



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**DEMİRYOLU ALTYAPISININ DERİN KARIŞTIRMA VE
NOVOCRETE® KULLANILARAK İYİLEŞTİRİLMESİ**

Serdar ARIK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

ARALIK-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Serdar ARIK tarafından hazırlanan “Demiryolu Altyapısının Derin Karıştırma ve Novocrete Kullanılarak İyileştirilmesi” adlı tez çalışması 24/12/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi İsa KUL

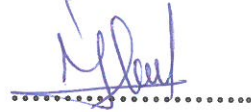
Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Atila DEMİRÖZ

Üye

Dr. Öğr. Üyesi İ. Hakkı ERKAN

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Lisans Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza



Serdar ARIK

Tarih: 24/12/2019

ÖZET**YÜKSEK LİSANS TEZİ****DEMİRYOLU ALTYAPISININ DERİN KARIŞTIRMA VE NOVOCRETE®
KULLANILARAK İYİLEŞTİRİLMESİ****Serdar ARIK****Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı****Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Atila DEMİRÖZ****2019, 128 Sayfa****Jüri
Dr. Öğr. Üyesi İsa KUL
Dr. Öğr. Üyesi Atila DEMİRÖZ
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Hakkı ERKAN**

Son yıllarda Dünya’da ve ülkemizde gelişen teknoloji, değişen ihtiyaçlar, ekonomik büyüme, nüfus artışı ve iklim değişiklikleri gibi nedenlerle güvenli, hızlı ve konforlu ulaşım talepleri artmış ve ulaşımda da demiryollarının önemi ve gelişimi ön plana çıkmıştır.

Tez kapsamında, demiryollarında altyapı inşasının önemine değinilmiş ve yapılacak olan altyapı inşası esnasında güzergâhın geçtiği zemin özellikleri ve kriterlerin sağlanamadığı kesimlerde uygulanacak zemin iyileştirme yöntemlerine değinilmiştir.

Bununla birlikte, tez kapsamında Adana-İncirlik-Toprakkale hat kesiminde mevcut hattın rehabilitasyonu ve 2. hat yapılması işleri kapsamında, arazinin araştırma öncesinde yapılan literatür çalışmasıyla jeolojik ve geoteknik bilgileri bir bütün halinde ele alınmıştır. Zemin üzerinde yapılan deney sonuçları değerlendirilmiş ve bu değerlendirmeler sonucunda söz konusu projede Novocrete® ve derin karıştırma yöntemi uygulanması suretiyle yapılan zemin iyileştirmelerine değinilmiş ve hesaplamalara yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Demiryolu altyapısı, zemin iyileştirme, Novocrete®, derin karıştırma yöntemi

ABSTRACT**MS THESIS****IMPROVING THE RAILWAY INFRASTRUCTURE BY USING DEEP MIXING
AND NOVOCRETE®****Serdar ARIK****Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering****Advisor: Asst. Prof. Dr. Atila DEMİRÖZ****2019, 128 Pages****Jury****Advisor Asst. Prof. Dr. İsa KUL
Asst. Prof. Dr. Atila DEMİRÖZ
Asst. Prof. Dr. İbrahim Hakkı ERKAN**

In recent years, the demands of safe, fast and comfortable transportation have increased due to developing technology, changing needs, economic growth, population growth and climate changes in the World and in our country and the importance and development of railways has come to the forefront in transportation.

Within the scope of the thesis, the importance of substructure construction in the railways is mentioned and the soil characteristics that the route passes during the construction of the substructure and the soil improvement methods to be applied in the sections where the criteria cannot be met are mentioned.

In addition, within the scope of the thesis, the geological and geotechnical information of the land has been dealt with as a whole with the literature study conducted before the research within the scope of rehabilitation of the existing line of the Adana-İncirlik-Toprakkale and construction of the 2nd line. In this Project, the results of the experiments on the ground were evaluated and as a result of these evaluations, ground improvements made by applying Novocrete® and deep mixing method were mentioned and calculations were made.

Keywords: Railway substructure, soil improvements, Novocrete®, deep mixing methods

ÖNSÖZ

“Demiryolu Altyapısının Derin Karıştırma ve Novocrete® Kullanılarak İyileştirilmesi” konulu bu tez çalışmamın hazırlanması sırasında yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Atila DEMİRÖZ’e ve değerli eşim Pınar ARIK ve oğlum Eymen ARIK’a sonsuz teşekkürlerimi bildiririm.

Serdar ARIK
KONYA-2019



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	6
3.1. Demiryolu Deyimi.....	6
3.2. Demiryolunun Üstün Yönleri.....	6
3.3. Demiryollarının Zayıf Yönleri	6
3.4. Demiryolu Yapısı ve Görevleri	6
3.5. Üstyapı	7
3.6. Altyapı.....	9
3.7. Demiryollarında Hatların Projelendirilmesi.....	10
3.8. Demiryolu Hatlarında Taşıma Gücü Hesapları	11
3.9. Demiryolu Hatlarında Oturma Hesapları.....	11
3.9.1. Dinamik yükler altında oturma (elastik oturmalar)	11
3.9.2. Konsolidasyon oturması.....	12
3.10. Altyapı Tabakaları	12
3.10.1. Balast.....	13
3.10.2. Alt balast tabakası	13
3.10.3. Toprak işleri.....	14
3.10.4. Alt temel ve platform	14
3.10.5. Hazırlanmış alt temel veya formasyon tabakası	14
3.10.6. Boylamasına drenler.....	15
3.10.7. Koruma tabakası	15
3.11. Alt Tabaka Kalınlığının Belirlenmesi.....	16
3.12. Demiryollarında Altyapıya Bağlı Olarak Oluşabilecek Problemler	18

3.12.1. Arazi platformu hasarları.....	18
3.12.2. Arazi platformundaki hasarların nedenleri.....	19
3.12.3. Arazi platformu hasarlarının sonuçları.....	19
4. DEMİRYOLU ALTYAPISI VE ZEMİNLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ	21
4.1. Zemin Stabilizasyon Yöntemleri.....	22
4.1.1. Yüzeysel stabilizasyon	24
4.1.1.1 Kompaksiyon	24
4.1.1.2. Drenaj	25
4.1.1.3. Mekanik stabilizasyon	25
4.1.1.4. Çimento ile stabilizasyon.....	25
4.1.1.5. Kireç ile stabilizasyon	26
4.1.1.6. Bitüm ile stabilizasyon	26
4.1.1.7. Diğer kimyasal katkıları	27
4.1.2. Derin stabilizasyon.....	27
4.1.2.1. Dinamik kompaksiyon.....	27
4.1.2.2. Vibro-flataşyon	27
4.1.2.3. Vibro-kompaksiyon.....	28
4.1.2.4. Sıkıştırma kazıkları	28
4.1.2.5. Patlatma	29
4.1.2.6. Enjeksiyon	29
4.1.2.7. Jet-grout yöntemi	31
4.1.2.8. Ön yükleme yöntemi	32
4.1.2.9. Kum drenleri yöntemi	33
4.1.2.10. Elektro-Osmoz yöntemi.....	33
4.1.2.11. Termal stabilizasyon.....	33
4.1.2.12. Taş kolonlar	33
4.1.2.13. Derin karıştırma yöntemi.....	34
4.2. Demiryolu Altyapısında Geosentetik Malzemelerin Kullanılması	36
4.2.1. Geosentetiklerin işlev ve özellikleri.....	37
4.2.2. Demiryollarında geosentetik uygulamaları	37
4.2.3. Demiryollarında geotekstil malzemelerin kullanımı	39
4.2.4. Demiryollarında geomembran malzemelerin kullanımı	41
4.2.5. Demiryollarında geogrid malzemelerin kullanımı.....	42

4.2.5.1. Şev yapılarının oluşturulmasında geogridlerin kullanılması	43
4.2.5.2. Demiryolu altyapı ve balast katmanlarında geogridlerin kullanılması ..	44
4.2.6. Geokompozitler	45
5. ADANA-İNCİRLİK-TOPRAKKALE ARASI 2. HAT YAPIMI VE MEVCUT HATTIN REHABİLİTASYON İŞİ	47
5.1. Giriş	47
5.2. Hattın Jeolojisi.....	48
5.2.1. Genel jeoloji	48
5.2.2. Stratigrafi.....	50
5.2.3. Jeomorfoloji.....	50
5.2.4. Yapısal jeoloji ve tektonik.....	51
5.2.5. Depremsellik.....	53
5.2.6. Hidrojeoloji.....	54
5.3. Adana-İncirlik-Toprakkale Projesinde Novocrete® Kullanılarak Zemin İyileştirilmesi	54
5.3.1. Kullanılan kimyasal katkı malzemesi ile zemin iyileştirmede işlem sırası...56	
5.4. Laboratuvar Sonuçları ve İyileştirilmemiş Zeminlerde Oturma Hesapları.....	58
5.4.1. Tren yükü hesabı.....	61
5.4.2. Zemin taşıma gücü hesapları	61
5.4.3. Dinamik yükler altında oturma hesapları	63
5.4.4. Konsolidasyon oturması hesabı	64
5.5. Novocrete® Kullanılarak Yapılan Zemin İyileştirilmesi İle İlgili Hesaplar	66
5.5.1. Novocrete® kullanıldığı durumda güzergah oturma hesabı	68
5.5.2. Novocrete® kullanıldığı durumlarda konsolidasyon oturması hesabı.....	68
5.5.3. Taşıma gücü hesaplamaları	69
5.6. Novocrete® ile İyileştirme İçin Plaxis Analizleri	70
5.6.1. 424+100-424+900 arası için plaxis analiz sonuçları (Tip Kesit KM.424+800)	71
5.6.2. 428+500-429+700 Arası için plaxis analiz sonuçları (Tip Kesit Km.429+100)	75
5.7. Novocrete® İle Yapılan İyileştirmeden Sonra Yapılan Plaka Yükleme Deneyleri	79
5.7.1. KM 424+360 Plaka yükleme testi	80

5.7.2. KM 424+730 Plaka yükleme testi	81
5.7.3. KM 428+160 Plaka yükleme testi	82
5.7.4. KM 428+730 Plaka yükleme testi	83
5.7.5. KM 429+450 Plaka yükleme testi	84
5.8. Adana-İncirlik-Toprakkale Projesinde Derin Karıştırma Yöntemi Kullanılarak Zemin İyileştirilmesi	85
5.8.1. İyileştirilmiş zeminlerde taşıma gücü hesapları	92
5.8.2. İyileştirilmiş zeminde oturma hesabı	94
5.9. Derin Karıştırma Yöntemi ile İyileştirme İçin PLAXIS Analizleri	94
5.9.1. KM 425+700-427+200 Güzergah plaxis analizi	95
5.10. Derin Karıştırma Kolonları İçin Yükleme Test Sonuçları	99
5.11. Derin Karıştırma Kolonları İçin Süreklilik/Bütünlülük Test Sonuçları.....	104
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	109
KAYNAKLAR	114
EKLER	119
ÖZGEÇMİŞ.....	129

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

C_u	: Üniformluluk katsayısı
C_c	: Eğrilik katsayısı
W_L	: Likit limit
W_P	: Plastik limit
PI	: Plastisite indisi
w	: Su muhtevası
γ_s	: Tane birim hacim ağırlığı
γ_k	: Kuru birim hacim ağırlığı
D_{Pr}	: Sıkıştırılma orantısı
ρ_d	: Kuru yoğunluk
ρ_{Pr}	: Basit Proctor deneyindeki azami kuru yoğunluk
E_{V2}	: Şekil değiştirme modülü
C	: Yataklama katsayısı
Q_p	: Su akış katsayısı
i	: En uzun akış yolunun eğimi
c	: Alt temel su akış katsayısı
A	: Yakalama alanının yüzeyi
α_o	: Nihai sıyrılma direnci
U	: Düzensizlik derecesi
QS0	: Zemin kalite sınıfı
QS1-QS2	: Zemin kalite sınıfı

Kısaltmalar

ASCE	: Amerikan İnşaat Mühendisleri Birliği
CBR	: Kaliforniya Taşıma Oranı
ISSMFE	: Uluslararası Zemin Mekanikçileri ve Temel Mühendisleri Birliği
UIC	: Uluslararası Demiryolları Birliği

1. GİRİŞ

Dünya’da gelişen teknoloji, değişen ihtiyaçlar, ekonomik büyüme, nüfus artışı, iklim değişiklikleri gibi nedenlerle ön plana çıkan güvenli, dakik, hızlı ve konforlu ulaşım talepleri son yıllarda ulaştırmanın ve ulaştırmada da demiryollarının önemini ve gelişimini arttırmıştır.

Ülkemiz de son yıllarda bu gelişmelerden bağımsız kalamamış ve özellikle demiryolu ulaşımında hızla gelişim ve ilerleme göstermeye başlamıştır. Yeni demiryolu hatları ve yüksek hızlı tren hatları yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Hızlı trende dünyada 8’inci Avrupa ise 6’ıncı ülkedir. Bu nedenle de demiryolu inşaatı ülkemizde önemli bir yere sahip olmuştur. Bunun yanı sıra, yeni demiryolu yapımlarıyla birlikte mevcut hatların da modernizasyonuna büyük önem verilmeye başlanmıştır.

Konvansiyonel ve hızlı demiryolu hatları, altyapı ve üstyapıdan oluşan yapısal bir sistemdir. Bu yapı, demiryolu trafiğinin ve iklimin zarar verebilecek kötü etkilerine dayanacak, taban zeminini yeterince koruyacak şekilde tasarlanmalı, ayrıca demiryolu araçlarının işletiminde maliyetleri, güvenliği ve yolcu konforunu tasarım ömrü süresince kabul edilebilir sınırlarda tutmalıdır.

Tekrarlı olan taşıt yüklerinin toplam etkisi zamanla yol altyapısını bozmaktadır. Her ne kadar üstyapı açısından balast periyodik bakımlarla iyileştirilerek, yolun doğrultu ve yükseltisi muhafaza edilse de, altyapı ile ilgili sorunların çözümü daha da zor olmaktadır. Bundan dolayı, yol yatağı tabakaları yeterli kalınlıkta olmalıdır. Yol yatağı tabakasının kalınlığının yetersiz olması durumunda, üstten geçen taşıtların ve dolguların oluşturduğu tekrarlanan gerilmeler, taban zemininde aşırı deformasyonlara sebep olmaktadır. Bu gibi yerlerde zeminin iyileştirilmesi de ekonomik yönden ve zaman açısından önem teşkil etmektedir. Demiryolu güzergahları ve hat üstünde inşa edilen sanat yapıları her zaman iyi zemin özelliği gösteren zeminler üzerine inşa edilememektedir. Güzergâh gereği bazen zayıf zeminlerle karşılaşmakta olup bu tür zayıf zeminlerde taşıma gücü ve buna bağlı olarak oturma problemleri sıkça görülmektedir. Bundan dolayı yük etkisi altında zayıf zeminlerde oluşacak deformasyonları önlemek için zayıf zeminlerin yerinde iyileştirilmesi için iyileştirme yöntemlerine başvurulmaktadır. Önceleri herhangi bir inşa süresinde mevcut zeminin kaldırılarak yerine iyileştirilmiş zemin getirilmesi ekonomik olmamakla beraber çok yaygın olarak kullanılan bir yöntem olsa da günümüzde zemin iyileştirmesinde giderek artan bir şekilde enjeksiyon malzemesi ve enjeksiyon sistemlerinin kullanıldığı görülmektedir.

Bu kapsamda, bu çalışmada öncelikle demiryolu yapısı ile ilgili kısa bir bilgi verilmiş, zemin iyileştirme ve güçlendirme çalışmalarına değinilmiş ve derin karıştırma yöntemi ve kimyasal katkılı zemin iyileştirmesinin (Novocrete®) uygulandığı Adana-İncirlik-Toprakkale istasyonları arası 2. hat yapımı incelenmiştir.



2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Bergado ve diğ., (1999) Bangna-Bangpakong otoyolunda, yıllık 40-70 cm. arasında deformasyonların olduğunu ayrıca stabilite sorunlarının olduğuna değinmişlerdir. 250 m Yüksekliğe sahip otoyolu dolgusu altında ϕ 60 cm. ve L=14.00-16.00 m. derin karıştırma kolonları 1,50 m karelaç yapılarak imal edilmiştir. Çalışma kapsamında stabilite ve toplam oturmaların tahmini konusunda analizler yapmıştır.

Topolnicki (2004) derin karıştırma yöntemiyle zemin iyileştirmesinde zeminler, zemin ve/veya yeraltı suları ile kimyasal olarak reaksiyona giren farklı stabilize edici bağlayıcılarla yerinde karıştırıldığını ve üretilen stabilize zemin materyalinin doğal topraktan daha yüksek mukavemetli, düşük geçirgenlik ve sıkışabilirlik özelliklerine sahip olduğunu belirtmiştir.

Ye ve diğ., (2006) çalışmada derin karıştırma, prefabrik dren ve ön yükleme yöntemleriyle zayıf zeminlerin iyileştirilmesi hakkında bilgi vermişlerdir. Derin karıştırma yönteminin düşük maliyeti, uygulamanın hızlı olması ve taşıma kapasitesinde artışın olması bu yöntemin diğer yöntemlere göre avantajlı olduğu belirtilmiştir.

Küçükali (2008) yapmış olduğu yüksek lisans tezi kapsamında zemin iyileştirme yöntemlerine değinmiş ve en başarılı tekniğin jet-enjeksiyon metodu olduğunu ifade etmiştir. Jet enjeksiyon yönteminin zeminin yapısını tamamen bozduğunu ve daha sonradan sertleşecek homojen bir zemin oluşturmak için yüksek basınç altında zeminin harçla karıştırıldığından bahsetmiştir. Çalışmada jet enjeksiyon metodunun, tarihsel, teorik geçmişi, avantaj ve dezavantajları incelenmiş, ayrıca oturmaya maruz kalan demiryolu hattı altında jet enjeksiyon ile zemin iyileştirme yapılarak sonuçlar irdelenmiştir.

Akbaş (2008) tarafından yapılan çalışmada, raylı sistemlerde dingilden aktarılan yüklerin, ilerleme hızlarının, güvenli taşımacılık ve konfor isteğinin artmasıyla demiryollarında altyapı tasarımı ve yapımı demiryolu endüstrisi için en önemli konulardan birisi olduğunu belirtmiştir. Hızla birlikte demiryolu altyapısına iletilen dinamik yüklerinde artış nedeniyle yolda oluşan kalıcı yer ve şekil değıştirmelerin olacağını bu nedenle de yolun yatay ve düşey geometrisinde bozulmalar olduğunu bildirmiştir. Sonuç yol ve taşıtlara gelen etkilerin daha da artarak, konfor ve güvenlik değerlerinin düşmesine yol açacağını ve demiryollarının yapılacağı kesimlerde altyapıda uzun süreli hizmet verecek bir altyapının oluşturulmasını vurgulamıştır.

Ayan (2009) yaptığı çalışmada zeminlerde derin iyileştirme yöntemleri hakkında bilgi ve yöntemin uygulanmasına ait örnekler vermiştir.

Demiröz ve diğ., (2009) arazide iyileştirme metotları ayrıntılı bir biçimde incelenmiş ve kazıklı temel uygulamasının pahalı olabileceği belirtilmiştir. Bu nedenle diğer alternatif iyileştirme metotlarının nasıl uygulanacağı hakkında bilgi verilmiştir.

Yi ve diğ., (2009) T şeklinde derin karıştırma kolonları ile desteklenen temelleri deneysel olarak incelemişlerdir. T şeklinde oluşturulan kolonlarının uygulamada testlerinde diğer kolon uygulamalarından daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Temel altında yapılan derin karıştırma kolonlar ile dayanımda artış olduğu ve ekonomik çözümlerin elde edilebileceği belirlenmiştir

Kılıç (2013) tarafından yapılan yüksek lisans tezi kapsamında, ülkemizde son zamanlarda önemli bir yere sahip olan derin karıştırma yöntemi hakkında bilgi verilmiştir. Bu yöntemde uygulamada kullanılabilecek bir ekipman sistemi tasarlanmıştır.

Kaya (2016) Bergado ve Lorenzo (2005) tarafından biri derin zemin karıştırma kolonlarıyla iyileştirilmiş zemin üzerine diğeri ise iyileştirilmemiş yumuşak kil zemin üzerine olmak üzere iki adet 6 m yüksekliğinde toprak dolgu inşa etmişler ve her iki toprak dolgudaki aşırı boşluk suyu basıncı oturma miktarı ve yanal hareketlerini gözlemlemişlerdir. Bu çalışma sonucunda derin karıştırma kolonlarıyla iyileştirilmiş zemin üzerinde uygulanan dolgunun bulunduğu sistemde; yanal hareket ve oturma miktarında %70-80 oranında azalma, taşıma kapasitesinde artış olduğunu gözlemlemişlerdir.

Kılıç ve diğerleri (2016) yerli alet ve ekipmanlar kullanmak suretiyle bir derin karıştırma sistemi tasarlamış ve bu sistem ile oluşturulan kolonlar üzerinde gerekli testleri gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sonucunda derin karıştırma yönteminin ülkemiz için uygulanabilirliği fazla ve alternatif bir iyileştirme metodu olabileceğine vurgu yapmışlardır.

Mungan (2016) yapmış olduğu yüksek lisans tezi kapsamında PLAXIS bilgisayar programıyla taş kolonların, oturma miktarına etkisini araştırmıştır. Çalışmada iyileştirilmiş ve iyileştirilmemiş durumda analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda, kompozit zemin parametreleri altında ve taş kolon modellenerek iki farklı iyileştirilmiş durum ve iyileştirilmemiş durum olmak üzere toplam 3 farklı tip analiz yapmış ve sonuçlarını karşılaştırmıştır. Sonuç olarak taş kolon ile iyileştirilen zeminde oturma miktarının azaldığı gözlenmiştir.

Onur ve diğ., (2016) tarafından hazırlanan araştırma makalesinde Eskişehir ilinde, farklı zemin profilleri içerisinde derin karıştırma kolonları imal edilmiştir. İmal

edilen kolonlar üzerinde çap ve karot basıncı dayanımı testleri yapılmıştır. Ayrıca uygulamanın kontrolü için kolonların çevresi açılıp kolon boyu kontrol edilmiştir. Karot basıncı dayanımının kontrolü için alınan karot numuneler kırılmış ve tasarım yüküyle karşılaştırılmıştır. Karotlardan belirlenen dayanım değerleri, tasarım değerlerinden 6-10 kat fazla çıkmıştır. Çalışma sonunda derin karıştırma kolonunun zeminde taşıma gücü artışına ve sıvılaşmaya potansiyelinin azaltılmasında katkı sahibi olduğuna değinilmiştir.

Toksoy (2017) yapmış olduğu yüksek lisans tezinde demiryolu hatlarında oluşan problemin geosentetikler ile engellenmesini konu edinmiştir. Geotekstil rnlerinin filtrasyon, drenaj, ayırma, koruma, geçirimsizlik, donatılı duvar, zemin iyileştirme, asfalt ve beton donatısı, erozyon kontrolü ve yüzey stabilitesi, amaçlı kullanılabileceğine değinmiştir. Yaptığı alışmada PLAXIS bilgisayar programı ile demiryolu hatlarında değişken geosentetikler kullanılması durumunda oluşan deformasyonlar belirlenmiştir. Çalışma sonucunda geosentetikler kil ve turba zeminlerde başarı gösterirken, kumlu zeminlerde çok büyük bir fayda sağlamadığı sonucuna varmıştır.

Coruk ve diğ., (2017) demiryollarında Novocrete®® ile zemin iyileştirilmesi ve de ülkemizdeki demiryolu projelerindeki uygulamalar hakkında bilgi verilmiştir.

Yemenici ve diğ., (2017) alışmasında alkaline içeren doğal oksit, sülfat ve karbonat mineralleri içeren Novocrete®® granlr bir malzemeyle Samsun-Kalın demiryolu hattının zeminini iyileştirme projesi kapsamında kullanılmış ve iyileştirme sonrasında zayıf olan zemin tabakasının dayanımının ve demiryolunun esnekliğinin arttığını belirtmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Demiryolu Deyimi

Demir tekerlekli taşıtların üzerinde hareket etmesi için döşenmiş çelik raylara denir. Demiryolu deyimini bugün üzerindeki taşıtlar, istasyon, köprü ve tünelleri ile bütün olarak tren işletmeleri anlamında kullanılan iki çelik ray üzerinde hareket eden araçlar içerisinde yolcu ve yüklerin taşınmasına demiryolu ulaştırması, kullanılan teçhizat ve tesislerin hepsine birden ise demiryolu denir.

3.2. Demiryolunun Üstün Yönleri

- Taşıma işlerinde büyük kolaylık sağlamaktadır.
- Enerji tüketimi azdır.
- Yüksek hız ve diğer ulaşım sistemlerine göre güvenlidir.
- Yolcu ve yük taşıma kapasitesi yüksektir.
- Arazi kullanımı en az olan ulaştırma sistemidir.
- Çekim sistemi olarak teknik gelişmelere uyumludur.
- Çevre dostudur.
- Hava koşullarından çok etkilenmemektedir.
- Diğer taşımacılık hizmetlerine göre ekonomik yönden artan verimle çalışma sağlamaktadır.
- Ülke geçişlerinde karayoluna oranla geçiş kolaylıklarına sahiptir.

3.3. Demiryollarının Zayıf Yönleri

- İlk yatırım maliyetinin yüksek olması,
- Hareketin, çelik rayların üzerinde olması nedeniyle diğer taşımacılık hizmetlerine göre geniş bir hareket serbestliğine sahip değildir.
- Hizmetin her yönde sağlanamaması,
- Karayolu ağı ile desteklenmesi gerekmektedir.

3.4. Demiryolu Yapısı ve Görevleri

Demiryolu hattı; ray, travers, bağlantı elemanları, balast ve taban zemini gibi bileşenleri içeren yapısal bir sistem olup altyapı ve üstyapı olmak üzere iki kısımda inşa edilmektedir.

3.5. Üstyapı

Demiryolu araçlarının emniyetli, konforlu ve istenilen hızlarda hareket edebilmesini sağlamak amacıyla belirli kriterler esas alınarak inşa edilen ve demiryolu araçlarının yol ile temasının gerçekleştiği yol bölümüne üstyapı denir. Üstyapının görevleri:

- Trenlerin hareket serbestliğini sağlanması için sürtünmenin olmaması için yuvarlanma yüzeyi sağlamak,
- Dinamik ve statik yüklerin üniform olarak platforma aktarılmasını sağlamak,
- Kalıcı yer ve şekil değiştirme yapmasını önlemek,
- Demiryolu eksenini ve yol açıklığını korumaktır.

Üstyapı elemanları:

Çelik Ray: Demiryolu hattı üzerinde tren, vagon vb. araçların hareket etmesini sağlayan ve akslardan (dingil) gelen kuvvetleri travers malzemesine üniform bir şekilde aktaran sert çelikten yapılmış malzemedir. Taşıtların ilk temas ettiği üstyapı elemanı olan çelik rayın başlıca görevleri şunlardır:

- Demiryolu taşıtlarına güzergâh boyunca düzgün, pürüzsüz ve güvenli bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak,
- Tekerleklerden iletilen düşey azaltmak, yanal ve boyuna doğrultudaki etkiler ile çevre etkilerini güvenlikle karşılamak ve yüklerin mesnetlere veya traverslere iletmek,
- Elektrikli hatlarda elektriği ve sinyalizasyonları iletmektir.

Bu görevleri üstlenirken raylarda olması gereken ve aranan nitelikler ise;

- Yeterli kesitte ve statik ve dinamik yükler altında, çekme, basınç, burulma ve aşınma dayanımlarına sahip olmalı,
- Oksitlenme ve korozyona karşı dayanıklı olmalı,
- Düşük maliyetli olmalıdır.

Travers: Raydan gelen yükleri azaltmak amacıyla balastlara ileten, rayın altına döşenen yol üstyapı malzemesine denir. Günümüzde ahşap, demir, beton ve plastik traversler kullanılmaktadır. Traverslerin başlıca görevleri şunlardır:

- Demiryolunun ekseninde kalmasını sağlamak,
- İki çelik ray arasında elektrik yalıtımı yapmak (sinyalizasyonlu hatlarda),
- Raylarda içe doğru 1/20-1/40 oranında eğim vermek ve İki çelik ray dizisinin oluşturduğu yol açıklığını korumak.

Bu görevleri yerine getirebilmesi için traverslerin aşağıdaki niteliklere sahip olmaları gerekmektedir:

- Bağlantı elemanlarının taşınması, istiflenmesi, döşenmesi, sökülmesi kolay bir şekilde monte edilebilir olmalı,
- Gürültü azaltıcı ve elastik olmalı,
- Aşınmaya, kırılmaya, ezilmeye karşı yeterli dayanımda olmalı,
- Yeterli genişlik ve uzunlukta olmalı,
- Travers malzeme elektrik akımını iletmemeli,
- Travers ile balast arasında sürtünmenin sağlanabilmesi için gerekli sürtünmeye sahip olmalı,
- Su, nem, asit yağmurları, ot, ağaç kökleri ve mikroorganizmaların zararlı etkilerine dayanıklı olmalı,

Bağlantı Öğeleri: Rayları, raylara ve traverslere bağlayan aynı zamanda bir yük aktarımını sağlayan, şekil ve yer değiştirmeleri önleyen ve üstyapıda şekil değiştirmeleri azaltan malzemelere denir. Bağlantı elemanlarının görevleri ve niteliklerinde aranan hususlar:

- Raylarda elektrik yalıtımını sağlayacak şekilde,
- Yük dağılımı üniform dağıtılmalı ve kenarlarda yüksek basınçlar olmamalı,
- Raylara eğimin verilmesini sağlamalı,
- Ray ve traversler arasında kuvvet aktarıcı bir bağlantı sağlamalı, bu kuvvet ilişkisi sabit ve kontrol edilebilir ya da ayarlanabilir olmalı,
- Aşınma ve gürültünün azaltılması, konforun artırılması için raylar traversler üzerine elastik olarak oturtulmalı,
- Taşıt tekerlekleri tarafından iletilen yükleri güvenlikle karşılamalı, kısmen azaltmalı ve geniş bir yüzey boyunca traverse aktarmalıdır.

Balast: Platform üzerine döşenip, traversler arasındaki boşlukları dolduran 30-75 mm arasında köşeli, keskin kenarlı ve kübik şekilde kırılmış taşlara balast denir. Balastın görevleri şunlardır:

- Traversten gelen yükleri platform üzerinde geniş bir alana homojen olarak yaymak,
- Traversleri yerinde tutarak yolun esnekliğini sağlamak ve demiryolunu ekseninde tutmak,
- Yol üzerindeki otlanmayı önlemek ve yağmur sularını süzerek dışarı atmak,
- Platformu dondan korumak ve travers malzemesinin çürümesini önlemektir.

Balastta bulunması gereken özellikler ise şunlardır:

- Kırılğan olmayan ve damarsız taştan yapılmalı, su geçirimli olmamalı ve çok az su emmeli,
- Hava etkenlerine karşı dayanıklı olmalı,
- Daneler kenarlı ve köşeli olmalı; toz, bitkisel toprak, cüruf bulunmamalı,
- Darbelere karşı dayanıklı olmalıdır. Balast taneleri darbe etkisinde kırılmaya, sürtünme etkisinde aşınmaya ve donma etkisinde parçalanmaya dayanımı yüksek olan kayalardan elde edilmelidir.

3.6. Altyapı

Altyapı, üstyapıyı dış etkenlerden güvenli bir şekilde korumak ve iyi bir drenaj sistemi oluşturmak, demiryolu güzergâhının düzgün ve doğrusal olmasını sağlamak, trafik yüklerinin zarar görmeden taşınmasına yardımcı olmak gibi görevler üstlenmektedir.

Karayolları için geliştirilmiş teknikler aynı zamanda demiryollarının tasarımı ve inşaatı içinde geçerlidir (UIC Code 719R, 1994). Yolun hizmet düzeyi ve kalitesi en az %50 oranında altyapının yapım kalitesine, güvenlik ve korunma koşullarına bağlıdır. Altyapı, toprak işlerinin üst kısmı ve üzerinde balast yer alır. Altyapıda en büyük problemler zeminin, oturması ve kabarmasıdır. Bu nedenle oturma ve kabarma altyapının istenilen bir şekilde görevlerini yerine getirmesini engellemektedir. İyi bir altyapı yapılmak istenirse Çizelge 3.1'deki altyapı işlerine dikkat edilmesi gerekmektedir.

Çizelge 3.1. Altyapıda yapılması gereken işleri ve türleri (UIC Code 719R, 1994)

Altyapı İşi	Altyapı Türü
Arazi düzeyini, zemini kazıp uzaklaştırarak düşürme	Yarma
Arazi düzeyini, üzerine zemin doldurma ve sıkıştırma ile yükseltme	Dolgu
Dolgu ve yarma şevlerinin korunması	Çimlendirme, ağaçlandırma, ankraj, kaplama, vb.
Dolguda şev eteğinin, yarmada şev kretinin korunması	Blokaj, perde, istinat duvarı, vb.
Yüzeysel ve yeraltı sularının uzaklaştırılması	Drenaj tesisleri
Yolun durgun sular ve akarsular üzerinden geçilmesi	Köprü
Küçük akarsuların dolgu altından geçirilmesi	Büzler ve menfezler
Doğal zeminin delinerek, içinden yol geçirilmesi	Tünel
Yolun vadilerin üzerinden geçirilmesi	Viyadük
Yol yüzeyinin kardan korunması	Paranej (perde)
Doğal zeminin taşıma kapasitesinin artırılması	Hazırlanmış altyapı ve geosentetikler
Altyapı tesislerinin sürekli denetimi, bakımı, onarımı ve korunması	

3.7. Demiryollarında Hatların Projelendirilmesi

Demiryollarında projelendirme çalışmaları öncelikle güzergâh projeleri ile başlamaktadır. Söz konusu güzergâh projeleri uygulanabilirlik, ekonomi ve istenen kriterler göz önünde bulundurularak alternatifli bir şekilde projelendirilmektedir. Güzergâh projelerinin hazırlanması ve kabulünden sonra karayolu, vb. diğer tesislerle kesişme durumları ve bunlara bağlı olarak ihtiyaç duyulan sanat yapılarının plan ve projelerinin hazırlanması, bunların geoteknik açıdan incelenmesi ve projelendirilmesiyle devam eder. Proje çalışmaları tamamlandıktan sonra imalatlara geçilir.

Tasarımda kullanılan belli başlı standartlar şunlardır:

* DLH Geoteknik Tasarım Esasları (2007): Demiryolu güzergahı ve sanat yapılarının tasarlanması ile değerlendirilmesi ve sınır limitleri tarif edilmektedir.

* UIC 702 (Ocak, 2003): Uluslararası Demiryolları Birliğince yayınlanan standartta demiryolu taşıma yapılarının tasarımı için dikkate alınması gereken yükleme kombinasyonları ve yük etkileri bulunmaktadır.

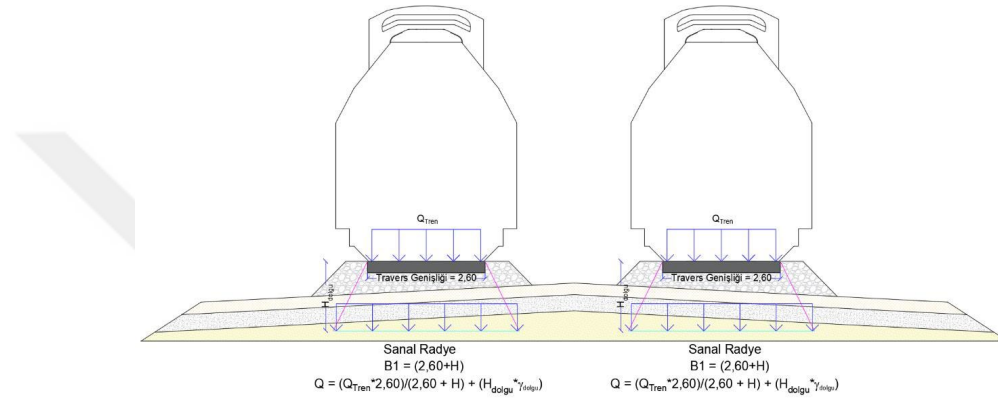
* FHWA-HRT-13-046 (Ekim, 2013): ABD ulaştırma projeleri için hazırlanmış olan bu şartnamede derin karıştırma yöntemine ait tasarım, inşaat yöntemi, sınır koşullar ve uyulması önerilen kurallar yer almaktadır.

Diğer literatürlerde geoteknik tasarım esaslarını içeren ve günümüzde kullanılmakta olan tüm hesaplama yöntemleri ve kabulleri barındıran kaynaklar da demiryolu inşaatında kullanılmaktadır.

Demiryolu altyapısının projelendirilmesi yapılırken zemine etkiyen gerilmeler esas alınmaktadır. Zemine etkiyen gerilmeleri taşıyıp taşımayacağı, bu gerilmeler altında yapması beklenen düşey ve yatay deformasyonlar dikkate alınır. Bu doğrultuda TCDD Altyapı Yapım Şartnamesinde belirtilen sınırlar içerisinde ve ekonomiyi de koruyacak biçimde projelendirme yapılır. Demiryollarında geoteknik tasarım öncesi zemin parametrelerinin doğru ve gerçeğe yakın elde edilmesi de çok önemlidir. Sondaj çalışmaları ve arazi deneylerinden (SPT, CPT ve PMT) elde edilen numuneler üzerinde laboratuvar deneylerinin sağlıklı yapılması ile elde edilen verilerin değerlendirilmesi neticesinde projelendirmede hem ekonomik hem de daha güvenilir bir yöntem belirlenmelidir.

3.8. Demiryolu Hatlarında Taşıma Gücü Hesapları

Demiryolu güzergâhı boyunca zeminlerin yeterli taşıma gücüne sahip olmaması durumunda, demiryolu üzerinde yüke bağlı olarak deformasyonlar meydana gelmektedir. Deformasyonların belli bir sınırı aşması durumunda, zeminde kırılmalar ve göçmeler meydana gelmektedir. Zeminde meydana gelen gerilmelerin hesabından sonra taşıma gücü tahkikleri yapılır. Taşıma hesabı yapılırken zeminde iki parametre öne çıkar. Bunlar içsel sürtünme açısı (ϕ) ve kohezyondur (c). Bu parametrelere bağlı olarak zemin taşıma gücü bulunur ve gerekli tahkikler tamamlanır.



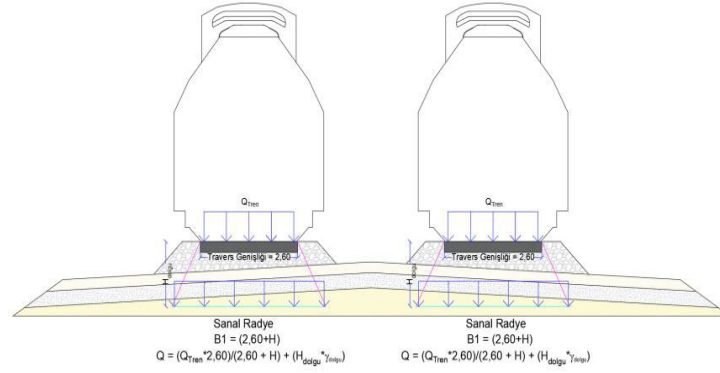
Şekil 3.1. Tren yükünün zeminde dağılımı (Gündoğdu, 2019)

3.9. Demiryolu Hatlarında Oturma Hesapları

Taşıma gücü tahkikleri yapıldıktan sonra zeminde meydana gelen gerilme artışından dolayı oluşabilecek oturmalar da hesaplanmaktadır. Meydana gelecek oturmalar; ani oturma ve konsolidasyon oturmaları olup, işletmecilik esnasında bu ikisinin toplamı kadar oturma meydana gelmektedir. Dinamik yükler altında oturma bir diğer adı elastik oturma olup, tren hareketinden dolayı dinamik olarak etkiyen yük ve dolgulardan dolayı zeminde meydana gelen deformasyonlardır. Konsolidasyon oturması ise gövde dolgularının kil zeminlerde konsolidasyon oturması meydana getirmesi sonucu demiryolu hattında meydana gelen deformasyonlardır. TCDD demiryolu yapım şartnamesinde güzergâhta müsaade edilen oturma miktarı 5.00 cm'dir.

3.9.1. Dinamik yükler altında oturma (elastik oturmalar)

Demiryolu trafiği altında tren hareketinden dolayı dinamik olarak etkiyen yükler bulunmakta olup bu dinamik etki ve yapılan dolgular zeminde deformasyonlara yol açmaktadır.



