



**DERİN KARIŞTIRMA YÖNTEMİ VE FARKLI ANALİZ TEKNİKLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

Nesrin Gizem ÇAKIR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EKİM 2019

Nesrin Gizem ÇAKIR tarafından hazırlanan “DERİN KARIŞTIRMA YÖNTEMİ VE FARKLI ANALİZ TEKNİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Mehmet ORHAN

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

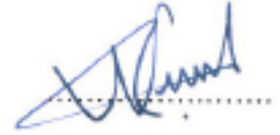
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Başkan: Prof. Dr. Nihat Sinan IŞIK

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Doç. Dr. Nejan Huvaj SARIHAN

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Tez Savunma Tarihi: 22/10/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu çalışmanın Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Nesrin Gizem ÇAKIR

22/10/2019

DERİN KARIŞTIRMA YÖNTEMİ VE FARKLI ANALİZ TEKNİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Nesrin Gizem ÇAKIR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ekim 2019

ÖZET

Tüm mühendislik yapıları (binalar, demiryolu, karayolu, havaalanı, metro vd.) bir zemine oturmakta ve zaman zaman fiziksel, mühendislik özellikleri itibariyle problemli zemin koşulları ile karşılaşmaktadır. Geoteknik mühendisliği uygulamalarında proje alanı; zemin koşulları, tasarım ve yapım yöntemleri açısından önemli bir etkiye sahiptir. Problemli zemin koşulları projenin yapılabilirliğini etkiler ve önemli sorunlara yol açabilir. Bu açıdan problemli zeminlerin iyileştirilmesi gerekmektedir. Teknolojik gelişmelere bağlı olarak yeni cihaz ve makinaların üretilmesiyle farklı zemin iyileştirme yöntemleri de ortaya konmuştur. Türkiye’de problemli zeminlerde çalışma zorunluluğu arttığından bu yana farklı zemin iyileştirme uygulamalarının kullanımı da yaygınlaşmıştır. Uygulamaya başlamadan önce yapılması gereken ilk şey öngörülen tasarım kriterlerine ulaşmak için uygulanacak zemin iyileştirme yönteminin geoteknik mühendisi tarafından iyice anlaşılmasıdır. Türkiye’de geoteknik mühendisliği uygulamalarında zemin iyileştirme yöntemi olarak Derin Karıştırma Yöntemi ilk akla gelen yöntem değildir. Buna karşın Japonya menşeli Derin Karıştırma Yöntemi (Deep-Mixing) ile zemin iyileştirmeleri dünyada 1960’lardan itibaren oldukça tercih edilen bir yöntem olmuştur. Öyle ki bu konuda bir çok araştırmacı çok kapsamlı yayınlar ortaya koymuş ancak ülkemizdeki mühendisleri bilgilendirecek kapsamda çeviriler, ayrıntılı anlatımlara literatürde rastlanmamaktadır. Bu çalışmada, çeşitli Derin Karıştırma Yöntemleri ile ilgili detaylı bir araştırma yapılmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda; yöntemin tarihsel araştırması, sınıflandırma ölçütleri, ana yöntemlerin açıklanması, uygulama alanları, yöntemin alternatif yöntemlere göre avantaj ve dezavantajları bahsedilmiş; yirmi dört farklı Derin Karıştırma Yöntemi’ni açıklayan ve kendi içinde kıyaslanmasını sağlayan özet tablolara yer verilmiş ve son olarak bir yol dolgusu tabanının derin karıştırma yöntemi ile iyileştirildiği ve stabilite probleminin farklı hesap ve analiz teknikleri kullanılarak çözüldüğü örnek tasarım ele alınmıştır. Ayrıca bu çalışmada Derin Karıştırma Yöntemi’nin kullanım alanının genişliğine de dikkat çekilmek istenmiştir. Çok çeşitli geoteknik problemleri çözmek için bu yöntemin kullanımının artmasını sağlamak amaçlanmıştır.

Bilim Kodu : 91105
Anahtar Kelimeler : Derin karıştırma, derin karıştırma tipleri, dolgu desteklemesi ve stabilitesi
Sayfa Adedi : 120
Danışman : Prof. Dr. Mehmet ORHAN

DEEP MIXING METHOD AND COMPARISON OF DIFFERENT ANALYSIS TECHNIQUES

(M. Sc. Thesis)

Nesrin Gizem ÇAKIR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

October 2019

ABSTRACT

All engineering structures (buildings, railway, highway, airport, subway etc.) are constructed on a ground and the problematic soil conditions are encountered due to their physical and engineering properties occasionally. In geotechnical engineering applications the project area has a significant impact in terms of soil conditions, design and construction methods. Problematic soil conditions affect the feasibility of the project and can cause significant problems. In this respect, problematic soil need to be improved. Different soil improvement methods have been introduced by the production of new devices and machines depending on technological developments. Because of increased necessity to work on problematic soil in Turkey, the use of different soil improvement applications has become widespread. The first thing to do before starting the implementation is to clearly understand the soil improvement method by the geotechnical engineer in order to achieve the predicted design criteria. The Deep Mixing Method as the soil improvement method in geotechnical engineering applications is still not the first method that comes to mind in Turkey. On the other hand, ground improvement with Japan-based Deep Mixing Method is a highly preferred method in the world since the 1960s. In fact, many researchers have published very comprehensive publications on this subject, but translations and detailed explanations to inform the engineers in our country are not found in the literature. In this study, a detailed research on various deep mixing methods (DMM) is reported. The historical research of the method, classification criteria, explanation of the main methods, application areas, advantages and disadvantages of the method compared to alternative methods; the summary tables explaining twenty four different Deep Mixing Methods and comparing the methods in itself, and finally, a sample design about an embankment for a transportation is supported by deep mixing method and the stability problem is solved by using different calculation and analysis techniques. This study also draws attention to the wide use of the Deep Mixing Method. It is aimed to increase the use of this method to solve a wide variety of geotechnical problems.

Science Code : 91105

Key Words : Deep mixing, Deep mixing types, support and stability of embankment,

Page Number : 120

Supervisor : Prof. Dr. Mehmet ORHAN

TEŞEKKÜR

Tez konumu belirleme aşamasında bana çok yardımcı olan ve bu dönemde bana birçok şey katan Tez Danışmanı Sayın Prof. Dr. Mehmet ORHAN'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca araştırma çalışmalarımda her türlü kaynağı bulmamda elinden geleni yapan tüm arkadaşlarıma ve psikolojik desteklerinden dolayı da aileme teşekkür ederim. Özellikle tezimin tasarım kısmında beni bilgi ve tecrübelerinden mahrum bırakmayan Tez Savunma Sınavı Jüri Başkanı Sayın Prof. Dr. Nihat Sinan IŞIK'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. TERMİNOLOJİ	3
3. DERİN KARIŞTIRMA YÖNTEMİ’NİN TARİHSEL GELİŞİMİ.....	5
4. DERİN KARIŞTIRMA YÖNTEMİ’NİN SINIFLANDIRILMASI.....	11
4.1. Islak Derin Karıştırma Yöntemi (W)	14
4.1.1. CDM teknolojisinde kullanılan ekipmanlar	15
4.2. Kuru Derin Karıştırma Yöntemi (D).....	17
4.2.1. DJM teknolojisinde kullanılan ekipmanlar	18
5. DERİN KARIŞTIRMA YÖNTEMİ’NİN UYGULAMA ALANLARI.	21
5.1. Hidrolik Cut-Off Duvarları	21
5.2. Kazı Destek Duvarları.....	23
5.3. Sıvılaşma Riskinin Azaltılması	28
5.4. Zemin İyileştirme	34
6. YÖNTEMİN AVANTAJLARI/DEZAVANTAJLARI.....	37
6.1. Hidrolik Cut-off Duvarları Uygulamasında Avantajları/Dezavantajları.....	38
6.1.1. Yararları/avantajları	38

	Sayfa
6.1.2. Sınırlamaları/ dezavantajları	38
6.2. Kazı Destek Duvarı Uygulamasında Avantajları/Dezavantajları.....	38
6.2.1. Yararları/avantajları	39
6.2.2. Sınırlamaları/ dezavantajları	39
6.3. Zemin İyileştirme Uygulamasında Avantajları/Dezavantajları.....	39
6.3.1. Yararları/avantajları	40
6.3.2. Sınırlamaları/ dezavantajları	40
6.4. Sıvılaşma Riskinin Uzaklaştırılması Uygulamasında Avantajları/ Dezavantajları	41
6.4.1. Yararları/avantajları	41
6.4.2. Sınırlamaları/ dezavantajları	41
6.5. Yerinde Güçlendirme Uygulamasında Avantajları/Dezavantajları.....	42
6.5.1. Yararları/avantajları	42
6.5.2. Sınırlamaları/ dezavantajları	43
6.6. Tehlikeli Atık Arıtımı (Fiksasyon) Uygulamasında Avantajları/ Dezavantajları	43
6.6.1. Yararları/avantajları	43
6.6.2. Sınırlamaları/ dezavantajları	43
7. ÖRNEK UYGULAMA.....	45
7.1. Giriş.....	45
7.2. Derin Karışma Yöntemi ile İyileştirmenin Amacı	45
7.3. Tasarım Geometrisi ve Gerekliklikleri.....	45
7.4. Zemin Profili	46
7.5. Şev Stabilitesi Analizi Gerekliklikleri.....	47
7.6. Tasarım Modelleri	48
7.7. Tasarım Basamakları.....	49
7.7.1. 1. Durum modeli	49

	Sayfa
7.7.2. 2. Durum modeli için tasarım basamakları	54
7.7.3. 3. Durum modeli için tasarım basamakları	60
7.7.4. 4. Durum modeli için için tasarım basamakları	70
7.7.5. 5. Durum modeli için tasarım basamakları	80
7.8. Değerlendirme	85
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	89
KAYNAKLAR	91
EKLER.....	95
EK-1. Derin karıştırma yönteminin farklı tiplerinin özet tabloları	96
ÖZGEÇMİŞ	120

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Derin karıştırma yönteminin sınıflandırılması için kullanılan terimler	12
Çizelge 7.1. Zemin tabakalarının ve yol dolgusunun mühendislik özellikleri	46
Çizelge 7.2. 1. Durumda Bishop Simplified Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu ..	50
Çizelge 7.3. 1. Durumda için Spencer Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu.....	51
Çizelge 7.4. 1. Durumda Morgenstern&Price Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu	52
Çizelge 7.5. Durum için sonlu elemanlar programındaki güvenlik katsayısı tablosu	53
Çizelge 7.6. 2. Durum için hesaplamalarda kullanılacak parametreler	54
Çizelge 7.7. Durumda Bishop Simplified Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu	56
Çizelge 7.8. 2. Durumda Spencer Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu.....	57
Çizelge 7.9. 2. Durumda Morgenstern&Price Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu.....	58
Çizelge 7.10. 2. Durum için sonlu elemanlar programındaki güvenlik katsayısı tablosu	60
Çizelge 7.11. 3. Durum için hesaplamalarda kullanılacak parametreler	60
Çizelge 7.12. 3. Durumda Bishop Simplified Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu	66
Çizelge 7.13. 3. Durumda için Spencer Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu.....	67
Çizelge 7.14. 3. Durumda Morgenstern&Price Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu	68
Çizelge 7.15. 3. Durum için sonlu elemanlar programındaki güvenlik katsayısı tablosu	70
Çizelge 7.16. 4.Durum için hesaplamalarda kullanılacak parametreler	71
Çizelge 7.17. 4. Durumda Bishop Simplified Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu	72
Çizelge 7.18. 4. Durumda için Spencer Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu.....	73
Çizelge 7.19. 4. Durumda Morgenstern&Price Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu	74

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.20. 4. Durum için sonlu elemanlar programındaki güvenlik katsayısı tablosu-1.....	76
Çizelge 7.21. 4. Durum için sonlu elemanlar programındaki güvenlik katsayısı tablosu-2.....	77
Çizelge 7.22. 4. Durum için sonlu elemanlar programındaki güvenlik katsayısı tablosu-3.....	78
Çizelge 7.23. 4. Durum için sonlu elemanlar programındaki güvenlik katsayısı tablosu-4.....	79
Çizelge 7.24. 4. Durum için sonlu elemanlar programındaki güvenlik katsayısı tablosu-5.....	80
Çizelge 7.25. 5. Durumda Bishop Simplified Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu	81
Çizelge 7.26. 5. Durumda Spencer Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu.....	82
Çizelge 7.27. 5. Durumda Morgenstern&Price Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu	83
Çizelge 7.28. 5. Durum için sonlu elemanlar programındaki güvenlik katsayısı tablosu	85
Çizelge 7.29. Tüm durumlar için yöntem/güvenlik katsayısı tablosu	86
Çizelge 7.30. Tüm durumlar için dayanım parametresi/güvenlik katsayısı tablosu	86

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. Derin karıştırma yönteminin sınıflandırılması	11
Şekil 4.2. Derin karıştırma yöntemlerinin sınıflandırılması	13
Şekil 4.3. CDM ekipmanı	16
Şekil 4.4. CDM karıştırma bıçakları detayı	16
Şekil 4.5. DJM ekipmanı	18
Şekil 4.6. DJM tek ve çift karıştırma şaftı detayları.....	19
Şekil 4.7. Karıştırma şaftı ve bıçaklarının detayları	20
Şekil 5.1. DMM kurulum sekansı	22
Şekil 5.2. Cushman barajı rehabilitasyon projesi, ABD	22
Şekil 5.3. DMM yapım aşamaları-1,2,3	24
Şekil 5.4. DMM yapım aşamaları-4,5,6	24
Şekil 5.5. DMM yapım aşamaları-4,5,6	25
Şekil 5.6. DMM istinat yapılarının planı	26
Şekil 5.7. DMM ile yapılmış dairesel şaft örneği	27
Şekil 5.8. Blok tipi derin karıştırma yöntemi.....	28
Şekil 5.9. Duvar tipi derin karıştırma yöntemi	28
Şekil 5.10. Kafes tipi derin karıştırma yöntemi	29
Şekil 5.11. Grup kolon tipi derin karıştırma yöntemi	29
Şekil 5.12. Jackson Barajı'nda DMM uygulaması	30
Şekil 5.13. Arakawa River Dike DMM uygulaması, Japonya	31
Şekil 5.14. Otel ve terminal binasının temelindeki DMM detayı, Japonya	32
Şekil 5.15. Torishima Dike'nin DMM ile yeniden inşaatı, 1995	33
Şekil 7.1. Örnek problem-yol dolgusu en kesiti	46
Şekil 7.2. 1. Durum için limit denge programındaki malzeme tablosu	49
Şekil 7.3. 1. Durum için Bishop Simplified Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1	50

Şekil	Sayfa
Şekil 7.4. 1. Durum için Bishop Simplified Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2.....	50
Şekil 7.5. 1. Durum için Spencer Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1	51
Şekil 7.6. 1. Durum için Spencer Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2	51
Şekil 7.7. 1. Durum için GLE/Morgenstern&Price Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1	52
Şekil 7.8. 1. Durum için GLE/Morgenstern&Price Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2	52
Şekil 7.9. 1. Durum için sonlu elemanlar programındaki malzeme tablosu	53
Şekil 7.10. 1. Durum için sonlu elemanlar programı ile stabilite analizi.....	53
Şekil 7.11. 1. Durum için sonlu elemanlar programı ile deformasyon vektörleri dağılımı.....	53
Şekil 7.12. Kolon yerleşimi, kolon çapı ve kolonlar arası mesafe gösterimi.....	54
Şekil 7.13. 2. Durum için limit denge programındaki malzeme tablosu	55
Şekil 7.14. 2. Durum için Bishop Simplified Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1	56
Şekil 7.15. 2. Durum için Bishop Simplified Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2.....	56
Şekil 7.16. 2. Durum için Spencer Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1	57
Şekil 7.17. 2. Durum için Spencer Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2	57
Şekil 7.18. 2. Durum için GLE/Morgenstern&Price Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1	58
Şekil 7.19. 2. Durum için GLE/Morgenstern&Price Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2	58
Şekil 7.20. 2. Durum için sonlu elemanlar programındaki malzeme tablosu	59
Şekil 7.21. 2. Durum için sonlu elemanlar programı ile stabilite analizi.....	59
Şekil 7.22. 2. Durum için sonlu elemanlar programı ile deformasyon vektörleri dağılımı	59
Şekil 7.23. Potansiyel kayma yüzeyleri ve kompozit kayma dayanımı	61
Şekil 7.24. Derin karıştırma yöntemi ile tipik kolon düzenlemesi örneği	62
Şekil 7.25. f_v tablosu	64
Şekil 7.26. Belirlenen e/d oranı için β , c/d ve ae değerleri tablosu.....	65

Şekil	Sayfa
Şekil 7.27. 3. Durum için limit denge programındaki malzeme tablosu	65
Şekil 7.28. 3. Durum için Bishop Simplified Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1	66
Şekil 7.29. 3. Durum için Bishop Simplified Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2.....	66
Şekil 7.30. 3. Durum için Spencer Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1	67
Şekil 7.31. 3. Durum için Spencer Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2	67
Şekil 7.32. 3. Durum için GLE/Morgenstern&Price Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1	68
Şekil 7.33. 3. Durum için GLE/Morgenstern&Price Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2	68
Şekil 7.34. 3. Durum için sonlu elemanlar programındaki malzeme tablosu.....	69
Şekil 7.35. 3. Durum için sonlu elemanlar programı ile stabilite analizi.....	69
Şekil 7.36. 3. Durum için sonlu elemanlar programı ile deformasyon vektörleri dağılımı	70
Şekil 7.37. 4. Durum için limit denge programındaki malzeme tablosu	71
Şekil 7.38. 4. Durum için Bishop Simplified Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1	72
Şekil 7.39. 4. Durum için Bishop Simplified Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2.....	72
Şekil 7.40. 4. Durum için Spencer Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1	73
Şekil 7.41. 4. Durum için Spencer Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2	73
Şekil 7.42. 4. Durum için GLE/Morgenstern&Price Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1	74
Şekil 7.43. 4. Durum için GLE/Morgenstern&Price Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2	74
Şekil 7.44. 4. Durum için sonlu elemanlar programındaki malzeme tablosu.....	75
Şekil 7.45. 4. Durum için sonlu elemanlar programı ile stabilite analizi-1	75
Şekil 7.46. 4. Durum için sonlu elemanlar programı ile deformasyon vektörleri dağılımı-1.....	76
Şekil 7.47. 4. Durum için sonlu elemanlar programı ile stabilite analizi-2	76
Şekil 7.48. 4. Durum için sonlu elemanlar programı ile deformasyon vektörleri dağılımı-2.....	77

Şekil	Sayfa
Şekil 7.49. 4. Durum için sonlu elemanlar programı ile stabilite analizi-3	77
Şekil 7.50. 4. Durum için sonlu elemanlar programı ile deformasyon vektörleri dağılımı-3.....	78
Şekil 7.51. 4. Durum için sonlu elemanlar programı ile stabilite analizi-4	78
Şekil 7.52. 4. Durum için sonlu elemanlar programı ile deformasyon vektörleri dağılımı-4.....	79
Şekil 7.53. 4. Durum için sonlu elemanlar programı ile stabilite analizi-5	79
Şekil 7.54. 4. Durum için sonlu elemanlar programı ile deformasyon vektörleri dağılımı-5.....	80
Şekil 7.55. 5. Durum için limit denge programındaki malzeme tablosu	80
Şekil 7.56. 5. Durum için Bishop Simplified Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1	81
Şekil 7.57. 5. Durum için Bishop Simplified Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2	81
Şekil 7.58. 5. Durum için Spencer Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1	82
Şekil 7.59. 5. Durum için Spencer Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2	82
Şekil 7.60. 5. Durum için GLE/Morgenstern&Price Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1	83
Şekil 7.61. 5. Durum için GLE/Morgenstern&Price Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2	83
Şekil 7.62. 5. Durum için sonlu elemanlar programındaki malzeme tablosu	84
Şekil 7.63. 5. Durum için sonlu elemanlar programı ile stabilite analizi.....	84
Şekil 7.64. 5. Durum için sonlu elemanlar programı ile deformasyon vektörleri dağılımı	85

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. CDM karıştıma bıçakları ve serbest bıçaklar	17
Resim 4.2. DJM karıştırma şaftları ve bıçakları	19
Resim 4.3. DJM makinesinin bağlayıcı tesisi (binder plant)	20

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

m	Metre
m²	Metrekare
m³	Metreküp
MPa	Mega Pascal

Kısaltmalar

Açıklamalar

AE	Araştırma Enstitüsü
AP	Araştırma Programı
CDM	Çimentolu Derin Karıştırma (Cement Deep Mixing)
CFA	Sürekli Burgu (Continuous Flight Auger)
D	Kuru (Dry)
DJM	Kuru Jet Karıştırma (Dry Jet Mixing)
DK	Derin Karıştırma
DLM	Derin Kireç Karıştırma (Deep Lime Mixing)
DM	Derin Karıştırma (Deep Mixing)
DMM	Derin Karıştırma Yöntemi (Deep Mixing Method)
DRE	Kuru Dönme Uç/Son (Dry Rotary End)
DSM	Derin Zemin Karıştırma (Deep Soil Mixing)
E	Şaftın ucunda/sonunda (End)
FGC-DM	Uçucu kül-Alçı-Çimento DK (Flyash-Gypsum-Cement DM)
FHWA	Federal Karayolu İşletmesi (Federal Highway Administration)
G.K.	Güvenlik Katsayısı
J	Dönme + Jet Enerjisi (Rotary + Jet)
JACSMAN	Jet ve Çalkalama Sistemi Y. (Jet and Churning System Management)
LCM	Kireç Kolonu Yöntemi (Lime Column Method)
LDis	Az Deplasmanlı Jet Kolonu Y. (Low Displacement Jet Column M.)

Kısaltmalar	Açıklamalar
M	Yöntem (Method)
MIP	Yerinde Karıştırma (Mixed In Placed)
PWRI	Bayındırlık Hizmetleri AE (Public Works Research Institute)
R	Dönme (Rotary)
rpm	Dakikadaki Devir Sayısı (revolutions per minute)
S	Şaft (Shaft)
SCC	Zemin-Çimento Kolonu (Soil Cement Column)
SGI	İsveç Geoteknik Enstitüsü (Swedish Geotechnical Institute)
SMW	Zemin Karıştırma Duvarı (Soil Mixing Wall)
SSM	Sığ Zemin Karıştırma (Shallow Soil Mixing)
SWING	Açık Kanatlı Yöntem (Spread Wing)
RSRP	Yol Yapıları Araş. Prog. (Road Structures Research Programme)
UCS	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (Unconfined Compressive Strength)
W	Islak/Bulamaç (Slurry)
WJE	Islak Jet Uç/Son (Wet Jet End)
WRE	Islak Dönme Uç/Son (Wet Rotary End)
WRS	Islak Dönme Şaft Boyunca (Wet Rotary Shaft)
Y	Yöntem
Y/D	Yatay/Düşey

1. GİRİŞ

Bu çalışmada dünyada en az 60 yıldır yaygın olarak uygulanan zemin iyileştirme yöntemlerinden Derin Karıştırma Yöntemi'nin detaylı bir araştırmasına yer verilmiştir. Bu tezin amacı ülkemizde son yıllarda sadece birkaç şirket tarafından ve tek tip kullanılan bu zemin iyileştirme yönteminin aslında çok yönlü olduğunu göstermektir. Sadece zemin iyileştirmek için değil birçok farklı geoteknik probleme çözüm getirmek amaçlı kullanıldığını ve en önemlisi de farklı derin karıştırma yöntemlerinin kullanım şartlarının toplu bir şekilde Türkçe tek bir kaynakta geoteknik mühendislerini bu konuda bilgilendirmek amaçlı anlatılmasıdır.

Derin Karıştırma Yöntemi (DMM), genel olarak; zeminin çimento ve/veya diğer malzemelerle karıştırıldığı yerinde bir zemin işleme/iyileştirme/güçlendirme teknolojisidir. Bu malzemeler yaygın olarak "bağlayıcı" olarak adlandırılır ve kuru veya bulamaç formunda eklenebilir. Bağlayıcı ve gerektiğinde katkı maddeleri açılan delik boyunca, döndürülebilen karıştırma şaftlarındaki karıştırma bıçaklarındaki nozullardan enjekte edilirler. Bu şaftlar dikey olarak uygun bir taşıyıcı üzerine monte edilir ve genellikle paletlidir. Projenin niteliğine, yöntemin özel değişkenine ve yükleniciye bağlı olarak şaft sayısı değişkenlik gösterebilir. Bu sayede aynı anda birden fazla kolon teşkil edilebilir. Derin Karıştırma Yöntemi ile oluşturulan kolon çapları 0,60 m ile 1,50 m arasında değişir ve 40 m derinliğe kadar inilebilir.

Bu tez kapsamında; Derin Karıştırma Yöntemi, derin karıştırma yönteminin tarihsel gelişimi, sınıflandırılması, uygulama alanları, diğer yöntemlere göre avantajları, dezavantajları ve kendi türleri arasındaki farklılıkları / benzerlikleri ve örnek uygulama başlığı altında farklı analiz tekniklerinin karşılaştırılması açısından ele alınmıştır. Özellikle; örnek uygulamada ele alınan tasarım problemine ait çözüm örneği verilerek yöntemin zemin iyileştirmesi konusundaki katkısı ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Bu çalışma sonucunda ülkemizde derin karıştırma yönteminin kullanımının daha bilinçli daha dünya standartlarına yakın bir seviyede gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Tezin bir Derin Karıştırma Yöntemi el kitabı gibi kullanılarak geoteknik mühendislerine tasarım aşamasında yardımcı olup ışık tutması beklenmektedir.

2. TERMİNOLOJİ

Bu tezde geçen Derin Karıştırma Teknolojisi'ne özgü tüm terimler bu bölümde açıklanmıştır.

Katkı maddeleri (Admixtures)

Harç içerisindeki bağlayıcı malzeme olup bentonit ve su dışındaki malzemelerdir. Katkılar, malzemelerin verimli kullanılmasına ve harcın uygun işlenebilirliğine izin veren akışkanlaştırıcılar, dağıtıcılar veya geciktirici, tıkayıcı veya köprüleyici malzemeler olabilir. Stabilize edilmiş zeminin mühendislik özelliklerini iyileştirmek için bağlayıcıya eklenecek kimyasal maddedir.

Bentonit (Bentonite)

Esas olarak sodyum katyon montmorillonit içeren ultra ince doğal kil.

Bağlayıcı (Binder)

Zemini güçlendirmek, zeminlerin mühendislik özelliklerini geliştirmek ve DMM kolonları oluşturmak için yerinde zeminlerin karıştırılmasında kullanılabilen kimyasal olarak reaktif malzeme (yani kireç, çimento, alçı taşı, yüksek fırın cürufu, uçucu kül veya diğer sertleşme reaktifleri). Sabitleyici veya reaktif olarak da adlandırılır.

Bağlayıcı içeriği (Binder content)

Kuru birleştiricinin ağırlığının, işlem görecekt (iyileştirilecek) zeminin kuru ağırlığına oranı.

Bağlayıcı faktörü (Binder factor)

Kuru bağlayıcı ağırlığının iyileştirilecek zeminin hacmine oranı.

Bağlayıcı şerbeti (Binder slurry)

Bulamaç benzeri olan su ve bağlayıcı karışımıdır.

3. DERİN KARIŞTIRMA YÖNTEMİ'NİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Bu bölümdeki bilgiler FHWA (2000)'den derlenmiştir.

1954 yılında Intrusion Prepakt Şirketi (ABD) tarafından yalnızca Amerika'da ve nadiren kullanılan Mixed In Place Tekniğini (MIP) (tek burgulu) geliştirilmiştir. 1961 yılında MIP zaten kazı desteği ve yeraltı suyu kontrolü için Japonya'da 300.000'den fazla kazık imalatı için lisanslı olarak kullanılmıştır. Seiko Kogyo Şirketi tarafından 1970'lerin başlarına kadar, bu uygulamalara diyafram duvarlar oluşturmak için ve DMM (SMW) teknolojilerinde başarı elde etmek için devam edilmiştir. 1967 yılında Liman ve Liman Araştırma Enstitüsü (PHRI, Ulaştırma Bakanlığı, Japonya) tarafından yumuşak denizel çökellerin (DLM) işlenmesi için granül veya toz kireç kullanılarak laboratuvar testlerine başlanmıştır. Araştırmaya Okumura, Terashi ve ark. tarafından: (1) kireç-deniz killi reaksiyonunu araştırmak ve (2) uygun karıştırma ekipmanı geliştirmek amacıyla 1970'lerin başlarına kadar devam edilmiştir. 1967 yılında 0,10 ila 1,00 MPa arasında değişen Tek Eksenli Basınç Dayanımı (UCS) elde edilmiştir. İlk ekipman (Mark I-IV), Hameda Havaalanı yakınında (su yüzeyinin 10 m altında) ilk deniz denemesinde kullanılmıştır. Dolgular altındaki yumuşak killeri iyileştirmek için Swedish Lime Colum Methodu (İsveç Kireç Kolonu Yöntemi) üzerinde söndürülmemiş kireç kullanılarak laboratuvar araştırmalarına ve saha çalışmalarına başlanmıştır. (Kjeld Paus, Linden - Alimak AB Swedish Geotechnical Institute (SGI), Euroc AB, and BPA Byggproduktion AB ile birlikte). Bu araştırmayı Amerika'da sıvı kireç kolon tesisatlarında Paus tarafından yapılan gözlemler takip etmiştir.

1960'ların sonlarında Çin, Japonların Derin Kireç Karıştırma (Deep Lime Method) DLM konseptlerini uygulamayı düşündüğünü bildirmiştir. 1972 yılında Japonya Osaka şehrinde bulunan Seiko Kogyo Şirketi zemin dayanma yapısı için bindirmeli yatay iyileştirmenin devamlılığını sağlamak ve iyileştirilmiş zeminin kalitesini artırmak ve homojenliğini sağlamak amacıyla çoklu burgu kullanarak Zemin Karıştırma Duvarı (Soil Mixed Wall SMW) Yönetimi'ni geliştirmeye başlamıştır. 1974 yılında PHRI, Derin Kireç Karışımı (DLM) yönteminin Japonya'da tam ölçekli olarak uygulamaya başladığını bildirmiştir. Chiba'da rejenere olmuş yumuşak kildeki ilk uygulamalar Mark IV makinesi ile Fudo Construction Şirketi tarafından geliştirilmiştir. 1974'te uygulamalar Güney Afrika'nın değişik yerlerinde devam etmiştir. 1978'e kadar CDM ve DJM teknolojileri DLM teknolojisine yetişip hatta geçmiştir. Buna karşın DLM teknolojisi 2 adet deniz uygulaması

içeren 21 proje için popüler olmaya devam etmiştir. 1974 yılında İsveç'teki Ska Edeby Havaalanı'nda Kireç Sütunları ile yapılan önemli çalışmalar ise şunlardır: temel testleri ve drenaj etkisinin değerlendirilmesi (15 m uzunluğunda ve 0,5 m çapında sütunlar). Yine aynı yıl Kireç Kolonu Yönetimi'nin ilk detaylı tanımı Arrason et al. (Linden Alimaik AB) tarafından yapılmıştır. İsveç Kireç Kolonları ilk kez Finlandiya'da bir araştırma dolgusunda 1974 yılında yumuşak kilde kullanılmıştır. Kolonların çapı 500 mm olup 6 m yüksekliğinde ve 8 m uzunluğundadır. Kireç Kolonları hakkında İsveç makalesi ve DLM hakkında Japon makalesi Hindistan'ın Bangalore kentinde 1975 yılında aynı konferansta sunulmuştur. Her iki ilkede birbirinden bağımsız olarak gelişmiştir. Sınırlı teknik alışverişler ilerleyen zamanlarda gerçekleşmiştir. Ayrıca İsveç'teki Kireç Kolon Yönetimi'nin ilk ticari kullanımı kazı desteği, dolgu stabilizasyonu için ve sığ temellerde iyileştirme için Stockholm yakınlarında yüklenici Linden Alimak AB tarafından ve danışman/araştırmacı SGI tarafından gerçekleştirilmiştir.

1976 senesine gelindiğinde ise, Japonya'da ilk aşaması 1980'de tamamlanan Bayındırlık ve İskân Bakanlığı ve Araştırma Enstitülerinin ortak çalışmasıyla kuru toz çimento kullanarak DJM teknolojisinin araştırmasına başlanmıştır. SMW ticari olarak ilk kez Japonya'da Seike Kogyo Co. Şirketi tarafından kullanılmıştır. 1977'de ise Japonya'da CDM Birliği endüstriyel ve araştırma enstitülerinin işbirliği vasıtasıyla teknolojik gelişmeleri koordine etmek amacıyla kurulmuştur. İsveç Geoteknik Enstitüsü tarafından ilk kireç kolonları hakkında ilk tasarım el kitabı yayınlanmıştır. CDM'nin Japonya'da ilk pratik kullanımı gerçekleştirilmiştir. 1978 yılında Şanghay'da ilk kez kendi arazi ekipmanlarını kullanarak arazi uygulamasıyla CDM araştırmalarına Çin Devleti tarafından başlanmıştır. 1979 yılında Tenox Şirketi tarafından Japonya'da Zemin Çimento Kolonu (Teno Column) sistemi geliştirilmiştir. Daha sonra 1992 yılında Amerika Birleşik Devletleri'ne tanıtılmıştır. 1980 yılında Japonya'da DLM'nin yerini alan DJM'nin yalnızca arazi kullanımını kapsayan ilk ticari kullanımı gerçekleştirilmiştir. 1981 yılında; Prof. Jim Mitchell tarafından, ICSMFE'de (Stockholm) plastik, kohezyonlu zeminlerin iyileştirilmesi konusunda uluslararası farkındalığın artırılması için kireç ve kireç çimento kolonları hakkında genel bir rapor sunulmuştur. 1980'lerin başında Japonya'da DJM Birliği kuruldu. 1983 yılında; Eggestad, Kireç Kolon metodu için yeni stabilizasyon metodlarıyla ilgili olarak Helsinki'de son teknoloji raporunu yayınlanmıştır. 1984 yılında Japonya'da geliştirilen SWING yöntemi ardından 1986, 1988 ve 1991'de jet destekli (W-R-J) yöntemine dayanan çeşitli yöntemler izlenmiştir.

1985 yılına gelindiğinde ise; Finlandiya’da Kireç Çimento Kolonu Yöntemi’nin ilk ticari kullanımı gerçekleştirilmiştir. SGI (İsveç) tarafından 10 yıllık ilerleme raporu yayınlanmıştır (Ahnberg ve Holm). 1980’lerin ortalarına gelindiğinde ise Norveç’te İsveç rehberliğinde Kireç Çimento Kolonlarının ilk uygulaması gerçekleştirilmiştir. 1986 yılında Seiko Inc. tarafından Japon firması Seiko Kogyo Co.’nun lisansı ile Amerika’da SMW uygulamaları başlatılmıştır ve DMM Amerika’daki pazarlara sürülmüştür. 1987’de Fransa’da The Bachy Company; “Colmix” adı verilen bir karıştırma yöntemini; Avrupa’da İskandinavya bölgesi dışında ilk defa; Fransa Devlet Yolları ve Devlet Demir Yolları sponsorluğunda geliştirilmiştir. Bu yöntem ile zeminin alınması sırasında birden çok delginin tersi yönünde rotasyon ile karıştırılarak ve sıkıştırılarak çimentolaşmış zemin elde edilmiştir. 1987-1989 yılları arasında SMW Yöntemi ile Jackson Baraj Gölü, WY bölgesinde depreme karşı güçlendirme çalışması kapsamında büyük bir alanda zemin iyileştirmesi yapılmıştır. 1987 yılında Cementation Ltd. İngiltere’de tekli delgi ile derin karıştırma sisteminin uygulamasının açıklandığı bir rapor yayınlanmıştır (1980’lerin ortasında geliştirilmiştir). Ayrıca 1987 yılında Çin’de (Xingong Port, Taijin) DCM ile ilk uygulamalı zemin iyileştirmesi yapılmıştır (Takenaka Company dâhilinde). Bunun yanı sıra 1987 yılında kazı desteklenmesi için ilk DMM uygulaması Shanghai, Çin’de yapılmıştır. 1987’de Geo-Con, Inc Şirketi (Amerika Birleşik Devletleri) Derin Zemin Karıştırma (Deep Soil Mixing-DSM) tekniğini; 1988’de Sığ Zemin Karıştırma (Shallow Soil Mixing-SSM) tekniğini geliştirmiştir. 1989 yılında ise İtalya’daki Trevisani ve Rodio Şirketleri kuru karışım enjeksiyonuyla başlayarak, ayrıca bir ıslak karışım yöntemi de geliştirerek kendi DMM versiyonlarını geliştirmiştir. Geo-Con Şirketi (Columbus, Georgia) SSM tekniğini ağırlık istinat duvarı için kullanılmıştır. ABD Çevre Koruma Ajansı’nın Süper Yenilikçi Teknoloji Değerlendirme Programına yerinde kirlenmiş zemin ve çamurların katılaşması/stabilizasyonu için kullanılan teknolojinin tanıtılması amacıyla DMM teknolojisi dâhil edilmiştir. İsveç’te kireçli çimento kolonlarının kullanımında üstel büyümenin başlaması da yine 1989 yılında gerçekleşmiştir.

Tenox Şirketi tarafından 1989 yılında Japonya’da SCC yöntemiyle tamamlanan 1000’den fazla proje rapor edilmiştir. 1997 sonunda ise Japonya’da ve Güneydoğu Asya’da başka bir yerde 100 ila 200 milyon dolar yıllık gelire 9000 proje yapıldığını ilan edilmiştir. 1990’da Finlandiya’da daha derin ve yoğun katmanlar boyunca 20 m’den derin 800 mm çapında kolonlar oluşturabilen çimento ve kireç kullanılan yeni karıştırma ekipmanları (ayrı olarak tedarik edilir ve karıştırılır) geliştirilmiştir. Japonya’daki Port ve Liman Araştırma

Enstitüsünde 1970'ten bu yana DLM, CDM ve DJM'nin geliştirilmesinde rol alan Dr. Terashi 1990 yılı kasım ayında Finlandiya'da Kasım ayında ders vermiştir. Japonya'da ticari olarak satılan bazıları cüruf, alçı ve çimento içeren 30'dan fazla bağlayıcı önerilmiştir. 1991'de Japonya'da Düşük Deplasmanlı Jet Kolon Yöntemi (LDis) geliştirilmiştir. Bulgar Bilimler Akademisi lokal olarak gerçekleştirilen zemin-çimento araştırmalarının sonuçlarını bildirmiştir. Helsinki Geoteknik Departmanı (Finlandiya) ve yüklenici YIT farklı tip bağlayıcılar (binder) kullanarak 5 m derinliğe kadar çok yumuşak killerin blok stabilizasyonunu sağlamıştır. 1990'ların başında Çin'deki Tiajin Limanı'nda CDM'nin ilk denizcilik uygulaması gerçekleştirmiştir. Japon danışmanlar (OCDI) tarafından tasarlanmıştır ve Japon yüklenici tarafından kendi ekipmanıyla (Takenaka Doboku) inşa edilmiştir. 1992-1994 yılları arasında Bostan'daki Logan Havalimanı'nda SMW yöntemi kazı destek ve zemin iyileştirme projelerinde kullanılmıştır. Çin Hükümeti, ilk kez (1993) Yantai Limanı'nda kullanılan Japon teknolojisini kullanarak, ilk açık deniz (offshore) CDM ekipmanı olan "filo" yu inşa etmiştir. 1980'lerdeki deneyime ve Kujala ve Lahtinen tarafından gerçekleştirilen araştırma (29 farklı yerden 3000 örnek içeren) dayanarak Finlandiya'da yeni tasarım rehberi üretilmiştir.

1992-93 arasında Amerika Birleşik Devletleri'nde ilk SCC kurulumu (Richmond, CA) gerçekleştirilmiştir. 1993'de Millgard Corporation'ın (Amerika Birleşik Devletleri) ilk DMM faaliyetleri çevre çalışmaları için gerçekleştirilmiştir. DJM Derneği Araştırma Enstitüsü güncellenmiş Tasarım ve İnşaat Kılavuzlarını yayınlanmıştır (Japonca). CDM Derneği, 1977'den bu yana 23,6 milyon m³ iyileştirilen zemin olduğunu bildirilmiştir. 1994'de SMW 1976'dan bu yana dünya çapında 12,5 milyon m² (7 milyon m³) kapsayan 4000 proje tamamlandığını söylenmiştir. Los Angeles Metrosu'nda 19,000 m² zeminin iyileştirilmesi için SMW kullanılmıştır. CDM Derneği tarafından el kitabı revize edilmiştir ve Japonca olarak yeniden yayınlanmıştır. Brown ve Root Company tarafından birkaç yıl süren geliştirme sürecinin ardından Amerika Birleşik Devletleri'nde (Teksas) orijinal Geojet sisteminin ilk ticari uygulaması gerçekleştirilmiştir. DJM Birliği tarafından yıl sonuna kadar 1820 projenin tamamlandığı söylenmiştir (toplam 12,6 milyon m³ hacim). 1990 ortalarına gelindiğinde ise Polonya'da kireç çimento kolonlarının ilk kullanımı Stabilator Company tarafından gerçekleştirilmiştir. 1995 yılında ise Finli araştırmacılar tarafından Kukko ve Ruohomaki, stabilize killerde sertleşme reaksiyonlarını etkileyen faktörleri analiz etmek için laboratuvar araştırma programı hakkında rapor hazırlanmıştır. Yeni bağlayıcıların (örneğin, cüruf, uçucu kül, vb.) kullanımını tartışılmıştır. İsveç hükümeti SGI'de yeni İsveç Derin

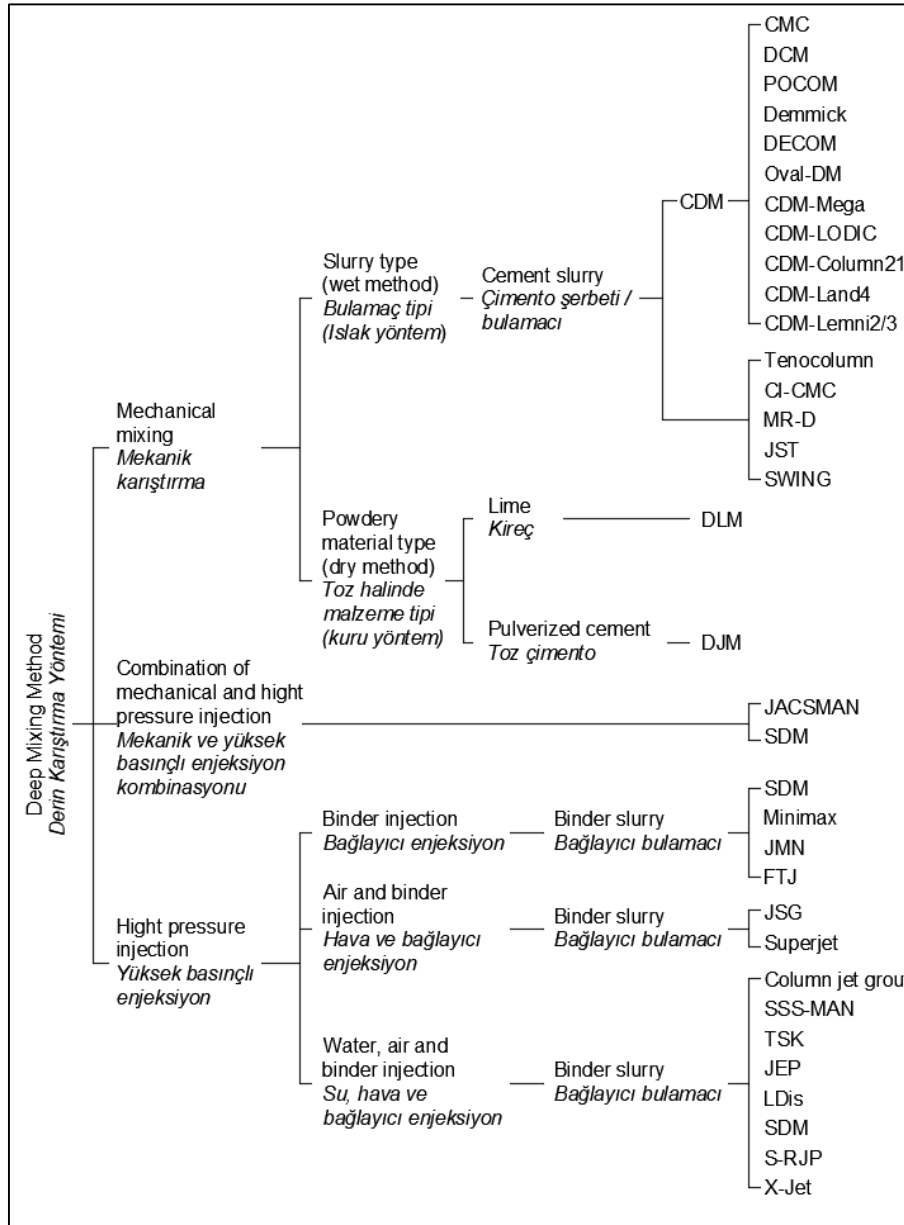
Stabilizasyon Araştırma Merkezi'ni kurulmuştur. Konsorsiyum bilimsel lider olarak adlandırılan Broms ve Holm of SGI tarafından koordine edilen araştırma organizasyonları, danışmanlar, üniversiteler, müteahhitler, devlet ve mal sahiplerinden oluşturulmuştur. Bu şirketler birliği tarafından bir deneyim veri tabanı oluşturma, stabilize edilmiş zeminin özellikleri, iyileştirilmiş zemin yapılarının modellenmesi, kalite güvencesi ve iş performansı konularını içeren bir araştırma çalışması yapılması planlanmıştır. Sonuçların ise bir dizi raporda yayınlanması planlanmıştır. Finlandiya hükümeti tarafından yol yapılarının (İsveç program üyeleri ve kapsamına benzer şekilde) genel performansını iyileştirmek için devam eden Yol Yapıları Araştırma Programı (TPPT) için 2001 yılına kadar benzer yeni araştırma konsorsiyumu kurulmuştur. 1977'den 1995'e kadar, Japonya'da 26 milyon m³'ten fazla CDM iyileştirmesi yapıldığı bildirilmiştir. İsveç Geoteknik Topluluğu tarafından yumuşak ve yarı sert kolonlara odaklanan kireç ve kireç çimento kolonları (P. Carlsten) için yeni tasarım rehberi yayınlanmıştır. 1996 yılında da İngilizce dilinde yayınlanmıştır. 1980'den 1996'ya kadar, Japonya'da yaklaşık 15 milyon m³ DJM iyileştirmesi yapıldığı bildirilmiştir. 1995-1996 yılları arasında Cypress Freeway, Oakland, CA'da masif zemin retansiyon şeması SMW yöntemi kullanılmıştır. 1996'da Japonya'da FGC-DM (Uçucu kül, Alçıtaşı, Çimento) Yöntemi'nin kullanımı hakkında rapor yayınlanmıştır. SGI (İsveç) tarafından 21 yıllık deneyim incelemesi yayınlanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nde Stabilator Company (Quenens, NY) tarafından kireç çimento kolonlarının ilk ticari kullanımı gerçekleştirilmiştir. 1975'ten bu yana İsveç'te inşa edilmiş 5 milyondan fazla çizgisel kireç ve kireçli çimento kolonun olduğu bildirilmiştir. İsveç'in pazarı Finlandiya'dan 2 ila 4 kat daha büyük ve bu da Norveç'in çok üstünde olduğu bildirilmiştir. Hayward Baker, Inc. Firması tarafından ABD'nin çeşitli yerlerinde temeller, zemin tutma ve zemin iyileştirme için 1,2-1,8 m çapında DMM kolonları inşa edilmiştir. 1997'de Bostan Massachusetts'teki Fort Point Kanalı'nda bugüne kadarki en büyük zemin iyileştirmesi projesi (DMM projeleri arasında) SMW yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tasarım aşamasında ABD danışmanlarına Dr. Terashi (Japonya) tarafından yardım edilmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri'nde modifiye edilmiş Geojet sisteminin ilk ticari kullanımı gerçekleştirilmiştir (San Francisco Havaalanı, CA Condon Johnson ve Associates). I-15, Salt Lake City, UT 'de kireçli çimento kolonu uygulamasında azaltmaya gidilmiştir. Geo-Con, Inc. Tarafından sürekli kazı desteği için Milwaukee, WI 'de DMM'yi (beton kaplama ile birlikte) kullanılmıştır. 1997-1998 yılları arasında Master Builders Technologies tarafından DMM penetrasyonuna ve karıştırma verimliliğine yardımcı olmak için zemin (ve

harç) için katkı maddeleri geliştirilmiştir. 1998 yılında Boston'daki DMM'lerinin Trevi-ICOS Corporation tarafından ilk uygulaması gerçekleştirilmiştir. Raito, Inc. Japonya'da bir ofis kurarak Japonya lisanslı çeşitli DMM teknolojilerini (DJM, CDM ve Raito Soil Mixed Wall dâhil) sunmuştur ve Kaliforniya'da ilk projesini 1999 yılının başında kazanmıştır. Geo-Con, Inc. Şirketi Teksas'taki VERTwall DMM konseptinin tam ölçekli gösterimini gerçekleştirmiştir. Ağustos 1998'de ABD'de İlk Derin Karıştırma Kısa Kursu (Wisconsin Üniversitesi) gerçekleştirilmiştir. Ekim ayında Seattle'da yapılan yıllık toplantıda Derin Temeller Enstitüsü'nün Derin Karıştırma Alt Komitesi kurulmuştur.

