı destek sistemi olarak kullanıldığında diyafram duvarlara, kesişen kazıklara, palplanjlara, zemin çivilerine göre dezavantajları şunlardır:

- Donma, çözülme bozulması meydana gelebilir.
- Derinlik limiti vardır.
- Geniş çalışma alanı gerektirir.
- Çok sıkı ve katı zeminlerde uygulanamaz.
- Yalnızca düşey yönde imal edilebilir.
- Palplanjlar sıfır atık oluşturur.

Zemin iyileştirme sistemi olarak kullanıldığında Jet-grout vb. yöntemlere göre avantajları şunlardır:

- 40 metreye kadar derinlikler için düşük birim maliyet.
- 0.5 ile 5 MPa dayanıma sahip zeminler için kolay uygulanabilirlik.
- Su geçirgenliğini düşürmesi.
- Atık malzeme kolayca katı atığa dönüştürülür.
- Vibrasyon düşüktür, gürültü azdır.
- Heterojen zeminlerde uniform olarak uygulanabilir.



Zemin iyileştirme sistemi olarak kullanıldığında Jet-grout vb. yöntemlere göre dezavantajları şunlardır:

- Çok zayıf, problemlı zeminlerde uygulama zorluğu.
- Derinlik limiti vardır.
- Geniş çalışma alanı gerektirir.
- Çok sıkı ve katı zeminlerde uygulanamaz.
- Yalnızca düşey yönde imal edilebilir.

Sıvılaşma potansiyelini azaltmak amacıyla kullanıldığında kompaksiyon vb. yöntemlere göre avantajları:

- Literatüre girmiş deprem sonrası performans göstergeleri.
- Büyük projelerde düşük maliyetler getirmesi.
- Çevreye minimum zarar.
- Kolay kalite kontrol testleri.
- Vibrasyon düşüktür, gürültü azdır.

Sıvılaşma potansiyelini azaltmak amacıyla kullanıldığında kompaksiyon vb. yöntemlere göre dezavantajları:

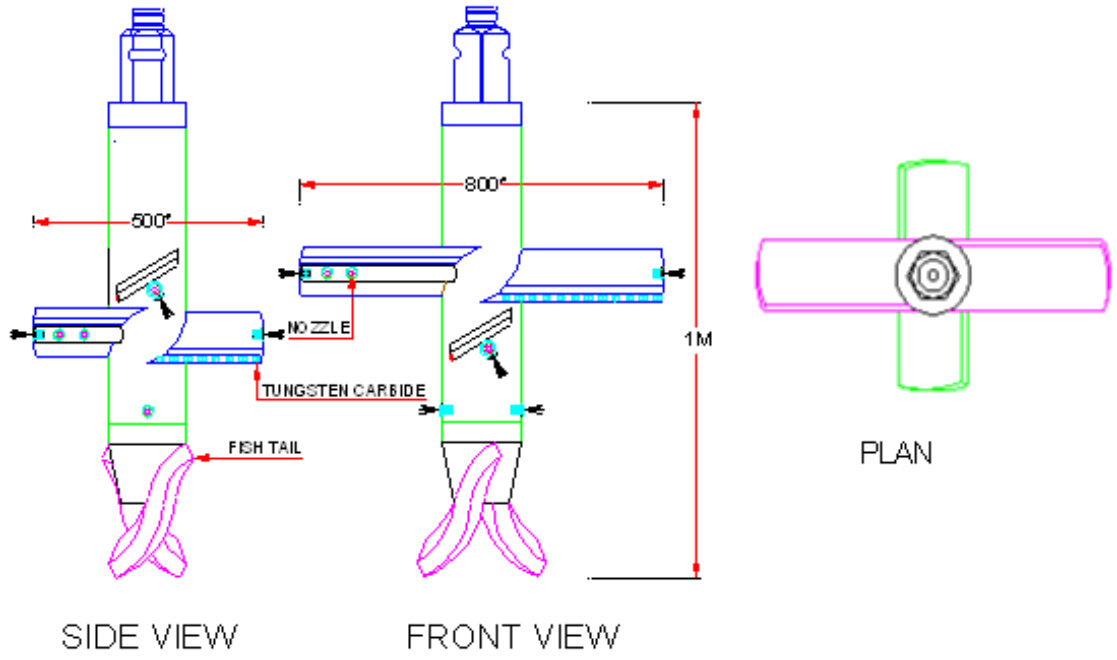
- Derinlik limiti vardır.
- Geniş çalışma alanı gerektirir.
- Çok sıkı ve katı zeminlerde uygulanamaz.
- Yalnızca düşey yönde imal edilebilir.

5. DERİN KARIŞTIRMA UYGULAMA EKİPMANLARININ TASARIM VE İMALATI

Tez çalışması kapsamında bir derin karıştırma sistemi tasarlanmıştır. Bu bölümde tasarım aşamaları verilmiştir.

5.1. Karıştırıcı Bıçak Tasarım ve İmalatı

Karıştırıcı Bıçak tasarımı için detay çizimleri aşağıda verilmiştir. (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Bıçak tasarımı için detay çizimleri

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 60cm çapında çift kanatlı kanatlarında nozzlelar bulunan bir karıştırıcı bıçak tasarlandı (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Karıştırıcı Bıçak

5.2. Ana Makina Tasarım ve İmalatı

Uygulamada zemin mekanik enerjiyle parçalandığı için güçlü bir delici makinaya ihtiyaç duymaktadır bu amaçla aşağıdaki özelliklere sahip bir ana makine seçilmiştir (Şekil 5.3~5.5).