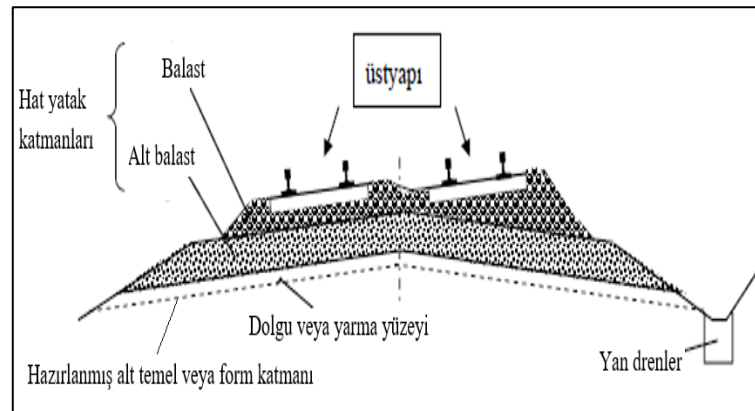
Şekil 3.2. Dinamik yükler altında gerilme dağılımı (Gündoğdu, 2019)

3.9.2. Konsolidasyon oturması

Düşük geçirimsizlikten dolayı uzun sürede kohezyonlu zeminlerde oturma meydana gelir. Bu nedenle de taşıma gücü sağlanmasının yanında, oturma koşulunun da aynı anda sağlanması gerekmektedir. Söz konusu oturma değerleri, izin verilebilir değerleri aşmamalıdır.

3.10. Altyapı Tabakaları

Üst yapı, balast tabakası ve alt balast altındaki zemin tabakalarına alt yapı tabakaları adı verilmektedir (Şekil 3.3). Yolun rijitliği ve geometrisi, drenajının korunması açısından, yol performansı açısından altyapı tabakasının özellikleri ve kalınlıkları projelendirmede önemlidir. Altyapı tabakalarının kalınlık tasarımı; altyapıyı teşkil eden zeminlerin geoteknik özelliklerine (taşıma kapasitesi, oturması, kabarması, donma-çözünme etkisi, vb.), bölgenin jeolojisine ve iklim koşullarına, dingil yüklerine, yoldaki hıza, hattın yapısı (ray ve travers tipi) gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 3.3. Altyapı tabakaları (YYT) (Erel, 2006)

3.10.1. Balast

Üstyapı malzemesi olarak kabul edilen balastın görevleri ve özellikleri yukarıda ifade edilmiştir. Ancak, günümüzde artık özellikle tüneller, şehir içleri, vb. gibi bazı yerlerde balastsız demiryolu hattı yapımı da öne çıkmaya başlamıştır. Balastlı ve balastsız demiryolu hattına ait karşılaştırma Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Balastlı ve balastsız demiryolunun karşılaştırılması (Mittal, vd.)

Açıklama	Balastlı Hat	Balastsız Hat
Bakım	Yol geometrisi için sıklıkla bakım gerekir.	Yol geometrisi için sıklıkla bakım gerekmez.
Maliyet karşılaştırması	Düşük yapım maliyeti, yüksek bakım maliyeti vardır.	Yüksek yapım maliyeti, düşük bakım maliyeti vardır.
Elastikiyet	Balasttan kaynaklanan yüksek elastikiyete sahiptir.	Elastikiyet, kullanılan kauçuk mesnetlere ve diğer yapay malzemelere bağlıdır.
Sürüş konforu	250-280 km/sa arasında iyi sürüş konforu vardır.	250 km/sa üzerindeki hızlarda mükemmel sürüş konforu vardır.
Kullanım ömrü	Kötü	İyi
Stabilite	Zamanla hem boyuna hem de yanal yönde "yüzer" duruma gelebilir	Stabilite problemi yaşanmaz.
Yanal direnç	Kurplarda dengelenmemiş boyuna ivme sınırlıdır.	Yüksek hızlarda dahi yüksek yanal dirence sahiptir.
Gürültü	Yüksek gürültü	Düşük gürültü ve titreşim sıkıntısı
Balastın yayılması	Balast yüksek hızlarda yayılabilir, ray ve tekerleklerde ciddi hasarlara neden olur.	Raylarda ve tekerleklerde hasar oluşmaz.
Geçirgenlik	Düşük geçirgenlik	Yüksek geçirgenlik
Köprü/tünel yapım maliyetleri	Sürekli bir balast tabakasını taşıyacaklarsa, yapım maliyetleri artar.	Yapım maliyetleri daha düşüktür.
Yapım kalınlığı	Balastlı yolların kalınlığı yüksektir, tünellerin kesitleri daha büyük olur.	Yüksekliği azaltır.
Malzemeye ulaşılabilirlik	Uygun balast malzemesine ulaşım sınırlıdır.	Malzeme problemi yoktur.
Toz kirliliği	Balasttan çevreye yayılan toz, çevre kirliliğine neden olur.	Daha az çevre kirliliği yaratır.
Bakıma uygunluğu	Bakım esnasında trafiğin kesilmesi nedeniyle uygunluğu azdır.	Bakım için gerekli ekipmanların azlığı sayesinde bugünkü ve gelecekteki bakımlar uygundur.

3.10.2. Alt balast tabakası

Balast ile taban zemini arasındaki yol yatağı tabakasıdır. Alt balast tabakası yolun taşıma kapasitesini arttırmak, balast ve taban zemini arasında filtrasyon, dona karşı korumasını, sularının uzaklaştırması işlemini gerçekleştirmektedir. Balast altı tabakası; dondan koruma ve filtre tabakası her ikisiyle birlikte birkaç tabakadan oluşabilir. Bu tabaka, daneli, çimento veya kireç işlenmiş katmanlar, bitüm katmanlar, geosentetik veya don-izolasyon plakalarını içerebilir. Taban zemini malzemesinin dane dağılımı, Çizelge 3.3'deki değerlerden daha küçük değilse alt balast tabakasının kullanılmasına gerek duyulmaz (Railway Engineering, 2000).

Çizelge 3.3. Alt balast tabakası gerektirmeyen taban zemini dane dağılımı (Railway Eng., 2000)

Ağırlıkça Geçenlerin Yüzdesi	Elek Açıklığı	Dane Boyutu (mm)
0	200	0.08
20	100	0.16
38	60	0.26
64	40	0.42
11	20	0.85
100	10	1.08

Demiryolunun inşa edileceği taban zemini gradasyonu, Çizelge 3.3.'deki dağılımdan düşük ve Çizelge 3.4.'de verilen dağılımdan daha ince değilse, 20 cm. alt balast yerleştirmek gerekmektedir. Taban zemini dağılımı, Çizelge 3.4.'deki dağılımdan daha küçük değerlerde ise alt balast kalınlığının 30 cm. olarak dizayn edilmelidir. (Railway Engineering, 2000).

Çizelge 3.4. Alt balast tabakası gerektiren taban zemini dane dağılımı (Railway Eng., 2000)

Ağırlıkça Geçenlerin Yüzdesi	Elek Açıklığı	Dane Boyutu (mm)
19	200	0.08
74	100	0.16
92	60	0.26
100	40	0.42

3.10.3. Toprak işleri

Toprak işleri, sanat yapıları ve genel toprak işleri çalışmaları olarak ikiye ayırmaktadır. UIC 719R'de toprak işlerinin çevresel etkileşimlerine değinilmiş olup, yapılacak işlerde aşağıdaki koşulları sağlaması istenmiştir.

- Toprak malzeme içerisindeki bitkilerin büyümesinden zarar görmemelidir.
- Yolun yapılacağı güzergâhta arkeolojik bölge var ise korunmalıdır.

3.10.4. Alt temel ve platform

Üstünde kaplama tabakasının bulunduğu alt temel, zemin işlerinin üst kısmıdır. Yarmalarda alt temel, doğal olarak bulunan veya getirilmiş zemin katmanırken, dolgularda alt temel, taşıma ile diğer yerlerden getirilen zeminlerle oluşturulmaktadır. Platform, alt temelin üst yüzeyidir.

3.10.5. Hazırlanmış alt temel veya formasyon tabakası

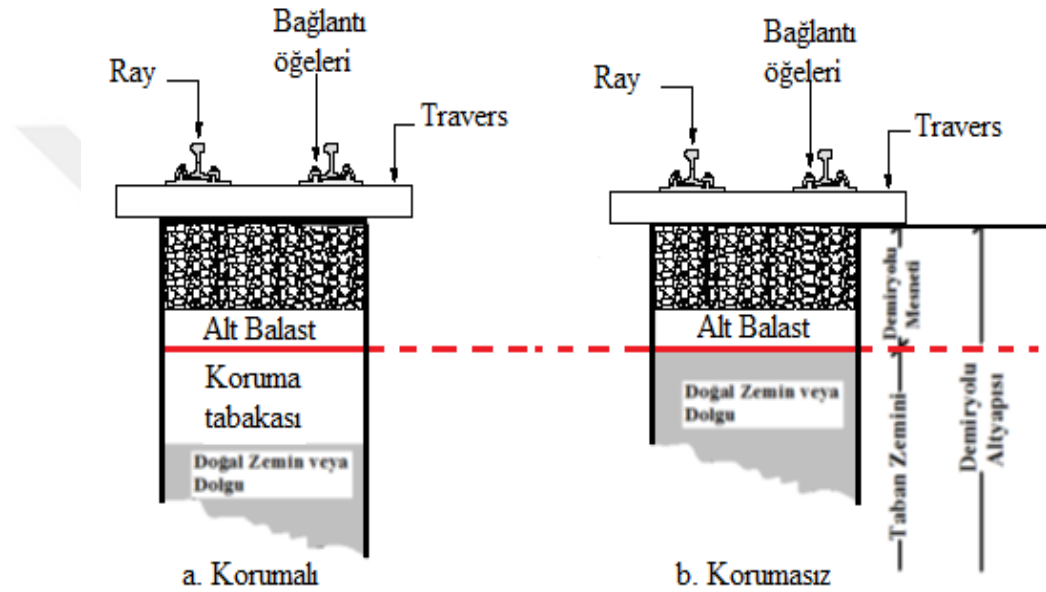
Hat, alt temelin üst kısmı hazırlanmış alt temel katmanı ile ve normal olarak profile uygun eğimle oluşturulur. Hazırlanmış alt temelin görevi, değişik demiryollarında farklı olarak tanımlanabilmektedir.

3.10.6. Boylamasına drenler

Yüzey ve sızıntı sularını, yeraltı sularını toplayarak hattın dışına çıkarılmasını sağlarlar. Genel olarak; gömülü drenler ve kenar hendekleri olarak ikiye ayrılmaktadır.

3.10.7. Koruma tabakası

Koruma tabakası, zayıf doğal zeminleri veya dolguları korumak için kullanılan daneli malzemeden oluşmuş yüksek mukavemetli ve yüksek rijitliğe sahip bir tabakadır. Şekil 3.4'de örnek olarak demiryolu altyapıları gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Koruma tabakası içeren ve içermeyen demiryolu altyapısı (Radampola, 2006)

Platform yeterli taşıma kapasitesine sahip olmadığı durumlarda, don tehlikesine karşı korunmasının gerektiği ve yeterli kalitede balast temininin mümkün olmadığı durumlarda koruma tabakası gereklidir. Bu şekilde koruma tabakası kullanılarak aşağıdaki hususlar mümkün kılınmaktadır:

- Hat kuvvetlerinin daha geniş bir alana yayılması ve dolayısıyla platformun hem daha az hem de daha eşit baskı altında kalması,
- Kırma kum tanelerinin veya aynı zamanda ısı yalıtım malzemesi görevi de gören, kum-çakılın kullanılabilmesi, kullanılmaması durumunda balast yatağı yüksekliği artacak olan masraflarda artış olacaktır.
- Arazi platformunun mukavemet artışı,
- Yüzey sularının yönlendirilmesi ve isalesi,
- Zeminin dona karşı korunması,

- Zemin ile balast arasında bir filtrenin oluşturulması

İyi bir koruma tabakası için kullanılacak en iyi malzeme; çakıl parçacıkları içeren düşük plastisiteli, iyi dereceli iri taneli çakıllı malzemedir. Bu malzemeler, suyun drene edilmesine izin vermelidir. Hattaki balast malzemesi ve gevşek olan zemin malzemesinin bu tabakaya giremeyeceği kadar sıkıştırılabilir olmalıdır. Buna ulaşabilmek için Terzaghi filtre kuralları uygulanmaktadır. Buna göre;

$$D_{15} \leq 4.D_{85} \quad (3.1.)$$

Kaba daneli bir zeminin kendi dane eğrisinin ordinatının %15'inde ölçülmüş dane çapı D_{15} , hemen sınırındaki ince malzeme zeminin dane eğrisinin ordinatının %85'inde (%85 kütle payı) ölçülmüş D_{85} 'ten dört defa daha büyük olmalıdır. Bu şekilde filtre danesi yukarıya doğru sınırlanmış olur. Bu yolla da temastan meydana gelecek erozyon önlenmektedir.

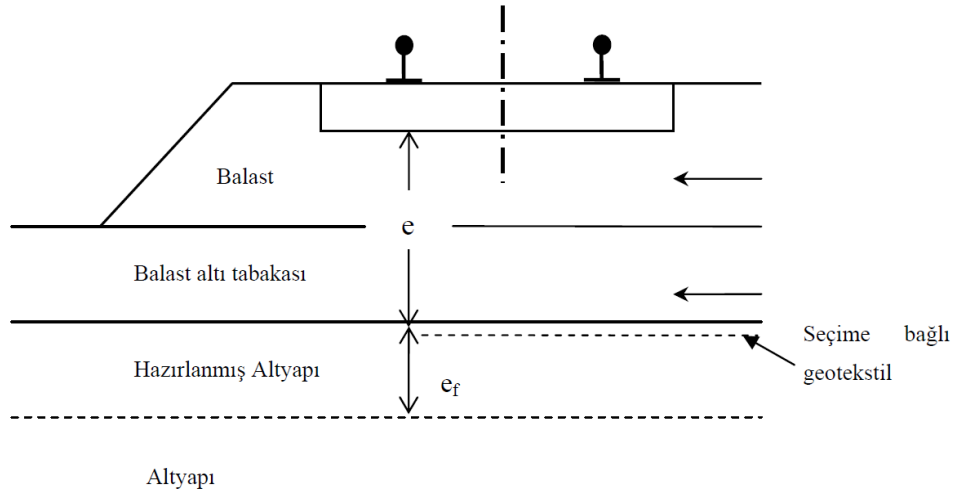
$$D_{15} \geq 4.D_{15} \quad (3.2.)$$

olması durumunda hidrolik filtre etkinliği mevcuttur. Yani kaba daneli balast zemininin dane çapı, platform koruma tabakasının ince malzemesinin çapından dört defa daha büyük olmalıdır. Casagrande (Yüksel Proje, 2007) donmaya karşı dayanıklı bir yapı oluşturmak için koruma tabakasını oluşturacak 0.02 mm'den daha küçük boyutlu danelerin yüzdesini belirlemeyi amaçlayan ve "U" düzensizlik derecesinde sınırlayan bir dondan koruma kuralı geliştirmiştir. Buna göre;

- "U" düzensizlik derecesi, 0-60 mm ve 0-10 mm boyutundaki danelerin birbirlerine oranıdır.
- $U > 15$ ise koruma tabakasını oluşturan malzemenin, %3'ünden fazlasının dane çapı 0.02 mm'nin altında olmamalıdır.
- $U > 5$ ise koruma tabakasını oluşturan malzemenin, %10'undan fazlasının dane çapı 0,02 mm'nin altında olmamalıdır.

3.11. Alt Tabaka Kalınlığının Belirlenmesi

Alt tabakaları boyutlandırılırken; kabul edilebilir taşıma kapasitesi ve don problemleri dikkate alınır. Toplam kalınlık ise; altyapının taşıma kapasitesi, travers tipi ve travers aralığı ile trafik karakteristiklerine bağlıdır. Önerilen minimum tabaka kalınlığı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.



Şekil 3.5. Demiryollarında alt tabaka için minimum kalınlıklar (Erel, 2006)

$$e = E + ax + bx + c + d + f + g \quad (3.3.)$$

- $E = 0.70 \text{ m.}$: Taşıma gücü sınıfı P1 olan zeminler için
- $E = 0.55 \text{ m.}$: Taşıma gücü sınıfı P2 olan zeminler için
- $E = 0.45 \text{ m.}$: Taşıma gücü sınıfı P3 olan zeminler için
- $ax = 0$: UIC Grup 1 ve 2 (veya UIC Grup 2 hesaba katılmaz ise $V > 160$ km/sa)
- $ax = -0.05 \text{ m.}$: UIC Grup 3 ve 4
- $ax = -0.10 \text{ m.}$: UIC Grup 5, 6 ve “7, 8, 9 yolcu ile”
- $ax = -0.15 \text{ m.}$: UIC Grup “7, 8, 9 yolcusuz”
- $bx = 0$: 2.60 m. uzunluğunda ahşap traversler için
- $bx = \frac{2.50 - L}{2}$: L uzunluğundaki beton traversler için; b (m), L (m), $L > 2.50 \text{ m.}$
- ise b negatif
- $c = 0$: Alışlagelmiş boyutlar için
- $c = -0.10 \text{ m.}$: UIC Grup “7, 8, 9 yolcusuz” dışındaki mevcut hatlarda zor çalışma koşulları için özel durum
- $c = -0.05 \text{ m.}$: UIC Grup “7, 8, 9 yolcusuz” dışındaki mevcut hatlarda zor çalışma koşulları için özel durum
- $d = 0$: Çekilen katarların nominal maksimum dingil basıncı 200 kN değerini aşmadığı durumlarda
- $d = +0.05 \text{ m.}$: Çekilen katarların nominal maksimum dingil basıncı 225 kN değerini aşmadığı durumlarda

$d = +0.12 \text{ m.}$: Çekilen katarların nominal maksimum dingil basıncı 250 kN değerini aşmadığı durumlarda
$f = 0$: Hat hızı $V \leq 160 \text{ km/sa}$ ve altyapı taşıma kapasitesi P3 sınıfı olan yüksek hızlı demiryollarında
$f = +0.05 \text{ m.}$: Yüksek hızlı demiryollarında temelin taşıma kapasitesi P2 sınıfı ise
$f = +0.10 \text{ m.}$: Yüksek hızlı demiryollarında temelin taşıma kapasitesi P1 sınıfı ise
$g = +$:Hazırlanmış altyapı tabakası QS1 veya QS2 zemin sınıfından oluştuğu takdirde yol yatağında geotekstil olmak zorundadır.
$g = 0$:Hazırlanmış altyapı tabakası QS3 zemin sınıfından oluştuğu takdirde (geotekstil gerekmez)

3.12. Demiryollarında Altyapıya Bağlı Olarak Oluşabilecek Problemler

Trenlerin seyir güvenliği ve yolcu konforu açısından, demiryolu altyapısının yeterli hat standardına ulaşması bakımından demiryolu altyapısının inşası büyük öneme sahiptir. Dünya’da ve ülkemizde seyir güvenliği ve yolcu konforunun sağlanması için yapılmakta olan üstyapı çalışmaları, altyapı inşasında gerekli kriterlerin sağlanması halinde azalacaktır. Bundan dolayı, demiryollarının inşası esnasında zemindeki oturmaların sınırlı olmasının sağlanması, dinamik ve statik yükler altında stabilizasyonun sağlanmasıdır. Bunun yanı sıra servis ömrü boyunca altyapının özelliklerinin bozulmaması gerekir. Altyapının inşası yapılırken, travers tipleri, akstan gelen yükleri, balastın kalınlığı, zeminin cinsi, jeolojik-hidrojeolojik-iklim şartları göz önüne alınmalıdır.

3.12.1. Arazi platformu hasarları

Dingil ve katar yükleri, yağışlar, erozyon ve rüzgâr vb. durumlarda farklı zeminlerde değişik büyüklükte aşırı zorlamalar arazi platformunun bozulmasına ve hasar görmesine, traversler altında oturmalara neden olmaktadır. Bu duruma bağlı olarak aşağıdaki hasarlara görülebilir:

- Arazi platformu oluşturan kum zemindeki titreşimler neticesinde kum zemin hareket ederek balast yatağından traversin üst yüzeyine çıkmasına,

- Granüler zeminlerde dinamik yüklerden dolayı platformunun gevşemesi ve bunun sonucunda zeminde çatlakların oluşmasına,
- Havanın yağışlı olduğu zamanlarda çamur zeminlerde, platformda dalgalanma ve çamurlaşmış zemin yük değişikliklerine uğramasına,
- Yüzeysel sular traversler altındaki balast oturmasına ve yol güzergâhının yağmurlu havalarda hemen bozulmasına,
- Kohezyonlu zeminler, yük değişiklikleri nedeniyle sıkışma oluşur. Bu nedenle traverslerin altında bir oyulmalar ve traversler arasında zeminde kabarmalar görülür.
- Kış aylarında killi zeminlerde donma, bahar aylarında ise erimeden dolayı hasarlar olur.

3.12.2. Arazi platformundaki hasarların nedenleri

- Zayıf bir zemin tabakası,
- Statik ve dinamik yüklerin fazla olması,
- Platformun yeterince sıkıştırılmamış olması,
- Yağışlarda ve hattın taşkın altında kalması hallerinde arazi platformu veya zeminin sudan arındırılmasının yetersizliği,
- Zemin suyunun yüksekliği,
- Kurumadan kaynaklı çatlaklara yağış suyunun dolması,
- Hatta uygun ray profilinin kullanılmaması,
- Hatta uygun travers mesafesi ve traversin kullanılmaması,

3.12.3. Arazi platformu hasarlarının sonuçları

Platformda meydana gelen hasarları neticesinde, hattın tasarım kriterleri dahilinde işleyebilmesi için daha fazla çalışma gerekecek, hız sınırlamaları artacak ve tamirat işleri de artacaktır. Çok esnek zeminlerde beton traverslere gelen yük artacak, bu da traverslerde çatlaklara sebebiyet verecektir. Bu gibi esnek zeminlerde trafik yükünün etkisiyle oturmalar artacak, raylara gelen yükler artacak, bu da rayın ömrünü kısaltarak ekonomik yönden dezavantaj oluşturacaktır.

Zeminde farklı oturmalar ve altyapıda oluşan titreşimi yeterince sönmülememesi durumunda kaynaklı bölgelerde rayın fiziksel yapısını bozacak, bu da çatlak ve rayda kırılmalara neden olacaktır. Platformda yeterli esnekliğin sağlanması

halinde bu esneklik üstyapı ile de desteklenerek, altyapıdan kaynaklı olarak gerçekleşmesi muhtemel ray çatlama ve kırılmalarının önüne geçilmesi mümkün olacaktır.



4. DEMİRYOLU ALTYAPISI VE ZEMİNLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Ülkemizde, demiryolu ağı 1940'lı yıllardan önce inşa edilmiş olup o günkü teknolojik imkânlarla, maliyet minimum olacak şekilde çözümler üretilerek demiryolu altyapısı oluşturulmuştur. Bakım ve onarım sırasında sökülen hatlardan görüldüğü kadarıyla, yarmadan alınan zemin dolguda kullanılarak taşıma maliyeti minimum yapılmaya çalışılmıştır.

Ülkemizde, yüksek hızlı tren inşaatına kadar geçen sürede, balast doğrudan yarmada tabii zemin üzerine; dolgulu kesimlerde ise doğrudan dolgu üzerine teşkil edilmiştir. Özellikle bahar aylarında, yağışlar ve don çözümlerinden dolayı, killi zeminler suya doygun hale gelebilmekte ve kesme dayanımını önemli ölçüde kaybetmektedir. Bunun sonucu olarak da hem artan demiryolu trafiği hem de artan dingil basınçlarından dolayı, yol geometrisi hızlı bir şekilde bozulmakta ve yer yer ondülasyonlar ortaya çıkmaktadır. Yol geometrisini düzeltmek için genellikle buraj çalışması yapılmaktadır. Ancak, sürekli balast tabakası kalınlığına yapılan takviye, belli bir kalınlığı geçtiğinde, hattın güvenliğini tehlikeye düşürmekte ve livre hızlarında önemli ölçüde azalma meydana gelmektedir.

Hat geometrisinde bozulmaları azaltmak ve bakım aralığını arttırmak için, hatta iyileştirme çalışmaları yapılmalıdır. Ülkemizdeki hatların büyük bir çoğunluğunun tek hat olduğu dikkate alınır, hat kapatılmadan yapılan iyileştirme çalışmaları önem kazanmaktadır. Ancak, bazı durumlarda, özellikle altyapının fonksiyonunu tamamen kaybetmesi durumunda, hattın kapatılarak, iyileştirme çalışmalarının yapılması uygun bir rehabilitasyon seçeneği olarak ortaya çıkmaktadır.

Demiryolu hatlarının inşasında en önemli tabakalardan birisi taban zemindir (taban zemini: yarmalarda tesviye yüzeyi; dolgularda dolgunun üst seviyesi). Taban zemininin zayıf olması durumunda, en klasik yöntem, zayıf zeminin kaldırılarak yerine granüler malzemenin serilmesidir. Bunun yanında, belli oturma derinliği elde edilinceye kadar katı dolgu yapılması da klasik yöntemlerden birisidir. Özellikle, kimya teknolojisindeki gelişmelerden sonra, zeminlerin stabilizasyonunda kullanılan kireç, çimento gibi maddeler yanında, kimyasal stabilizasyon maddeleri de günümüzde yaygınlaşmaya başlanmıştır. Kimyasal maddeler, genellikle katı ve/veya sıvı karışımlar olarak kullanılmaktadır. Bazı kimyasal stabilizasyon malzemeleri de çimento ve/veya kireç ile birlikte kullanılabilir. Zemin stabilizasyonu uygulamalarında, hattın sökülmesi ve trafiğe kapatılması gerekmektedir.

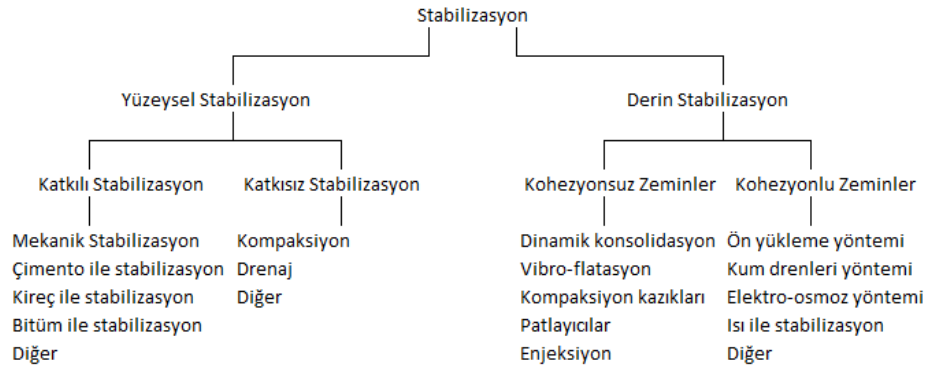
Zeminlerin güçlendirilmesinde ise polimer esaslı malzeme olan geogrid, geotekstil, geokompozit, hücresel dolgu, geomembran, vb. malzemeler günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Geotekstil, geogrid gibi polimer esaslı malzemelerin demiryolu hatlarında kullanımının en önemli gerekçesi, hat trafiğe kapatılmadan, serim işleminin yapılabilmesi ve akabinde balast tabakasının serilerek trafiğe açılabilmesidir.

Ülkemizde, özellikle demiryolu hatlarında iyileştirme uygulamaları oldukça yenidir; ancak, yaygınlaşması konusunda çabalar sarf edildiği görülmektedir. Bu bağlamda, farklı alternatif uygulamaların denenmesi ve bilgi birikiminin sağlanması yararlı olacaktır. Zeminlerin bazı olumsuz özellikleri, uygun stabilizasyon teknikleri kullanmak sureti ile iyileştirilebilmektedir. Zemin ıslahı yöntemlerinin başlıca amaçları şunlardır:

- Zayıf zeminlerde taşıma kapasitesinin artırılması ve oturmanın azaltılması,
- Konsolidasyonun hızlandırılması,
- Geçirimsizliğin azaltılması,
- Dolgu ve yarmalarda stabilitenin artırılması,
- Zeminin iksa duvarı gibi çalıştırılması ve iksa duvarlarının desteklenmesi,
- Zeminin sıvılaşma potansiyelinin azaltılması,
- Kayma mukavemetinin artırılması,
- Drenaj yapılarak boşluk suyu basıncının azaltılması,
- Şişme-kabarma-donma-çözünme etkilerinin azaltılmasıdır.

4.1. Zemin Stabilizasyon Yöntemleri

Stabilizasyon, zemin özelliklerinin çeşitli yöntemlerle iyileştirilmesine verilen genel bir isimdir. Stabilizasyonda, yapılacak yapının niteliğine uygun olarak taşıma gücünü arttırmak, oturmaları ve deformasyonları azaltmak, geçirimsizliği azaltmak, amaçlanmaktadır. Şekil 4.1'de stabilizasyon yöntemlerinin sınıflandırılması bulunmaktadır.



Şekil 4.1. Stabilizasyon yöntemlerinin sınıflandırılması (Küçükali, 2008)

Zeminlerde uygulanacak stabilizasyon teknikleri ile zeminin hacimsel stabilitesi, mukavemeti, permeabilitesi (geçirgenlik), sıkışabilirliği, dayanıklılığı (durabilite) iyileştirilebilir. Çizelge 4.1. ve Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi, değişik amaçlar için zemin cinsine bağlı olarak değişik stabilizasyon metotları uygulanmaktadır.

Çizelge 4.1. Zemin cinslerine göre stabilizasyon metotları (Tunç, 2002)

Amaç	Zemin Cinsi	Stabilizasyon Metodu
Yük taşıma ve deformasyon direncini arttırmak	İnce granüler	Asfalt, çimento, mekanik karıştırma, kompaksiyon
	Kaba granüler	Asfalt, çimento, mekanik karıştırma, kompaksiyon
	Düşük PI killer	Kompaksiyon, çimento, kireç
	Yüksek PI killer	Kireç
Don duyarlılığını azaltmak	İnce granüler	Çimento, asfalt, uçucu kül
	Düşük PI killer	Çimento, kireç
Su geçirimsizliği	Düşük PI killer	Çimento, asfalt, kireç
Kabarma-büzülme kontrolü (hacim stabilitesi)	Düşük PI killer	Çimento, kompaksiyon, kireç
	Yüksek PI killer	Kireç
Esnekliği azaltmak	Yüksek PI killer	Kireç
	Elastik kil veya siltler	Çimento

Çizelge 4.2. Zemin cinslerine göre stabilizasyon (Tunç, 2002)

Zemin bileşimi	Tavsiye edilen stabilizasyon	Amaç
Organik madde	Mekanik stabilizasyon	Diğer metotlar etkisizdir.
Kum	Mekanik stabilizasyon Çimento Asfalt	* İnce ve plastik olmayan malzeme karıştırılarak stabiliteyi arttırmak * Mukavemeti arttırmak * Kohezyon sağlamak
Silt Killer;	Mekanik veya kimyasal stabilizasyon	Zemin özelliklerini iyileştirmek
* Alofenler	Kireç veya kireç-üçucu kül karışımı	* Mukavemeti arttırmak
* Kaolin	Kum ile mekanik stabilizasyon Çimento Kireç	* Stabiliteyi arttırmak * Kısa süreli mukavemeti arttırmak * İşlenebilirlik ve uzun süreli mukavemeti arttırmak
* İllit	Çimento Kireç	* Kısa süreli mukavemet artışı * İşlenebilirlik ve uzun süreli mukavemeti arttırmak
* Montmorillenit	Kireç	* İşlenebilirlik ve kısa süreli mukavemeti arttırmak

4.1.1. Yüzeysel stabilizasyon

4.1.1.1 Kompaksiyon

Kompaksiyon; zeminlerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla mekanik bir takım araçlar kullanılmak suretiyle zemin bünyesindeki su ve tane hacmi sabit durumdayken havanın dışarı atılması olarak tanımlanabilir. Kompaksiyon ile boşluk oranı azaltılarak zeminin geçirimsizliği azaltılır, su emme ve su içeriğini değiştirme özellikleri kontrol altına alınır. Bunun yanı sıra, zeminin makaslama dayanımı, dolayısıyla taşıma gücü artırılır. Ayrıca, zeminin, titreşim ve yük etkisi altında hacim değiştirme, oturma ve deforme olabilirliliği azaltılır. Zemin üzerindeki etkisi; zeminin cins ve fiziksel özelliklerine, sıkıştırma esnasındaki su içeriğine, sıkıştırmada kullanılan enerjinin büyüklüğüne ve sıkıştırmada kullanılan araçlara bağlıdır. Arazide lastik tekerlekli, pnömatik, düz-keçi ayaklı ve vibrasyonlu silindirler, yüksek enerjili darbeli sıkıştırma araçları kullanılarak sıkıştırma işlemi yapılır. Arazi kompaksiyonu; silindir tipi, zemin cinsi, optimum su muhtevası, serilecek tabaka kalınlığı ve kompaksiyon aletinin geçiş hızı gibi değişkenlere bağlıdır.

Arazi sıkışma kontrolü işlemi sırasında şartname göre yerinde yapılacak ölçümlerle kontrol edilmelidir. Sıkışmanın derecesi kum konisi, balon, nükleer, yağ veya su yöntemleriyle ve proktor iğnesi ile de kontrol edilebilir. Bunun yanı sıra, nükleer aletler yardımı ile zeminin yoğunluğu ve su muhtevası (oyuk açmadan) yerinde doğrudan çok çabuk bir şekilde yapıldığından dolayı gün geçtikçe inşaatlarda yaygınlaşmaktadır.



Şekil 4.2. Kompaksiyon araçları (www.imb.cu.edu.tr)

4.1.1.2. Drenaj

Uygun drenaj tasarımı ve drenaj tesislerinin inşası ile yüzeysel sular ve yeraltı suyu problemlerinin çoğunu azaltmak mümkündür.

4.1.1.3. Mekanik stabilizasyon

Zeminin, iki veya daha fazla farklı zeminin uygun oranlarda karıştırılması ile istenilen şartları sağlayan bir zemin haline dönüştürülmesi olarak tanımlanmakta olup bu suretle stabil bir zemin elde edilmiş olur.

4.1.1.4. Çimento ile stabilizasyon

Son yıllarda endüstri ve teknolojinin hızla gelişmesine paralel olarak ülkemizde de en çok kullanılan metottur. Organik zeminler dışında tüm zemin cinslerinde uygulanabilmekte olup özellikle kum-çakıl türü zeminlerde daha iyi sonuçlar vermektedir. Zeminin boşluklarındaki su, çimento ile birleştiğinde, çimento hızlı bir şekilde hidrasyona uğrar. Hidratasyon sonucunda meydana gelen katılaşma sırasında bu çimento partikülleri komşu çimento danelerini bağlayarak sertleşmiş bir iskelet oluşmasını sağlar ve zemin mukavemetinde önemli bir artış meydana gelir. Söz konusu teknik, özellikle karayolu ve demiryolu gibi yol inşaatlarında ya da havaalanı pistleri gibi hareketli yüklerin büyük değerler alabildiği yollarda tercih edilmektedir. Genellikle, portland çimentosu kullanılır. Çimento ile stabilizasyon tekniğinde zeminlerin özelliklerini etkileyen parametreler; çimento oranı, su muhtevası, sıkıştırma yöntemi, yoğunluk, çevre basıncı ve kür süresi ile koşulları olarak sayılabilir.



a) Zemin ile çimentonun su yardımı ile karıştırılması
(Çimento oranı %6)

b) İş makineleri ile CTB (Cement Treated Base) oluşturulması

Şekil 4.3. Çimento ile zemin stabilizasyonu uygulaması (<http://www.cement.org>)

4.1.1.5. Kireç ile stabilizasyon

Kireç ile stabilizasyonda; kil zeminlerde kireçle plastisite indisi düşürülmekte, kuru birim hacim ağırlığı ise arttırılmaktadır. Şişebilen killi zeminler su ile temas ettiklerinde su aldıklarında hacimlerini arttırmakta ve üzerindeki yapılara basınç uygulamaktadır. Hafif yapılar olarak tabir edilen karayolu, demiryolu, zemin üzerine oturan döşemeler, kanal ve rezervuar kaplamaları, sulama kanalları, vb. alttan gelen şişme basıncını karşılayamadıkları takdirde deforme olabilmektedir. Şişen kil zeminlerde kireç kullanmak suretiyle olumsuz özelliklerinin iyileştirme yoluna gidilmektedir. Zemin cinslerine göre yaklaşık kireç miktarı Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Zemin cinslerine göre yaklaşık kireç miktarı (Tunç, 2002)

Zemin cinsi	Kuru zeminin ağırlıkça yüzdesi olarak
İyi derecelenmiş çakıl	3
Kumlar	Tavsiye edilmez
Kumlu kil	5
Siltli kil	2-4
Plastik kil	3-8
Yüksek plastisiteli kil	3-10
Organik zeminler	Tavsiye edilmez



Şekil 4.4. Kireç ile stabilizasyon uygulaması (Bildik, 2017)

4.1.1.6. Bitüm ile stabilizasyon

Bitüm ile stabilizasyonda; asphalt, katran gibi maddeler kullanılır. Kıрма taş, çakıl, kum gibi taneli zeminler, sıcak sıvı bitümlü madde katılıp, karıştırılarak, serilerek kompaksiyon uygulanır. Bitümlü maddelerin, taneler arasında bağlayıcılık ile geçirimsizlik sağlama işlevleri vardır. Bitüm, asphalt vb. petrolden elde edilen siyah, yapışkan, sıcakken sıvı olan üründür. Kullanılacak malzemenin, kil ve organik

maddelerden arınmış olması gerekir. Bitümlü maddeler, miktar olarak %5-10 oranında katılır. Bitümlü stabilizasyon, özellikle yollarda yüzey kaplamasında kullanılır.

Bitümle iyileştirilen ince daneli zeminler için suya direçli ama yüksek kohezyonlu, kumlu zeminler için ise daneler arasında güçlü bağ kuvveti olan stabil bir yapı elde edilir. İki veya daha fazla zemin karıştırılarak iyi bir gradasyon elde edilirse, nispeten daha az miktarda asfalt katkısı ile su geçirimsiz stabil zeminler elde edilebilir.

4.1.1.7. Diğer kimyasal katkıları

Yukarıda sayılan katkı maddelerinin yanı sıra baca külü, cüruf ve uçucu kül gibi katkı malzemeleri de kullanılarak zemin stabilizasyonu yapılmaktadır.

4.1.2. Derin stabilizasyon

4.1.2.1. Dinamik kompaksiyon

Ağır bir yükün tekrarlı olarak değişik yüksekliklerden zemin üzerine düşürülmesinden oluşmaktadır. Ağır tokmaklama diye de adlandırılan bu yöntemde; ağırlığı 50-400 kN olabilen bir ağırlık, 5-40 m yükseklikten, bir vinç vb. yardımıyla, birkaç m aralıklarla zemin yüzüne düşürülür. Ağırlık genellikle, betonarme dikdörtgen bir blok olup dışı kalın saca kaplıdır. Elde edilen iyileştirme derecesi uygulanan enerjiye yani tokmağın ağırlığına, düşüş yüksekliğine, kareyaj aralıklarına ve her noktadaki düşüş sayısına bağlıdır.

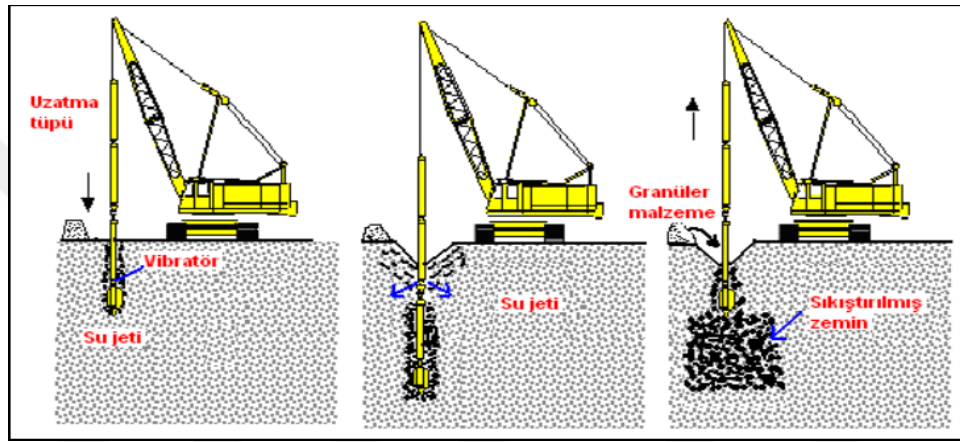
Sıkıştırılacak alan üzerinden birçok geçiş yapılır. Ardışık geçişlerde, önceki çukurların araları tokmaklanır. Bazen çukurlar, kum, çakıl malzeme ile doldurulur. Yöntem, esas olarak taneli zeminler için uygundur. Kohezyonlu zeminlerde de iyi sonuç alındığı ileri sürülmüştür.