4. DERİN KARIŞTIRMA YÖNTEMİ'NİN SINIFLANDIRILMASI

Farklı ülkelerde farklı şirketler tarafından uygulanan bazı kaynaklara göre otuz ikiden fazla derin karıştırma yöntemi vardır. Her ülkenin özellikle de Japonya'nın kendine has bir sınıflandırma ölçütü vardır. Temel de farklılıklar bağlayıcının ıslak ya da kuru olarak enjekte edilmesi, penetrasyon yöntemi, karıştırma işleminin gerçekleştirildiği yer, nozulların bulunduğu yer gibi etkenlere dayansa da Şekil 4.1'de görüleceği üzere Kitazume ve Terashi'ye (2013) göre mekanik karıştırma, mekanik ve yüksek basınçlı enjeksiyon kombinasyonu, yüksek basınçlı enjeksiyon olmak üzere 3 adet parametreye bağlıdır.



Şekil 4.1. Derin karıştırma yönteminin sınıflandırılması (Kitazume ve Terashi, 2013)

Literatürde açıklanan 24 farklı yöntem vardır ve bunlar yeni geliştirilen sınıflandırma formatında, Şekil 4.2’de listelenmiştir.

Bu yöntemlerin FHWA’ya (2000) göre sınıflandırması aşağıdaki temel özelliklere dayanmaktadır:

- "Bağlayıcıyı" zemine enjekte etme yöntemi: ıslak (yani, bulamaç veya harç formunda pompalanır veya pnömatik olarak kuru formda üflenir). Sınıflandırma bu nedenle W (wet) veya D (dry)’dir.
- Penetrasyon ve / veya bağlayıcıyı (stabilizing agent) karıştırmak için kullanılan yöntem: sadece bağlayıcı madde ile nispeten düşük basınçta döner yöntemlerle (R)=Rotary veya akışkan harcın jetlenmesi yardımıyla yüksek basınçta döner bir yöntemle (J)=Jet.
- Karıştırma işleminin gerçekleştiği yer veya kat ettiği düşey mesafe - bazı sistemlerde, karışım sadece shaftın ucunda (veya bu uçtan bir kolon çapı içinde) gerçekleştirilir. Diğer sistemlerde karıştırma, delgi shaftının tümü veya önemli bir kısmı boyunca meydana gelir. Sınıflandırma bu nedenle E (end) veya S (shaft) şeklinde olur.

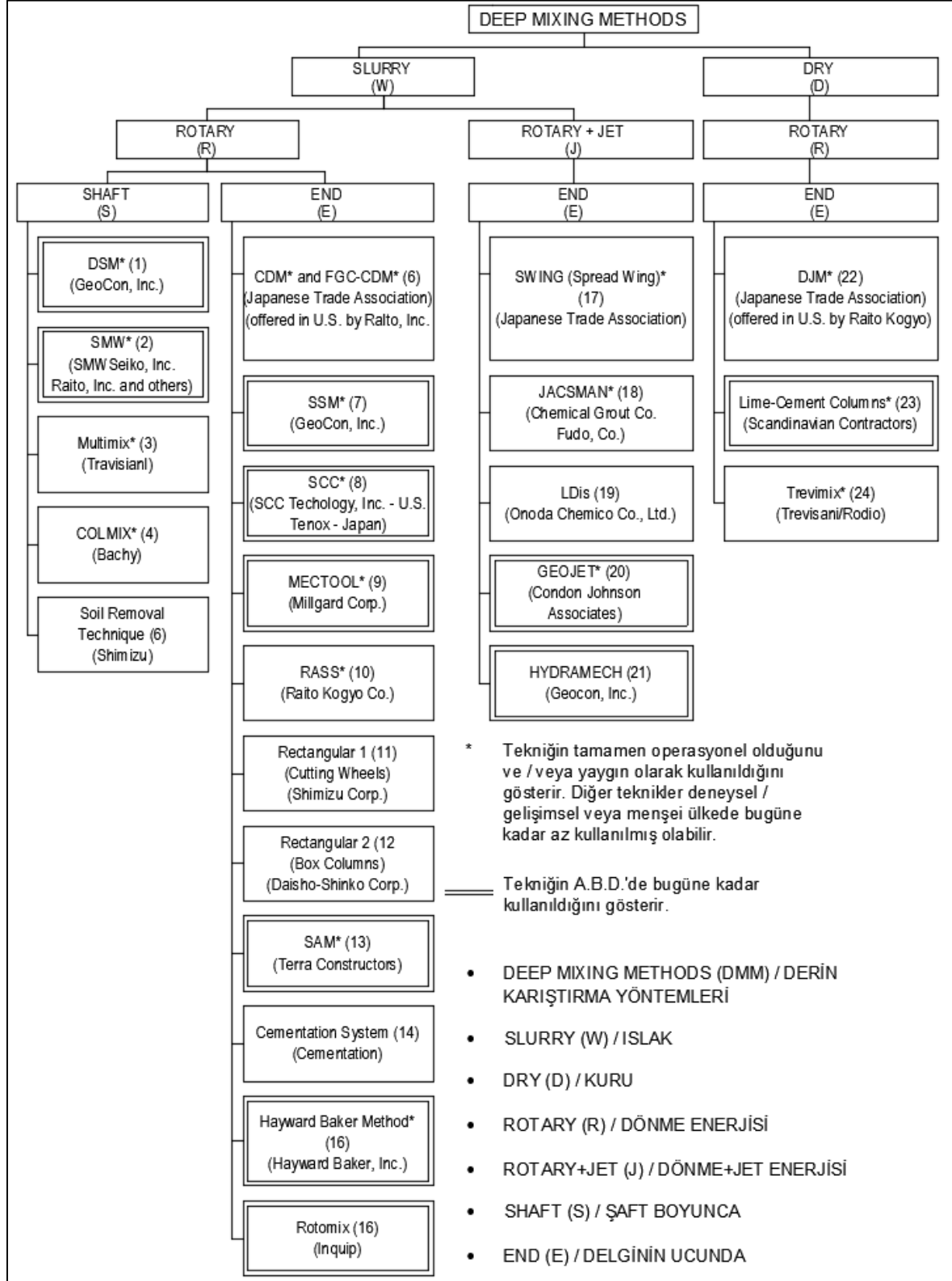
Derin karıştırma yöntemlerinin sınıflandırılması için kullanılan terimler Çizelge 4.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.1. Derin karıştırma yönteminin sınıflandırılması için kullanılan terimler

Yaklaşım	Kısaltma
Bağlayıcının Zemine Enjekte Edilme Metodu	Islak Metod (W), Kuru Metod (D)
Bağlayıcı -Zemin Karıştırma Metodu	Dönme Enerjisi (R), Jet Enerjisi (J)
Karıştırma İşleminin Gerçekleştiği Yer	Şaftın/Delginin Ucunda/Sonunda (E), Şaft Boyunca (S)

Bu genel terimler 4 farklı derin zemin karıştırma yöntemi olarak WRS, WRE, WJE, DJE, DRE şeklinde kombinlenebilir. Islak Yöntem olan WRS, WRE, WJE kombinasyonları her tür zemin de tek veya çoklu burgu kullanılarak uygulanır. Temel bağlayıcı malzeme çimentodur. Tipik uygulaması blok veya duvar şeklindedir. Kuru Yöntem olan DJE ise kohezyonlu zeminlerin iyileştirilmesi için kullanılır. Genellikle tek delgili kolon uygulamaları yapılır. Bağlayıcı malzeme; granüler veya toz şeklinde kireç, çimento ve

kireçli çimento karışımından herhangi biri olabilir. FHWA'ya (2000) göre farklı kombinasyonlardan elde edilen derin karıştırma yöntemleri Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Derin karıştırma yöntemlerinin sınıflandırılması (FHWA, 2000)

FHWA'ya (2000) göre DSM yönteminde şaftın büyük bir kısmında yalnızca harç ve dönme enerjisi kullanılır ve bu nedenle WRS olarak nitelendirilir. Buna karşın; DJM metodu, şaftın altındaki bir aletle tek başına kuru bağlayıcı ve dönme enerjisi kullanılır ve bu nedenle DRE olarak sınıflandırılır.

Teorik olarak, her biri iki seçenekli olmak üzere farklılaşma için üç temelde sekiz farklı sınıflandırma grubu vardır. Bununla birlikte, pratikte ıslak harç (wet grout), jetli şaft karıştırma (WJS) ve kuru bağlayıcı, dönme (rotary), şaftlı karıştırma (DRS) bulunmadığından ve kuru bağlayıcı (DJS veya DJE) ile püskürtme yapılmadığından yalnızca dört grup vardır. Şekil 4.2'de gösterilen sistemlerin birçoğu tamamen çalışır durumda olup geniş bir kullanım alanına sahip olmasına rağmen, bazıları deney veya gelişme aşamasındadır. Örneğin, FGC-CDM sisteminde ekonomik ve düşük dayanımlı iyileştirilmiş zemin hacimleri oluşturmak için uçucu kül, jips ve çimento enjekte etmek için modifiye edilmiş CDM ekipmanı kullanılır. SMW ve JACSMAN yöntemleri tam ölçekli saha testi aşamasında olduğu halde DSM, Soil Removal Technique (Zemin Değiştirme Tekniği), LDis ve Spread Wing Yöntemleri'nin gerçekten büyük ölçekli projelerde kullanıldığı bilinmektedir. LDis yöntemi ise zemin iyileştirme sırasında yatay ve düşey deplasmanları azaltmak için mekanik araçların kullanıldığı modifiye edilmiş bir jet-grout türevidir. EK-1'de Şekil 4.2'de gösterilen tüm yöntemleri açıklayan özet tablolara yer verilmiştir. Bu bölümdeki 24 farklı Derin Karıştırma Yöntemi'ne ait özet tablolar FHWA'dan (2000) çevrilmiştir.

Özet olarak derin zemin karıştırma yönteminin iki ana başlık altında sınıflandırılır. Bunlardan ilki bağlayıcının zemine enjekte yöntemine göre ıslak yöntem; ikincisi ise kuru yöntem olarak adlandırılır.

4.1. Islak Derin Karıştırma Yöntemi (W)

Islak karıştırma yöntemi, izole edilmiş elemanlar, sürekli duvarlar veya bloklar oluşturmak için öncelikle çimento bazlı bulamaçları kullanan tek veya çok şaftlı ıslak karıştırma şeklindedir. Sığ karıştırma da zemin kütlelerini stabilize etmek için yapılabilmektedir. Islak karıştırma ekipmanı, bulamacı tedarik etmek için bir bağlayıcı tesisi ve bulamacı zemine enjekte etmek ve karıştırmak için bir karıştırma makinesi içermektedir.

Hem denizde hem de karada yapılan projeler için ıslak karıştırma yöntemleri kullanılmaktadır. Deniz uygulamalarında genellikle içinde karıştırma makinesi, dozajlama tesisi, depolama tankları ve bir kontrol odası bulunan uygulama gemileri vardır ve bunlar çok miktarda zemin kütlelerini iyileştirebilmektedir (Topolnicki, 2004). Açık deniz (offshore) uygulamalarına genellikle Japonya’da rastlanmaktadır.

Islak toprak karıştırma, organik maddeler dâhil hemen hemen her çeşit zemin tipinde kullanılmaktadır. Nem içeriği % 60’tan büyükse, kuru toprak karışımı daha ekonomik olabilmektedir. Karışım kolaylığı; zemin tipine, dayanıklılığına, su içeriğine, plastisitesine, stratigrafisine ve dokusuna bağlı olmaktadır. Islak zemin karıştırmada, 30 m derinliğe kadar işlem yapılabilir. Sert zeminler ve tıkanmalar bazen zemin karıştırma işleminden önce ön-delme işlemi gerektirebilmektedir.

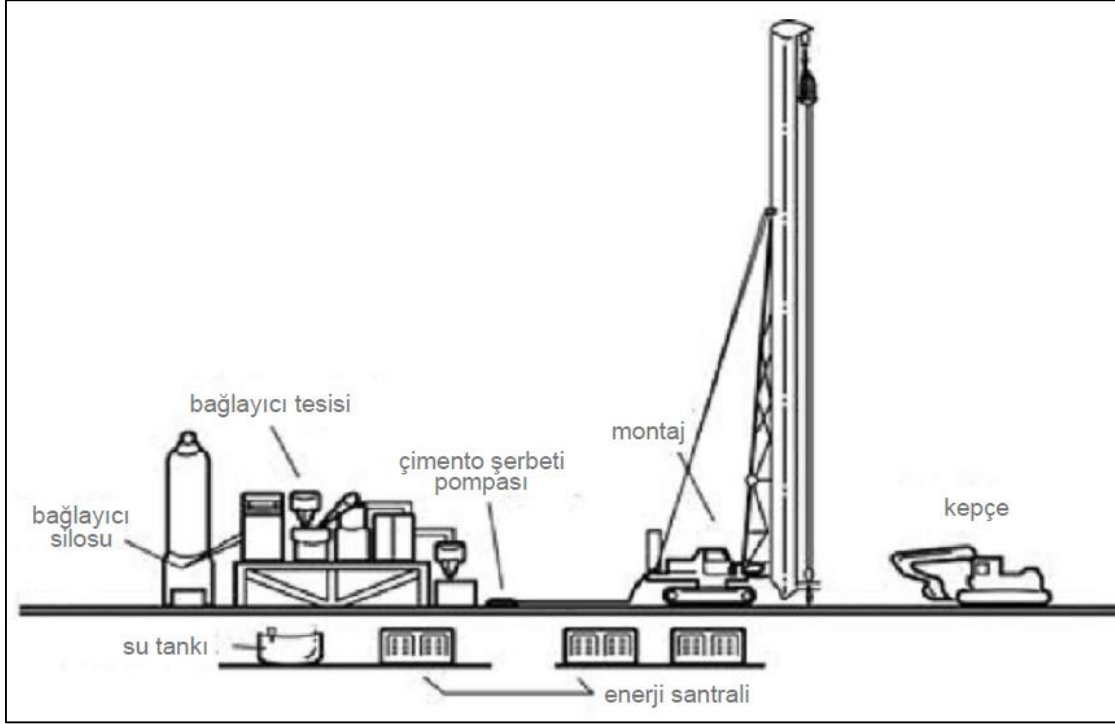
Islak karıştırma yöntemleri, üç genel kategoride sınıflandırılmıştır.

- WRS Sınıflandırmasında; enjekte edilen bulamacı mevcut zeminle mekanik olarak karıştıran, şaft boyunca uzanan bıçakları bulunan, tekil ya da çoklu şaft ekipmanı bulunmaktadır. 30 m derinliğe kadar işlem yapılabilir. Kolonlar, paneller, blok tipi destekleme sistemleri oluşturabilir.
- WRE Sınıflandırmasında; tekil karıştırma aleti olan tekil şaft ekipmanı bulunmaktadır. 30 m derinliğe kadar işlem yapılabilir. Kolon tipi, panel tipi, blok tipi destekleme sistemleri oluşturabilir. Büyük hacimlere sahip zemin kütlelerinin stabilizasyonunda ise maksimum 15 m derinliğe kadar inilmektedir.
- WRS Sınıflandırmasında; bıçak uçlu tekil ya da çoklu şaft ekipmanı bulunmaktadır. Bulamaç açıklıklardan yüksek basınçla jetlenir. 25 m derinliğe kadar kolon tipi, panel tipi, blok tipi destekleme sistemleri oluşturulabilir.

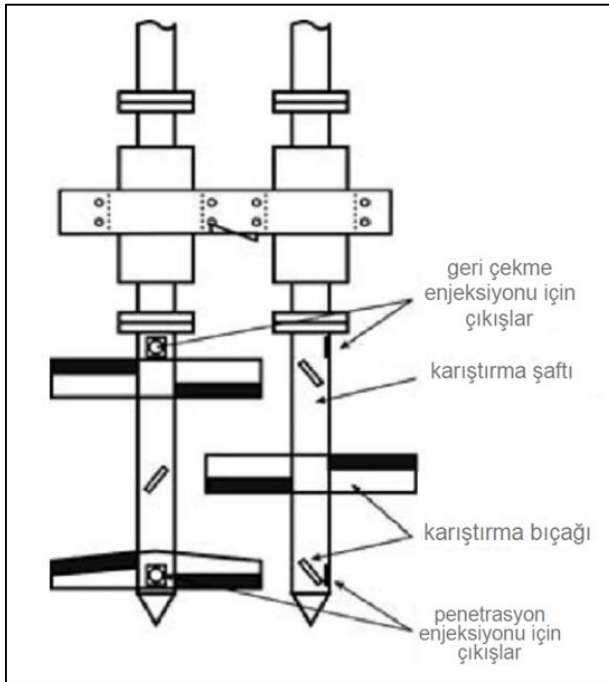
4.1.1. CDM teknolojisinde kullanılan ekipmanlar

Islak derin karıştırma yöntemlerinden biri olan CDM Teknolojisi’nin ekipmanı genel olarak bağlayıcı silosu (binder silo), bağlayıcı tesisi (binder plant), çimento şerbeti pompası (grout pomp), montaj (assembly), kepçe (backhoe), su tankı (water tank), enerji santralinden (power plant) oluşur (Şekil 4.3). CDM Teknolojisi’nin karadaki uygulamasında kullanılan

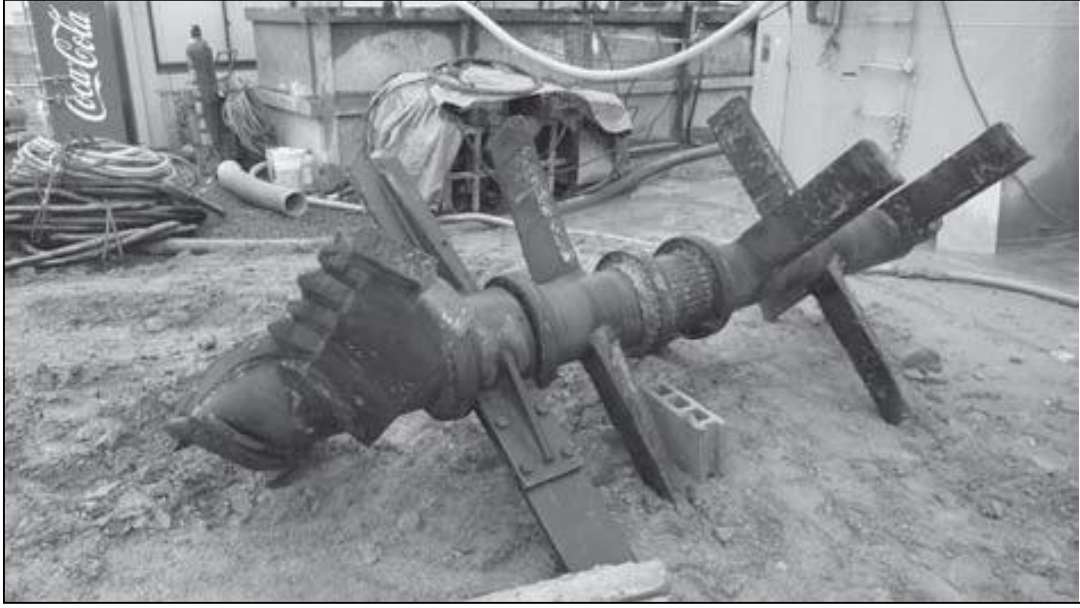
karıştırma bıçakları detayı Şekil 4.4’te verilmiştir. CDM Teknolojisi Karıştırma bıçakları ve serbest bıçaklarına ait saha fotoğrafı ise Resim 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.3. CDM ekipmanı (Kitazume ve Terashi, 2013)



Şekil 4.4. CDM karıştırma bıçakları detayı (Kitazume ve Terashi, 2013)



Resim 4.1. CDM karıştırma bıçakları ve serbest bıçaklar (Kitazume ve Terashi, 2013)

4.2. Kuru Derin Karıştırma Yöntemi (D)

Kuru yöntem, yumuşak, su içeriği yüksek olan killeri, organik kokulu, genellikle siyah ya da kahverengi, süngerimsi, lifli organik malzeme olan turba zemini ve suya doymun diğer zayıf zeminleri iyileştirmek için kuru bağlayıcının karıştırma bıçaklarının üstündeki açıklıktan pnömatik veya mekanik olarak zemin içine enjekte edilmesi şeklinde uygulanmaktadır. Kuru yöntemde, döner penetrasyon ve dören geri çekme yöntemi kullanılır. Bağlayıcı olarak çimento haricinde kireç de kullanılabilir. Penetrasyon sırasında; zemin, kuru bağlayıcı ile karıştırılmaya hazır hale getirmek için kesilir. Takım tasarım derinliğine ulaştığı anda ise geri çekme işlemi başlar. Takım geri çekilirken bağlayıcı malzeme, zemin ile karıştırılmak için bağlayıcı çıkışından pnömatik olarak pompalanır.

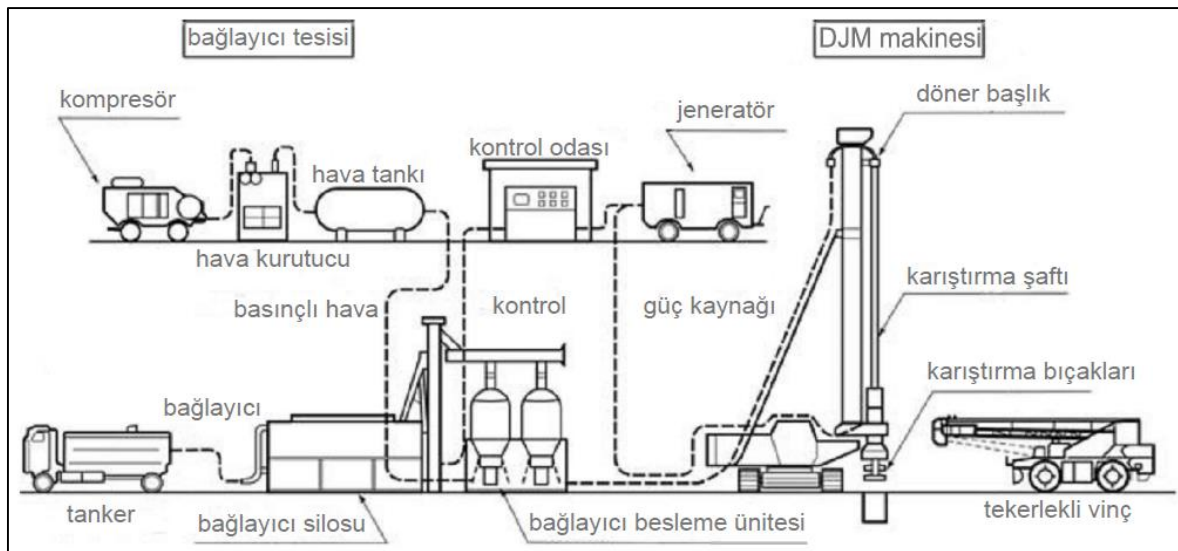
Kuru derin karıştırma yöntemi, tekil kolonlar oluşturmak, bindirmeli veya kesişen kolonlar oluşturmak ve % 100 kütle stabilizasyonu için kullanılabilen bir yöntemdir. Bu yöntem; yer altı su seviyesinin yüksek olduğu yerlerde, su içeriği %60'tan yüksek olan zeminlerin iyileştirilmesi için en iyi yöntemdir. Organik zeminler dahil olmak üzere yumuşak zeminlerde bu iyileştirme yöntemi seçilmektedir çünkü diğer zemin tiplerinde kuru bağlayıcı yöntem kullanmak çok da ekonomik olmayabilir. Bunun yanı sıra, düşük titreşim, sessiz ve temiz çalışma imkanı bu yöntemin avantajları arasındadır. En önemli avantajı ise hemen hemen hiç atık madde (spoil) çıkarmamasıdır.

Kuru derin karıştırma yöntemi yumuşak kil ve turba zeminlerde kayma mukavemetini arttırmakta ve zeminlerin sıkışabilirliğini azaltmaktadır (Kaya, 2016). Kuru yöntem, aynı miktarda bağlayıcı madde kullanılan ıslak yöntemle karşılaştırıldığında, karıştırma sırasında verilen su nedeniyle ıslak yönteme göre daha yüksek mukavemet sağlamaktadır. Bunawan, Rashid ve Said'e (2017) göre kuru yöntem kullanıldığında siltli kilin dayanımı 1,70 ila 3,20 katına çıkar.

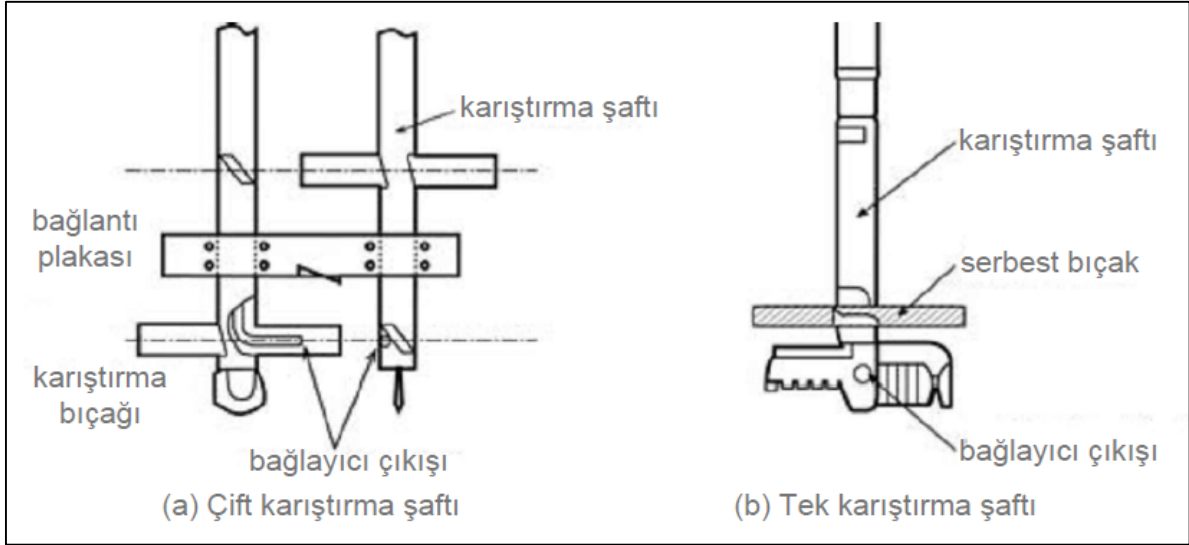
Kuru yöntemde; tekil ve ya ikili şaft ekipmanlarının kullanıldığını, 0,5 - 1,2 m aralığındaki çaplarda kolon çaplarının 0,50 m ile 1,20 m arasında olduğu, maksimum derinlik 16 - 33 metre arası derinliğe ulaşılabilmesine bildirmiştir (Holm, 1999).

4.2.1. DJM teknolojisinde kullanılan ekipmanlar

Kuru derin karıştırma yöntemlerinden biri olan DJM Teknolojisi'nin ekipmanı genel olarak kompresör (kompressor), hava kurutma sistemi (air dryer), hava tankı (air tank), kontrol odası (control room), jeneratör (generator), bağlayıcı silosu (binder silo), bağlayıcı besleme ünitesi (binder feeder), (karıştırma şaftları (mixing shafts), karıştırma bıçakları (mixing blades) ve döner mafsaldan (swivel joint)) oluşur (Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Resim 4.2).



Şekil 4.5. DJM ekipmanı (Kitazume ve Terashi, 2013)

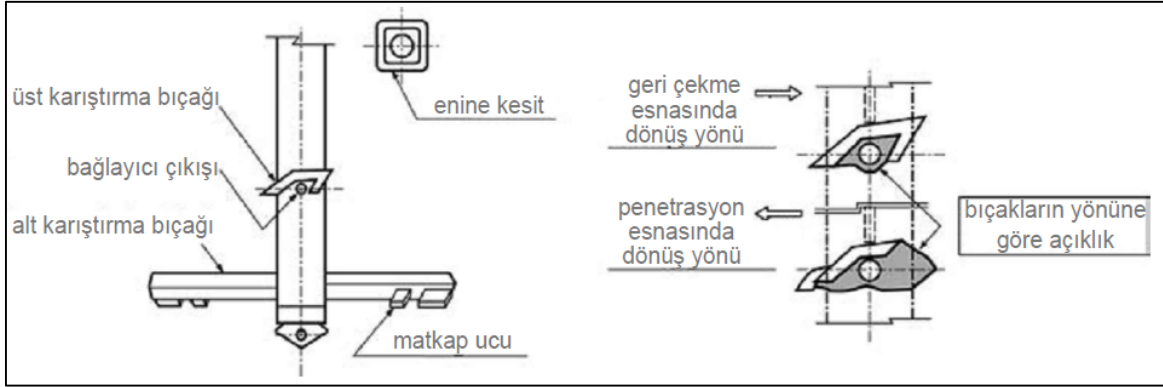


Şekil 4.6. DJM tek ve çift karıştırma şaftı detayları (Kitazume ve Terashi, 2013)



Resim 4.2. DJM karıştırma şaftları ve bıçakları (Kitazume ve Terashi, 2013)

Karıştırma şaftında üst karıştırma bıçağı (upper mixing blade), bağlayıcının püskürtüldüğü açıklık (outlet for binder), alt karıştırma bıçağı (lower mixing blade) bulunur (Şekil 4.7). Bağlayıcının püskürtüldüğü açıklığın üstündeki karıştırma bıçağının yönü penetrasyon ve geri çekme sırasında ters yönlüdür.



Şekil 4.7. Karıştırma şaftı ve bıçaklarının detayları (Kitazume ve Terashi, 2013)

Bağlayıcı tesisi (binder plant); kompresör (kompressor), hava kurutma sistemi (air dryer), hava tankı (air tank), kontrol odası (control room), jeneratör (generator), bağlayıcı silosu (binder silo), bağlayıcı dağıtıcısından (binder feeder) oluşur (Resim 4.3).



Resim 4.3. DJM makinesinin bağlayıcı tesisi (binder plant) (Kitazume ve Terashi, 2013)

5. DERİN KARIŞTIRMA YÖNTEMİ’NİN UYGULAMA ALANLARI

DMM kullanım alanı çok geniş olan bir iyileştirme yöntemidir. İhtiyaca ve zemin tipine göre çeşitli DMM teknikleri kullanılabilir:

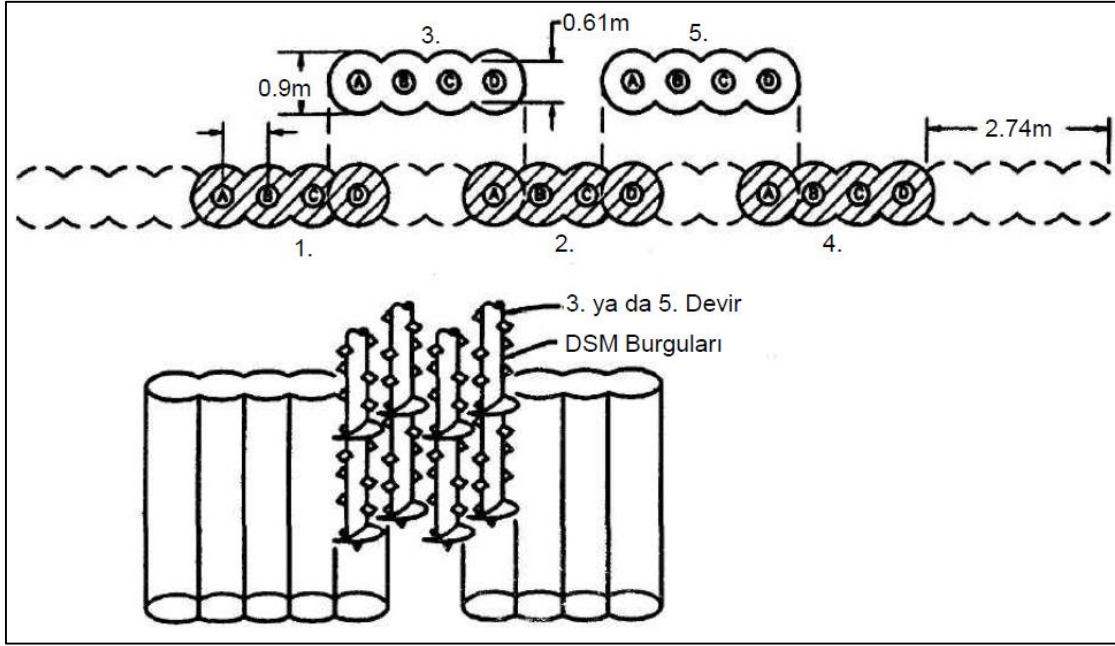
- Tekil elemanlar
- Bindirme elemanlarından oluşan duvarlar ve paneller
- Gridler ve lateksler
- Bloklar

Seçilen belirli geometri, DMM uygulamasının amacı ile belirlenir ve kullanılan özel yöntemin mekanik özelliklerini ve özelliklerini yansıtır. Ana uygulama grupları, parantez içindeki ülkelerin başlıca küresel uygulamalarını belirttiği şekilde şöyledir:

1. Hidrolik cut-off duvarları(Japonya,ABD)/*Hydraulic cut-off walls* (Japan, U.S.).
2. Kazı destek duvarları (Japonya,Çin, ABD)/*Excavation support walls* (Japan, China, U.S.).
3. Zemin İyileştirmesi/*Ground treatment* (Japan, China, U.S.).
4. Sıvılaşma İyileştirmesi/*Liquefaction mitigation* (Japan, U.S.).
5. Yerinde güçlendirme, kazık ve istinat duvarları/*In situ reinforcement, piles, and gravity walls* (Sweden, Finland, France).
6. Çevresel ıslah/*Environmental remediation* (U.S., U.K.).

5.1. Hidrolik Cut-Off Duvarları

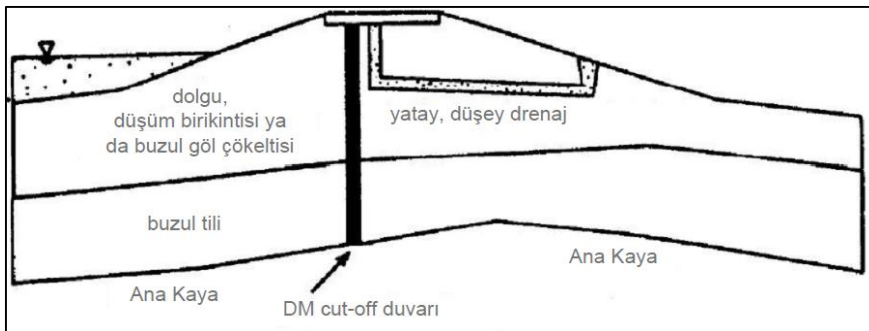
Hidrolik sızdırmazlık perdeleri, sızıntı akış yolunu kesmek için üst üste binen kolonlar veya birkaç bitişik kolondan oluşan paneller monte edilerek oluşturulur (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. DMM kurulum sekansı (Bahner ve Naguib, 1998)

Kolonlar / paneller tipik olarak geçirgen tabakalar boyunca, bazı sızdırmazlık seviyelerine genellikle de ana kayanın tepesine kurulur. İyileştirmeye tabii tutulan zeminler genellikle çok geçirgen kaba daneli depozitler veya ince ve kaba daneli zeminlerin iç içe geçmiş tabakalarıdır.

Hoodsport, WA yakınındaki Yang Cushman Barajı için yeni bir radyal kapakalı dolusavak (spillway) yapısının inşaa edilmesiyle birlikte büyük bir sızıntı kontrol projesi gerçekleştirildi (Yang ve Takeshima, 1994). Düşük geçirgenliğe sahip ana kaya üzerine kurulmuş dolusavak eşik yapısına bitişik iki dolgu inşa edilmiştir. DMM duvarları, bent (embankment) dolguları ve altındaki geçirgen buzul birikintileri boyunca sızıntıyı kontrol etmek için bu dolguların çekirdeklerinden (Şekil 5.2) ana kayaya yerleştirilir.



Şekil 5.2. Cushman barajı rehabilitasyon projesi, ABD (Yang ve Takeshima, 1994)

Walker (1994) DMM'nin Amerika da ilk kullanım yeri olarak Locking Barajı kayıt etmiştir. DMM'nin bu barajda kullanım amacı, mevcut barajın geçirimsizliğini yükseltmektir. Yaklaşık 6200 m² alanında 6,5 m derinliğinde DMM imalatı yapılmış ve baraj kil çekirdeğin su geçirimsizliği arttırılmıştır.

Japonya'da DMM barajlar daha inovativ bir şekilde uygulanmıştır. DMM imalatı kireçtaşıda cut-off duvarı yapılarak yer altında geçirimsizlik sağlanmış ve bu sayede yeraltı suyu rezervuarı oluşturulmuştur. Bu tarz yeraltı barajları, sahil kesimlerinde tuzlu suyun, tatlı su kaynaklarına karışmasını engellemek amacı ile kullanılmaktadır. (Nagata, 1994). Japonya'da bugüne kadar toplam 10 adet yeraltı barajı yapılmıştır. Uygulanan maksimum derinlik 65 m'dir.

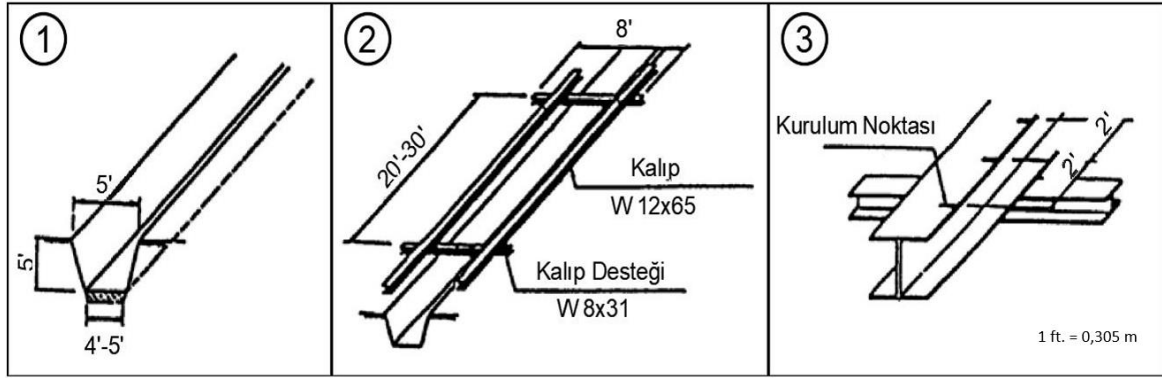
DMM, barajlarda aynı zamanda mevcut bentonit cut-off perdelerini sedimanın olumsuz etkilerinden korumak ve taşkın koruma amacı ile de uygulanır. Zemin (soil) /çimento (cement) duvarlarında UCS 0,1-2 MPa ve permeabilite 10^{-8} - 10^{-9} cm/s arasında değişir. Zemin-bentonit ya da zemin-kil-bentonit duvarlarında ise permeabilite 10^{-9} - 10^{-10} cm/s arasında değişir.

5.2. Kazı Destek Duvarları

Kazı destek duvarları, iyileştirmeye tabii tutulmuş zemin malzemesinin tipik olarak daha dayanıklı ve / veya daha yüksek mukavemetli olması için tasarlanması ve iyileştirilmiş zemin sertleşmeden önce çelik elemanların yerleştirilmesi dışında, cut-off duvarlarına benzerdir.

Kazı destek duvarı oluşturmak için uygulanan DMM yapım aşamaları sırasıyla şöyledir:

- 1) Çıkarılan malzemeyi uzaklaştırmak, tahliye etmek için yapılan hendek (Şekil 5.3)
- 2) Kalıp yerleşimi (Şekil 5.3)
- 3) Kurulum lokasyonlarının belirlenmesi (Şekil 5.3)



Şekil 5.3. DMM yapım aşamaları-1,2,3 (Pearlman ve Himick, 1993)

4) SMW Duvarı kurulumu (Şekil 5.4)

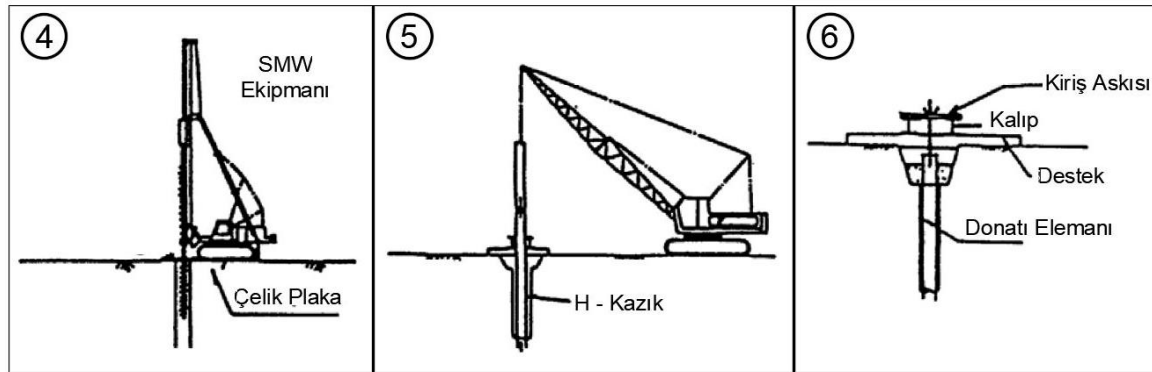
➤ Kurulum aşamaları

- Kazmak, delmek ve karıştırmak
- Tekrarlı karıştırmak
- Ekipmanı geri çekerek karıştırmak

5) Güçlendirme elemanlarının yerleşimi (Şekil 5.4)

- Güçlendirme elemanlarının yer çekimi ile kurulumu

6) Donatı kirişinin sabitlenmesi (Şekil 5.4)

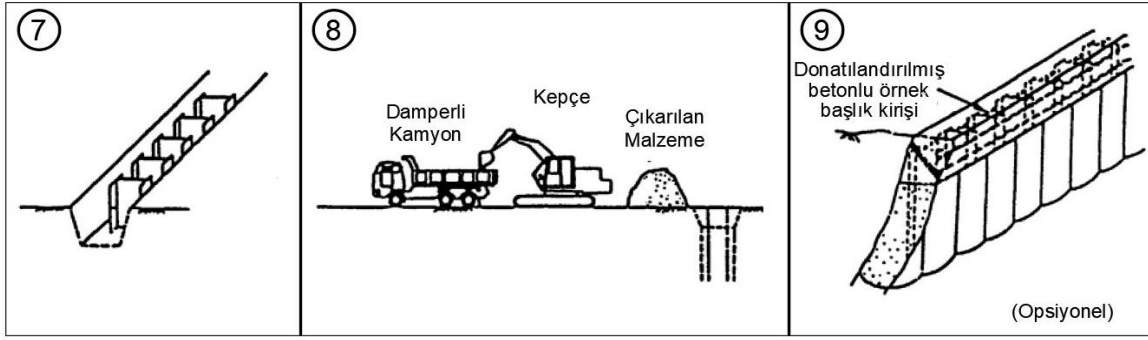


Şekil 5.4. DMM yapım aşamaları-4,5,6 (Pearlman ve Himick, 1993)

7) SMW Duvarı kurulumunun tamamlanması (Şekil 5.5)

8) Çıkarılan malzemenin uzaklaştırılması (Şekil 5.5)

9) Başlık kirişinin yapımı (Şekil 5.5)

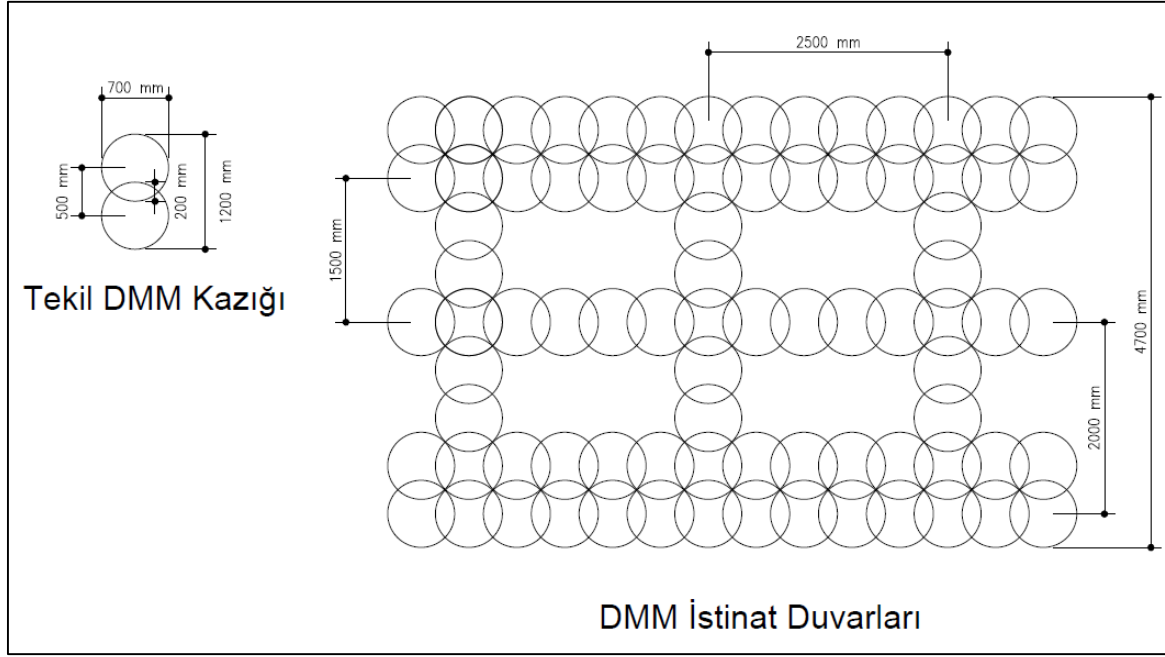


Şekil 5.5. DMM yapım aşamaları-4,5,6 (Pearlman ve Himick, 1993)

Bu yapılar, hem kazı desteği hem de yeraltı suyu kontrolü için yapısal bir duvar oluşturur ve bu uygulama, SMW yönteminin geliştirilmesinin arkasındaki itici güç olmuştur (Taki, 1997). Amerika Birleşik Devletleri'ndeki DMM kullanılan büyük projeler şunlardır: Ted Williams Tunnel approach, Boston, MA; the Cypress Freeway Replacement Project, Oakland, CA; the Islais Creek Sewerage Project, San Francisco, CA; the Marin Tower, Honolulu, HI (Yang and Takeshima, 1994); and the Lake Parkway, Milwaukee, WI. Milwaukee projesi, kalıcı ankrajlı duvarın bir parçası olarak DMM'yi içeriyordu. 1998'den itibaren ABD'de 20'den fazla kazı destek duvarı inşa edilmiştir (Nicholson ve Jasperse, 1998). Bunlardan üçü tamamen işlenmiş bir "ağırlık/istinat yapıları" konseptini (ankrajlar veya destekler olmadan) içerir ve bunlardan biri kalıcıdır.