Ana Makine Özellikleri

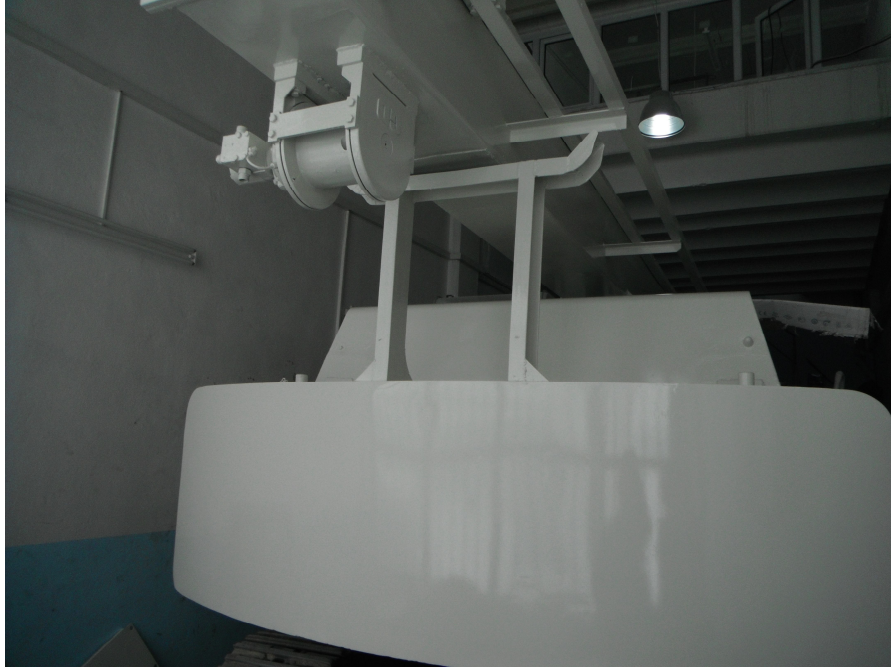
- Motor Gücü: 170HP
- Hidrolik Güç: 140HP
- Hidrolik Pompa: 2x286lt/dk
- Palet genişliği: 600mm
- Palet uzunluğu: 4500mm
- Paletler arası mesafe: 3500mm
- Tırmanma Gücü: 218kN
- Yürüme Hızı: 2,2/4,4 km/h



Şekil 5.3. Ana Makine-1



Şekil 5.4. Ana Makine-2



Şekil 5.5. Ana Makine-3

Uzun strok gereksinimleri ve yüksek tork güçlerine dayanıklılık bir arada düşünülerek 13 metre uzunluğunda 450x600 mm ebatlarında bir delici kule tasarlanarak ana makinaya montajı yapıldı (Şekil 5.6~5.8).

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 5.6. Kule ve Delici-1



Şekil 5.7. Kule ve Delici-2



Şekil 5.8. Kule ve Delici-3

5.3. Pompa ve Karıştırıcı Ünitelerin Tasarım ve İmalatı

Uygulamada en önemli noktalardan biri tüm kolonlara eşit ve homojen çimento şerbetinin aktarılabilmesidir. Bu düşünceden hareketle 7” dokunmatik bir ekranla tam otomatik kontrol edilebilen çimento ve su miktarlarını yüklenen reçetelere göre alıp karıştıran ve makinaya sevk eden bir pompa ünitesi tasarlandı (Şekil 5.10~5.11).

Pompa ve Karıştırıcı Üniteler

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



Şekil 5.9. Mikser Sistemi-1



Şekil 5.10. Mikser Sistemi-2

6. ÖRNEK UYGULAMALAR

Tez çalışması kapsamında tasarlanan sistem ile 4 adet örnek uygulama gerçekleştirilmiş ve uygulama sonrası testler ile derin karıştırma işleminin başarısı ve farklı zeminlerdeki dayanım sonuçları irdelenmiştir. Bu bölümde örnek uygulamalar özetlenmiş, ancak projeleri ekler kısmında detaylı olarak verilmiştir.

6.1 Uygulama Parametreleri

Deep Soil Mixing uygulamasında 60 cm çapında kolon oluşturmak için sabit çekme hızı nozzle çapı, rotasyon hızı ve uygulanacak basınç zemin şartları dikkate alınarak aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Uygulamada “TS EN 14679 Özel Jeoteknik Uygulamalar – Derin Karıştırma” esas alınmıştır.

Deneme kolonu üretimi için belirlenen karıştırma ve malzeme parametreleri:

Örnek uygulamalar boyunca uygulanan parametreler aşağıda özetlenmiştir.

Enjeksiyon Basıncı	: 0-100 Bar
İlerleme hızı	:50-150 cm/dak
Geri çekme hızı	: 50-200 cm/dak
Nozzle Çapı	: Değişken çapta çok adet
Dönme Hızı	:5 - 40dev/dak
Dozaj	:450 kg/m ³
Çimento	:PÇ42.5

6.2. Örnek Uygulama-1

Eskişehir ili, Tepebaşı İlçesi sınırları içerisinde 1228 m² temel taban alanına sahip bir otel inşası yapılması planlanmaktadır. İnceleme sahası için oluşturulan rapora göre; taşıma gücü yetersizliği sebebiyle, parselde inşa edilecek yapılar için temel altında zemin iyileştirmesi uygulanması önerilmiştir [21]. Bu sebeple ilgili alana derin karıştırma DSM yöntemi kullanılarak zemin iyileştirmesinin uygun bir çözüm olduğu düşünülmüştür.

6.2.1 Uygulama Alanı Zemin Koşulları

İlgili sahada, **Yerteknik Ltd. Şti.** tarafından hazırlanan zemin sondaj logu aşağıda sunulmuştur. (Çizelge 6.1~ 6.2).

41

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Zemin iyileştirmesinde 476 adet 60 cm çapında, 7,00 m boyunda kolonların 1,70 x 1,70 m karelaj ile yerleştirilerek oluşturulan sistemin hesabı All Pile bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Binanın toplam yükü 6000 ton olarak statik projeyi hazırlayan firma tarafından belirtilmiştir. Hesaplar neticesinde bir kolonun emniyetli taşıma gücü 391,62 kN olarak belirlenmiştir.

6.2.2 Uygulama Sonuçları

Oluşturulan kolonlardan alınan karot numunelerinin basınç test sonuçları eklerde verilmiştir, ayrıca aşağıda tablo olarak özetlenmiştir. (Çizelge 6.3).