4.1.2.2. Vibro-flantasyon

Zemin içerisine yerleştirilen bir vibratörden kaynaklanan yatay titreşimler sonucu granüler zeminlerin sıkıştırılmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla granüler zeminlerin başlangıçtaki boşluk oranları ve sıkışabilirlikleri azalmaktadır. Diğer yandan içsel sürtünme açıları, taşıma gücü ve sıvılaşmaya karşı olan dirençleri de artmaktadır. Bu yöntemde; vibroflot denilen, 1.5-2.5 m uzunlukta, 0.3-0.5 m çapında, silindirik dev bir vibratör kullanılır. Önce vibroflot, bir vincin ucunda asılı olarak istenilen nokta üzerine getirilir. Ucundaki su jeti açılarak, su jeti ve bir miktar titreşim yardımıyla, kendi ağırlığı altında zemine indirilir. İstenilen derinliğe inildikten sonra; kuyu içi, kum,

çakıl ile doldurularak ve sürekli dolu tutularak vibratör çalıştırılır. Buna koşut olarak, uçtaki su jeti kesilir, üst kısımdan bir miktar su akıtılır. Bu etkiler altında, vibroflot çevresinde sıkıştırılmış bir bölge oluşur. Vibroflot, adım adım yukarı çekilerek uygulamaya devam edilir. Sonuçta, 1-2 m çapında, sıkıştırılmış bir silindirik kütle elde edilir. Bu işlem, planda 1-2 m aralıklarla tekrarlanır.

Yumuşak kil zeminde bu yöntemle oluşturulan 0.5-1 m çaplı içi çakıl-taş dolu oluşumlara taş kolonları denilir. Benzer işlem, ucu kapalı kaplama borusunun kil zemine çakılması ve çekilirken, boşluğun çakıl-taş ile doldurulması ile de yapılır. Bunlar bir tür düşey kum drenleridir.



Şekil 4.5. Vibroflasyonla gevşek granüler zeminlerin kompaksiyonu (Çetin H.)

4.1.2.3. Vibrokomaksiyon

Vibroflasyonunda yatay, vibrokomaksiyonda dikey vibrasyon uygulanarak granüler zeminin derin kompaksiyonu yapılmaktadır. Bu teknik, vibroflasyonuna nazaran 4-5 kat daha hızlı olsa da elde edilen rölatif yoğunluklar daha düşük ve yanal yönde sıkıştırılan hacim daha azdır. Bundan dolayı, vibrokomaksiyonda 1-2 m aralıklarla kompaksiyon yapılmaktadır. Bu metot ile 10-15 m. derinliğinde zemin tabakası sıkıştırılır. Bu yöntemde, zeminin maksimum dane boyutu ile gradasyonu en önemli hususlardır.

4.1.2.4. Sıkıştırma kazıkları

Zeminler, kazık çakılması sonucu oluşan deplasmanlar yoluyla sıkıştırılabilir. Bu şekilde kazığın hacmine denk hacimde sıkışma meydana gelir. Ayrıca, kazığın çakılması suretiyle meydana gelen titreşimlerle kumlu zeminin daha fazla sıkışması sağlanır. Fakat söz konusu bu teknik, granüler zeminlere uygulandığında sıkıştırma,

deplasmanlara ek olarak kazık çakımı esnasındaki titreşim hareketleri sonucunda da gerçekleşmektedir. Suya doymun zeminlerde çok etkili bir metottur.

4.1.2.5. Patlatma

Eskiden beri uygulanmakta olan bu yöntemde iyileştirme uygulanacak zemin tabakaları içerisine yerleştirilen sınırlı miktardaki patlayıcılar ardışık olarak patlatılmakta ve bu suretle de hızlı basınç dalgaları oluşturulmaktadır. Patlatma kaynağı çevresinde meydana gelen şok dalgaları ile gevşek kum zeminde önce sıvılaşma meydana gelmekte bilahare başlangıçtakine oranla daha kompakt bir zemin elde edilmektedir. Bu yöntem kullanılmak suretiyle kalınlığı 20 m.'ye varan gevşek granüler zeminler %70-80 relatif sıkılığa kadar sıkıştırılabilmektedir. Ancak, yöntem yerleşim bölgelerinde uygulanamamaktadır.



Şekil 4.6. Patlatma yerleştirme makinesi ve dren kuyularından fişkıran kum-su-hava karışımı (Çetin H.)

4.1.2.6. Enjeksiyon

Zemin enjeksiyonu, temel olarak akışkan malzemelerin basınç altında zemin içerisindeki boşluklara enjekte edilmesidir. Buradaki amaç zeminin ya da kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerini iyileştirmektir. Enjeksiyon malzemesi ve enjeksiyon parametreleri (enjeksiyon basıncı, enjeksiyon hızı, enjekte edilen hacim, vb.) zemin koşullarına (dane çapı dağılımı, rölatif sıkılık, geostatik gerilmeler, vb.) ve uygulama amacına yönelik olarak tasarlanmalıdır. Enjeksiyon aşağıdaki alanlarda kullanılabilir:

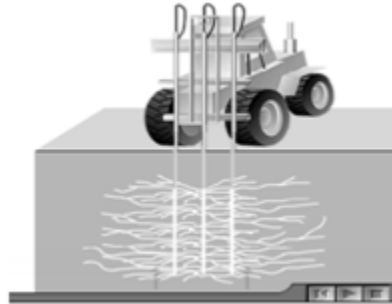
- Zemin geçirgenliğini azaltmakta,
- Zemine suyun ya da kirli akışın girmesini bariyer ya da cut off oluşturarak engellemede,
- Sıvılaşmayı önlemede,

- Tünel inşaatlarında tünel aynasının stabilizasyonunu sağlamada,
- Sondaj ve numune alımı esnasında su problemlerinin çözümünde,
- Zemin içerisindeki boşlukların doldurulup, aşırı oturmaların engellenmesinde,
- Zemin stabilizasyonunu sağlayarak tünel veya kazı çalışmalarını kolaylaştırmakta,
- Temel kazılarından, tünellerden kaynaklanan gerilmeleri azaltmada,
- Yeraltı yangınlarının söndürülmesinde,
- Tünelin kazısı sırasında yüzeyde veya yakın çevrede bulunan yapıların oturmasını engellemekte kullanılabilir.

4.1.2.6.1. Permeasyon (Sızdırma-emdirme) enjeksiyonu

Emdirme enjeksiyonunun amacı, zeminin hacminde ve yapısında önemli bir değişiklik meydana getirmeksizin zemin içerisindeki boşlukların enjeksiyon malzemesiyle dane çapı göz önüne alınarak doldurulmasıdır. Zemin içerisine enjekte edilen malzeme zamanla sertleşmekte ve böylece zeminin mekanik ve hidrojeolojik özelliklerini iyileştirmektedir. Genellikle çimento şerbeti kullanılmakla beraber bazı durumlarda özel kimyasal çözeltiler de kullanılabilir.

Çimento dane çapı ancak kaba kumların veya daha kaba zeminlerin daneleri arasına girmeye uygun olduğundan daha ince mikro çimento da kullanılmaktadır. Ancak, zeminin geçirimsizliği azaldıkça hem teknik hem de ekonomik zorluklar artmakta, bu da yöntemin kullanılabilirliğini zorlaştırmaktadır.

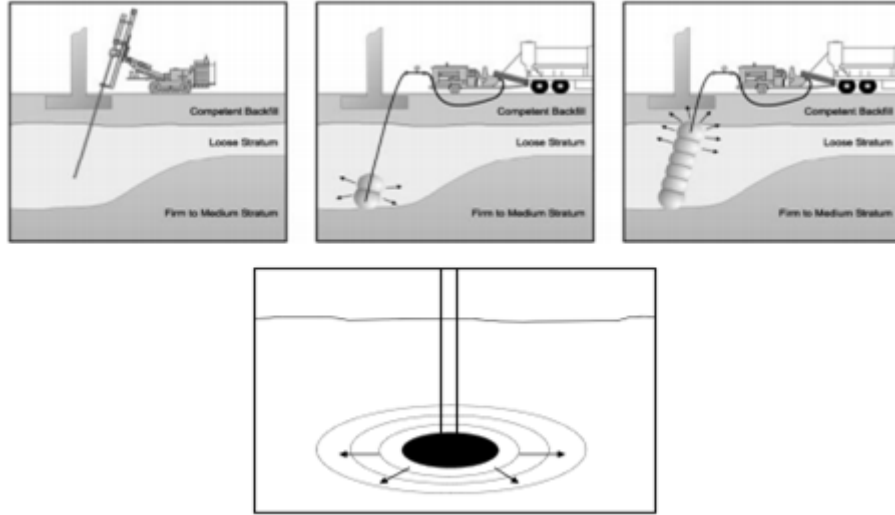


Şekil 4.7. Permeasyon yöntemi ile enjeksiyon (Altun, 2010)

4.1.2.6.2. Kompaksiyon enjeksiyonu

Kompaksiyon enjeksiyonu 25 mm.den daha az çökme değerine sahip, yeterli plastisiteyi sağlayacak kadar silt ve içsel sürtünmeyi sağlayacak kadar da kum içeren katı enjeksiyon malzemesinin zemin boşluklarına girmeksizin enjeksiyon noktası etrafında giderek genişleyen bir kütle oluşturacak ve bu sayede etrafındaki gevşek

zeminleri sıkıştırarak şekilde yüksek basınçlarda enjekte edilmesi olarak ifade edilebilir. Yöntem genellikle zayıf veya yumuşak zeminlerin sıkıştırılmasında, temel ve döşemelerin alttan desteklenmesinde, yapı oturmalarının kontrol edilmesinde, farklı oturmalar gösteren yapı temellerinin rehabilitasyonunda ve tekrar eski seviyelerine yükseltilmesinde kullanılmaktadır.



Şekil 4.8. Kompaksiyon enjeksiyonu (Altun, 2010)

4.1.2.6.3. Çatlatma enjeksiyonu

Yeni bir enjeksiyon tekniğidir. Burada zeminin kontrollü bir şekilde, kararlı fakat düşük viskoziteli çimento enjeksiyonu ile yüksek basınçlarda (5-40 bar, genellikle 20-40) çatlatılması işlemidir. Bu işlem sonucunda zemin içerisinde ağaç dallarına benzer bir şekilde sertleşmiş çimento kanalları oluşmakta ve bu sayede zemin kontrollü bir şekilde ve bölgesel olarak sıkıştırılmaktadır.

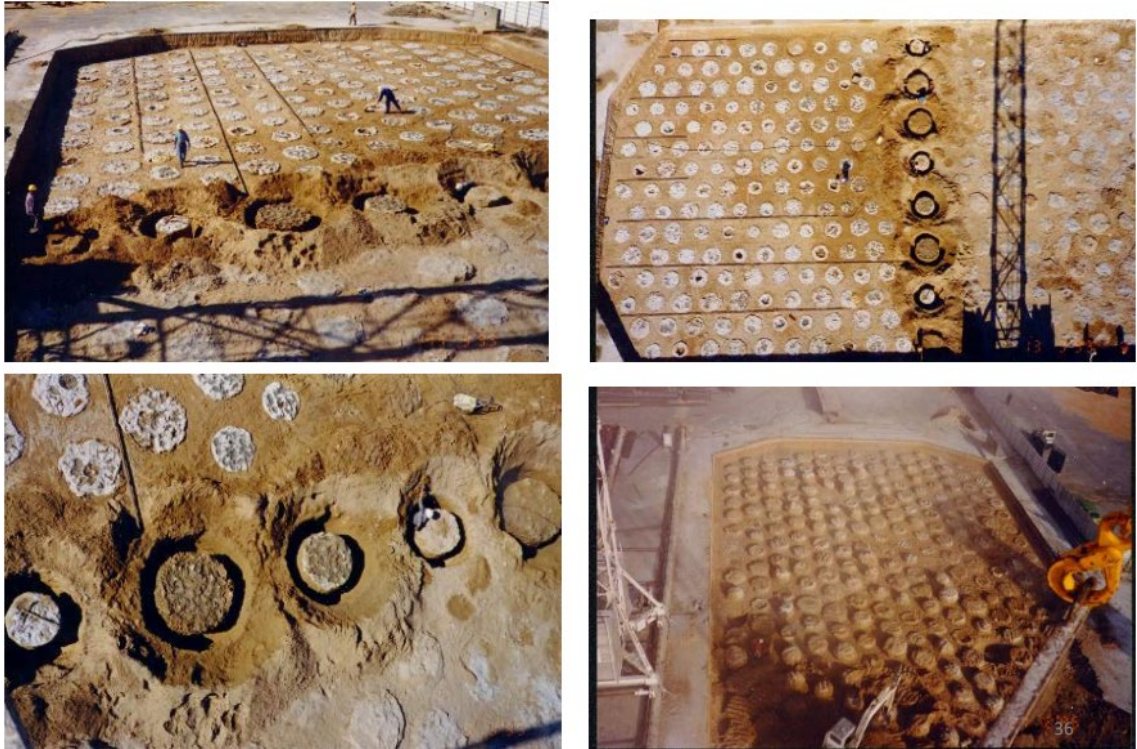
4.1.2.7. Jet-grout yöntemi

Jet-grout yönteminde tasarım derinliğine kadar delgi yapılmakta olup delgi için kullanılan tijlerin ucundaki küçük deliklerden yüksek basınçlarda çimento şerbeti zemine enjekte edilmektedir. Bu esnada tijler de belirli bir hızla döndürülmekte ve yine belli bir hızla yukarı doğru çekilerek belirli bir çapta ve boyda zemin içinde silindirik kolonlar oluşturulmaktadır. Bu yöntemde, yüksek hızla enjekte edilen karışım zeminin doğal yapısını bozmakta ve zemin ile enjekte edilen malzemenin karışımıyla yeni bir malzeme meydana gelmektedir. Bu suretle, zemin taşıma gücü ve elastisite modülü artmakta, permeabilite azalmaktadır.

Yöntem; zemin özelliklerine, elde edilmek istenen kolon çapına, kolonun taşıma kapasitesine ve seçilen jet-grouting metoduna göre tercih edilir. En çok derin

temellerde, tünel kazısı öncesi zemin ıslahı ve tünel duvar takviyelerinde, iksa duvarlarında, zemin suyuna geçirimsiz perdelerde, şev ve heyelan stabilizasyonunda, kazı çukurlarına gelen yeraltı sularının azaltılmasında, geçirimsizlik perdelerinde ve atık sahalarında geçirimsizliğin sağlanmasında uygulanmaktadır.

Jet-grout yöntemi her türlü zemine uygulanabilmesi, malzeme sarfiyatının önceden hesaplanabilmesi, çevre kirliliği yaratmaması, dar sahalarda kolaylıkla yapılması, istenilen derinlikten başlanıp istenilen derinliğe kadar imal edilebilmesi gibi özelliklerinden dolayı diğer yöntemlere göre daha üstündür.



Şekil 4.9. Jet grout imalatı sonunda temel zemini

4.1.2.8. Ön yükleme yöntemi

Özellikle suya doymun kohezyonlu zeminlerde; taşıma gücünü artırmak, muhtemel oturmaları azaltmak için zemin üzerine bir yük yerleştirilerek bir süre (birçok aydan, birkaç yıla kadar) beklenilir. Böylece zemin konsolidasyona uğratılır.

Ön yükleme yönteminde en çok sürşarj yüküne dikkat edilmesi gerekir. Sürşarj yükü arttığı takdirde maliyet artmakta ancak oturma süresi kısalmaktadır. Oturma süresi kısaldığı takdirde proje imalatı hızlanacak ve maliyet azalacaktır. Bundan dolayı sürşarj yüküne karar verilirken oturma süresi, yapım maliyetiyle birlikte ele alınmalıdır.

4.1.2.9. Kum drenleri yöntemi

Permeabilitesi çok düşük veya çok kalın yumuşak kil tabakasına ön yükleme tekniği tek başına uygulandığı zaman etkili olamaz. Çünkü önemli sıkışmaların meydana gelebilmesi için çok uzun süre geçmesi gerekir. Bu gibi durumlarda kum drenlerinin oluşturulması yöntemine gidilmektedir. Kum drenler, kumdan oluşan kazıkların yumuşak zemin içinde oluşturulması ile elde edilmekte olup çapları 30-50 cm. arasında değişmektedir. Kum drenleri, kapalı ve açık mendrel yöntemleri olmak üzere iki yöntemle teşkil edilmektedir.

4.1.2.10. Elektro-Osmoz yöntemi

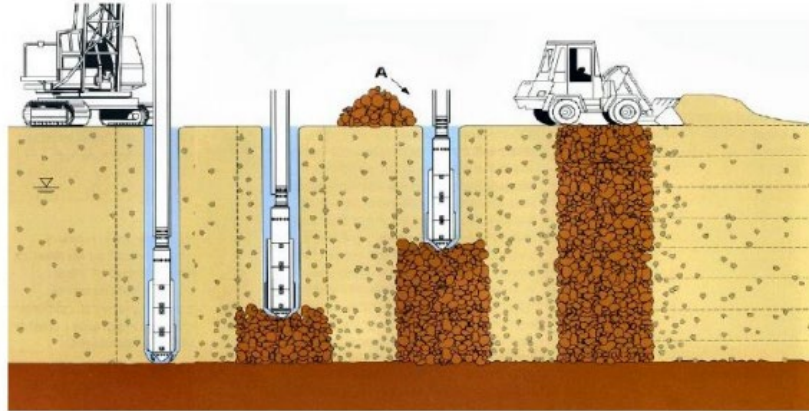
İnce taneli zeminlerde katot ve anot kullanmak suretiyle elektriksel alan oluşturmak suretiyle su akış ve hareketinin sağlandığı bir yöntemdir. Bu uygulamanın en büyük avantajı, sıkıştırılabilir ince taneli zeminlerin konsolidasyonudur. Sınırlı hacimdeki ve işlem için uygun zeminlerde kullanılan bu yöntem konsolidasyon için ekonomik bir alternatif olabilmektedir.

4.1.2.11. Termal stabilizasyon

Kil zeminler ısı ile sertleşmekte ve eğer yeteri kadar ısı verilirse sertleşme durumunu muhafaza etmektedir. Bu durum kil mineralinin 400 derecenin üzerinde kristal yapısında değişiklik meydana gelmesinden olmaktadır.

4.1.2.12. Taş kolonlar

Vibro kompaksiyon yöntemine göre farkı, çakılın geri dolgu olarak kullanılmasıdır. Genellikle yumuşak ve orta yumuşak zeminlerde kullanılırlar. Bunların fonksiyonu, zemin üzerine gelen yükleri zeminle ortaklaşa taşımaktır. Hem taşıma gücünün arttırılmasında, hem de oturmaların azaltılmasına katkıda bulunurlar ve aynı zamanda düşey dren gibi çalışıp oturmayı hızlandırır. Gevşek, ince kum zeminlerde sıvılaşmaya karşı önerilmektedir.



Şekil 4.10. Taş kolon imalatı (www.imb.cu.edu.tr, Adana, 2015)

4.1.2.13. Derin karıştırma yöntemi

Derin karıştırma yöntemi, zeminin çimentolu kireçli maddeler kullanılmak suretiyle yerinde karıştırılması yöntemi olarak tanımlanabilir. Bu yöntemde özel karıştırma aletleri kullanmak suretiyle yumuşak killi zeminlerin yerinde kireç veya çimento şerbeti ile karıştırılması sonucu rijit kolonların oluşturulmaktadır. Çimento, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, kireç, çeşitli katkıları veya bunların kombinasyonları bağlayıcı madde olarak kullanılmaktadır.

Gevşek kumlar ve yumuşak killerde daha çok kullanılmaktadır. Kazı çukurlarının desteklenmesi, geçirimsizlik perdeleri, rıhtım yapıları, tünel zemininin desteklenmesi, temel takviyesi ve sıvılaşmanın önlenmesinde kullanılır. Genel olarak yöntemin uygulanışı karıştırma aparatı ile zeminin harmanlanırken aynı zamanda çimento şerbetinin zemine enjekte edilmesi ve istenilen ebatlarda kolonun oluşturulması esasına dayanır. Bu şekilde oluşan kolonların makaslama dayanımı iyileştirilmemiş zeminden daha yüksek, sıkışabilirliği ve geçirimsizliği ise daha düşüktür. Derin zemin karıştırma sisteminin uygulanması için gerekli ekipmanlar ise karıştırıcı şaft, çimento tankı, su tankı, mikser ve pompadır. Karıştırıcı şaft; kesme bıçakları, karıştırma bıçakları, enjeksiyon portları ve enjeksiyon nozullarından oluşmaktadır. Kolonun homojenliği her noktaya eşit miktarda enjeksiyon verilmesi ve karıştırıcı aparat üzerindeki gözeneklerin yerleşiminden büyük ölçüde etkilenmektedir.

Bununla birlikte yöntem, daha yüksek kuleli ekipmanlar gerektirdiğinden kısıtlı ortamlarda uygulanamaz. Uygulama yapılan zemin içerisinde iri bloklar içeren seviyelerin bulunması halinde mekanik karıştırıcının performansı düşmektedir. Bağlayıcı malzemenin dayanım kazanması, özellikle ince daneli kohezyonlu zeminlerde

uzun sürmektedir. Bağlayıcı olarak kireç kullanılan kolonlarda özellikle düşük pH değerine sahip zeminlerde kolonlar, en yüksek dayanıma ulaşmayabilir.

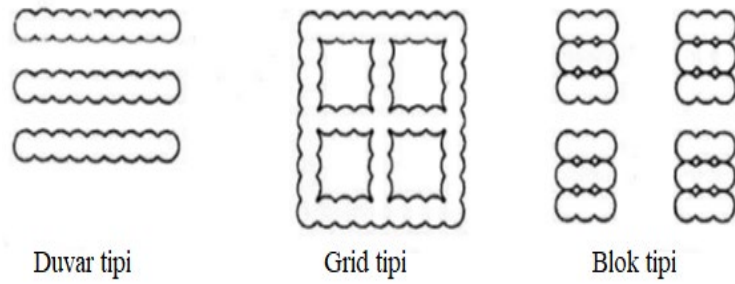
Derin karıştırma yönteminin avantajları şu şekilde özetlenebilir:

- Zemin türlerinin çoğunda uygulanabilir.
- Büyük alanlarda uygulanan projelerde hem ekonomik hem de verimlidir.
- Uygulama esnasında komşu yapılara minimum zarar verir.
- Kuru yöntemle uygulamada zemin yapısında fazla bozulma olmaz.
- Çevreye az zarar verir.

Bununla birlikte derin karıştırma yöntemi, çok gevşek, çok sert zemin ve kayalarda, eğimli kolonlarda, kolonların mevcut yapılara yakın olduğu yerlerde uygulanamaz. Derin karıştırma yöntemi ile ilgili detaylı bilgi bir sonraki bölümde verilmiştir.

Çizelge 4.4. Derin karıştırma yönteminin kuru ve ıslak uygulamalarının seçimini etkileyen karakteristik özellikler (Topolnicki, 2004)

Konu	Zemin Özellikleri
İyileştirilecek zeminin su muhtevası	Kohezyonlu zeminlerde kuru yöntem için en iyi su muhtevası %60-200. Bu da yüksek su muhtevası içeren zeminlerde kuru yöntemin ıslak yöntemden daha etkili olduğunu gösterir.
Karıştırma kalitesi	Islak yöntemde karıştırma işlemi daha çok homojenlik sağlar. Çünkü karıştırma süresi daha uzundur ve sulu harç kolon alanına daha kolay dağılır.
Zemin-bağlayıcı karışımının basınç dayanımı	Yüksek dayanım ıslak yöntemde elde edilir. (Su muhtevası fazla olan zeminler hariç)
Sert zemin katmanlarda uygulanabilirliği	Islak yöntemin sert zemin katmanlarında uygulanabilirliği, taneler arasındaki suyun yağlama etkisi ve karıştırma millerinin yüksek dönme etkisi nedeniyle daha yüksektir.
Tabakalı zeminlerde uygulanabilirliği	Islak yöntemde daha homojen dağılım sağlar.
Bozulma	Kuru yöntemde bozulmalar daha az miktarda olmaktadır.
Bağlayıcı ve endüstriyel yan ürünlerin kullanımı	Kuru yöntemde sıklıkla çeşitli bağlayıcılar ve endüstriyel yan ürünler kullanılır. Islak yöntemde genellikle cüruf çimentosu kullanılır.
0°C'nin altındaki hava sıcaklıklarında	Kuru yöntemin uygulanması basınçlı hava ile yapıldığı için düşük sıcaklıklardan daha az etkilenir.
Kolon donatısı	Kolon donatısının ıslak yöntemde kullanılması mümkün olabilir.
Uygulanan iyileştirme yönteminin maliyeti	Islak yöntem kuru yöntemle göre daha maliyetli bir uygulamadır.



Şekil 4.11. Uygulama şekilleri (Kılıç, 2013)

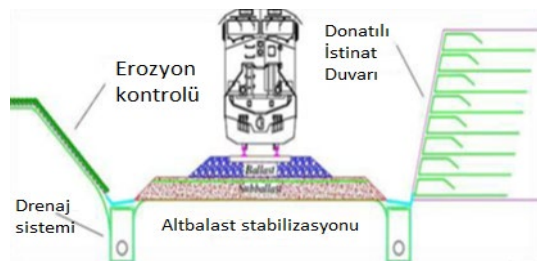
Derin karıştırma yönteminin uygulanmasıyla iyileştirilen zeminin dayanımını arttıran etkenler detaylı olarak aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.5. İyileştirilen zeminin dayanımını arttıran etkenler (Terashi, 2013)

I. Bağlayıcı maddenin özellikleri	1. Bağlayıcının türü 2. Bağlayıcının kalitesi 3. Su ve diğer katkı maddeleriyle karıştırılması
II. İyileştirilecek zeminin özellikleri	1. Zeminin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri 2. Organik içerik 3. Boşluk suyunun pH değeri 4. Su muhtevası
III. Karıştırma durumu	1. Karıştırma derecesi 2. Karıştırma süresi 3. Bağlayıcı kalitesi
IV. Kürlenme durumu	1. Sıcaklık 2. Kürlenme süresi 3. Nem oranı 4. Islaklık ve kuruluk/donma ve çözülme, vb.
V. Yükleme durumu	1. Yükleme oranı 2. Yanal basınç 3. Gerilme (Basınç, kesme, vb.)

4.2. Demiryolu Altyapısında Geosentetik Malzemelerin Kullanılması

Demiryollarında geosentetiklerin kullanımını esasen, düzensiz ve yüksek miktarda oturmaları önleyerek ve drenaj yapılarının oluşturulmasını sağlayarak demiryolu altyapı ve üst yapısını güçlendirme, malzeme tasarrufu sağlama, şev yapılarının stabilitesini sağlama, tünel bölgelerinde su yalıtımını sağlama olarak belirtebiliriz.



Şekil 4.12. Demiryolu yapısında geosentetiklerin kullanım alanları

4.2.1. Geosentetiklerin işlev ve özellikleri

Geosentetiklerin işlevleri şunlardır:

Ayırma: Geosentetiğin iki farklı zeminin/malzemenin karışmasını, sıklıkla ince daneli (killi) zeminle drenaj tabakası veya yol yapımında agrega olarak kullanılan granüler zeminin karışmasını önlemesi,

Filtrasyon: Filtre olarak kullanılan geotekstillerin bir tarafından öbür tarafına suyun geçmesine izin verirken küçük zemin danelerinin büyük ölçüde sürüklenmesini/taşınmasını önleyerek, örneğin drenaj agregasının veya drenaj borusunun tıkanmamasını sağlaması,

Drenaj: Geosentetiğin (genelde kalın örgüsüz geotekstil veya drenaj geokompoziti) kendi düzleminden su veya buhar geçişini sağlaması,

Güçlendirme: Çekme dayanımı ve çekme modülü yüksek geosentetiklerin zemini çekme gerilmelerine ve deformasyonlara dirençli hale getirmesi,

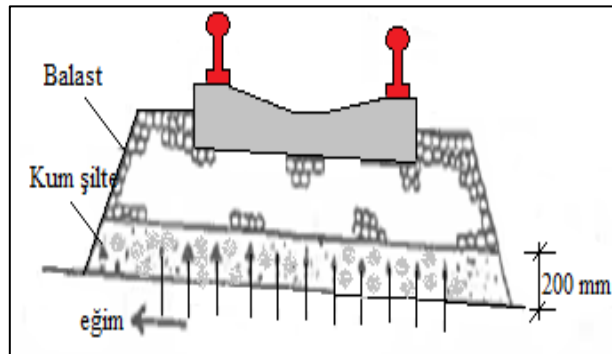
Sızdırmazlık: Geçirimsiz geosentetiklerin (geomembran, geosentetik kil kaplama, polimer karışımı/bitüm emdirilerek veya püskürtülerek geçirimsiz hale getirilen geotekstillere) sıvı/buhar geçişini önlemesi,

Koruma: Geosentetiğin bir tabaka veya yüzeye mekanik zarar verilmesini önlemesi (sıklıkla örgüsüz geotekstillere geomembranı delinmeye karşı koruması)

Erozyon kontrolü: Geosentetiğin rüzgâr, yağmur, su akımı, dalga gibi etkenlerle şev yüzeylerinde, nehir/göl/deniz kıyılarında ve nehir/deniz tabanlarında erozyonun önlenmesi amacıyla kullanılması

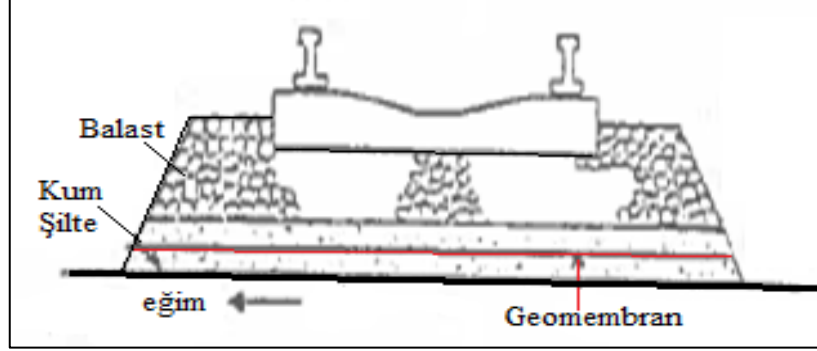
4.2.2. Demiryollarında geosentetik uygulamaları

Balast kirlenmesi taban zemininin karışması sonucunda oluşuyorsa geleneksel çözüm taban zemini ve balast arasına kum şilte konulması şeklindedir.



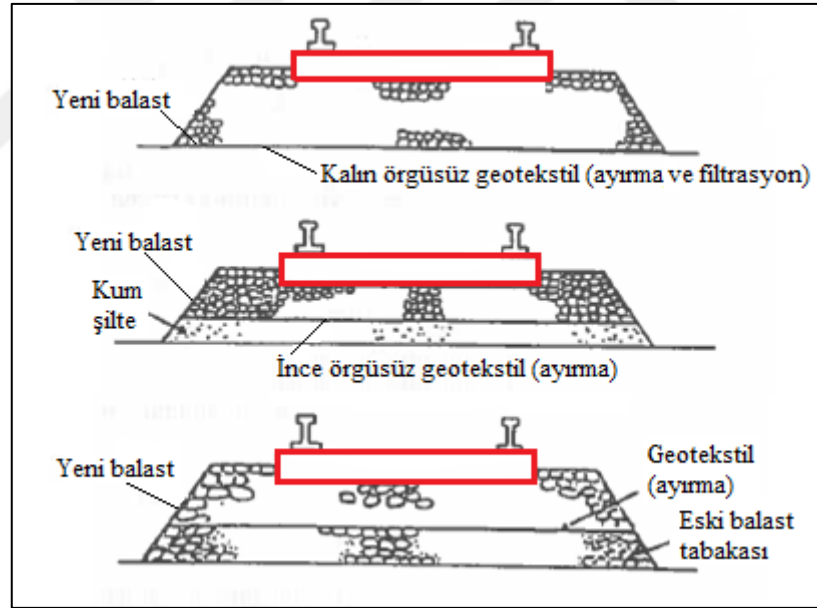
Şekil 4.13. Balast altında kum şilte kullanılması

Balast malzemesinin aşınması sonucu balast kirlenmesi oluştuysa yeni balast tabakasının yüksek dayanımlı kırma taş ile teşkili gerekir. Killi taban zeminini göçmesi sorunu için Şekil 4.15’de gösterildiği gibi, suyu taban zemininden uzaklaştırmaya yönelik bir çözüm İngiltere demiryollarında çok uzun süreden beri uygulanmıştır.



Şekil 4.14. Balast altında kum şilte kullanılması

Normal olarak kum tabakasının kalınlığı geomembran altında 100 mm, üstünde ise en az, en büyük balast dane boyutunun iki katı olarak seçilir. Balast yenilenmesi sırasında geotekstil kullanım alternatifleri Şekil 4.16’da verildiği gibidir.

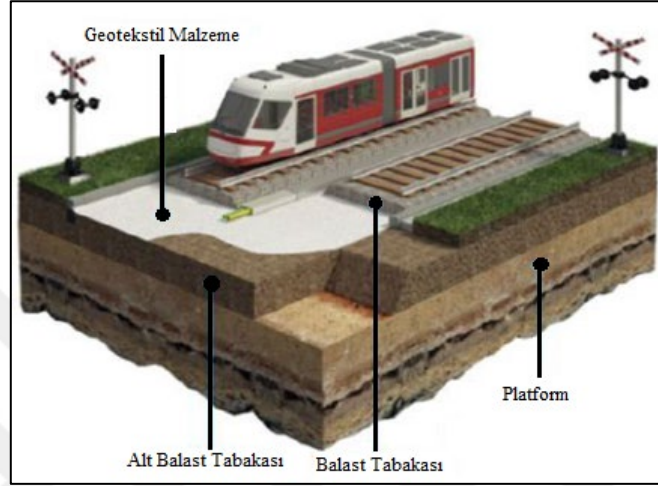


Şekil 4.15. Balast yenilemede geotekstil kullanımı

- Yeni balast tabakası altında
- Kum filtre ve yeni balast tabakası altında
- Balast tabakasının yenilenen kısmı ve eskisi arasında

4.2.3. Demiryollarında geotekstil malzemelerin kullanımı

Demiryollarında en yaygın kullanım alanına sahip olan geosentetik malzemeler, geotekstillerdir. Çoğunlukla geomembran ve geogrid tabakalarına koruyucu, yardımcı eleman olarak kullanılıyor olsa da gerilmelerin eşit dağıtılmasını sağlayıp şekil bozulmalarını önleyerek güçlendirme fonksiyonuyla da kullanılmaktadır.



Şekil 4.16. Demiryolunda geotekstil malzeme kullanımı (Toksoy, 2017)

Aynı zamanda iyi birer ayırıcı olan geotekstilller, balast-alt balast-zemin tabakaları arasında kullanılarak bu farklı boyutlu taneciklerden oluşan tabakaların birbirine karışarak mekanik yapısının bozulmasını önlediği gibi su geçirgen özelliği ile drenaja yardımcı olmaktadır.

Demiryollarında geotekstilller genellikle balast altı tabakasının altına serilerek kullanılmaktadır. Ayrıca tünel bölgelerinde geomembranlarla birlikte kullanılmaktadır. Bu bölgelerde geotekstil kullanılmasının amaçları şunlardır;

- Altyapı üstüne hat ve taşıma yapısının düzgün ve uygun yerleşimini sağlamak; geotekstilller ince taneli malzemenin çakıl altyapı tabakasına girmesini önler ve altyapı üstünde uygun bir yanal eğim sağlarlar.
- Tekrarlı yükler altında hat taşıma sistemlerinin mekanik dayanımlarını arttırmak; buna karşın geotekstil, balast ve balast altı tabakası kalınlıklarının azalmasını sağlamaz. Çünkü düşey yüklerin dağılımında bu tabakaların yerini alamaz.
- Su yalıtımı için yerleştirilen geomembran tabakasının sert cisimler ve zemin daneleri tarafından zedelenmesini önlerler.

- Filtreleme ve drenaj görevlerini yapmak; Geotekstiller boşluklu yapıları ile demiryolu yapısında drenajı sağlarken boşluk büyüklüklerinin kısıtlı olması sayesinde altyapı ve üstü yapı tabakalarının karışması ile karşılaşılabilecek fiziksel bozuklukları önlerler.

Geotekstiller, ayrıca altyapıyı don etkisine karşı da korur. Kullanmadan önce özel geotekstilin kırılma dayanımı, kırılma uzaması, yırtılma dayanımı, basınç dayanımı, su permeabilitesi, ince malzemenin permeabilitesi gibi mekanik dayanım özelliklerine sahip olduğunu kontrol etmek gerekir. Her ne kadar sadece geotekstil serilmesi, geliştirilen yöntemlerle çok kolay ve de hızlı yapılabilmekte ise de killi taban zeminlerinde geotekstilin kum filtre ile beraber kullanılmasının etkin ve kalıcı bir çözüm olduğu düşünülmektedir. Ayrıca geotekstilin en az 200 mm, tercihen 400 mm'den büyük derinlikte serilmesi uygundur. Zira travers seviyelerinin ayarlanması işlemleri sırasında geotekstil zedelenebilir.

Balast malzemesinin iri ve köşeli olmasından ötürü karayolu uygulamalarına kıyasla çekme ve delinme dayanımını daha yüksek geotekstil kullanılması gerekir. Ayrıca taban zemininin tekrarlı yükler altında geotekstile doğru pompalanması nedeniyle geotekstilin aşırı boşluk suyu basınçlarının hızla sönmeye izin vermesi ve tıkanmaması gerekir.

Avrupa ve Kuzey Amerika'da demiryollarında taban zemini ve balast arasında sadece kalın, mekanik birleştirmeli (keçe türü) örgüsüz tip geotekstiller kullanılmaktadır. Çizelge 4.6'da verilen demiryollarında ayırma amaçlı Fransız şartnamesi şartlarını genelde 400 g/m² ağırlığındaki mekanik birleştirmeli (keçe türü) örgüsüz geotekstiller sağlar. Avusturya ve Almanya'da da uygulamada ~250-400 g/m² arası ağırlıkta olanları seçilmektedir.

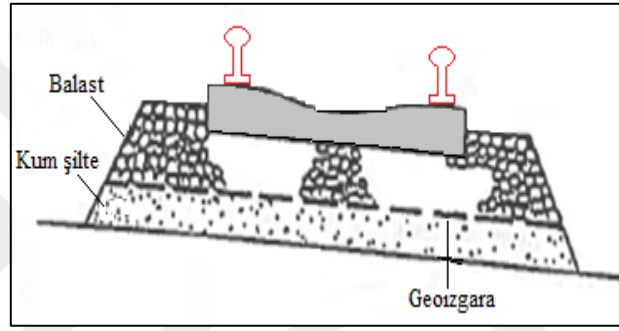
Çizelge 4.6. Demiryollarında ayırma amaçlı geotekstil uygulamaları için Fransız şartnamesi

Çekme Dayanımı	> 25 kN/m (tercih edilir) > 20 kN/m (izin verilebilir)
Kopmada uzama	> %40
Yırtılma dayanımı	> 1.7 kN
Permittivite	> 0.5 s ⁻¹
Transmissivite	> 5x10 ⁻⁷ m ² /s
O ₉₅	<60 µm (tercih edilir) <100 µm (izin verilebilir)
Delinme dayanımı	> 1.2 kN

Çizelge 4.7. Demiryollarında ayırma amaçlı geotekstil uygulamaları için
Amerikan Demiryolu Mühendislik Birliği Şartnamesi

	Normal	Ağır	Çok Ağır
Yaklaşık ağırlık g/m ²	340-400	400-550	550-680
Çekme dayanımı	> 31 kN/m	> 40 kN/m	> 62 kN/m
Kopmada uzama	> %20	> %20	> %20
Yırtılma dayanımı	> 0.45 kN	> 0.58 kN	> 0.67 kN
Permittivite	> 0.3 s ⁻¹	> 0.25 s ⁻¹	> 0.2 s ⁻¹
Transmissivite	> 3x10 ⁻⁶	> 6x10 ⁻⁶	> 9x10 ⁻⁶
Delinme dayanımı	> 0.49 kN	> 0.67 kN	> 0.83 kN
Mullen patlama dayanımı (kN/m ²)	> 2760	> 3100	> 4270

Geotekstiller demiryollarında, karayollarındakine benzer şekilde yüzey suları drenaj sistemlerinde de kullanılmaktadır. Demiryollarında farklı bir uygulama da geozgaraların balast güçlendirme amacı ile kullanılmasıdır.



Şekil 4.17. Balast güçlendirme uygulaması

Balast içine aşınma etkilerinden korunmak için 400 mm'den daha derine geozgara konulmasının tekrarlı yükler altında balast tabakasında oluşan kalıcı deformasyonları yarı yarıya varan mertebelerde azaltabileceği önerilmektedir. Uygulamanın yumuşak taban zemini olması durumunda daha yararlı olduğu düşünülmektedir.