Singapur'da, bir kentsel alanda Mass Rapid Transit sistemi için Bugis İstasyonunun yapımında 225 m uzunluğunda ve 23 m genişliğinde bir kazı yapılmıştır (Chew ve diğerleri., 1993). Kazı 18 m derinliktedir ve yumuşak deniz killерinin altında 41,5 m derinliğe kadar mevcut yapılarla çevrilidir. Kazı 18 m derinliktedir ve yumuşak deniz killерinin altında 41,5 m derinliğe kadar varolan yapılarla çevrilidir. 1,0 ila 1,2 m çapındaki teğet DMM kolonları, kazı çevresinin çevresine yerleştirildi ve yeniden açılan duvar yedi kademeli stratlarla desteklendi.

Shao ve diğ. (1998), DMM tekniklerinin 1987'den beri Şangay'da istinat yapıları oluşturmak için nasıl kullanıldığını açıkladı. Bunlar genellikle Şekil 5.6'da gösterilen tipteki istinat yapıları olarak düşünülmüştür.

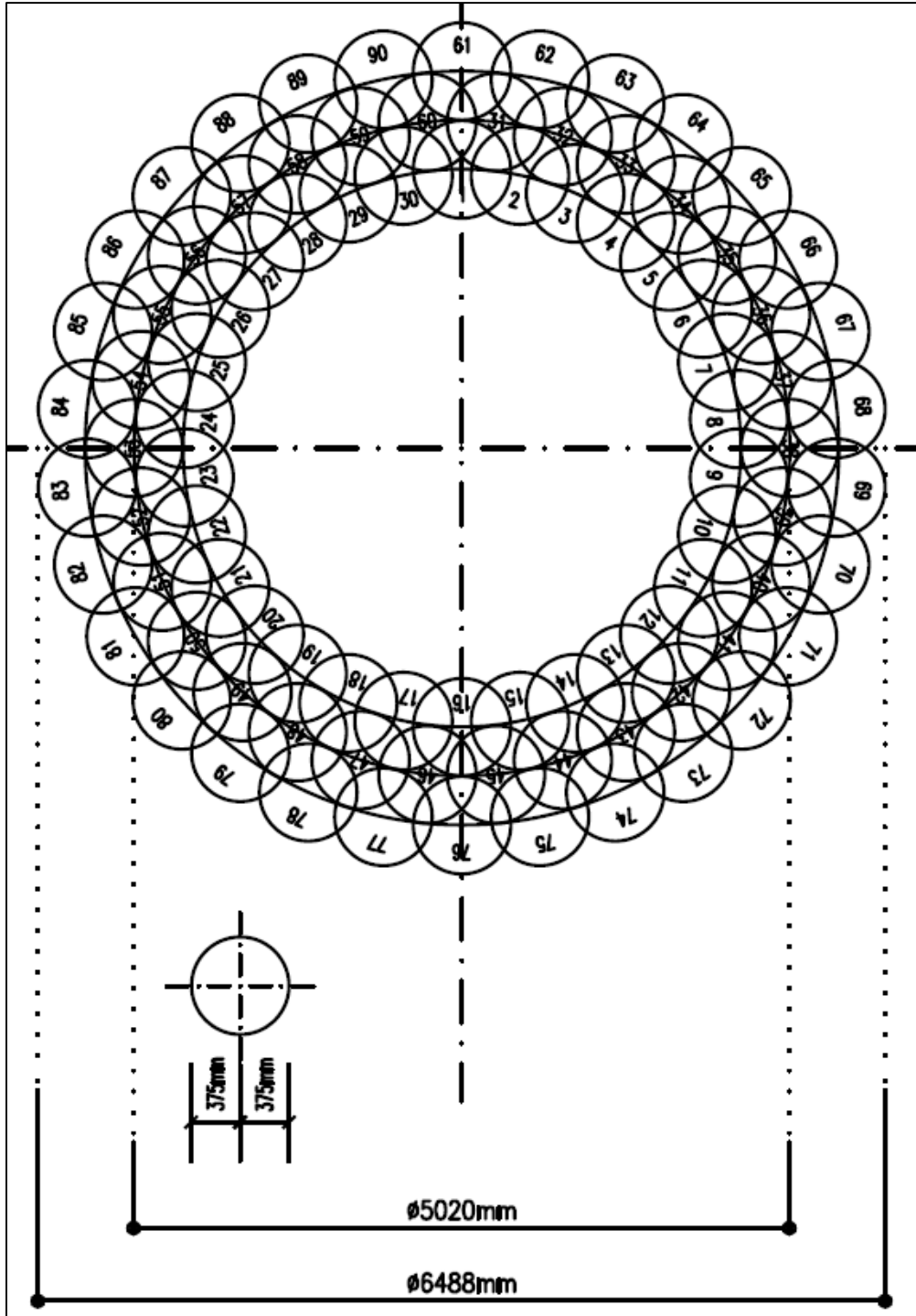


Şekil 5.6. DMM istinat yapılarının planı (Shao ve diğ., 1998)

Mevcut yapılara bitişik 94 x 63 x 6.75 m boyutlarında yumuşak dolgular ve killerde kazı içeren Sunlight Park Hotel örneğini verildi. İki tarafta, duvarın toplam genişliği 3,2 m (dört sıra DMM kolonu) ve diğer iki tarafta da genişlik 4,7 m (beş sıra) idi. Duvarlar en az 10 m inşa edildi ve orta sıra, hidrolik sızdırmazlık görevi görmesi için 3 m daha derindi. Yazarlar, bambu ile iç donatılmanın (internal reinforcement), Elastisite Modülü iyileştirilmiş zemine çelikten daha yakın olduğu ve çok daha ucuz olduğu için göz önüne alındığını bildirmektedir.

Bir başka kavram Elliott (1989) tarafından tanımlanmıştır: İngiltere’de şaft yapımına izin vermek için 750 mm çaplı sütunlardan oluşan üç eş merkezli desteksiz bindirmeli halkadan oluşan dairesel bir DMM yapısı yapılmıştır (Şekil 5.7.).

Yeraltı suyunun yükseltmesinden kaynaklanan basınçlara karşı uzun vadeli direnç sağlanmak için nihai kaplama, prekast eleman, şaft kaplamasının çimentolu zemine zemin çivileri ile sabitlenmesi önerilmiştir. Benzer bir uygulama daha sonra aynı şirket tarafından Kuzey İngiltere’deki buzul siltli kum çökeli ve lamine kil boyunca her biri 4 m iç çapa sahip olan beş menhol oluşturmak için maksimum 15 m derinliğe kadar kullanıldı ve her kolonun çapı tekrar 750 mm olmuştur.

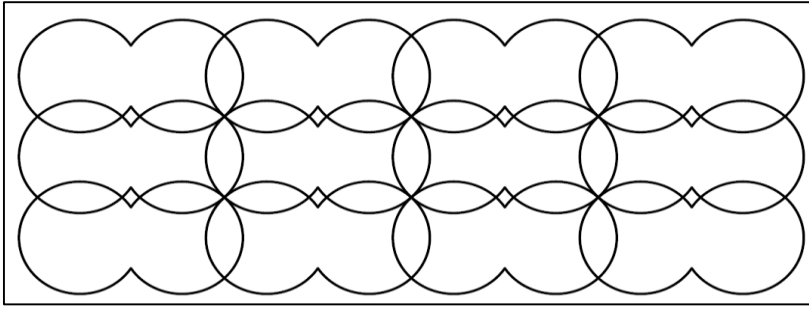


Şekil 5.7. DMM ile yapılmış dairesel şaft örneği (Blackwell, 1992)

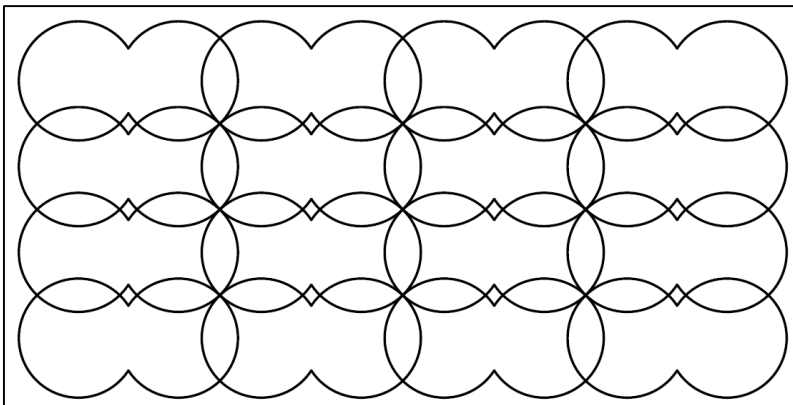
Bitişik yapıların yakınlığı, titreşime duyarlı cihazların ve hizmetlerin yakınlığı ve değişken zemin koşullar ve yüksek su tablası seviyesi nedeniyle bu özel çalışma alanında DMM tekniği ile şaft oluşturma seçeneği değerlendirilmiştir.

5.3. Sıvılaşma Riskinin Azaltılması

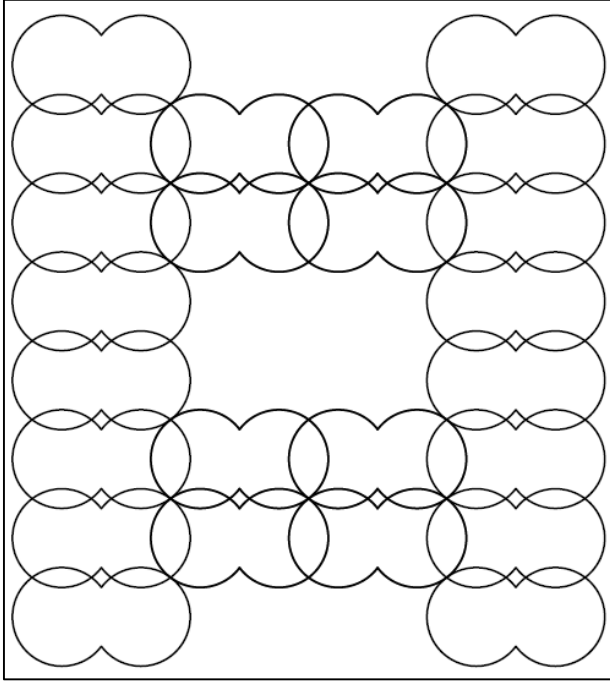
Sıvılaşma riskinin azaltılmasında kullanılan derin karıştırma yöntemi; sıvılaşmayı önler, sıvılaşma riski olan zeminlerin güçlendirilmesini sağlar ve zemindeki boşluk basıncının azaltılmasını sağlar. Çoğunlukla sıvılaşmanın önüne geçilmesinde kullanılan bilindik yöntemlerden farklı olarak uygulanan derin karıştırma yöntemi; derinlik ve ekonomik bazı sıkıntılar ortaya çıktığında kullanılmaktadır. İlk olarak mevcut yapının çevresine inşaa edilen duvar ile yapı altında izolasyon ve yapının altındaki kohezyonsuz zeminin yer değiştirme miktarı minimum hale getirilir. Sonrasında çevre duvarda bulunan yer altı su seviyesi belli yöntemlerle düşürülerek yapı altındaki bölge kuru ve sıvılaşma riski kalmamış hale getirilir. Sıvılaşma riski olan zeminlerde yapılan güçlendirme bloklu, duvarlı veya kafes yerleşimli derin karıştırma yöntemi olabilir (Şekil 5.8., Şekil 5.9., Şekil 5.10.).



Şekil 5.8. Blok tipi derin karıştırma yöntemi

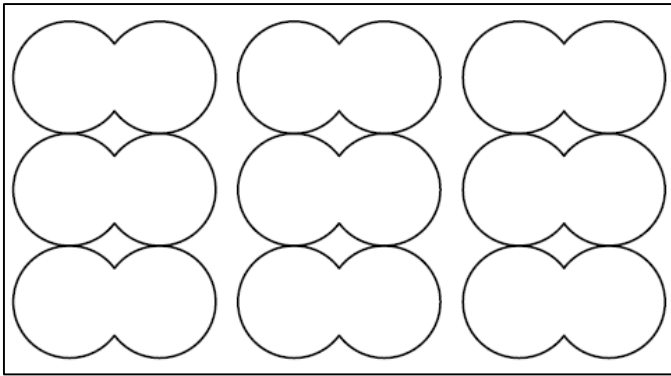


Şekil 5.9. Duvar tipi derin karıştırma yöntemi



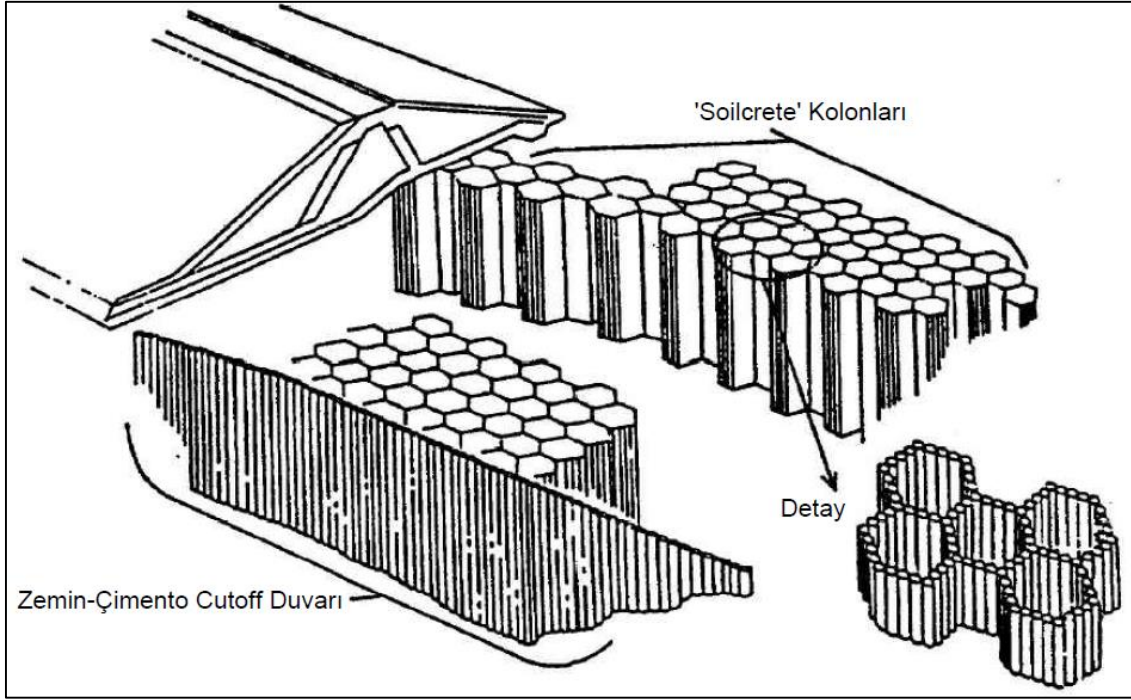
Şekil 5.10. Kafes tipi derin karıştırma yöntemi

Grid veya kafes ile iyileştirilmiş bölgenin bir bütün olmasını sağlıyor ve bölgedeki çimentolanmış zeminin basınç dayanımını tamamen mobilize olmasını sağlıyor. Tek kolonlu derin karıştırma yöntemi veya grup kolonlu (Şekil 5.11.) derin karıştırma yöntemi gerilim farklılıklarına neden olup bükülme gerilmelerinden dolayı yenilmelere sebep olabilir.



Şekil 5.11. Grup kolon tipi derin karıştırma yöntemi

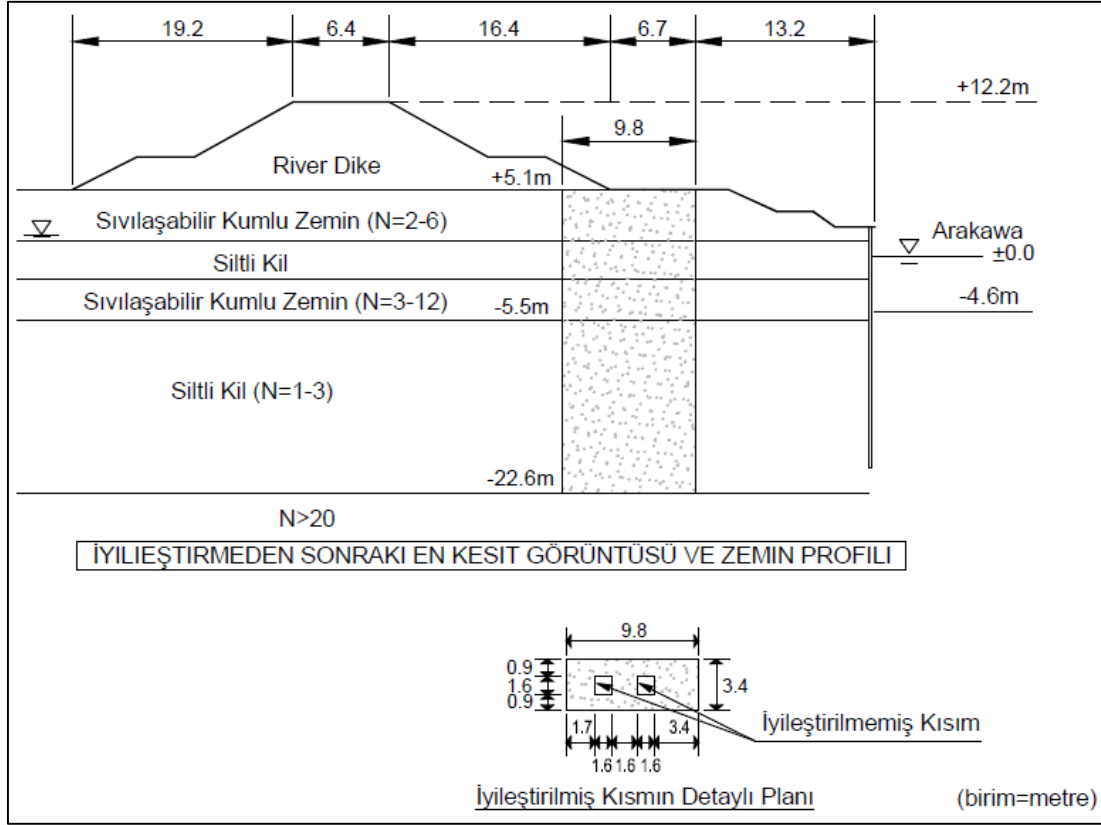
Kavramsal olarak ve Mitchell (1997)'e göre Jackson Gölü Barajı'ndaki sızıntı ve sıvılaşma kontrolü amaçlı çalışmaya atıfta bulunarak (Şekil 5.12.) iyileştirme mekanizması üç farklı faydası olmuştur:



Şekil 5.12. Jackson Barajı'nda DMM uygulması (Taki ve Yang, 1991)

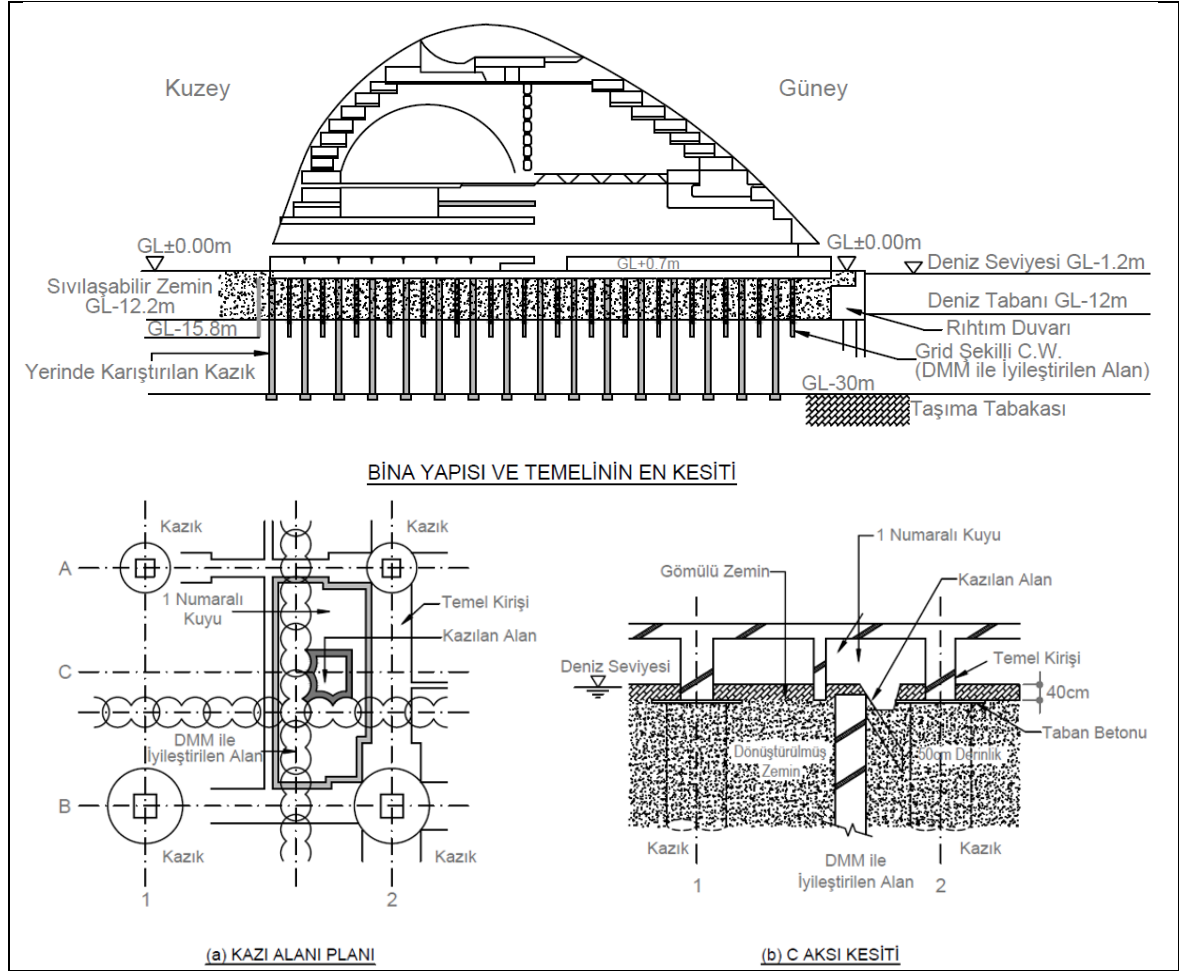
1. Oluşan hücreler kesme gerilmelerini emerek, yanal granüler hareket salınımlarını azaltır ve aşırı boşluk basıncının artma miktarını azaltır.
2. Sınırlama, yanal yayılmayı önler.
3. Kolonların basınç dayanımı oturmayı en aza indirir.

Sismik durumda gevşek kumlarda oluşan aşırı boşluk suyu basıncının azaltılmasında kullanılan kafes tipli derin karıştırma yöntemi ile ilgili birçok sayıda araştırma yapılmıştır. Yapılan araştırmalarda yaklaşım metodu olarak 3 boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ve küçük ölçekli ve büyük ölçekli sarsma tablası test modelleri kullanılmıştır. Bu araştırmaların amacı kafes tipli derin karıştırma yönteminin kullanılmasıyla aşırı boşluk suyu basıncını azaldığını göstermektir. Bu uygulama yöntemi ile gevşek kumlarda birçok yapı tasarlanmış ve inşaa edilmiştir. Şekil 5.13'te bu derin karıştırma yöntemine ait uygulama örneği gösterilmiştir.



Şekil 5.13. Arakawa River Dike DMM uygulaması, Japonya (Matsuo ve diğ., 1996)

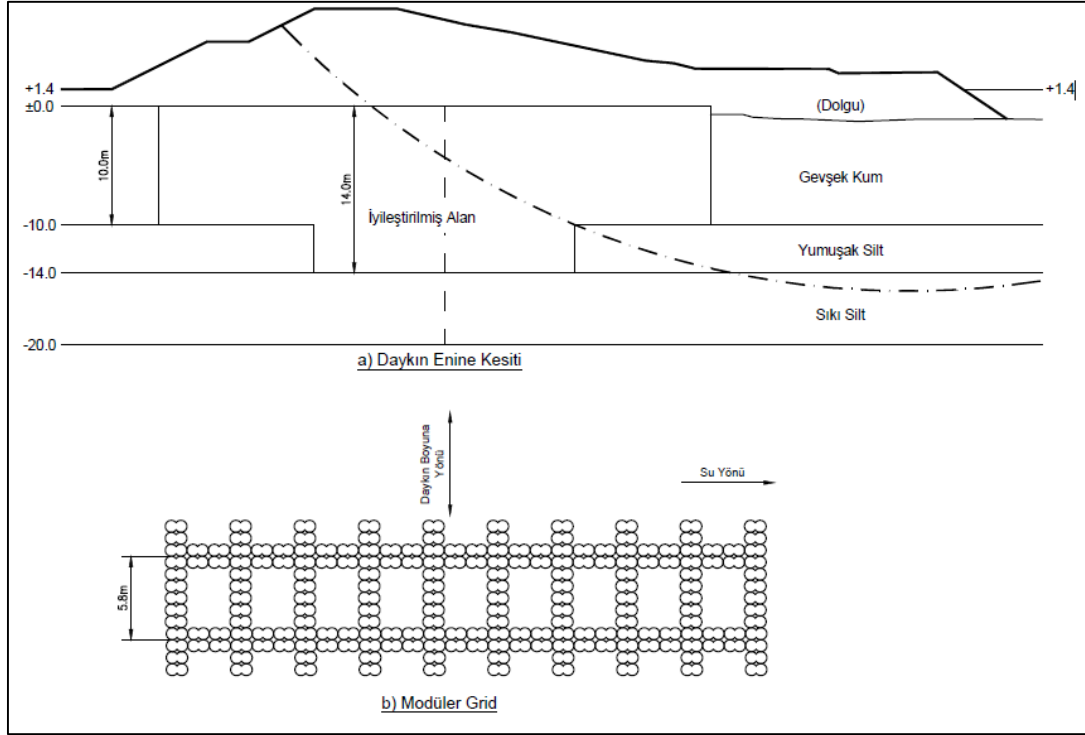
1995'te Japonya Kobe'de meydana gelen 7,2 büyüklüğündeki depremde ciddi hasar meydana gelmiştir. Bunun üzerine limandaki otel ve terminal binasının davranışı yakından incelenmiştir. Sonuçlara göre liman bölgesi kum birimi üzerinde yer almasına rağmen o bölgedeki otel yapısal bir hasara uğramamıştır. Fakat otelin 3 tarafında bulunan rıhtım duvarı o bölgedeki birçok rıhtım duvarı gibi depremin etkisiyle yanal hareketlere maruz kalmıştır. Otel sondaj payandası (drilled piers) ile desteklenmiş olmasına rağmen sıvılaşmanın önüne ve yanal akışın önüne geçebilmek için 15,8 m derinliğinde aşağıda gösterildiği gibi gridli derin karıştırma yöntemi kullanılmıştır (Şekil 5.14).



Şekil 5.14. Otel ve terminal binasının temelindeki DMM detayı, Japonya (Karnon, 1996)

Bölgede yapılan araştırmalar sonucu yapıda sıvılaşmaya veya yanal akışa rastlanmamış olması yapıların altında kullanılan gridli derin karıştırma yönteminin büyük şiddetteki depremlerde dahi sıvılaşmayı önlemekte büyük bir rol oynadığını ve sonucunda yanal akmanın engellediğini göstermektedir. Bu bağlamda, Taki ve Bell'in (1997), Kobe bölgesindeki az katlı yapılarda tek kolonlu derin karıştırma yönteminin de (SCC) iyi bir performans gösterdiğini ileri sürmüştür.

Kobe'de gerçekleşen depremden sonra Torishima Dike'nin tekrar yapılması sırasında derin karıştırma yönteminin kullanılması da tekniğin bir başka örneğidir (Yang ve diğ., 1998). Daykın yüksekliği 7 m olup temelde oluşan 10-14 m civarındaki sıvılaşmadan dolayı 2 km'den fazla dayk yıkılmıştır ve eylül ayında meydana gelen hortumlardan önce restore edilmesi gerekmiştir (Şekil 5.15.). Bölgede yapılan Standart Penetrasyon Testlerine (SPT) göre 10 metre derinlik boyunca iç içe geçmiş kum ve silt katmanları olduğunu göstermiştir. DJM metodu seçilerek uygulama grid düzenli iyileştirme ile tasarlanmıştır:



Şekil 5.15. Torishima Dike'nin DMM ile yeniden inşası, 1995 (Yang ve diğ., 1998)

1. Kesme deformasyonunu azaltılması ve oluşacak aşırı boşluk suyu basıncının azaltılması
2. Sıvılaşma meydana gelirse lokal sıvılaşma bölgelerinin oluşması
3. Yanal genişleme ya da şevde oluşacak yenilmeye karşı güçlendirilmiş zemin ile güvenlik katsayısının artırılması baz alınmıştır.

İnşaa sırasında 28 günde 0,5 MPa'lık dayanıma ulaşılması amaçlanmıştır. Bu dayanım kum zeminde aşılmıştır. Ayrıca, DJM ürünü "yarı geçirgen" olarak kabul edilmiş ve bu nedenle yeraltı suyu ve doğal yeraltı suyu akışı üzerindeki etkiyi azaltmıştır. 600.000 m³'ten fazla sıvılaştırılabilir zemin, 3 ay içerisinde iyileştirilmiştir.

Babasaki ve Suzuki (1996), Tokyo sahilindeki yumuşak killerde sıvılaşmaya karşı DMM'nin 4 farklı şekilde uygulandığı başka bir vakayı ele almışlardır. Vakaya göre yapılan derin karıştırma yöntemi şunları kapsamaktadır:

- Kazık uygulamasını sağlayacak düşük dayanımlı blok kolon iyileştirmesi
- Kazıkları çevreleyecek kafes derin karıştırma yöntemi uygulanması
- Şev stabilitesinin sağlanması ve ağır ekipmanlar için uygun yüzey koşullarının sağlanması

- Şebeke borularına destek sağlanması ve istinat duvarları için destek sağlanması amacıyla zemin iyileştirmesi yapılması

Amerika Birleşik Devletleri'nde, en önemli sıvılaşma riskini azaltma projesi, WY Jackson Gölü Barajı'nda 1987 ile 1989 yılları arasında derin karıştırma yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Taki ve Yang, 1991). Günümüze daha yakın bir yıl olan 1998'de California Eyalet Üniversitesi'nde derin karıştırma yöntemi Üniversitenin Deniz Laboratuvarı sahasında temel duvarı altındaki zemini iyileştirme için uygulanmıştır (Francis ve Gorski, 1998). Esas laboratuvar 1989'da Loma Prieta depremi sırasında sıvılaşma probleminden dolayı tahrip edilmiştir. Yapılan yeni laboratuvar ise eski laboratuvarın güneyinde, çok gevşek-sıkı, temiz, orta-ince kum üzerine kuruldu. 4,5 m ile 6 m arasında yüksekliği değişen tek sıra halinde 113 kolon uygulanmıştır. Kolonları çapı 1 m olup aralıklarla 1,2 m ile 2,4 m arasında değişkenlik göstermektedir. 28 günde 1,4 MPa'lık dayanıma ulaşacağı öngörülmüş ve gerçek dayanımın 1,7 ile 13,8 MPa aralığında değişkenlik göstermiştir. Bu uygulamanın avantajlarından biri ise alanın arkeolojik açıdan önemli bir noktaya yakın olmasıdır ve zemin iyileştirme süresince herhangi bir zarar görmemiştir.

Aynı bölgede, Stabilator USA, Inc. San Francisco Körfez Bölgesi Hızlı Geçiş (BART) Sisteminde sismik etkilere karşı yaptığı güçlendirme için dikdörtgen hücreler halinde kireç kolonları uygulamıştır. Bu hücreler o bölgedeki toplam toprak hacminin % 37'sini içeren bir iyileştirme hacmine eşittir.

5.4. Zemin İyileştirme

DMM ile ön iyileştirme, mukavemeti artırır ve doğal ve yerleştirilmiş zeminlerin sıkışabilirliğini azaltır ve böylece üst yapı ve alt yapı inşaatı süresince zemin stabilitesini ve zemin hareketlerinin kontrolünü sağlayabilmektedir. Yapay (manmade) adalar, tüneller, limanlar, deniz duvarları ve dalgakıranlar gibi deniz ortamlarındaki büyük ölçekli inşaat işleri, DMM teknolojisinin gelişimini desteklemiş ve Trans-Tokyo Körfezi Tüneli inşaatında yaygın kullanımıyla sonuçlanmıştır. DMM, Boston, MA'da yaygın olarak kazı stabilizasyonu sağlamak amacıyla dayanma ayakları (buttresses) oluşturmak için kullanılmıştır (Nicholson ve Chu, 1994) ve tünel açmayı kolaylaştırmak amacıyla da mevcut zemini stabilize etmek için Fort Point Kanal projesinde kullanıldığı belirtilmiştir.

Dayanma ayağı ya da payanda (the buttress) kavramı, daha önce Taipei, Tayvan'daki yumuşak killerde derin bir temel kazısının stabilizasyonunu sağlamaya yardımcı olmak için planlı, tasarlanmış bir çözüm olarak kullanılmıştır (Liao ve diğerleri, 1992). DMM kolonları, mevcut yedi katlı binaların bitişiğindeki 11,9 m derinliğindeki iksalı kazı tabanının içindeydi. 0,80 m çapında kolonlar, 2 m aralıkla toplam 11 ila 17 m derinliğe yerleştirilmiştir.

Yang ve diğ. (1998) ayrıca Tokyo ve Nagoya'yı birbirine bağlayan Tomei Freeway için iyileştirme (treatment) / ıslah (improvement) olarak bir DMM çözümü sunan bir vaka geçmişini açıklamıştır. Yeni bir yol dolgusu, kutu menfezi ve istinat duvarlarının temeli olarak kullanılmak üzere toplam 50.000 m³'ten fazla organik kil, turba ve dolgu maddesi işlem görmüştür. Zemin tipine ve yapısal gereksinimlere cevap olarak çeşitli çimento içerikleri ve kazık aralıkları seçilmiştir. Örneğin, alan iyileştirme oranları, yukarıda belirtilen üç uygulama için sırasıyla %35, %50 ve %78,5 mertebesindedir. Bu proje, mevcut dört şeritli otoyolun çalışmasını aksatmadan 7 ay içinde iki adet ekipman ile tamamlanmıştır.

6. YÖNTEMİN AVANTAJLARI/DEZAVANTAJLARI

Bu bölümdeki bilgiler FHWA'dan (2000) derlenmiştir.

DMM uluslararası mecrada altı ana uygulama kategorisinde geniş kullanım alanına sahiptir. Herhangi bir projede tercih edilmesinin nedenleri geoteknik çözüm kolaylığı sağlaması, ulaşılabilirlik, çevresel, maliyet, iş programı, geçmiş referanslar gösterilebilir. Nispi avantaj ve dezavantajları vardır. Bu yöntemin belli bir tekraralama derecesi vardır ancak bu yöntem tasarımcının istediği zaman kolayca diğer özel faktörleri eklemesine izin verecektir. Farklı DMM teknolojileri farklı tip iyileştirilmiş zemin geometrileri ve parametreleri sunar. Bu nedenle, sadece bir veya birkaç belirli DMM varyantı, aslında her uygulamada göz önüne alınmak üzere pratik olarak uygulanabilir olabilir. Örneğin, Kireç Çimento Kolonları Hidrolik Cut-off Duvarları Uygulaması için uygun değildir. Buna karşın, yerinde güçlendirme ve kazık uygulamaları için çok uygundur.

Özet olarak DMM tüm yumuşak zeminleri iyileştirme, güçlendirmeleri için tek ve en iyi çözüm yolu değildir. Bazı durumlarda daha ekonomik ya da daha pahalı, bazı durumlarda ise diğer rakip yöntemlere göre daha tercih edilir bir yöntemdir.

Genel olarak; DMM şu alanlarda en cazip yöntem olabilir:

- Zeminin ne çok sert ne çok yoğun ne de iri kaya blokları içermediği veya başka engellerin olmadığı durumlarda
- 40 m'den az iyileştirme gerektiren yerlerde
- Sürekli ve iyi kalitede bağlayıcı tedarikinin sağlanabileceği durumlarda
- Önemli miktarda atık maddenin tolere edilebileceği yerlerde
- Nispeten titreşimsiz bir teknolojinin gerekli olduğu yerlerde
- İyileştirilmiş zemin hacimlerinin büyük olduğu yerlerde
- Performans özelliklerinin geçerli olduğu yerlerde
- İyileştirilmiş zeminin dayanımının 0,1 MPa ila 5 MPa olarak tasarlanabileceği yerlerde

6.1. Hidrolik Cut-off Duvarları Uygulamasında Avantajları/Dezavantajları

Hidrolik cut-off duvarı uygulamalarında; diyafram duvar, ikincil kazıklar, palplanş, enjeksiyon perdesi gibi uygulamalara alternatif olarak derin karıştırma yöntemi kullanılmaktadır.

6.1.1. Yararları/avantajları

- Tüm zemin kütlelerinin değiştirilmesine gerek yoktur bu yüzden hem bağlayıcı kütleler hem atık kütleler oluşur.
- Atık zemin katı atık olarak değerlendirilebilir.
- Küçük titreşim, orta-düşük gürültü avantajı vardır.
- Tabakalı, heterojen zeminleri düzgün bir şekilde iyileştirir.
- Homojen yanal süreklilik sağlar.
- Birim alan başına düşük maliyet avantajı sağlar (ancak yüksek mobilizasyon maliyeti).
- Yerinde kalite doğrulanabilir (ıslak örnekleme ve karotlar aracılığıyla).

6.1.2. Sınırlamaları/ dezavantajları

- Derinlik sınırlaması vardır (uygulamada 40 m).
- Büyük, güçlü ekipman için geniş bir çalışma alanına gerek vardır.
- Çok yoğun, çok sert zeminlerde ve büyük kaya bloklarının olduğu yerlerde uygulanamaz.
- Sadece dikey olarak uygulanabilir.
- Belirli koşullarda iyileştirilmiş zeminin homojenliği ve kalitesi kontrol edilemeyebilir.

6.2. Kazı Destek Duvarı Uygulamasında Avantajları/Dezavantajları

Kazı destek duvarı uygulamasında; ikincil kazıklar, palplanş, kiriş ve yalıtım, zemin çivisi, yapısal diyafram duvarları gibi uygulamalara alternatif olarak derin karıştırma yöntemi kullanılmaktadır.

6.2.1. Yararları/avantajları

- Birim alan başına düşen nispi maliyet düşüktür (özellikle 15-40 m arası derinliklerde).
- Diğer tip duvar kaplamalarına gerek yoktur.
- Nispeten düşük geçirgenlik özelliği vardır, bu nedenle ek sızdırmazlık önlemine gerek yoktur.
- Kazıdan çıkan bozulmuş, örselenmiş zemin dolgu materyali ve benzeri olarak değerlendirilebilir.
- Küçük titreşim, orta-düşük gürültü avantajı vardır.
- Akışkan durumunda, yapısal elemanların girmesine izin verir.
- Yanal süreklilik sağlayabilir.
- Bazı koşullarda yüksek performansta üretim sağlar (200 m²/shift).
- Tabakalı, heterojen zeminleri homojen ve rijit bir şekilde iyileştirebilir.

6.2.2. Sınırlamaları/ dezavantajları

- Donma/çözülme degradasyonu oluşabilir.
- Derinlik limiti vardır (pratikte 40 m).
- Büyük, güçlü ekipman için geniş çalışma alanına ihtiyaç vardır ve dolgu kısıtlaması yoktur.
- İri kaya bloklarının olduğu yerlerde ve çok sert, yoğun zeminlerde uygulanamaz.
- Sadece dikey olarak uygulanabilir
- Palplanş da atık madde miktarı daha azdır.
- Bazı koşullarda karışık zeminlerdeki homojenliği ve kalitesi değişkendir.
- Yeraltı hizmetleri problem yaratabilir.
- Derinlerdeki izole tabakaları iyileştirmek için yetenekleri sınırlıdır.
- Mobilizasyon maliyeti fazladır.

6.3. Zemin İyileştirme Uygulamasında Avantajları/Dezavantajları

Zemin iyileştirme; permeasyon ve jet-grout gibi yöntemlere alternatif olarak derin karıştırma yöntemi kullanılmaktadır.

6.3.1. Yararları/avantajları

- 40 m derinliğe kadar birim hacime düşen nispi maliyet düşüktür ve diğer tür yalıtımlara gerek yoktur.
- İyileştirilen zeminin dayanımı 0,5 MPa ila 4 MPa'a kadar çıkartılabilir.
- Yerleşim büyük ölçüde shaftların aralığına ve çapına bağlıdır (tasarım değişkenine değil).
- Bazı yöntemlerde atık madde miktarı çok azdır.
- Atık kütleler katı atık olarak elden çıkarılır.
- Küçük titreşim, orta-düşük gürültü avantajı sağlar.
- Sadece çimentolu maddeler kullanılır.
- Bazı koşullarda yüksek üretim kapasitesi sağlar.
- Islak numune ve karot datası ile yerinde performans verifikasyonu hızlı bir şekilde yapılabilir.
- Denizcilik projeleri için kullanılabilir.
- Genellikle iyi yanal ve düşey iyileştirilmiş zemin seviyeleri oluşmasını sağlar.
- Her türlü zemin ve dolguda kullanılabilir (örtü yükü, ölü yük olmaksızın).
- Ekipman büyük ve karmaşıktır ancak uygulama nispeten sabit ve basittir.

6.3.2. Sınırlamaları/ dezavantajları

- Derinlik sınırlamaları vardır (40 m pratikte).
- Büyük, güçlü ekipman için geniş çalışma alanına ihtiyaç vardır ve dolgu kısıtlaması yoktur.
- İri kaya bloklarının olduğu yerlerde ve çok sert, yoğun zeminlerde uygulanamaz.
- Sadece dikey olarak uygulanabilir.
- Palplanş da atık madde miktarı azdır.
- Bazı koşullarda karışık zeminlerinki homojenliği ve kalitesi değişkendir.
- Yeraltı hizmetleri problem yaratabilir.
- Derinlerdeki izole tabakaları iyileştirmek için yetenekleri sınırlıdır.
- Yüksek mobilizasyon maliyeti vardır.
- Ekipmanın ağırlığı zayıf zeminler için problem olabilir.
- İyileştirilmiş zeminin dayanımında önemli değişkenlikler olabilir ve bazı uygulamalarda son derece önem arz eder.

- Mevcut yapılara yakın teşkil edilemez.
- Sondaj çalışmaları ve iyileştirme için daha az geometrik esneklik sağlar.

4 MPa'ya kadar dayanımın yeterli olduğu, dolgu kısıtlamasının olmadığı karada ya da su altında üstü kapatılmamış örselenmemiş büyük hacimlerdeki zemin ve dolguları iyileştirmek için uygundur. Japonya ve Çin projelerinde yayınlanan başlıca vaka öyküleri ve Boston'daki son çalışmalar da oldukça önemlidir.

6.4. Sıvılaşma Riskinin Uzaklaştırılması Uygulamasında Avantajları/Dezavantajları

Sıvılaşma riskinin uzaklaştırılması uygulamasında; vibrodensification, taş kolon, derin dinamik kompaksiyon, kompaksiyon enjeksiyonu, drenaj gibi yöntemlere alternatif olarak derin karıştırma yöntemi kullanılmaktadır.

6.4.1. Yararları/avantajları

- Büyük projelerde ekonomiktir.
- Acil projeler için gerekirse yüksek üretim imkânı sağlar.
- Çevresel etkisi minimumdur.
- İyileştirilmiş zeminin mühendislik özellikleri 4 MPa'a kadar tasarlanabilir.
- Yapı kalitesi doğrulanabilir (ıslak ve kuru).
- Tüm üstü kapatılmamış zemin tiplerinde uygulanabilir.
- Potansiyel olarak bitişik yapılara zarar verebilecek en az yanal ve düşey streslere neden olur.
- İmalat sonrası bakım maliyeti yoktur.

6.4.2. Sınırlamaları/ dezavantajları

- Derinlik sınırlamaları vardır (40 m pratikte).
- Büyük, güçlü ekipman için geniş çalışma alanına ihtiyaç vardır ve dolgu kısıtlaması yoktur.
- İri kaya bloklarının olduğu yerlerde ve çok sert, yoğun zeminlerde uygulanamaz.
- Sadece dikey olarak uygulanabilir.
- Bazı koşullarda karışık zeminlerdeki homojenliği ve kalitesi değişkendir.

- Yeraltı hizmetleri problem yaratabilir.
- Derinlerdeki izole tabakaları iyileştirmek için yetenekleri sınırlıdır.
- Yüksek mobilizasyon maliyeti vardır.
- Mevcut beton yapılar altında ya da bu yapılar boyunca iyileştirme yapmak için uygun değildir.

Çevresel etkinin en aza indirilmesi gereken yerlerde örtü yükü engeli olmaksızın 40 m derinliğe kadar büyük hacimlerdeki üstü kapatılmamış zeminlerde ve dolgularda zemin dayanma yapısı ve su tutucu yapıların hız bir şekilde teşkil edilmesi gerektiğinde DMM en uygulanabilir yöntemdir. Japonya'daki en iyi saha performansı kapsamlı laboratuvar ve matematiksel çalışmaları destekler niteliktedir. Amerika'da ilk temel DMM uygulaması sıvılaşma riskinin azaltılması için yapıldı.

6.5. Yerinde Güçlendirme Uygulamasında Avantajları/Dezavantajları

Yerinde güçlendirme uygulamasında çeşitli kazık tipleri (burgu döküm kazık (auger cast), dökme kazık (bored pile), çakma kazık (driven pile), mikro kazık (micro pile)); taş kolonlar; hafif dolgular gibi yöntemlere alternatif olarak derin karıştırma yöntemi kullanılmaktadır.