Çizelge 6.3. Karot Sonuçları [22]

Açıklama	Karot Çapı (mm)	Karot Yüksekliği (mm)	Boy/Çap Oranı	Kırılma Yüğü (kN)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
Deep Mix Kolon 1	92	92	1,00	97	14,57
Deep Mix Kolon 2	92	92	1,00	141	21,17
Deep Mix Kolon 3	92	92	1,00	211	31,79
Deep Mix Kolon 4	92	92	1,00	192	28,81
Ortalama:				160	24,09

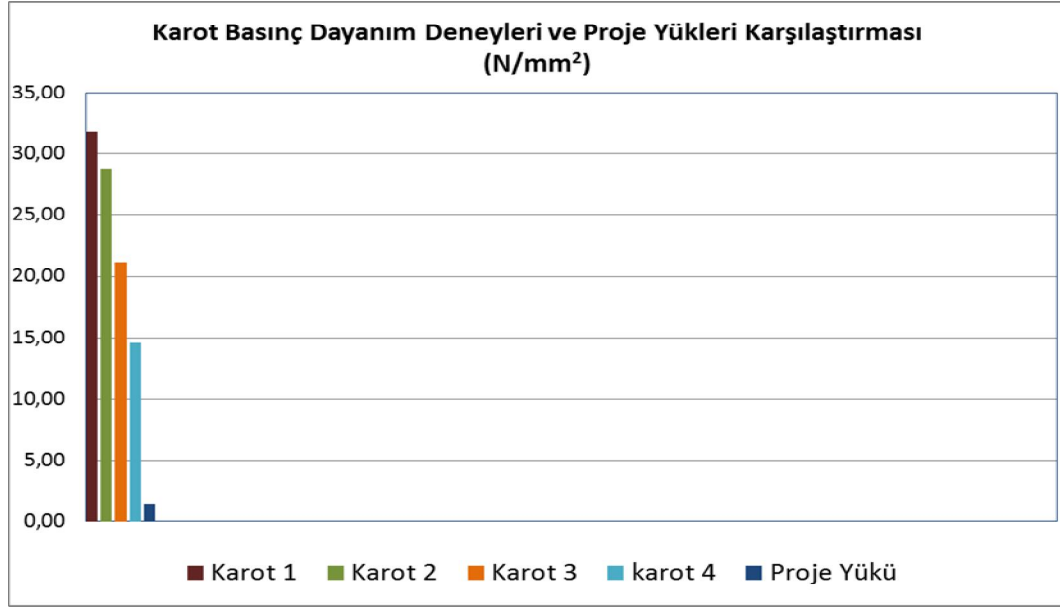


Şekil 6.1. DSM uygulaması-1

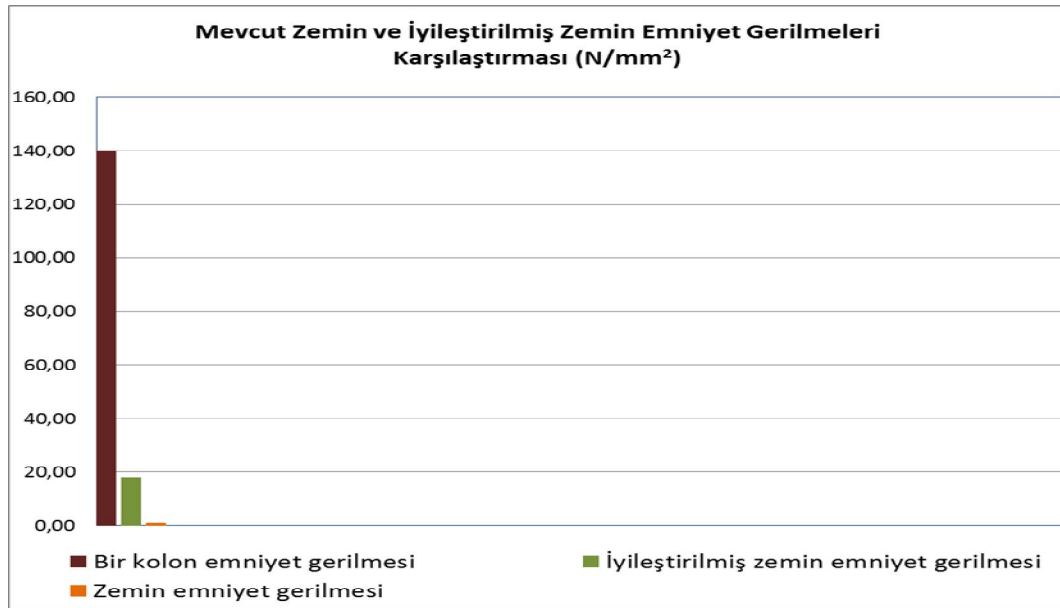


Şekil 6.2 DSM uygulaması-1

Çizelge 6.4. Karot Basınç Dayanım Deneyleri ve Proje Yüklü Karşılaştırması



Çizelge 6.5. Mevcut Zemin ve İyileştirilmiş Zemin Emniyet Gerilmeleri Karşılaştırması



Değerler incelendiğinde bir kolon güvenli taşıma yükü olan 391,62kN ‘u 10 kat emniyetle taşımaktadır. Nihai zemin emniyet gerilmesi mevcut zemin emniyet gerilmesinin 2 katına ulaşmıştır.

6.3. Örnek Uygulama-2

Eskişehir ili, Odunpazarı İlçesi sınırları içerisinde 240 m² temel taban alanına sahip bir konut inşası yapılması planlanmaktadır. İnceleme sahası için oluşturulan rapora göre; taşıma gücü yetersizliği sebebiyle, parselde inşa edilecek yapılar için temel altında zemin iyileştirmesi uygulanması önerilmiştir [21]. Bu sebeple ilgili alana derin karıştırma DSM yöntemi kullanılarak zemin iyileştirmesinin uygun bir çözüm olduğu düşünülmüştür.

6.3.1 Uygulama Alanı Zemin Koşulları

İlgili sahada, **Yerteknik Ltd. Şti.** tarafından hazırlanan zemin sondaj logu aşağıda sunulmuştur. (Çizelge 6.5~ 6.6).