4.2.4. Demiryollarında geomembran malzemelerin kullanımı

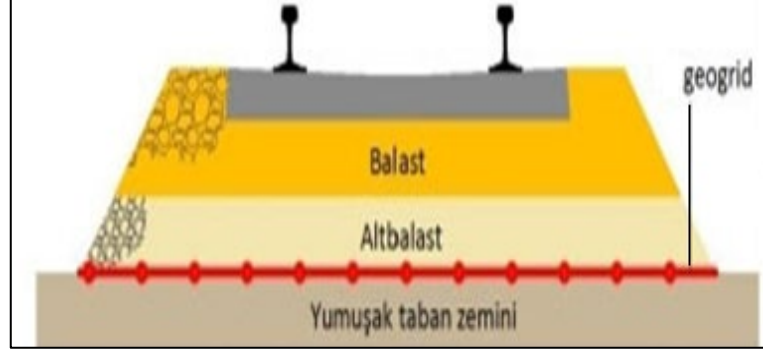
Geomembran ürünler, demiryolu inşaatlarında su yalıtımını sağlamak üzere kullanılmaktadır. Özellikle Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM) kullanılarak açılan tünellerde su yalıtımı geomembranlarla başarılı şekilde sağlanmaktadır. Kazısı tamamlanan tünellerin taşıyıcı yapısı oluşturulduktan sonra gerekli koruma tabakası oluşturulur ve sonrasında geomembran malzeme ile kaplanarak su geçirimsiz yapı oluşturulur. Demiryolu altyapısında suyun zemine ve demiryolu kesitinden dışarı drene edilmesi ile su yalıtımının sağlanması istenildiğinden altyapıda geomembran kullanımı yaygın olarak görülmemektedir.

4.2.5. Demiryollarında geogrid malzemelerin kullanımı

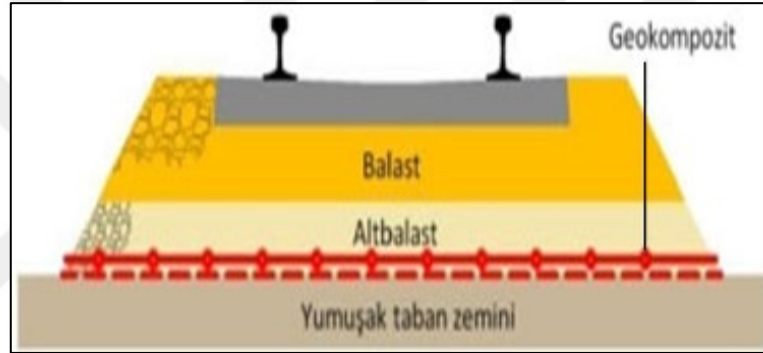
Geogrid, aralarında geoteknik malzemenin kenetlenmesi için yeterli boşluklara sahip birbirine paralel ve bağlantılı ağ benzeri dayanıklı, polimer yapılı bir geosentetik malzemedir. Zemin güçlendirmesi ve istinat yapılarında yaygın olarak tercih edilen bir malzemedir. Özellikle balast tabakası ve alt balast tabakasına yerleştirilen geogridlerin dayanıklı yapısı ve tasarımı ile mekanik direnimi arttırması sayesinde tabaka kalınlıklarında ciddi azalma sağlayabilmekte, böylelikle malzeme tasarrufunun yanı sıra imalat kolaylığı sağlamaktadır. Yumuşak veya sağlam zemine oturan demiryolu yapılarında geogrid kullanılmasının sağladığı bazı önemli faydalar şunlardır:

- Yapım maliyetlerini düşürür: Hedeflenen dayanım düzeyine daha az kalınlıkta balast ve/veya alt balast malzemesi kullanılarak ulaşılmasını mümkün kılar.
- İnşaat süresini kısaltır: Daha az kalınlıkta balast ve/veya alt balast kullanılmasıyla, yapım veya bakım işlemlerinin daha kısa sürede tamamlanmasına imkân tanır.
- Balast oturmalarını azaltır: Balast tabakası içerisinde kullanıldığında, mekanik kenetleme özelliği sayesinde çevreleme etkisi yaparak agrega tanelerinin yanal yayılmasını önler ve bu sayede balast oturmalarının azalmasını sağlar.
- Balast ömrünü uzatır: Yanal çevreleme ve mekanik kenetleme özelliği sayesinde, dinamik yüklemelerin etkisiyle oluşan balast ufalanmalarını geciktirir.
- Bakım gerektirme süresini uzatır: Balast oturmasını, yanal yayılmasını, kirlenmesini ve ufalanmasını geciktirdiği için, hattın bakım gerektirme süresini üç ile beş kata kadar uzatır.
- Bakım maliyetlerini azaltır: Bakım gerektirme süresini uzattığı için, hattın proje ömrü boyunca toplam bakım maliyetlerinin de azalmasını sağlar.
- Mekanik bileşenlerin kullanım ömrünü uzatır: Hattın stabilitesini arttırdığından, demiryolu yapısındaki mekanik bileşenlerin (raylar, traversler, bağlantı elemanları, vb.) düşey deplasmanlardan ötürü daha az yıpranmasını ve aşınmasını sağlar.
- Geotekstil keçe ile kullanıldığında balastın temiz kalmasını sağlar: Taban zemininde veya alt balast içinde bulunan ince tanelerin balast malzemesinin içerisine gömülmesini (pompalanmasını) önler.

- Geotekstil keçe ile kullanıldığında drenaja katkı sağlar: Yol altyapısında bulunan ince tanelerin alt balast veya balast malzemesinin içerisine karışmasını önlemek suretiyle granüler malzemenin geçirimsizliğini muhafaza etmesine ve drenaj kabiliyetini korumasına yardımcı olur.



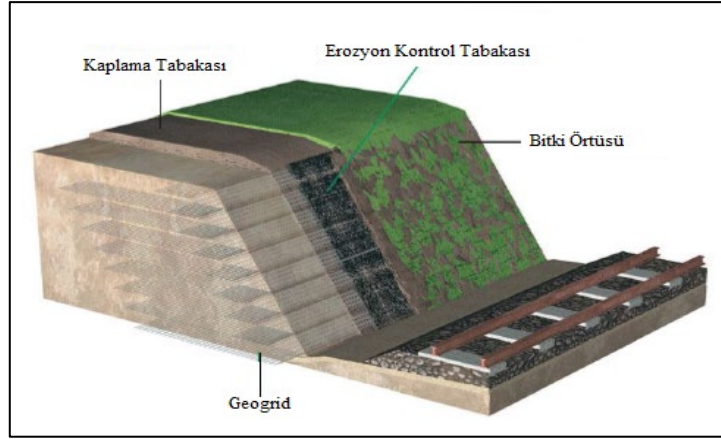
Şekil 4.18. Yol altyapısını güçlendirerek taşıma gücü ve rijitliğin artırılmasında geogrid kullanımı



Şekil 4.19. Geokompozit kullanımı

4.2.5.1. Şev yapılarının oluşturulmasında geogridlerin kullanılması

Demiryolu güzergâhı sebebiyle oluşturulması gereken dolgu ve yarma gibi sanat yapılarının şev stabilitesinin sağlanması amacıyla geogrid malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır. Zemine yerleştirilen geogrid tabakası yüksek çekme mukavemeti sayesinde ankraj görevi görmekte ve şev stabilitesini temin etmektedir. Geomembranlara göre daha yüksek çekme mukavemetine sahip olduklarından ve boşluklu yapıları sayesinde kendi drenajlarını sağlarken aynı zamanda şev bitkilendirmesine imkân verdikleri için çevresel ve statik açıdan geogrid malzemeler şev stabilitesini sağlamada daha çok tercih edilmektedir.



Şekil 4.20. Geogrid malzeme ile şev yapısı oluşturulması (Toksoy, 2017)

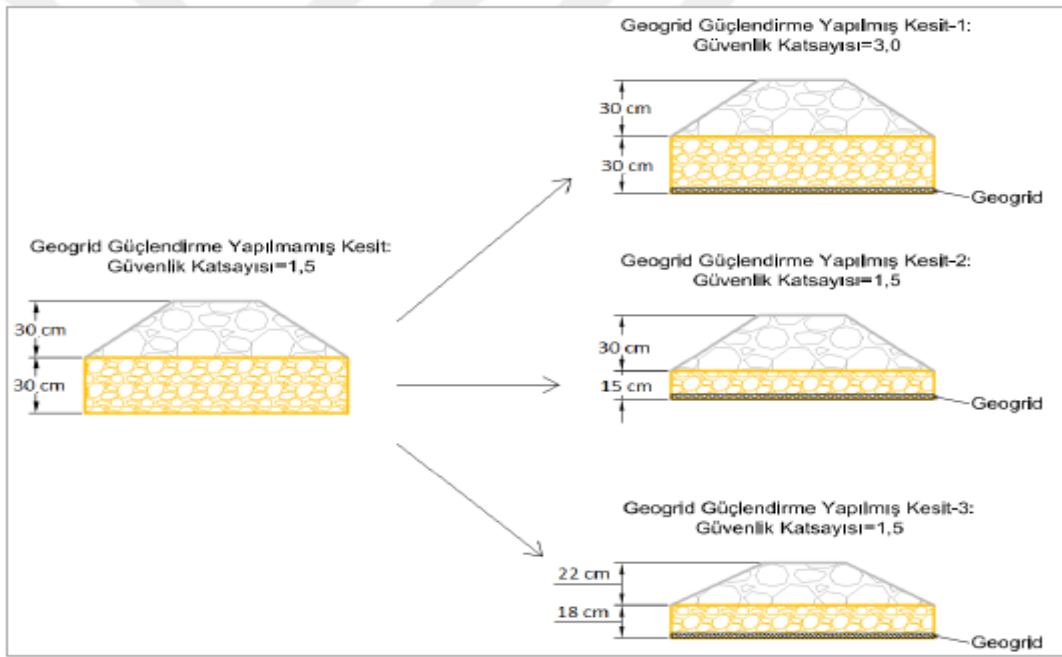
4.2.5.2. Demiryolu altyapı ve balast katmanlarında geogridlerin kullanılması

Geogridler sayesinde etkili bir kilitleme mekanizması sağlanarak parçacıkların yanal hareketi minimize edilir. Bu sayede zemin tanecikleri birbirine daha iyi kilitleyerek taşıma kapasiteleri artmaktadır. Balast ve alt balast tabakası güçlendirmesi ile tabaka kalınlıklarında kayda değer bir azalma görülmekte, aynı kalınlıktaki tabakalarda ise geogrid malzemeler ile güçlendirme yapılarak zemin güvenlik derecesi, taşıma kapasitesi arttırılabilmektedir.

Zemin ve balast tabakalarının içerisine geogrid tabaka oluşturulması bu tabakaların taşıma kapasitelerini arttırmaktadır. Tabakaların güçlendirilmesinde geogrid malzemelerin etkili olmasının püf noktası başarılı bir mekanik kilitleme mekanizması oluşturmasıdır.

Bir demiryolu kesiti yapısında geogrid alt balast tabakasının altına yerleştirildiğinde alt balast tabakasının maruz kalacağı dinamik ve statik yükleri daha geniş bir alana dağıtır ve böylece zemine etkiyen basınç azaltılmış olur.

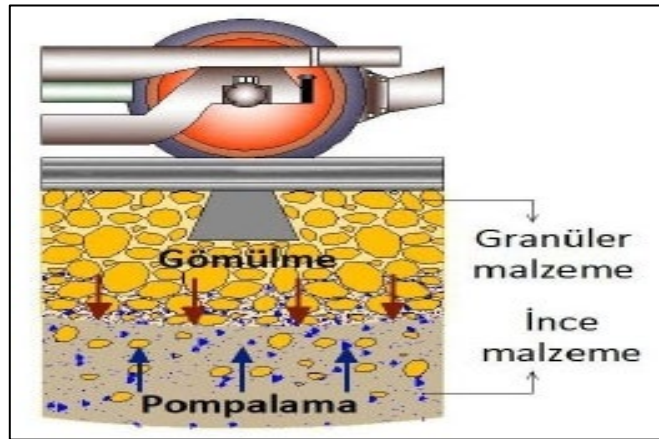
Geogrid malzemesi uygulaması ile balast ve alt balast tabakası kalınlıkları korunarak mevcut demiryolu yapısı daha yüksek hız ve daha yüksek güvenlik şartı gerektirecek işletmeler için de kullanılabilir duruma getirilebilmekte ya da mevcut işletme koşulları korunarak balast, alt balast tabakası kalınlıkları azaltılabilmektedir.



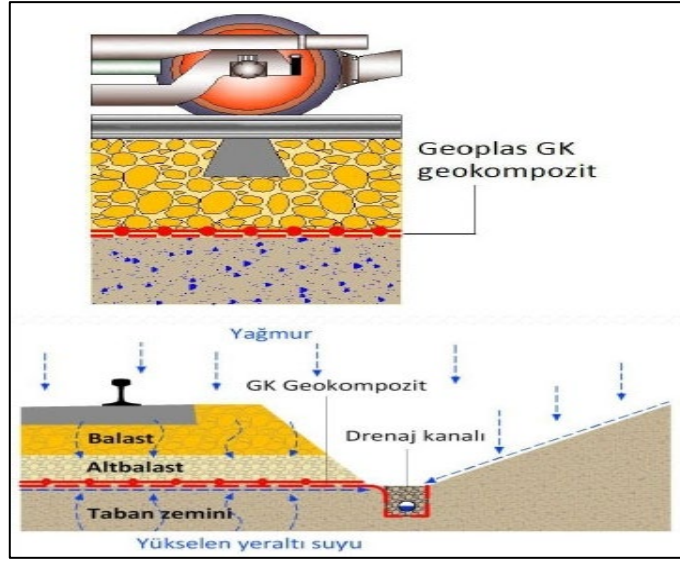
Şekil 4.21. Alt balast tabakasına geogrid yerleştirilerek aynı işlevi gören alternatif tabaka kalınlıkları (Toksoy, 2017)

4.2.6. Geokompozitler

En az iki farklı geosentetiğin birleştirilmesiyle ya da birlikte üretilmesiyle elde edilen ürüne geokompozit adı verilmektedir. Birlikte kullanıldıkları zaman, ayrı ayrı kullanıldıkları duruma göre daha fazla yarar sağlayacağı, ya da tek bir geosentetiğin işlevinin yeterli olmayacağı durumlarda kullanılırlar. Demiryolu yapılarında en sık kullanılan geokompozit türü, geogrid+geotekstilin bileşiminden oluşan geokompozittir.



Şekil 4.22. Dinamik yüklerin etkisiyle pompalama ve/veya gömülme



Şekil 4.23. Demiryolu hattı için tipik bir drenaj kesiti

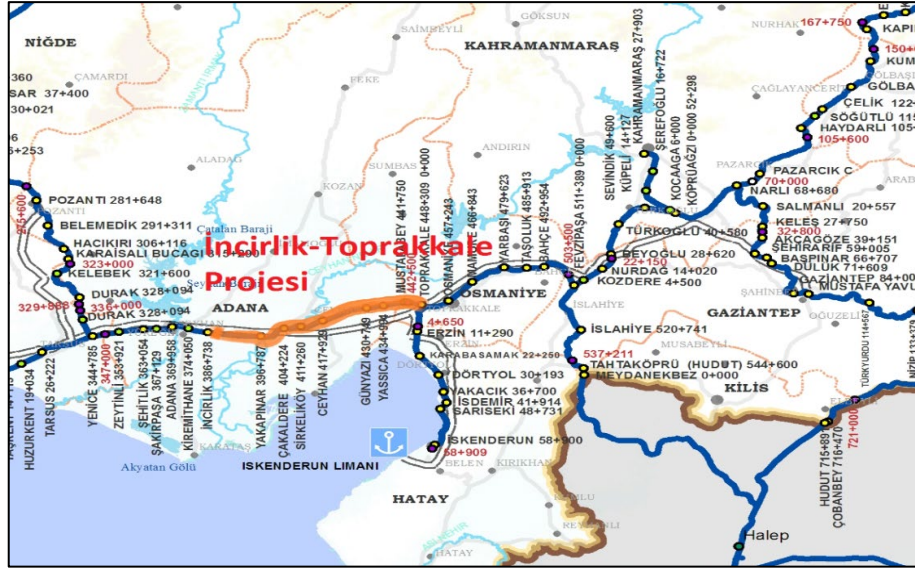
5. ADANA-İNCİRLİK-TOPRAKKALE ARASI 2. HAT YAPIMI VE MEVCUT HATTIN REHABİLİTASYON İŞİ

5.1. Giriş

Bilindiği üzere, Adana ekonomik yapısı ve turizm açısından ülke ekonomisinde önemli bir yere sahiptir. Çukurova'yı Batı'ya, Akdeniz ve Ortadoğu'ya bağlayan kara ve demiryollarının merkez noktası olması, Adana havaalanının uluslararası olması şehre mal, hizmet ve ziyaret akışını yoğunlaştırmaktadır. Adana ili; kara, hava ve demiryolu ulaşım imkanları ile önemli bir geçit noktasıdır. Adana demiryolu, Ankara-Adana-Malatya üzerinden doğuya, Adana-Gaziantep üzerinden Suriye topraklarına girer. Bu gibi kıstaslar da göz önüne alınarak Adana-İncirlik-Toprakkale arasındaki mevcut demiryolu hattının 2 hatlı olarak yeniden inşa edilmesine karar verilmiştir.

Mevcut hat, hali hazırda tek hat olarak hizmet vermekte olup yer yer düşük standartlara sahiptir. Yapılan proje kapsamında standartlar yükseltilecek ve kurp yarıçapları revize edilecek ve hattın hızlı tren standartlarında hizmet vermesi sağlanmış olacaktır.

İncirlik-Toprakkale arasında yapılacak olan 2. Hat çalışmalarında toplam proje uzunluğu 67.821 metre olup, güzergahta kullanılan minimum yarıçapı 1.000 m., dever 115 mm., maksimum hız ise 160 km/saat olarak planlanmıştır. Proje güzergahı, mevcut İncirlik istasyonu çıkışından başlamakta, Kürkçüler, Organize Sanayi ve devamında Yakapınar'ı geçtikten hemen sonra D400 karayolunu kesmektedir. Devamında Çakaldere köyünü geçtikten sonra mevcut Ceyhan Nehri köprüsünün solundan bir varyantla devam eder. Otoyol köprüsünün altından geçer geçmez, mevcut hattın ayrılarak Sirkeli taş ocağının yamaçlarına yaslanır ve sonrasında tekrar mevcuda oturur. Bundan sonra sırasıyla Sirkeli ve Toktamış köyleri ile Ceyhan yerleşimin içinden geçer ve proje sonuna kadar mevcut hattı takip eder. Ceyhan ile Toprakkale arasında Günyazı istasyonu, Karaçay Nehri ve otoyol geçişi gibi birçok yerden geçer. Hat, Toprakkale istasyonu öncesinde sona erer.



Şekil 5.1. Adana-İncirlik-Toprakkale projesinin yeri

5.2. Hattın Jeolojisi

İncirlik-Toprakkale 2. Hat demiryolu projesi güzergahının jeolojisi ile ilgili tespit edilen jeolojik birimler yaşlıdan gence doğru şu şekildedir.

5.2.1. Genel jeoloji

İnceleme alanının da içerisinde bulunduğu Adana baseni batıda Ecemiş fay kuşağı, kuzeyde orojenik Toros dağ kuşağı, doğuda Amanos dağları ile sınırlanmıştır (Yetiş ve Demirkol, 1986). Adana baseni Tersiyer istifi; Toros orojenik kuşağını oluşturan Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı kayastratigrafi birimleri üzerinde diskordanslı olup, birbirleriyle geçişli 11 kayastratigrafi biriminden oluşmaktadır. Bunlardan etüt alanı ve yakın civarında; Güvenç formasyonu, Kuzgun formasyonu, Handere formasyonu, kaliçi-taraça ve alüvyondan oluşan birimler yer almaktadır.

Schmidt (1961) tarafından adlandırılan Güvenç formasyonu, koyu gri, yeşilimsi gri-gri renkli şeylden oluşmuştur. Ayrıca içerisinde az miktarda ince kumtaşı-silttaşı-killi kireçtaşı ve yer yer karbonlu şeyl düzeyleri yer almaktadır.

İlk defa Schmidt (1961) tarafından adlandırılan Kuzgun formasyonu Adana ilinin kuzey ve kuzey batısında geniş yüzlekler vermektedir. Üst-orta Miyosen döneminde çökelen birim tabanda akarsu-sığ deniz çökelleri ile başlamakta olup; çakıl taşı, çakıllı kumtaşı, kumtaşı ve çamur taşı aralanmasından oluşmaktadır. Yetiş ve diğerleri (1961) bu seviyeyi Kuzgun üyesi olarak isimlendirmişlerdir. Kuzgun

formasyonunun bir diğ er üyesi Salbaş Tüfit Üyesi olarak Yetiş ve diğ erleri (1991) tarafından tanımlanmıştır. Bu üye Kuzgun üyesinin üzerine gelmekte olup, tabanda açık gri renkli volkanoklastik kumtaşı-çakıltaşı ile başlamaktadır. Üyenin esasını oluşturan ana tüfit kütlesi açık gri-kirli beyaz renkli, kil ve mil içeren, yer yer biyotit ve mafik mineralli tüfit veya volkanoklastik miltaşı yapılarıdır. Kuzgun formasyonu üzerine gelen bir diğ er formasyon da Memişli olarak adlandırılmıştır. Başlıca akarsu, göl ve sığ deniz çökellerinden oluşan birimin akarsu çökelleri alacalı renkli, çapraz katmanlı, çakıllı kumtaşı ve kaba kumtaşı ile başlamaktadır. Üzerine ince-orta katmanlı, düşük açılı tekne biçimli çapraz tabakalı kumtaşı ve daha üstte ise kırmızı-kahve, alacalı renkli silttaşı-çamurtaşı gelmektedir. Sığ denizel çökeller ise seyrek çakıllı ince orta kumtaşı, silttaşı-çamurtaşı yapılarıdır.

Üst Miyosen-Pliyosen döneminde çökelen Handere formasyonu ilk defa Schmidt (1961) tarafından adlandırılmıştır. Birim özellikle Adana-Misis'in kuzeyinde yüzlek vermektedir. Boz renkli çakıltaşı, çakıllı kumtaşı, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşı marn yapıları olup, yer yer alçıtaşı mercekleri birimi oluşturmaktadır. Altta Kuzgun formasyonu üzerinde geçişli bir dokanağa sahip olan birim, üstte Adana baseninin yaygın taraça oluşumları, kaliçeler ve yer yer de genç alüvyon ile örtülü bulunmaktadır.

Adana ve yakın civarında yaygın olarak nispeten küçük alanlarda yüzlek veren bir diğ er birim ise kaliçelerdir. Genelde üst seviyeleri sert, alt seviyeleri ise yumuşak olan bu birimin oluşumu iki farklı yaklaşımla açıklanmaktadır. Bunlardan ilki yeraltı sularının yüzeye doğru yükselirken buharlaşarak içindeki karbonatın çökmesi şeklindedir. İkinci yaklaşımda ise yüzeyden sızan sulardaki karbonatın çökmesi ile kaliçeler oluşabilmektedir. Adana'nın kuzeyinde özellikle taraça malzemelerinin üzerinde yaygın kaliçe oluşumları gözlenmektedir. Güneyde ise Ceyhan nehrinin Karataş'a doğru olan kısımlarında kaliçeler bulunmaktadır.

Adana baseninde, Adana ovasını oluşturan eski alüvyonlar ile dere boylarında gelişmiş genç alüvyonlar bulunmaktadır. Eski alüvyonlar genellikle bitkisel toprak ile örtülüdür. Yeni alüvyonlar ise; dere boylarında gelişmiş olup, genelde kötü boylanmış, tutturulmamış çakıl, kum, silt ve kil malzemesinden oluşmaktadır. Seyhan ve Ceyhan nehirlerinin menderesli yapıları, çok iri taneli malzemedan ziyade ince taneli (kum-silt-kil) malzemelerin çökelmelerine imkân vermektedir.

5.2.2. Stratigrafi

İnceleme alanında sedimanter istifler ile Kuvaterner yaşlı çökeller bulunur. Bölgede yer alan temel ve örtü kayaları yaşlıdan gence doğru sıra ile şu şekildedir.

- **Karataş formasyonu (Tmk):** Genelde kumtaşı-marn-kumlu kireçtaşı-çamurtaşı araldanması ile temsil edilen türbiditik bir istiftir. Çoğunlukla olitostromal düzeylerde yaygın olmak üzere, çeşitli yaşta ve litolojide bloklar içerir. Ayrıca sedimantasyon sırasında naplar ve bloklar şeklinde havzaya gelmiş olan Andırın formasyonuna ait kayaları da bulundurur. Andırın formasyonu üzerine uyumsuzlukla gelen birim, genç çökeller tarafından uyumsuzlukla örtülür. 2500 m. veya daha fazla kalınlığa sahip Karataş formasyonu içindeki değişik seviyelerden alınan örneklerdeki fosiller Alt-Üst Miyosen yaşını vermiştir. Birim; Yakapınar çıkışı ile Yılkale civarında mostra vermektedir.
- **Kaliçi:** Kaliçi oluşumu traverten oluşumu ile benzerlik gösterir. Kurak mevsimlerde CaCO_3 taşıyan suların yeryüzüne çıktıklarında buharlaşması sonucunda taşıdıkları kireçli maddeleri çökeltmeleri ile oluşmuşlardır. Misis tepeleri yöresinde yamaç eğimine uygun konumda geniş alanlarda çökelmişlerdir. Kalınlığı birkaç santimetreden birkaç metreye ulaşmaktadır. Yaşı Kuvaterner-Holosen'dir. Birim özellikle Yakapınar civarında geniş alanlarda mostra vermektedir.
- **Alüvyon:** Adana baseninde, Adana ovasını oluşturan eski alüvyonlar ile dere boylarında gelişmiş genç alüvyonlar bulunmaktadır. Eski alüvyonları delta oluşumları olarak kabul etmek de mümkündür. Genç alüvyonlar dere boylarında gelişmiş olup genelde kötü boylanmış, tutturulmamış çakıl, kum ve mil malzemesinden oluşmuştur. Çakıl, kum ve milli malzeme başlıca, Toros orojenik kuşağının temel litolojisine bağlı olarak ofiyolit, değişik kireçtaşı türleri, radyolarit, çört, kuvarsit vb.den türemedir. Bu alüvyonlardaki çakıl, kum ve mil oranları derenin türüne göre değişim sunmaktadır. Alüvyon, proje başlangıcından sonuna kadar olan tüm düzlük alanlarda mostra vermektedir.

5.2.3. Jeomorfoloji

Adana ili sınırları içerisinde, değişik akarsu şekilleri ve bunların meydana getirdiği vadi yarmaları, dik yamaçlar, akarsuların yatak değiştirmesiyle oluşmuş küçük

adacıklar ve ova kesiminde oluşmuş alüvyon yelpazeleri dikkati çeken morfolojik şekillerdir.

Adana ili merkezi Kuzey ve güney olmak üzere iki bölümde incelenir. Kuzey kısmında aşınmadan dolayı iyice küçülmüş şerit ve adacıklar şeklinde yüzeylenen Post Miyosen aşınım yüzeyleri ile yamaçlarda kayaç farklılıklarında oluşan selcik erozyonları kaya düşmeleri baraj gölü çevresinde bedlands topografyası ova tabanına geçişli olarak aşınım ve birikim glasileri ile sırtlar ve dik yamaçlardan meydana gelir. Derelerde yarılmışlardır. Güney kesiminde ise delta çökellerinin oluşturduğu alüvyonlar ile Seyhan nehrinin zamanla yatak değiştirmesinden oluşan geniş taşkın alanı, kopuk menderesler, lagünler, karasallaşmış lagünler, geçici ve daimî göller, burun seti depoları, kraveseler ile akarsu şekillerinden oluşur.

5.2.4. Yapısal jeoloji ve tektonik

Yapılmakta olan güzergahın yer aldığı bölge, Türkiye'nin en önemli tektonik hareketlerinin bulunduğu bölgede yer almaktadır. Adana ve yakın civarındaki depremleri ana veya büyük levhalar olarak tanımlanan Avrasya-Afrika-Arap levhaları arasındaki hareketler belirlemektedir. Söz konusu bölgede ve çevresinde birçok fay hattı yer almaktadır.

Anadolu Levhasının kuzey sınırını, Kuzey Anadolu Fayı (KAF) oluşturmaktadır. KAF doğu-batı uzanımlı ve sağ yönlü doğrultu atımlıdır. Anadolu levhasının güney sınırı, güneybatı Türkiye'nin güneyinde Ege levhasının güney sınırı ile birleşerek Kıbrıs'ın güneyinden İskenderun körfezine, oradan da KAF ile birleşerek Erzincan'ın doğusuna (Karlıova'nın 10 km. doğusu) uzanan İskenderun Körfezi ile Karlıova arasında, aktif sol yönlü doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fayı (DAF) izler. (TCDD Yol Dairesi Jeoloji-hidrojeoloji raporu, 2013)

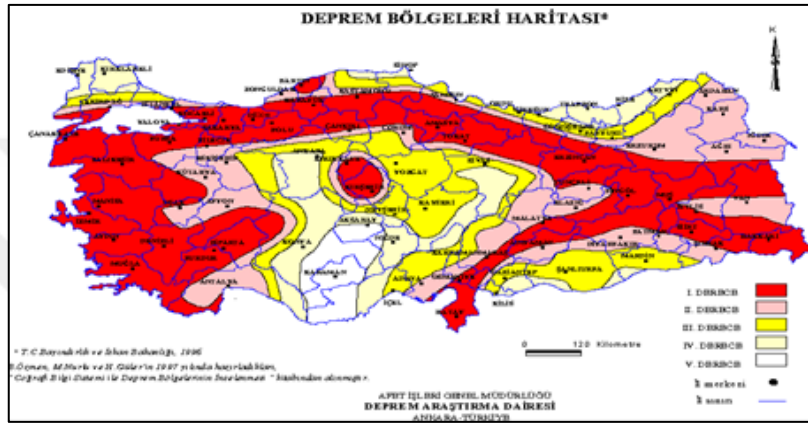
SISTEM	SERİ	FORMASYON	KAYA TÜRÜ	AÇIKLAMA			
KRETASE	Üst kretase	Dokuztekné Formasyonu (KTmd)		Alüvyon			
				Kumtaşı, kumlu kireçtaşı, marn, kireçtaşı ve konglomera ardalanmasından oluşan filş			
	TERTER	Polikosan	Eosen		Moloz akması		
					Eosen yaşlı kireçtaşı bloğu		
		Alt Eosen	Orta Eosen	Andırın Formasyonu (Tma)		Andırın formasyonuna ait nap dilimi	
						Volkanit bloğu	
		Miyosen	Alt Miyosen	Orta Miyosen	Karataş Formasyonu (Tmk)	Andırın formasyonuna ait blok	
						Mosozyik yaşlı kireçtaşı bloğu	
			Diliposa	Orta Miyosen	Orta Miyosen	Karataş Formasyonu (Tmk)	Eosen yaşlı kireçtaşı bloğu
							Olasılı Paleozoik yaşlı rekristalize kireçtaşı ve şist bloğu
KRETASE	Üst kretase	Dokuztekné Formasyonu (KTmd)		Spilititik aglomera seviyesi			
				Moloz akması			
	TERTER	Polikosan	Eosen		Ofiyolitik olistostrom		
					Olasılı Paleozoik yaşlı rekristalize kireçtaşı bloğu		
		Alt Eosen	Orta Eosen	Andırın Formasyonu (Tma)		Mesozyik yaşlı kireçtaşı bloğu	
						Moloz akması	
		Miyosen	Alt Miyosen	Orta Miyosen	Karataş Formasyonu (Tmk)	Eosen yaşlı kireçtaşı bloğu	
						Fliş	
			Diliposa	Orta Miyosen	Orta Miyosen	Karataş Formasyonu (Tmk)	Matriksi çoğun serpantinitletlerden oluşan serpantinitlet çakıllı, bloklu moloz akması
							Mesozyik yaşlı kireçtaşı bloğu
KRETASE	Üst kretase	Dokuztekné Formasyonu (KTmd)		Olasılı Paleozoik yaşlı rekristalize kireçtaşı bloğu			
				Fliş			
	TERTER	Polikosan	Eosen		Killi kireçtaşı		
					Kumtaşı (volkanik elemanlı)		
		Alt Eosen	Orta Eosen	Andırın Formasyonu (Tma)		Üst kretase yastı kireçtaşı bloğu	
						Spilititik aglomera	
		Miyosen	Alt Miyosen	Orta Miyosen	Karataş Formasyonu (Tmk)	Mesozyik yaşlı kireçtaşı bloğu	
						Olasılı Paleozoik yaşlı rekristalize kireçtaşı bloğu	
			Diliposa	Orta Miyosen	Orta Miyosen	Karataş Formasyonu (Tmk)	Kireçtaşı
							Kumtaşı (volkanik elemanlı)
KRETASE	Üst kretase	Dokuztekné Formasyonu (KTmd)		Tüfit			

ÖLÇEKSİZ

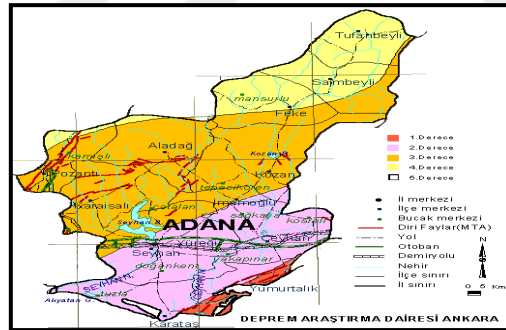
Şekil 5.2. Bölgenin stratigrafik kolon kesiti (TCDD Yol Dairesi Jeoloji raporu, 2013)

5.2.5. Depremsellik

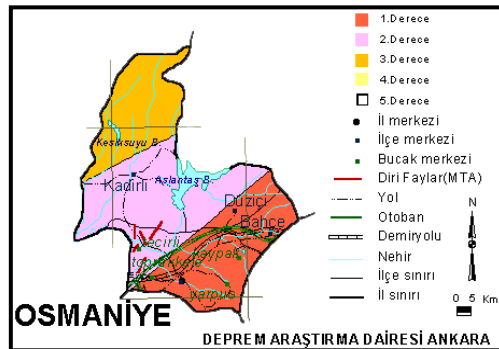
Güzergahın Ceyhan ile Toprakkale ilçeleri arasında kalan kesiminde demiryolu hattının sağ uzak paralelinden Yumurtalık fayı geçmektedir. Bunun yanı sıra Kozan Fay Zonu da hatta uzak olmasına karşın zaman zaman meydana gelen depremlerden Adana da etkilenmektedir. Adana ve Osmaniye il sınırları içerisinde kalan güzergahın söz konusu fay hatlarına yakınlığı ölçüsünde I. Derece deprem kuşağının etkisi altına giren bölgeler mevcuttur. Proje alanı ise Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına göre II: derecede deprem bölgesi içinde yer almaktadır.



Şekil 5.3. Türkiye Deprem Haritası



Şekil 5.4. Adana İli Deprem haritası



Şekil 5.5. Osmaniye ili deprem haritası

5.2.6. Hidrojeoloji

Proje güzergahı boyunca Seyhan ve Ceyhan nehirleri en önemli yüzeysel su kaynaklarıdır. Bunun yanı sıra DSİ'ye ait çok sayıda sulama ve kurutma kanalı mevcuttur. Bölgede alüvyon birimlerinde yer altı suları mevcuttur. Ceyhan ovasında yeraltı suyu yüzeye yakınken, İncirlik tarafındaki alüvyon düzlüklerde ise yeraltı suyu daha derindedir. Bunun yanı sıra mevcut kaynak suları ve mevsimlere göre değişim gösteren sızıntı sularının da varlığı bilinmektedir.

5.3. Adana-İncirlik-Toprakkale Projesinde Novocrete® Kullanılarak Zemin İyileştirilmesi

Adana-İncirlik-Toprakkale 2. Hat yapılması ve mevcut hattın iyileştirilmesi işinde altyapının çok zayıf olduğu kesimlerde %100 mineral içerikli tamamen alkali ve toprak alkali yapılarından oluşmuş doğal oksitler, klorürler, sülfatlar ve karbon mineralleri içeren Almanya menşeli Novocrete® adı verilen toz bir ürün kullanılmıştır. Novocrete® teknolojisi ile çimento stabilizasyonu zayıf zeminlerin yerinde iyileştirilmesinde kullanılan yeni yöntemlerden biridir. Bu yöntemde, belli fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip toz halinde puzolonik, saf ve bağlayıcı nitelikli mineral özelliğine sahip Novocrete® mevcut zeminin çimento ile birlikte reaksiyona girmesini sağlar. Böylece bu teknoloji sayesinde uygulama derinliğine göre, belirli kalınlığa sahip dayanımlı, esnek, geçirimsiz, homojen ve şartnam ve/veya standartlarda istenilen mühendislik özelliklerine sahip yerinde iyileştirilmiş bir zemin tabakası imal edilir. Bahse konu kimyasal katkı; hızlı, dayanıklı, ekonomik, uzun ömürlü, bünyesine su almayan, su almadığı için bünyesinde donma olmayan, donmadan dolayı patlamayan, kırılmayan, çökmeyen, çatlamayan, rijit olmayan, yüksek kaya mukavemetinde olup aynı zamanda elastik olan, yüksek performans artışı sağlayan bir üründür. Kullanılan katkı malzemesi beyaz renkli, zehirli olmayan, sağlığı tehdit etmeyen ve çevreye zarar vermeyen mineral tozudur. Standart çimentoya %2-2.5 oranında eklenir ve toprakla karıştırılır. Mevcut asitleri nötralize etmesi ve daha uzun kristallerin oluşumunu sağlayarak çimentonun hidrasyon sürecini desteklemektedir.

CBR değeri %5 altında olan zeminlerde Novocrete® ile yapılan iyileştirmelerde, Alman Teknik Şartnamesine göre zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlığının %10'u oranında çimento ve çimento miktarının da %2'si oranında Novocrete® kullanılmalıdır.

Novocrete® teknolojisi ile zemin iyileştirme demiryolu, karayolu ve otoyollarda şartnamelere göre düşük mühendislik özellikleri ve dayanım ölçütlerine sahip yol altyapısını oluşturan doğal veya dolgu taban zemin tabakalarının kullanılabilirlik ve taşıma gücü özelliklerini artırır. Ayrıca yol üstyapısındaki subbalast, alttemel, temel tabakalarında da yerindeki zeminlerin veya dışarıdan getirilen zayıf zeminlerin iyileştirilerek yol üstyapısında tanımlanan alttemel ve temel tabakası olarak kullanılabilmesini sağlar.

Geleneksel yöntemde hafriyat, taş nakliyesi atılması ve serilmesi gerekmektedir; bu kimyasal üründe doğal zemin kullanılmaktadır. Otoyol ve karayolu yapımlarında, eski yol yenilemelerinde, asfalt kırılarak yeni temel katmanına karıştırılabilmektedir. Kimyasal katkı ile oluşturulan stabilize katmanlar sulama işlemi sırasında oluşan uzun iğne biçimli kristaller (dikey pikeleme) sayesinde çok yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olmaktadır. Stabilize katmanlar ağır kamyon ve ekipmanların yarattığı titreşimlerin emilmesine izin verdiğinden çok yüksek bir gerilme dayanımı meydana getirmektedir. Bu katmanlar titreşimsel hareketlere izin veren bir esneklik düzeyine erişmektedir.

Kullanılan kimyasal katkı, çimentonun hidratasyon prosesini etkilemekte ve böylelikle belirgin miktarda daha uzun kristaller oluşturmaktadır. Bu kristaller matris içerisinde mikro hacimlik birimlerde belirgin ölçüde daha yüksek bağlama gücüne sahip bir yapı oluşturmaktadır. Bu nedenle daha yüksek basınç dayanıklılığı, daha yüksek elastikiyet ve su moleküllerinin nüfuz etmesini daha fazla engelleyen bir özellik söz konusu olmaktadır. Aynı zamanda küçük boşlukların da daha iyi dolması ve böylelikle gözeneklerin kapanması için çalıştığından su geçirmezlik üzerinde olumlu bir etki yapmaktadır.

Novocrete® uygulaması arazide parçalayıcı ve bağlayıcı makinelerle, arazi ve laboratuvar sonuçları yakından takip edilerek yapılmaktadır. İyileştirilen tabaka kalınlığı 25-45 cm. arasında değişmekle birlikte genelde 35 cm. tabaka kalınlığı tercih edilmektedir. Uygulama şayet daha kalın bir tabakada gerçekleştirilecek olursa veya daha yüksek dayanım değerlerine ulaşmak hedefleniyorsa sandviç adı verilen tekrarlı tabaka tasarımları uygulanmaktadır. Çimento miktar, zeminin kuru birim hacim ağırlığının %8 ile %12'si arasında değişmektedir. Novocrete® çimento miktarının ağırlıkça %2 oranında kullanılır.

Kimyasal katkıyı uygulamadan önce mevcut zeminde standart araştırma çukuru açılarak gerekli görülen derinliklerden (50, 100,150 ve 200 cm) numune alınarak doğal

su muhtevası, granülometri (elek analizi + hidrometre analizi), Atterberg limitleri (likit limit (LL), plastik limit (PL), plastisite indisi (PI)), proktor deneyi (optimum su muhtevası, maksimum kuru birim ağırlık), CBR (California Bearing Ratio), organik madde kontrolü analizleri yapılmıştır.