6.5.1. Yararları/avantajları

- Gelişmiş tasarım teorisini desteklemek için mükemmel teorik, laboratuvar ve saha deneysel veriler sağlar.
- Çok yumuşak, sıkıştırılabilir zeminlerde uygulanacak büyük projeler için ekonomiktir.
- Derin karıştırma kolonları ile yapılan istinat duvarı sistemi, yanal stabiliteyi sağlamak için ankraj gerektirmez.
- Tekil kolonları aralığı ve diziliminin sonsuz kombinasyonu vardır.
- Kurulumu çok hızlı gerçekleştirilebilir.
- Çevreye olumsuz etkisi çok azdır.
- Bazı türler (örneğin, SCC, kireç çimentosu kolonları) düşük mobilizasyon maliyetlerine sahiptir.

6.5.2. Sınırlamaları/ dezavantajları

- Derinlik sınırlaması vardır (Uygulamada 40 m).
- Büyük, güçlü ekipman için geniş çalışma alanına ihtiyaç duyar.
- Çok yoğun, çok sert veya kaya blokları olan zemin tiplerinde uygulanamaz.
- Sadece dikey olarak monte edilebilir.
- Bazı koşullarda karıştırılmış zeminlerin homojenliği ve kalitesi değişkendir.
- Yeraltı hizmetleri açısından problem yaratabilir.
- Derinlerdeki izole tabakaları iyileştirebilmek için yeteneği sınırlıdır.
- Mobilizasyon maliyeti yüksektir.

6.6. Tehlikeli Atık Arıtımı (Fiksasyon) Uygulamasında Avantajları/Dezavantajları

Tehlikeli atık arıtımında; kazı / değiştirme; yerinde iyileştirmeler (buharla ekstraksiyon, biyolojik ıslah); şerbet dökme teknolojileri; durdurucu kuyular gibi yöntemlere alternatif olarak derin karıştırma yöntemi kullanılmaktadır.

6.6.1. Yararları/avantajları

- Zemini yerinde iyileştirir.
- Bağlayıcı parametreleri, tehlikeli maddelerin yapısına uygun olarak değişkendir.
- Atık miktarı kontrol edilebilir ve katı atık olarak atılabilir.
- İnşaat sonrası harcama gerekmez.
- İnşaat sırasında iyileştirme kalitesi doğrulanabilir.
- Büyük hacimler için 40 m derinliğe kadar ekonomiktir.
- Çevreye olumsuz etkisi çok azdır.

6.6.2. Sınırlamaları/ dezavantajları

- Derinlik sınırlaması vardır (Uygulamada 40 m).
- Büyük, güçlü ekipman için geniş çalışma alanına ihtiyaç duyar.
- Çok yoğun, çok sert veya kaya blokları olan zemin tiplerinde uygulanamaz.
- Sadece dikey olarak monte edilebilir.
- Bazı koşullarda karıştırılmış zeminlerin homojenliği ve kalitesi değişkendir.

- Yeraltı hizmetleri açısından problem yaratabilir.
- Derinlerdeki izole tabakaları iyileştirebilmek için yeteneği sınırlıdır.
- Mobilizasyon maliyeti yüksektir.

7. ÖRNEK UYGULAMA

7.1. Giriş

Bu bölümde bir yol dolgusunun stabilite problemini çözmek için dolgu tabanını iyileştirmek amacıyla başvurulmuş DMM iyileştirme yöntemi ele alınmıştır. Problemin arka planı tanımlanmıştır ve aşama aşama tasarım prosedürleri ile hesaplamalar anlatılmıştır. Hesaplamalardan elde edilen parametreler kullanılarak farklı analiz teknikleri ile şev stabilitesi analizleri ortaya konmuştur. Bu yol dolgusu stabilite problemi; FHWA, (2013) Design Example Bölümü'nde tasarım örneği olarak ele alınmıştır.

7.2. Derin Karışma Yöntemi ile İyileştirmenin Amacı

Yol dolgusunun stabilite problemini saptamak için stabilite analizleri gerçekleştirilir. Tasarım kriteri olarak stabilite analizlerinin güvenlik katsayısı alt limit değeri 1,50 olarak kabul edilmiştir ve güvenlik katsayısı bu değerin altında çıkan dolgu şevinin duraysız olduğu kabul edilmiştir. Duraysız dolgu şevinin tabanının iyileştirilmesi gerektiği önerilmiştir.

Şekil 7.1'de gösterilen yol dolgusunun mevcut durumunun stabilite analizleri 1. Durum modeli kısmında gösterilmiştir. Şev stabilitesi analizlerine göre güvenlik katsayısı değeri 0,80 mertebelerindedir. 0,80 değeri; 1,50 değerinin altında kaldığı için şevin duraylı olmadığı görülmüştür. Şev dolgusunu duraylı bir hale getirmek için dolgu tabanının derin karıştırma yöntemi ile iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Dört farklı derin karıştırma yöntemi uygulaması ile dolgu tabanının iyileştirilmesi gerçekleştirilmiştir.

7.3. Tasarım Geometrisi ve Gereklilikleri

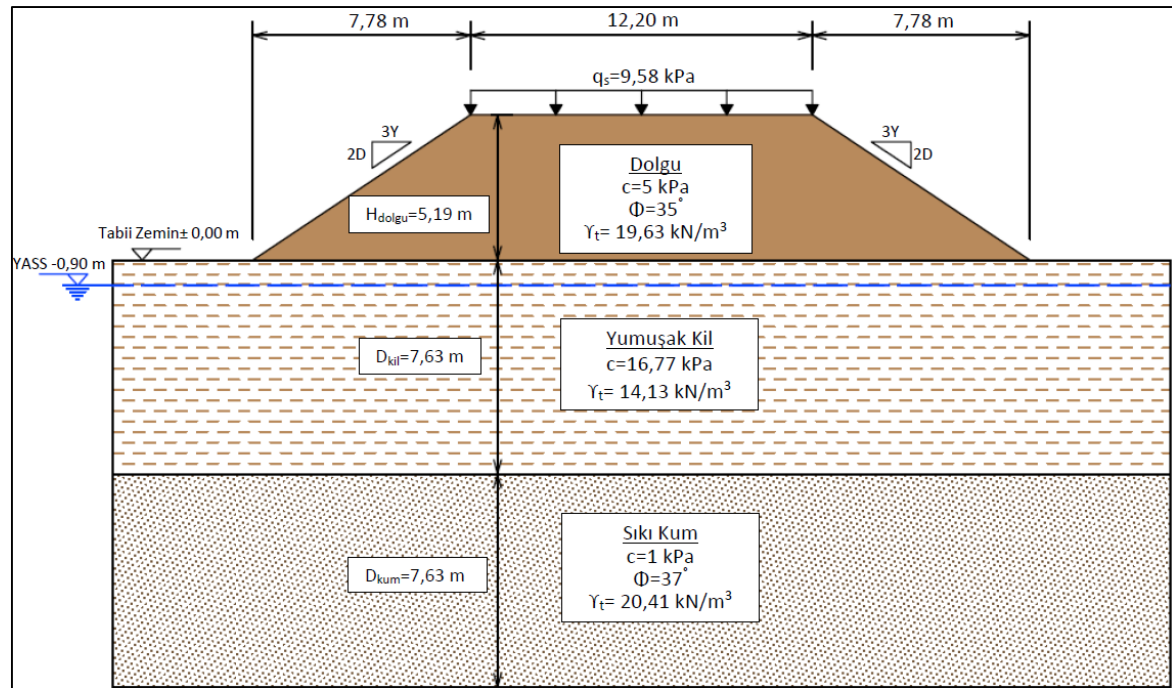
Önerilen yol dolgusunun şev eğimi 3Y:2D (Yatay/Düşey)'dir. Şev yüksekliği 5,19 m'dir. Yayılı trafik yükü (q_s) 9,58 kPa olarak kabul edilmiştir ve dolgu tepesi boyunca uygulanmıştır. Şev eğimi (3Y:2D), şev yüksekliği (H_{dolgu}) ve trafik yükü (q_s) Şekil 7.1'de gösterilmiştir.

7.4. Zemin Profili

Örnek tasarımdaki zemin profili yol dolgusu ve sıkı kumun kohezyon değerleri hariç Federal Highway Administration Design Manual: Deep Mixing for Embankment and Foundation Support'tan (2013) alınmıştır. Zemin profili Şekil 7.1'de gösterilmiştir. Zemin tabakalarının ve yol dolgusunun kalınlıkları/yükseklikleri ve mühendislik özellikleri Çizelge 7.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 7.1. Zemin tabakalarının ve yol dolgusunun mühendislik özellikleri

Tabakalar	Kalınlık/Yükseklik D/H	Birim Hacim Ağırlık (γ_t)	Kohezyon (c)	İçsel Sürtünme Açısı (ϕ')
	[m]	[kN/m ³]	[kPa]	[°]
Yol Dolgusu	5,19	19,63	5	35
1.Tabaka	7,63	14,13	16,77	-
2.Tabaka	7,63	20,41	1	37



Şekil 7.1. Örnek problem-yol dolgusu en kesiti

7.5. Şev Stabilitesi Analizi Gereklilikleri

Şev stabilite analizlerinde; iyileştirme sadece yumuşak kil tabakası içerisinde olacağı için DMM kolonlarının, iyileştirilen zemin kütlesinin ve derin karıştırma kesme duvarlarının içinden ya da hemen altından geçen yenilme daireleri dikkate alınmıştır. Şev stabilite analizleri limit denge programı ve sonlu elemanlar programında gerçekleştirilmiştir. Limit denge programı olarak “Slide-2D Limit Equilibrium Slope Stability Software” kullanılmıştır. Sonlu elemanlar programı olarak ise “Phase2 2D Finite Element Program” kullanılmıştır.

Limit-Denge Programı ile gerçekleştirilen şev stabilite analizlerinde; Bishop Simplified, Spencer ve GLE/Morgenstern&Price yöntemleri kullanılmıştır. 30 adet dilim üzerinden hesaplamalar yapılmıştır, maksimum iterasyon 50 olarak kabul edilmiştir. Tolerans 0,005 kabul edilmiştir. Güvenlik katsayısı statik durumda 1,50 mertebesinde belirlenmiştir. Güvenlik katsayısı 1,50 mertebesini geçen kayma düzlemleri güvenli olarak kabul edilmiştir. Ayrıca limit denge proramında kil tabakası alt sınırını geçmeyen yenilme dairelerinin güvenlik katsayıları değerlendirilmiştir.

Sonlu Elemanlar Programı ile gerçekleştirilen şev stabilite analizlerinde Plain-Strain Analiz Tipi kullanılmıştır. Çözüm Yöntemi olarak Gaussian Elimination seçilmiştir. Maksimum iterasyon 500 ve tolerans 0,001 olarak kabul edilmiştir. Dayanım Azaltma Faktörü (Strength Reduction Factor) ilk aşamada 1 olarak kabul edilmiştir, bu faktörün toleransı ise 0,01 olarak seçilmiştir. Mesh Tipi Uniform, Eleman Tipi ise 6 Noded Triangles olarak seçilmiştir. Ortalama mesh elemanı sayısı 5000 olarak kabul edilmiştir. Güvenlik katsayısı statik durumda 1,5 mertebesinde belirlenmiştir. Yenilme kriteri Mohr-Coulomb olarak kabul edilmiştir. Ayrıca zemin modeli 15 m düşey, 57,76 m yatay olarak sınırlandırılmıştır. Sonlu elemanlar programında analizler gerçekleştirilirken sadece şev stabilitesi açısından bir değerlendirme yapmak istendiği için Elastisite Modülü ve Poisson Oranı değerleri modellenen üç tabaka için de eşit kabul edilmiştir. Ayrıca stabilite analizi sonucu hesaplanan güvenlik katsayısı bu parametrelere bağlı değildir.

7.6. Tasarım Modelleri

Yol dolgusunun stabilite problemini çözmek için 1. Model mevcut durum olmak üzere 4 adet tasarım modeli düşünülmüş, bu modellerin açıklamaları aşağıda sırasıyla verilmiştir.

1. Durum için tasarım modeli

İyileştirmeden önceki durumda yol dolgusu stabilite analizi gerçekleştirilmiştir. Stabilite analizleri gerçekleştirilirken zeminin tabii hali göz önüne alınmıştır. İyileştirme yapmadan önceki parametreler baz alınarak yumuşak kil tabakası sınırını geçmeyen yenilme dairelerinin güvenlik katsayıları değerlendirilmiştir.

2. Durum için tasarım modeli

Dolgu tabanının (tepe ve topuk kısımları dâhil) derin karıştırma kolonları ile iyileştirilip dolgu tabanında kolonlardan ve zeminden oluşan kompozit bir zemin tabakasının varlığının kabul edildiği tasarım modelinde stabilite analizi gerçekleştirilmiştir.

3. Durum için tasarım modeli

Dolgu tabanında dolgu tepesinin altına denk gelen kısmının derin karıştırma kolonları ile dolgu topuk bölgelerinin altına denk gelen kısımların derin karıştırma kesme duvarları ile iyileştirildiği durumda stabilite analizi gerçekleştirilmiştir.

4. Durum için tasarım modeli

Dolgu tabanında dolgu tepesinin ve topuk bölgelerinin altına denk gelen kısmın komple derin karıştırma tekil kolonları iyileştirildiği durumda stabilite analizi gerçekleştirilmiştir.

5. Durum için tasarım modeli

Dolgu tabanında dolgu tepesinin altına denk gelen kısmın derin karıştırma tekil kolonları ile topukların altına denk gelen kısmın ise derin karıştırma kesme duvarları ile iyileştirildiği durumda stabilite analizi gerçekleştirilmiştir.

7.7. Tasarım Basamakları

Bu bölümde alt başlıklarda detaylı bir şekilde açıklanan 5 farklı durum için alternatif modelleme yapılmıştır. Tüm modellemeler için stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. Stabilite analizleri için gerekli olan parametreler adım adım hesaplanmış ve bu parametreler hem limit denge programına hem sonlu elemanlar programına malzeme bilgisi olarak tanımlanmıştır. Her iki programın farklı yaklaşımlarına göre gerçekleştirilen stabilite analizi sonuç sayfaları ve deformasyon dağılımını gösteren sonuç sayfaları her bir durum için ayrı ayrı gösterilmiştir. Ayrıca güvenlik katsayısı sonuçları tablolar halinde sunulmuştur.

7.7.1. 1. Durum modeli

İyileştirmeden önceki durumda yol dolgusu stabilite analizi gerçekleştirilmiştir. Stabilite analizleri gerçekleştirilirken zeminin doğal hali göz önüne alınmıştır. Dolgu, yumuşak kil ve sıkı kum tabakalarının doğal haldeki mühendislik parametreleri kabul edilmiştir. 1. Durum diye adlandırılan bu durum aslında mevcut durumu yani yumuşak kil tabakasının iyileştirilmeden önceki halini yansıtmaktadır. Mevcut durumdaki stabilite problemini ortaya koymak için limit denge programı ve sonlu elemanlar programı kullanılmıştır.

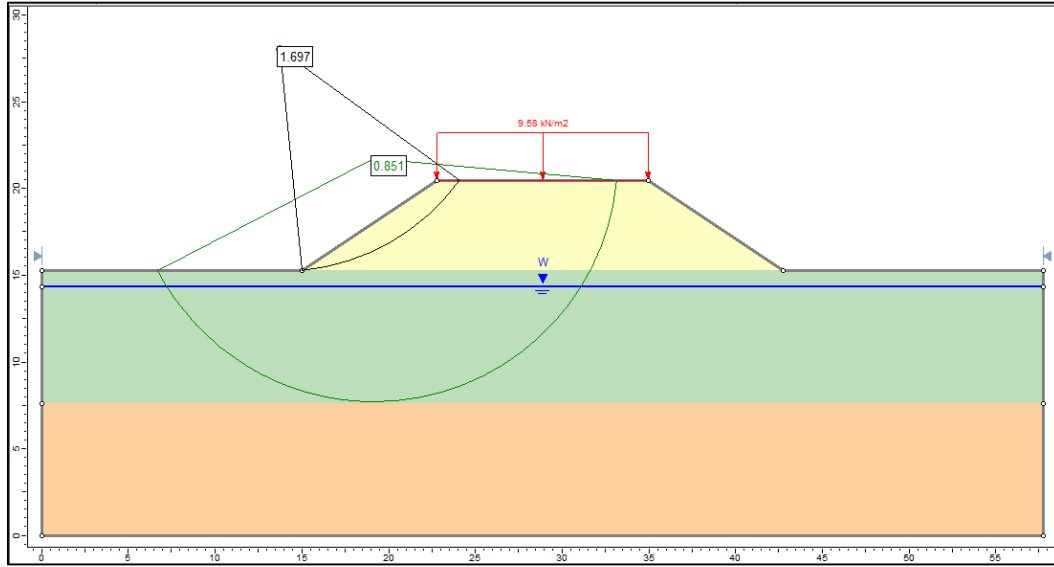
1. Durum için stabilite analizleri

Mevcut veriler programlara girdi olarak tanımlanarak limit denge programı ve sonlu elemanlar programında stabilite analizleri gerçekleştirilir. Şekil 7.2’de 1. Durum için limit denge programındaki malzeme tablosu verilmiştir.

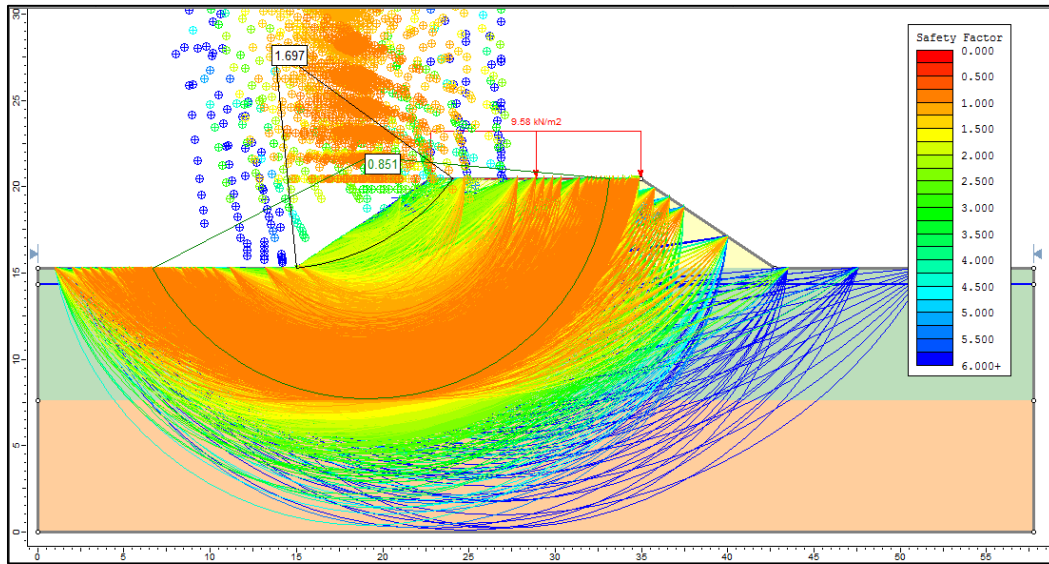
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Cohesion Type	Water Surface
DOLGU		19.63	Mohr-Coulomb	5	35		Water Surface
YUMUSAK KIL		14.13	Undrained	16.77		Constant	None
SIKI KUM		20.41	Mohr-Coulomb	1	37		Water Surface

Şekil 7.2. 1. Durum için limit denge programındaki malzeme tablosu

Limit denge programında Bishop Simplified Yöntemi kullanılarak stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. En kritik kayma yüzeyleri Şekil 7.3'te, tüm kayma yüzeyleri ise Şekil 7.4'te gösterilmiştir. Stabilite analizlerine ait sonuç tablosu Çizelge 7.2'de verilmiştir.



Şekil 7.3. 1. Durum için Bishop Simplified Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1

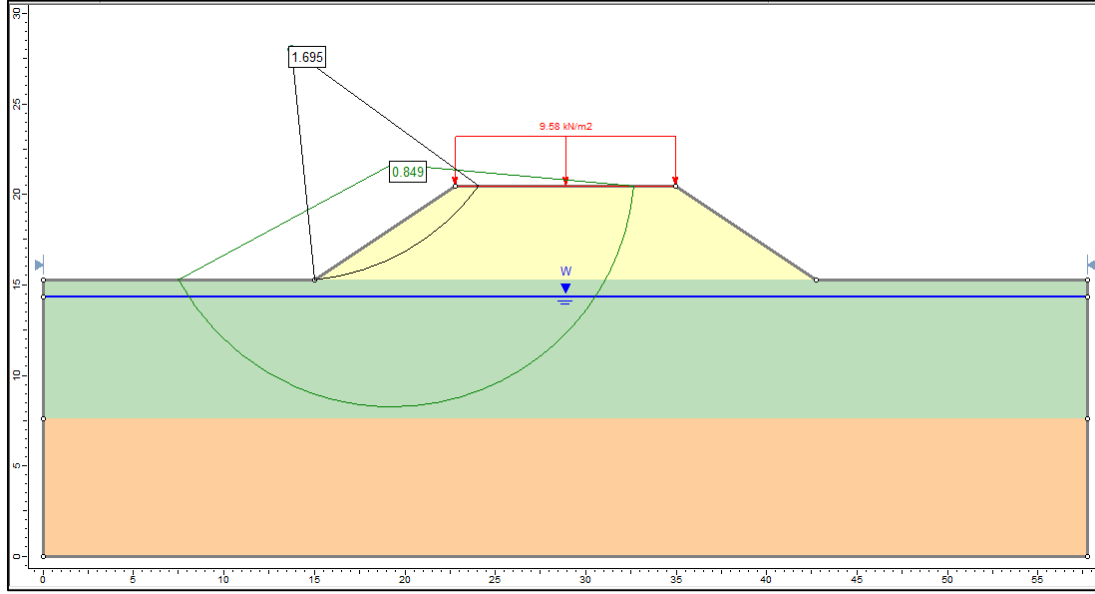


Şekil 7.4. 1. Durum için Bishop Simplified Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2

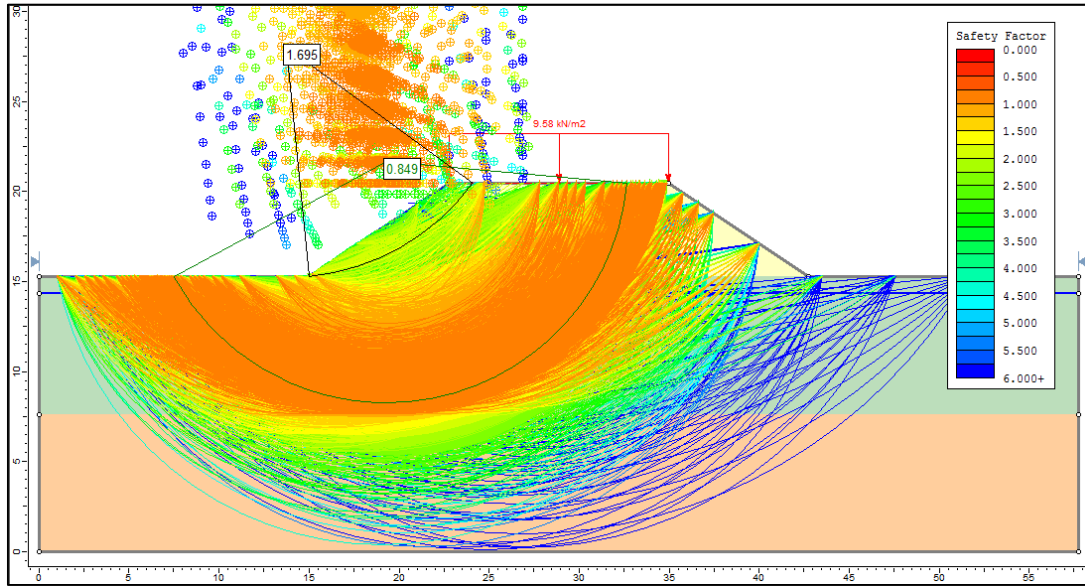
Çizelge 7.2. 1. Durumda Bishop Simplified Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu

Yöntem	Güvenlik Katsayısı	
Bishop Simplified	1,697 (Dolgu İç Stabilitesi)	0,851 (Dolgu Dış Stabilitesi)

Limit denge programında Spencer Yöntemi kullanılarak stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. En kritik kayma yüzeyleri Şekil 7.5'te, tüm kayma yüzeyleri ise Şekil 7.6'da gösterilmiştir. Stabilite analizlerine ait sonuç tablosu Çizelge 7.3'te verilmiştir.



Şekil 7.5. 1. Durum için Spencer Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1

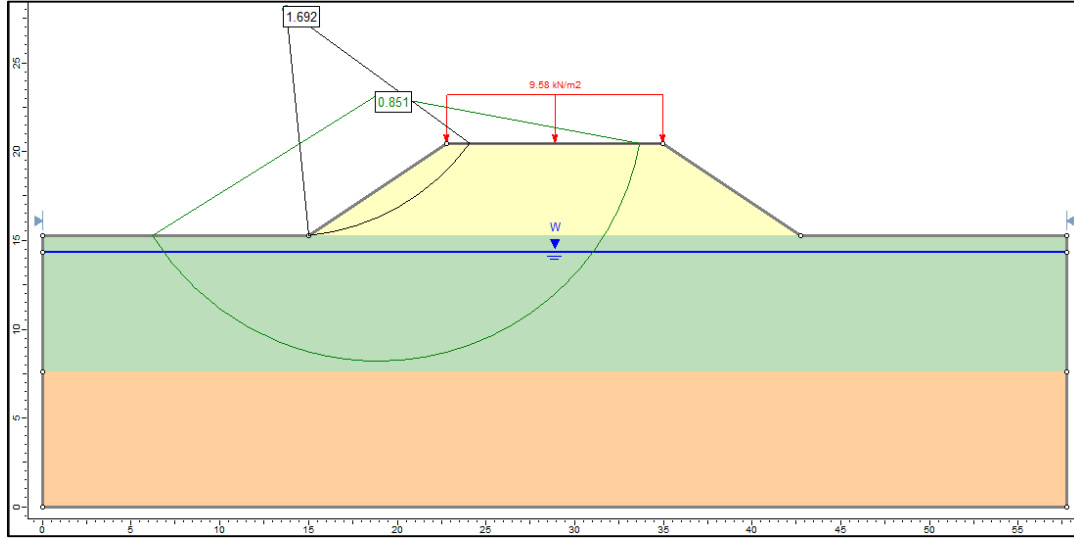


Şekil 7.6. 1. Durum için Spencer Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2

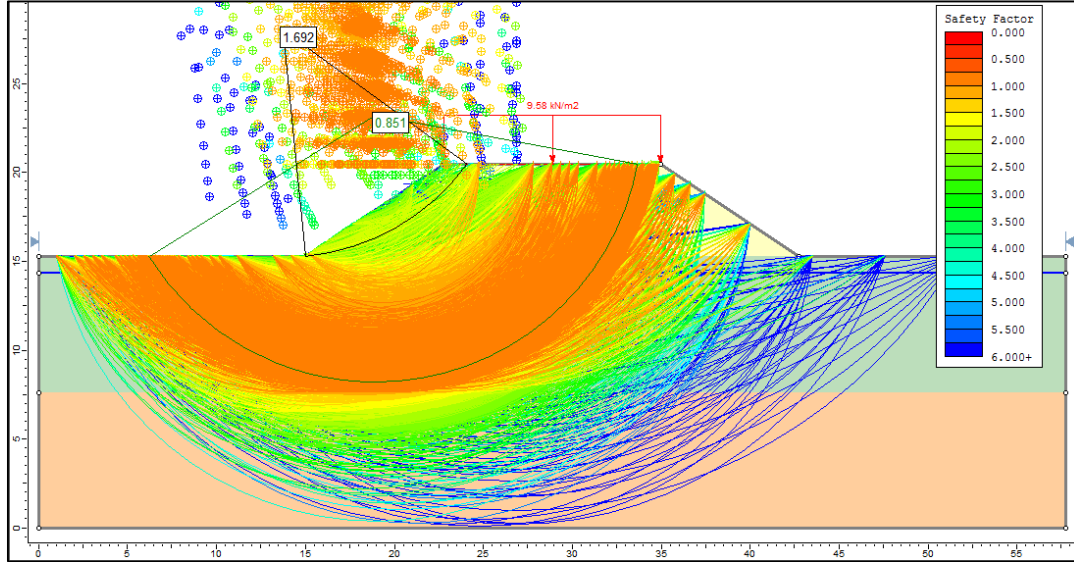
Çizelge 7.3. 1. Durumda için Spencer Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu

Yöntem	Güvenlik Katsayısı	
	1,695 (Dolgu İç Stabilitesi)	0,849 (Dolgu Dış Stabilitesi)
Spencer		

Limit denge programında GLE/Morgenstern&Price Yöntemi kullanılarak stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. En kritik kayma yüzeyleri Şekil 7.7’de, tüm kayma yüzeyleri ise Şekil 7.8’de gösterilmiştir. Stabilite analizlerine ait sonuç tablosu Çizelge 7.4’te verilmiştir.



Şekil 7.7. 1. Durum için GLE/Morgenstern&Price Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1



Şekil 7.8. 1. Durum için GLE/Morgenstern&Price Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2

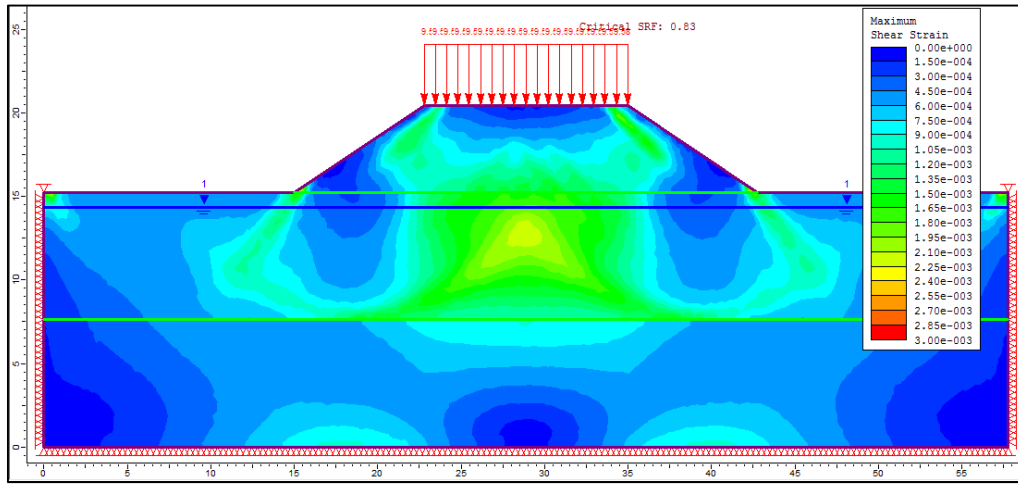
Çizelge 7.4. 1. Durumda Morgenstern&Price Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu

Yöntem	Güvenlik Katsayısı	
	1,692 (Dolgu İç Stabilitesi)	0,851 (Dolgu Dış Stabilitesi)
GLE/Morgenstern-Price	1,692 (Dolgu İç Stabilitesi)	0,851 (Dolgu Dış Stabilitesi)

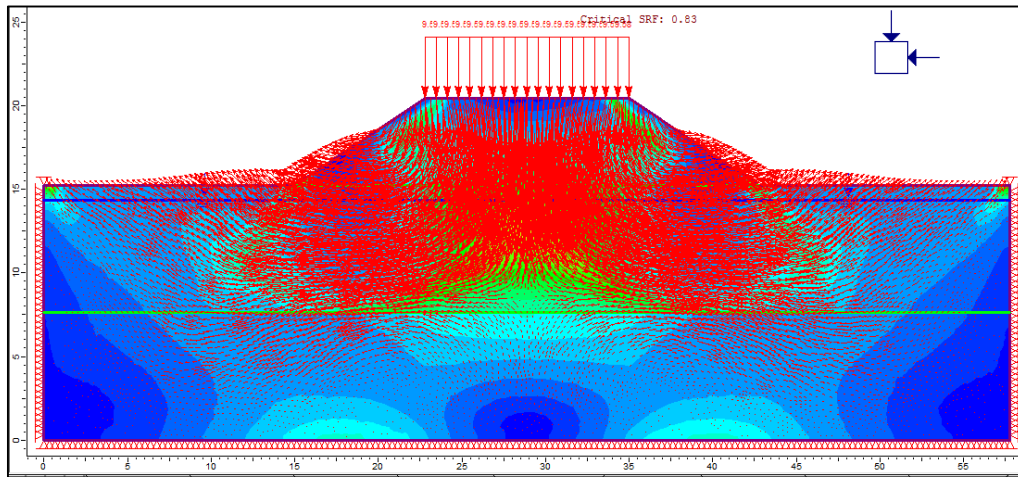
Sonlu elemanlar programında stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.9’da malzeme tablosu verilmiştir. Stabilite analizi Şekil 7.10’da, deformasyon vektörleri dağılımı ise Şekil 7.11’de gösterilmiştir. Sonuç tablosu ise Çizelge 7.5’te verilmiştir.

Material Name	Color	Initial Element Loading	Unit Weight (kN/m ³)	Elastic Type	Young's Modulus (kPa)	Poisson's Ratio	Failure Criterion	Material Type	Tensile Strength (kPa)	Dilation Angle (deg)	Friction Angle (peak) (deg)	Friction Angle (residual) (deg)	Cohesion (peak) (kPa)	Cohesion (residual) (kPa)
DOLGU		Field Stress and Body Force	19.63	Isotropic	50000	0.4	Mohr Coulomb	Plastic	5	0	35	35	0	0
YUMUSAK KIL		Field Stress and Body Force	14.13	Isotropic	50000	0.4	Mohr Coulomb	Plastic	16.77	0	0	0	16.77	16.77
SIKI KUM		Field Stress and Body Force	20.41	Isotropic	50000	0.4	Mohr Coulomb	Plastic	1	0	37	37	1	1

Şekil 7.9. 1. Durum için sonlu elemanlar programındaki malzeme tablosu



Şekil 7.10. 1. Durum için sonlu elemanlar programı ile stabilite analizi



Şekil 7.11. 1. Durum için sonlu elemanlar programı ile deformasyon vektörleri dağılımı

Çizelge 7.5. Durum için sonlu elemanlar programındaki güvenlik katsayısı tablosu

Yenime Kriteri	Mohr-Coulomb
Güvenlik Katsayısı	0,83

7.7.2. 2. Durum modeli için tasarım basamakları

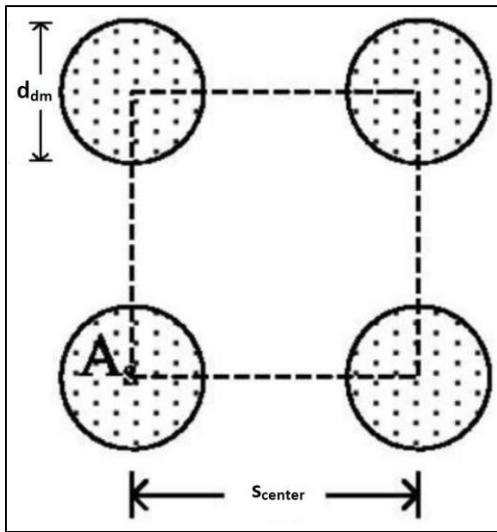
Dolgu tabanının (tepe ve topuk kısımları dâhil) derin karıştırma kolonları ile iyileştirilip dolgu tabanında kolonlardan ve zeminden oluşan kompozit bir zemin tabakasının varlığının kabul edildiği tasarım modelinde stabilite analizi gerçekleştirilmiştir.

Bu model de dolgu tepesinin ve topuklarının altına denk gelen bölgede 0,80 m çaplı $L = 7,63$ m boyunda 1,50 m x 1,50 m karelajlı derin karıştırma kolonları ile iyileştirme yapıldığı öngörülmüştür. Bu iyileştirmeden sonraki kompozit zemin kütlelerinin eşdeğer kohezyon değeri (c_{eq}) Eş. 7.3'e göre hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda kullanılacak parametreler Çizelge 7.6'da verilmiştir.

Çizelge 7.6. 2. Durum için hesaplamalarda kullanılacak parametreler

Kolon çapı	d_{dm}	0,80 m
Kolon yarıçapı	r_{dm}	0,40 m
Kolonlar arası yatay/düşey mesafe	s	1,50 m
Kolonun tek eksenli basınç dayanımı	$q_{dm,spec}$	862,00 kPa
Zeminin kohezyonu	S_{soil}	16,77 kPa

Alan oranını bulmak için gerekli olan parametreler Şekil 7.12'de gösterilmiştir. Ayrıca bu oran Eş. 7.1 kullanılarak bulunmaktadır.



Şekil 7.12. Kolon yerleşimi, kolon çapı ve kolonlar arası mesafe gösterimi

$$a_{s,center} = \frac{\pi d^2}{4 * s_{center}^2} \quad (7.1)$$

$$a_{s,center} = \frac{\pi(0,80)^2}{4 * (1,50)^2} = 0,22$$

Alan oranı bulunduktan sonra kolonun dayanım parametresi Eş. 7.2'ye göre kolonun tek eksenli basınç dayanımının yarısı kabul edilerek dolgu tabanındaki zemin kütlesinin eşdeğer kohezyon değeri Eş. 7.3 kullanılarak hesaplanır.

$$s_{dm} = \frac{q_{dm,spec}}{2} \quad (7.2)$$

$$s_{dm} = \frac{862,00}{2} = 431,00 \text{ kPa}$$

$$c_{eq} = (a_s * s_{dm}) + (1 - a_s) * s_{soil} \quad (7.3)$$

$$c_{eq} = (0,22 * 431) + (1 - 0,22) * 16,77 = 109,31 \text{ kPa}$$

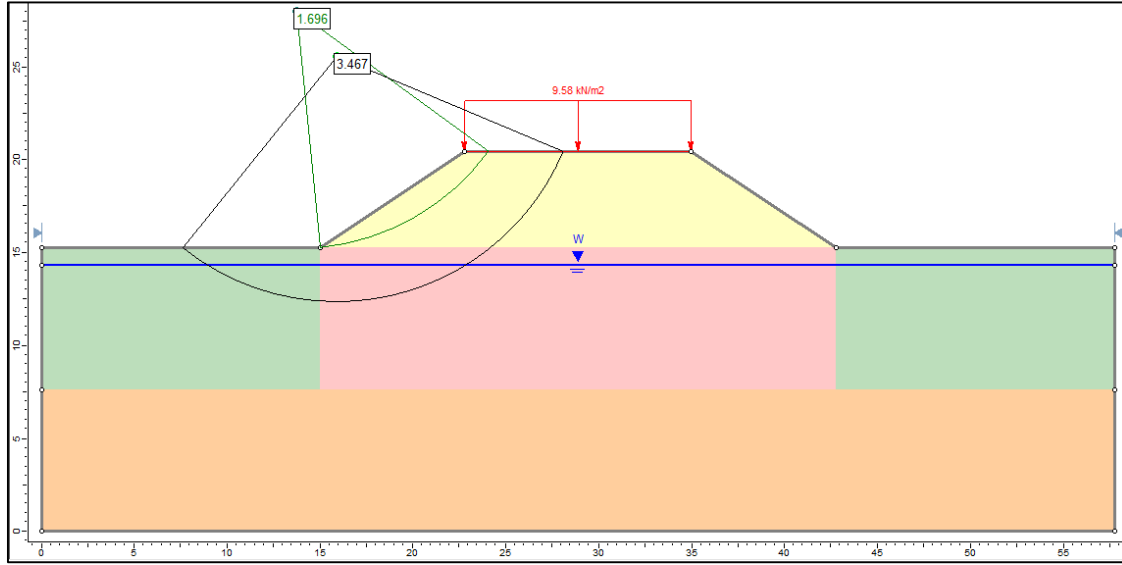
2. Durum için stabilite analizleri

Hesaplamalar sonucu bulunan parametreler programlara girdi olarak tanımlanarak limit denge programı ve sonlu elemanlar programında stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.13'te 2. Durum için limit denge programındaki malzeme tablosu verilmiştir.

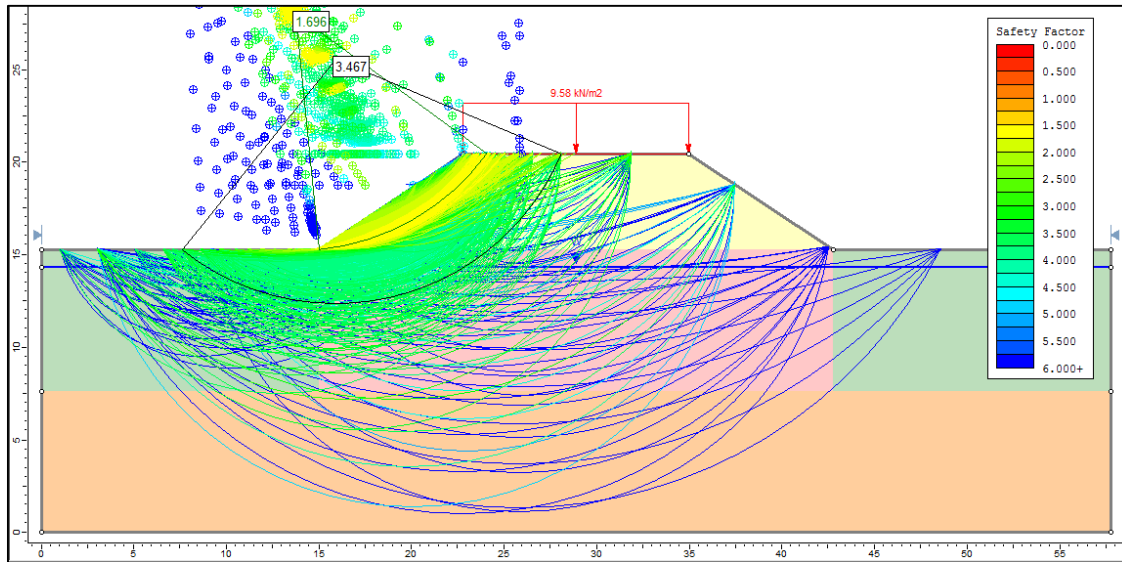
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Cohesion Type	Water Surface
DOLGU		19.63	Mohr-Coulomb	5	35		Water Surface
YUMUSAK KIL		14.13	Undrained	16.77		Constant	None
SIKI KUM		20.41	Mohr-Coulomb	1	37		Water Surface
KOMPOZIT ZEMİN		16	Undrained	109.31		Constant	None

Şekil 7.13. 2. Durum için limit denge programındaki malzeme tablosu

Limit denge programında Bishop Simplified Yöntemi kullanılarak stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. En kritik kayma yüzeyleri Şekil 7.14'te, tüm kayma yüzeyleri ise Şekil 7.15'te gösterilmiştir. Stabilite analizlerine ait sonuç tablosu Çizelge 7.7'de verilmiştir.



Şekil 7.14. 2. Durum için Bishop Simplified Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1

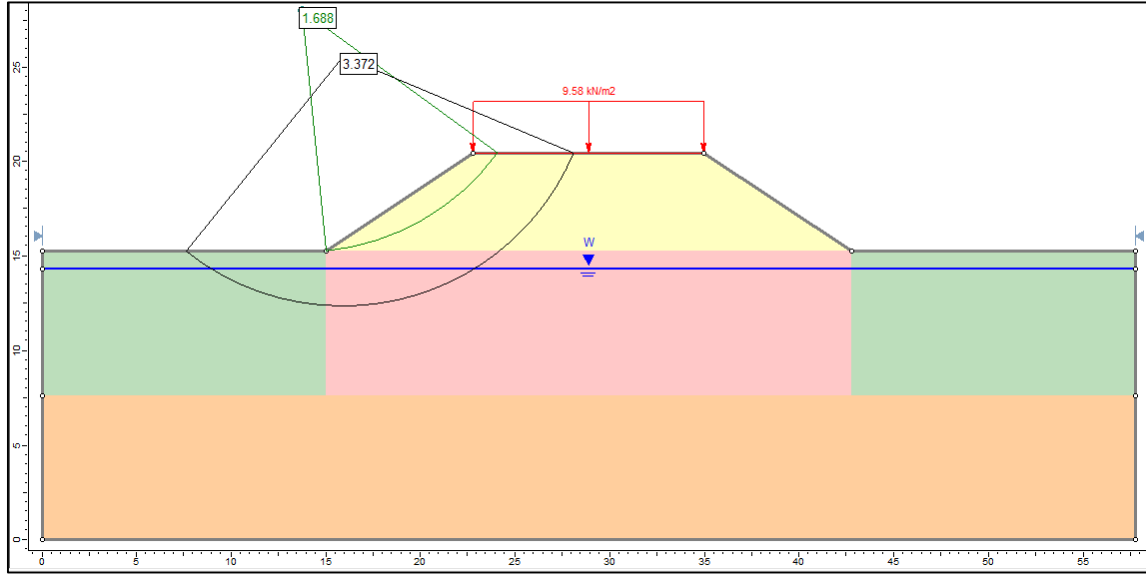


Şekil 7.15. 2. Durum için Bishop Simplified Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2

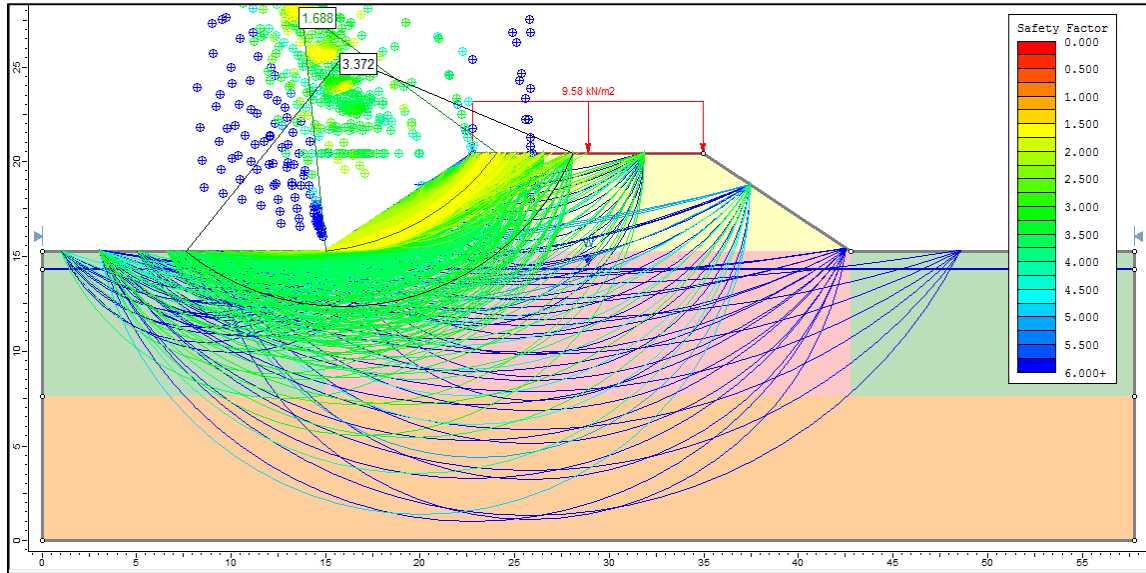
Çizelge 7.7. Durumda Bishop Simplified Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu

Yöntem	Güvenlik Katsayısı	
Bishop Simplified	1,696 (Dolgu İç Stabilitesi)	3,467 (Dolgu Dış Stabilitesi)

Limit denge programında Spencer Yöntemi kullanılarak stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. En kritik kayma yüzeyleri Şekil 7.16'da, tüm kayma yüzeyleri ise Şekil 7.17'de gösterilmiştir. Stabilite analizlerine ait sonuç tablosu Çizelge 7.8'de verilmiştir.