Çizelge 6.5. Sondaj Kuyusu SK-1 değerleri [21]

YERTEKNIK										SONDAJ LOGU BOREHOLE LOG										SONDAJ NO BOREHOLE NO		SK 2																																											
																				SAYFA NO PAGE NO		1																																											
PROJE/Project										ESKİŞEHİR MERKEZ KIRMIZITOPRAK MAH.ERCAN SK.										SONDAJ METODU/Boring Method										ROTARY																																			
SONDAJ YERİ/Borehole Lokation										YEŞİM ÜRÇELİK										BAŞLAMA TARİHİ/Date Commenced										9,11,2012																																			
SONDAJ KOTU/Ground Level										794										BİTİŞ TARİHİ/Date Completed										9,11,2012																																			
SONDAJ DERİNLİĞİ/Borehole Depth										9.95 m										YER ALTI SUYU SEVİYESİ/G. W.Level										4,3																																			
KOORDİNATLAR/Coordinate										Y										AKİFER BAŞLANGICI										6,8																																			
										X										ADA PARSEL NO:										1105 Ada																																			
Derinlik(m) Depth(m)										STANDART PENETRASYON DENEYİ										JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description										LEJAND Legend		Dayanıklılık (Strength)		Ayrışma (Weathering)		Kırıma Kırıma		Karat. verimi % (Care)		RQD %																									
Yeraltı suyu Water Table										DARBE SAYISI										GRAFİK																																													
Manevra Boyut										0-15cm										15-30 cm										30-45 cm										N		10		20		30		40		50															
1.00																																																																	
2.00										SPT										4										4										6										10															
3.00																																																																	
4.00										SPT										5										7										11										18															
5.00										YASSI																																																							
6.00										SPT										1										1										1										2															
7.00																																																																	
8.00										SPT										1										2										3										5															
9.00																																																																	
10.00										SPT										17										22R/10cm										R																									



Çizelge 6.6. Sondaj Kuyusu SK-1 değerleri [21]

YERTEKNIK										SONDAJ LOGU BOREHOLE LOG										SONDAJ NO BOREHOLE NO		SK 2																																																																																																																																																																																																																																																																						
																				SAYFA NO PAGE NO		2																																																																																																																																																																																																																																																																						
PROJE/Project				ESKİŞEHİR MERKEZ KIRMIZITOPRAK MAHERCAN SK.						SONDAJ METODU/Boring Method								ROTARY																																																																																																																																																																																																																																																																										
SONDAJ YERİ/Borehole Lokation				YEŞİM ÜRÇELİK						BAŞLAMA TARİHİ/Date Commenced								9,11,2012																																																																																																																																																																																																																																																																										
SONDAJ KOTU/Ground Level				794						BİTİŞ TARİHİ/Date Completed								9,11,2012																																																																																																																																																																																																																																																																										
SONDAJ DERİNLİĞİ/Borehole Depth				9.95 m						YER ALTI SUYU SEVİYESİ/G.W.Level								4,3																																																																																																																																																																																																																																																																										
KOORDİNATLAR/Coordinate				Y						AKİFER BAŞLANGICI								6,8																																																																																																																																																																																																																																																																										
				X						ADA PARSEL NO:								1105 Ada																																																																																																																																																																																																																																																																										
Derinlik(m) Depth(m)	Yeraltı suyu Water Table	Manevra Boyut Run	STANDART PENETRASYON DENEYİ										JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	LEJAND Legend	Dayanıklılık (Strength)	Ayrışma	Yarışma (Weathering)	Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma	Kırılma Kırılma

Zemin iyileştirmesinde 60 adet 60 cm çapında, 6,00 m boyunda kolonların 1,80 x 1,80 m karelaj ile yerleştirilerek oluşturulan sistemin hesabı All Pile bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Binanın toplam yükü 1400 ton olarak statik projeyi hazırlayan firma tarafından belirtilmiştir. Hesaplar neticesinde bir kolonun emniyetli taşıma gücü 350 kN olarak belirlenmiştir.

6.3.2 Uygulama Sonuçları

Oluşturulan kolonlardan alınan karot numunelerinin basınç test sonuçları eklerde verilmiştir, ayrıca aşağıda tablo olarak özetlenmiştir. (Çizelge 6.7).

Çizelge 6.7. Karot Sonuçları [22]

Açıklama	Karot Çapı (mm)	Karot Yüksekliği (mm)	Boy/Çap Oranı	Kırılma Yüğü (kN)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
Deep Mix Kolon 1	94	94	1,00	77	11,07
Deep Mix Kolon 2	94	94	1,00	76	10,90
Deep Mix Kolon 3	94	94	1,00	59	8,52
Deep Mix Kolon 4	94	94	1,00	56	8,04
Ortalama:				67	9,63

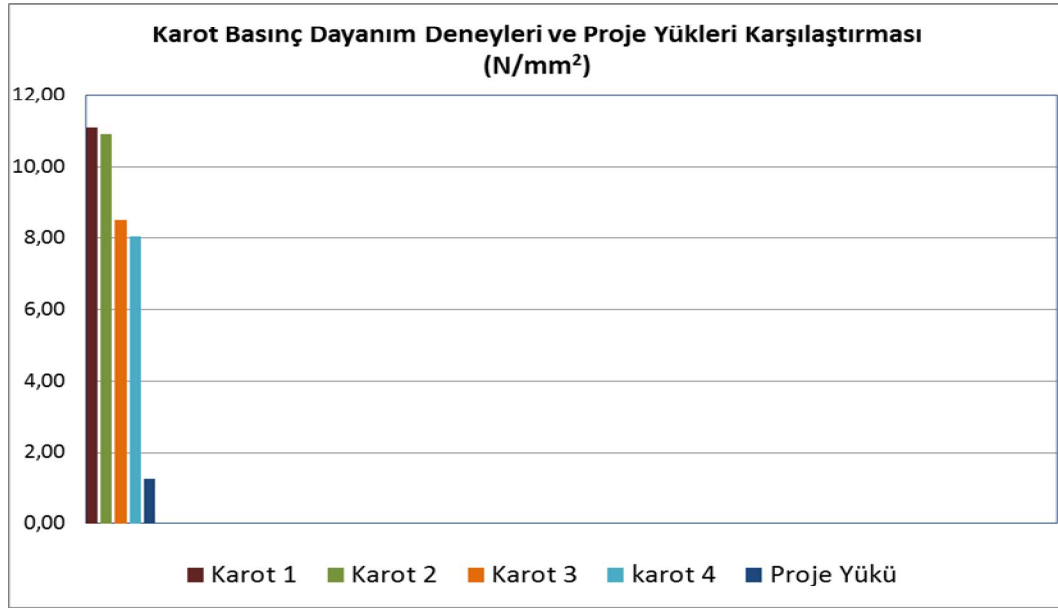


Şekil 6.3. DSM uygulaması-2



Şekil 6.4. DSM karotları

Çizelge 6.8. Karot Basınç Dayanım Deneyleri ve Proje Yükleri Karşılaştırması [21]



Çizelge 6.9. Mevcut Zemin ve İyileştirilmiş Zemin Emniyet Gerilmeleri Karşılaştırması [21]



Değerler incelendiğinde bir kolon güvenli taşıma yükü olan 350kN ‘u 6 kat emniyetle taşımaktadır. Nihai zemin emniyet gerilmesi mevcut zemin emniyet gerilmesinin 2,6 katına ulaşmıştır.