Söz konusu projede kullanılmasına karar verilen kimyasal katkı malzemesinin daha önceki demiryollarındaki kullanımlarından edinilen tecrübelerle göre, oluşturulan taban zemininin bakım gerektirmeyeceği, masif temel tabakası olduğu için daha uzun kullanım ömrü sağladığı, doldurulması gereken boşlukların olmamasından dolayı çökme olmadığı ve donmaya karşı direncinden dolayı tabakanın kaldırılmasına gerek duyulmadığı belirlenmiştir.

TCDD Teknik şartnamesine göre, özgül ağırlığın 20°C'de 3,0-3,5 gr/cm³ (3,2 gr/cm³ ortalama), erime noktasının 1000°C'den büyük, donma noktasının -90°C'den küçük ve pH değerinin 9 dan küçük olması istenmiştir.

Bunun yanı sıra uygulama öncesinde, jeolojik ve geoteknik zemin etüt raporları, hidrojeolojik rapor, projede aranan dingil yük ağırlığı ve mukavemet değerleri, doğal su muhtevası, granülometri-dane boyu dağılımı (elek analizi, hidrometre), zemin kıbam limitleri (atterberg limitleri), standart proktor deneyi, CBR, organik madde içeriği, kimyasal madde analizi, gibi testler uygulanarak mevcut zeminin kriterleri ortaya çıkarılır. Derinlik 30-50 cm'deki zemin doğal numunesinden Novocrete®+çimentonun birlikte labratuvar testleri yapılmış ve kontroller yapılmıştır.

Söz konusu uygulama esnasında 32 ton ağırlığında en az 605 HP gücünde stabilizatör, 12 ton ağırlığında bilgisayarlı dozajlı çimento serme kamyonu, 1 ton ağırlığında dozajlı puzolanik bağlayıcı serme aracı, 120 Hp ve üstü traktör, 16 ton vibrasyonlu keçi ayaklı silindir, greyder, 16 ton düz silindir, 7 adet su tankeri, ve bunlar için gerekli ekipman ile zemin iyileştirmesi yapılmıştır.

5.3.1. Kullanılan kimyasal katkı malzemesi ile zemin iyileştirmede işlem sırası

Kimyasal katkılı çimento stabilizasyonunun uygulanmasında aşağıdaki işlem sırası takip edilmiştir.

1. Zemin örneğinin alınması ve gerekli deneylerin yapılması,
2. Yapılan deney sonuçlarına göre kullanılacak kimyasal katkı tabaka derinliğinin ve miktarının tespiti,
3. Yayma aracı ile zemin üstüne kimyasal katkı malzemesinin serilmesi,

4. Dozajlı çimento serme kamyonu ile çimentonun serilmesi,
5. Zemin stabilizatörü ile çimento ve kimyasal katkı karışımının su ile birlikte homojen olarak karıştırılması,
6. Yüzeyin sıkıştırılması,
7. Yüzeyin düzeltilmesi,
8. İmalat sonrası yüzeyin sulanması.



Şekil 5.6. Novocrete® ve çimentonun serilmesi



Şekil 5.7. Zemin stabilizatörü ile çimento ve kimyasal katkı karışımının su ile birlikte karıştırılması

5.4. Laboratuvar Sonuçları ve İyileştirilmemiş Zeminlerde Oturma Hesapları

Demiryolu dinamik yükü 80 kPa alt temel altına göre yük dağılımı göz önünde bulundurularak hesaplanan zemin gerilmeleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 5.1. Zemin Gerilmesi

KM	Tren Yüğü (kPa)	Dolgu Yüksekliği (m)	Zemin Gerilmesi (kPa)
424+100-424+900	80	1,00	85,44
424+900-425+700	80	1,70	92,40
425+700-427+200	80	2,00	93,60
427+200-427+700	80	3,00	100,00
427+700-428+000	80	1,20	89,44
428+000-428+500	80	1,30	91,44
428+500-429+700	80	1,10	87,44

Yapılan sondajlara göre zeminin siltli ve kumlu kil olarak belirlenmiştir. Siltli kil zeminin kahverengi renk, yarı katı-katı kıvamlı, düşük plastisiteli; kumlu kilin ise kahverengi renk tonlarında, gevşek-yarı sıkı olduğu sondajlarda belirtilmiştir.

Çizelge 5.2. C9 Sondaj kuyusuna ait elek analizi ve kıvam limitleri sonuçları

Derinlik (m)	Su Muhtevası W_n (%)	Elek #10 Kalan (%)	Elek #200 Geçen (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Zemin Sınıfı USCS
1,50-1,95	22,5	0,1	98,4	52,2	24,7	27,5	CH
2,50-3,00	18,2	0,4	96,8	53,5	24,2	29,3	CH
3,00-3,45	23,0	0,0	98,1	56,3	25,0	31,3	CH
4,00-4,50	31,2	0,0	99,8	58,6	23,6	35,0	CH
4,50-4,95	26,0	0,0	99,2	48,2	21,0	27,2	CI
6,00-6,45	28,3	0,0	99,3	45,3	23,3	22,0	CL
7,50-7,95	24,5	0,0	97,5	53,3	23,9	29,4	CH
9,00-9,45	39,8	0,0	99,8	31,2	13,5	17,7	CL
10,50-10,95	35,2	0,0	99,6	43,2	19,0	24,2	CI
12,00-12,45	34,1	0,0	99,5	46,3	21,1	25,2	CI
13,50-13,95	31,1	0,0	99,6	48,2	22,4	25,8	CI
15,00-15,45	31,5	0,0	99,6	47,7	23,5	24,2	CI
16,50-16,95	38,6	0,0	99,3	58,2	25,0	33,2	CH

Çizelge 5.3. C10 Sondaj kuyusuna ait elek analizi ve kıvam limitleri sonuçları

Derinlik (m)	Su Muhtevası W _n (%)	Elek #10 Kalan (%)	Elek #200 Geçen (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Zemin Sınıfı USCS
1,50-1,95	24,3	0,0	91,4	53,3	21,4	31,9	CH
2,50-3,00	19,3	0,0	78,5	31,1	15,0	16,1	CL
3,00-3,45	18,0	0,8	93,8	50,9	23,0	27,9	CH
4,50-4,95	14,4	0,8	86,6	38,5	17,4	21,1	CI
5,50-6,00	59,1	0,0	68,8	NP	NP	-	ML
6,00-6,45	27,0	0,0	99,7	56,3	23,5	32,8	CH
7,50-7,95	29,6	0,0	99,7	48,2	24,1	24,1	CI
9,00-9,45	19,4	26,4	40,2	41,1	19,0	22,1	CI
10,50-10,95	34,3	0,0	99,6	59,3	21,8	37,5	CH
12,00-12,45	34,8	0,0	99,7	53,3	24,1	29,2	CH
13,50-13,95	19,9	1,0	93,4	56,3	22,9	33,4	CH
15,00-15,45	26,7	13,9	68,2	59,3	24,6	34,7	CH
16,50-16,95	29,1	0,0	99,6	51,4	19,0	32,4	CH
18,00-18,45	35,2	0,0	99,6	56,3	23,5	32,8	CH
19,50-19,95	34,9	0,0	99,1	34,0	14,7	19,3	CL
21,00-21,45	35,5	0,0	98,7	32,2	13,7	18,5	CL

Çizelge 5.4. C11 Sondaj kuyusuna ait elek analizi ve kıvam limitleri sonuçları

Derinlik (m)	Su muhtevası W _n (%)	Elek #10 Kalan (%)	Elek #200 Geçen (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Zemin Sınıfı USCS
1,50-1,95	26,5	3,9	76,9	56,2	24,1	32,1	CH
2,50-3,00	22,6	0,6	77,3	32,5	13,5	19,0	CL
3,00-3,45	24,9	0,8	87,1	54,1	21,4	32,7	CH
4,50-4,95	28,9	3,7	73,3	56,8	23,4	33,4	CH
5,50-6,00	22,5	0,1	38,1	NP	NP	-	SM
6,00-6,45	26,0	0,2	72,2	32,2	13,0	19,2	CL
7,50-7,95	25,7	1,4	74,0	34,2	15,1	19,1	CL
9,00-9,45	31,5	0,0	99,5	33,2	16,2	17,0	CL
10,50-10,95	49,1	0,0	98,4	33,8	14,9	18,9	CL
12,00-12,45	46,2	0,0	97,8	59,8	25,8	34,0	CH
13,50-13,95	45,8	0,0	99,8	61,2	23,4	37,8	CH
15,00-15,45	37,4	0,0	99,7	57,5	24,6	32,9	CH
16,50-16,95	35,3	0,0	98,3	56,3	24,2	32,1	CH
18,00-18,45	37,1	0,0	99,8	40,0	18,8	21,2	CI
19,50-19,95	37,3	0,0	99,6	43,2	17,6	25,6	CI
21,00-21,45	39,5	0,0	99,7	48,2	18,8	29,4	CI
22,50-22,95	38,1	0,1	99,4	41,1	19,0	22,1	CI
24,00-24,45	41,2	0,5	98,9	47,4	19,3	28,1	CI
25,50-25,95	43,0	0,0	99,5	49,2	20,4	28,8	CI

Çizelge 5.5. C12 Sondaj kuyusuna ait elek analizi ve kıvam limitleri sonuçları

Derinlik (m)	Su muhtevası W _n (%)	Elek #10 Kalan (%)	Elek #200 Geçen (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Zemin Sınıfı USCS
1,50-1,95	26,3	0,1	95,8	54,2	23,4	30,8	CH
3,00-3,45	26,9	0,2	98,8	58,3	24,0	34,3	CH
4,50-4,95	25,9	0,1	98,9	56,3	23,7	32,6	CH
5,50-6,00	30,5	0,0	90,2	34,1	15,6	18,5	CL
6,00-6,45	28,2	0,0	99,7	58,5	23,5	35,0	CH
7,50-7,95	26,9	0,1	92,0	NP	NP	-	ML
9,00-9,45	24,3	3,7	92,4	48,2	23,4	24,8	CI
10,50-10,95	34,8	0,0	99,6	58,2	24,8	33,4	CH
12,00-12,45	25,00	0,0	99,7	53,4	25,6	27,8	CH
13,50-13,95	35,9	0,0	99,6	47,7	21,8	25,9	CI
15,00-15,45	37,4	0,0	99,7	59,3	25,0	34,3	CH

Çizelge 5.6. C14 Sondaj kuyusuna ait elek analizi ve kıvam limitleri sonuçları

Derinlik (m)	Su muhtevası W _n (%)	Elek #10 Kalan (%)	Elek #200 Geçen (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Zemin Sınıfı USCS
1,50-1,95	23,9	0,0	99,6	56,3	25,1	31,2	CH
3,00-3,45	32,7	0,0	99,6	58,6	26,0	32,6	CH
4,00-4,50	30,9	0,0	99,8	57,5	23,5	34,0	CH
4,50-4,95	25,0	0,0	99,2	56,3	23,8	32,5	CH
6,00-6,45	33,6	0,0	97,7	57,4	25,1	32,3	CH
7,50-7,95	34,1	0,0	99,5	58,9	26,0	32,9	CH
9,00-9,45	34,1	0,0	99,7	51,1	25,1	26,0	CH
10,50-10,95	36,8	0,0	99,4	59,2	27,2	32,0	CH
12,00-12,45	27,1	0,0	98,6	53,6	23,4	30,2	CH
13,50-13,95	31,8	0,0	98,9	48,5	22,4	26,1	CI
15,00-15,45	31,0	0,0	92,4	47,4	21,7	25,7	CI

Çizelge 5.7. Üç eksenli basınç deneyi sonuçları

Sondaj No	Derinlik (m)	Üç Eksenli Basınç Deneyi (UU)	
		c (kPa)	φ (°)
C 9	2,50-3,00	75	12
C 9	4,00-4,50	67	5
C 10	2,50-3,00	23	5
C 11	2,50-3,00	22	7
C 12	2,50-3,00	63	7
C 12	5,50-6,00	40	3
C 14	4,00-4,50	70	5

Çizelge 5.8. Standart Penetrasyon Deneyi sonuçları

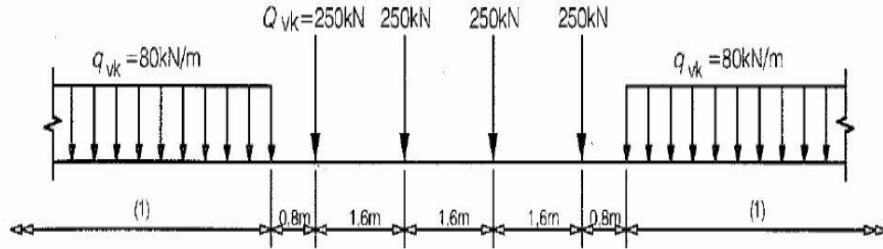
Sondaj Derinliği (m)	C9	C10	C11	C12	C14
1,50	15	17	13	16	17
3,00	17	14	10	19	17
4,50	16	16	9	15	21
6,00	13	11	8	16	17
7,50	14	16	9	19	19
9,00	16	17	11	24	14
10,50	19	18	12	12	17
12,00	24	15	13	15	14
13,50	26	14	12	19	16
15,00	25	14	11	20	15
16,50	21	13	10	-	-
18,00	-	13	12	-	-
19,50	-	13	11	-	-
21,00	-	13	12	-	-
22,50	-	-	13	-	-
24,00	-	-	13	-	-
25,50	-	-	13	-	-

Arazide ölçülen SPT-N değerleri çeşitli kolerasyonlarla düzeltilmek suretiyle N₆₀ (düzeltilmiş SPT) değeri elde edilmiştir. Hesaplarda kullanılan; zeminlerin γ (birim ağırlık), E (elastisite modülü) değerleri ve drenajsız kayma mukavemeti değerleri AASHTO LRFD Bridge Design Spec. (2012)'ye, Bowles (1996)'ya, Stroud (1989)'a ve laboratuvar deney sonuçlarına uygun olarak seçilmiştir.

Çizelge 5.9. Güzergaha ait idealize zemin profili ve parametreleri

KM Aralık	Sondaj No	SPT-N _{ort}	Zemin Birimi	c _u (kPa)	E _s (kN/m ²)	v
424+100-424+900	C 9	16	Siltli kil	46	15.000	0,35
424+900-425+700	C 10	15	Siltli kil	30	15.500	0,35
425+700-427+200	C 11	12	Siltli kil	27	11.500	0,30
427+200-427+700	C 12	17	Siltli kil	40	17.500	0,40
427+700-428+000	C 12	17	Siltli kil	40	17.500	0,40
428+500-429+700	C 14	17	Siltli kil	46	16.000	0,35

5.4.1. Tren yükü hesabı



Şekil 5.8. Yük Modeli LM 71 ve Düşey Yükler İçin Karakteristik Değerler (Eurocode UIC 702)

Tren yükü = 250 kN

Travers Genişliği = 2,60 m.

Zemin Gerilmesi = $250 / (1,60 \times 2,60) = 60$ kPa

Dinamik Yükler Altında Zemin Gerilmesi = $60 \times 1,33 = 80$ kPa

α katsayısı; 0,75-0,83-0,91-1,00-1,10-1,21-1,33-1,46 değerlerinden biri alınır.

Burada, α katsayısı 1,33 olarak alınmıştır. Bu değer uluslararası hatlarda 1 den büyük olmak zorundadır ve İdarece her proje için özel olarak belirtilebilir.

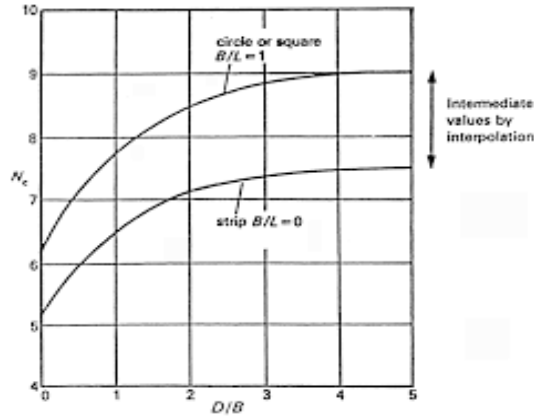
5.4.2. Zemin taşıma gücü hesapları

Kohezyonlu zeminlerde taşıma kapasitesi hesapları Skempton 1951'e göre hesaplanmakta olup, net izin verilebilen taşıma gücü;

$$q_{nsafe} = \frac{q_{nf}}{F.S} \quad (5.1.)$$

$$q_{nf} = C_u \cdot N_c \quad (5.2.)$$

formülünden hesaplanmaktadır. Hesaplamalarda kullanılan (N_c) aşağıdaki şekilden belirlenmektedir. Güvenlik katsayısı hesaplamalarda GS=3 alınmıştır.



Şekil 5.9. Skempton N_c Değerleri (Murty 2002)

424+100-424+900 Güzergahı taşıma kapasitesi

$$N_{c,strip} = 5,20, q_{nf} = 46,00 \times 5,20 = 239,20 \text{ kPa}$$

$$q_{n(emn)} = 239,20 / 3,00 = 79,73 \text{ kPa}$$

Hesaplanan zemin emniyetli taşıma gücü 79,73 kPa olup, bu kesimdeki zemin gerilmesi 85,44 kPa olduğundan taşıma gücü yetersizdir.

424+900-425+700 Güzergahı taşıma kapasitesi

$$N_{c,strip} = 5,20, q_{nf} = 30,00 \times 5,20 = 156 \text{ kPa}$$

$$q_{n(emn)} = 156/3 = 52 \text{ kPa}$$

Hesaplanan zemin emniyetli taşıma gücü 52 kPa olup, bu kesimdeki zemin gerilmesi 92,40 kPa olduğundan taşıma gücü yetersizdir.

425+700-427+200 Güzergahı taşıma kapasitesi

$$N_{c,strip} = 5,20 \text{ (Şekil 5.9)}, q_{nf} = 27 \times 5,20 = 140,40 \text{ kPa}$$

$$q_{n(emn)} = 140,40/3 = 46,80 \text{ kPa}$$

Zemin emniyetli taşıma gücü 46,80 kPa hesaplanmıştır. Güzergahta istenen zemin gerilmesi 93,60 kPa olduğundan taşıma gücü yetersiz olduğu görülmüştür.

427+200-427+700 Güzergahı taşıma kapasitesi

$$N_{c,strip} = 5,20, q_{nf} = 40 \times 5,20 = 208 \text{ kPa}$$

$$q_{n(emn)} = 208/3 = 69,33 \text{ kPa}$$

Hesaplanan zemin emniyetli taşıma gücü 69,33 kPa olup, bu kesimdeki zemin gerilmesi 100 kPa olduğundan taşıma gücü problemi tespit edilmiştir.

427+700-428+000 Güzergahı taşıma kapasitesi

$$N_{c,strip} = 5,20 \text{ (Şekil 5.9)} q_{nf} = 40 \times 5,20 = 208 \text{ kPa}$$

$$q_{n(emn)} = 208/3 = 69,33 \text{ kPa}$$

Bulunan zemin emniyetli taşıma gücü 69,33 kPa olup, bu kesimdeki zemin gerilmesi 89,44 kPa olduğundan taşıma gücü problemi tespit edilmiştir.

428+500-429+700 Güzergah taşıma kapasitesi

$$N_{c,strip} = 5,20, q_{nf} = 46 \times 5,20 = 239,20 \text{ kPa}$$

$$q_{n(emn)} = 239,20/3 = 79,73 \text{ kPa}$$

Bulunan zemin emniyetli taşıma gücü 79,73 kPa olup, bu kesimdeki zemin gerilmesi 87,44 kPa olduğundan taşıma gücü problemi tespit edilmiştir.

Tüm güzergahta yapılan hesaplamalar sonucunda taşıma gücünün yetersiz olduğu görülmüştür. Statik ve dinamik yükler altında demiryolu güzergahında taban kotu seviyesinden itibaren yer alan zemin tabakalarının dayanımının üst yapı yüklerini taşımaya elverişli olacak şekilde ve oturmaların izin verilebilir sınırlar altında kalması için güzergahta zemin iyileştirmesi gerekmektedir.

5.4.3. Dinamik yükler altında oturma hesapları

$$\delta_i = (q \times B/E) (1 - \nu^2) I_s \quad (5.3.)$$

formülü kullanılarak dinamik yükler altında oturma hesabı yapılmıştır. Burada;

- δ_i : oturma miktarı,
- q : Temele gelen net taban basıncı
- B : yapı genişliği,
- E : elastisite modülü,
- ν : Poisson oranı,

I_s : etki faktörüdür.

424+100-424+900 Güzergahına ait oturma hesabı

$$\delta_i = (q_{net} \times B/E) (1 - \nu^2) I_s$$

$$E = 15500 \text{ kPa}, \nu = 0,35$$

Zeminde oluşan gerilme artışı : 85,44 kPa

$$\delta_i = (85,44) \times 4,10 \times (1 - 0,352) \times 2,80/15500 = 0,057 \text{ m} = 5,74 \text{ cm}$$

424+900-425+700 Güzergahına ait oturma hesabı

$$E = 15500 \text{ kPa}, \nu = 0,35$$

Zeminde oluşan gerilme artışı : 92,40 kPa

$$\delta_i = (92,40) \times 4,30 \times (1 - 0,352) \times 2,75/15500 = 0,061 \text{ m} = 6,18 \text{ cm}$$

425+700-427+200 Güzergahına ait oturma hesabı

$$E = 11500 \text{ kPa}, \nu = 0,30$$

Zeminde oluşan gerilme artışı : 93,60 kPa

$$\delta_i = (93,60) \times 4,60 \times (1 - 0,302) \times 2,70/11500 = 0,092 \text{ m} = 9,20 \text{ cm}$$

427+200-427+700 Güzergahına ait oturma hesabı

$$E = 17500 \text{ kPa}, \nu = 0,40$$

Zeminde oluşan gerilme artışı : 100 kPa

$$\delta_i = (100) \times 5,60 \times (1 - 0,40^2) \times 2,60/17500 = 0,07 \text{ m.} = 7,00 \text{ cm}$$

427+700-428+000 Güzergahına ait oturma hesabı

$$E = 17500 \text{ kPa}, \nu = 0,40$$

Zeminde oluşan gerilme artışı : 89,44 kPa

$$\delta_i = (89,44) \times 4,10 \times (1 - 0,40^2) \times 2,80/17500 = 0,049 \text{ m.} = 4,93 \text{ cm}$$

428+500-429+700 Güzergahına ait oturma hesabı

$$E = 16000 \text{ kPa}, \nu = 0,35$$

Zeminde oluşan gerilme artışı : 87,44 kPa

$$\delta_i = (87,44) \times 4,10 \times (1 - 0,35^2) \times 2,80/16000 = 0,055 \text{ m} = 5,51 \text{ cm}$$

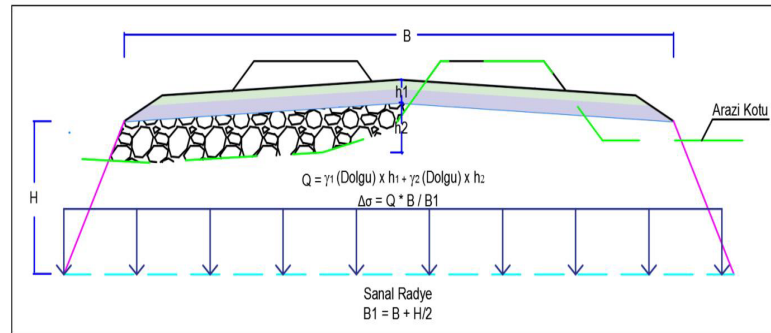
5.4.4. Konsolidasyon oturması hesabı

Killi zeminlerin konsolidasyon oturması hesabında;

$$S = m_v \times H \times \Delta\sigma' \quad (\text{Das, 1983}) \quad (5.6.)$$

bağıntısı kullanılmıştır.

Burada; S; oturma miktarı, m_v hacimsel sıkışma katsayısı (Bowles, 1988); $\Delta\sigma'$ ortalama gerilme artışı ve H sıkışabilir tabaka kalınlığıdır. Konsolidasyon oturmasına sebep olacak dolgu yüküne ait gerilme dağılımları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Konsolidasyon Oturması Oluşturacak Gerilme Dağılımı

424+100-424+900 Konsolidasyon oturması hesabı

Zemindeki gerilme artışı : $1 \text{ m} \times 20 \text{ kN/m}^3 = 20 \text{ kPa}$

Siltli Kil tabakasının ortasına gelen sanal radye boyutları:

$a/z = (1,15/5)=0,23$ ve $b/z = (6,75/5) = 1,35$, $k=0,45$ olarak belirlenmiştir.

Süperpozisyon kuralına göre

$$\Delta\sigma' = 20 \times 0,45 \times 2 = 18 \text{ kPa}$$

$$S = 6,67 \times 10^{-5} \times 10 \times 18 = 0,012 \text{ m} = 1,20 \text{ cm}$$

424+900-425+700 Konsolidasyon oturması hesabı

Zemindeki gerilme artışı : $1,70 \text{ m} \times 20 \text{ kN/m}^3 = 34 \text{ kPa}$

Siltli, kil tabakasının ortasına gelen sanal radye boyutları:

$a/z = (1,15/5) = 0,23$ ve $b/z = (6,75/5) = 1,35$, $k=0,45$ olarak belirlenmiştir.

Süperpozisyon kuralına göre

$$\Delta\sigma' = 34 \times 0,45 \times 2 = 30,60 \text{ kPa}$$

$$S = 6,45 \times 10^{-5} \times 10 \times 30,60 = 0,019 \text{ m} = 1,97 \text{ cm}$$

425+700-427+200 Konsolidasyon oturması hesabı

Zeminde oluşan gerilme artışı : $2 \text{ m} \times 20 \text{ kN/m}^3 = 40 \text{ kPa}$

Siltli, Kil tabakasının ortasına gelen sanal radye boyutları:

$a/z = (1,15/5) = 0,23$ ve $b/z = (6,75/5)=1,35$ $k=0,45$ olarak belirlenmiştir.

Süperpozisyon kuralına göre

$$\Delta\sigma' = 40 \times 0,45 \times 2 = 36 \text{ kPa}$$

$$S = 8,69 \times 10^{-5} \times 10 \times 36 = 0,031 \text{ m} = 3,13 \text{ cm}$$

427+200-427+700 Konsolidasyon oturması hesabı

Zeminde oluşan gerilme artışı : $3,00 \text{ m.} \times 20,00 \text{ kN/m}^3 = 60,00 \text{ kPa}$

Siltli, Kil Tabakasının Ortasına Gelen Sanal Radye Boyutları:

$a/z=(1,15/5,00)= 0,23$ ve $b/z = (6,75/5,00)=1,35$, $k=0,45$ olarak belirlenmiştir.

Süperpozisyon kuralına göre

$$\Delta\sigma' = 60 \times 0,45 \times 2 = 54 \text{ kPa}$$

$$S = 5,71 \times 10^{-5} \times 10 \times 54 = 0,03 \text{ m} = 3,09 \text{ cm}$$

427+700-428+000 Konsolidasyon oturması hesabı

Zeminde oluşan gerilme artışı : $1,20 \text{ m} \times 20 \text{ kN/m}^3 = 24 \text{ kPa}$

Siltli, Kil tabakasının ortasına gelen sanal radye boyutları:

$a/z = (1,15/5)=0,23$ ve $b/z = (6,75/5) = 1,35$, $k=0,45$ olarak belirlenmiştir.

Süperpozisyon kuralına göre

$$\Delta\sigma' = 24 \times 0,45 \times 2 = 21,60 \text{ kPa}$$

$$S = 5,71 \times 10^{-5} \times 10 \times 21,60 = 0,012 \text{ m} = 1,23 \text{ cm}$$

428+500-429+700 Konsolidasyon oturması hesabı

Zeminde oluşan gerilme artışı : $1,10 \text{ m.} \times 20 \text{ kN/m}^3 = 22 \text{ kPa}$

$a/z = (1,15 / 5) = 0,23$ ve $b/z = (6,75 / 5) = 1,35$, $k=0,45$ hesaplanmıştır.

Süperpozisyon kuralına göre

$$\Delta\sigma' = 22 \times 0,45 \times 2 = 19,80 \text{ kPa}$$

$$S = 6,25 \times 10^{-5} \times 10 \times 19,80 = 0,012 \text{ m} = 1,24 \text{ cm}$$

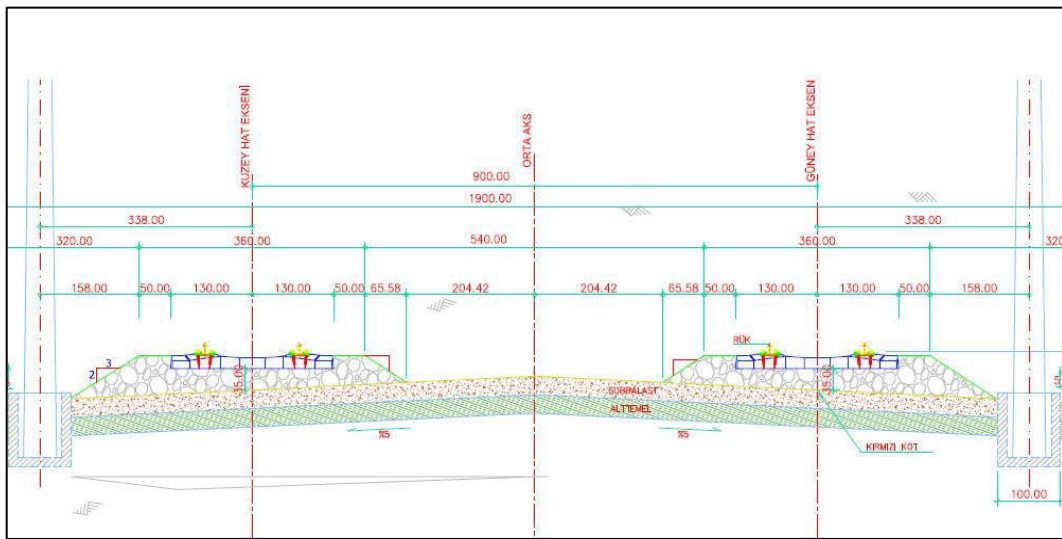
Çizelge 5.10. İyileştirilmemiş Durumda Oturma Hesapları

KM Aralığı	KM	Dinamik Yükler Altında Oturma (cm)	Konsolidasyon Oturması (cm)	Toplam Oturma (cm)
424+100-424+900	424+800	5,74	1,20	6,94
424+900-425+700	425+520	6,18	1,97	8,15
425+700-427+200	426+000	9,20	3,13	12,33
427+200-427+700	427+460	7,00	3,09	10,09
427+700-428+000	427+840	4,93	1,23	6,16
428+500-429+700	429+100	5,51	1,24	6,75

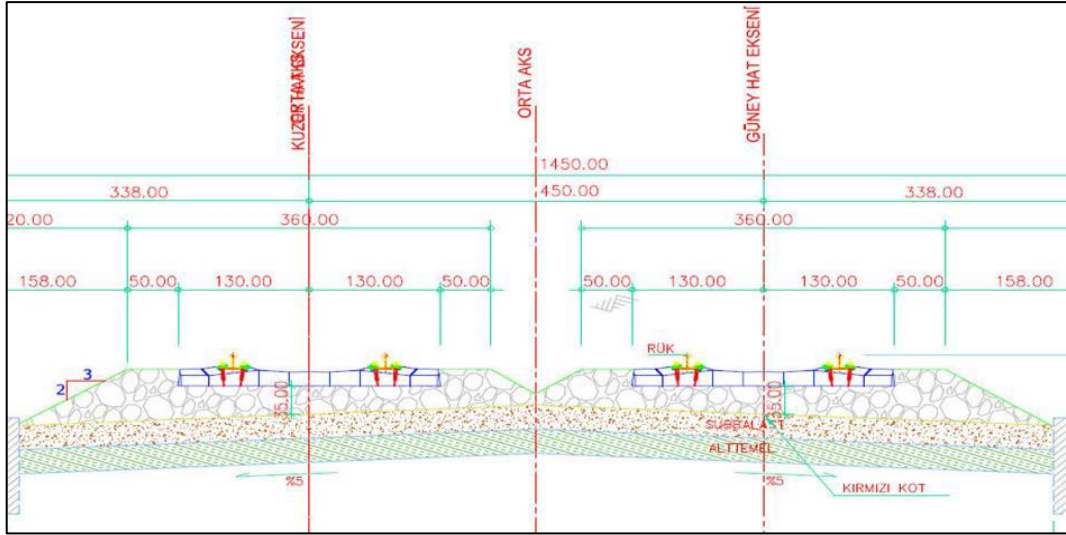
Yukarıda belirtilen kilometrelerde TCDD kriterlerine göre müsaade edilen oturma miktarı 5,00 cm'den fazla olduğu için oturma problemi bulunmaktadır.

5.5. Novocrete® Kullanılarak Yapılan Zemin İyileştirilmesi İle İlgili Hesaplar

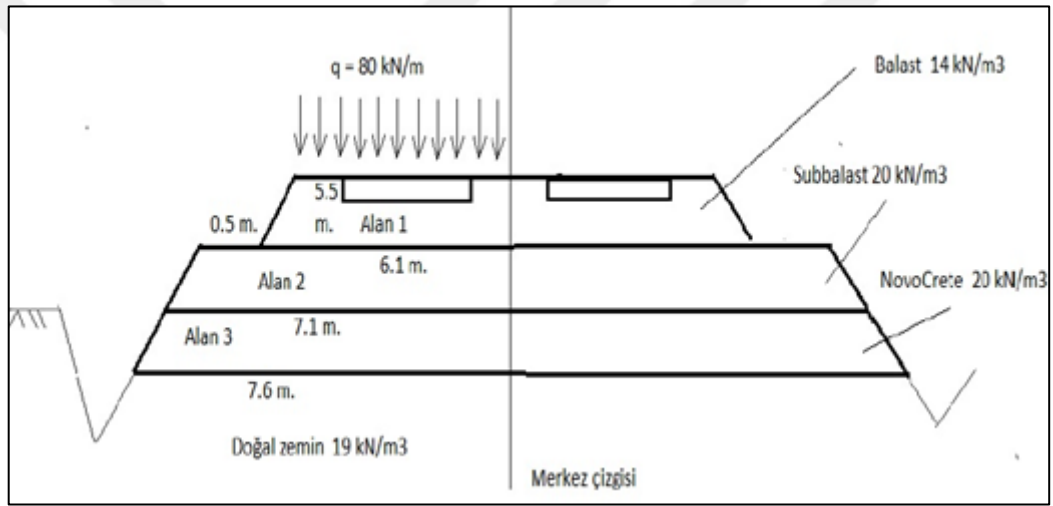
Zeminde Novocrete® uygulanmak suretiyle iyileştirme yapılması durumunda yine aynı şekilde hesaplamalar suretiyle oturma hesapları yapılmış ve aşağıda verilen tip kesitlerde verilen kabuller kullanılmıştır.



Şekil 5.11. Tip Kesit 1



Şekil 5.12. Tip Kesit 2



Şekil 5.13. Tip Kesitlere Ait Tabakalarda Kullanılan Veriler

Demiryolu yükü dinamik yük dahil = $80 \text{ kN/m} \times 5,5 \text{ m.} = 440 \text{ kN}$

Alan 1 Balast= $(5,5+6,1)/2 \times 0,5 = 2,9 \text{ m}^2$, $W_1 = 2,9 \text{ m}^2 \times 15 \text{ kN/m}^3 = 43,5 \text{ kN}$

Alan 2 Subbalast= $(6,6+7,1)/2 \times 0,4 = 2,75 \text{ m}^2$, $W_2 = 2,75 \text{ m}^2 \times 20 \text{ kN/m}^3 = 55 \text{ kN}$

Alan 3 Novocrete®= $(7,6+7,1)/2 \times 0,4 = 2,94 \text{ m}^2$, $W_3 = 2,94 \text{ m}^2 \times 20 \text{ kN/m}^3 = 58,8 \text{ kN}$

Toplam Yük = $440 + 43,5 + 55 + 58,8 = 597,3 \text{ kN}$

Toplam yayılı yük Novocrete® tabakası altında her bir m derinlik için

$Q = 597,3 \text{ kN} / 7,6 \text{ m} / 1 \text{ m} = 78,6 \text{ kN/m}^2$

Temel tabanı seviyesinde net gerilme artışı $\Delta\sigma = q - \gamma D$

$\Delta\sigma = 78,6 - 19 \times 0,4 = 71 \text{ kN/m}^2$

Alan 3 Novocrete® (35 cm tabakalar için) $W_3 = 51,5 \text{ kN}$

Toplam Yük = $440 + 43,5 + 55 + 51,5 = 590 \text{ kN}$

$$Q = 590 \text{ kN} / 7,6 \text{ m} / 1 \text{ m} = 77,6 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta\sigma = 77,6 - 19 \times 0,4 = 70 \text{ kN/m}^2$$

Gerilme artışlarında $71 > 70$ olduğundan güvenli tarafta kalmak için 71 kPa kullanılmıştır.

5.5.1. Novocrete® kullanıldığı durumda güzergâh oturma hesabı

424+100-424+900 Novocrete®+çimento durumda güzergâh oturma hesabı

$$S = (q_{\text{net}} \times B/E) (1 - \nu^2) l_s$$

$$E_{\text{Novocrete}^\circledast} = 300.000 \text{ kPa}$$

$$E_{\text{kompozitsistem}} = E_{\text{ort}} = (15.000 \times 5,6 + 300.000 \times 0,40) / 6 = 34000 \text{ kPa}$$

$$\nu_{\text{kompozit}} = 0,33, \text{ zemindeki gerilme artışı} = 87,44 \text{ kPa}$$

$$S = (87,44) \times 4,10 \times (1 - 0,33^2) \times 2,80 / 34.000 = 2,57 \text{ cm}$$

427+700-428+000 Novocrete®+çimentolu durumda güzergâh oturma hesabı

$$E_{\text{Novocrete}^\circledast} = 300.000 \text{ kPa}$$

$$E_{\text{kompozitsistem}} = E_{\text{ort}} = (17.500 \times 5,6 + 300.000 \times 0,40) / 6 = 39667 \text{ kPa}$$

$$\nu_{\text{kompozit}} = 0,37, \text{ zemindeki gerilme artışı} = 87,44 \text{ kPa}$$

$$S = (87,44) \times 4,10 \times (1 - 0,37^2) \times 2,80 / 39.667 = 2,18 \text{ cm}$$

428+500-429+700 Novocrete®+çimentolu durumda güzergâh oturma hesabı

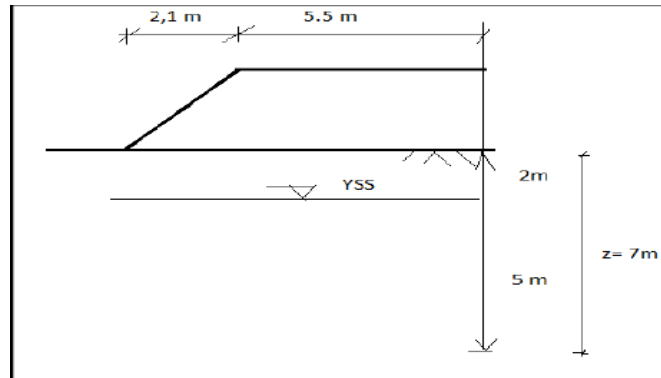
$$E_{\text{Novocrete}^\circledast} = 300.000 \text{ kPa}$$

$$E_{\text{kompozitsistem}} = E_{\text{ort}} = (16.000 \times 5,6 + 300.000 \times 0,40) / 6 = 34933 \text{ kPa}$$

$$\nu_{\text{kompozit}} = 0,33, \text{ zemindeki gerilme artışı} = 87,44 \text{ kPa}$$

$$S = (87,44) \times 4,10 \times (1 - 0,33^2) \times 2,80 / 34.933 = 2,56 \text{ cm}$$

5.5.2. Novocrete® kullanıldığı durumlarda konsolidasyon oturması hesabı



Gerilme artışı hesabı için $a = 2,1 \text{ m}$, $b = 5,5 \text{ m}$, $z = 7 \text{ m}$ olarak alınmıştır. Bu değerlere bağlı olarak etki faktörü $I = 0,38$ bulunmuştur. Gerilme artışı $\Delta q = I \times \sigma$

formülünden hesaplanarak; kil tabakasının ortasında gerilme artışı $\Delta q = 0,38 \times 71 = 27$ kPa hesaplanmıştır. Novocrete® kullanılması durumunda SPT-N değerleri artmakta, bundan dolayı da mv değeri düşmekte ve oturmalar da azalmaktadır.