Şekil 7.16. 2. Durum için Spencer Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1

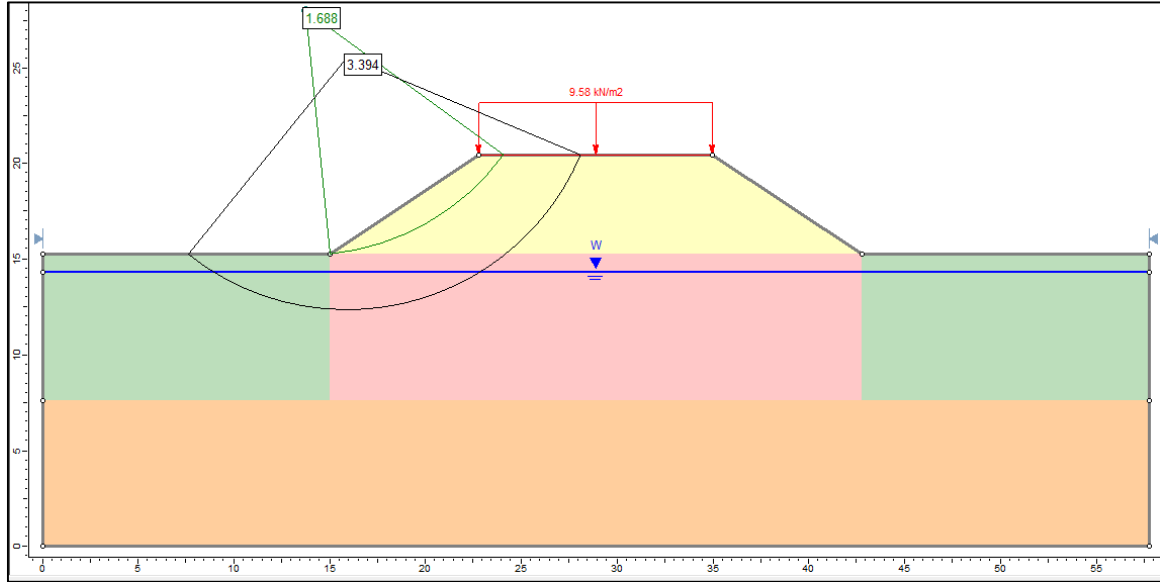


Şekil 7.17. 2. Durum için Spencer Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2

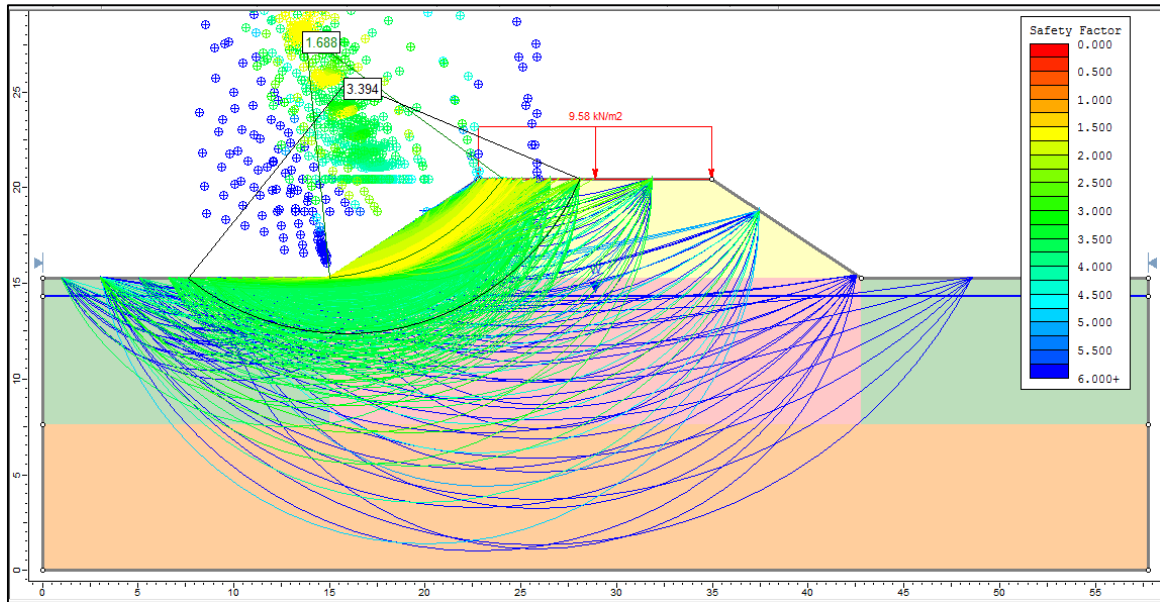
Çizelge 7.8. 2. Durumda Spencer Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu

Yöntem	Güvenlik Katsayısı	
	1,688 (Dolgu İç Stabilitesi)	3,372 (Dolgu Dış Stabilitesi)
Spencer		

Limit denge programında GLE/Morgenstern&Price Yöntemi kullanılarak stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. En kritik kayma yüzeyleri Şekil 7.18’de, tüm kayma yüzeyleri ise Şekil 7.19’da gösterilmiştir. Stabilite analizlerine ait sonuç tablosu Çizelge 7.9’da verilmiştir.



Şekil 7.18. 2. Durum için GLE/Morgenstern&Price Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1



Şekil 7.19. 2. Durum için GLE/Morgenstern&Price Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2

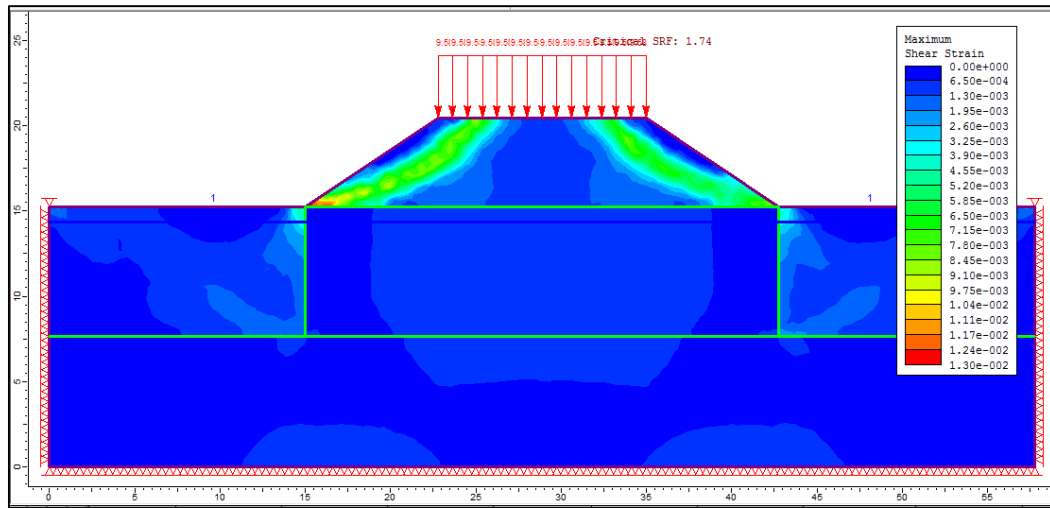
Çizelge 7.9. 2. Durumda Morgenstern&Price Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu

Yöntem	Güvenlik Katsayısı	
GLE/Morgenstern-Price	1,688 (Dolgu İç Stabilitesi)	3,394 (Dolgu Dış Stabilitesi)

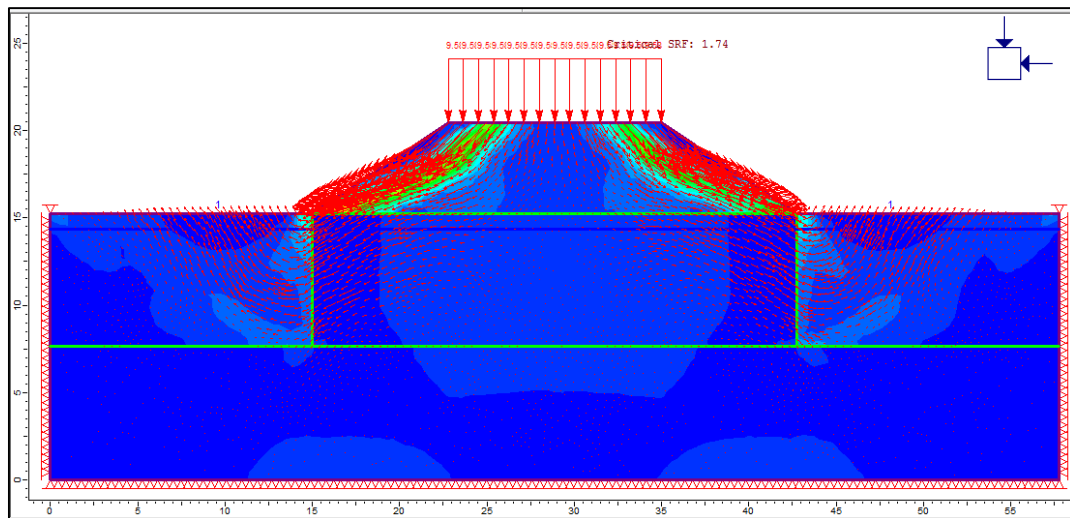
Sonlu elemanlar programında da dolgu şevi için stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.20’de malzeme tablosu verilmiştir. Stabilite analizi Şekil 7.21’de, deformasyon vektörleri dağılımı ise Şekil 7.22’de gösterilmiştir.

Material Name	Color	Initial Element Loading	Unit Weight (kN/m ³)	Elastic Type	Young's Modulus (kPa)	Poisson's Ratio	Failure Criterion	Material Type	Tensile Strength (kPa)	Dilation Angle (deg)	Friction Angle (peak) (deg)	Friction Angle (residual) (deg)	Cohesion (peak) (kPa)	Cohesion (residual) (kPa)
DOLGU	□	Field Stress and Body Force	19.63	Isotropic	50000	0.4	Mohr Coulomb	Plastic	5	0	35	35	5	5
YUMUSAK KIL	□	Field Stress and Body Force	14.13	Isotropic	50000	0.4	Mohr Coulomb	Plastic	16.77	0	0	0	16.77	16.77
SIKI KUM	□	Field Stress and Body Force	20.41	Isotropic	50000	0.4	Mohr Coulomb	Plastic	1	0	37	37	1	1
KOMPOZIT ZEMİN	□	Field Stress and Body Force	16	Isotropic	50000	0.4	Mohr Coulomb	Plastic	109.31	0	0	0	109.31	109.31

Şekil 7.20. 2. Durum için sonlu elemanlar programındaki malzeme tablosu



Şekil 7.21. 2. Durum için sonlu elemanlar programı ile stabilite analizi



Şekil 7.22. 2. Durum için sonlu elemanlar programı ile deformasyon vektörleri dağılımı

Sonlu elemanlar programında gerçekleştirilen stabilite analizine ait sonuç tablolası Çizelge 7.10’da verilmiştir.

Çizelge 7.10. 2. Durum için sonlu elemanlar programındaki güvenlik katsayısı tablosu

Yenime Kriteri	Mohr-Coulomb
Güvenlik Katsayısı	1,74

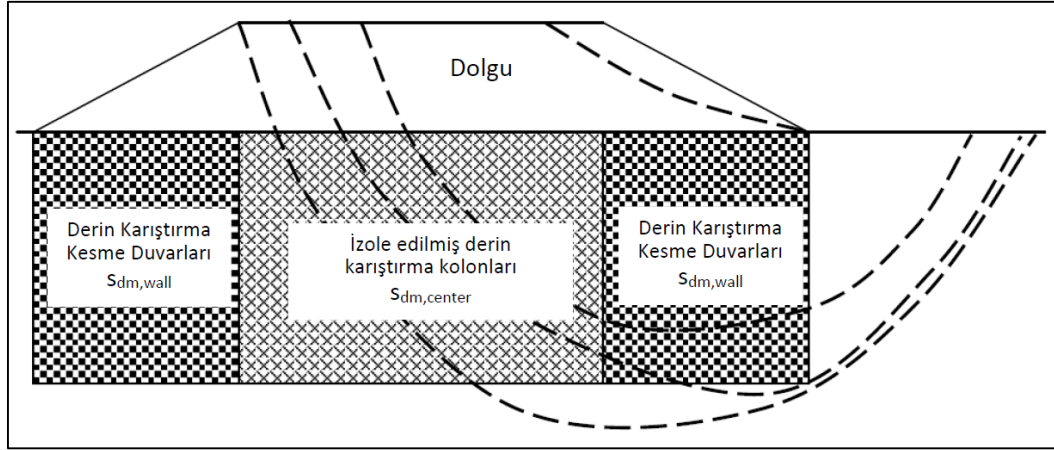
7.7.3. 3. Durum modeli için tasarım basamakları

Dolgu tabanında dolgu tepesinin altına denk gelen kısmının derin karıştırma kolonları ile dolgu topuk bölgelerinin altına denk gelen kısımların derin karıştırma kesme duvarları ile iyileştirildiği durumda stabilite analizi gerçekleştirilmiştir.

Bu model de dolgu tepesinin alt kısmına kısımda 0,80 m çaplı $L = 7,63$ m boyunda 1,50 m x 1,50 m karelağlı derin karıştırma kolonları ile iyileştirme yapıldığı öngörülmüştür. Topuk bölgelerinin alt kısmına denk gelen kısımlarda ise derin karıştırma kesme duvarları ile iyileştirme yapıldığı öngörülmüştür. Bu iyileştirmeden sonraki durumda dolgu tepesi altına denk gelen mevcut izole edilmiş derin karıştırma kolonlarının kompozit dayanım parametresi ($s_{dm,center}$) Federal Highway Administration Design Manual: Deep Mixing for Embankment And Foundation Support (2013)’e belirtildiği üzere Eş. 7.4’e göre hesaplanmıştır. Topuk bölgelerinin altına denk gelen kesme duvarlarının kompozit dayanım parametreleri de yine Federal Highway Administration Design Manual: Deep Mixing for Embankment and Foundation Support (2013)’te belirtildiği üzere Eş. 7.5’e göre hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda kullanılacak parametreler Çizelge 7.11’de verilmiştir. Tasarım modeli örnekleme Şekil 7.23’te gösterilmiştir.

Çizelge 7.11. 3. Durum için hesaplamalarda kullanılacak parametreler

Kolon çapı	d_{dm}	0,80 m
Kolon yarıçapı	r_{dm}	0,40 m
Kolonlar arası yatay/düşey mesafe	s_{center}	1,50 m
Tekil kolonlar için limit kesme dayanımı *sadece $s_{dm,center}$ hesabı için	s_{dm}	71,82 kPa
Kolonun tek eksenli basınç dayanımı	$q_{dm,spec}$	862,00 kPa
Zeminin kohezyonu	s_{soil}	16,77 kPa
Duvarlar arası mesafe	s_{shear}	2,00 m
Bindirme miktarı-kolon çapı oranı	e/d	0,3



Şekil 7.23. Potansiyel kayma yüzeyleri ve kompozit kayma dayanımı (FHWA, 2013)

Alan oranı Eş. 7.4 kullanılarak bulunur.

$$a_{s,center} = \frac{\pi d^2}{4 * s_{center}^2} \quad (7.4)$$

$$a_{s,center} = \frac{\pi(0,80)^2}{4 * (1,50)^2} = 0,22$$

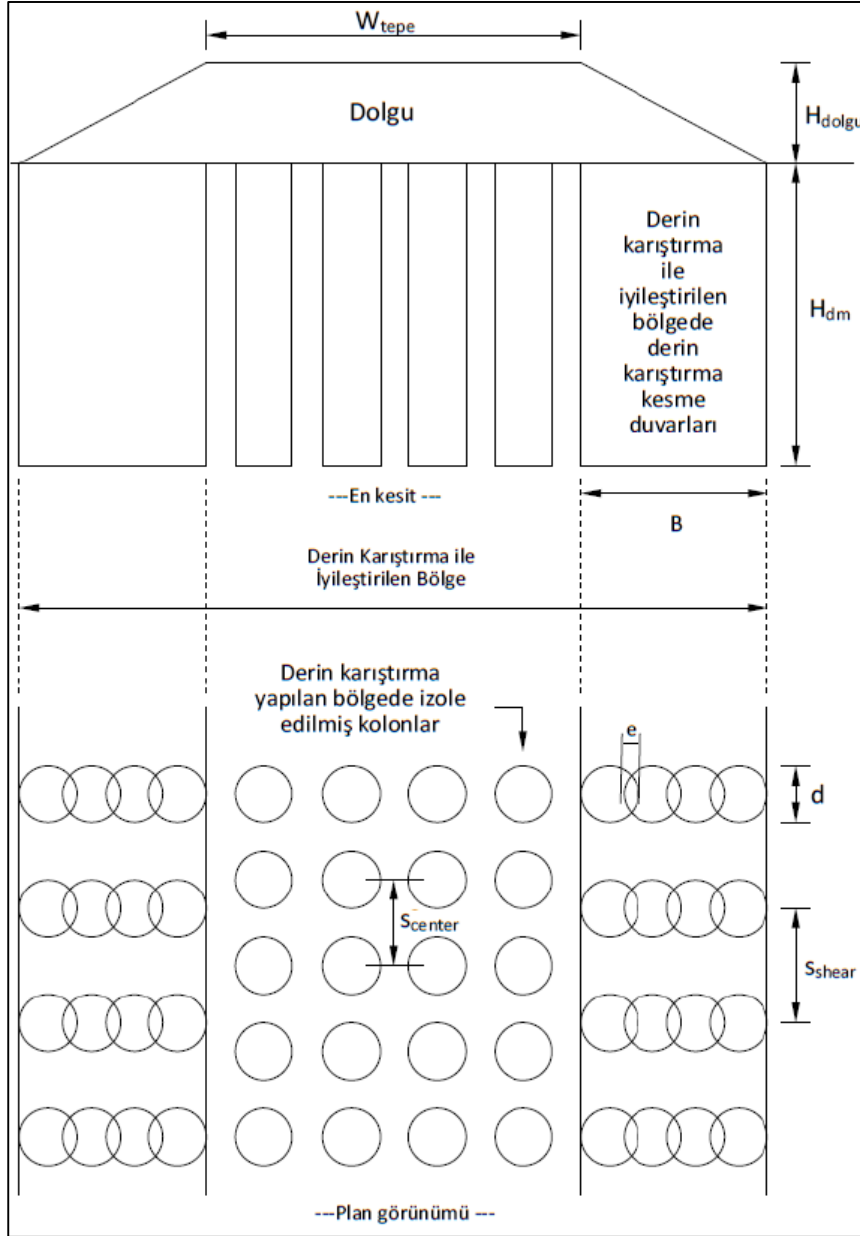
Alan oranı bulunduğundan sonra izole edilmiş derin karıştırma kolonlarının kompozit dayanım parametresi ($s_{dm,center}$) Eş. 7.5'e göre bulunurken FHWA'da (2013) kademeli yenilme (progressive failure) durumunu da göz önüne alarak kolonun dayanım değerini 71,82 kPa ile sınırlı tutmuştur.

$$s_{dm,center} = \max\{a_{s,center} * (71,82 \text{ kPa}) + (1 - a_{s,center}) * s_{soil} \geq s_{soil}\} \quad (7.5)$$

$$s_{dm,center} = \max\{0,22 * (71,82 \text{ kPa}) + (1 - 0,22) * 16,77 \geq 16,77\}$$

$$s_{dm,center} = 29,07 \text{ kPa}$$

Kesme duvarlarının dayanım parametresi bulunurken gerekli olan parametreler Şekil 7.24'teki örnek çizimde gösterilmiştir. Örnek tasarım için hesaplamalarda kullanılacak parametreler Çizelge 7.11'de verilmiştir.



Şekil 7.24. Derin karıştırma yöntemi ile tipik kolon düzenlemesi örneği (FHWA, 2013)

Kesme duvarlarının dayanımı hesaplanırken Eş. 7.6 kullanılır.

$$S_{dm,wall} = f_v * a_{s,shear} * S_{dm} \quad (7.6)$$

Öncelikle FHWA'ya (2013) göre s_{dm} değeri hesaplanmalıdır. Eş. 7.7'e göre bu değeri hesaplamak için gerekli olan parametrelerin bulunması adım adım şöyledir:

$$s_{dm} = \frac{1}{2} * f_r * f_c \quad (7.7)$$

- 1) 28 günlük kolon dayanımının yumuşak kilde 517 kPa ile 1034 kPa arasında tipik değerlerde olduğu kabul edilir. FHWA'ya (2013) göre bu değer örnek tasarım için 862 kPa olarak kabul edilir.
- 2) Derin karıştırma uygulaması ve önerilen dolgu yüksekliğinin yüzde 75'inin tamamlanma süresi olan tahmini t 'yi kullanılarak Eş. 7.8'e göre f_c değeri hesaplanır. Bu örnek için t , 60 güne eşittir. Bu süre, dolgu yüksekliğinin, karıştırma işleminden yaklaşık 60 gün öncesine kadar yaklaşık 4 m'nin üstünde olmayacağı anlamına gelmektedir. Çünkü betonun 28 günlük dayanımı doğrulanana kadar önemli miktarda dolgu imalatı gerçekleştirilemez.

$$f_c = 0,187 \ln t + 0,375 \quad (7.8)$$

$$f_c = 0,187 \ln t + 0,375 = 1,14$$

- 3) FHWA'ya (2013) göre f_r değeri bu örnek için 0,80 kabul edilir.

Bu üç adımdaki veriler kullanılarak Eş. 7.6'ya göre s_{dm} değeri 393,29 kPa olarak hesaplanır.

$$s_{dm} = \frac{1}{2} * 0,80 * 1,1406 * 862 \text{ kPa} = 393,29 \text{ kPa}$$

- 4) FHWA'da (2013) verilen f_v tablosundan f_v değerinin belirlenir. Bu örnek için FHWA'da (2013) belirtildiği üzere tasarım mühendisinin arazi hakkında bilgisinin sınırlı olduğu, verilerin yetersiz olduğu en kötü durum koşulları düşünülerek tahmini V_{dm} değeri 0,60 ve tahmini p_{dm} değeri yüzde 70 olarak kabul edilmiştir. Bu değerlere dayanarak, şev stabilite analizleri için f_v değeri Şekil 7.25'ten de görüleceği üzere 0,63'e eşittir.

Güvenlik Katsayısı	Derin Karıştırılmış Bölge için Mukavemet Değişim Katsayısı	f_v		
		$P_{dm} 70\%$	$P_{dm} 80\%$	$P_{dm} 90\%$
1.2	0.4	0.93	1.05	1.25
	0.5	0.88	1.02	1.26
	0.6	0.83	0.99	1.27
1.3	0.4	0.89	1.01	1.19
	0.5	0.82	0.95	1.17
	0.6	0.75	0.90	1.15
1.4	0.4	0.85	0.97	1.14
	0.5	0.76	0.89	1.09
	0.6	0.69	0.82	1.05
1.5	0.4	0.82	0.93	1.10
	0.5	0.72	0.83	1.03
	0.6	0.63	0.75	0.96
1.6	0.4	0.79	0.90	1.06
	0.5	0.68	0.79	0.97
	0.6	0.58	0.69	0.89

Not: p_{dm} = Gerçek derin karıştırılmış bölgenin dayanımının belirtilen derin karıştırılmış bölgenin dayanımını aşması olasılığıdır.

Şekil 7.25. f_v tablosu (FHWA, 2013)

5) FHWA'ya (2013) göre bu adımda $a_{s,shear}$ değeri hesaplanmalıdır. Bu değer Eş. 7.9 ile hesaplanır.

$$a_{s,shear} = \frac{\pi d (1 - a_e)}{4s_{shear} (1 - \frac{e}{d})} \quad (7.9)$$

$a_{s,shear}$ değerinin hesaplanması için gerekli olan parametrelerin elde edilmesi adım adım şöyle sıralanabilir:

- 1) e/d oranı belirlenir. Burada e kesme duvarlarında tasarlanan keşisen kolonların bindirme miktarıdır. D ise kolon çapıdır. Bu örnek için e/d oranı 0,30 olarak belirlenmiştir.
- 2) s_{shear} keşisen kolonlarla oluşturulan kesme duvarları arasındaki yatay mesafedir. Bu değer bu örnek için 2,00 m olarak belirlenmiştir.
- 3) a_e değeri ise Şekil 7.26'da gösterilen tablodan bulunur.

e/d	β (radians)	c/d	a_e
0	0.000	0.000	0.000
0.1	0.902	0.436	0.037
0.2	1.287	0.600	0.104
0.3	1.591	0.714	0.188
0.4	1.855	0.800	0.285
0.5	2.094	0.866	0.391

Şekil 7.26. Belirlenen e/d oranı için β , c/d ve a_e değerleri tablosu (FHWA, 2013)

Hesap adımları takip edilerek bulunan tüm bu değerler kullanılarak $a_{s, \text{shear}}$ değeri 0,36 olarak hesaplanmıştır.

$$a_{s, \text{shear}} = \frac{\pi * 0,80 * (1 - 0,188)}{4 * 2 * (1 - 0,30)} = 0,36$$

Kesme duvarının dayanım parametresini hesaplamak için bütün parametreler elde edildikten sonra bu değer Eş. 7.6'ya göre 90,29 kPa olarak hesaplanır.

$$s_{dm, \text{wall}} = 0,63 * 0,36 * 393,29 = 90,29 \text{ kPa}$$

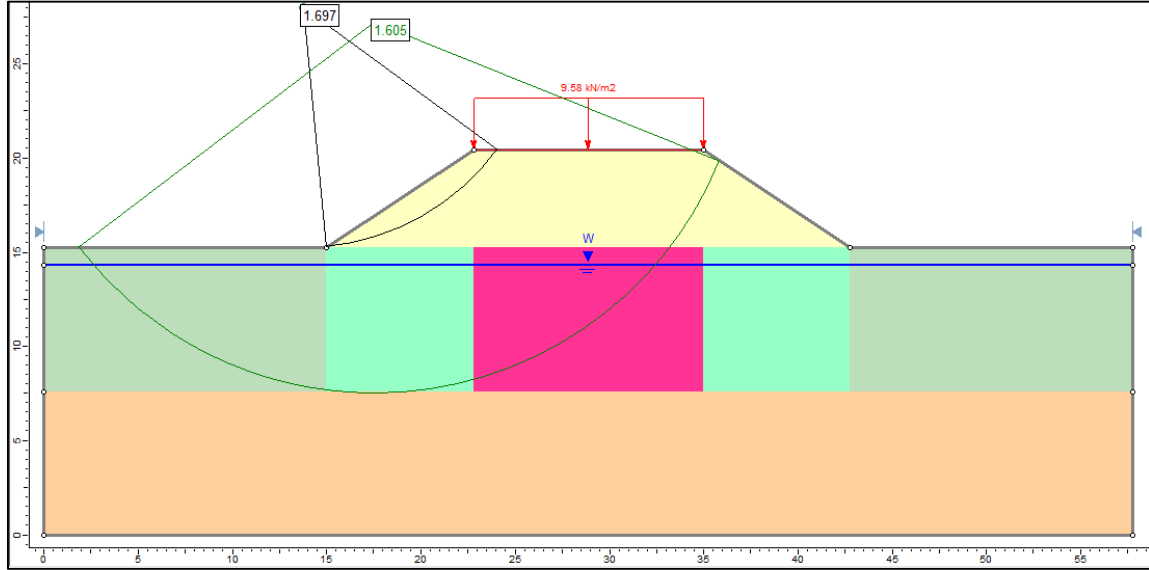
3. Durum için stabilite analizleri

Bulunan parametreler programlara girdi olarak tanımlanarak limit denge programı ve sonlu elemanlar programında stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.27'de 3. Durum için limit denge programındaki malzeme tablosu verilmiştir.

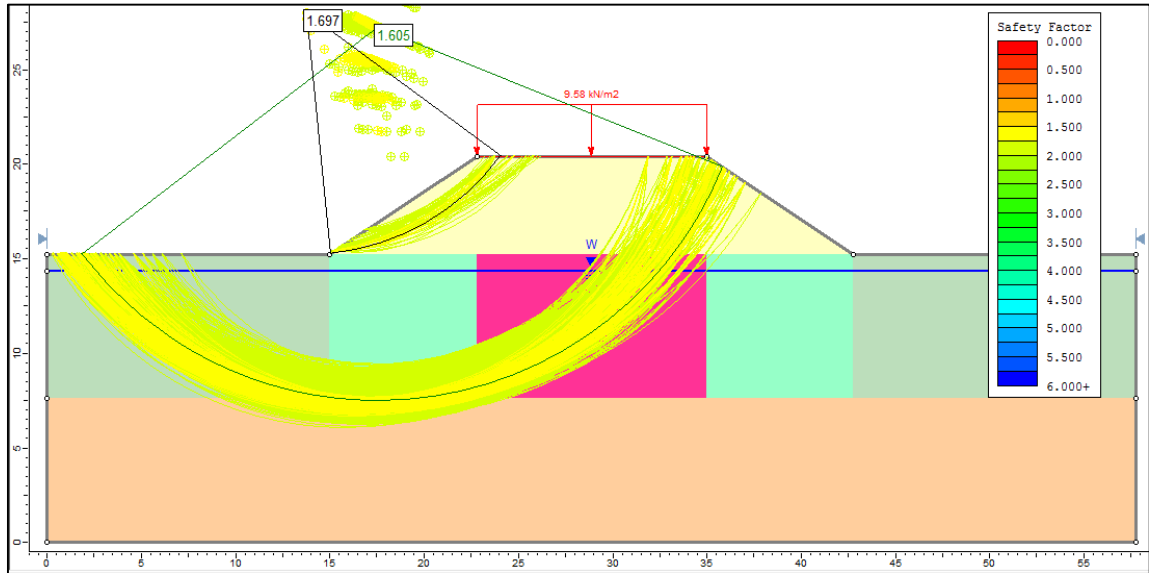
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Cohesion Type	Water Surface
DOLGU		19.63	Mohr-Coulomb	5	35		Water Surface
YUMUSAK KIL		14.13	Undrained	16.77		Constant	None
SIKI KUM		20.41	Mohr-Coulomb	1	37		Water Surface
KESME DUvari		16	Undrained	90.2943		Constant	None
KOMPOZIT ZEMİN (FHWA)		16	Undrained	29.07		Constant	None

Şekil 7.27. 3. Durum için limit denge programındaki malzeme tablosu

Limit denge programında Bishop Simplified Yöntemi kullanılarak stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. En kritik kayma yüzeyleri Şekil 7.28’de, tüm kayma yüzeyleri ise Şekil 7.29’de gösterilmiştir. Stabilite analizlerine ait sonuç tablosu Çizelge 7.12’de verilmiştir.



Şekil 7.28. 3. Durum için Bishop Simplified Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1

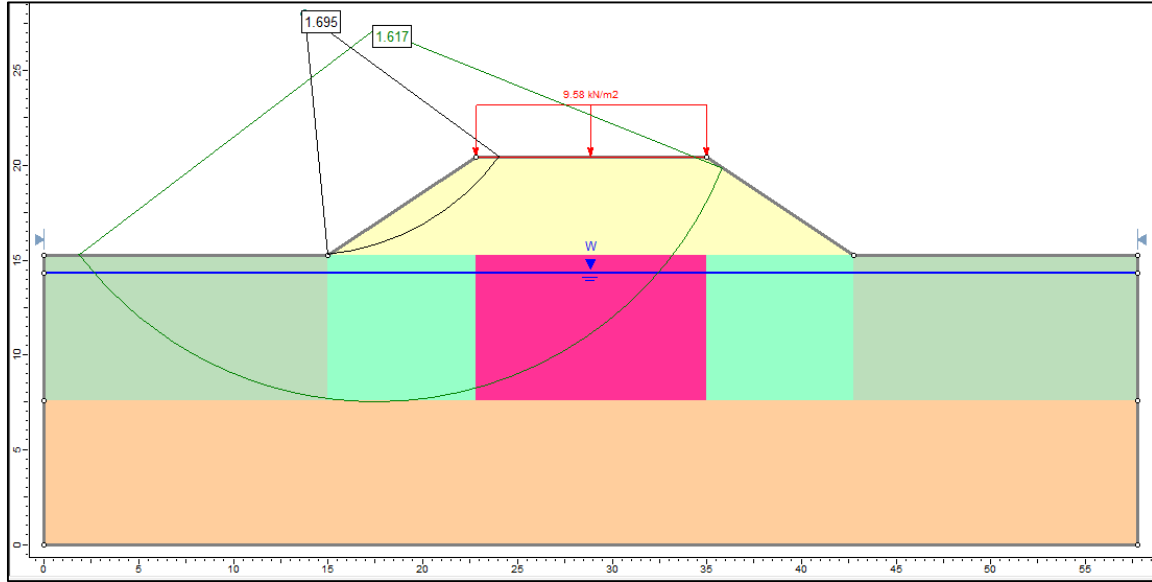


Şekil 7.29. 3. Durum için Bishop Simplified Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2

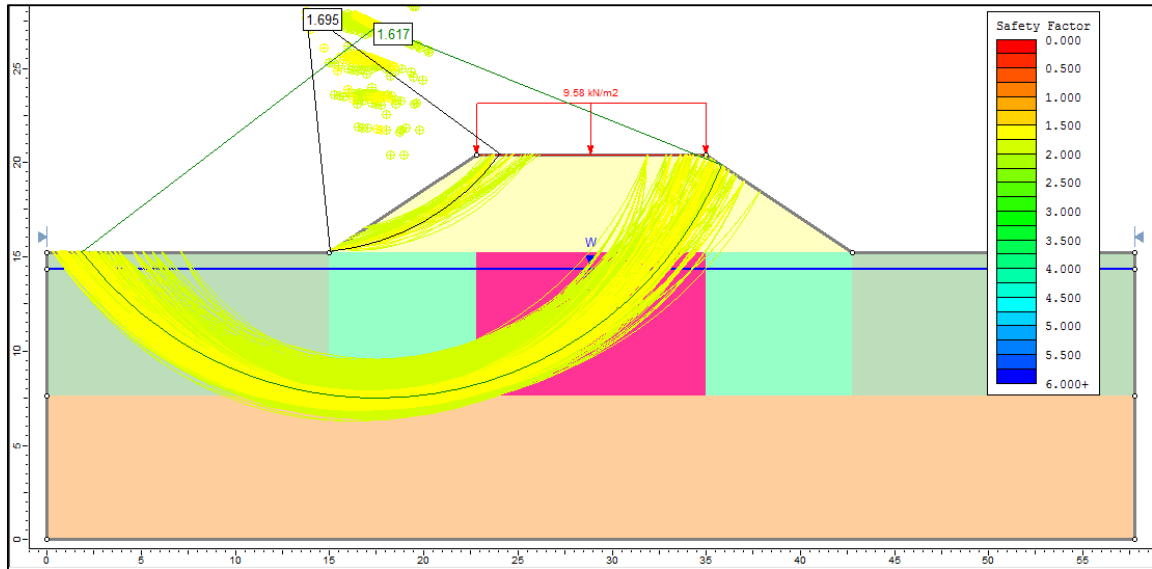
Çizelge 7.12. 3. Durumda Bishop Simplified Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu

Yöntem	Güvenlik Katsayısı	
Bishop Simplified	1,697 (Dolgu İç Stabilitesi)	1,605 (Dolgu Dış Stabilitesi)

Limit denge programında Spencer Yöntemi kullanılarak stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. En kritik kayma yüzeyleri Şekil 7.30'da, tüm kayma yüzeyleri ise Şekil 7.31'de gösterilmiştir. Stabilite analizlerine ait sonuç tablosu Çizelge 7.13'te verilmiştir.



Şekil 7.30. 3. Durum için Spencer Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1

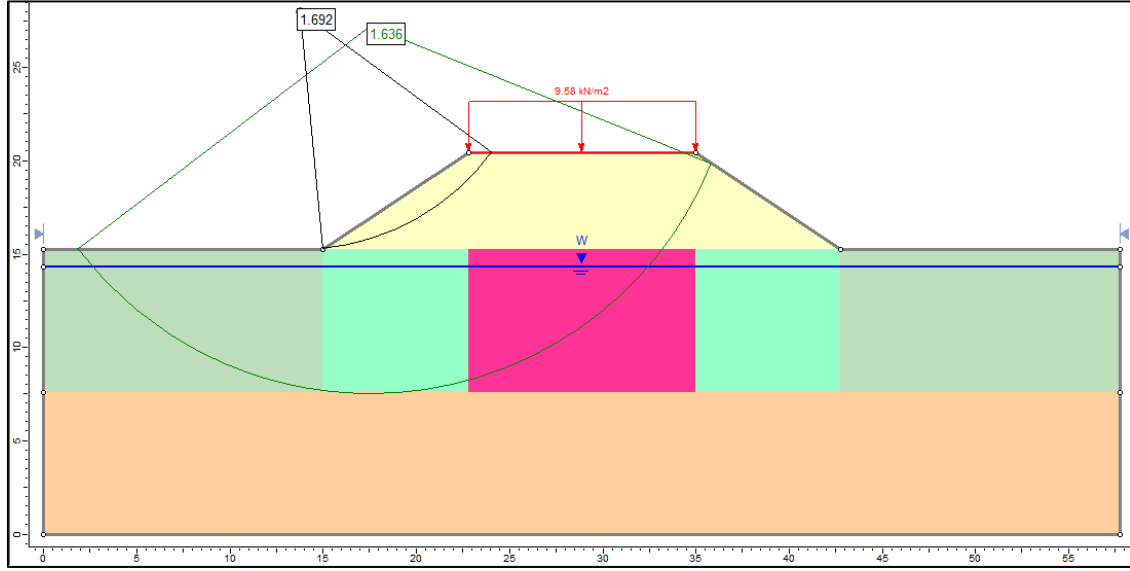


Şekil 7.31. 3. Durum için Spencer Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2

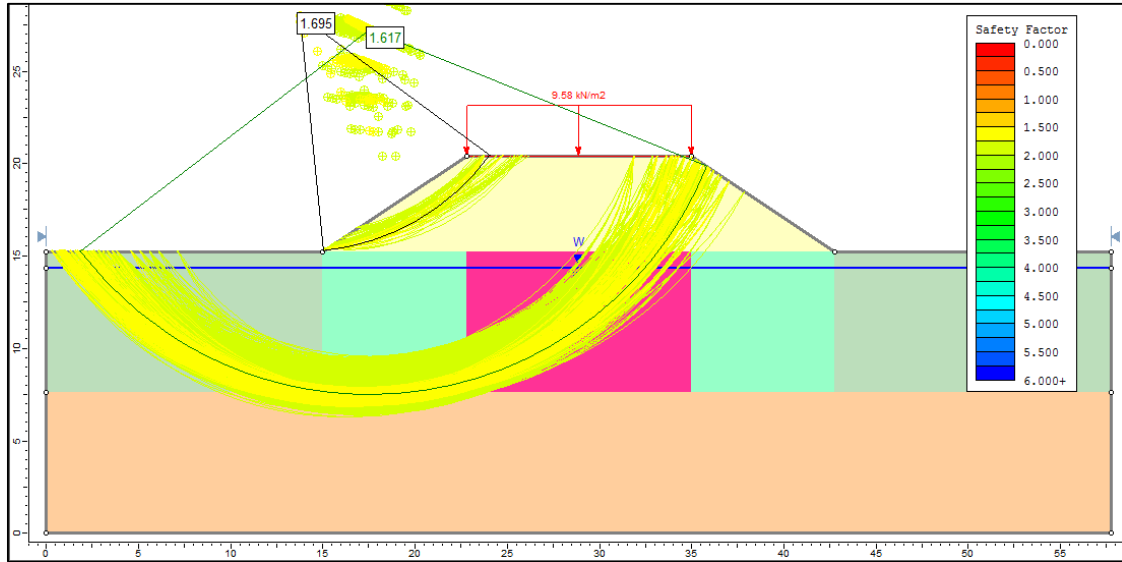
Çizelge 7.13. 3. Durumda için Spencer Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu

Yöntem	Güvenlik Katsayısı	
Spencer	1,695 (Dolgu İç Stabilitesi)	1,617 (Dolgu Dış Stabilitesi)

Limit denge programında GLE/Morgenstern&Price Yöntemi kullanılarak stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. En kritik kayma yüzeyleri Şekil 7.32’de, tüm kayma yüzeyleri Şekil 7.33’de gösterilmiştir. Stabilite analizlerine ait sonuç tablosu Çizelge 7.14’te verilmiştir.



Şekil 7.32. 3. Durum için GLE/Morgenstern&Price Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1



Şekil 7.33. 3. Durum için GLE/Morgenstern&Price Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2

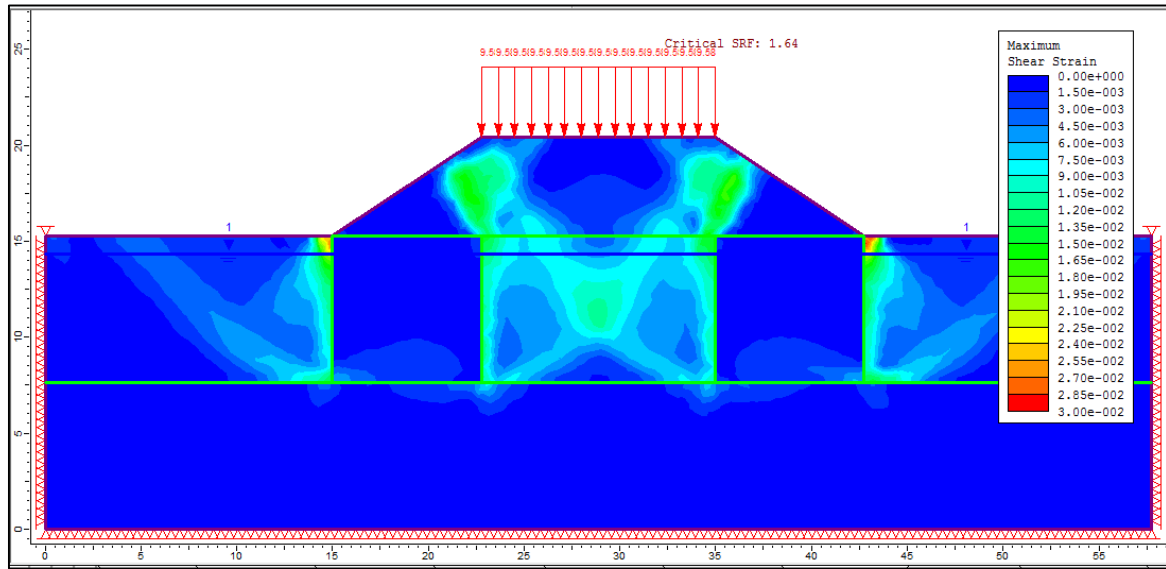
Çizelge 7.14. 3. Durumda Morgenstern&Price Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu

Yöntem	Güvenlik Katsayısı	
GLE/Morgenstern-Price	1,692 (Dolgu İç Stabilitesi)	1,636 (Dolgu Dış Stabilitesi)

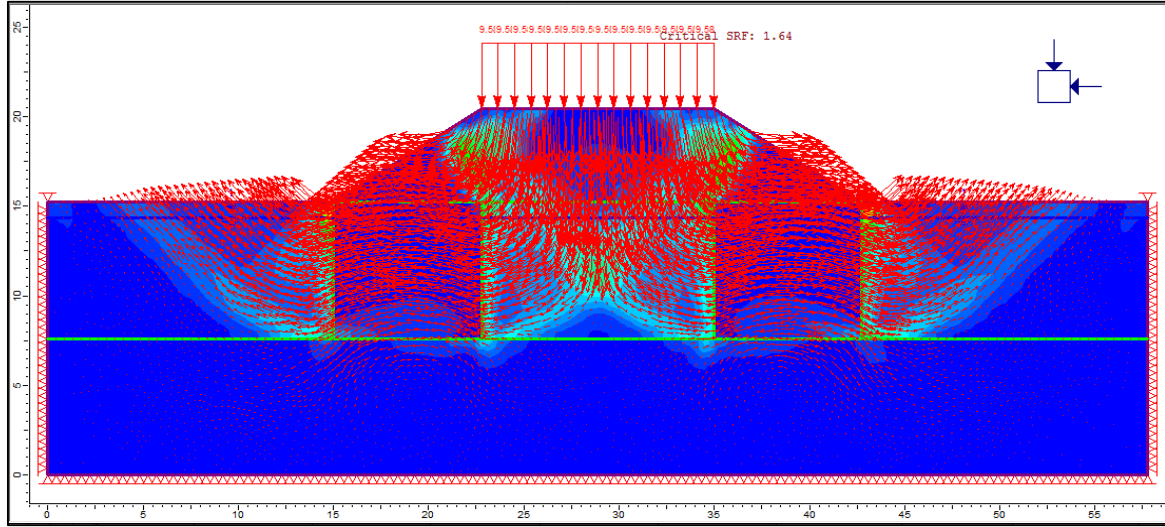
Sonlu elemanlar programında da dolgu sevi için stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.34'te malzeme tablosu verilmiştir. Stabilite analizi Şekil 7.35'de, deformasyon vektörleri dağılımı ise Şekil 7.36'da gösterilmiştir.

Material Name	Color	Initial Element Loading	Unit Weight (kN/m ³)	Elastic Type	Young's Modulus (kPa)	Poisson's Ratio	Failure Criterion	Material Type	Tensile Strength (kPa)	Dilation Angle (deg)	Friction Angle (deg)	Friction Angle (residual) (deg)	Cohesion (peak) (kPa)	Cohesion (residual) (kPa)
DOLGU	□	Field Stress and Body Force	19.63	Isotropic	50000	0.4	Mohr Coulomb	Plastic	5	0	35	35	5	5
YUMUSAK KIL	□	Field Stress and Body Force	14.13	Isotropic	50000	0.4	Mohr Coulomb	Plastic	16.77	0	0	0	16.77	16.77
SIKI KUM	□	Field Stress and Body Force	20.41	Isotropic	50000	0.4	Mohr Coulomb	Plastic	1	0	37	37	1	1
KESME DUVARI	□	Field Stress and Body Force	16	Isotropic	50000	0.4	Mohr Coulomb	Plastic	90.2943	0	0	0	90.2943	90.2943
KOMPOZIT ZEMİN (FHWA)	■	Field Stress and Body Force	16	Isotropic	50000	0.4	Mohr Coulomb	Plastic	29.07	0	0	0	29.07	29.07

Şekil 7.34. 3. Durum için sonlu elemanlar programındaki malzeme tablosu



Şekil 7.35. 3. Durum için sonlu elemanlar programı ile stabilite analizi



Şekil 7.36. 3. Durum için sonlu elemanlar programı ile deformasyon vektörleri dağılımı

Sonlu elemanlar programında gerçekleştirilen stabilite analizine ait sonuç tablolasu Çizelge 7.15’te verilmiştir.

Çizelge 7.15. 3. Durum için sonlu elemanlar programındaki güvenlik katsayısı tablosu

Yenilme Kriteri	Mohr-Coulomb
Güvenlik Katsayısı	1,64

7.7.4. 4. Durum modeli için için tasarım basamakları

Dolgu tabanının dolgu tepesinin ve topuk bölgelerinin altına denk gelen kısmın komple derin karıştırma tekil kolonları iyileştirildiği durumda stabilite analizi gerçekleştirilmiştir.

Bu model de dolgu tepesinin ve topuk bölgelerinin alt kısmına denk gelen bölge 0,80 m çaplı $L=7,63$ m boyunda 1,50 m x 1,50 m kareli derin karıştırma tekil kolonları ile iyileştirme yapıldığı öngörülmüştür. Bu iyileştirmeden sonraki durumda dolgu tepesi ve topuklarının altına denk gelen derin karıştırma tekil kolonlarının alan oranı “ $a_{s,singledm}$ ”, tekil kolonların dayanımı “ $S_{dm,single}$ ”, mevcut zeminin kohezyon değeri ise “ s_{soil} ” olarak simgelenmiştir. Bu hesaplamalarda kullanılacak parametreler Çizelge 7.16’da verilmiştir.