6.4. Örnek Uygulama-3

Eskişehir ili, Odunpazarı İlçesi sınırları içerisinde 240 m² temel taban alanına sahip bir konut inşası yapılması planlanmaktadır. İnceleme sahası için oluşturulan rapora göre; taşıma gücü yetersizliği sebebiyle, parselde inşa edilecek yapılar için temel altında zemin iyileştirmesi uygulanması önerilmiştir [21]. Bu sebeple ilgili alana derin karıştırma DSM yöntemi kullanılarak zemin iyileştirmesinin uygun bir çözüm olduğu düşünülmüştür.

6.4.1 Uygulama Alanı Zemin Koşulları

İlgili sahada, **Yerteknik Ltd. Şti.** tarafından hazırlanan zemin sondaj logu aşağıda sunulmuştur. (Çizelge 6.10~ 6.11)

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Çizelge 6.11. Sondaj Kuyusu SK-1 değerleri [21]

[illegible]

Zemin iyileştirmesinde 71 adet 60 cm çapında, 7,00 m boyunda kolonların 1,80 x 1,80 m karelaj ile yerleştirilerek oluşturulan sistemin hesabı All Pile bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Binanın toplam yükü 1400 ton olarak statik projeyi hazırlayan firma tarafından belirtilmiştir. Hesaplar neticesinde bir kolonun emniyetli taşıma gücü 340 kN olarak belirlenmiştir.

6.4.2 Uygulama Sonuçları

Oluşturulan kolonlardan alınan karot numunelerinin basınç test sonuçları eklerde verilmiştir, ayrıca aşağıda tablo olarak özetlenmiştir. (Çizelge 6.12).

Çizelge 6.12. Karot Sonuçları [22]

Açıklama	Karot Çapı (mm)	Karot Yüksekliği (mm)	Boy/Çap Oranı	Kırılma Yüğü (kN)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
Deep Mix Kolon 1	84	84	1,00	101	18,27
Deep Mix Kolon 2	84	84	1,00	63	11,45
Deep Mix Kolon 3	84	84	1,00	61	11,10
Deep Mix Kolon 4	84	84	1,00	45	8,09
Ortalama:				67,50	12,23