424+100-424+900 Novocrete® kullanıldığında konsolidasyon oturması hesabı

$$\Delta\sigma' = 18 \text{ kPa}$$

$$S = 5,67 \times 10^{-5} \times 10 \times 18 = 1,02 \text{ cm}$$

427+700-428+000 Novocrete® kullanıldığında konsolidasyon oturması hesabı

$$\Delta\sigma' = 21,60 \text{ kPa}$$

$$S = 4,85 \times 10^{-5} \times 10 \times 21,60 = 1,05 \text{ cm}$$

428+500-429+700 Novocrete® kullanıldığında konsolidasyon oturması hesabı

$$\Delta\sigma' = 22,00 \times 0,45 \times 2 = 19,80 \text{ kPa}$$

$$S = 5,31 \times 10^{-5} \times 10 \times 19,80 = 1,05 \text{ cm}$$

Çizelge 5.11. Doğal durumda ve Novocrete® kullanıldığında taşıma gücü sonuçları

KM	Ceyhan-Günyazı		Sondaj No	Oturmalar doğal			Oturmalar Novocrete®		
	Uyg (m)	Zemin		Anlık	Kons.	Toplam	Anlık	Kons.	Toplam
424+100-424+900	800	Çok katı kumlu kil	C9	5,74	1,20	6,94	2,57	1,02	3,59
427+700-428+000	300	Çok katı siltli kil		4,93	1,23	6,16	2,18	1,05	3,23
428+500-429+700	1200	Orta katı kumlu kil	C14	5,51	1,24	6,75	2,33	1,05	3,38

5.5.3. Taşıma gücü hesaplamaları

Taşıma gücü hesaplamaları Terzaghi taşıma gücü tablosu kullanılarak hesaplanmıştır. Novocrete® uygulaması yapılan bölgenin içinde C9 ve C13 nolu sondaj kuyusu verileri esas alınarak ve 12 m derinliğe kadar olan veriler kullanılmıştır.

Çizelge 5.12. C9 için doğal durumda ve Novocrete® kullanıldığında taşıma gücü sonuçları

Efektif gerilme (kPa)	Derinlik (m)	Doğal durumda				Novocrete® kullanıldığında			
		N _{arazi}	C _N	N _{düzel.}	σ_{all} kN/m ²	N _{spt}	C _N	N _{düzel.}	σ_{all} kN/m ²
27	1,5	15	1,88	28		50	1,88	94	
46	3	17	1,44	25		17	1,44	25	
61	4,5	16	1,25	20		16	1,25	20	
76	6	13	1,12	15		13	1,12	15	

91	7,5	14	1,03	14		14	1,03	14	
106	9	16	0,95	15		16	0,95	15	
121	10,5	19	0,89	17		19	0,89	17	
136	12	24	0,84	20		24	0,84	20	
		Ort.		19	170	Ort.		27	270

Çizelge 5.13. C 12 için Doğal durumda ve Novocrete® kullanıldığında taşıma gücü sonuçları

Efektif gerilme (kPa)	Derinlik (m)	Doğal durumda				Novocrete® kullanıldığında			
		N _{arazi}	C _N	N _{düzel.}	σ _{all} kN/m ²	N _{spt}	C _N	N _{düzel.}	σ _{all} kN/m ²
27	1,5	50	1,88	94		60	1,88	113	
46	3	31	1,44	45		31	1,44	45	
61	4,5		1,25	0			1,25	0	
76	6	50	1,12	56		50	1,12	56	
91	7,5	29	1,03	30		29	1,03	30	
106	9	25	0,95	24		25	0,95	24	
121	10,5	25	0,89	22		25	0,89	22	
136	12	25	0,84	21		25	0,84	21	
		Ort.		36	360	Ort.		39	390

Novocrete® uygulaması ile zemin iyileştirilmesi yapılan kesimlerde taşıma gücü probleminin olmadığı görülmüştür.

5.6. Novocrete® ile İyileştirme İçin Plaxis Analizleri

Plaxis analizlerinde ilgili kesimler için tip kesitler kullanılmıştır. Bu tip kesitlerde daha önceden tanımlanan tabakalar ve bu tabakalar için tanımlanan geoteknik tasarım parametreleri kullanılmıştır. İyileştirme için önerilen kısımlarda 1,20 metre ve 1,80 metre kalınlığındaki kaya dolgu yerine 40 cm. kalınlığında Novocrete® tabakası alınmış ve bu tabakaya göre de analizler yapılmıştır. Analizlerde Novocrete® tabakasının geoteknik tasarım parametreleri, zemin özellikleri ve kullanılan çimento+Novocrete® oranına göre tanımlanmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre belirlenen oturma miktarları karşılaştırmalı olarak aşağıdaki tabloda verilmiştir.

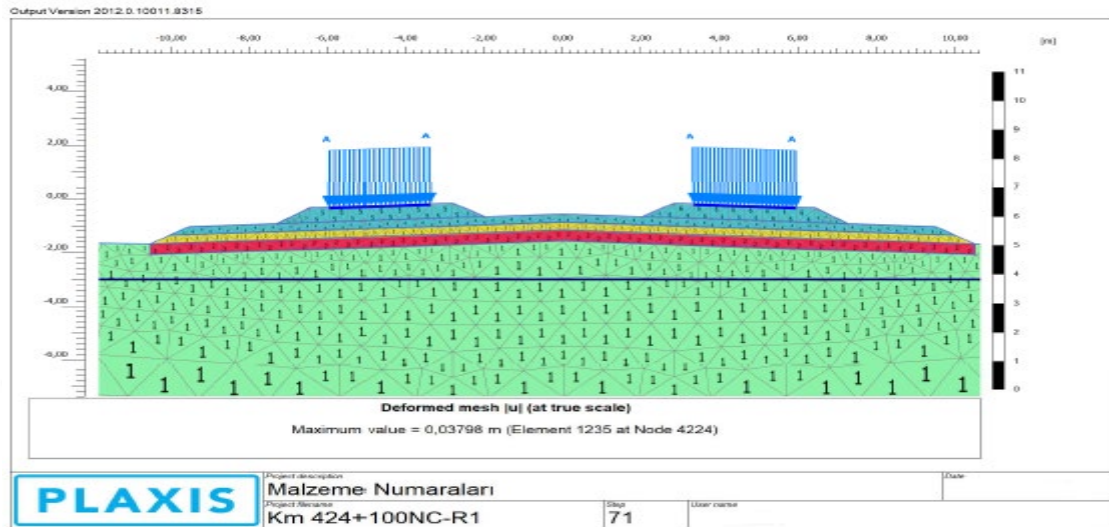
Çizelge 5.14. Doğal durumda ve Plaxis analiz sonuçlarına göre oturma miktarları

Uygulama Aralığı (km)	Doğal durumda Toplam Oturma (cm)	Plaxis Analizine göre Novocrete® ile iyileştirme sonrası oturma (cm)
424+100-424+900	6,94	3,79
427+700-428+000	6,16	-
428+500-429+700	6,75	3,58

Tablodan da görüleceği üzere yapılan 40 cm. kalınlığında Novocrete® tabakası ile yapılan iyileştirme sonucunda oturmalar, sınır değer olan 5,00 cm.nin altına düşmüştür. Bu yöntemin kullanılması suretiyle kazıya gerek kalmayacak, sadece bitkisel toprak zonu sıyrılacaktır. Ayrıca kazılan malzemenin döküm sahasına taşınması,

yeni kaya dolgu malzemenin ocaktan getirilerek serilip sıkıştırılması sürecindeki ekonomik kayıp ve çevreye oluşturulan olumsuz etkenler ortadan kalkacaktır.

5.6.1. 424+100-424+900 arası için plaxis analiz sonuçları (Tip Kesit KM.424+800)




Materials - Soil and interfaces - Mohr-Coulomb

Identification		Balast- Subbalast	Sitli Kil	Alt Temel
Identification number		1	3	4
Drainage type		Drained	Drained	Drained
Colour		■	■	■
Comments				
Y _{sat}	kN/m ³	23,00	18,00	22,00
Y _{sat}	kN/m ³	24,00	19,00	23,00
Dilatancy cut-off		No	No	No
e _{int}		0,5000	0,5000	0,5000
e _{min}		0,000	0,000	0,000
e _{max}		999,0	999,0	999,0
Rayleigh α		0,000	0,000	0,000
Rayleigh β		0,000	0,000	0,000
E	kN/m ²	120,0E3	15,00E3	80,00E3
v (nu)		0,3000	0,3000	0,3000
G	kN/m ²	46,15E3	5769	30,77E3
E _{red}	kN/m ²	161,5E3	20,19E3	107,7E3
c _{int}	kN/m ²	10,00	3,000	10,00

Identification		Balast- Subbalast	Sitli Kil	Alt Temel
ϕ (phi)	°	45,00	24,00	45,00
ψ (psi)	°	0,000	0,000	0,000
V_s	m/s	140,2	56,04	117,1
V_p	m/s	262,4	104,9	219,0
Set to default values		Yes	Yes	Yes
E_{inc}	kN/m ² /m	0,000	0,000	0,000
γ_{ref}	m	0,000	0,000	0,000
C_{inc}	kN/m ² /m	0,000	0,000	0,000
γ_{ref}	m	0,000	0,000	0,000
Tension cut-off		Yes	Yes	Yes
Tensile strength	kN/m ²	0,000	0,000	0,000
Strength		Rigid	Rigid	Rigid
R_{inter}		1,000	1,000	1,000
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes
δ_{inter}		0,000	0,000	0,000
K_0 determination		Automatic	Automatic	Automatic
$K_{0,v}$		0,2929	0,5933	0,2929
Data set		Standard	Standard	Standard
Type		Medium	Fine	Medium


Identification		Balast- Subbalast	Sitli Kil	Alt Temel
< 2 μ m	%	19,00	46,00	19,00
2 μ m - 50 μ m	%	41,00	26,00	41,00
50 μ m - 2 mm	%	40,00	28,00	40,00
Set to default values		Yes	Yes	Yes
k_x	m/day	0,1206	0,2480	0,1206
k_y	m/day	0,1206	0,2480	0,1206
$-\psi_{unsat}$	m	10,00E3	10,00E3	10,00E3
e_{sat}		0,5000	0,5000	0,5000
c_k		1,000E1 β	1,000E15	1,000E15

Materials - Soil and interfaces - Linear elastic

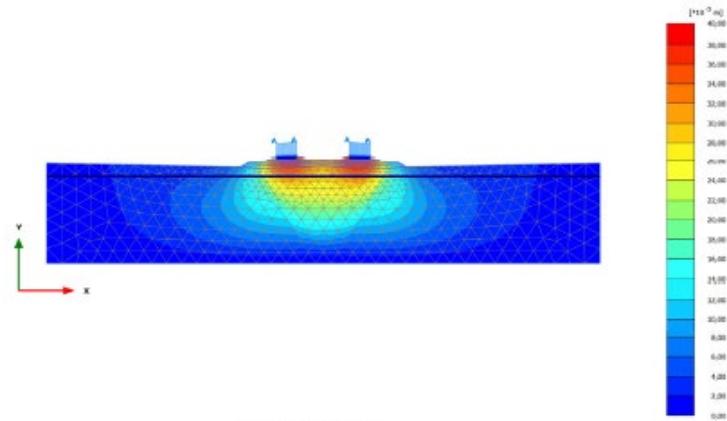
Identification		Novocrete
Identification number		2
Drainage type		Drained
Colour		
Comments		
γ_{unsat}	kN/m ³	20,00
γ_{sat}	kN/m ³	20,00
Dilatancy cut-off		No
e_{sat}		0,5000
e_{min}		0,000
e_{max}		999,0
Rayleigh α		0,000
Rayleigh β		0,000
E	kN/m ²	400,0E3
ν (ν)		0,2500
G	kN/m ²	160,0E3
E_{oed}	kN/m ²	480,0E3
V_s	m/s	280,0

Identification		Novocrete
V_p	m/s	485,0
Set to default values		Yes
E_{inc}	kN/m ² /m	0,000
Y_{ref}	m	0,000
Strength		Rigid
R_{inter}		1,000
Consider gap closure		Yes
δ_{inter}		0,000
K_0 determination		Automatic
$K_{0,s}$		1,000
Data set		Standard
Type		Very fine
< 2 μ m	%	74,00
2 μ m - 50 μ m	%	11,00
50 μ m - 2 mm	%	15,00
Set to default values		Yes
k_x	m/day	0,1500
k_y	m/day	0,1500
$-\Psi_{unsat}$	m	10,00E3
E_{int}		0,5000
C_k		1,000E15

Materials - Plates -

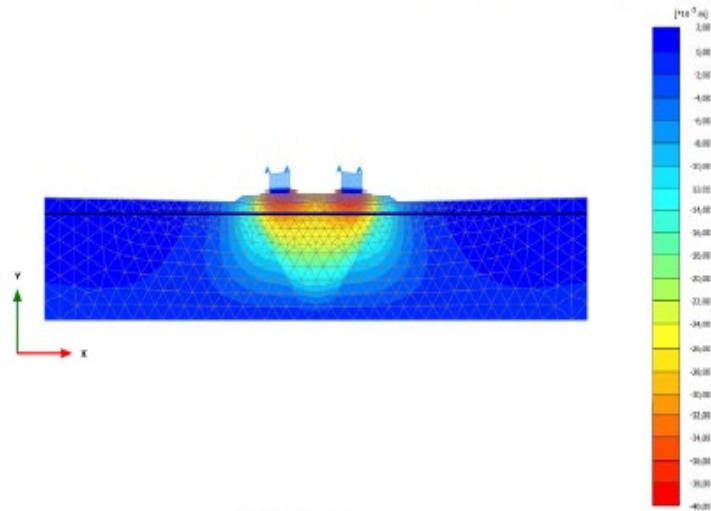
Identification		30 cm Yol
Identification number		1
Comments		
Colour		
Material type		Elastic
Isotropic		Yes
End bearing		No
EA_x	kN/m	9,000E6
EA_y	kN/m	9,000E6
EI	kN m ² /m	67,50E3
d	m	0,3000
w	kN/m/m	0,000
ν (ν_u)		0,1500
Rayleigh α		0,000
Rayleigh β		0,000

Calculation results, <Phase 4> (4/71), Total displacements |u|



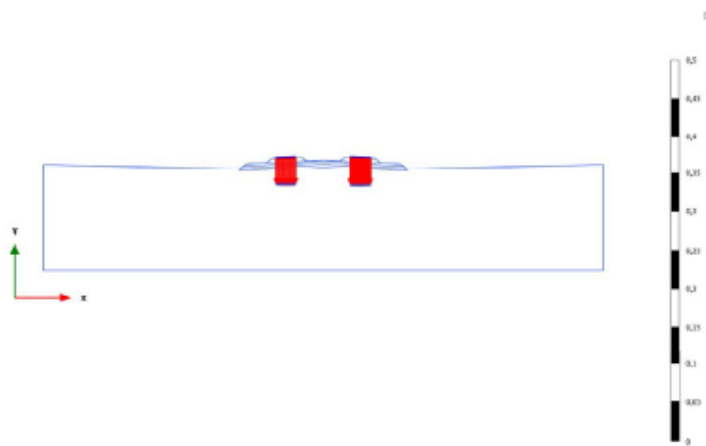
Total displacements |u|
 Maximum value = 0,03798 m (Element 1235 at Node 4224)

Calculation results, <Phase 4> (4/71), Total displacements u_y



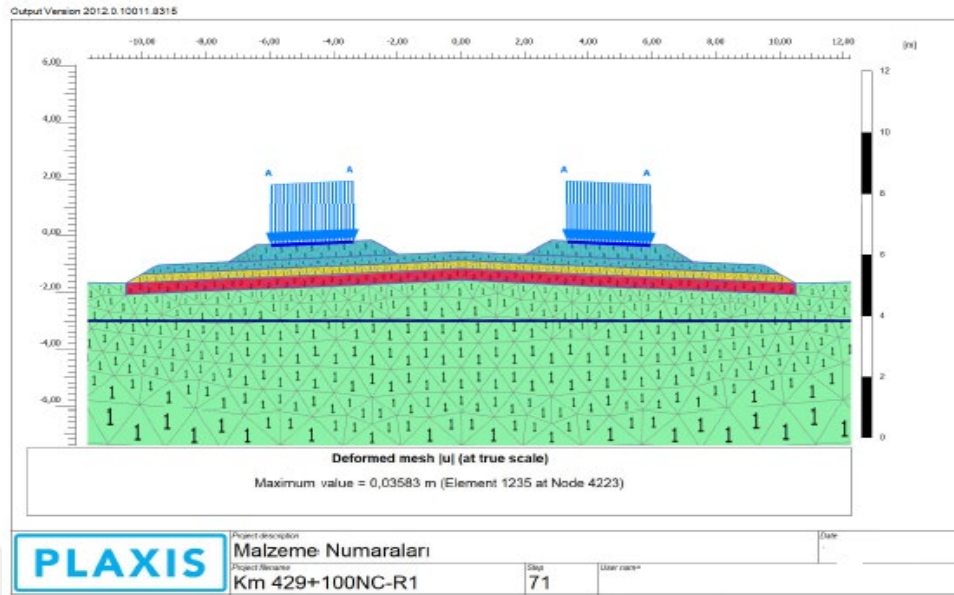
Total displacements u_y
 Maximum value = $1,073 \cdot 10^{-3}$ m (Element 449 at Node 9542)
 Minimum value = -0,03798 m (Element 1235 at Node 4224)

Calculation results, Plate, <Phase 4> (4/71), Total displacements u_y



Total displacements u_y (scaled up 100 times)
 Maximum value = -0,03585 m (Element 1 at Node 1917)
 Minimum value = -0,03798 m (Element 6 at Node 4224)

5.6.2. 428+500-429+700 Arası için plaxis analiz sonuçları (Tip Kesit Km.429+100)




Materials - Soil and interfaces - Mohr-Coulomb

Identification		Balast- Subbalast	Siltli Kil	Alt Temel
Identification number		1	3	4
Drainage type		Drained	Drained	Drained
Colour		■	■	■
Comments				
γ_{sat}	kN/m ³	23,00	18,00	22,00
γ_{air}	kN/m ³	24,00	19,00	23,00
Dilatancy cut-off		No	No	No
e_{min}		0,5000	0,5000	0,5000
e_{min}		0,000	0,000	0,000
e_{max}		999,0	999,0	999,0
Rayleigh α		0,000	0,000	0,000
Rayleigh β		0,000	0,000	0,000
E	kN/m ²	120,0E3	16,00E3	80,00E3
ν (ν_u)		0,3000	0,3000	0,3000
G	kN/m ²	46,15E3	6154	30,77E3
E_{oed}	kN/m ²	161,5E3	21,54E3	107,7E3
C_{ref}	kN/m ²	10,00	3,000	10,00

Identification		Balast- Subbalast	Siltli Kil	Alt Temel
φ (phi)	°	45,00	24,00	45,00
ψ (psi)	°	0,000	0,000	0,000
V_s	m/s	140,2	57,88	117,1
V_p	m/s	262,4	108,3	219,0
Set to default values		Yes	Yes	Yes
E_{inc}	kN/m ² /m	0,000	0,000	0,000
Y_{ref}	m	0,000	0,000	0,000
c_{inc}	kN/m ² /m	0,000	0,000	0,000
Y_{ref}	m	0,000	0,000	0,000
Tension cut-off		Yes	Yes	Yes
Tensile strength	kN/m ²	0,000	0,000	0,000
Strength		Rigid	Rigid	Rigid
R_{iter}		1,000	1,000	1,000
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes
δ_{iter}		0,000	0,000	0,000
K_0 determination		Automatic	Automatic	Automatic
$K_{0,x}$		0,2929	0,5933	0,2929
Data set		Standard	Standard	Standard
Type		Medium	Fine	Medium


Identification		Balast- Subbalast	Siltli Kil	Alt Temel
< 2 μ m	%	19,00	46,00	19,00
2 μ m - 50 μ m	%	41,00	26,00	41,00
50 μ m - 2 mm	%	40,00	28,00	40,00
Set to default values		Yes	Yes	Yes
k_x	m/day	0,1206	0,2480	0,1206
k_y	m/day	0,1206	0,2480	0,1206
$-\psi_{unsat}$	m	10,00E3	10,00E3	10,00E3
e_{int}		0,5000	0,5000	0,5000
c_t		1,000E15	1,000E15	1,000E15

Materials - Soil and interfaces - Linear elastic

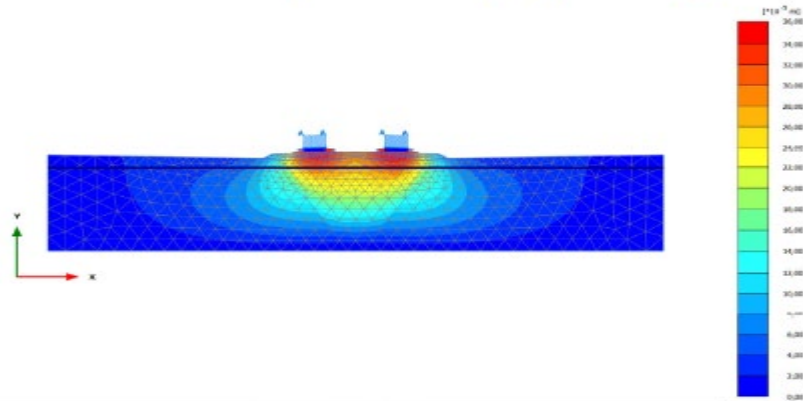
Identification		Novocrete
Identification number		2
Drainage type		Drained
Colour		
Comments		
Y_{unsat}	kN/m ³	20,00
Y_{sat}	kN/m ³	20,00
Dilatancy cut-off		No
e_{int}		0,5000
e_{min}		0,000
e_{max}		999,0
Rayleigh α		0,000
Rayleigh β		0,000
E	kN/m ²	400,0E3
ν (ν_u)		0,2500
G	kN/m ²	160,0E3
E_{oed}	kN/m ²	480,0E3
V_s	m/s	280,0

Identification		Novocrete
V_p	m/s	485,0
Set to default values		Yes
E_{inc}	kN/m ² /m	0,000
Y_{ref}	m	0,000
Strength		Rigid
R_{iter}		1,000
Consider gap closure		Yes
δ_{iter}		0,000
K_D determination		Automatic
$K_{0,x}$		1,000
Data set		Standard
Type		Very fine
< 2 μ m	%	74,00
2 μ m - 50 μ m	%	11,00
50 μ m - 2 mm	%	15,00
Set to default values		Yes
k_x	m/day	0,1500
k_y	m/day	0,1500
$-\psi_{unsat}$	m	10,00E3
e_{sat}		0,5000
c_k		1,000E15

Materials - Plates -

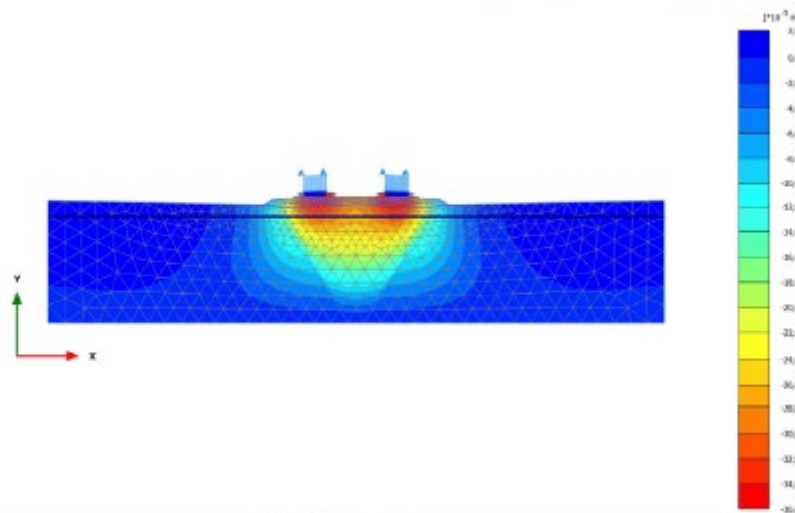
Identification		30 cm Vol
Identification number		1
Comments		
Colour		
Material type		Elastic
Isotropic		Yes
End bearing		No
EA_1	kN/m	9,000E6
EA_2	kN/m	9,000E6
EI	kN m ² /m	67,50E3
d	m	0,3000
w	kN/m/m	0,000
ν (nu)		0,1500
Rayleigh α		0,000
Rayleigh β		0,000

Calculation results, <Phase 4> (4/71), Total displacements |u|



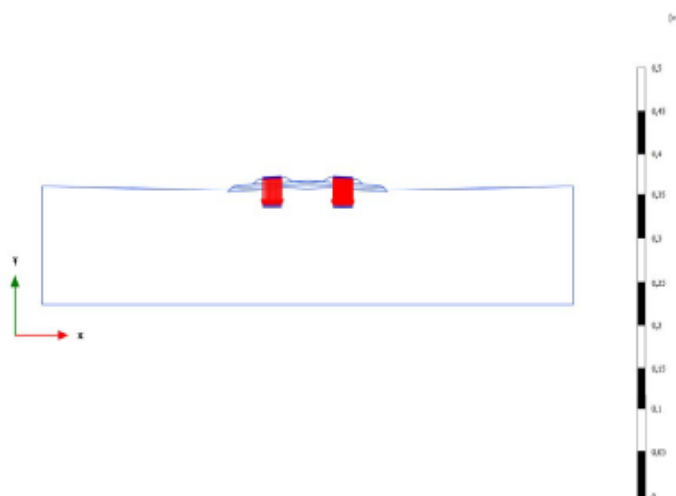
Total displacements |u|
Maximum value = 0,03583 m (Element 1235 at Node 4223)

Calculation results, <Phase 4> (4/71), Total displacements u_y



Total displacements u_y
Maximum value = $1,005 \cdot 10^{-3}$ m (Element 449 at Node 9542)
Minimum value = -0,03583 m (Element 1235 at Node 4223)

Calculation results, Plate, <Phase 4> (4/71), Total displacements u_y



Total displacements u_y (scaled up 100 times)
Maximum value = -0,03384 m (Element 1 at Node 1917)
Minimum value = -0,03583 m (Element 6 at Node 4223)

5.7. Novocrete® İle Yapılan İyileştirmeden Sonra Yapılan Plaka Yükleme Deneyleri

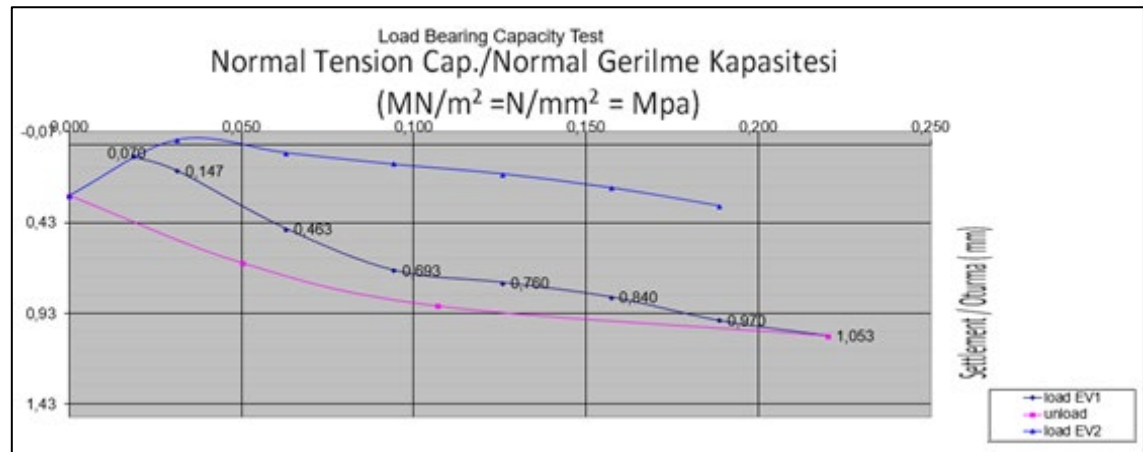
Uygulamadan sonra elastisite modülü $E_{vd}-E_{v2}$ değerinin statik yükleme deneyi veya dinamik plaka yükleme deneyi ile her 10000 m² de 1 defa kontrol edilmiştir. Statik plaka yükleme deneyi veya dinamik plaka yükleme deneyi sonucunda elde edilen elastisite modülünün E_{v2} değerinin 45 MPa değerinden büyük olması şartı aranmıştır.



Şekil 5.14. Plaka yükleme deneyi

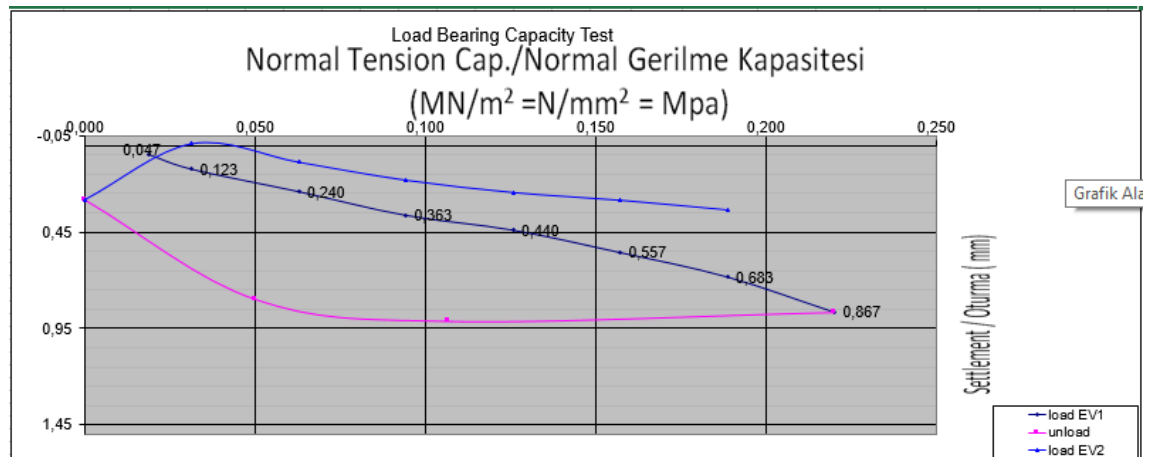
5.7.1. KM 424+360 Plaka yükleme testi

PLAKA YÜKLEME TESTİ(TS 5744)																		
Test Alınan Yer		Km.424+360 II.Hat																
Test Alınan Tabaka		Terasman altı zemin iyileştirme yapılan tabaka																
Test Alınan Malzeme		Puzolanik mineral saf toz bağlayıcı ve çimento ile yerinde zemin iyileştirmesi yapılan zemin																
Deneysel Standartı		TS 5744																
		Birinci Yükleme				Boşaltma				İkinci Yükleme								
		0.01 mm		min		0.01 mm		min		0.01 mm		min		Normal Tension Capacity				
		S1	S2	S3	T	S1	S2	S3	T	S1	S2	S3	T	5kN = 0,005 MN				
		S1	S2	S3	T	S1	S2	S3	T	S1	S2	S3	T	30kN = 0,030 MN				
		S1	S2	S3	T	S1	S2	S3	T	S1	S2	S3	T	35kN = 0,035 MN				
		Area of slab d=300mm 0,07065 m ²																
Basic data	0	0,00	0,00	0,00		0,31	0,35	0,39	15,0					Pmin: 5kN 0,07077 MN/m ²				
	3	0,07	0,09	0,05	15,0									Diff. 0,425 MN/m ²				
	5	0,23	0,24	0,18	15,0					0,03	0,04	0,05	15,0	Pmax: 35kN 0,4954 MN/m ²				
	8					0,71	0,72	0,74	15,0									
	10	0,51	0,53	0,56	15,0					0,09	0,11	0,14	15,0	EV1 İİRİNCİ YÜKLEME				
	15	0,74	0,77	0,78	15,0					0,16	0,18	0,19	15,0	Diff=S1(35kN)-S1(5kN)= 0,870				
	17					0,91	0,98	0,99	15,0					Diff=S2(35kN)-S2(5kN)= 0,900 average= 0,907				
	20	0,81	0,83	0,85	15,0					0,22	0,23	0,24	15,0	Diff=S3(35kN)-S3(5kN)= 0,950				
	25	0,90	0,91	0,92	15,0					0,29	0,32	0,31	15,0	EV2 KİNCİ YÜKLEME				
	30	1,00	1,04	1,08	15,0					0,39	0,41	0,42	15,0	Diff=S1(30kN)-S1(5kN)= 0,360				
	35	1,10	1,14	1,13	15,0									Diff=S2(30kN)-S2(5kN)= 0,370 average= 0,367				
														Diff=S3(30kN)-S3(5kN)= 0,370				
														Pmin5kN 0,0708 MN/m ²				
														Diff. 0,354 MN/m ²				
														Pmax30kN 0,4246 MN/m ²				
Normal Tension Capacity																		
	kN	to MN / m ²																
		$1.5 \times r \times \Delta \sigma$																
	3	E _{v2} 325,71 MN / m ² BASINÇ FARKI $\Delta \sigma = 0,354$ MN / m ²																
	5	OTURMA FARKI $\Delta s = 0,367$ mm																
	8																	
	10	$1.5 \times r \times \Delta \sigma$																
	15	E _{v1} 158,06 MN / m ² BASINÇ FARKI $\Delta \sigma = 0,425$ MN / m ²																
	17	OTURMA FARKI $\Delta s = 0,907$ mm																
	20																	
	25																	
	30																	
	35																	
		birinci yükleme				boşaltma				ikinci yükleme								
	kN	3	5	10	15	20	25	30	35	17	8	0	5	10	15	20	25	30
	Normal Tension Cap. [MN/m ²]	0,019	0,031	0,063	0,094	0,126	0,157	0,189	0,220	0,107	0,050	0	0,031	0,063	0,094	0,126	0,157	0,189
	Settlement [mm]	0,07	0,147	0,463	0,693	0,760	0,840	0,970	1,053	0,890	0,653	0,280	-0,030	0,043	0,107	0,160	0,237	0,337



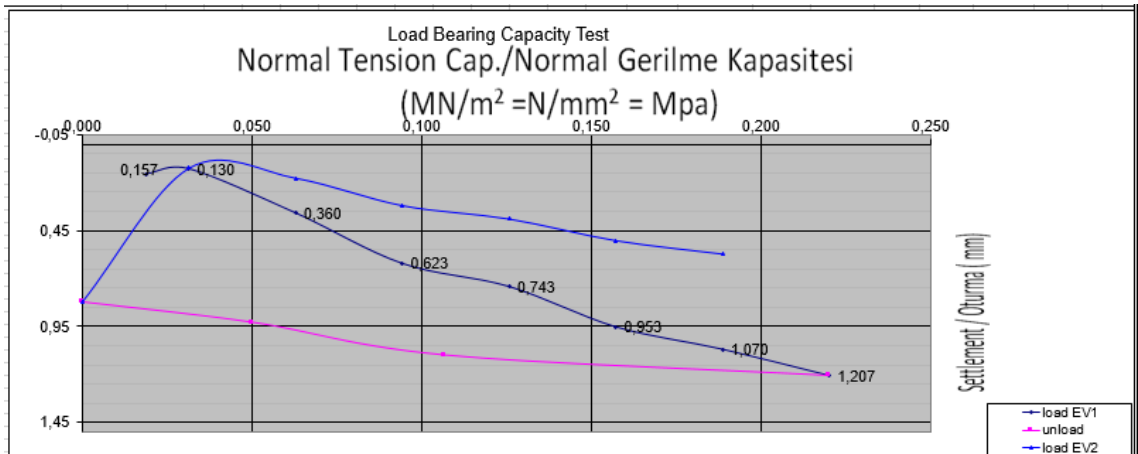
5.7.2. KM 424+730 Plaka yükleme testi

PLAKA YÜKLEME TESTİ(TS 5744)																																																																																						
Test Alınan Yer		Km.424+730 II.Hat																																																																																				
Test Alınan Tabaka		Terasman altı zemin iyileştirme yapılan tabaka																																																																																				
Test Alınan Malzeme		Puzolanik mineral saf toz bağlayıcı ve çimento ile yerinde zemin iyileştirmesi yapılan zemin																																																																																				
Deney Standartı		TS 5744																																																																																				
	Birinci Yükleme				Boşaltma				İkinci Yükleme																																																																													
	0.01 mm		min		0.01 mm		min		0.01 mm		min		Normal Tension Capacity																																																																									
	S1	S2	S3	T	S1	S2	S3	T	S1	S2	S3	T	5kN	=	0,005	MN																																																																						
													30kN	=	0,030	MN																																																																						
													35kN	=	0,035	MN																																																																						
													Area of slab d=300mm		0,07065	m ²																																																																						
Basic data	0,00	0,00	0,00										Pmin: 5kN	0,07077	MN/m ²																																																																							
0					0,35	0,31	0,32	15,0					Diff.	0,425	MN/m ²	$\Delta\sigma$	(E _{v1})																																																																					
3	0,07	0,04	0,03	15,0									Pmax: 35kN	0,4954	MN/m ²																																																																							
5	0,20	0,18	0,13	15,0					0,04	0,03	0,04	15,0	EV1 İİRİNCİ YÜKLEME																																																																									
8					0,89	0,86	0,79	15,0					Diff=S1(35kN)-S1(5kN)=	0,760																																																																								
10	0,31	0,30	0,25	15,0					0,11	0,14	0,15	15,0	Diff=S2(35kN)-S2(5kN)=	0,810	average=	0,743	Δs	(E _{v1})																																																																				
15	0,46	0,43	0,34	15,0					0,21	0,24	0,23	15,0	Diff=S3(35kN)-S3(5kN)=	0,660																																																																								
17					0,99	0,97	0,92	15,0					EV2 KİNCİ YÜKLEME																																																																									
20	0,53	0,52	0,41	15,0					0,27	0,27	0,33	15,0	Diff=S1(30kN)-S1(5kN)=	0,300																																																																								
25	0,63	0,65	0,53	15,0					0,31	0,32	0,36	15,0	Diff=S2(30kN)-S2(5kN)=	0,380	average=	0,343	Δs	(E _{v2})																																																																				
30	0,79	0,77	0,63	15,0					0,34	0,41	0,39	15,0	Diff=S3(30kN)-S3(5kN)=	0,350																																																																								
35	0,96	0,99	0,79	15,0									Pmin5kN	0,0708	MN/m ²																																																																							
													Diff.	0,354	MN/m ²	$\Delta\sigma$	(E _{v2})																																																																					
													Pmax30kN	0,4246	MN/m ²																																																																							
Normal Tension Capacity																																																																																						
kN	to		MN / m ²		$1.5 \times r \times \Delta\sigma$				347,84 MN / m ²				BASINÇ FARKI		$\Delta\sigma$	=	0,354	MN / m ²																																																																				
3	0,0189				Δs								OTURMA FARKI		Δs	=	0,343	mm																																																																				
5	0,0315																																																																																					
8	0,0503																																																																																					
10	0,0629																																																																																					
15	0,0944				$1.5 \times r \times \Delta\sigma$				192,80 MN / m ²				BASINÇ FARKI		$\Delta\sigma$	=	0,425	MN / m ²																																																																				
17	0,1070				Δs								OTURMA FARKI		Δs	=	0,743	mm																																																																				
20	0,1258																																																																																					
25	0,1573																																																																																					
30	0,1888																																																																																					
35	0,2202																																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">kN</th> <th colspan="6">birinci yükleme</th> <th colspan="3">boşaltma</th> <th colspan="6">ikinci yükleme</th> </tr> <tr> <th>3</th> <th>5</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>25</th> <th>30</th> <th>35</th> <th>17</th> <th>8</th> <th>0</th> <th>5</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>25</th> <th>30</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Normal Tension Cap. [MN/m²]</td> <td>0,019</td> <td>0,031</td> <td>0,063</td> <td>0,094</td> <td>0,126</td> <td>0,157</td> <td>0,189</td> <td>0,220</td> <td>0,107</td> <td>0,050</td> <td>0</td> <td>0,031</td> <td>0,063</td> <td>0,094</td> <td>0,126</td> <td>0,157</td> <td>0,189</td> </tr> <tr> <td>Settlement [mm]</td> <td>0,047</td> <td>0,123</td> <td>0,240</td> <td>0,363</td> <td>0,440</td> <td>0,557</td> <td>0,683</td> <td>0,867</td> <td>0,913</td> <td>0,800</td> <td>0,280</td> <td>-0,010</td> <td>0,087</td> <td>0,180</td> <td>0,243</td> <td>0,283</td> <td>0,333</td> </tr> </tbody> </table>														kN	birinci yükleme						boşaltma			ikinci yükleme						3	5	10	15	20	25	30	35	17	8	0	5	10	15	20	25	30	Normal Tension Cap. [MN/m ²]	0,019	0,031	0,063	0,094	0,126	0,157	0,189	0,220	0,107	0,050	0	0,031	0,063	0,094	0,126	0,157	0,189	Settlement [mm]	0,047	0,123	0,240	0,363	0,440	0,557	0,683	0,867	0,913	0,800	0,280	-0,010	0,087	0,180	0,243	0,283	0,333				
kN	birinci yükleme						boşaltma			ikinci yükleme																																																																												
	3	5	10	15	20	25	30	35	17	8	0	5	10	15	20	25	30																																																																					
Normal Tension Cap. [MN/m ²]	0,019	0,031	0,063	0,094	0,126	0,157	0,189	0,220	0,107	0,050	0	0,031	0,063	0,094	0,126	0,157	0,189																																																																					
Settlement [mm]	0,047	0,123	0,240	0,363	0,440	0,557	0,683	0,867	0,913	0,800	0,280	-0,010	0,087	0,180	0,243	0,283	0,333																																																																					