Çizelge 7.16. 4.Durum için hesaplamalarda kullanılacak parametreler

Kolon çapı	d_{dm}	0,80 m
Kolon yarıçapı	r_{dm}	0,40 m
Kolonlar arası yatay/düşey mesafe	s	1,50 m
Kolonun tek eksenli basınç dayanımı	$q_{dm,spec}$	862,00 kPa
Zeminin kohezyonu	S_{soil}	16,77 kPa

Bu durumda dolgu tabanında yatay düzlemde tekil kolonların sıra duvarlar oluşturduğu kabul edildiği için alan oranı 2. Durumdan farklı formülize edilmiştir. Alan oranı Eş. 7.10 kullanılarak bulunur.

$$a_{s,singledm} = \frac{\pi r^2}{s * d} \quad (7.10)$$

$$a_{s,singledm} = \frac{\pi(0,40)^2}{1,50 * 0,80} = 0,42$$

Alan oranı bulunduktan sonra kolonun tek eksenli basınç dayanımının yarısı kolonun dayanım parametresi kabul edilerek dolgu tabanındaki tekil kolonların dayanım parametresi (kohezyon değeri) Eş. 7.11 kullanılarak hesaplanır.

$$s_{dm,single} = (a_{s,sdm} * s_{dm}) + (1 - a_{s,sdm}) * S_{soil} \quad (7.11)$$

$$s_{dm,single} = (0,42 * 431,00) + (1 - 0,42) * 16,77 = 190,28 \text{ kPa}$$

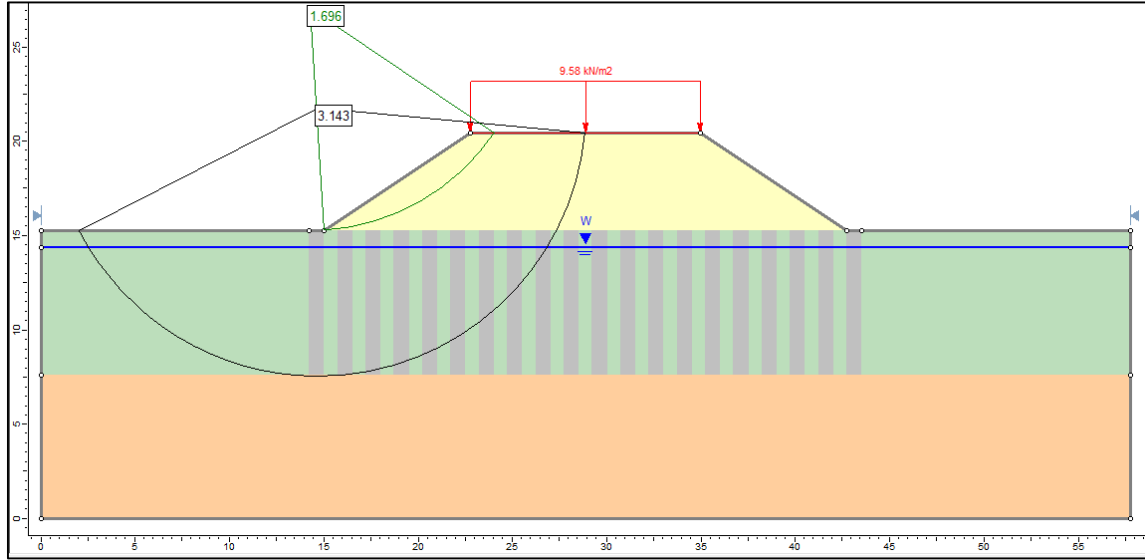
4. Durum için stabilite analizleri

Bulunan parametreler programlara girdi olarak tanımlanarak limit denge programı ve sonlu elemanlar programında stabilite analizleri gerçekleştirilir. Şekil 7.37’de 4. Durum için limit denge programındaki malzeme tablosu verilmiştir.

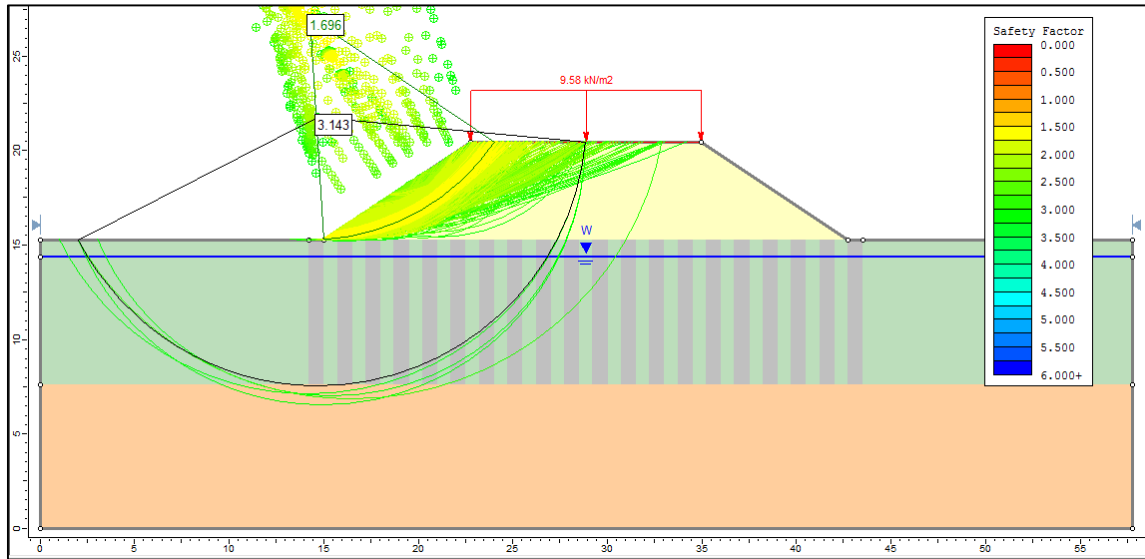
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	Cohesion Type	Water Surface
DOLGU		19.63	Mohr-Coulomb	5	35		Water Surface
YUMUSAK KİL		14.13	Undrained	16.77		Constant	None
SIKI KUM		20.41	Mohr-Coulomb	1	37		Water Surface
DERİN KARISTIRMA TEKİL KOLON		16	Undrained	190.28		Constant	None

Şekil 7.37. 4. Durum için limit denge programındaki malzeme tablosu

Limit denge programında Bishop Simplified Yöntemi kullanılarak stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. En kritik kayma yüzeyleri Şekil 7.38’de, tüm kayma yüzeyleri ise Şekil 7.39’da gösterilmiştir. Stabilite analizlerine ait sonuç tablosu Çizelge 7.17’de verilmiştir.



Şekil 7.38. 4. Durum için Bishop Simplified Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1

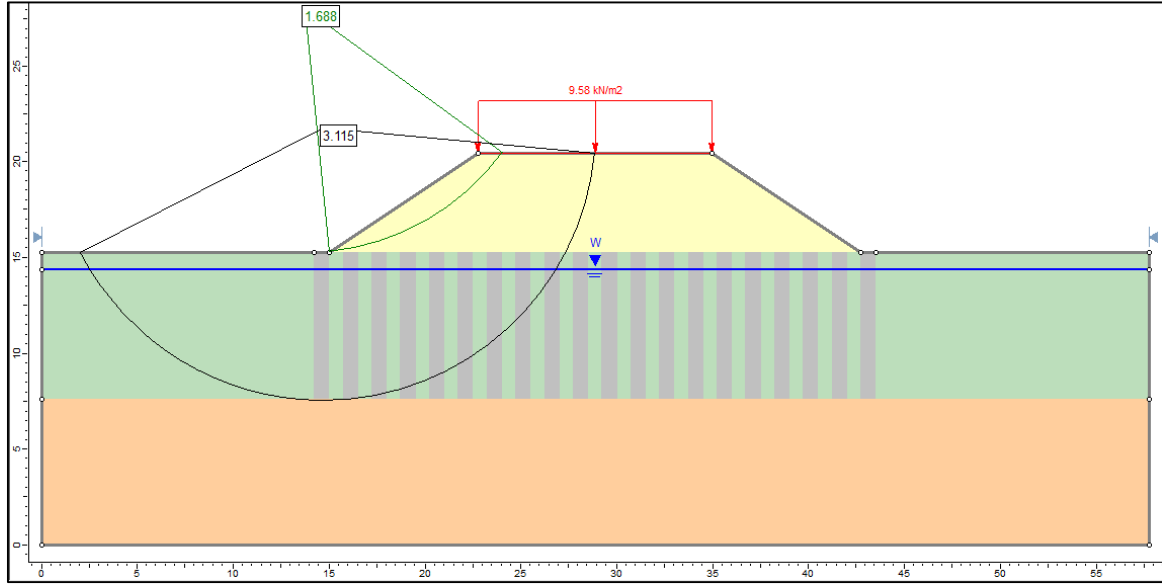


Şekil 7.39. 4. Durum için Bishop Simplified Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2

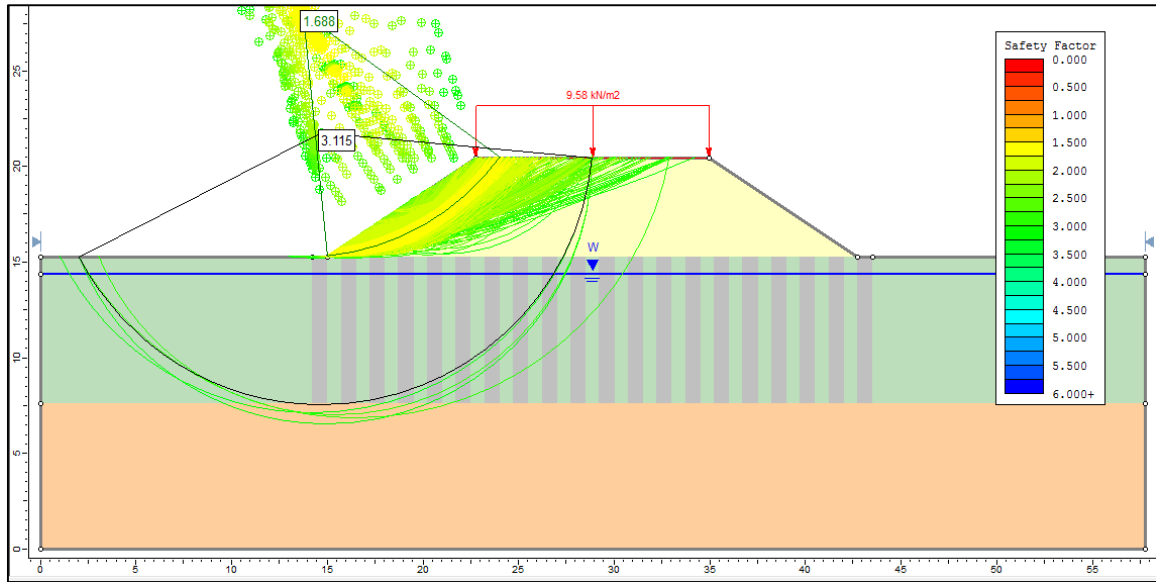
Çizelge 7.17. 4. Durumda Bishop Simplified Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu

Yöntem	Güvenlik Katsayısı	
Bishop Simplified	1,696 (Dolgu İç Stabilitesi)	3,143 (Dolgu Dış Stabilitesi)

Limit denge programında Spencer Simplified Yöntemi kullanılarak stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. En kritik kayma yüzeyleri Şekil 7.40'ta, tüm kayma yüzeyleri Şekil 7.41'de gösterilmiştir. Stabilite analizlerine ait sonuç tablosu Çizelge 7.18'de verilmiştir.



Şekil 7.40. 4. Durum için Spencer Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1

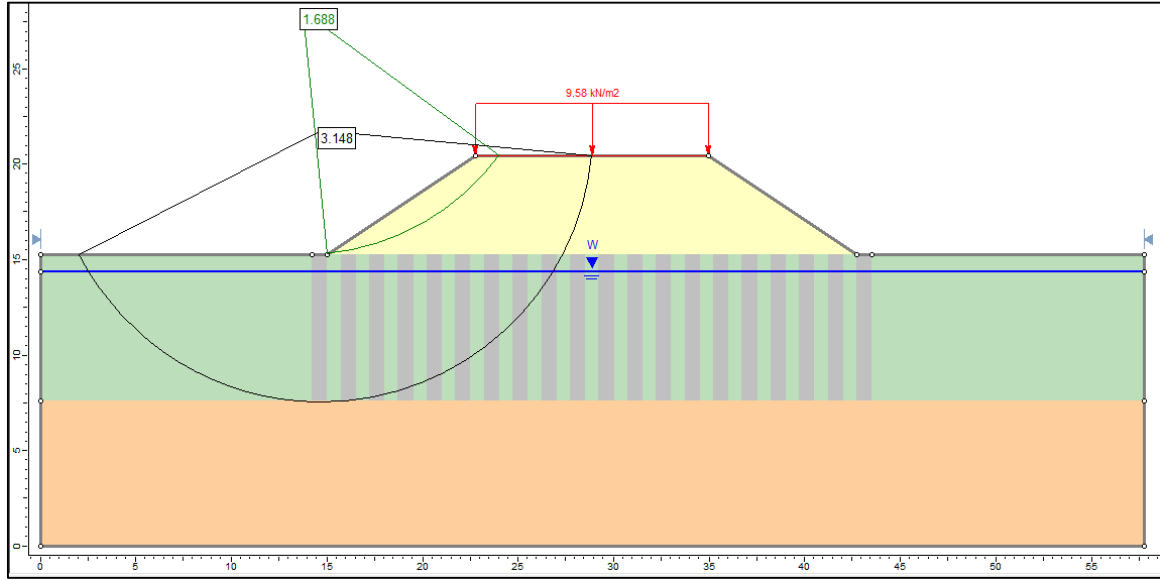


Şekil 7.41. 4. Durum için Spencer Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2

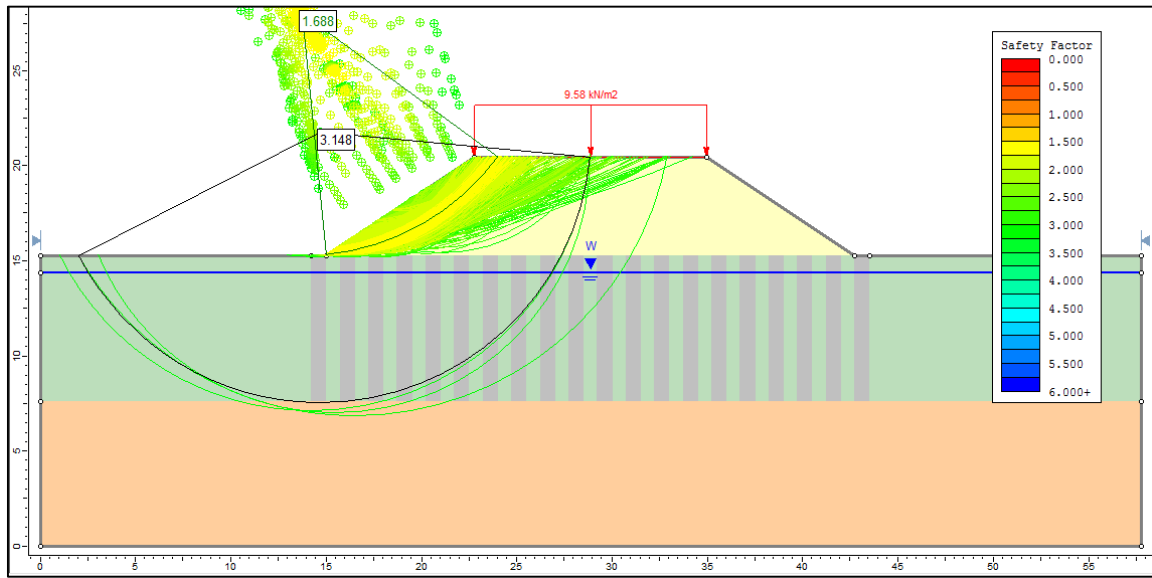
Çizelge 7.18. 4. Durumda için Spencer Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu

Yöntem	Güvenlik Katsayısı	
Spencer	1,688 (Dolgu İç Stabilitesi)	3,115 (Dolgu Dış Stabilitesi)

Limit denge programında GLE/Morgenstern&Price Yöntemi kullanılarak stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. En kritik kayma yüzeyleri Şekil 7.42’de, tüm kayma yüzeyleri Şekil 7.43’te gösterilmiştir. Stabilite analizlerine ait sonuç tablosu Çizelge 7.19’da verilmiştir.



Şekil 7.42. 4. Durum için GLE/Morgenstern&Price Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1



Şekil 7.43. 4. Durum için GLE/Morgenstern&Price Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2

Çizelge 7.19. 4. Durumda Morgenstern&Price Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu

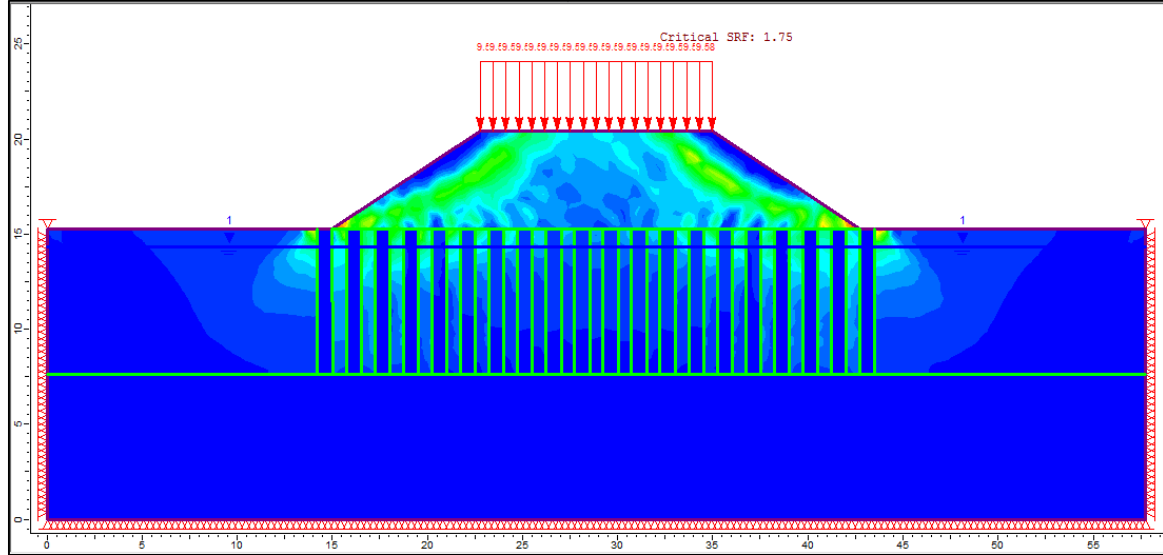
Yöntem	Güvenlik Katsayısı	
GLE/Morgenstern-Price	1,688 (Dolgu İç Stabilesi)	3,148 (Dolgu Dış Stabilesi)

Sonlu elemanlar programında da stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu durum için stabilite analizi yapılırken kolonların kademeli yenilmeye uğradığı durum göz önüne alınmış ve rezidüel dayanım parametreleri kademeli olarak azaltılmıştır. Şekil 7.44'te malzeme tablosu verilmiştir. Tensile Strength parametresi 1. Analizde 190,28 kPa, 2. Analizde 95,00 kPa, 3. Analizde 38,06, 4. Analizde 19,00 kPa ve 5. Analizde ise 1,90 kPa olarak girilmiştir.

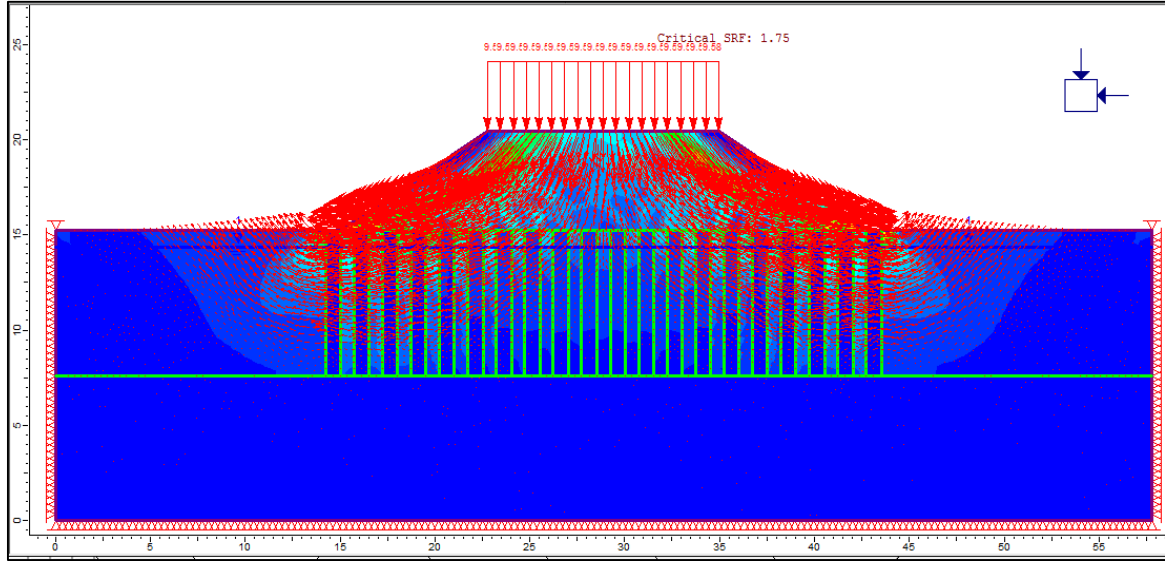
Material Name	Color	Initial Element Loading	Unit Weight (kN/m ³)	Elastic Type	Young's Modulus (kPa)	Poisson's Ratio	Failure Criterion	Material Type	Tensile Strength (kPa)	Dilation Angle (deg)	Friction Angle (peak) (deg)	Friction Angle (residual) (deg)	Cohesion (peak) (kPa)	Cohesion (residual) (kPa)
DOLGU	□	Field Stress and Body Force	19.63	Isotropic	50000	0.4	Mohr Coulomb	Plastic	5	0	35	35	5	5
YUMUSAK KIL	□	Field Stress and Body Force	14.13	Isotropic	50000	0.4	Mohr Coulomb	Plastic	16.77	0	0	0	16.77	16.77
SIKI KUM	□	Field Stress and Body Force	20.41	Isotropic	50000	0.4	Mohr Coulomb	Plastic	1	0	37	37	1	1
DERİN KARISTIRMA TEKİL KOLON (TU)	□	Field Stress and Body Force	16	Isotropic	50000	0.4	Mohr Coulomb	Plastic	190.28	0	0	0	190.28	190.28

Şekil 7.44. 4. Durum için sonlu elemanlar programındaki malzeme tablosu

- 1) $s_{dm, single}$ değeri 190,28 kPa olarak yani tam dayanım değeri kabul edilerek analiz gerçekleştirilmiştir. Bu durum için gerçekleştirilen stabilite analizleri Şekil 7.45 ve Şekil 7.46'da gösterilmiştir. Stabilite analizine ait sonuç tablosu Çizelge 7.20'de verilmiştir.



Şekil 7.45. 4. Durum için sonlu elemanlar programı ile stabilite analizi-1

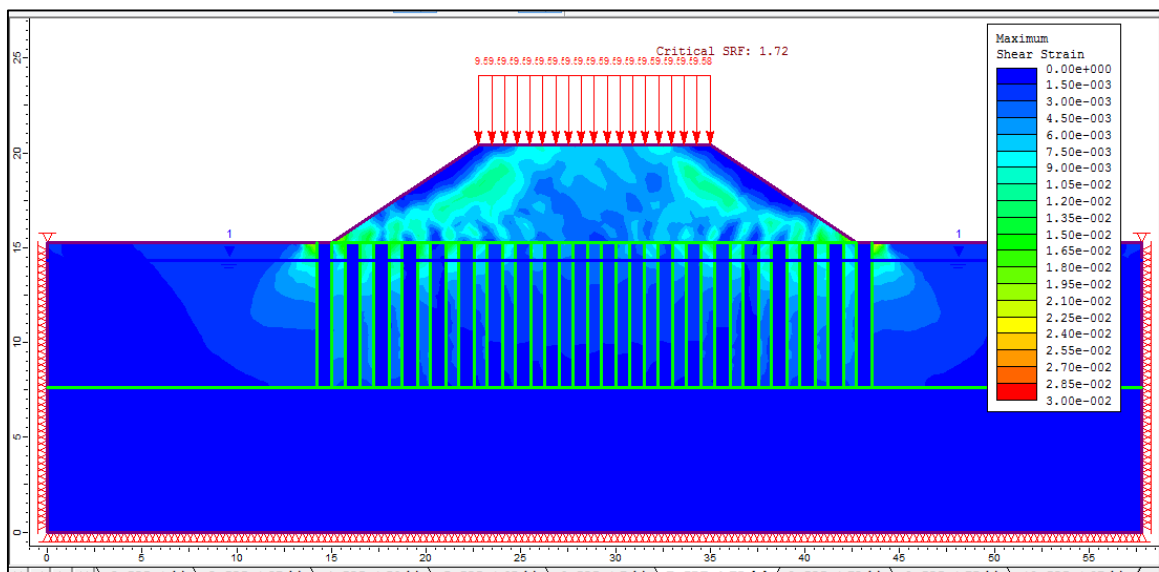


Şekil 7.46. 4. Durum için sonlu elemanlar programı ile deformasyon vektörleri dağılımı-1

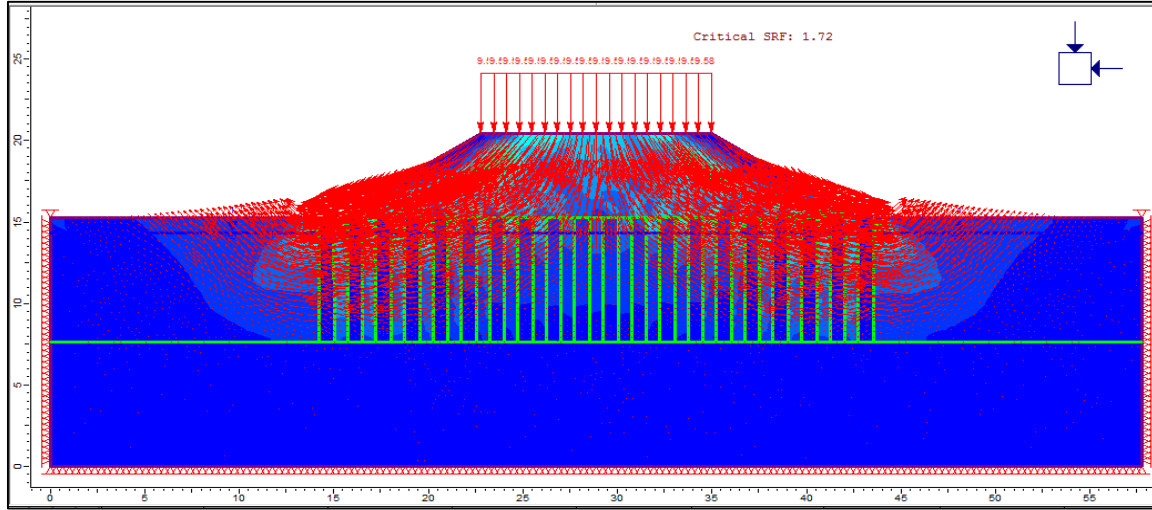
Çizelge 7.20. 4. Durum için sonlu elemanlar programındaki güvenlik katsayısı tablosu-1

Dayanım Parametresi	Güvenlik Katsayısı
190,28 kPa	1,75

2) $s_{dm, single}$ değeri 95,00 kPa olarak yani dayanım değerinin yarısı kabul edilerek analiz gerçekleştirilmiştir. Bu durum için gerçekleştirilen stabilite analizleri Şekil 7.47 ve Şekil 7.48’de gösterilmiştir. Stabilite analizine ait sonuç tablosu Çizelge 7.21’de verilmiştir.



Şekil 7.47. 4. Durum için sonlu elemanlar programı ile stabilite analizi-2

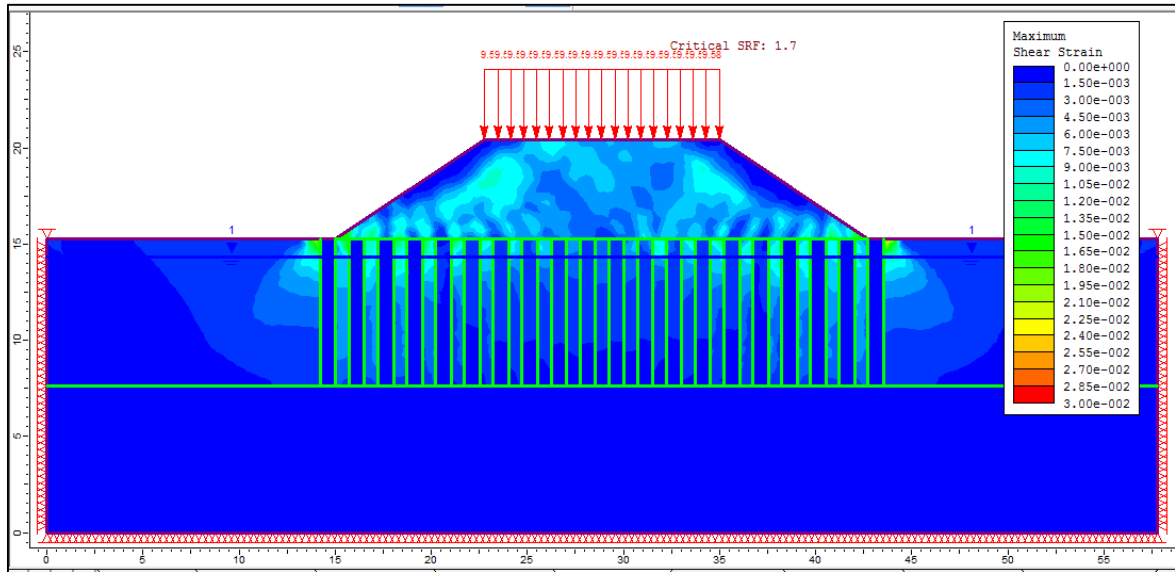


Şekil 7.48. 4. Durum için sonlu elemanlar programı ile deformasyon vektörleri dağılımı-2

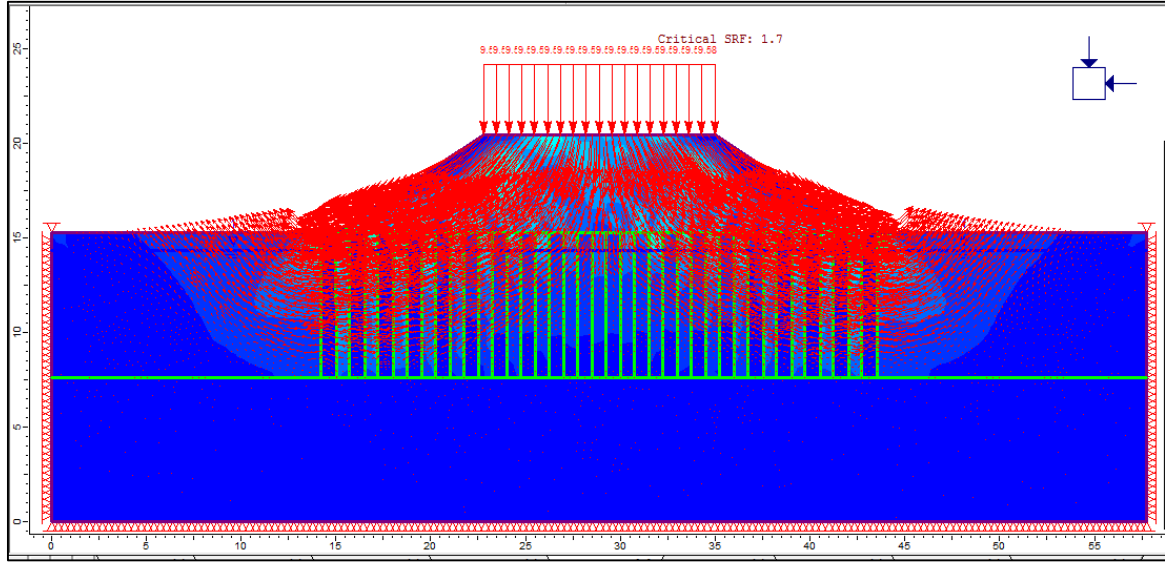
Çizelge 7.21. 4. Durum için sonlu elemanlar programındaki güvenlik katsayısı tablosu-2

Dayanım Parametresi	Güvenlik Katsayısı
190,28 kPa	1,72

3) $s_{dm, single}$ değeri 38,06 kPa olarak yani dayanım değerinin beşte biri kabul edilerek analiz gerçekleştirilmiştir. Bu durum için gerçekleştirilen stabilite analizleri Şekil 7.49 ve Şekil 7.50’de gösterilmiştir. Stabilite analizine ait sonuç tablosu Çizelge 7.22’de verilmiştir.



Şekil 7.49. 4. Durum için sonlu elemanlar programı ile stabilite analizi-3

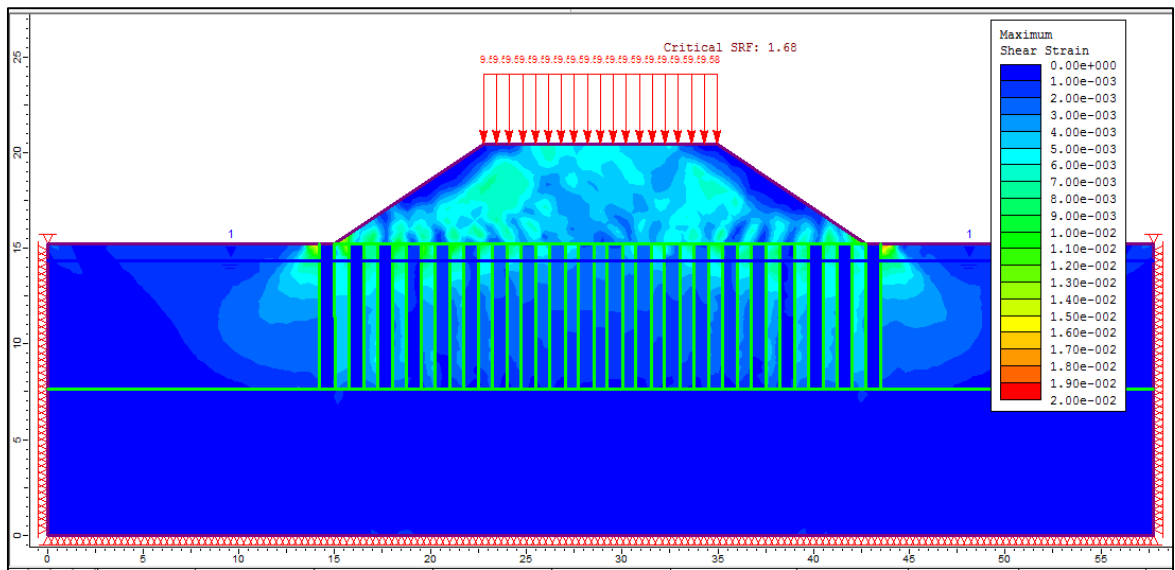


Şekil 7.50. 4. Durum için sonlu elemanlar programı ile deformasyon vektörleri dağılımı-3

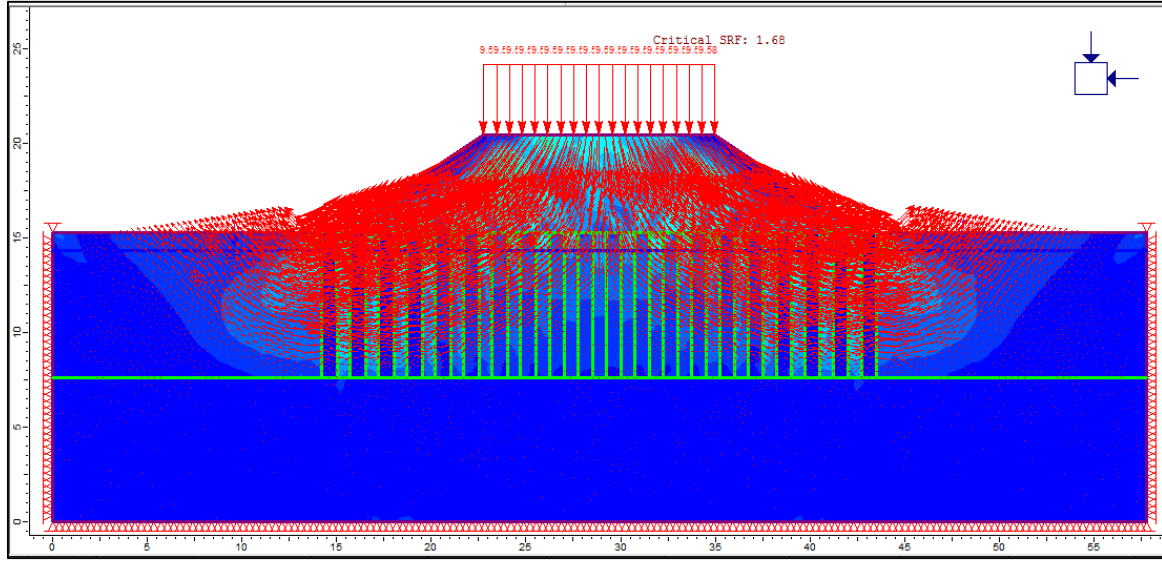
Çizelge 7.22. 4. Durum için sonlu elemanlar programındaki güvenlik katsayısı tablosu-3

Dayanım Parametresi	Güvenlik Katsayısı
38,06 kPa	1,70

4) $s_{dm, single}$ değeri 19,00 kPa olarak yani dayanım değerinin onda biri kabul edilerek analiz gerçekleştirilmiştir. Bu durum için gerçekleştirilen stabilite analizleri Şekil 7.51 ve Şekil 7.52’de gösterilmiştir. Stabilite analizine ait sonuç tablosu Çizelge 7.23’te verilmiştir



Şekil 7.51. 4. Durum için sonlu elemanlar programı ile stabilite analizi-4

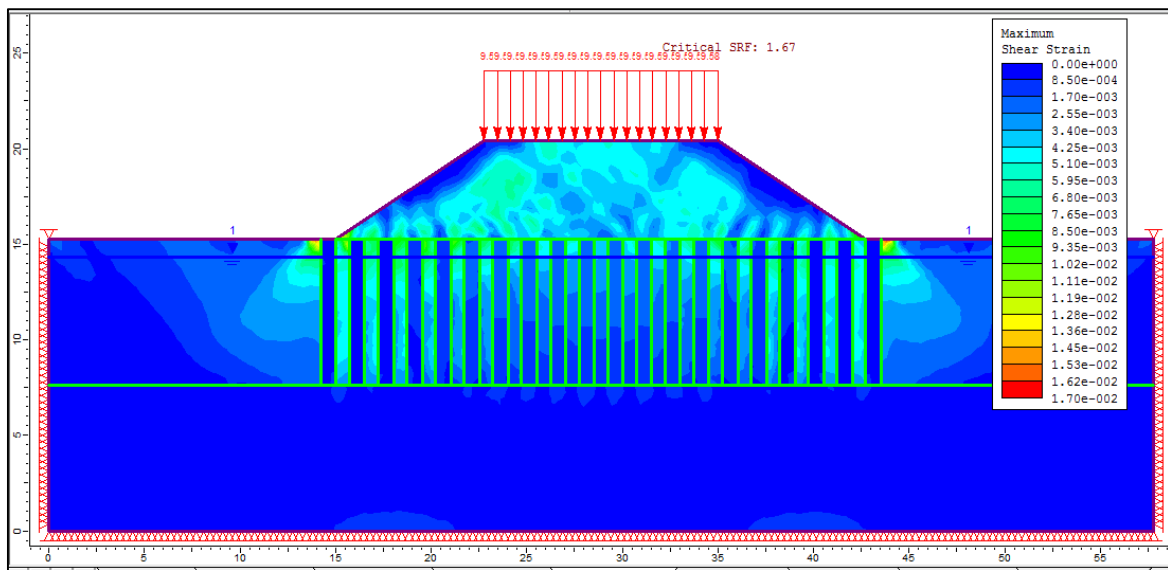


Şekil 7.52. 4. Durum için sonlu elemanlar programı ile deformasyon vektörleri dağılımı-4

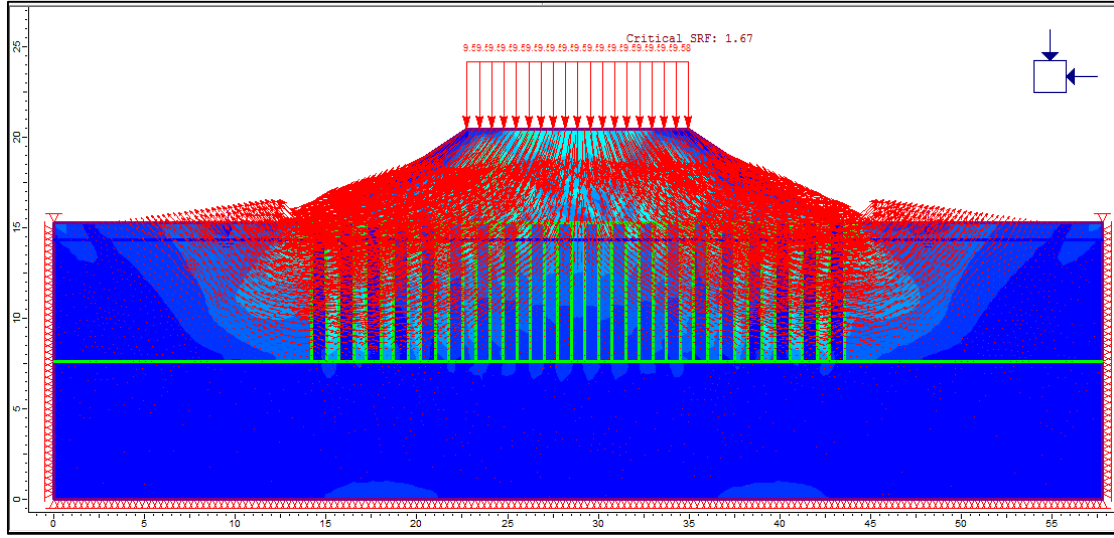
Çizelge 7.23. 4. Durum için sonlu elemanlar programındaki güvenlik katsayısı tablosu-4

Dayanım Parametresi	Güvenlik Katsayısı
19,00 kPa	1,68

5) $s_{dm, single}$ değeri 1,90 kPa olarak yani dayanım değerinin yüzde biri kabul edilerek analiz gerçekleştirilmiştir. Bu durum için gerçekleştirilen stabilite analizleri Şekil 7.53 ve Şekil 7.54'te gösterilmiştir. Stabilite analizine ait sonuç tablosu Çizelge 7.24'te verilmiştir



Şekil 7.53. 4. Durum için sonlu elemanlar programı ile stabilite analizi-5



Şekil 7.54. 4. Durum için sonlu elemanlar programı ile deformasyon vektörleri dağılımı-5

Çizelge 7.24. 4. Durum için sonlu elemanlar programındaki güvenlik katsayısı tablosu-5

Dayanım Parametresi	Güvenlik Katsayısı
1,90 kPa	1,67

7.7.5. 5. Durum modeli için tasarım basamakları

Bu modelde dolgu tepesinin alt kısmına denk gelen zeminin 4. Durum modelindeki gibi 0,80 m çaplı $L = 7,63$ m boyunda 1,50 m x 1,50 m kareli "s_{dm,single}" olarak adlandırılan derin karıştırma tekil kolonları ile iyileştirildiği öngörülmüştür. Topuk bölgelerinin alt kısmına denk gelen zeminde ise 3. Durum modelindeki gibi "s_{dm,wall}" olarak simgelenen derin karıştırma kesme duvarları ile iyileştirme yapıldığı öngörülmüştür.

5. Durum için stabilite analizleri

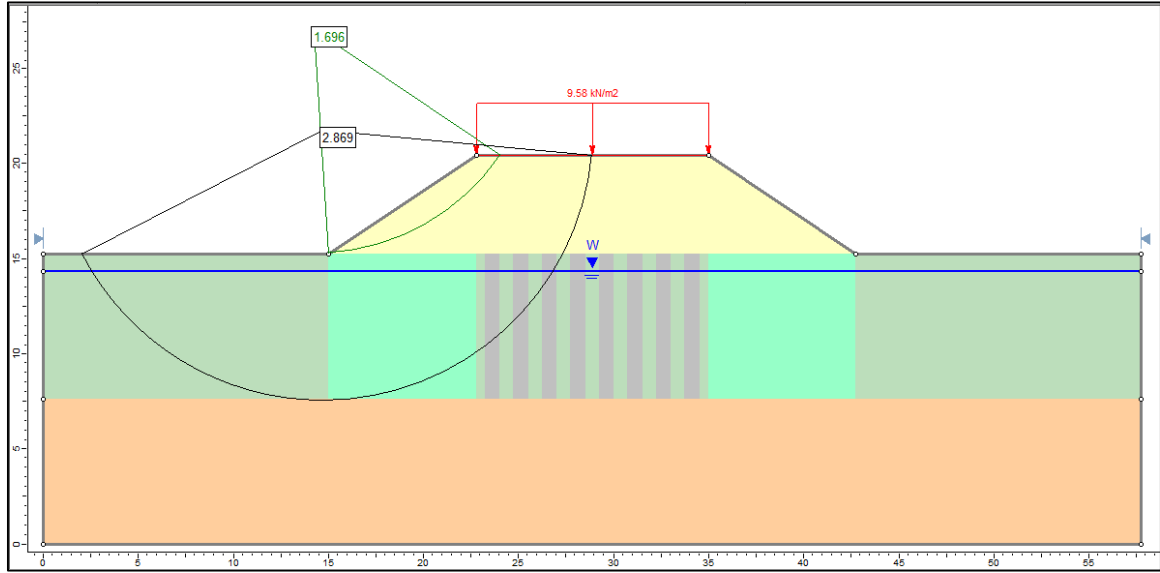
Limit denge programı ve sonlu elemanlar programında stabilite analizleri gerçekleştirilir.

Şekil 7.55'te limit denge programındaki malzeme tablosu verilmiştir.