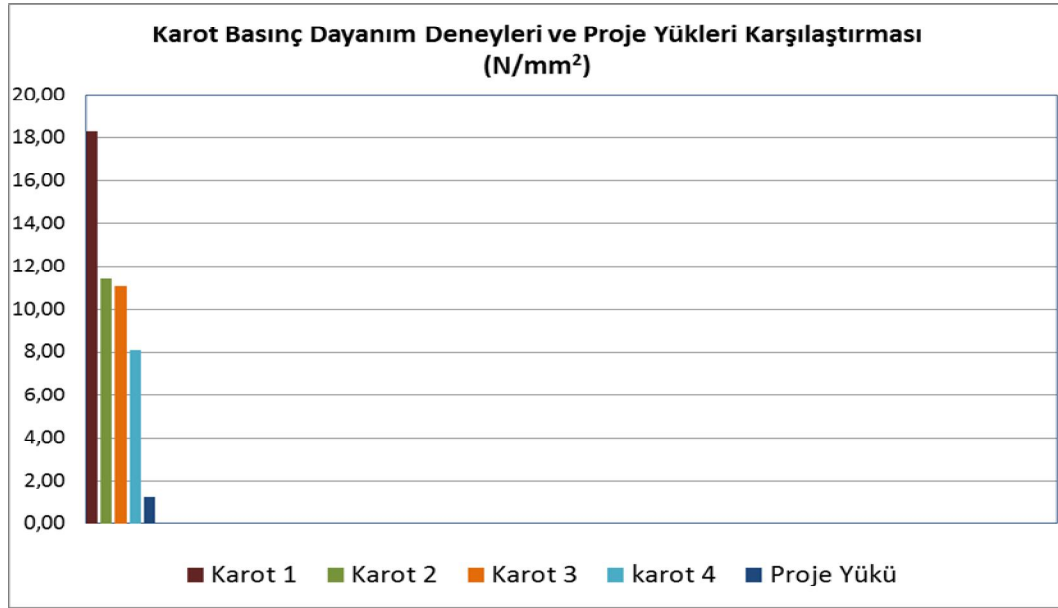


Şekil 6.5. DSM uygulaması-3

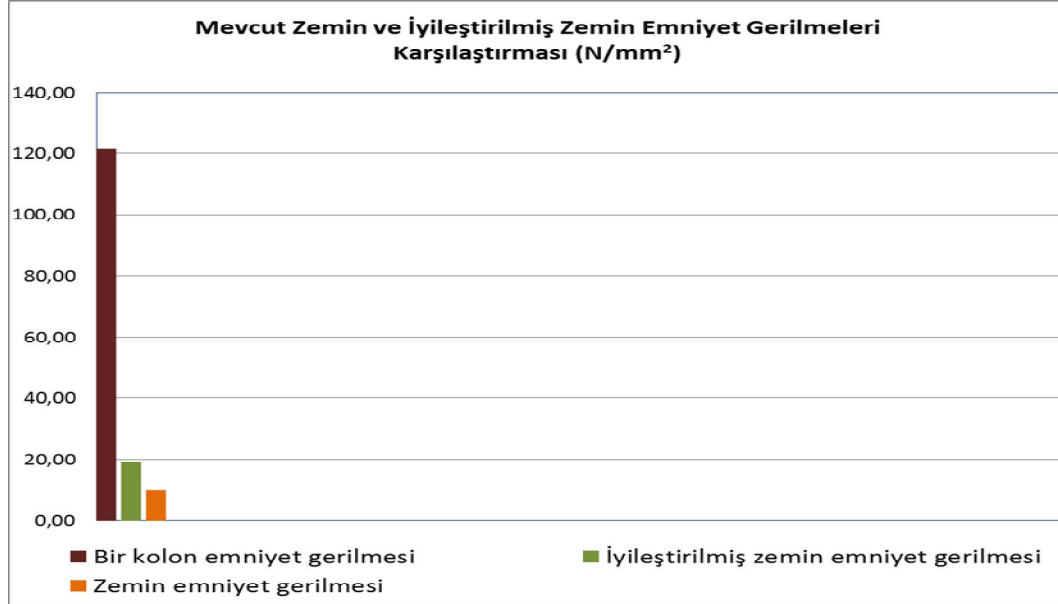


Şekil 6.6. DSM uygulaması-3

Çizelge 6.13. Karot Basınç Dayanım Deneyleri ve Proje Yükleri Karşılaştırması [21]



Çizelge 6.14. Mevcut Zemin ve İyileştirilmiş Zemin Emniyet Gerilmeleri Karşılaştırması [21]



Değerler incelendiğinde bir kolon güvenli taşıma yükü olan 340kN ‘u 6,6 kat emniyetle taşımaktadır. Nihai zemin emniyet gerilmesi mevcut zemin emniyet gerilmesinin 1,9 katına ulaşmıştır

6.5. Örnek Uygulama-4

Eskişehir ili, Tepebaşı İlçesi sınırları içerisinde 80 m² temel taban alanına sahip bir konut inşası yapılması planlanmaktadır. İnceleme sahası için oluşturulan rapora göre; taşıma gücü yetersizliği sebebiyle, parselde inşa edilecek yapılar için temel altında zemin iyileştirmesi uygulanması önerilmiştir [21]. Bu sebeple ilgili alana derin karıştırma DSM yöntemi kullanılarak zemin iyileştirmesinin uygun bir çözüm olduğu düşünülmüştür.

6.5.1 Uygulama Alanı Zemin Koşulları

İlgili sahada, **Yerteknik Ltd. Şti.** tarafından hazırlanan zemin sondaj logu aşağıda sunulmuştur. (Çizelge 6.15~ 6.16)

Çizelge 6.15. Sondaj Kuyusu SK-1 değerleri [21]

YERTEKNİK										SONDAJ LOGU BOREHOLE LOG										SONDAJ NO BOREHOLE NO		SK 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
																				SAYFA NO PAGE NO		1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
PROJE/Project										Eskişehir T.Başı Hacıseyit mah.Duatepe-Demiryolu soka										SONDAJ METODU/Boring Method										ROTARY																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
SONDAJ YERİ/Borehole Lokation										ZEKİ BATMAZ										BAŞLAMA TARİHİ/Date Commenced										14.07.2012																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
SONDAJ KOTU/Ground Level										810										BİTİŞ TARİHİ/Date Completed										14.07.2012																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
SONDAJ DERİNLİĞİ/Borehole Depth										10,95 m										YER ALTI SUYU SEVİYESİ/G.W.Level										6,90 m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
KOORDİNATLAR/Coordinate										Y										287993										AKİFER BAŞLANGICI																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
										X										4406633										ADA PAFTA NO										608-39																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Derinlik(m) Depth pft(m)										Yeraltısuyu Water Table										Manevra Boyut Run										STANDART PENETRASYON DENEYİ										JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description										LEJAND Legend										Dayanıklılık (Strength)										Ayrışma Disintegration										Yıkılma Weathering										Kırıma Fracture										Karat verim % Core										ROD %																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
																														DARBE SAYISI										GRAFİK																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											

Çizelge 6.16. Sondaj Kuyusu SK-1 değerleri [21]



SONDAJ LOGU

BOREHOLE LOG

SONDAJ NO

BOREHOLE NO

SAYFA NO

PAGE NO

SK 1

2

PROJE/Project		Eskişehir T. Başı Haciseyit mah. Duatpe-Demiryolu soka				SONDAJ METODU/Boring Method				ROTARY							
SONDAJ YERİ/Borehole Lokation		ZEKİ BATMAZ				BAŞLAMA TARİHİ/Date Commenced				14.07.2012							
SONDAJ KOTU/Ground Level		810				BİTİŞ TARİHİ/Date Completed				14.07.2012							
SONDAJ DERİNLİĞİ/Borehole Depth		11,45 m				YER ALTI SUYU SEVİYESİ/G.W.Level				6,90 m							
KOORDİNATLAR/Coordinate		Y		287993													
		X		4406633								608-39					
Derinlik (m) Depth (m)	Yeraltı suyu Water Table	Manevra Boyu	Run	STANDART PENETRASYON DENEYİ				JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	LEJAND Legend	Dayanıklılık (Strength)	Ayrışma	Weathering	Kırılma Indis/m	Karatırm % Care	ROD %		
				DARBE SAYISI												GRAFIK	
				0-15cm	16-30 cm	30-45 cm	N	10	20	30	40	50					
11.00		SPT		19	16R	10cr	R										
12.00		SPT		25	30	50/1	R										
13.00																	
14.00		SPT		20R	12CM		R										
15.00																	
16.00																	
17.00																	
18.00																	
19.00																	
20.00																	
Dayanıklılık		Ayrışma		İnce taneli				İri taneli				Kaya kalitesi		Kırıklar			
I Çok zayıf		I Taze		N=0-2 Çok yumuşak				N=0-4 Çok gevşek				% 0-25 Çok kötü		<1 Seyrek W			
II Zayıf		II Az ayrılmış		N=3-5 Yumuşak				N=4-10 Gevşek				% 25-50 Kötü		1-2 Orta M			
III Orta dayanımlı		III Orta derecede ayrılmış		N=6-9 Orta katı				N=10-30 Orta sıkı				% 50-75 Orta		2-10 Sık C			
IV Dayanımlı		IV Çok ayrılmış		N=10-16 Katı				N=30-50 Sıkı				% 75-90 İyi		10-20 Çok sıkı I			
V Çok dayanımlı		V Tamamen ayrılmış		N=17-30 Çok katı				N>50 Çok sıkı				% 90-100 Çok iyi		>20 Parçalı Cr			
VI Aşırı dayanımlı				N>30 Sert				Sondaj Mühendisi : JEOLUJİ MÜH. SELAHATTİN KILIÇ				İmza :					