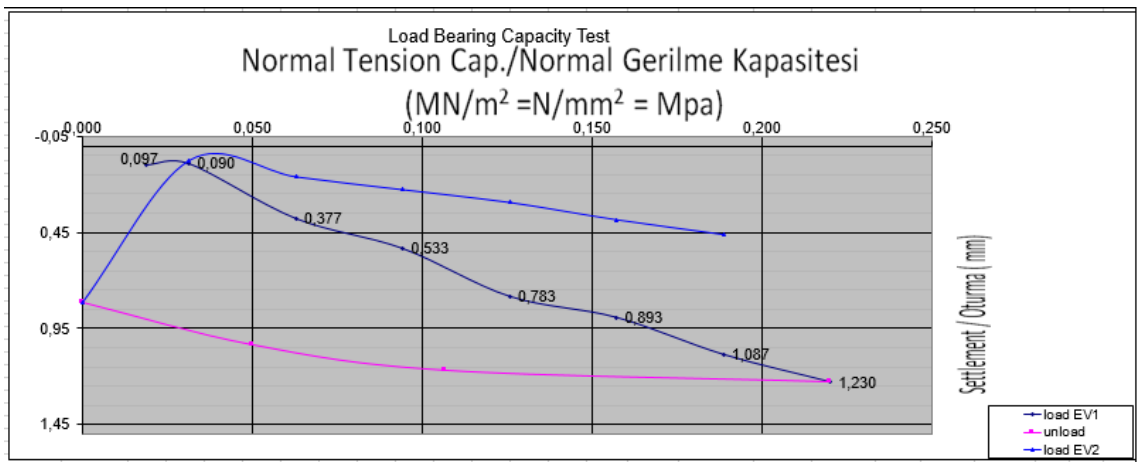
5.7.3. KM 428+160 Plaka yükleme testi

PLAKA YÜKLEME TESTİ(TS 5744)																																			
Test Alınan Yer		Km.428+160 II.Hat																																	
Test Alınan Tabaka		Terasman altı zemin iyileştirme yapılan tabaka																																	
Test Alınan Malzeme		Puzolanik mineral saf toz bağlayıcı ve çimento ile yerinde zemin iyileştirilmesi yapılan zemin																																	
Dene Standartı		TS 5744																																	
Basic data	Birinci Yükleme				Boşaltma				İkinci Yükleme				Normal Tension Capacity																						
	0.01 mm		min		0.01 mm		min		0.01 mm		min		5kN	=	0,005	MN																			
	S1	S2	S3	T	S1	S2	S3	T	S1	S2	S3	T	30kN	=	0,030	MN																			
													35kN	=	0,035	MN																			
	0,00	0,00	0,00		0,91	0,96	1,07	15,0					Area of slab d=300mm 0,07065 m ²																						
0													Pmin: 5kN	0,07077	MN/m ²																				
3	0,14	0,15	0,18	15,0									Diff.	0,425	MN/m ²	$\Delta\sigma$ (E _{v1})																			
5	0,27	0,30	0,29	15,0					0,35	0,24	0,25	15,0	Pmax: 35kN	0,4954	MN/m ²																				
8					1,02	1,08	1,16	15,0					EV1 İRİNCİ YÜKLEME																						
10	0,49	0,51	0,55	15,0					0,45	0,27	0,28	15,0	Diff=S1(35kN)-S1(5kN)=	1,040																					
15	0,73	0,76	0,85	15,0					0,48	0,48	0,47	15,0	Diff=S2(35kN)-S2(5kN)=	1,050	average=	1,077	Δs (E _{v1})																		
17					1,19	1,26	1,32	15,0					Diff=S3(35kN)-S3(5kN)=	1,140																					
20	0,86	0,89	0,95	15,0					0,52	0,52	0,60	15,0	EV2 KİNCİ YÜKLEME																						
25	1,04	1,08	1,21	15,0					0,58	0,66	0,74	15,0	Diff=S1(30kN)-S1(5kN)=	0,250																					
30	1,15	1,19	1,34	15,0					0,60	0,75	0,84	15,0	Diff=S2(30kN)-S2(5kN)=	0,510	average=	0,450	Δs (E _{v2})																		
35	1,31	1,35	1,43	15,0									Diff=S3(30kN)-S3(5kN)=	0,590																					
													Pmin5kN	0,0708	MN/m ²																				
													Diff.	0,354	MN/m ²	$\Delta\sigma$ (E _{v2})																			
													Pmax30kN	0,4246	MN/m ²																				
Normal Tension Capacity																																			
kN	to		MN / m ²		$1.5 \times r \times \Delta\sigma$				E _{v2}		265,39 MN / m ²		BASINÇ FARKI $\Delta\sigma$ = 0,354 MN / m ²																						
3	0,0189				Δs								OTURMA FARKI Δs = 0,450 mm																						
5	0,0315																																		
8	0,0503																																		
10	0,0629				$1.5 \times r \times \Delta\sigma$				E _{v1}		133,11 MN / m ²		BASINÇ FARKI $\Delta\sigma$ = 0,425 MN / m ²																						
15	0,0944				Δs								OTURMA FARKI Δs = 1,077 mm																						
17	0,1070																																		
20	0,1258																																		
25	0,1573																																		
30	0,1888																																		
35	0,2202																																		
Normal Tension Capacity																																			
kN	3		5		10		15		20		25		30		35		17		8		0		5		10		15		20		25		30		
Normal Tension Cap. [MN/m ²]	0,019	0,031	0,063	0,094	0,126	0,157	0,189	0,220	0,107	0,050	0	0,031	0,063	0,094	0,126	0,157	0,189	0,107	0,050	0	0,031	0,063	0,094	0,126	0,157	0,189	0,107	0,050	0	0,031	0,063	0,094	0,126	0,157	0,189
Settlement [mm]	0,157	0,130	0,360	0,623	0,743	0,953	1,070	1,207	1,100	0,930	0,823	0,123	0,177	0,320	0,390	0,503	0,573	0,123	0,177	0,320	0,390	0,503	0,573	0,123	0,177	0,320	0,390	0,503	0,573	0,123	0,177	0,320	0,390	0,503	0,573



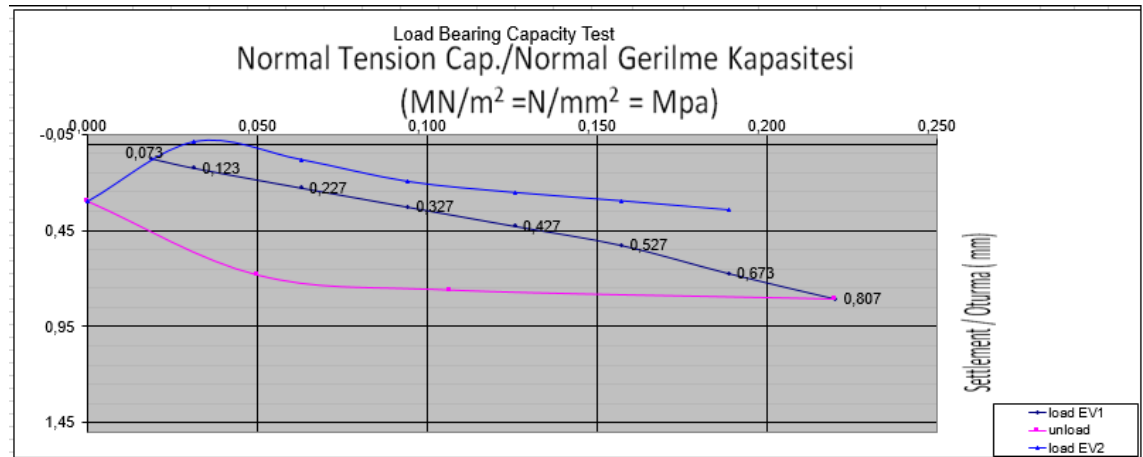
5.7.4. KM 428+730 Plaka yükleme testi

PLAKA YÜKLEME TESTİ(TS 5744)														
Test Alınan Yer		Km.428+730 II.Hat												
Test Alınan Tabaka		Terasman altı zemin iyileştirme yapılan tabaka												
Test Alınan Malzeme		Puzolanik mineral saf toz bağlayıcı ve çimento ile yerinde zemin iyileştirilmesi yapılan zemin												
Deneç Standartı		TS 5744												
		Birinci Yükleme				Boşaltma				ikinci Yükleme				
		0.01 mm		min	0.01 mm		min	0.01 mm		min	Normal Tension Capacity			
		S1	S2	S3	T	S1	S2	S3	T	S1	S2	S3	T	5kN = 0,005 MN
														30kN = 0,030 MN
														35kN = 0,035 MN
		Area of slab d=300mm 0,07065 m ²												
Basic data	0	0,00	0,00	0,00		0,93	1,15	0,65	15,0					Pmin: 5kN 0,07077 MN/m ²
	3	0,09	0,12	0,08	15,0									Diff: 0,425 MN/m ²
	5	0,19	0,25	0,12	15,0					0,16	0,20	0,15	15,0	Pmax: 35kN 0,4954 MN/m ²
	8					1,10	1,38	0,92	15,0					
	10	0,48	0,58	0,36	15,0					0,28	0,32	0,17	15,0	EV1 İİRİNCİ YÜKLEME
	15	0,75	0,64	0,50	15,0					0,37	0,41	0,19	15,0	Diff=S1(35kN)-S1(5kN)= 1,180
	17					1,30	1,55	0,95	15,0					Diff=S2(35kN)-S2(5kN)= 1,400 average= 1,140
	20	0,92	1,10	0,62	15,0					0,46	0,48	0,23	15,0	Diff=S3(35kN)-S3(5kN)= 0,840
	25	1,05	1,22	0,70	15,0					0,57	0,60	0,27	15,0	EV2 KİNCİ YÜKLEME
	30	1,22	1,48	0,85	15,0					0,65	0,70	0,32	15,0	Diff=S1(30kN)-S1(5kN)= 0,490
	35	1,37	1,65	0,96	15,0									Diff=S2(30kN)-S2(5kN)= 0,500 average= 0,387
														Diff=S3(30kN)-S3(5kN)= 0,170
														Pmin5kN 0,0708 MN/m ²
														Diff: 0,354 MN/m ²
														Pmax30kN 0,4246 MN/m ²
Normal Tension Capacity														
kN	to MN / m ²						$1.5 \times r \times \Delta \sigma$				BASINÇ FARKI $\Delta \sigma = 0,354 \text{ MN / m}^2$			
3	0,0189						Δs				308,86 MN / m ²			
5	0,0315										OTURMA FARKI $\Delta s = 0,387 \text{ mm}$			
8	0,0503													
10	0,0629						$1.5 \times r \times \Delta \sigma$				BASINÇ FARKI $\Delta \sigma = 0,425 \text{ MN / m}^2$			
15	0,0944						Δs				125,71 MN / m ²			
17	0,1070										OTURMA FARKI $\Delta s = 1,140 \text{ mm}$			
20	0,1258													
25	0,1573													
30	0,1888													
35	0,2202													
Normal Tension Cap. [MN/m ²]		0,019 0,031 0,063 0,094 0,126 0,157 0,189 0,220		0,107 0,050 0		0,031 0,063 0,094 0,126 0,157 0,189								
Settlement [mm]		0,097 0,090 0,377 0,533 0,783 0,893 1,087 1,230		1,170 1,037 0,813		0,073 0,160 0,227 0,293 0,383 0,460								
Normal Tension Cap. [MN/m ²]		0,019 0,031 0,063 0,094 0,126 0,157 0,189		0,107 0,050 0		0,031 0,063 0,094 0,126 0,157 0,189								
Settlement [mm]		0,097 0,090 0,377 0,533 0,783 0,893 1,087 1,230		1,170 1,037 0,813		0,073 0,160 0,227 0,293 0,383 0,460								



5.7.5. KM 429+450 Plaka yükleme testi

PLAKA YÜKLEME TESTİ(TS 5744)																		
Test Alınan Yer		Km.429+450 II.Hat																
Test Alınan Tabaka		Terasman altı zemin iyileştirme yapılan tabaka																
Test Alınan Malzeme		Puzolanik mineral saf toz bağlayıcı ve çimento ile yerinde zemin iyileştirme yapılan zemin																
Deneý Standartı		TS 5744																
Basic data	Birinci Yükleme				Boşaltma				ikinci Yükleme				Normal Tension Capacity					
	0.01 mm		min		0.01 mm		min		0.01 mm		min		5kN	=	0,005	MN		
	S1	S2	S3	T	S1	S2	S3	T	S1	S2	S3	T	30kN	=	0,030	MN		
													35kN	=	0,035	MN		
													Area of slab d=300mm 0,07065 m ²					
0	0,00	0,00	0,00		0,45	0,36	0,31	15,0					Pmin: 5kN	0,07077	MN/m ²			
3	0,09	0,07	0,06	15,0									Diff.	0,425	MN/m ²	$\Delta\sigma$ (E _{v1})		
5	0,24	0,20	0,15	15,0					0,06	0,05	0,08	15,0	Pmax: 35kN	0,4954	MN/m ²			
8					0,85	0,76	0,66	15,0					EV1 İRİNCİ YÜKLEME					
10	0,35	0,29	0,26	15,0					0,16	0,13	0,18	15,0	Diff=S1(35kN)-S1(5kN)=	0,750				
15	0,47	0,39	0,34	15,0					0,27	0,25	0,29	15,0	Diff=S2(35kN)-S2(5kN)=	0,690	average=	0,683	Δs (E _{v1})	
17					0,95	0,84	0,71	15,0					Diff=S3(35kN)-S3(5kN)=	0,610				
20	0,56	0,49	0,45	15,0					0,32	0,31	0,35	15,0	EV2 İKİNCİ YÜKLEME					
25	0,65	0,59	0,56	15,0					0,37	0,35	0,39	15,0	Diff=S1(30kN)-S1(5kN)=	0,360				
30	0,86	0,73	0,65	15,0					0,42	0,40	0,43	15,0	Diff=S2(30kN)-S2(5kN)=	0,350	average=	0,353	Δs (E _{v2})	
35	0,99	0,89	0,76	15,0									Diff=S3(30kN)-S3(5kN)=	0,350				
													Pmin5kN	0,0708	MN/m ²			
													Diff.	0,354	MN/m ²	$\Delta\sigma$ (E _{v2})		
													Pmax30kN	0,4246	MN/m ²			
Normal Tension Capacity																		
kN	to	MN / m ²																
		$1.5 \times r \times \Delta\sigma$																
		E _{v2} 338,00 MN / m ² BASINÇ FARKI $\Delta\sigma$ = 0,354 MN / m ²																
3	0,0189	Δs OTURMA FARKI Δs = 0,353 mm																
5	0,0315																	
8	0,0503																	
10	0,0629	$1.5 \times r \times \Delta\sigma$																
15	0,0944	E _{v1} 209,73 MN / m ² BASINÇ FARKI $\Delta\sigma$ = 0,425 MN / m ²																
17	0,1070	Δs OTURMA FARKI Δs = 0,683 mm																
20	0,1258																	
25	0,1573																	
30	0,1888																	
35	0,2202																	
		birinci yükleme			boşaltma			ikinci yükleme										
kN		3	5	10	15	20	25	30	35	17	8	0	5	10	15	20	25	30
Normal Tension Cap. [MN/m ²]		0,019	0,031	0,063	0,094	0,126	0,157	0,189	0,220	0,107	0,050	0	0,031	0,063	0,094	0,126	0,157	0,189
Settlement [mm]		0,073	0,123	0,227	0,327	0,427	0,527	0,673	0,807	0,760	0,683	0,300	-0,010	0,063	0,197	0,253	0,297	0,343

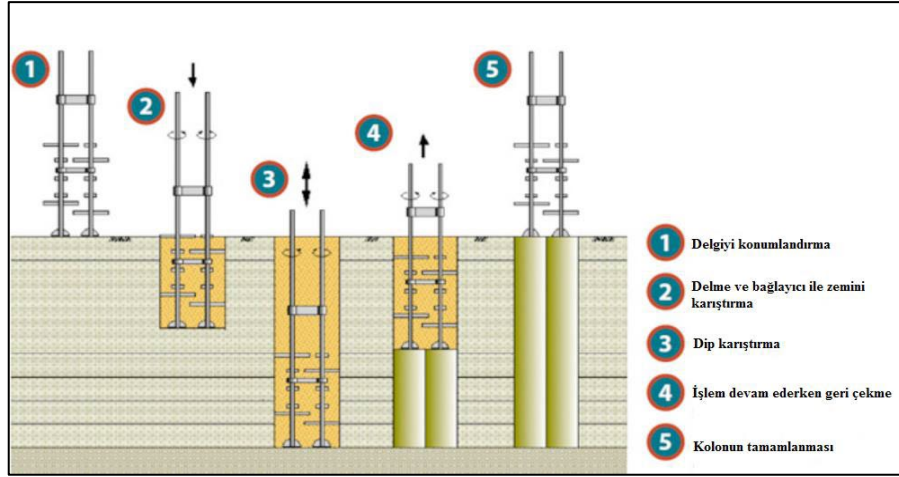


5.8. Adana-İncirlik-Toprakkale Projesinde Derin Karıştırma Yöntemi Kullanılarak Zemin İyileştirilmesi

1960'lı yılların başından itibaren Avrupa'da birçok ülkede kullanılmaya başlanan derin karıştırma yöntemi ile zemin iyileştirilmesi yöntemi, 2000'li yıllardan itibaren ülkemizde de kullanılmaya başlanmış ve TS-EN 14679 numarası ile Türk Standartlarına da girmiştir. Bu yöntemde ince daneli ve genellikle yumuşak killer olmak üzere yumuşak zeminlerde, ortasında delik bulunan burgular veya kanatlı karıştırıcılar vasıtasıyla çimento veya kireç kullanılarak zeminin yerinde karıştırılarak kolon veya duvarlar elde edilmesi olarak tanımlanmaktadır.

Bu yöntem, oturmaların azaltılması, taşıma kapasitesinin artırılması, sıkışabilirliğin azaltılabilmesi, yumuşak zeminin deformasyonunun ve kayma göçmesinin engellenebilmesi, zaman ve ekonomi tasarrufu ve çevreye daha az zarar vermesi gibi özellikleri sayesinde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Genelde kireç ve çimento gibi bağlayıcı maddeler kullanılmakla beraber, yüksek su içeriği bulunan yerlerde veya organik topraklarda uçucu kül, kömür külü, jips ve cüruflla çimento veya kirecin karıştırılması da tercih edilmektedir. Yapılan karıştırma işlemi sonrasında bağlayıcı ile kil arasında kimyasal bir reaksiyon oluşmakta ve çimentolu kompozit bir malzeme elde edilmektedir. Kimyasal reaksiyonla, toprağın mukavemeti artmakta, buna bağlı olarak taşıma kapasitesi artarak oturma miktarı azalmaktadır.

Derin karıştırma yöntemi uygulanması esnasında makine teçhizatı kolonun oluşturulacağı yerde konumlandırılır. İstenilen derinliğe karıştırıcı şaftın zemini delmesiyle ulaşıldıktan sonra şaft zemini karıştırarak yukarı doğru çekilir. İstenilen derinliğe inilmesi esnasında, şaft geri çekilirken ya da her ikisinde de bağlayıcı enjekte edilerek zemin ile bağlayıcının karıştırılması sağlanır. Bu suretle, zemin ile karıştırılmış kolon elde edilir.



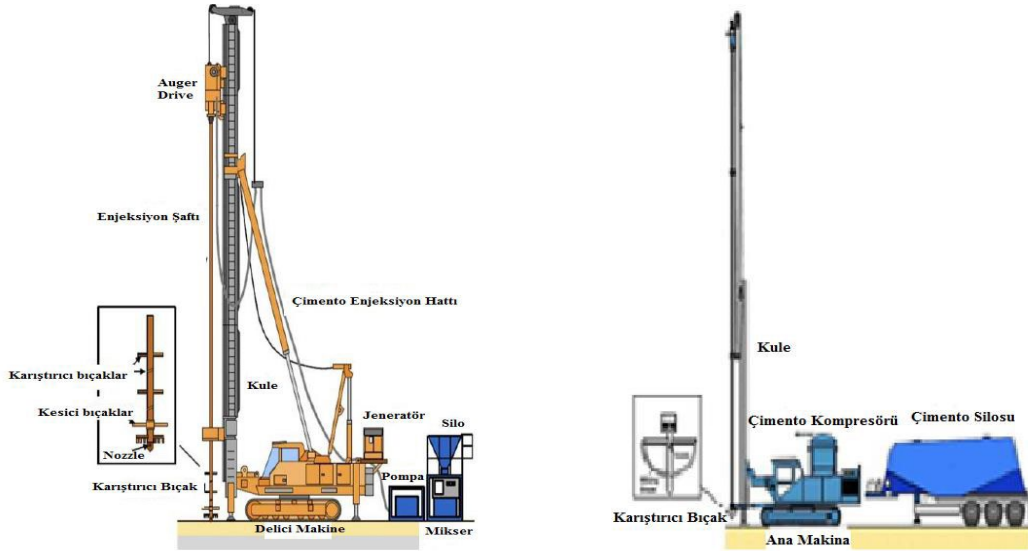
Şekil 5.15. Derin karıştırma uygulamasının aşamaları (JAFEC USA, INC., 2017)

Derin karıştırma uygulamasında uygun metodun seçimi (ıslak ya da kuru), zemin mukavemetinin belirlenmesi ve iyileştirilmiş zemin boyutlarının ve uygulama deseninin seçilmesi şeklinde temel adımlar takip edilmektedir.

Derin karıştırma yöntemi genel olarak ıslak ve kuru yöntem olarak ikiye ayrılmaktadır. Ancak, hangi yöntem uygulanırsa uygulansın temel amaç, üniform iyileştirilmiş bir alan oluşturma, tam anlamıyla karıştırılmamış ya da topaklanmış bağlayıcı veya zeminin oluşmaması ve sabit su içeriğinin sağlanmasıdır. Bunların sağlanması için de amaçlanan dayanım ve sıklık değerine göre uygun su-çimento oranının sağlanması, enjeksiyon miktarının belirlenmesi ve üniform bir karıştırma işleminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

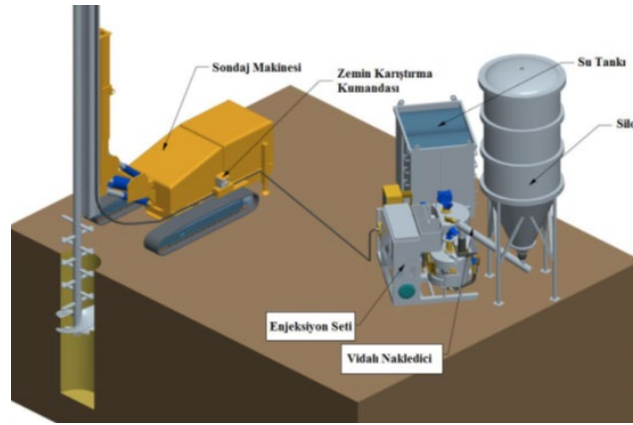
Çizelge 5.15. Derin karıştırma yöntemleri (NYSDOT Geotechnical Design Manuel, 2013)

Yöntem	Grup	Tanım
Islak Derin Karıştırma Yöntemleri	WRS WRE WJS	- Herhangi bir zemindeki büyük ölçekli temel iyileştirmesi için geliştirilmiş, - Islak, - Tek veya çoklu delgi, - Blok veya duvar anlamına gelir, - Temel reaktifler çimento esaslıdır
Kuru Derin Karıştırma Yöntemleri	DRE	- Zemin stabilizasyonu ve kohezyonlu zeminlerin güçlendirilmesi için geliştirilmiş, - Kuru, - Genellikle tek delgili kolon tekniğini ifade eder. - Temel reaktifler, kireç ve çimento kolonları veya kireç-çimento karışımları için granül veya toz kireçtir.



Şekil 5.16. Şematik olarak ıslak ve kuru derin karıştırma sistemleri (Kılıç, 2013)

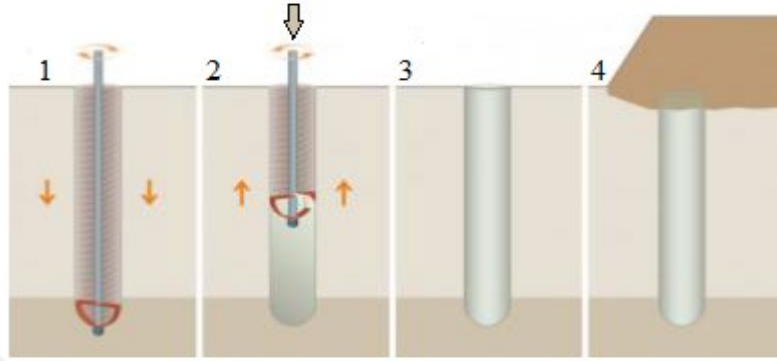
Islak derin karıştırma yönteminde genel olarak kullanılan ekipman, bağlayıcı bulamacı sağlamak için toplu bir karıştırma tesisi ile bu bulamacın zemine enjekte edilmesi ve karıştırılmasını temin etmek için karıştırma makinesinden oluşur. Bu yöntemde istenen ebatta kolon çapı elde edebilmek için aynı ebatta ve karıştırma işleminin verimliliğinin artmasını sağlayan kesme, karıştırma bıçakları veya süreksiz burgulardan oluşan karıştırma şaftları yardımıyla zeminin sulu bağlayıcı ile karıştırılması sağlanır.



Şekil 5.17. Islak derin karıştırma yöntemi (Kocabıyık, 2018)

Islak derin karıştırma yöntemi yumuşak killerde, siltlerde, ince taneli kumlarda ve organik zeminlerde uygulanabilmektedir. İyileştirilen zeminin mekanik özelliği bağlayıcı özelliğine, zeminin oluşma şekline ve davranışına, karıştırma ve priz alma koşullarına bağlıdır. Kuru derin karıştırma yönteminde ise kuru bağlayıcı, döner penetrasyon yöntemi kullanılarak pnömatik veya mekanik olarak zemin içine girmeye zorlanır. Taşıma mekanizması, karıştırma esnasında zeminin sıkıştırılması, hidrasyon

işlemi nedeniyle suyun alınması ve çevreleyen yumuşak zemine kıyasla daha katı ve daha güçlü oldukları için yükün kolonlara yoğunlaşmasının birlikte değerlendirilmesiyle oluşmaktadır. Sistemdeki ekipman; bağlayıcı maddeleri içeren silolar, bağlayıcı besleme sistemini içeren basınçlı depo, yüksek kapasiteli hava kompresörü, hava kurutucu, filtre ünitesi, jeneratör, kontrol ünitesi ve bağlantı hortumlarından oluşmaktadır.

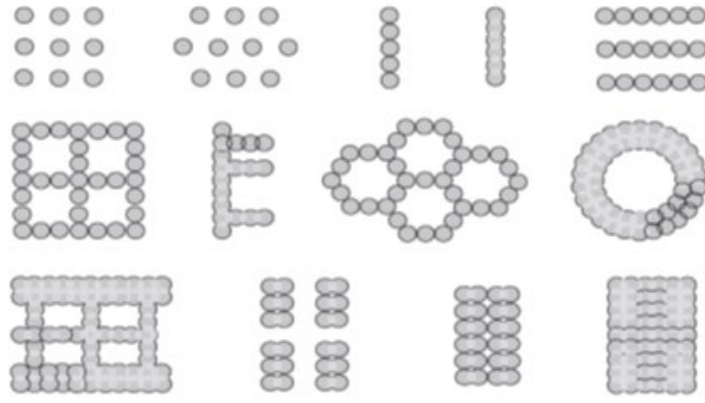


Şekil 5.18. Kuru derin karıştırma yöntemi (Kocabiyik, 2018)

Kuru yöntem, ıslak yöntemle karşılaştırıldığında, karıştırma sırasında verilen su nedeniyle ıslak yöntemle göre daha yüksek mukavemet sağlamaktadır.

Çizelge 5.16. Islak ve kuru derin karıştırma yöntemleriyle iyileştirilen zeminin özellikleri (Kaya, 2016)

Islak Yöntem	
Serbest basınç mukavemeti (28 gün)	0,2 – 5,0 MPa (0,5 – 5 MPa granüler zeminlerde) (0,2 – 2 MPa kohezyonlu zeminlerde)
k (Permeabilite katsayısı)	$1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-9}$ m/s (Bentonit kullanılması halinde daha düşük bir değer alır.)
E_{50} (Elastisite modülü)	$350 - 1000 \times$ Serbest basınç mukavemeti (Laboratuvar) $150 - 500 \times$ Serbest basınç mukavemeti (Arazi)
Kayma mukavemeti	Serbest basınç mukavemeti <1 MPa ise $\%40-50 \times$ Serbest basınç mukavemeti
Çekme mukavemeti	$\%8-14 \times$ Serbest basınç mukavemeti
28 günlük serbest basınç mukavemeti	Silt ve killer için 7 günlük dayanımın 1,4-1,5 katı Kumlar için 7 günlük dayanımın 2 katı
60 günlük serbest basınç mukavemeti	28 günlük dayanımın 1,5 katı
Kuru Yöntem	
Drenajsız kayma mukavemeti, c_u	Zeminin drenajsız kayma mukavemeti $\times 10-50$ (150-1000 kPa)
Elastisite modülü, E	$50-200 \times c_u$ $50-200 \times q_u$ (çimento) (q_u : İyileştirilmiş zeminin serbest basınç mukavemeti)
Kırılma deformasyonu	$<\%2$



Şekil 5.19. Derin karıştırma uygulamasında kullanılan desenlerden örnekler (Topolnicki, 2004)

Adana-İncirlik-Toprakkale hattında ıslak derin karıştırma yöntemi kullanılmıştır. TCDD, teknik şartnamesine göre derin karıştırma uygulamasında üzerinde enjeksiyon nozulları bulunan özel şekilde imal edilmiş, dış/kesme çapı hedef kolon çapında olan, kesici bıçakların en uçta olduğu, üzerinde ise delgi için gereken torku rotary'den kesici bıçaklara aktaran ve ortasındaki boşluktan çimento/su karışımını kesici uçlar üzerindeki nozullara intikal ettiren bir delgi takımı kullanılmıştır.

Yukarıdan aşağıya doğru delgi ve kesme işlemi esnasında enjeksiyon zemine verilmekte, yukarı çekme esnasında da enjeksiyon vermeye devam edebildiği gibi sadece karıştırma da yapılabilmektedir. Bu yöntemde mekanik karıştırma kesici bıçaklar ile yapılmaktadır. Bu nedenle kesintisiz enjeksiyon akışı temin edilmektedir. Bu şekilde, enjeksiyon ve zeminin belirli sabit/üniform bir dozajda ve sınırlı bir çap ve hacim içinde karışımı temin edilerek iyileştirilmiş zemin-çimento karışımı derin karıştırma kolonları elde edilmektedir. Söz konusu yöntem çap kontrolü ve üniformluk bakımından bir çok yöntemden daha iyi netice vermektedir ve mekanik delme/kesmenin yapılabildiği kıbamdaki her türlü zemin koşullarında uygulanabilmektedir. Elde edilen derin karıştırma kolonlarının mukavemeti zemin cinsine, karıştırma miktarına, çimento dozajına göre proje gerekliliklerini sağlayacak şekilde ayarlanmıştır.

Projede kolonun tepe kotunda kolon merkezinin projedeki merkezinden sapmaması ve 75 mm.den fazla olmaması gerekmektedir. Bunun yanı sıra, kolonların düşeylik toleransı, en fazla 1:75 olacaktır. Delme işleminde enjeksiyon için uygulama çapına göre 10-12-14 adet nozzle ile karıştırma yapılacaktır. Karıştırma ekipmanı minimum 80 devir/dk. İle zemine girerken süspansiyon gerekli enjeksiyon basıncıyla karıştırılmaktadır. Enjeksiyon basıncı 50-150 bardır. Uygulamada kullanılan su/çimento oranı $w/c = 1/1$ 'dir. Uygulama esnasında bir miktar malzemenin tij dizisinin çeperleri dışından yüzeye çıkması, zemin içinde aşırı basınç oluşarak zemin yapısının ve daha

önce imal edilmiş kolonların zarar görmesini önleyeceğinden, bu duruma dikkat gösterilmesi önem arz etmektedir. Enjeksiyonda kullanılan çimento, PÇ 42.5'tur.

Derin karıştırma kolonu pompası, enjeksiyon karışımını istenen çapta kolon teşkil edecek şekilde sürekli/kesintisiz debide basabilecek pompa ünitesi olup motor gücü min. 400 HP, basınç kapasitesi 800 bar ve enjeksiyon kapasitesi min. 480 lt/dakikadır.

İmalatlar sırasında temel altı kolonların tamamında, yeterli süre geçtikten ve kolon başları düzeltildikten sonra 50 metrede bir tahribatsız bütünlük deneyi, kalıcı temel altı kolonlarında kolon taşıma kapasitesini kontrol etmek amacıyla 200 metrede bir düşey yükleme deneyi ve düşey yükleme deneyi yapılan kolonlardan kalite kontrol amaçlı karot alınıp tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Alınan karot numuneleri 7 ve 28. Günlerde tek eksenli basınç testine tabi tutulmuştur. Laboratuvarında 7 günlük karot basınç dayanımı min. 2,00 MPa; 28 günlük karot basınç dayanımı min. 4,00 MPa olduğu görülmüştür.

Yük taşıma kapasitelerinin kontrol edilmesi amacıyla tüm proje kapsamında her 200 metrede sadece taşıyıcı temel altı kolonları için bir yükleme deneyi yapılmıştır. Derin karıştırma kolonu statik eksenel basınç yükü ile yüklenmekte, yük-oturma, yük-zaman ve oturma-zaman grafikleri hazırlanmıştır. Bir tek kolonun yükleme deneyi esnasında yüklenen maksimum yük "deney yükü (Q_{test})" olarak tanımlanır. Uygulanacak yükün kazığa tam eksenel ve üniform olarak iletilebilmesi için yükleme deneyinde önce deney kolonu başlığı üstü düzeltilerek yataylığı sağlanmakta ve başlığa beton dökülerek düzenlenmektedir. Deney ekipmanları; kazığa verilecek eksenel yüke maruz reaksiyon kirişleri, hidrolik krika ve hidrolik basınç pompası, yükü ölçmek için manometre ve ölçüm düzeneklerinden oluşmaktadır. Hidrolik pompa vasıtasıyla belli kademelerde statik yük, kolon başlığı ve reaksiyon kirişleri üzerine yerleştirilmiş olan hidrolik krikoya iletilir, rijit sistemden dolayı yük altında kolon düşey eksenel hareket eder. Deney kolonunda oluşan bu deplasmanlar, kolondan ve basınç elemanlarından bağımsız bir ölçüm sistemiyle kaydedilir.

Yükleme deneyleri iki farklı yükleme programına göre ve iki devirli olarak yapılmaktadır. Kısa programda birinci devirde test kazığı servis yüküne kadar %25'lik yük kademeleri ile 30 dk.lık periyotlarla yüklenir ve %100'ünde 120 dk. beklenir. Boşaltma kademeleri ise 10 dk. arayla %25'lik kademelerle yapılır. İkinci devirde ise; test kazığı test yüküne (%150) kadar %25'lik yük kademeleri ile 30 dk.lık periyotlarla yüklenir ve test yükünde (%150) 240 dk. beklenir. Boşaltma kademeleri ise 10 dk.

Arayla %25'lik kademelerle yapılır. Uzun programda ise birinci devirde test kazığı servis yüküne kadar %25'lik yük kademeleri ile 60 dk.lık periyotlarla yüklenir ve %100'ünde 180 dk. beklenir. Boşaltma kademeleri ise 15 dk. arayla %25'lik kademelerle yapılır. İkinci devirde ise; test kazığı test yüküne (%150) kadar %25'lik yük kademeleri ile 60 dk.lık periyotlarla yüklenir ve test yükünde (%150) 360 dk. beklenir. Boşaltma kademeleri ise 15 dk. arayla %25'lik kademelerle yapılır.



Şekil 5.20. AİT projesinde derin karıştırma uygulamasına ait çalışmadan bir resim



Şekil 5.21. AİT projesinde derin karıştırma uygulamasına ait çalışmadan bir resim



Şekil 5.22. AİT projesinde derin karıştırma uygulamasına ait çalışmadan bir resim



Şekil 5.23. AİT projesinde derin karıştırma uygulamasına ait çalışmadan bir resim



Şekil 5.24. AİT projesinde derin karıştırma uygulamasına ait çalışmadan bir resim

5.8.1. İyileştirilmiş zeminlerde taşıma gücü hesapları

Derin karıştırma kolonu taşıma gücü hesabı yapılırken sahada alınan ve laboratuvar deneyleriyle hesaplanan parametreler idealize edilmiş ve taşıma gücü hesaplanmıştır. Hesaplarda güvenlik katsayısı 2,50 olarak alınmıştır. Hesaplamalar;

$$Q_t = Q_p + Q_s \quad (5.7.)$$

$$Q_{em} = Q_T / GS. \quad (5.8.)$$

Q_p : Kolon uç taşıma direnci

Q_s : Kolon çevre sürtünmesi direnci

Uç Direnci (Kil Birim)

$$Q_p = 9 \times C_u \times A_p \quad (5.9.)$$

Sürtünme Hesabı (Kil Birim)

$$Q_s = f \times p \times \Delta L \quad (5.10.)$$

$$f = \alpha \times C_u \quad (5.11.)$$

p : Kolon çevresi

$Q_s = \Sigma (\alpha \times C_u \times p \times \Delta L)$ (Her katman için ayrıca hesaplanıp toplanacaktır)

$$\alpha = 1 - 0,00615 \times (C_u - 25) ; \quad 25 \text{ kPa} < C_u < 90 \text{ kPa}$$

α katsayısının kolerasyonu aşağıdaki tablodan alınmıştır.

Çizelge 5.16. α katsayı kolerasyonu

c_u (kPa)	α
90,00	0,60
100,00	0,58
150,00	0,42
200,00	0,35

Sürtünme Hesabı (Kum Birim)

$$Q_s = f_{av} \times \Delta L \times p \quad (5.12.)$$

p : kolon çevresi

$$f = K \times \sigma'_o \times \tan \delta'$$

σ'_o : Kolon ortasındaki efektif gerilme (ortalama olacak şekilde)

$$\delta' = 0,75 \times \phi, K = 1 - \sin \phi$$

425+700-427+200 İyileştirilmiş zeminde taşıma kapasitesi

Bahse konu kilometreler aralığında Ø100 cm çap ve L=12,00 m uzunluğunda derin karıştırma kolonu için taşıma kapasitesi şu şekildedir.

Çizelge 5.17. 425+700-427+200 Kolon Taşıma Gücü

Zemin Birimi	Tabaka Kalınlığı (m)	C_u (kPa)	γ (kN/m ³)	α	Alan (m ²)	Taşıma Kapasitesi (kN)
Kil	12,00	30	18	0,96925	37,70	1.096,20
Kil	Uç direnci	30			0,79	212,06
Toplam Boy (m)	12,00	Toplam:				1.308,25

$$\text{Grup Etkisi} : 1.308,25 \times 0,65 = 850,36 \text{ kN}$$

$Q_{em} = 850,36/2,50 = 340,15 \text{ kN} \sim 35 \text{ ton}$ (Ø100 cm, L=12,00 m. derin karıştırma kolonu)

Derin karıştırma kolonlarında $2,50 \times 2,50$ karelaj uygulanması durumunda;

$$\text{Toplam alan} = 2,50 \times 2,50 = 6,25 \text{ m}^2$$

$$\text{Kolon Alanı} = 1,00 \times 1,00 \times \pi/4 = 0,785 \text{ m}^2$$

$$\text{Zeminin toplam taşıma gücü} = 5,46 \times 5,30 \text{ ton/m}^2 + 35 \text{ ton} = 64 \text{ ton}$$

$$\text{Zemine gelen maksimum yük} = 9,41 \text{ ton/m}^2 \times 6,25 = 59 \text{ ton}$$

$$\text{Zemin emniyet gerilmesi} : 64,00 / (2,50 \times 2,50) = 10,24 \text{ ton/m}^2$$

Söz konusu kesimin 12 m derin karıştırma kolonu ile iyileştirilmesi durumunda zemin emniyetli taşıma gücü 100,45 kPa olarak bulunmuştur. Zemin gerilmesi 92,40 kPa olduğu için zeminde taşıma gücü problemi bulunmamaktadır.