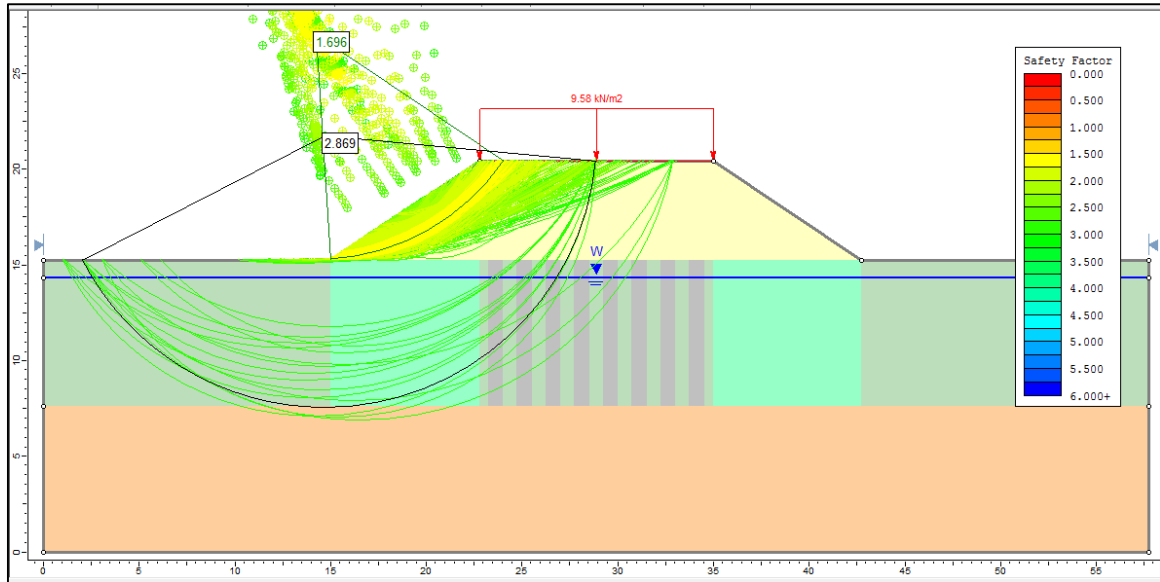
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	Cohesion Type	Water Surface
DOLGU		19.63	Mohr-Coulomb	5	35		Water Surface
YUMUSAK KIL		14.13	Undrained	16.77		Constant	None
SIKI KUM		20.41	Mohr-Coulomb	1	37		Water Surface
DERİN KARİSTIRMA TEKİL KOLON		16	Undrained	190.28		Constant	None
KESME DUVARI		16	Undrained	90.2943		Constant	None

Şekil 7.55. 5. Durum için limit denge programındaki malzeme tablosu

Limit denge programında Bishop Simplified Yöntemi kullanılarak stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. En kritik kayma yüzeyleri Şekil 7.56’da, tüm kayma yüzeyleri ise Şekil 7.57’de gösterilmiştir. Stabilite analizlerine ait sonuç tablosu Çizelge 7.25’de verilmiştir.



Şekil 7.56. 5. Durum için Bishop Simplified Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1

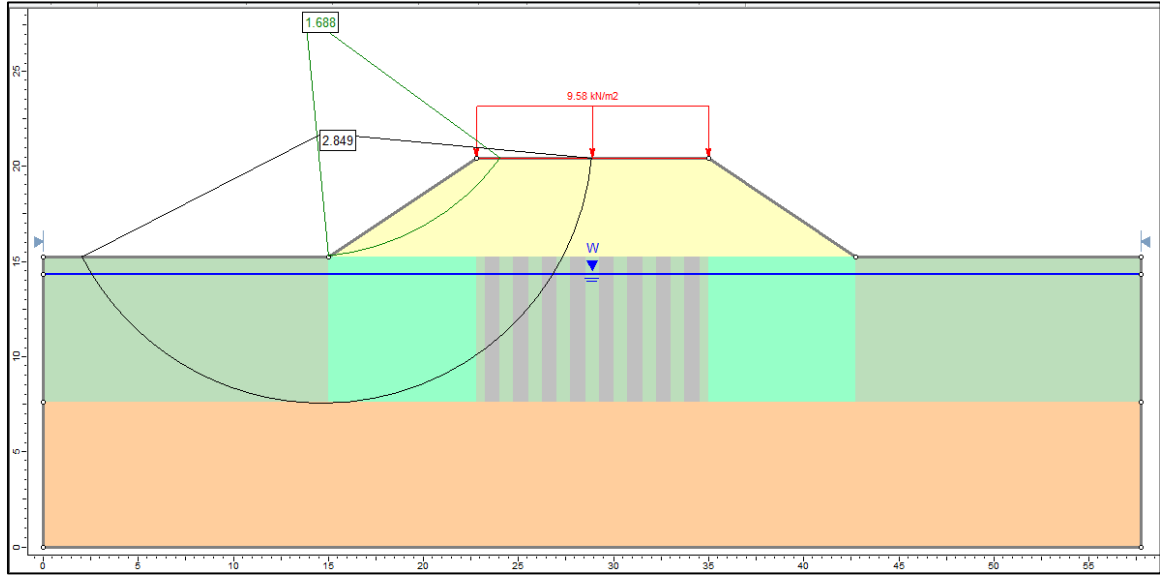


Şekil 7.57. 5. Durum için Bishop Simplified Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2

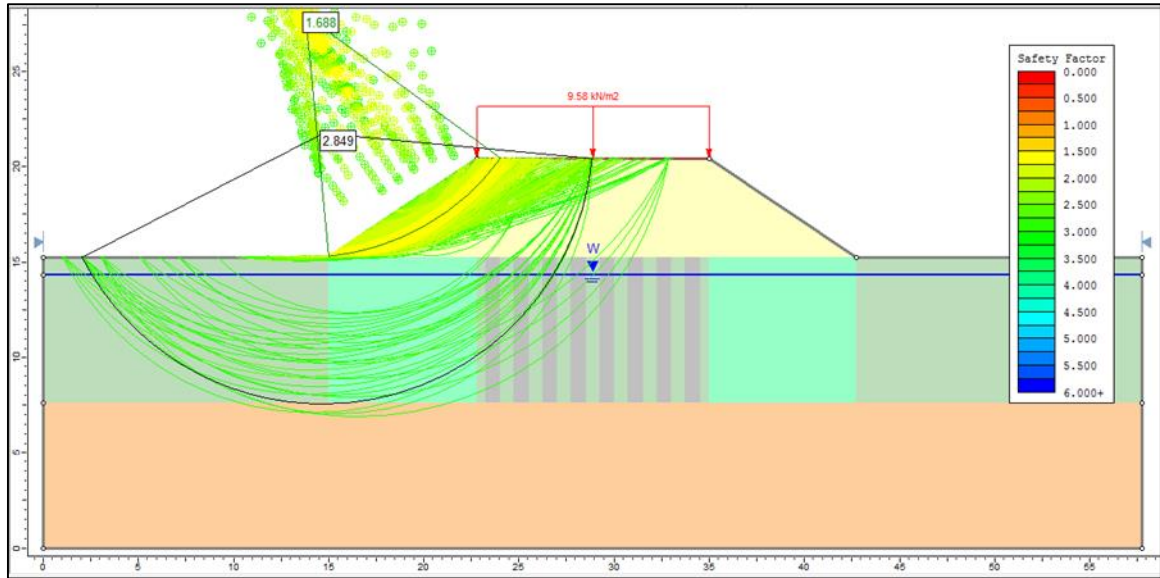
Çizelge 7.25. 5. Durumda Bishop Simplified Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu

Yöntem	Güvenlik Katsayısı	
Bishop Simplified	1,696 (Dolgu İç Stabilitesi)	2,869 (Dolgu Dış Stabilitesi)

Limit denge programında Spencer Simplified Yöntemi kullanılarak stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. En kritik kayma yüzeyleri Şekil 7.58’de, tüm kayma yüzeyleri Şekil 7.59’da gösterilmiştir. Stabilite analizlerine ait sonuç tablosu Çizelge 7.26’da verilmiştir.



Şekil 7.58. 5. Durum için Spencer Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1

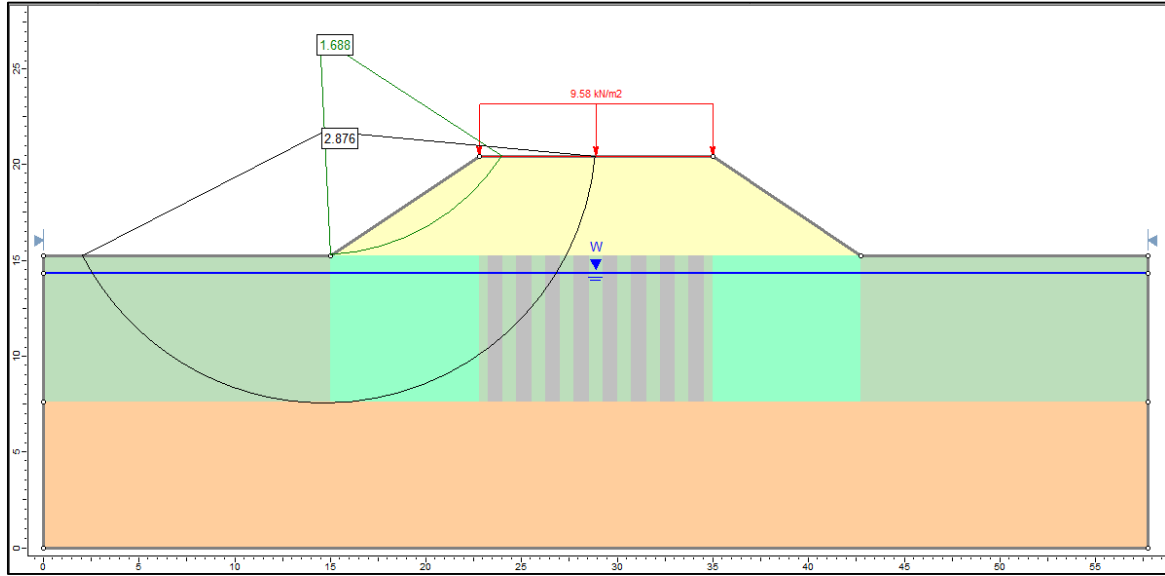


Şekil 7.59. 5. Durum için Spencer Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2

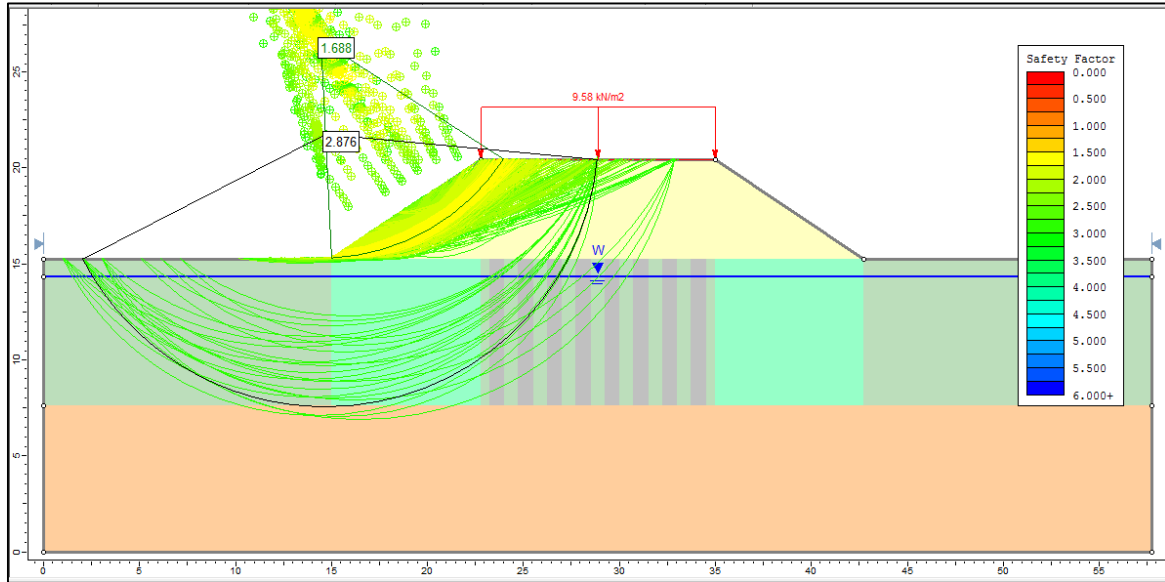
Çizelge 7.26. 5. Durumda Spencer Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu

Yöntem	Güvenlik Katsayısı	
Spencer	1,688 (Dolgu İç Stabilitesi)	2,849 (Dolgu Dış Stabilitesi)

Limit denge programında GLE/Morgenstern&Price Yöntemi kullanılarak stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. En kritik kayma yüzeyleri Şekil 7.60'ta, tüm kayma yüzeyleri Şekil 7.61'de gösterilmiştir. Stabilite analizlerine ait sonuç tablosu Çizelge 7.27'de verilmiştir.



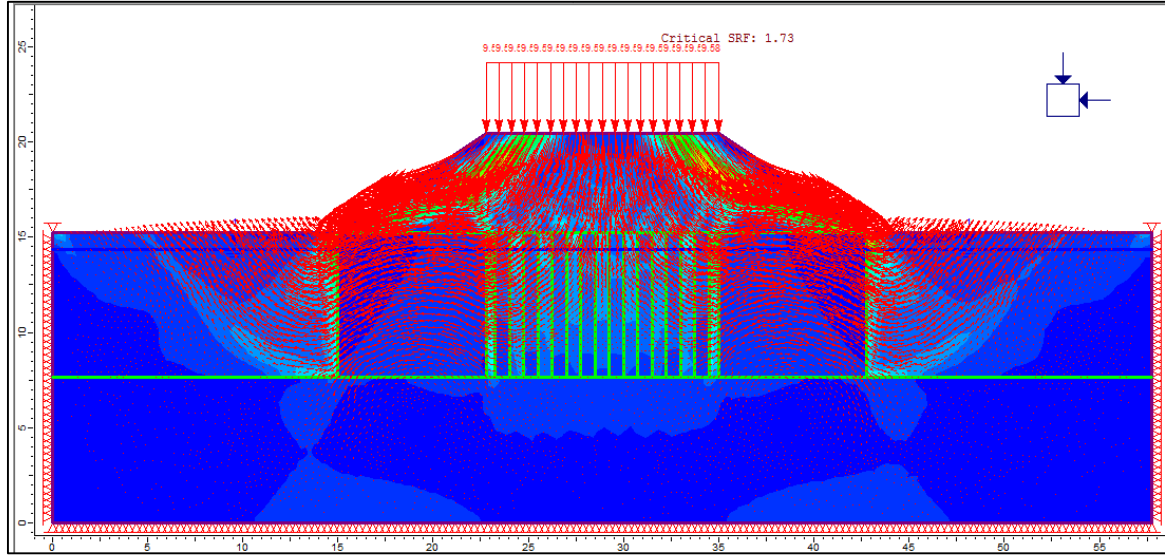
Şekil 7.60. 5. Durum için GLE/Morgenstern&Price Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-1



Şekil 7.61. 5. Durum için GLE/Morgenstern&Price Yöntemi ile dolgu stabilite analizi-2

Çizelge 7.27. 5. Durumda Morgenstern&Price Yöntemi için güvenlik katsayısı tablosu

Yöntem	Güvenlik Katsayısı	
	1,688 (Dolgu İç Stabilitesi)	2,876 (Dolgu Dış Stabilitesi)
GLE/Morgenstern-Price		



Şekil 7.64. 5. Durum için sonlu elemanlar programı ile deformasyon vektörleri dağılımı

Sonlu elemanlar programında gerçekleştirilen stabilite analizine ait sonuç tablolasu Çizelge 7.28’de verilmiştir.

Çizelge 7.28. 5. Durum için sonlu elemanlar programındaki güvenlik katsayısı tablosu

Yenime Kriteri	Mohr-Coulomb
Güvenlik Katsayısı	1,73

7.8. Değerlendirme

Örnek tasarımda iyileştirmeden önceki durumda zeminin tabii hali göz önüne alınarak bir yol dolgusu için stabilite analizi gerçekleştirilmiştir. Analizlerde yumuşak kil tabakası sınırını geçmeyen yenilme dairelerinin güvenlik katsayıları değerlendirilmiştir. Dolgu tabanının derin karıştırma teknolojisi ile iyileştirilmesinde 4 farklı tasarım yapılmış olup güvenlik katsayısı değerlendirmesi açısından 2 farklı program kullanılmıştır.

Toplamda 5 durum için stabilite analizi Slide - 2D Limit Equilibrium Slope Stability Analysis Programı’nda ve Phase2 2D Finite Element Programı’nda dolgu stabilite analizi kıyaslanmıştır. Bu analizlerden elde edilen güvenlik katsayıları Çizelge 29 ve Çizelge 7.30’da verilmiştir.

Çizelge 7.29. Tüm durumlar için yöntem/güvenlik katsayısı tablosu

Kullanılan Program		Slide - 2D Limit Equilibrium Slope Stability Analysis Programı	
Durumlar	Yöntem	Güvenlik Katsayısı	
		Dolgu İç Stabilitesi	Dolgu Dış Stabilitesi
1.Durum	Bishop Simplified	1,697	0,851
	Spencer	1,695	0,849
	GLE/Morgenstern-Price	1,692	0,851
2.Durum	Bishop Simplified	1,696	3,467
	Spencer	1,688	3,372
	GLE/Morgenstern-Price	1,688	3,394
3.Durum	Bishop Simplified	1,697	1,605
	Spencer	1,695	1,617
	GLE/Morgenstern-Price	1,692	1,636
4.Durum	Bishop Simplified	1,696	3,143
	Spencer	1,688	3,115
	GLE/Morgenstern-Price	1,688	3,148
5.Durum	Bishop Simplified	1,696	2,869
	Spencer	1,688	2,849
	GLE/Morgenstern-Price	1,688	2,876

Çizelge 7.30. Tüm durumlar için dayanım parametresi/güvenlik katsayısı tablosu

Kullanılan Program	Phase2 2D Finite Element Programı	
Durumlar	Dayanım Parametresi [kPa]	Güvenlik Katsayısı [-]
1.Durum	Sabit	0,83
2.Durum	Sabit	1,74
3.Durum	Sabit	1,64
4.Durum	190,28	1,75
	95,00	1,72
	38,06	1,70
	19,00	1,68
	1,90	1,67
5.Durum	Sabit	1,73

Bu 5 durum kendi içinde ve diğerleriyle kıyaslanacak olursa şöyle özetlenebilir:

- 1) Durumda, iyileştirmeden önceki durumda yol dolgusu stabilite analizi gerçekleştirilmiştir. Stabilite analizleri gerçekleştirilirken zeminin tabii hali göz önüne alınmıştır. Çizelge 7.16.'dan da anlaşılabacağı üzere G.K. değeri 1,5 mertebesinin altında kaldığı için dolgu şevinin stabil olmadığı görülmüş ve dolgu tabanını iyileştirme ihtiyacı doğmuştur.

- 2) Durumda, dolgu tabanının (tepe ve topuk kısımları dâhil) derin karıştırma kolonları ile iyileştirilip dolgu tabanında kolonlardan ve zeminden oluşan kompozit bir zemin kütlelerinin varlığının kabul edildiği tasarım modelinde stabilite analizi gerçekleştirilmiştir. Bu durumda Türkiye’deki derin karıştırma kolonu uygulamaları baz alınarak kolon dayanımı 28 günlük tek eksenli basınç dayanım değeri olan 862,00 kPa olarak seçilmiştir. Eşdeğer kohezyon değeri bu doğrultuda bulunmuş olup G.K. değerinin hem limit denge analizinde hem de sonlu elemanlar analizi sonucunda 1,5 mertebesinin üzerine çıktığı görülmüştür. Dolgu dış stabilitesi adı verilen kolonları kesen en kritik kayma dairesinin G.K. değerinin örneğin Bishop Simplified Yöntemi’nde 0,851 mertebesinden 3,467 mertebesine çıktığı görülmüştür. Bu da demek oluyor ki derin karıştırma kolonları ile dolgu tabanında yapılan iyileştirme sonucu dolgu sevi stabil bir hale gelmiştir.
- 3) Durumda, dolgu tabanının dolgu tepesinin altına denk gelen kısmının derin karıştırma kolonları ile dolgu topuk bölgelerinin altına denk gelen kısımların derin karıştırma kesme duvarları ile iyileştirildiği durumda stabilite analizi gerçekleştirilmiştir. FHWA’ya (2013) göre bu durumda kolonların Türkiye’deki uygulamadan farklı olarak kademeli yenilmeye uğrayacağı durum göz önüne alınarak kolon dayanımını 71,82 kPa ile sınırlı tutulmuştur. Bu tutucu yaklaşım sonucunda yapılan analizlerde görüleceği üzere G.K. limit denge analiz sonuçlarına göre örneğin Bishop Simplified yöntemi için 3,467 mertebesinden 1,605 mertebesine gerilemesine rağmen halen güvenli tarafta kalmaktadır. Sonlu elemanlar analizine göre G.K. değeri 1,74 mertebesinden 1,64 mertebesine gerilemesi de bu yaklaşımın çok daha doğru ve mantıklı olduğunu göstermektedir.
- 4) Durumda, dolgu tabanının dolgu tepesinin ve topuk bölgelerinin altına denk gelen kısmın komple derin karıştırma tekil kolonları iyileştirildiği durumda stabilite analizi gerçekleştirilmiştir. Bu durum, yine Türkiye’deki uygulamalara emsal niteliğinde olup kolon için tek eksenli basınç dayanımı 862,00 kPa mertebesinde seçilmiştir. Yapılan analizlerde en önemli nokta tekil kolonların kademeli yenilmeye uğrama durumunu limit denge programı aracılığı ile çözmek mümkün olmadığı için sonlu elemanlar analizinin burada kritik bir rol oynamasıdır. Beklenildiği gibi limit denge programında gerçekleştirilen şev stabilitesi analizi G.K. değeri kolonları kesen en kritik kayma dairesi için sonlu elemanlar analizi programında gerçekleştirilen şev stabilitesi analizi G.K. değerinden büyük gelmiştir. Ayrıca yine limit denge programına göz önüne alınamayacak diğer bir unsur olan rezidüel dayanım değeri etkisi de eşdeğer kolon

dayanımı sırasıyla 190,28 kPa, 95,00 kPa, 38,06 kPa, 19,00 kPa ve 1,90 kPa değerlerine indirgenerek test edilmiş, G.K. değerinin de kademeli olarak düştüğü görülmüştür. Buradan çıkarılacak sonuç şudur ki, tekil kolonla iyileştirilmiş dolgu tabanının varlığında dolgu stabilite analizlerinin gerçekleştirilmesi için sonlu elemanlar programı çok daha doğru bir yaklaşım fırsatı sunmaktadır.

- 5) Durumda, dolgu tabanında dolgu tepesinin altına denk gelen kısmın derin karıştırma tekil kolonları ile topukların altına denk gelen kısmın ise derin karıştırma kesme duvarları ile iyileştirildiği durumda stabilite analizi gerçekleştirilmiştir. Bu durum hem Türkiye'deki, tekil kolon uygulamalarının hem de FHWA'nın (2013) kademeli yenilmeye karşı geliştirdiği dolgu topuklarının kesişen derin karıştırma kolonlarından oluşan kesme duvarları ile desteklenmesi yaklaşımının birlikte kullanılmasına emsal niteliği taşımaktadır. Kombine bir durum olarak değerlendirilebilecek olan 5. Durum G.K. değeri açısından beklenildiği gibi 3.Durum'da ele alınan sadece FHWA'ya (2013) göre gerçekleştirilen analiz sonucundan büyük 4.Durum'da ele alınan sadece Türkiye'deki uygulamalara göre gerçekleştirilen analiz sonucundan ise küçük olduğu görülmüştür.

Mevcut durum; 1. Durum olmak üzere 5 farklı durum için gerçekleştirilen stabilite analizleri kıyaslandığında maliyet avantajını düşünmeksizin en uygun çözüm yönteminin 3. Durumda geçerli olduğu görülmüştür. Bu durumda Türkiye'deki derin karıştırma kolonu tasarımlarında kullanılan parametrelere göre çok daha düşük tasarım parametreleri seçilmiş olup bu sayede çok daha gerçekçi bir yaklaşım sergilenmiştir. Seçilen düşük dayanım parametrelerine rağmen tasarımın güvenli tarafta kalması da bu durumun en uygulanabilir tasarım modeli olduğunu göstermektedir.

Tez kapsamında değerlendirmeye tabii tutulmayan dolgu tabanında oturma problemi, farklı yenilme mekanizmalarının karşılaştırılması, 3D modeller ile tekil kolon davranışının araştırılması ileride yapılması gereken çalışmalar kapsamında düşünülebilir.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

DMM'nin birçok farklı versiyonu, uzun yıllardır devam eden gelişmelerden geçmiştir ve yirmi yıldan fazla bir süredir kayda değer uluslararası başarılar kazanmıştır. Dünyada bu tür teknikler çok çeşitli uygulamalarda daha yumuşak zeminlerin işlenmesi, iyileştirilmesi ve korunması için güvenilir ve değerli mühendislik araçları haline gelmiştir. Ancak ülkemizde bu konuda yeterli AR-GE çalışmasının olmamasından ötürü, bu yöntemi uzun yıllardır kullanan ve geliştiren ülkelerle kıyaslandığında geri kalmıştır. Aşağıda belirtilen değerlendirmeler ve bu alandaki gelişmekte olan teknoloji ile birlikte derin karıştırma yönteminin kullanım alanının genişlemesi sağlanabilir. Bu çalışmada, önümüzdeki yıllarda zemin ıslahı/iyileştirmesi/güçlendirmesi projelerinde önemli bir rol oynayacak olan söz konusu Derin Karıştırma Yöntemi'nin otuz ikiden fazla kullanım yöntemi olduğunu ve bunlardan yirmi dördünün Türkiye'de standartlara uygun uygulanabilmesi için yöntemin kullanıldığı coğrafya, genel tanımı, özellikleri, patent koşulları, kurulum detayları, karıştırma dizaynı, iyileştirilmiş zemin özellikleri, önemli avantajları/dezavantajları hakkında bilgiler içeren özet tablolara yer verilmiştir. Bu tablolar aynı zamanda bir derin karıştırma yönteminin diğerine göre farklılıklarını da ortaya koymuştur. Bu sayede tasarımcının işine yarayacak yöntemi kolayca belirlemesi hedeflenmiştir. Devam eden araştırma-geliştirme çalışmaları ve saha tecrübesiyle Derin Karıştırma Yöntemi; standartlarda belirtildiği şekilde uygulanırsa ülkemiz için alternatif bir zemin iyileştirme yöntemi olmaktan çıkıp yine tezde açıklandığı gibi Hidrolik Cut-off Duvarları, Kazı Destek Duvarı, Sıvılaşma Riskinin Uzaklaştırılması, Yerinde Donatılı/Donatısız Güçlendirme ve Fiksasyon Uygulamaları'nda da çok iddialı bir mühendislik teknolojisi olacağı düşünülmektedir. Bu uygulamalarda kullanıldığında sağladığı avantajlardan (düşük mukavemetli zeminlerde yüksek modüllü kolonlar oluşturularak taşıma gücünün artışı, düşük maliyet, sıvılaşma riskinin azaltılması, zemin stabilizasyonu, geniş veri tabanı, kolay uygulanabilirlik, çevreye minimum etki vd.) dolayı pratik, ekonomik ve çevresel olarak güvenli bir yöntem olduğunu ispatlamıştır.

Ayrıca bu tezde ele alınan örnek tasarım detaylı incelendiğinde Derin Karıştırma Kolonları dolgu tabanı iyileştirmesinde çok efektif bir yöntemdir. Öyle ki hem sonlu elemanlar programında yapılan stabilite analizleri hem de limit denge programında gerçekleştirilen stabilite analizi sonuçlarına göre derin karıştırma yöntemi şev stabilitesi açısından da diğer

iyileştirme yöntemlerine göre çok daha tercih edilebilir bir yöntem olduğu ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

- Adailor, K. (1996). *Mitigation of Earthquake-Induced Liquefaction Hazards*, Ph. D. Thesis, Rensselaer Polytechnic Institute, New York.
- Akbulut, S. (1999). *Enjeksiyon ile Granüler Zeminlerin Geoteknik Özelliklerinin İyileştirilmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bakım, M. (2007). *Enjeksiyon Yöntemleriyle Zemin İyileştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Balkıs, A. P. (2009). *Enjeksiyon Yöntemleriyle Zemin İyileştirmesi*, 3. Geoteknik Sempozyumu, Adana.
- Çimen, Ö., Bakım, M.A., Durgunoğlu, H.T. (2008). *Jet Grout Zemin İyileştirilmesinin Kullanıldığı Bir Vaka Analizi*, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği On İkinci Ulusal Kongresi, Konya, 679 – 688.
- Das, B. M. (2011). *Principles of Foundation Engineering* (7th Edition), USA: Cengage Learning, 794.
- Durgunoğlu, H. T. (2004). Yüksek Modüllü Kolonların Temel Mühendisliğinde Kullanımı, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 431, 39 – 51.
- Federal Highway Administration. (2000). *An Introduction to the Deep Soil Mixing Methods as Used in Geotechnical Applications*. Washington: U.S. Department of Transportation, 143.
- Federal Highway Administration. (2013). *Federal Highway Administration Design Manual: Deep Mixing for Embankment and Foundation Support*. Washington: U.S. Department of Transportation, 244.
- Federal Highway Administration. (1995). *Geotechnical Engineering Circular No. 1 Dynamic Compaction*. Virginia: U.S. Department of Transportation, 105.
- Graf, E. (1992). *Compaction Grout, Proceedings (Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics)*. New Orleans: ASCE Geotechnical Special Publication, 275-287.
- Greenwood, D. A. (1970). *Mechanical Improvement of Soils Below the Ground Surface*, Presented at Conference on Ground Engineering Institution of Civil Engineers, London.
- Hussin, D. J. (2006). *Methods of Soft Ground Improvement (The Foundation Engineering Handbook)*. New York: Taylor & Francis Group, 530 – 565.
- İnternet: Geo-Con Inc Broşürleri. URL: <http://www.geoconinc.com/services/geotechnical-engineering/>, Son Erişim Tarihi: 06.06.2019.
- İnternet: Hayward Baker Broşürleri. URL: <http://www.haywardbaker.com>, Son Erişim Tarihi: 09.07.2019.

İnternet: Keller Group Broşürleri. URL: <https://www.keller.com/>, Son Erişim Tarihi: 04.03.2019.

İnternet: Zetaş A.Ş. Broşürleri. URL: <https://www.keller.com/>, Son Erişim Tarihi: 15.02.2019.

Japan International Cooperation Agency. (1994). *Soil Improvement Techniques*. Japan: Japan International Cooperation Agency, 106.

Karol, R. H. (1982). *Chemical Grouts and Their Properties*, Presented at Proceedings Conference Grouting in Geotechnical Engineering, New Orleans, 359 – 377.

Kawasaki, T., Niina, A., Saitoh, S., Suzuki, Y., and Honjyo, Y. (1981). *Deep Mixing Method Using Cement Hardening Agent*, Presented at Proceedings of the 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering 3, 721–724.

Kaya, Z. (2016). *Derin Karıştırma Kolonlarının Ölçülen ve Hesaplanan Kapasitelerinin Tam Ölçekli Yükleme Deneyleri İle İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 8, 10, 20.

Kitazume, M., Terashi, M. (2013). *The Deep Mixing Method*, Holland :CRC Press, , 407.

Kocabıyık, A. (2018). *Derin Karıştırma (Deep Mixing) İle Taş Kolon Zemin İyileştirme Metotlarının Karşılaştırılması*, Uzmanlık Tezi, İller Bankası Anonim Şirketi, Ankara, 85.

Küsin, C. C. (2009). *Jet Grout Yöntemi ile İyileştirilen Zeminlerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Sayısal Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 157.

Mitchell, J. K. (1982). *Soil Improvement*. Presented at State of the Art, Proc. 10th International Conferences on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm, 509 – 565.

Mut, T. (1987). *Jet-Grouting Methodu ile Zemin Islahı*, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 2. Ulusal Kongresi, İstanbul, 437-443.

Orhan, M. (2019). *Geoteknik Mühendisliği ve Temel İnşaatı* (Birinci Baskı). Ankara: Gazi Kitabevi, 930.

Rutherford, C., Biscontin, G., and Briaud, J. L. (2005). *Design Manual for Excavation Support Using Deep Mixing Technology*. Texas: Texas A&M University.

Sherwood, P. T. (1985). The effect of Sulphates on Cement and Lime Stabilised Soils. *Roads and Road Construction*, 34–40.

Terashi, M. and Tanaka, H. (1981). *Ground Improved By Deep Mixing Method*. Hamburg: Proceedings of the 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering 3, 777–780.

- Terashi, M., Tanaka, H. and Okumura, T. (1997). *Engineering Properties Of Lime Treated Marine Soils And Deep Mixing Method*. Hamburg: Proceedings of 6th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 191-194.
- Topolnicki, M. (2004). *Ground Improvement* (3rd Edition). New York: CRC Press, 106.
- Tunçdemir, F. (2004). Temel Zeminlerinin Enjeksiyon Tekniğiyle İyileştirilmesi. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 430, 59 – 64.
- Yoshimi, Y. (1992). *Soil improvement methods for liquefaction remediation with emphasis on Japanese experience*. Los Angeles: Proceedings. Port of Los Angeles Seismic Workshop.

EKLER

EK-1. Derin karıştırma yönteminin farklı tiplerinin özet tabloları

Çizelge E.1. Dsm özet tablosu

Yöntemin Adı	DSM (1)	
Yöntemin Sınıfı	W-R-S	
Yöntemi Kullanan Şirket	Geo-Con, Inc.	
Yöntemin Kullanıldığı Coğrafya	Kuzey Amerika	
Genel Tanımı	Asılı olarak bulunan çoklu içi boş süreksiz burgular (discontinuities augers) karşılıklı yönlerle dönmeyi sağlar. Şerbetin (grout) çoğu paneller oluşturmak için aşağı doğru enjekte edilir. Penetrasyon sırasında tipik olarak hava ya da su kullanılmaz. Ekipmanı çekme esnasında ters dönüş uygulanır.	
Özellikleri/Patent Koşulları	3 metreden düşük seviyelerde genellikle çift vuruşludur. Elektronik yöntemlerle güçlü ve güvenilirdir. Kalite Güvencesi/Kalite Kontrolü (The quality assurance/quality control (QA/QC)) sağlar. VERTWall konseptinde bekleyen patenti vardır.	
Kurulum Detayları	Şaft Adedi	1-6, genellikle 4
	Çap	0,8-1,0 m, genellikle 0,9 m
	Gerçekçi Max.Derinlik	45 m ye kadar mümkün, 27 m yaygın
	rpm	15-25
	Performans/Üretim	0,6-1,0 m/min penetrasyon sırasında (killerle ve yoğun kumlarda daha yavaş); 2 m/min çekme (withdrawal)/karıştırma (mixing) sırasında; 100-150 m ² /shift (kaydırma, çekme) endüstriyel
Karıştırma Dizaynı (zemin tipine ve dayanım gerekliliklerine bağlı)	Materyal	Cement grout (çimento şerbeti) ± bentonit±kil ve diğer materyaller ve katkı maddeleri (kül, cüruf gibi)
	w/c (su/çimento oranı)	1,2-1,75 (tipik olarak) penetrasyon esnasında 1,5 ekipmanı çekme sırasında 1 ila 1,25 arasında değişmektedir.
	Çimento faktörü (kg _{cement} (çimento)/m ³ _{soil} (zemin))	120-400 kg/m ³
	Hacim oranı Vol _{grout} /Vol _{soil}	15-40%
İyileştirilmiş Zemin Özellikleri (Raporlanmış)	UCS (Tek Eksenli Basınç D.)	0,3-7 MPa (kil dayanımı yaklaşık olarak kumun dayanımının 40%'ı kadardır); kumlarda, 2+MPa
	K (Permeabilite Katsayısı)	1x10 ⁻⁷ - 1x10 ⁻⁹ m/s
	E (Elastisite Modülü)	(300-1000) x UCS
Önemli Avantajları/Dezavantajları	Ekonomik, kanıtlanmış sistemlerde; karıştırma verimliliği sert, sıkı, kohezyonlu zeminlerde zayıf olabilir (özellikle SMW Seiko); büyük spoil hacimleri üretebilir, verimlilik ve iyileştirilmiş zemin gereklilikleri için gereken hacim oranı ile orantılıdır.	
Notlar	1987 senesinde Bay City, MI'de ilk DSM uygulaması gerçekleştirilmiştir.	
Referanslar	Ryan ve Jasperse (1989,1992); Day and Ryan (1995); Nicholson ve diğerleri; 1998	

EK-1. (devam) Derin karıştırma yönteminin farklı tiplerinin özet tabloları

Çizelge E.1. Smw özet tablosu

Yöntemin Adı	SMW (2)	
Yöntemin Sınıfı	W-R-S	
Yöntemi Kullanan Şirket	SMW Seiko, Inc.; Ratio, Inc., ve diğerleri	
Yöntemin Kullanıldığı Coğrafya	Güneydoğu Asya, ABD	
Genel Tanımı	Sabitlenmiş çoklu içi boş süresiz burgular (discontinues augers) karşılıklı yönlerde dönmeyi sağlar. Su, hava ya da çimento şerbeti (grout) aşağı doğru harekette de kullanılır, ve/ya da çimento şerbeti yukarı harekette kullanılır.	
Özellikleri/Patent Koşulları	Özel elektrikli kafa ve dişli kutusu patentlidir. Özellikle kohezyonlu zeminlerde çift vuruşlu “salınım” yaygındır. Süresiz burguları (discontinues auger flights) ve paletler (paddles) tork gereksinimlerini azaltmak için belirli aralıklarla yerleştirilir. Dikey uygulamada için iyi kontrol sağlar. Burgu (auger) tipi zemine göre değişir.	
Kurulum Detayları	Şaft Adedi	2-5, genellikle 3
	Çap	0,55-1,5 m, genellikle 850-900 mm
	Gerçekçi Max. Derinlik	60 m iddia edildi, pratikte 35 m
	rpm	Penetrasyon sırasında 15-20, zemine bağlı; çekme sırasında daha fazla
	Performans/Üretim	0,5-1,5 m/min penetrasyon sırasında; 1,5-2 m/min çekme (withdrawal) / karıştırma (mixing) sırasında; 100-200 m ³ /shift
Karıştırma Dizaynı (zemin tipine ve dayanım gerekliliklerine bağlı)	Materyal	Çimento şerbeti±bentonit ve kül, cüruf gibi diğer katkı maddeleri
	w/c (su/çimento oranı)	1,25-1,50 (kumlarda), 2,5 (kohezyonlu zeminlerde)
	Çimento faktörü (kg _{cement} /m ³ _{soil})	200-750 kg/m ³
	Hacim oranı Vol _{grout} /Vol _{soil}	50-100%
İyileştirilmiş Zemin Özellikleri (Raporlanmış)	UCS	0,3-1,3 MPa (killerde) 1,2-4,2 MPa (kumlarda)
	k	1x10 ⁻⁷ - 1x10 ⁻¹⁰ m/s
	E	(350-1350) x UCS
Önemli Avantajları/Dezavantajları	Ekonomik, kanıtlanmış sistemlerde; karıştırma verimliliği sert,sıkı,kohezyonlu zeminlerde zayıf olabilir (özellikle SMW Seiko); büyük spoil hacimleri üretebilir,verimlilik ve iyileştirilmiş zemin gereklilikleri için gereken hacim oranı ile orantılıdır.	
Notlar	1972 yılında Seiko tarafından geliştirildi: ilk kez Japonya’da 1976 yılında kullanıldı, ABD’de 1986 yılında kullanıldı.	
Referanslar	Taki ve Yang (1989.1991); Yang (1997)	

EK-1. (devam) Derin karıştırma yönteminin farklı tiplerinin özet tabloları

Çizelge E.2. Multimix özet tablosu

Yöntemin Adı		Multimix (Trevimix) (3)
Yöntemin Sınıfı		W-R-S
Yöntemi Kullanan Şirket		Trevisani
Yöntemin Kullanıldığı Coğrafya		İtalya, ABD
Genel Tanımı		Çoklu asma burgular (cable-suspended augers) ters yönlerde döner. Karışım şerbeti penetrasyon esnasında enjekte edilir. Killerde su ile ön vuruş yapılır. Burgu dönüşü geri çekme sırasında tersine döner. Karıştırma 8 ila 10 m uzuluğunda şaftta gerçekleşir.
Özellikleri/Patent Koşulları		Suyla ön-delgi±çok dayanımlı zeminlerde katkı maddeleri. Süreç TREVI tarafından patentlidir. Özellikle düşük/orta yoğunlukta kohezyonsuz zeminler ve zayıf killer için geliştirildi.
Kurulum Detayları	Şaft Adedi	1-3, tipik olarak 3. Konfigürasyon zemine göre değişir.
	Çap	0,4 ila 0,6 m aralıklarda 0,55-0,8 m
	Gerçekçi Max. Derinlik	25 m
	rpm	12-30
	Performans/Üretim	0,35-1,1 m/min penetrasyon sırasında (tipik olarak 0.5 m/min); 0.48-2 m/min çekme (withdrawal) sırasında
Karıştırma Dizaynı (zemin tipine ve dayanım gerekliliklerine bağlı)	Materyal	Temel olarak çimento şerbeti, buna ek olarak kumlarda bentonit, genel olarak katkı maddeleri, hatta ön-delgi fazında bile
	w/c (su/çimento oranı)	Tipik olarak düşük örneğin 0,6-1,0 (özellikle kohezyonlu zeminlerde)
	Çimento faktörü ($\text{kg}_{\text{cement}}/\text{m}^3_{\text{soil}}$)	200-250 kg/m^3 tipik olarak (80-450 kg/m^3 aralığında)
	Hacim oranı $\text{Vol}_{\text{grout}}/\text{Vol}_{\text{soil}}$	15-40%
İyileştirilmiş Zemin Özellikleri (Raporlanmış)	UCS	0,5-5 MPa (kumlarda); 0,2-1 MPa (siltlerde,killerde); çok sert zeminlerde 20 MPa kadar
	k	$<1 \times 10^{-8}$ m/s
	E	Veri yok
Önemli Avantajları/Dezavantajları		Sistemin hedefleri atık madde (spoil) (10-20%) minimize etmek ve panellerin içinde, arasında karışmamış bölgelerin varlığını en aza indirmektir.
Notlar		1991 yılında TREVI ve Rodio tarafından geliştirildi.
Referanslar		Pagliacci ve Pagotta (1994)

EK-1. (devam) Derin karıştırma yönteminin farklı tiplerinin özet tabloları

Çizelge E.3. Colmix özet tablosu

Yöntemin Adı		Colmix (4)
Yöntemin Sınıfı		W-R-S
Yöntemi Kullanan Şirket		Bachy
Yöntemin Kullanıldığı Coğrafya		Avrupa
Genel Tanımı		Sabit uçlardan ters dönen karıştırma şaftları harç enjekte edilirken zemine nüfuz eder. Karıştırılmış zemin penetrasyon sırasında deliğin (hole) altından üstüne doğru hareket eder ve geri çekilme sırasında tersine döner.
Özellikleri/Patent Koşulları		Avustralya patentinde 6 ila 8 burğu makinesi belirtilmiştir. Ekstraksiyon sırasında augerlerin yönünü değiştirmek kolonları daha kompakt bir hale getirir. ABD’de patentlidir. Otomatik delgi parametresi kaydedici harç(slurry) enjeksiyon oranını penetrasyon oranıyla senkronize eder.
Kurulum Detayları	Şaft Adedi	2,3 ya da 4 genellikle (6-8 mümkün)
	Çap	0,23-0,85 m
	Gerçekçi Max. Derinlik	20 m (10 m genellikle)
	rpm	Uygulanamaz
	Performans/Üretim	0,8 m/min penetrasyon sırasında; 1 m/min çekme (withdrawal) sırasında; 200-300 m/shift
Karıştırma Dizaynı (zemin tipine ve dayanım gerekliliklerine bağlı)	Materyal	Çimento, kireç, uçucu kül ve ağır metalleri ve organik maddeleri absorbe etmek için özel şerbetler
	w/c (su/çimento oranı)	Tipik olarak 1 ama geniş bir aralıkta
	Çimento faktörü ($\text{kg}_{\text{cement}}/\text{m}^3_{\text{soil}}$)	320 kg/m^3 ‘e kadar çıkabilir. (tipik olarak 200 kg/m^3)
	Hacim oranı $\text{Vol}_{\text{grout}}/\text{Vol}_{\text{soil}}$	30-50%
İyileştirilmiş Zemin Özellikleri (Raporlanmış)	UCS	3-4 MPa (killerde); kumlarda daha fazla
	k	$<1 \times 10^{-7}$ m/s
	E	(50-100) x UCS
Önemli Avantajları/Dezavantajları		Düşük oranda atık maddde çıkacağı iddia edildi. Yamaçlarda ve yapılara bitişik olarak kullanılabilir. Kompaksiyon etkisinden dolayı kolonların çapı 10-20% oranında şaft çaplarından büyük olmaktadır. Esnek ekipman ve karışım dizaynı imkanı vardır.
Notlar		1980’lerin sonlarında Fransa’da geliştirildi.
Referanslar		Harnan ve Iagolnitzer, 1992

EK-1. (devam) Derin karıştırma yönteminin farklı tiplerinin özet tabloları

Çizelge E.4. Zemin değiştirme tekniği özet tablosu

Yöntemin Adı		Zemin Değiştirme Tekniği (Soil Removal Technique) (5)
Yöntemin Sınıfı		W-R-S
Yöntemi Kullanan Şirket		Shimizu Birliği
Yöntemin Kullanıldığı Coğrafya		Japonya
Genel Tanımı		Sabit uçlardaki üstteki sürekli burgular penetrasyon sırasında zemini yer yüzeyine çıkartır. Alttakikarıştırma bıçakları geri çekilme sırasında döndürülür ve enjekte edilen harç ile zemini karıştırır.
Özellikleri/Patent Koşulları		Karıştırma sırasında deplasmanları ve yatay gerilmeleri sınırlamak için sürekli burgular (continuous flight augers) delginin ucundan yer yüzeyine doğru zemini uzaklaştırır.
Kurulum Detayları	Şaft Adedi	2
	Çap	1-1,2 m
	Gerçekçi Max. Derinlik	40 m
	rpm	Veri yok
	Performans/Üretim	Veri yok
Karıştırma Dizaynı (zemin tipine ve dayanım gerekliliklerine bağlı)	Materyal	Çimento şerbeti
	w/c (su/çimento oranı)	Veri yok
	Çimento faktörü ($\text{kg}_{\text{cement}}/\text{m}^3_{\text{soil}}$)	Veri yok
	Hacim oranı $\text{Vol}_{\text{grout}}/\text{Vol}_{\text{soil}}$	Veri yok
İyileştirilmiş Zemin Özellikleri (Raporlanmış)	UCS	0,5 MPa (yumuşak siltte) (geleneksel DMM'nin 70%)
	k	Veri yok
	E	Veri yok
Önemli Avantajları/Dezavantajları		Yatay deplasmanları ve karıştırma sırasında ortaya çıkan gerilmeleri azaltır. Ön-burgulama (pre-augering) ihtiyacını ortadan kaldırır.
Notlar		Operasyonel prototip aşaması Muhtemel patentli CDM'ye benzer olduğu kabul edilir.
Referanslar		Hirai ve diğerleri; 1996