Zemin iyileştirmesinde 25 adet 60 cm çapında, 7,00 m boyunda kolonların 1,80 x 1,80 m karelaj ile yerleştirilerek oluşturulan sistemin hesabı All Pile bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Binanın toplam yükü 840 ton olarak statik projeyi hazırlayan firma tarafından belirtilmiştir. Hesaplar neticesinde bir kolonun emniyetli taşıma gücü 250 kN olarak belirlenmiştir.

6.5.2 Uygulama Sonuçları

Oluşturulan kolonlardan alınan karot numunelerinin basınç test sonuçları eklerde verilmiştir, ayrıca aşağıda tablo olarak özetlenmiştir. (Çizelge 6.5).

Çizelge 6.17. Karot Sonuçları [22]

Açıklama	Karot Çapı (mm)	Karot Yüksekliği (mm)	Boy/Çap Oranı	Kırılma Yüğü (kN)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
Deep Mix Kolon 1	84	84	1,00	50	9,00
Deep Mix Kolon 2	84	84	1,00	38	6,86
Deep Mix Kolon 3	84	84	1,00	36	6,58
Deep Mix Kolon 4	84	84	1,00	23	4,24
Ortalama:				36,75	6,67

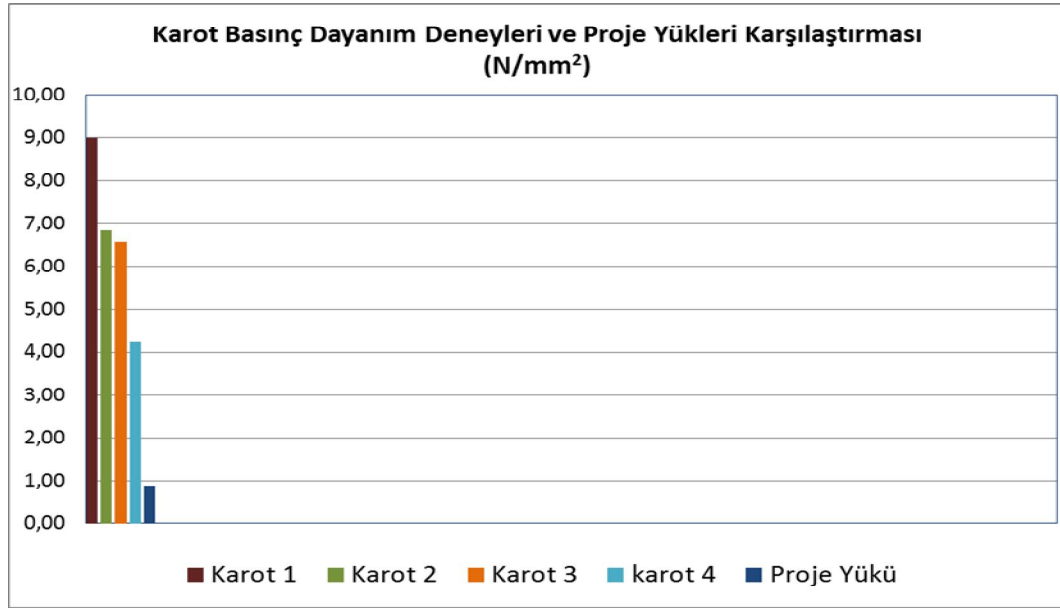


Şekil 6.7. DSM uygulaması

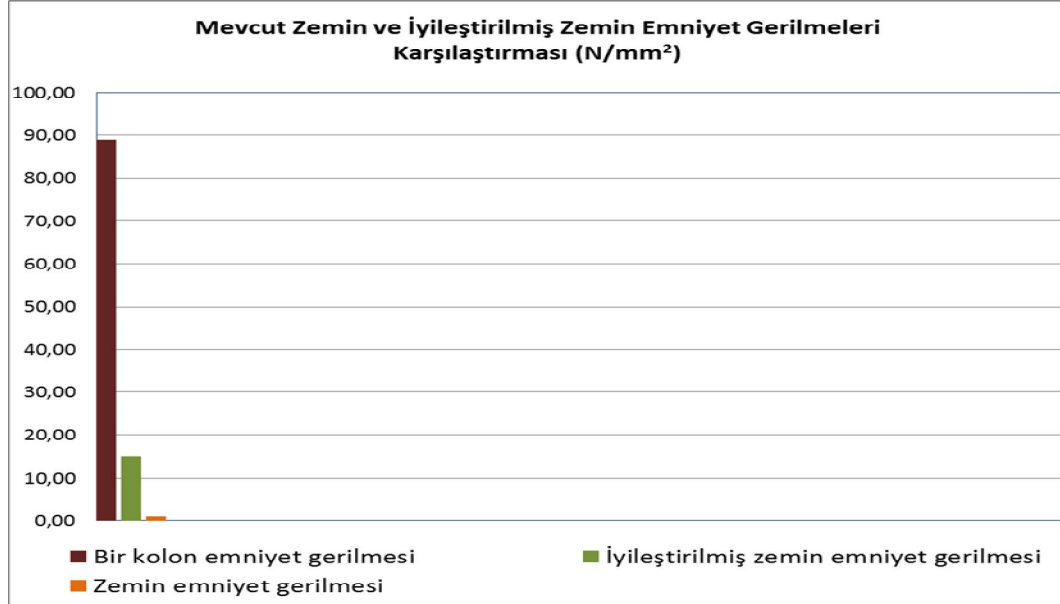


Şekil 6.8. DSM uygulaması

Çizelge 6.18. Karot Basınç Dayanım Deneyleri ve Proje Yükleri Karşılaştırması [21]



Çizelge 6.19. Mevcut Zemin ve İyileştirilmiş Zemin Emniyet Gerilmeleri Karşılaştırması [21]



Değerler incelendiğinde bir kolon güvenli taşıma yükü olan 340kN ‘u 6,6 kat emniyetle taşımaktadır. Nihai zemin emniyet gerilmesi mevcut zemin emniyet gerilmesinin 1,5 katına ulaşmıştır.

11. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Zemin özelliklerinin üstyapı inşası için uygun olmadığı durumlarda çeşitli yöntemler kullanılarak bu zemin özelliklerinin istenilen düzeylere ıslah edilerek zemin iyileştirme uygulamalarının gerçekleştirilmesi zorunludur. Derin karıştırma yöntemi (DSM) ise; çimento ve / veya diğer malzemeler ile zeminin yerinde harmanlanması şeklinde uygulanan bir zemin iyileştirme yöntemidir. Derin karıştırma yönteminin uygulanabilmesi için bir ekipman sistemi hazırlanması üzerine yapılan bu tez çalışması sonucunda şu değerlendirmeler yapılabilir;

- Depreme karşı güvenilir bir yapılaşma için geçmiş deprem karakteristiklerinin ve yerel zemin koşullarının çok iyi tanımlanması gerekmektedir.
- 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 karıştırma (deep soil mixing) yöntemi standartlara uygun ekipman ile uygun zemin koşullarında ve standartlarda belirtildiği şekilde uygulanırsa ülkemiz için uygulanabilirliği yüksek alternatif bir iyileştirme yöntemidir.
- Derin karıştırma (deep soil mixing) yöntemi düşük maliyet, kolay uygulanabilirlik ve çevreye minimum etki ile tercih edilebilir bir zemin iyileştirme yöntemidir.
- Derin karıştırma (deep soil mixing) yöntemi ile düşük mukavemetli zeminlerde yüksek modüllü kolonlar oluşturularak hem taşıma gücü artışı hem de sıvılaşmaya potansiyelinin azaltılması sağlanabilmektedir.
- Standartlara uygun olarak yeni ve farklı sistem tasarımları gerçekleştirilebilir ancak mutlaka gerekli test ve kontroller yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Das B.M., *Principles of foundation engineering*, Brooks Cole Engineering Division, A.B.D., 1984.
- [2] Tuncan, A., *Yapı denetimi alanında hizmet veren yapı denetçileri ve yardımcı kontrol mühendisleri için hazırlanan meslek içi eğitim programı kurs notları*, İnşaat Mühendisleri Odası, Eskişehir, 2007.
- [3] Anonim, *An introduction to the deep soil mixing methods as used in geotechnical applications*, U.S Federal Highway Administration, 2000.
- [4] Onur, M. İ., *Dinamik etkiler altında zemin deformasyonunun incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2007.
- [5] Sağlamer, A., *Zemin iyileştirme yöntemleri*, ZM11 Sunum Notları, Trabzon, 2011.
- [6] Andromalos, K.B, Bahner, E.W., “The application of various deep mixing methods for excavation support systems,” *Grouting and Ground Treatment*, Asce, 515-526, 2003.
- [7] Shao, Y., Macari, E.J., Cai, W., “Compound deep soil mixing columns for retaining structures in excavations”, *Journal of Geotechnical and Geo environmental Engineering*, Asce, **11**, 1370-1377, 2005.
- [8] Madhyannapu, R.S, Puppala, A.J, Bhadriraju, V., Nazarian, S., “Deep soil mixing (DSM) treatment of expansive soils,” 2009 Us-China Work Shop on Ground Improvement Technologies, Asce, 130-139, 2009.
- [9] Kazemian, S., Huat, B.B.K., “Assessment and comparison of grouting and injection methods in geotechnical engineering,” *European Journal of Scientific Research*, **27:2**, 234-247, 2009.
- [10] Holm, G., “Deep mixing properties and applications,” *Star Conference*, Cambridge, 2005.
- [11] Fang, Z., *Physical and numerical modeling of the soft soil ground improved by deep cement mixing method*, Ph.D Thesis, The Hong Kong Politechnic University, 2006.

- [12] Day, S.R., Ryan, C.R., “Containment, stabilization and treatment of contaminated soils using in-situ soil mixing,” Geo Environment 2000 Conference, 1-15, Los Angeles, 1995.
- [13] Ye, G., Xu, C.A., Gao, Y., “ Improving soft soil using combined cement deep mixing column and preloading with prefabricated vertical drains,” Ground Modification and seismic Mitigation, Asce, **152**, 23-28, 2006.
- [14] Ferrari, A.A., *A remedial approach to stabilize a deep excavation in Singapore*, Master Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2007.
- [15] Saride, S., Archeewa, E., Puppala, A.J., Nazarian, S., Williammee, R., “ 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, 2010.
- [16] Puppala, A.J., Madhyannapu, R.S, Nazarin, S., Yuan, D., Hoyos, L., *Deep soil mixing technology for mitigation of pavement roughness*, Technical Report, 2007.
- [17] Yi, Y., Liu, S., Zhang, D., Zhu, Z., “Experimental study on T-shaped soil-cement deep mixing column composite foundation,” GeoHunan International Conference, Asce, **197**, 1-7, 2009.
- [18] Long, P.D., Bredenberg, H., “ Soil stabilization with lime – cement columns a solution for deep sheet pile wall in soft clay,” Geoeng 2000 Conference, 16-22, Melbourne 2000.
- [19] Anonim, TS EN 14679 Özel jeoteknik uygulamalar-derin karıştırma, TSE Ankara, 2006.
- [21] Yerteknik Ltd. Şti, *Zemin İyileştirme Projesi Hesap Raporu*, Eskişehir, 2012.
- [22] Güniz Mühendislik ve Lab. Hizmetleri, *Karot Numunesi Basınç Dayanımı Deney Raporu*, Eskişehir, 2012.
- [23] Yerteknik Ltd. Şti, *Zemin İyileştirme Projesi Hesap Raporu*, Eskişehir, 2012.
- [24] Güniz Mühendislik ve Lab. Hizmetleri, *Karot Numunesi Basınç Dayanımı Deney Raporu*, Eskişehir, 2012.