EK-1. (devam) Derin karıştırma yönteminin farklı tiplerinin özet tabloları

Çizelge E.5. Cdm özet tablosu

Yöntemin Adı	CDM (6)	
Yöntemin Sınıfı	W-R-E	
Yöntemi Kullanan Şirket	Japonya'da CDM Birliği'nin 48 üyesinden fazlası	
Yöntemin Kullanıldığı Coğrafya	Japonya, Çin	
Genel Tanımı	Sabit uçlar, matkap ucunun üzerinde 4-6 karıştırma bıçaklı şaftları destekler. Çimento şerbeti (grout) penetrasyon ve (esas olarak) ekipmanın çekilmesi sırasında enjekte edilir. Ayrıca tam derinlikte 2-8 dakikalık bir karıştırma süresi vardır.	
Özellikleri/Patent Koşulları	Tüm CDM Birliği kapsamındaki çok farklı ve incelikli yöntemleri içerir	
Kurulum Detayları	Şaft Adedi	2-8 (denizde); 1-2 (karada) (her biri 4-6 bıçaklı) (12 bıçaklı da kullanılmıştır.)
	Çap	1-2 m (denizde); 0,7-1,5 m (karada)
	Gerçekçi Max. Derinlik	70 m (denizde); 40 m (karada)
	rpm	20-30 (penetrasyon sırasında); 40-60 (geri çekme sırasında)
	Performans/Üretim	0,5-2 m/min (ort. 1m/min) (penetrasyon sırasında) 1-2 m/min (geri çekme sırasında) (1000 m ³ /shift denizde; 100-200 m ³ /shift karada)
Karıştırma Dizaynı (zemin tipine ve dayanım gerekliliklerine bağlı)	Materyal	Taze ya da deniz suyu kullanan portland ya da cüruf çimentosu, bentonit, jipsüm, uçucu kül dahil çok çeşitli malzemeler ve ayrıca çeşitli katkı maddeleri.
	w/c (su/çimento oranı)	0,6-1,3, tipik olarak 1
	Çimento faktörü (kg _{cement} /m ³ _{soil})	100-300 kg/m ³ , tipik olarak 140-200 kg/m ³
	Hacim oranı Vol _{grout} /Vol _{soil}	20-30%
İyileştirilmiş Zemin Özellikleri (Raporlanmış)	UCS	Dayanımlar, <0,5-4 MPa (tipik olarak 2-4) arasında değişen harç bileşimi ile yakından kontrol edilebilir.
	k	1x10 ⁻⁸ m/s - 1x10 ⁻⁹ m/s
	E	(350-1000) x UCS (lab) (150-500) x UCS (saha)
Önemli Avantajları/Dezavantajları	Geniş çaplı Ar-Ge Bilgisi mevcuttur. Daha yumuşak denizel çökeller ve dolgular için özel olarak geliştirilmiştir, şimdi de kara esaslı projeler için kullanılmaktadır.	
Notlar	CDM Birliği 1977 yılında kurulmuştur. Japon Hükümeti'nin kontrolü altında 1967 yılında araştırma başlatıldı. ABD'de Raito, Inc. tarafından sunuldu.	
Referanslar	CDM (1996); Okumura (1996)	

EK-1. (devam) Derin karıştırma yönteminin farklı tiplerinin özet tabloları

Çizelge E.6. Ssm özet tablosu

Yöntemin Adı	SSM (7)	
Yöntemin Sınıfı	W-R-E	
Yöntemi Kullanan Şirket	Geo-Con, Inc.	
Yöntemin Kullanıldığı Coğrafya	ABD	
Genel Tanımı	Asılı uçlardaki veya sabit döner tablanın üzerindeki tek büyük çaplı burgu (auger), alt döner tabla tarafından döndürülür, harç veya kuru bağlayıcı enjekte edilir. Burgu rotasyonu ve enjeksiyon, iyileştirilen zonun tabanına kadar devam eder. Geri çekme sırasında burgu dönüşünde genellikle enjeksiyon olmaz.	
Özellikleri/Patent Koşulları	Tek geniş çaplı burgu (auger); karıştırma verimliliğini artırmak için periyodik olarak yukarı ve aşağı çekmek yaygındır.	
Kurulum Detayları	Şaft Adedi	1
	Çap	1-4 m
	Gerçekçi Max. Derinlik	12 m
	rpm	15
	Performans/Üretim	500-1500 m ³ /shift
Karıştırma Dizaynı (zemin tipine ve dayanım gerekliliklerine bağlı)	Materyal	Çimento şerbeti (cement grout), bentonit, uçucu kül, kireç (lime) ve atık imbolizasyonu için diğer katkı maddeleri
	w/c (su/çimento oranı)	1-1,75
	Çimento faktörü (kg _{cement} /m ³ _{soil})	200-400 kg/m ³
	Hacim oranı Vol _{grout} /Vol _{soil}	12-20%
İyileştirilmiş Zemin Özellikleri (Raporlanmış)	UCS	3,5-10 MPa daneli zeminlerde 0,6-1,2 MPa su içeriği yüksek olan çamurlarda
	k	1x10 ⁻¹⁰ m/s (mümkün olan)
	E	(100-300) x UCS
Önemli Avantajları/Dezavantajları	Kreozot, katran, organik maddeler, petrol vb. dahil olmak üzere çok çeşitli atıkları iyileştirebilir.	
Notlar	Çoğunlukla çevresel uygulamalar için kullanılır ancak jeoteknik alanında kullanımı artmıştır.	
Referanslar	Walker. 1992; Day ve Ryan, 1995; Nicholson ve diğerleri.; 1997	

EK-1. (devam) Derin karıştırma yönteminin farklı tiplerinin özet tabloları

Çizelge E.7. Ssc özet tablosu

Yöntemin Adı		SCC (8)
Yöntemin Sınıfı		W-R-E
Yöntemi Kullanan Şirket		SCC Technology, Inc.
Yöntemin Kullanıldığı Coğrafya		SCC (ABD); Tenoz (Japonya)
Genel Tanımı		Şerbet (grout) penetrasyon sırasında sabit uçlardaki şaftlardan enjekte edilir. Bir “paylaşma bıçağı” (share blade) ucun üzerinde (dönmeyen) yerleştirilmiştir. Hedeflenen derinlikte 1,5-3 m boyunca 1 dakikalık ek enjeksiyon artı salınım yapılır. Karşı rotasyonla geri çekme yapılır ve daha fazla harç enjeksiyonu yapılmaz.
Özellikleri/Patent Koşulları		Patentli “paylaşma bıçağı” (share blade) hareketi ile çok kapsamlı karıştırma gerçekleşir.
Kurulum Detayları	Şaft Adedi	3 çift döndürülmüş karıştırma bıçağı ve ayrıca “paylaşma bıçağı” bulunan tekli şaft. Zemin stabilizasyonu için çift şaft kullanımı mümkündür. Kazık uygulaması için tek şaft kullanılır.
	Çap	0,6-1,5 m; çift şaft için 1,2 m
	Gerçekçi Max. Derinlik	20 m max
	rpm	30-60
	Performans/Üretim	400 m kazık / 8 saatlik vardiyaya kadar 1 m/min penetrasyon ve çekme 100 m ² duvar
Karıştırma Dizaynı (zemin tipine ve dayanım gerekliliklerine bağlı)	Materyal	Genellikle çimento şerbeti, kül, bentonit.
	w/c (su/çimento oranı)	0,6-0,8 (killerde) 1,0-1,2 (kumlarda)
	Çimento faktörü (kg _{cement} /m ³ _{soil})	150-400 kg/m ³ çimento
	Hacim oranı Vol _{grout} /Vol _{soil}	25-35%
İyileştirilmiş Zemin Özellikleri (Raporlanmış)	UCS	3,5-7 MPa (kumlarda) 1,3-7 MPa (kohezyonlu zeminlerde)
	k	1x10 ⁻⁸ m/s
	E	180 x UCS
Önemli Avantajları/Dezavantajları		Düşük w/c oranı ve minimum enjekte hacmi sayesinde minimum harç kaybı ile az miktarda atık madde çıkar. Çok verimli karıştırma elde edilir.
Notlar		1979’dan beri Japonya’da ve 1993’de ABD’de kullanılır
Referanslar		Taki ve Bell (1997)

EK-1. (devam) Derin karıştırma yönteminin farklı tiplerinin özet tabloları

Çizelge E.8. Mectool özet tablosu

Yöntemin Adı		MecTool (9)
Yöntemin Sınıfı		W-R-E
Yöntemi Kullanan Şirket		Millgard Corporation
Yöntemin Kullanıldığı Coğrafya		ABD ve Birleşik Krallık (UK)
Genel Tanımı		Kohezyonlu zeminler için çimento şerbeti (grout) her bir parçanın merkezinde bulunan deliğe yerleşir ve takımın halkasındaki zemin daha sonra karıştırma aletiyle karıştırılır. İçi boş kelly bardan enjekte edilen harçla karıştırmayı sonlandırılır.
Özellikleri/Patent Koşulları		MecTool (ABD Patent #5,135,058) ve Aqua MecTool (ABD Patent #5,124,765) ikincil kirlenmeye karşı koruma sağlayan, suya daldırılmış karıştırma aletini iyileştirilmiş zonda bulunan bir izolasyon mekanizmasını açıklar
Kurulum Detayları	Şaft Adedi	1
	Çap	1,2-4,2 m max.
	Gerçekçi Max. Derinlik	25 m max (genellikle 6 m az)
	rpm	Veri yok
	Performans/Üretim	0,6 m/min
Karıştırma Dizaynı (zemin tipine ve dayanım gerekliliklerine bağlı)	Materyal	PFA (Pulverised Fuel Ash) içeren çimento şerbeti ve diğer maddeler± tescilli katkı maddeleri
	w/c (su/çimento oranı)	Veri yok
	Çimento faktörü ($\text{kg}_{\text{cement}}/\text{m}^3_{\text{soil}}$)	Veri yok
	Hacim oranı $\text{Vol}_{\text{grout}}/\text{Vol}_{\text{soil}}$	Tahmini aralık 20-35%
İyileştirilmiş Zemin Özellikleri (Raporlanmış)	UCS	0,8-2,5 MPa
	k	1×10^{-8} m/s- 1×10^{-9} m/s
	E	Veri yok
Önemli Avantajları/Dezavantajları		Şerbet (grout) ve atık madde miktarında çok iyi bir kontrol mekanizması vardır.
Notlar		Başlıca çevresel uygulamalarda kullanılır. SSM'ye benzerdir.
Referanslar		Millgard Corporation, 1993

EK-1. (devam) Derin karıştırma yönteminin farklı tiplerinin özet tabloları

Çizelge E.9. Ras kolon yöntemi özet tablosu

Yöntemin Adı		RAS Column Method (RAS Kolon Yöntemi) (10)
Yöntemin Sınıfı		W-R-E
Yöntemi Kullanan Şirket		Raito Kogyo, Co
Yöntemin Kullanıldığı Coğrafya		Japonya
Genel Tanımı		Sabit uç üzerinde büyük çaplı, tek şaftlı, eşmerkezli çift çubuk sistemi yüksek devirlerde zemine döndürülerek sokulur ve şerbet iyileştirilecek zemin üzerine enjekte edilir. Mekanizma, ilave harç enjeksiyonu ile veya enjeksiyon olmadan bölge içerisinde yukarı ve aşağı doğru çekilir.
Özellikleri/Patent Koşulları		İç çubuktaki kesme bıçağı, dış çubuktaki iki karıştırma bıçağından zıt yönde döner. Harç enjeksiyon portları iç çubuğun tabanında bulunur.
Kurulum Detayları	Şaft Adedi	1
	Çap	1,4 ve 2 m (tipik CDM'den büyük)
	Gerçekçi Max. Derinlik	Genellikle 24 m; 28 m de mümkün
	rpm	40'a kadar (her yönde)
	Performans/Üretim	Penetrasyon sırasında 0,5 m/min Geri çekme sırasında 1 m/min
Karıştırma Dizaynı (zemin tipine ve dayanım gerekliliklerine bağlı)	Materyal	Çimento şerbeti (Cement grout)
	w/c (su/çimento oranı)	0,8 (saha denemesi/deneyi)
	Çimento faktörü ($\text{kg}_{\text{cement}}/\text{m}^3_{\text{soil}}$)	300 kg/m^3 (saha denemesi/deneyi)
	Hacim oranı $\text{Vol}_{\text{grout}}/\text{Vol}_{\text{soil}}$	33% (saha denemesi/deneyi)
İyileştirilmiş Zemin Özellikleri (Raporlanmış)	UCS	1-6 MPa
	k	Veri yok
	E	Veri yok
Önemli Avantajları/Dezavantajları		Büyük çaplı burgu (auger) üretimi, bilgisayar kontrolünü ve izlenmesini hızlandırır ve düzgün bir şekilde karıştırır. Özellikle yoğun zeminlerde çok faydalıdır.
Notlar		CDM'ye benzer olduğu varsayılır.
Referanslar		Isbe ve diğerleri., 1996

EK-1. (devam) Derin karıştırma yönteminin farklı tiplerinin özet tabloları

Çizelge E.10. Rectangular 1 özet tablosu

Yöntemin Adı	Rectangular 1 (Cutting Wheels/Kesme Diskleri) (11)	
Yöntemin Sınıfı	W-R-E	
Yöntemi Kullanan Şirket	Shimizu	
Yöntemin Kullanıldığı Coğrafya	Japonya	
Genel Tanımı	Penetrasyon sırasında yatay karıştırma bıçakları ve dikey kanatlarla (vanes) yan yana bağlanmış bir çift şaft döndürülür. Penetrasyon ve / veya çekme sırasında harç enjeksiyonu yapılır. Dikey kanatlar dikdörtgen elemanlar oluşturur.	
Özellikleri/Patent Koşulları	Dikdörtgen sütunlar oluşturmak için pençe benzeri kanatların kullanılması; kanatlar patentli olabilir. Dikeyliği izlemek için karıştırma ünitesine sabitlenmiş inklinometre vardır.	
Kurulum Detayları	Şaft Adedi	2
	Çap	1-m x 1,8 m kolonlar
	Gerçekçi Max. Derinlik	15 m
	rpm	Veri yok
	Performans/Üretim	1 m/mim penetrasyon/geri çekme
Karıştırma Dizaynı (zemin tipine ve dayanım gerekliliklerine bağlı)	Materyal	Çimeto şerbeti (Cement grout)
	w/c (su/çimento oranı)	Veri yok
	Çimento faktörü ($\text{kg}_{\text{cement}}/\text{m}^3_{\text{soil}}$)	Veri yok
	Hacim oranı $\text{Vol}_{\text{grout}}/\text{Vol}_{\text{soil}}$	Veri yok
İyileştirilmiş Zemin Özellikleri (Raporlanmış)	UCS	Veri yok
	k	Veri yok
	E	Veri yok
Önemli Avantajları/Dezavantajları	Dikdörtgen sütunlar daireselden daha az üst üste binme (overlap) gerektirir. Karıştırma sırasında dikey akış, vuruş/inme başına daha büyük kesitsel sütun alanı oluşur.	
Notlar	Operasyonel prototip aşaması vardır.CDM'ye benzer olduğu kabul edilir.	
Referanslar	Watanabe ve diğerleri., 1996	

EK-1. (devam) Derin karıştırma yönteminin farklı tiplerinin özet tabloları

Çizelge E.11. Rectangular 2 özet tablosu

Yöntemin Adı	Rectangular 2 (Box Columns/Kutu Kolonları) (12)	
Yöntemin Sınıfı	W-R-E	
Yöntemi Kullanan Şirket	Daisho Shinko Corp.	
Yöntemin Kullanıldığı Coğrafya	Japonya	
Genel Tanımı	Karıştırma şaftı döndürülür, “kutu muhafazası” iletilir (döndürülmeden) ve penetrasyon sırasında şerbet enjekte edilir. Şaft çekme sırasında ters çevrilir.	
Özellikleri/Patent Koşulları	Karıştırma aletlerini çevreleyen ve kare veya dikdörtgen sütunlar oluşturmak için iyileştirilmiş zemin içeren kutu muhafazasının kullanımı en önemli özelliğidir.	
Kurulum Detayları	Şaft Adedi	4 yatay karıştırma bıçağı ile 1 adet
	Çap	1-m kare kutu
	Gerçekçi Max. Derinlik	Veri yok
	rpm	30 (sadece şaft)
	Performans/Üretim	Penetrasyon sırasında 0,5 m/min Geri çekme sırasında 1 m/min
Karıştırma Dizaynı (zemin tipine ve dayanım gerekliliklerine bağlı)	Materyal	Çimento şerbeti (Cement grout)
	w/c (su/çimento oranı)	1,0-1,2
	Çimento faktörü ($\text{kg}_{\text{cement}}/\text{m}^3_{\text{soil}}$)	150-400 kg/m^3
	Hacim oranı $\text{Vol}_{\text{grout}}/\text{Vol}_{\text{soil}}$	Veri yok
İyileştirilmiş Zemin Özellikleri (Raporlanmış)	UCS	1,2-4,2 MPa
	k	Veri yok
	E	Veri yok
Önemli Avantajları/Dezavantajları	Kare / dikdörtgen sütunlar dairesel sütunlardan daha az bindirme (overlapping) gerektirir. Tek tip karıştırma teşvik edilir.	
Notlar	Operasyonel prototip aşaması vardır. CDM’ye benzer olduğu kabul edilir.	
Referanslar	Mizutani ve diğerleri.,1996	

EK-1. (devam) Derin karıştırma yönteminin farklı tiplerinin özet tabloları

Çizelge E.12. Sam özet tablosu

Yöntemin Adı		Single Auger Mixing (SAM) (13)
Yöntemin Sınıfı		W-R-E
Yöntemi Kullanan Şirket		Terra Constructors
Yöntemin Kullanıldığı Coğrafya		ABD
Genel Tanımı		Penetrasyon sırasında harç enjeksiyonu ile asma uçlarda büyük çaplı karıştırma aleti döner.
Özellikleri/Patent Koşulları		Daha derin uygulamalar için öngörülen çoklu burgu karıştırma (multiple-auger mixing MAM) kabiliyeti en önemli özelliğidir.
Kurulum Detayları	Şaft Adedi	1
	Çap	1-3,6 m
	Gerçekçi Max. Derinlik	13 m max
	rpm	8-16
	Performans/Üretim	380 m ³ /8-h shift
Karıştırma Dizaynı (zemin tipine ve dayanım gerekliliklerine bağlı)	Materyal	Esas olarak çimento şerbeti ve atıkların oksidasyonu / stabilizasyonu için diğer katkı maddeleri
	w/c (su/çimento oranı)	0,75-1
	Çimento faktörü (kg _{cement} /m ³ _{soil})	Veri yok
	Hacim oranı Vol _{grout} /Vol _{soil}	Ağırlıkça 10-20%
İyileştirilmiş Zemin Özellikleri (Raporlanmış)	UCS	Zemin tipine göre değişir; 3,5 MPa'ya kadar çıkabilir.
	k	Yerinde zeminin değerine yakındır.
	E	Veri yok
Önemli Avantajları/Dezavantajları		Su tablasının altındaki zeminlerde uygulanabilir. Çevresel uygulamalar için de uygundur.
Notlar		1995'ten bu yana geliştirildi.
Referanslar		Terra Constructors, 1998

EK-1. (devam) Derin karıştırma yönteminin farklı tiplerinin özet tabloları

Çizelge E.13. Cementation özet tablosu

Yöntemin Adı		Cementation (14)
Yöntemin Sınıfı		W-R-E
Yöntemi Kullanan Şirket		Kvaerner Cementation
Yöntemin Kullanıldığı Coğrafya		Birleşik Krallık
Genel Tanımı		Sabit uçlardaki tek burgu penetrasyon sırasında döndürülür. Burgu beş kez 1 m uzunluğunda yukarı ve aşağı çekilmiş, ardından bir sonraki 1 m'lik artışa yükseltilmiştir. Yüzeye doğru tekrarlanır. Penetrasyon (penetration), çevirme/aşağı yukarı hareket ettirme(cycling) ve / veya geri çekilme(withdrawal) üzerine enjeksiyona dayanır.
Özellikleri/Patent Koşulları		Küçük çaplı sürekli kollu uzunluğu kısa tutulmuş auger kombinasyonu kullanılır.
Kurulum Detayları	Şaft Adedi	1
	Çap	0,75 m (1 m de mümkündür)
	Gerçekçi Max. Derinlik	10±m
	rpm	Veri yok
	Performans/Üretim	0,5-0,67 m/min penetrasyon/karıştırma sırasında
Karıştırma Dizaynı (zemin tipine ve dayanım gerekliliklerine bağlı)	Materyal	Çimeto şerbeti uçucu kül olmadan ya da uçucu kül ile
	w/c (su/çimento oranı)	0,4
	Çimento faktörü ($\text{kg}_{\text{cement}}/\text{m}^3_{\text{soil}}$)	60-130 kg/m^3
	Hacim oranı $\text{Vol}_{\text{grout}}/\text{Vol}_{\text{soil}}$	Bilinmiyor
İyileştirilmiş Zemin Özellikleri (Raporlanmış)	UCS	5-10 MPa
	k	Veri yok
	E	Veri yok
Önemli Avantajları/Dezavantajları		Az miktarda atık madde, düşük kabarma potansiyeli avantajlarındandır. Drenajın olmadığı yerde suya doymuş zeminlerde iyidir.
Notlar		Piyasa koşullarından dolayı İngiltere’de kullanılmamaktadır.
Referanslar		Greenwood, 1987

EK-1. (devam) Derin karıştırma yönteminin farklı tiplerinin özet tabloları

Çizelge E.14. Hbm özet tablosu

Yöntemin Adı		HBM (Single Axis Tooling) (15)
Yöntemin Sınıfı		W-R-E
Yöntemi Kullanan Şirket		Hayward Baker Inc., a Keller Co.
Yöntemin Kullanıldığı Coğrafya		ABD (ancak dünya çapındaki kardeş şirketler için fırsatlar)
Genel Tanımı		Kablolu asılı şaft döner tabla tarafından döndürülür. Harç(grout) genellikle penetrasyon sırasında enjekte edilir, ardından 5 dakika karıştırılır ve sadece “dolum harcı” enjeksiyonu ile salınım yapılır (sadece% 1-5).
Özellikleri/Patent Koşulları		Keller’e özel yöntem
Kurulum Detayları	Şaft Adedi	Tekli matkap ucunun üzerinde 2 veya 3 çift karıştırma pedalı ile.
	Çap	0,5-3,5 m, genellikle 2,1 ve 2,4 m
	Gerçekçi Max. Derinlik	20 m max.
	rpm	20-25 (penetrasyon); geri çekme sırasında daha yüksek
	Performans/Üretim	0,3-0,5 m/min (penetrasyon); geri çekilme sırasında daha hızlı. 500 m ³ /shift den fazla
Karıştırma Dizaynı (zemin tipine ve dayanım gerekliliklerine bağlı)	Materyal	Zemin tipine göre ihtiyacına göre değişir
	w/c (su/çimento oranı)	1-2 (genellikle alt ucunda)
	Çimento faktörü (kg _{cement} /m ³ _{soil})	150 kg/m ³
	Hacim oranı Vol _{grout} /Vol _{soil}	15-30%
İyileştirilmiş Zemin Özellikleri (Raporlanmış)	UCS	3,5-10 MPa (kumlarda) 0,2-1,4 (killerde)
	k	1x10 ⁻¹⁰ m/s
	E	Veri yok
Önemli Avantajları/Dezavantajları		İyi karıştırma; orta penetrasyon kabiliyeti; düşük atık hacmi(low spoil volume) avantajları arasındadır. Kuru bağlayıcı yöntemi de mevcuttur
Notlar		1990’dan beri gelişimdedir. 1997’den beri ticari olarak uygundur.
Referanslar		Bruke ve diğerleri., 1998

EK-1. (devam) Derin karıştırma yönteminin farklı tiplerinin özet tabloları

Çizelge E.15. Rotomix özet tablosu

Yöntemin Adı		Rotomix (16)
Yöntemin Sınıfı		W-R-E
Yöntemi Kullanan Şirket		INQUIP Associates
Yöntemin Kullanıldığı Coğrafya		ABD ve Kanada
Genel Tanımı		Tek döner şaft ve matkap ucu; Harç Enjeksiyonu
Özellikleri/Patent Koşulları		INQUIP'a tescilli
Kurulum Detayları	Şaft Adedi	Tekli, pedallarla döner matkap ucu
	Çap	1,2-4,8 m
	Gerçekçi Max. Derinlik	3-30 m (auger (burgu) çapına bağlı)
	rpm	5-45
	Performans/Üretim	Veri yok
Karıştırma Dizaynı (zemin tipine ve dayanım gerekliliklerine bağlı)	Materyal	Çimento
	w/c (su/çimento oranı)	0,8-2 genellikle
	Çimento faktörü ($\text{kg}_{\text{cement}}/\text{m}^3_{\text{soil}}$)	$>100 \text{ kg/m}^3$
	Hacim oranı $\text{Vol}_{\text{grout}}/\text{Vol}_{\text{soil}}$	$>15\%$
İyileştirilmiş Zemin Özellikleri (Raporlanmış)	UCS	$>0,1 \text{ MPa}$
	k	$<1 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ genellikle
	E	Veri yok
Önemli Avantajları/Dezavantajları		İyi penetrasyon / karıştırma Çamur arıtımında kullanım için kuru bağlayıcı mevcuttur
Notlar		1990 yılında geliştirildi, çoğunlukla çevre uygulamaları için kullanılır. Sınırlı veri vardır.
Referanslar		INQUIP Associates, 1998

EK-1. (devam) Derin karıştırma yönteminin farklı tiplerinin özet tabloları

Çizelge E.16. Swing Özet Tablosu

Yöntemin Adı		Spread Wing (SWING) (17)
Yöntemin Sınıfı		W-J-E
Yöntemi Kullanan Şirket		Taisei Corporation/Raito Kogyo, Co.& others
Yöntemin Kullanıldığı Coğrafya		Japonya, ABD
Genel Tanımı		Bıçak geri çekilmiş haldeyken, 0,6 m çapında pilot delik iyileştirilecek bölgenin altına döner şekilde açılır. Bıçaklar genişletirilir, zon 2 m çapında döner karıştırma ve 3,6 m çapında hava jeti ile iyileştirilir.
Özellikleri/Patent Koşulları		Doğrultucu karıştırma bıçağı, belirli derinliklerin geniş çaplı işlem görmesini sağlar. Konsantrik olarak mekanik olarak karıştırılmış ve jet karıştırılmış zonlar üretilmiştir. Patentlidir.
Kurulum Detayları	Şaft Adedi	1
	Çap	0,6 m pilot delik, 2,0 m (mekanik) - 3,6 m (jetlenmiş) kolon
	Gerçekçi Max. Derinlik	40 m
	rpm	Veri yok
	Performans/Üretim	0,03-0,1 m/min penetrasyon sırasında
Karıştırma Dizaynı (zemin tipine ve dayanım gerekliliklerine bağlı)	Materyal	Çimento şerbeti
	w/c (su/çimento oranı)	Veri yok
	Çimento faktörü ($\text{kg}_{\text{cement}}/\text{m}^3_{\text{soil}}$)	450 kg/m^3
	Hacim oranı $\text{Vol}_{\text{grout}}/\text{Vol}_{\text{soil}}$	Veri yok
İyileştirilmiş Zemin Özellikleri (Raporlanmış)	UCS	0,4-4,4 MPa (mekanik karıştırılmış zon); 1,5 MPa (kumlu), 1,2 MPa (kohezyonlu zeminlerde) (jetli-karıştırılmış zon)
	k	1×10^{-8} m/s
	E	150 x UCS (mekanik olarak karıştırılmış zon); 100 x UCS (jetli-karıştırılmış zon)
Önemli Avantajları/Dezavantajları		Değişken basınçlarla üretilen değişken kolon boyutu; geri çekilebilir / genişletilebilir bıçak, jet karıştırma erişimin zor olduğu alanlarında bitişik yeraltı yapıları ile iyi temas sağlar.
Notlar		1980'lerin sonunda Japonya'da 17 üyeli SWING Derneği kurulmuştur.
Referanslar		Kawasaki, 1996; Yang ve diğerleri., 1998

EK-1. (devam) Derin karıştırma yönteminin farklı tiplerinin özet tabloları

Çizelge E.17. Jacsman özet tablosu

Yöntemin Adı		JACSMAN (18)
Yöntemin Sınıfı		W-J-E
Yöntemi Kullanan Şirket		Chemical Grout Co., Fudo Co., & others
Yöntemin Kullanıldığı Coğrafya		Japonya
Genel Tanımı		İkiz karşı dönen şaftlar vardır, penetrasyon sırasında kesme bıçaklarından düşük basınçta enjekte edilir. Çekme sırasında, üst iki bıçak çiftindeki eğimli, çapraz jetler çapları arttırmak ve karışım verimliliğini arttırmak için yüksek hızlarda kullanılır.
Özellikleri/Patent Koşulları		DMM ve jet grout kombinasyonu, bitişik kolonlar ve kontrollü çap ve kalitede kolonlar arasında iyi bağlantılar sağlar. Oluşan kolon nominal olarak planda 1,9 m x 2,7 m'dir. Süreç patentlidir.
Kurulum Detayları	Şaft Adedi	Her biri 3 bıçaklı, 0,8 m aralıklarla 2 şaft.
	Çap	1 m (şaft boyunca 0,8 m aralıklarla bıçaklar)
	Gerçekçi Max. Derinlik	20 m
	rpm	20
	Performans/Üretim	Penetrasyon sırasında 1 m/min Geri çekme sırasında 0,5-1 m/min
Karıştırma Dizaynı (zemin tipine ve dayanım gerekliliklerine bağlı)	Materyal	Çimeto şerbeti
	w/c (su/çimento oranı)	1
	Çimento faktörü ($\text{kg}_{\text{cement}}/\text{m}^3_{\text{soil}}$)	200 kg/m^3 (jetlenmiş); 320 kg/m^3 (DMM). Hava ayrıca jetin etkisini geliştirmek için kullanılır
	Hacim oranı $\text{Vol}_{\text{grout}}/\text{Vol}_{\text{soil}}$	DM penetrasyonu sırasında şaft başına 200 L/min; Çekme sırasında şaft başına 300 L/min (püskürtme); yani,% 20-30
İyileştirilmiş Zemin Özellikleri (Raporlanmış)	UCS	2,5-8 MPa (siltli kum ve kilde) 1,2-3 MPa (siltli kum)
	k	Veri yok
	E	Veri yok
Önemli Avantajları/Dezavantajları		İyileştirme hacmini ve kalitesini artırmak için DMM ve jet-grouting ilkelerini birleştiren yeni sistem; jetleme kolonlar arasında iyi bir bindirme sağlar.
Notlar		İsim, Jet ve Churning System Management'in kısaltmasıdır.
Referanslar		Miyoshi ve Hirayama (1996)

EK-1. (devam) Derin karıştırma yönteminin farklı tiplerinin özet tabloları

Çizelge E.18. Ldis özet tablosu

Yöntemin Adı		LDis (19)
Yöntemin Sınıfı		W-J-E
Yöntemi Kullanan Şirket		Onoda Chemical Co., Ltd.
Yöntemin Kullanıldığı Coğrafya		Japonya
Genel Tanımı		Karıştırma aleti tam (full) derinliğe kadar döndürülür. Zemin parçalamak ve çıkarmak için alet geri çekilir (döndürülür), ardından tam derinliğe kadar tekrar penetre edilir. Harç (grout), yüksek basınçta, jetler yoluyla ikinci geri çekilme sırasında enjekte edilir.
Özellikleri/Patent Koşulları		Jet ile yerinden edilen malzemenin hacmini azaltmak ve dolayısıyla yer hareketini (ground movement) sınırlandırmak (yani, kaldırılan hacme eşit enjekte edilen hacmi yapmak için) tek bıçaklı burgu(auger) eklenmiş geleneksel jet harç ekipmanı en önemli özelliğidir.
Kurulum Detayları	Şaft Adedi	1
	Çap	1,0 m civarında (jetlemiş)
	Gerçekçi Max. Derinlik	20 m
	rpm	3-40
	Performans/Üretim	0,33 m/min penetrasyon sırasında. Genel olarak, jet grout'un yaklaşık% 65'i.
Karıştırma Dizaynı (zemin tipine ve dayanım gerekliliklerine bağlı)	Materyal	Çimeto şerbeti (Cement grout)
	w/c (su/çimento oranı)	Veri yok
	Çimento faktörü ($\text{kg}_{\text{cement}}/\text{m}^3_{\text{soil}}$)	Veri yok
	Hacim oranı $\text{Vol}_{\text{grout}}/\text{Vol}_{\text{soil}}$	Yaklaşık 40%
İyileştirilmiş Zemin Özellikleri (Raporlanmış)	UCS	2 MPa
	k	Veri yok
	E	Veri yok
Önemli Avantajları/Dezavantajları		Spoil (atık) hacmi yaklaşık olarak enjekte edilen hacme eşittir. Minimal zemin kabarması avantajlarından biridir.
Notlar		Operasyonel prototip aşaması vardır. Geleneksel jet-grout yöntemine benzer olduğu kabul edilir.
Referanslar		Ueki ve diğerleri., 1996

EK-1. (devam) Derin karıştırma yönteminin farklı tiplerinin özet tabloları

Çizelge E.19. Geojet özet tablosu

Yöntemin Adı	GeoJet (20)	
Yöntemin Sınıfı	W-J-E	
Yöntemi Kullanan Şirket	Condon Johnson and Associates	
Yöntemin Kullanıldığı Coğrafya	ABD	
Genel Tanımı	Harç (grout) hızlı penetrasyon sırasında bir “işlemci” üzerindeki portlar aracılığıyla püskürtülür. Kanatlar zemini keser, jetlenmiş harç (grout) ile karıştırılır.	
Özellikleri/Patent Koşulları	Mekanik ve hidrolik kesme / karıştırma kombinasyonu, yüksek kaliteli karıştırma ve hızlı penetrasyon sağlar. Amerika’nın batısında beş eyalet için CJA tarafından lisans verilmiştir. Diğerleri için Trevi-ICOS tarafından lisans verilmiştir.	
Kurulum Detayları	Şaft Adedi	Kanat çifti veya benzeri “işlemci” ile 1 shaft
	Çap	0,6-1,2 m
	Gerçekçi Max. Derinlik	45 m max (25 m genellikle)
	rpm	150-200 (son zamanlarda 80-90 rpm)
	Performans/Üretim	2-12 m/min (penetrasyon) (genellikle 6 m/min) 15 m/min (çekme); 150 m piles/h mümkün
Karıştırma Dizaynı (zemin tipine ve dayanım gerekliliklerine bağlı)	Materyal	Çimento şerbeti; gerekirse katkı maddeleri
	w/c (su/çimento oranı)	0,5-1,5 (genellikle 0,8-1,0)
	Çimento faktörü ($\text{kg}_{\text{cement}}/\text{m}^3_{\text{soil}}$)	150-300 kg/m^3
	Hacim oranı $\text{Vol}_{\text{grout}}/\text{Vol}_{\text{soil}}$	20-40%
İyileştirilmiş Zemin Özellikleri (Raporlanmış)	UCS	0,7-5,5 MPa (Bay eyaletindeki çamurda) 4,8-10,3 MPa (Beaumont daki kilde)
	k	Veri yok
	E	Veri yok
Önemli Avantajları/Dezavantajları	Penetrasyon parametrelerinin bilgisayar kontrolü mükemmeldir. İyi dayanım sağlar. Az miktarda atık çıkar. Tekrarlama imkanı vardır. Mükemmel karışım ortaya çıkar. Verim çok iyidir.	
Notlar	1990’lı yılların başlarından beri geliştirilmiştir. “İşlemci”, sistem ve bilgisayar kontrolü üzerine beş patent; bekleyen üç patent vardır.	
Referanslar	Reavis ve Freyaldenhoven (1994)	

EK-1. (devam) Derin karıştırma yönteminin farklı tiplerinin özet tabloları

Çizelge E.20. Hydramech özet tablosu

Yöntemin Adı		Hydramech (21)
Yöntemin Sınıfı		W-J-E
Yöntemi Kullanan Şirket		Geo-Con, Inc.
Yöntemin Kullanıldığı Coğrafya		ABD
Genel Tanımı		Kolon teşkil etmek için açılan delik su / bentonit veya başka bir sondaj sıvısı ile delinir. Basınçlı hava kullanılmaz. Altta, şaft boyunca düşük basınçlı mekanik karıştırmaya başlanır. Alt zonda üç kez tur atılır. Aynı anda çok sayıda yüksek basınçlı jet (350-450 MPa) basılır.
Özellikleri/Patent Koşulları		Karıştırma aletlerinin dış kenarlarında 2 mm çapında “hydra” nozülleri vardır. Mekanik karıştırma kolonların merkezinde olur, Jetler tarafından ayrıştırmanın gerçekleştiği yere yani kolonun çevresine zemin parçacıkları ittirilir.
Kurulum Detayları	Şaft Adedi	1
	Çap	0,9-m burgu üzerinde 1,2-m kanatlar vardır, jet etkinliğine bağlı olarak 2 m çapına kadar kolon oluşturulabilir. Karıştırma belirli horizonlarıçinde gerçekleştirilebilir, yani tam kolonlar yerine pluglar oluşturulabilir.
	Gerçekçi Max. Derinlik	20±m
	rpm	10-20
	Performans/Üretim	500 m³/shift’e kadar
Karıştırma Dizaynı (zemin tipine ve dayanım gerekliliklerine bağlı)	Materyal	Çimento
	w/c (su/çimento oranı)	1,0-1,5
	Çimento faktörü (kg _{cement} /m³ _{soil})	100-250 kg/m³
	Hacim oranı Vol _{grout} /Vol _{soil}	Zemin ağırlığının 10-15%
İyileştirilmiş Zemin Özellikleri (Raporlanmış)	UCS	10 MPa’a kadar çıkar
	k	1 x 10 ⁻⁹ m/s
	E	(100-300) x UCS
Önemli Avantajları/Dezavantajları		Hava kullanılmamıştır. Çok düzgün karıştırma özelliği vardır. Her derinlikte çap değişmez, kontrollü ilerler. Jet enjeksiyonundan birkaç kat daha ucuzdur.
Notlar		Texas A&M’de sahada test edilmiştir. 1998’den itibaren tamamen operasyoneldir.
Referanslar		Geo-Con, Inc., 1998

EK-1. (devam) Derin karıştırma yönteminin farklı tiplerinin özet tabloları

Çizelge E.21. Dry jet mixing özet tablosu

Yöntemin Adı	Dry Jet Mixing (22)	
Yöntemin Sınıfı	D-R-E	
Yöntemi Kullanan Şirket	DJM Birliği (64 şirket)	
Yöntemin Kullanıldığı Coğrafya	Japonya	
Genel Tanımı	Jet nozüllerinin tıkanmasını önlemek için alt bıçaklardan basınçlı hava enjekte edilirken şaftlar döndürülür. Kuru malzemeler çekme sırasında basınçlı hava ile ve ters yönde döndürülerek enjekte edilir. Hava kare kesit şaftın etrafından yüzeye çıkar.	
Özellikleri/Patent Koşulları	Sistem patentli ve DJM Association tarafından korunuyor. İki temel patent vardır (bıçak tasarımı ve elektronik kontrol sistemi). Birçok ek patenti de vardır.	
Kurulum Detayları	Şaft Adedi	Her birinde 2-3 çift bıçak bulunan, 0,8 ila 1,5 m arasında ayarlanabilen 1-2 şaft.
	Çap	1 m
	Gerçekçi Max. Derinlik	33 m max.
	rpm	Penetrasyon sırasında 24-32. Çekme işlemi sırasında iki kat daha yüksek
	Performans/Üretim	0,5 m/min penetrasyon sırasında; 3 m/min çekme sırasında. Düşük gabari boşluğu (headroom) durumunda 35-40% daha az
Karıştırma Dizaynı (zemin tipine ve dayanım gerekliliklerine bağlı)	Materyal	Genellikle çimento, fakat sönmemiş kireç (quicklime) çok yüksek nem içeriğine sahip killerde kullanılır.
	w/c (su/çimento oranı)	Uygulanamaz
	Çimento faktörü ($\text{kg}_{\text{cement}}/\text{m}^3_{\text{soil}}$)	100-400 kg/m^3 (kumlar ve çimeto kullanarak ince daneli zeminlerde); 200-600 kg/m^3 (çimeto kullanarak turba ve organikler); 50-300 kg/m^3 (kireç kullanılarak yumuşak denizel killeri)
	Hacim oranı $\text{Vol}_{\text{grout}}/\text{Vol}_{\text{soil}}$	Uygulanamaz
İyileştirilmiş Zemin Özellikleri (Raporlanmış)	UCS	Zemine ve bağlayıcıya bağlı olarak büyük ölçüde değişir, 1-10 MPa.
	k	CDM permeabilitesinden daha yüksek
	E	$E_{50} = (50-200) \times \text{UCS}$
Önemli Avantajları/Dezavantajları	Ağır döner başlıklar uçların altında kalır ve özellikle yumuşak koşullarda kulelerin mekanik stabilitesini artırır. Çok az atık madde(spoil) çıkar. Verimli karıştırma olur. Kapsamlı Ar-Ge deneyimi vardır. Büyük işlerde hızlı üretim avantajı sağlar.	
Notlar	Japon Hükümeti tarafından desteklendi ve 1980 yılında tamamen faaliyete geçti. (1981 yılında ilk uygulama) ABD’de Raito, Inc. tarafından 1998’den beri satışa sunuldu.	
Referanslar	DJM Bröşürü (1996); Fujita (1996); Yang ve diğerleri., 1998	

EK-1. (devam) Derin karıştırma yönteminin farklı tiplerinin özet tabloları

Çizelge E.22. Lime cement columns özet tablosu

Yöntemin Adı		Lime Cement Columns (23)
Yöntemin Sınıfı		D-R-E
Yöntemi Kullanan Şirket		Çeşitli İskandinav ve Uzak Doğu ülkelerindeki şirketlerde, ABD’de sadece stabilatör
Yöntemin Kullanıldığı Coğrafya		İskandinavya ,Uzak Doğu, ABD
Genel Tanımı		Enjeksiyon portlarını temiz tutmak için karıştırma aracının altına basınçlı hava enjekte edilirken şaft döndürülür. Çekme ve geri dönüş sırasında kuru malzemeler, basınçlı hava yoluyla enjekte edilir. Bağlayıcıyı hidratlamak için yeterli serbest su gerekir, örneğin, kum>% 15; silt>% 20; kil>% 35.
Özellikleri/Patent Koşulları		Atık miktarı (very low spoil) çok azdır. Verimi yüksektir. Karıştırma verimi yüksektir.
Kurulum Detayları	Şaft Adedi	Tekli şaft, çeşitli karıştırma/kesme bıçakları
	Çap	0,5-1,2 m, genellikle 0,6 ya da 0,8 m
	Gerçekçi Max. Derinlik	30 m max. (20 m genellikle)
	rpm	100-200, genellikle 130-170
	Performans/Üretim	2-3 m/min (penetrasyon sırasında) 0,6-0,9 m/min (çekme sırasında) 400-1000 lin m/shift (0,6 m çap)
Karıştırma Dizaynı (zemin tipine ve dayanım gerekliliklerine bağlı)	Materyal	Değişik yüzdelerde çimento ve kireç (genellikle 50:50 ya da 75:25)
	w/c (su/çimento oranı)	Uygulanamaz
	Çimento faktörü ($\text{kg}_{\text{cement}}/\text{m}^3_{\text{soil}}$)	23-28 kg/m (0,6 m çap), genellikle 40 kg/m (0,8 m çap); genel olarak 20-60 kg/m örneğin 80-150 kg/m ³
	Hacim oranı $\text{Vol}_{\text{grout}}/\text{Vol}_{\text{soil}}$	Uygulanamaz
İyileştirilmiş Zemin Özellikleri (Raporlanmış)	UCS	Değişkendir ama genellikle 0,2-0,5 MPa (0,2-2 MPa mümkündür). Kesme dayanımı 0,1-0,3MPa (Arazide 1 MPa kadar çıkabilir)
	k	Kireç kolonları için kilin k değerinden 1000 kat daha fazladır. Kireç-çimento kolonları için ise faktör 400 ila 500 arasındadır.
	E	(50-200) x UCS
Önemli Avantajları/Dezavantajları		DJM ile aynıdır. Mükemmel İsveççe / Fince araştırmaları devam ediyor.
Notlar		1970’lerin ortalarında ilk ticari uygulamalar ve 1996’da ilk ABD uygulamaları ile İsveç endüstrisi ve Hükümeti tarafından geliştirilmiştir.
Referanslar		Holm (1994); Rathmeyer (1996)

EK-1. (devam) Derin karıştırma yönteminin farklı tiplerinin özet tabloları

Çizelge E.23. Trevimix özet bablosu

Yöntemin Adı	Trevimix (24)	
Yöntemin Sınıfı	D-R-E	
Yöntemi Kullanan Şirket	TREVI, İtalya	
Yöntemin Kullanıldığı Coğrafya	İtalya, ABD, Uzak Doğu	
Genel Tanımı	Hava ile penetrasyon sırasında zemin yapısı parçalanır. Augerler daha sonra geri çekilme esnasında ters çevrilir ve kuru malzemeler, karıştırma küreklerinin altındaki şaftın üzerindeki nozüllerle basınçlı hava yoluyla enjekte edilir. Penetrasyon sırasında bağlayıcı da eklenebilir.	
Özellikleri/Patent Koşulları	Havalandırılmalı kuru bağlayıcı kaybını en aza indirmek için yüzeyde “koruma zili” (preotection bell) kullanılması özelliklerinden biridir. Sistem Trevi tarafından patentlidir ve ayrıca Rodio tarafından lisans altında kullanılmaktadır. Nispeten yüksek çimento faktörü ve çapı verildiğinde nem içeriği% 60-145 + olan zemine ihtiyaç duyar.	
Kurulum Detayları	Şaft Adedi	1-2 (daha yaygın). 1,5-3,5 m’lik sabit mesafeyle ayrılmış.
	Çap	0,8-1,0 m (çok yaygın)
	Gerçekçi Max. Derinlik	30 m
	rpm	10-40
	Performans/Üretim	0,4 m/min penetrasyon sırasında 0,6 m/min geri çekme sırasında 39 m/8-h shift
Karıştırma Dizaynı (zemin tipine ve dayanım gerekliliklerine bağlı)	Materyal	Kuru çimento (çok yaygın), kireç (max. dane boyu 5 mm olan)
	w/c (su/çimento oranı)	Uygulanamaz
	Çimento faktörü ($\text{kg}_{\text{cement}}/\text{m}^3_{\text{soil}}$)	150-300 kg/m^3
	Hacim oranı $\text{Vol}_{\text{grout}}/\text{Vol}_{\text{soil}}$	Uygulanamaz
İyileştirilmiş Zemin Özellikleri (Raporlanmış)	UCS	1,8-4,2 MPa (ort. 2,5 MPa)
	k	Veri yok
	E	1-2,66 x 10 ³ MPa (killerde) 3,125 x 10 ³ MPa (kumlu zeminlerde)
Önemli Avantajları/Dezavantajları	Hiç atık(spoil) çıkmaması, homojen karıştırma, bağlayıcı miktarının otomatik kontrolü önemli avantajlarındandır. Sistem “penetrasyon sırasında su enjekte etme olasılığı” sağlar.	
Notlar	1980’lerin sonunda İtalya’da TREVI tarafından geliştirildi. Trevi-ICOS, ABD lisansı, Boston, MA vardır.	
Referanslar	Pavianni and Pagotto, 1991; Pagliacci ve Pagotto, 1994	

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇAKIR, Nesrin Gizem
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 15.02.1989, Ankara
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0 (539) 421 73 26
 e-mail : nesringizemcakir@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	ODTÜ / Jeoloji Mühendisliği	2014
Lise	Mehmet Emin Resulzade Anadolu Lisesi	2007

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2016-Halen	SWS Global A.Ş.	Proje Mühendisi
2014-2016	Analiz Etüt Proje Ltd. Şti.	Jeoloji Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- Çakır, N.G. ve Orhan, M. (2019). *Derin Karıştırma Yöntemi'nin Detaylı Araştırması ve Alternatif Yöntemlerle Karşılaştırılması*. Uluslararası Multidisipliner Akademik Çalışmalar Sempozyumu, IMASES 2019, İzmir, Türkiye, 92-93.

Hobiler

Kitap okumak, yürüyüş yapmak.



GAZİ GELECEKTİR...