5.8.2. İyileştirilmiş zeminde oturma hesabı

425+700-427+200 İyileştirilmiş zeminde oturma hesabı

Bu kesimde 12.00 m. derin karıştırma kolonu ile iyileştirme yapılması durumunda meydana gelecek oturma şu şekilde hesaplanmıştır.

$$S = (q_{\text{net}} \times B/E) (1 - v^2) l_s$$

$$E = 15.500 \text{ kPa}$$

$$v = 0,35$$

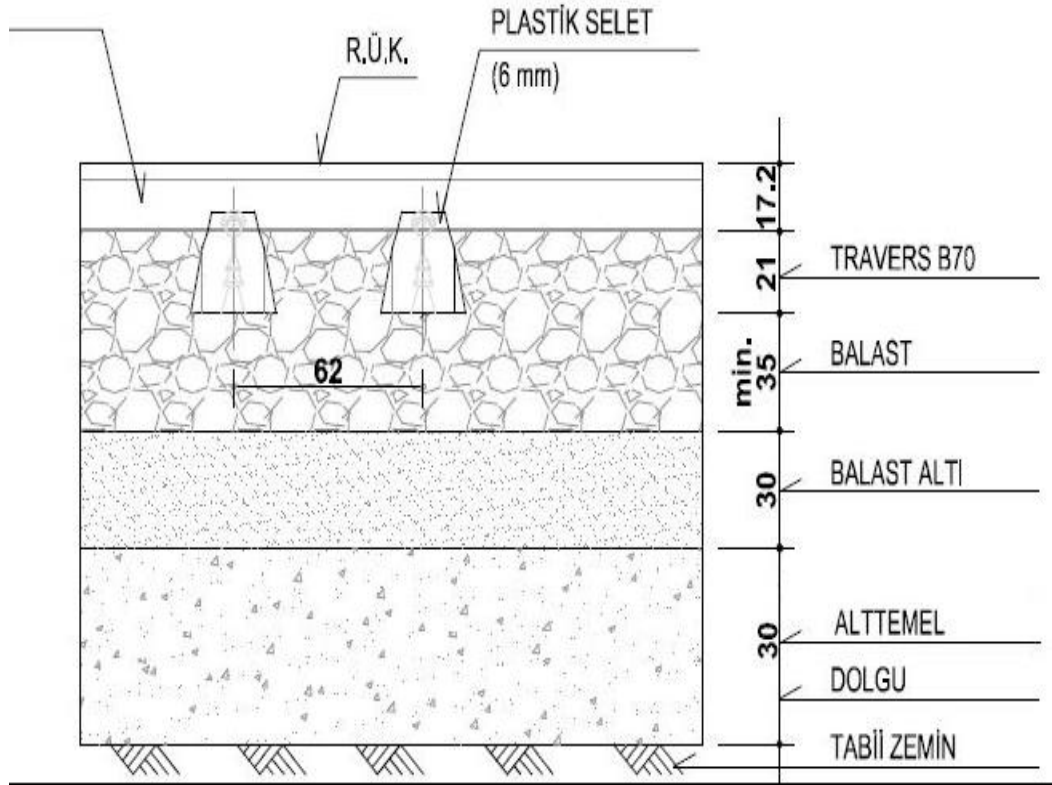
$$B1 = 4,30 + 2 \times (8,00/4) + 2 \times (4,00/\sqrt{3}) = 12,92 \text{ m}$$

$$\Delta\sigma = Q \times B / (B1) = (92,40) \times 4,30 / (12,92) = 30,76 \text{ kPa}$$

$$S = (30,76) \times 4,30 \times (1 - 0,35^2) \times 2,75 / 15.500 = 0,02 \text{ m.} = 2,06 \text{ cm}$$

5.9. Derin Karıştırma Yöntemi ile İyileştirme İçin PLAXIS Analizleri

Analizlerde kullanılan tip en kesit ve malzeme parametreleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.25. Tip En Kesit

Çizelge 5.18. Plaxis Analizinde Kullanılan Malzeme Parametreleri

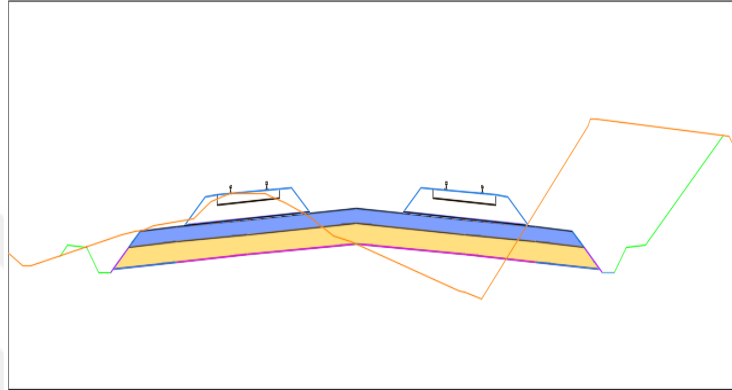
Birim	γ_{unsat} (kN/m ³)	C (kPa)	ϕ°	E (kPa)
Balast-Subbalast	23	10	45	120.000
Alt Temel	22	10	45	80.000
Kaya Dolgu	22	5	35	80.000

5.9.1. KM 425+700-427+200 Güzergah plaxis analizi

Bu bölgede C11 nolu sondaj yapılmış olup genelde kil zeminden oluşmaktadır. SPT-N değerleri ve literatür doğrultusunda yapılan zemin idealizasyonu ve analizlerde kullanılmak üzere seçilen zemin parametreleri aşağıda verilmiştir.

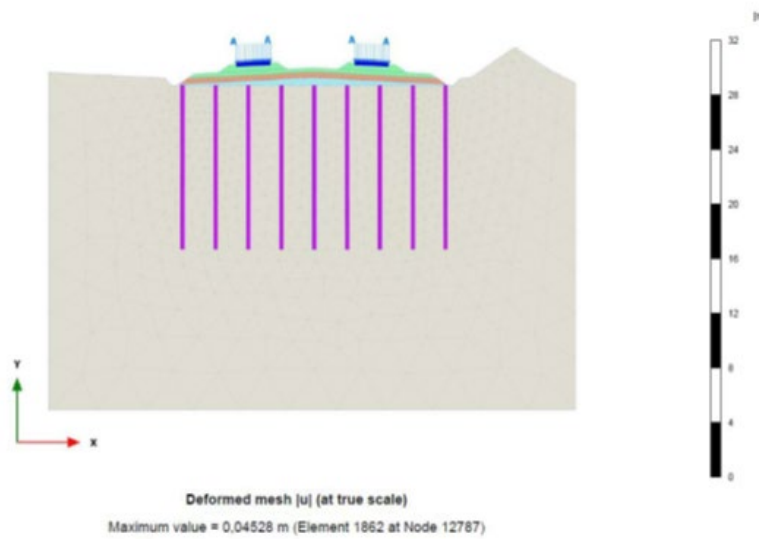
Çizelge 5.19. Km.426+000 kesiti için kullanılan zemin parametreleri

Birim	γ_{unsat} (kN/m ³)	C (kPa)	ϕ°	E (kPa)
Siltli Kil	18	3	24	11.500

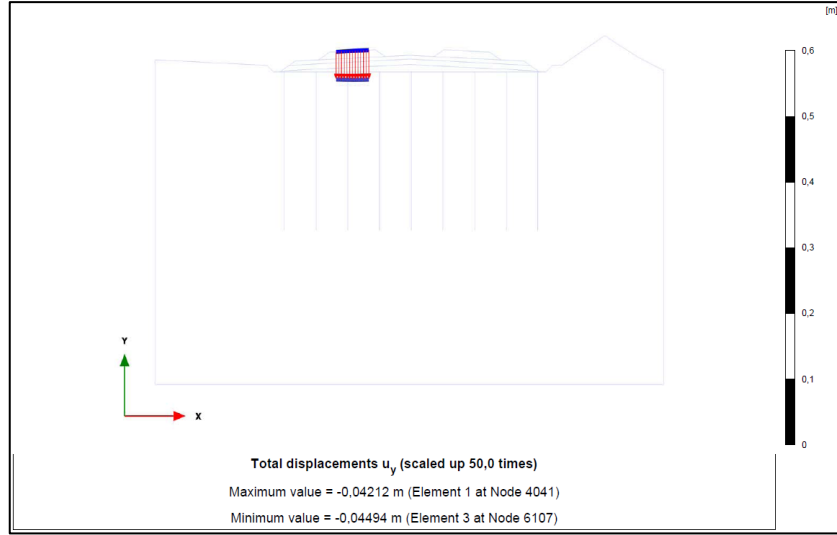


Şekil 5.26. Plaxis analizi Km:426+000 kesiti

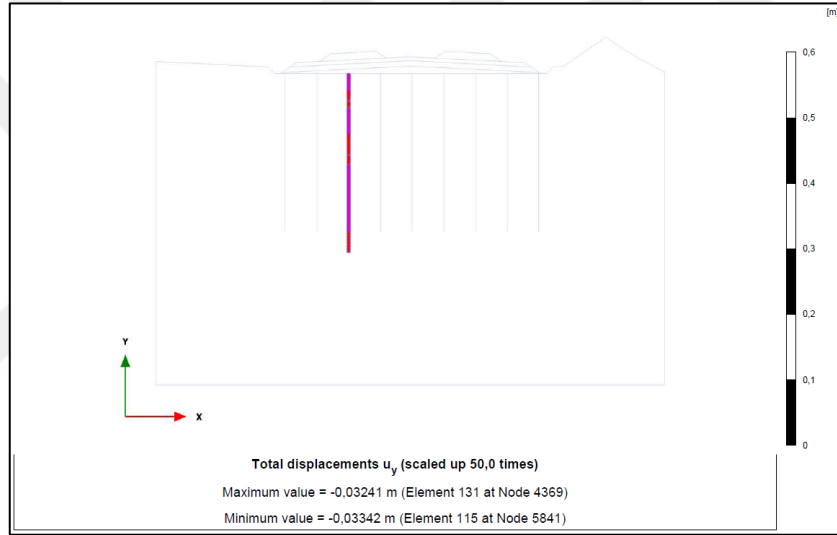
Demiryolu altında daha rijit bir tabaka oluşturulması, oturma probleminin önüne geçilmesi ve oturmaların daha dengeli gerçekleşmesi için platformun 30 cm altından başlamak üzere L=12.00 m. uzunluğunda derin karıştırma kolonu ile iyileştirme öngörülmüş ve yapılan analizde oturma miktarlarının TCDD oturma kriterlerini karşıladığı görülmüştür.



Şekil 5.27. KM 426+000 Plaxis analizi



Şekil 5.28. KM 426+000 demiryolu oturma miktarı



Şekil 5.29. KM 426+000 kolon oturma miktarı

PLAXIS		essential for geotechnical professionals			
Project description	: 01_KM_426+000	Output Version 2012.2.14975.10081			
User name	: Progeo Proje Muhendislik				
Project filename	: 01_KM_426+000	Date :			
Output	: Materials	Page : 1			
Material set					
Identification number		1	2	3	4
Identification		Subbalast	Alt Temel	Kaya Dolgu	Siltli Kil
Material model		Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Drained
Colour		RGB 134, 234, 162	RGB 220, 153, 121	RGB 161, 226, 232	RGB 216, 216, 202
Comments					
General properties					
γ_{unsat}	kN/m ³	23,00	22,00	20,00	18,00
γ_{sat}	kN/m ³	24,00	23,00	21,00	19,00
Advanced					
Void ratio					
Dilatancy cut-off		No	No	No	No
e_{init}		0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
e_{min}		0,000	0,000	0,000	0,000
e_{max}		999,0	999,0	999,0	999,0
Damping					
Rayleigh α		0,000	0,000	0,000	0,000
Rayleigh β		0,000	0,000	0,000	0,000
Stiffness					
E	kN/m ²	120,0E3	80,00E3	100,0E3	11,50E3
ν (nu)		0,3000	0,3000	0,4000	0,3000

PLAXIS		essential for geotechnical professionals			
Project description	: 01_KM_426+000	Output Version 2012.2.14975.10081			
User name	: Progeo Proje Muhendislik				
Project filename	: 01_KM_426+000	Date :			
Output	: Materials	Page : 2			
Identification					
		Subbalast	Alt Temel	Kaya Dolgu	Siltli Kil
Alternatives					
G	kN/m ²	46,15E3	30,77E3	35,71E3	4423
E_{ped}	kN/m ²	161,5E3	107,7E3	214,3E3	15,48E3
Strength					
c_{ref}	kN/m ²	10,00	10,00	5,000	3,000
ϕ (phi)	°	45,00	45,00	32,00	24,00
ψ (psi)	°	0,000	0,000	0,000	0,000
Velocities					
V_s	m/s	140,2	117,1	132,3	49,07
V_p	m/s	262,4	219,0	324,0	91,81

PLAXIS		essential for geotechnical professionals			
Project description	: 01_KM_426+000	Output Version 2012.2.14975.10081			
User name	: Progeo Proje Muhendislik				
Project filename	: 01_KM_426+000	Date :			
Output	: Materials	Page : 3			
Identification		Subbalast	Alt Temel	Kaya Dolgu	Siltli Kil
Advanced					
Set to default values		Yes	Yes	Yes	Yes
Stiffness					
E_{inc}	kn/m ² /m	0,000	0,000	0,000	0,000
γ_{ref}	m	0,000	0,000	0,000	0,000
Strength					
c_{inc}	kn/m ² /m	0,000	0,000	0,000	0,000
γ_{ref}	m	0,000	0,000	0,000	0,000
Tension cut-off		Yes	Yes	Yes	Yes
Tensile strength	kn/m ²	0,000	0,000	0,000	0,000
Strength					
Strength		Rigid	Rigid	Rigid	Rigid
R_{inter}		1,000	1,000	1,000	1,000
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes	Yes
Real interface thickness					
δ_{inter}		0,000	0,000	0,000	0,000

PLAXIS		essential for geotechnical professionals			
Project description	: 01_KM_426+000	Output Version 2012.2.14975.10081			
User name	: Progeo Proje Muhendislik				
Project filename	: 01_KM_426+000	Date :			
Output	: Materials	Page : 4			
Identification		Subbalast	Alt Temel	Kaya Dolgu	Siltli Kil
K0 settings					
K_0 determination		Automatic	Automatic	Automatic	Automatic
$K_{0,x}$		0,2929	0,2929	0,4701	0,5933
Model					
Data set		Standard	Standard	Standard	Standard
Soil					
Type		Medium	Medium	Medium	Fine
< 2 μ m	%	19,00	19,00	19,00	46,00
2 μ m - 50 μ m	%	41,00	41,00	41,00	26,00
50 μ m - 2 mm	%	40,00	40,00	40,00	28,00
Parameters					
Set to default values		Yes	Yes	Yes	Yes
k_x	m/day	0,1206	0,1206	0,1206	0,2480
k_y	m/day	0,1206	0,1206	0,1206	0,2480
γ_{unsat}	m	10,00E3	10,00E3	10,00E3	10,00E3
e_{mit}		0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
Change of permeability					
c_k		1,000E15	1,000E15	1,000E15	1,000E15

		essential for geotechnical professionals																																																																																	
Project description	: 01_KM_426+000	Output Version 2012.2.14975.10081																																																																																	
User name	: Progeo Proje Muhendislik																																																																																		
Project filename	: 01_KM_426+000	Date	:																																																																																
Output	: Materials	Page	: 1																																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Material set</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Identification number</td> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Identification</td> <td></td> <td>30cm yol</td> <td>100cm WSM 2.5m</td> </tr> <tr> <td>Comments</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Colour</td> <td></td> <td>RGB 0, 0, 255</td> <td>RGB 185, 25, 230</td> </tr> <tr> <td>Material type</td> <td></td> <td>Elastoplastic</td> <td>Elastic</td> </tr> <tr> <th colspan="4">Properties</th> </tr> <tr> <td>Isotropic</td> <td></td> <td>Yes</td> <td>Yes</td> </tr> <tr> <td>End bearing</td> <td></td> <td>No</td> <td>No</td> </tr> <tr> <td>EA₁</td> <td>kN/m</td> <td>9,000E6</td> <td>1,257E6</td> </tr> <tr> <td>EA₂</td> <td>kN/m</td> <td>9,000E6</td> <td>1,257E6</td> </tr> <tr> <td>EI</td> <td>kN m²/m</td> <td>67,50E3</td> <td>78,54E3</td> </tr> <tr> <td>d</td> <td>m</td> <td>0,3000</td> <td>0,8660</td> </tr> <tr> <td>w</td> <td>kN/m/m</td> <td>2,100</td> <td>7,000</td> </tr> <tr> <td>v (nu)</td> <td></td> <td>0,1500</td> <td>0,1500</td> </tr> <tr> <td>M_p</td> <td>kN m/m</td> <td>1,000E12</td> <td>1,000E15</td> </tr> <tr> <td>N_{p,1}</td> <td>kN/m</td> <td>1,000E12</td> <td>10,00E9</td> </tr> <tr> <td>N_{p,2}</td> <td>kN/m</td> <td>1,000E12</td> <td>10,00E9</td> </tr> <tr> <td>Rayleigh α</td> <td></td> <td>0,000</td> <td>0,000</td> </tr> <tr> <td>Rayleigh β</td> <td></td> <td>0,000</td> <td>0,000</td> </tr> </tbody> </table>				Material set				Identification number		1	2	Identification		30cm yol	100cm WSM 2.5m	Comments				Colour		RGB 0, 0, 255	RGB 185, 25, 230	Material type		Elastoplastic	Elastic	Properties				Isotropic		Yes	Yes	End bearing		No	No	EA ₁	kN/m	9,000E6	1,257E6	EA ₂	kN/m	9,000E6	1,257E6	EI	kN m ² /m	67,50E3	78,54E3	d	m	0,3000	0,8660	w	kN/m/m	2,100	7,000	v (nu)		0,1500	0,1500	M _p	kN m/m	1,000E12	1,000E15	N _{p,1}	kN/m	1,000E12	10,00E9	N _{p,2}	kN/m	1,000E12	10,00E9	Rayleigh α		0,000	0,000	Rayleigh β		0,000	0,000
Material set																																																																																			
Identification number		1	2																																																																																
Identification		30cm yol	100cm WSM 2.5m																																																																																
Comments																																																																																			
Colour		RGB 0, 0, 255	RGB 185, 25, 230																																																																																
Material type		Elastoplastic	Elastic																																																																																
Properties																																																																																			
Isotropic		Yes	Yes																																																																																
End bearing		No	No																																																																																
EA ₁	kN/m	9,000E6	1,257E6																																																																																
EA ₂	kN/m	9,000E6	1,257E6																																																																																
EI	kN m ² /m	67,50E3	78,54E3																																																																																
d	m	0,3000	0,8660																																																																																
w	kN/m/m	2,100	7,000																																																																																
v (nu)		0,1500	0,1500																																																																																
M _p	kN m/m	1,000E12	1,000E15																																																																																
N _{p,1}	kN/m	1,000E12	10,00E9																																																																																
N _{p,2}	kN/m	1,000E12	10,00E9																																																																																
Rayleigh α		0,000	0,000																																																																																
Rayleigh β		0,000	0,000																																																																																

5.10. Derin Karıştırma Kolonları İçin Yükleme Test Sonuçları

Adana-İncirlik-Toprakkale arası II. Hat yapımı ve mevcut hattın rehabilitasyonu işi kapsamında Km.425+615-427+000 arasında imal edilen derin karıştırma kolonları üzerinde yapılmış “ASTM D5882 Standart Test Method For Low Strain Integrity Testing of Piles” standartına bağlı olarak 6 adet kazık yükleme deneyi yapılmıştır. Deney kolonları Ø100 cm çapında ve 8.00-12.00 m boylarında imal edilmiştir. Deneylerde elde edilen maksimum oturma değerleri ile kalıcı oturma değerleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 5.20. Yükleme deney sonuçları

Sıra No	Numune No	Yükleme Kademesi	Toplam Oturma (mm)	Kalıcı Oturma (mm)	Numune Boy (m)
1	425+615	35 ton (Proje yükü)	1,66	1,21	8,00
		52,50 ton (proje yükü %150)	2,37	1,71	
2	425+870	38 ton (Proje yükü)	1,88	0,92	12,00
		57,00 ton (Proje yükü %150)	2,74	1,41	
3	426+072	38 ton (Proje yükü)	0,99	0,57	12,00
		57,00 ton (Proje yükü %150)	1,74	0,90	
4	426+202	38 ton (Proje yükü)	0,92	0,82	12,00
		57,00 ton (Proje yükü %150)	1,29	1,06	
5	426+675	38 ton (Proje yükü)	0,82	0,70	12,00
		57,00 ton (Proje yükü %150)	1,07	0,72	
6	427+000	38 ton (Proje yükü)	0,46	0,37	12,00
		57,00 ton (Proje yükü %150)	0,78	0,44	

Elde edilen maksimum oturma değerleri ve kalıcı oturma değerleri dikkate alındığında; proje tasarımında yatak katsayısının belirlenmesinde kullanılan Bowles

(1996) yaklaşımında müsaade edilen deplasman sınırı 25 mm olarak belirlenmiştir. Elde edilen deformasyonlar tasarımda dikkate alınan değerin altında olup, tasarım kriterlerini sağlamıştır.



Şekil 5.30. Kolon yükleme düzeneği



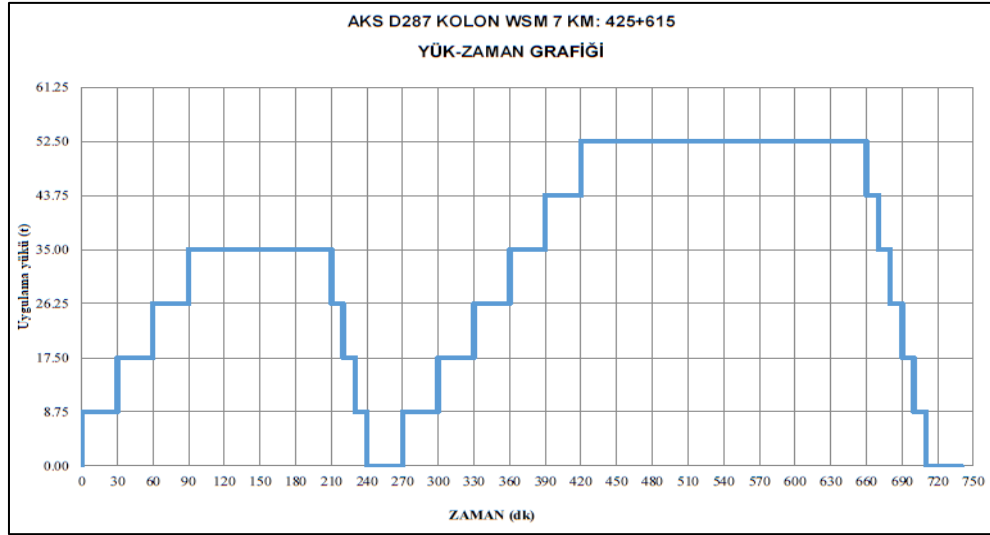
Şekil 5.31. Kolon yükleme düzeneği ve hidrolik ünite

Çizelge 5.21. 425+615 Yükleme deneyi uygulama formu

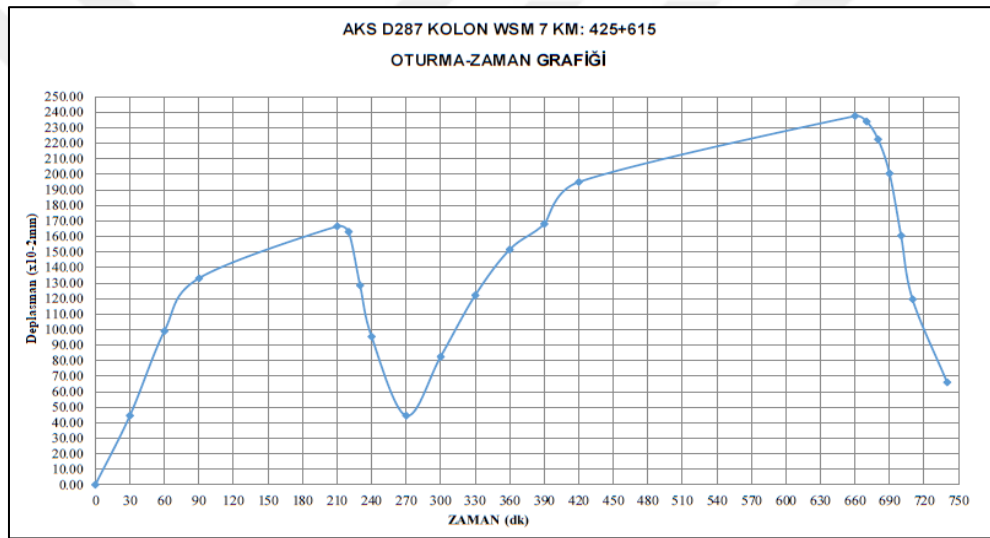
ADANA-İNCİRLİK TOPRAKKALE İSTASYONLARI ARASI 2. HAT YAPIMI VE MEVCUT HATTIN REHABİLİTASYONU YAPIM İŞİ DERİN KARIŞTIRMA (WSM) Yükleme Deneyi Uygulama Formu					
AKS: D 287 KOLON: WSM 7 KM: 425+615					
Tarih	Saat	Süre (dak)	Manometre Okuması (bar)	Yük (ton)	KOMPARATÖR SAATİ OKUMALARI ORT. (1/100 mm)
	07:00	0	0	0,00	0,00
		30	63	8,75	44,50
		30	126	17,50	99,00
		30	190	26,25	133,00
		120	253	35,00	166,50
		10	190	26,25	163,00
		10	126	17,50	128,50
		10	63	8,75	95,50
		30	0	0,00	44,50
		30	63	8,75	82,50
		30	126	17,50	122,00
		30	190	26,25	151,50
		30	253	35,00	168,00
		30	303	43,75	195,00
		240	380	52,50	237,50
		10	303	43,75	234,00
		10	253	35,00	222,50
		10	190	26,25	200,50
		10	126	17,50	160,50
		10	63	8,75	119,50
		30	0	0,00	66,00



Şekil 5.32. KM 425+615 Oturma-Yük grafiği



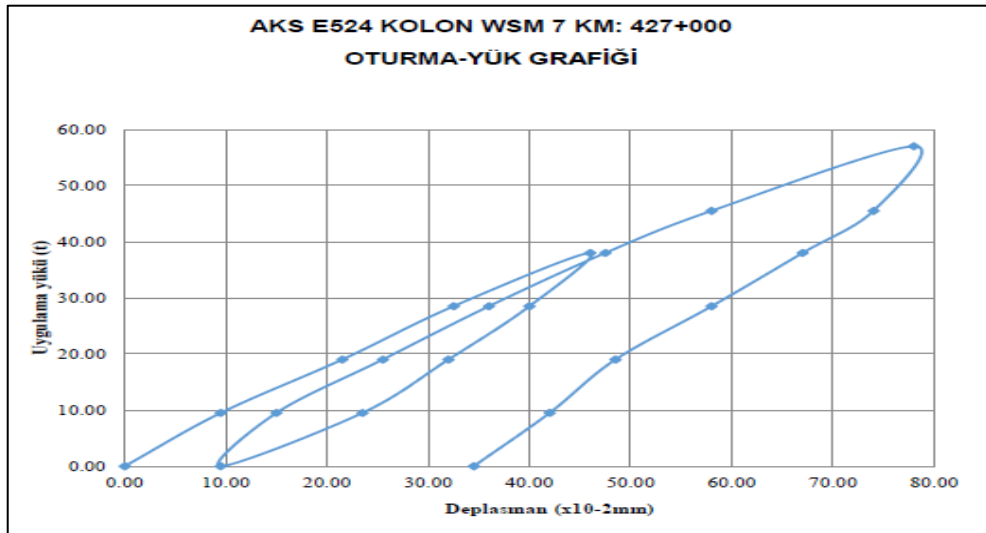
Şekil 5.33. KM 425+615 Yük-Zaman grafiği



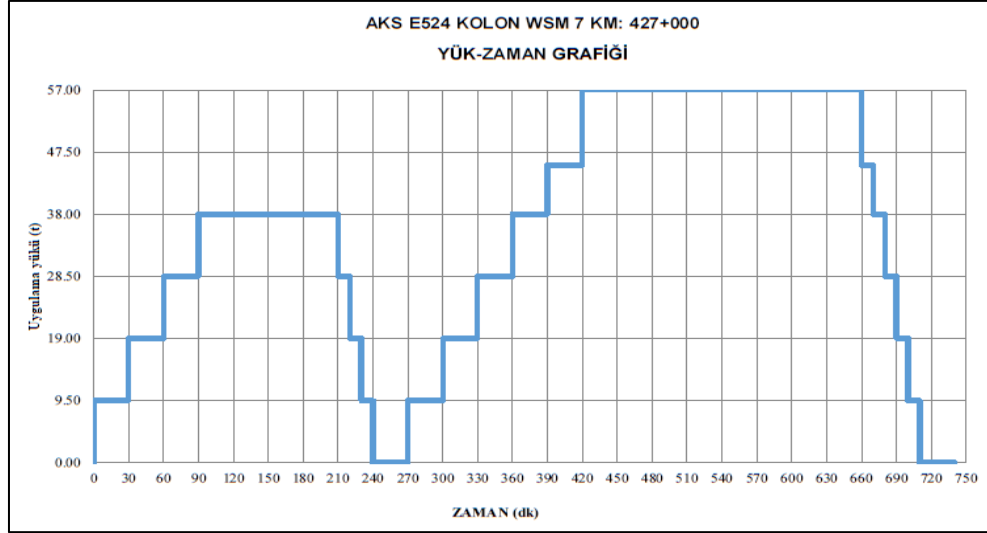
Şekil 5.34. KM 425+615 Oturma-Zaman grafiği

Çizelge 5.22. 427+000 Yükleme Deneyi uygulama formu

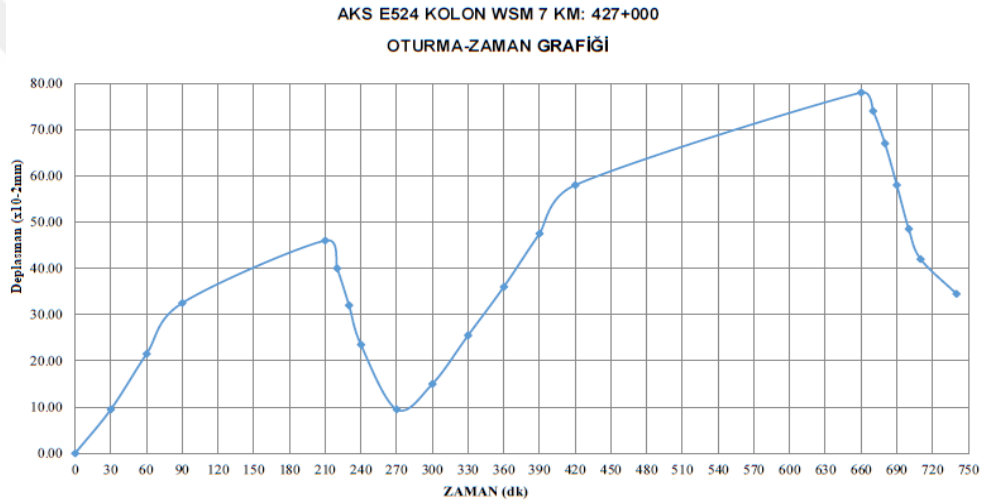
ADANA-İNCİRLİK TOPRAKKALE İSTASYONLARI ARASI 2. HAT YAPIMI VE MEVCUT HATTIN REHABİLİTASYONU YAPIM İŞİ DERİN KARIŞTIRMA (WSM) Yükleme Deneyi Uygulama Formu					
AKS: E 524 KOLON: WSM 7 KM: 427+000					
Tarih	Saat	Süre (dak)	Manometre Okuması (bar)	Yük (ton)	KOMPARATÖR SAATİ OKUMALARI ORTALAMASI (1/100 mm)
	07:00	0	0	0,00	0,00
		30	63	9,50	9,50
		30	126	19,00	21,50
		30	190	28,50	32,50
		120	253	38,00	46,00
		10	190	28,50	40,00
		10	126	19,00	32,00
		10	63	9,50	23,50
		30	0	0,00	9,50
		30	63	9,50	15,00
		30	126	19,00	25,50
		30	190	28,50	36,00
		30	253	38,00	47,50
		30	303	45,50	58,00
		240	380	57,00	78,00
		10	303	45,50	74,00
		10	253	38,00	67,00
		10	190	28,50	58,00
		10	126	19,00	48,50
		10	63	9,50	42,00
		30	0	0,00	34,50



Şekil 5.35. KM 427+000 Oturma-Yük grafiği



Şekil 5.36. KM 427+000 Yük-zaman grafiği



Şekil 5.37. KM 427+000 Oturma-Zaman grafiği

5.11. Derin Karıştırma Kolonları İçin Süreklilik/Bütünlülük Test Sonuçları

Düşük deformasyon seviyeli bir deney olan süreklilik deneyi, yapı elemanlarında taşıma kapasitesini etkileyebilecek ana süreksizliklerin ve boyunun yorumlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. İvmeölçer sinyali büyütülüp, özellikle zayıf uç sinyalleri bütün detay bilgileri korunarak dijital forma çevrilmiştir. Hız, ivme sinyalinin integrali alınarak hesaplanmaktadır. Hız-zaman grafikleri aletin ekranında görüntülenmektedir. Süreklilik deney sinyalleri, yapı elemanı kesit değişimi, zemin özellikleri, kolon özgül ağırlığı aynı zamanda kolondaki boşluklar ve kırıklar gibi yapı elemanının öz direncini etkileyen hususlara göre davranış sergiler.

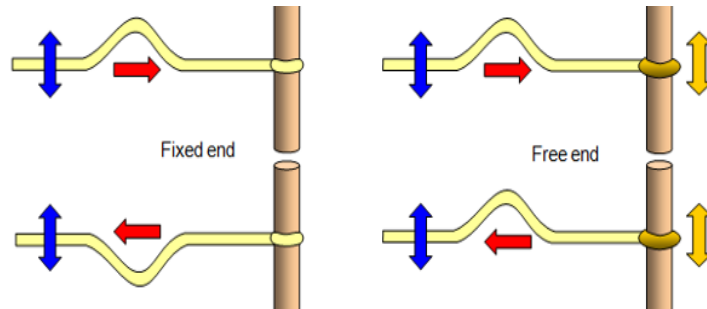
Çalışmalarda kullanılan cihazın çalışma prensibi, yapay olarak oluşturulan dalganın homojen ortamda yayılması ile yoğunluk ve öz direnç farkı gözlenen ortamda

yayılması arasındaki korelasyonun yorumlanması prensibine dayanmaktadır. Bu bağlamda, dalga denklemi analizi teorik olarak rijit bir cisim içinde, bir boyutlu dalga yayılımı teorisine dayanmaktadır ve deney sonuçları basınç dalgası teorisi kullanılarak değerlendirilmektedir. Analizler, basınç dalgasının kolon eksenini boyunca yayılmasını temel almaktadır. Basınç dalgası bir çekiç darbesi ile oluşturulmaktadır. Oluşan basınç darbesi, kolon eksenini boyunca ilerlemektedir ve kolon şaftındaki akustik empedans değişimleri yansıyan dalgalar üretmektedir. Çoğu durumda bu değişimler kolondaki kesit alanı değişiminden kaynaklanmaktadır. Deney setinde, ivme ölçer, plastik başlı çekiç, macun, pil, tablet veya diz üstü bilgisayar bulunmaktadır.



Şekil 5.38. Çalışmalarda kullanılan test ekipmanları

Yapı elemanına bir çekiçle vurulduğu zaman kolon üzerinde, küçük bir dalga olarak modellenebilecek bir etki oluşmaktadır. Bu etki yapı elemanının başlığına yerleştirilen ve duyarlılık eksenini kazık eksenine paralel olan akselometreler marifeti ile algılanır. Bir süreklilik deneyi sinyali, kolon kesitindeki değişim, zemin karakteristikleri, kazık yoğunluğundaki değişimler, çatlaklar, kırıklar vb. gibi empedanstaki değişime sebep olacak bilgiler içermektedir. Kolondaki süreksizliklerden ve kolonla zemin arasındaki yüzeyin pürüzlülüğünden dolayı dalgada yansımalar da meydana gelebilmektedir. İlerleyen ve yansıyan dalgalar ve daha sonraki yansılardan dolayı oluşacak bütün dalgalar kolon uzunluğu boyunca birbirleriyle girişim halinde bulunacaklardır.



Şekil 5.39. Serbest uçlu ve sabit uçlu kazıkta dalganın yayılımı

Çizelge 5.23. Süreklilik test lokasyon listesi

NO	KOLON			PİT ile tespit edilen deney boyu
	KM	Adı	Proje Boyu (m)	
1	424+900	D1-8	8,0	10,60
2	424+950	D21-5	8,0	10,00
3	425+000	D41-5	8,0	8,50
4	425+050	D61-6	8,0	10,00
5	425+100	D81-7	8,0	8,90
6	425+200	D121-5	8,0	10,00
7	425+250	D141-8	8,0	9,00
8	425+300	D161-7	8,0	10,00
9	425+350	D181-6	8,0	10,00
10	425+450	D221-5	8,0	10,00
11	425+500	D241-8	8,0	10,00
12	425+550	D261-8	8,0	10,00
13	425+600	D281-7	8,0	10,00
14	425+650	D301-6	8,0	8,20
15	425+700	E1-7	12,0	12,40
16	425+750	E21-8	12,0	14,00
17	425+800	E41-5	12,0	12,00
18	425+850	E61-8	12,0	14,00
19	425+900	E81-8	12,0	11,90
20	425+950	E101-7	12,0	11,50
21	426+000	E121-7	12,0	11,80
22	426+050	E141-6	12,0	11,70
23	426+150	E181-8	12,0	12,20
24	426+200	E201-8	12,0	12,30
25	426+250	E221-5	12,0	11,90
26	426+300	E241-6	12,0	11,70
27	426+350	E261-7	12,0	12,20
28	426+380	E273-6	12,0	12,70
29	426+428	E292-5	12,0	12,00
30	426+448	E300-7	12,0	12,00
31	426+500	E321-5	12,0	13,60
32	426+525	E331-5	12,0	11,20
33	426+553	E342-6	12,0	13,50
34	426+578	E352-6	12,0	12,00
35	426+618	E368-6	12,0	12,40
36	426+630	E373-5	12,0	12,00
37	426+658	E384-5	12,0	12,00
38	426+710	E405-5	12,0	11,60
39	426+748	E420-7	12,0	11,90
40	426+763	E426-5	12,0	12,00
41	426+780	E433-6	12,0	12,00
42	426+800	E441-5	12,0	12,00
43	426+823	E450-6	12,0	12,00
44	426+845	E459-5	12,0	12,00
45	426+860	E465-6	12,0	11,20
46	426+898	E480-5	12,0	12,00
47	426+913	E486-6	12,0	11,20
48	426+933	E494-6	12,0	12,00
49	426+955	E503-5	12,0	13,20
50	426+975	E511-5	12,0	11,50
51	427+013	E526-8	12,0	12,00
52	427+033	E534-5	12,0	12,00
53	427+055	E543-5	12,0	12,00

Deneylerin yapılması esnasında kolon başlarının proje mukavemet seviyesine kadar açılmış ve temizlenmiş olmasına, ortamın yüzey sularından ve ikincil sarsıntılardan arındırılmış olmasına, kolon imalatlarının üzerinden belli bir sürenin geçmiş olmasına, ortalamaları alınmak üzere birden fazla sinyal alınmasına dikkat edilmelidir.



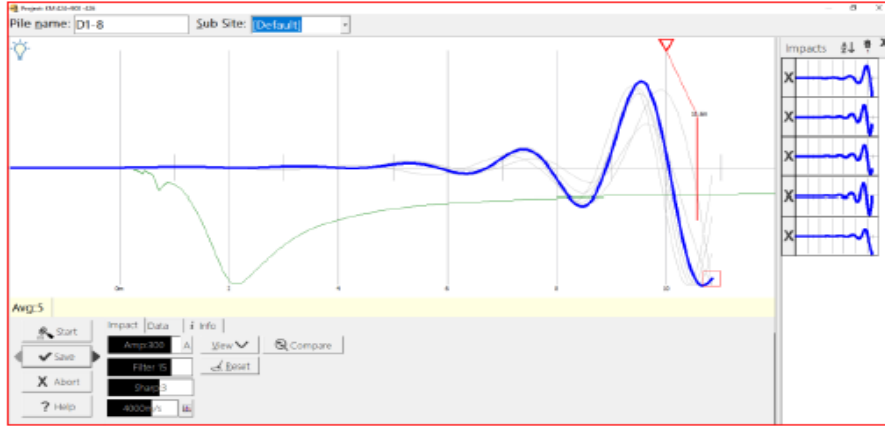
Şekil 5.40. Süreklilik test çalışmalarından bir görüntü

Süreklilik testinde;

- Verilerin yorumlanması işi tamamen mühendislik tecrübesi ve yorum yapabilme becerisi ile ilgilidir (ASTM D 5882-95, Madde 6.6.3)
- Süreklilik değerlendirmesi tek başına yapı elemanının kabulü veya reddi amacı ile kullanılamaz (ASTM D 5882-95, Madde 6.6.4)
- Bu deney yapı elemanının taşıma gücü hakkında bilgi veren bir deney değildir (ASTM D 5882-95, Madde 4.1)
- Kolon ucu, kolon boyut değişimi, kolon içerisine ilişkin malzemelerin nüfuz etmesi, çatlaklar, kolon ekleri, kolon imalatında kullanılan malzeme kalitesindeki değişim gibi faktörler dalga yayılımında yansıma olan durumlardır.

NO	KOLON			DENEY TARİHİ	PİT İLE TESPİT EDİLEN DENEY BOYU	AÇIKLAMA
	KM	ADI	PROJE BOYU (m)			
1	424+900	D1-8	8.0		10,60	

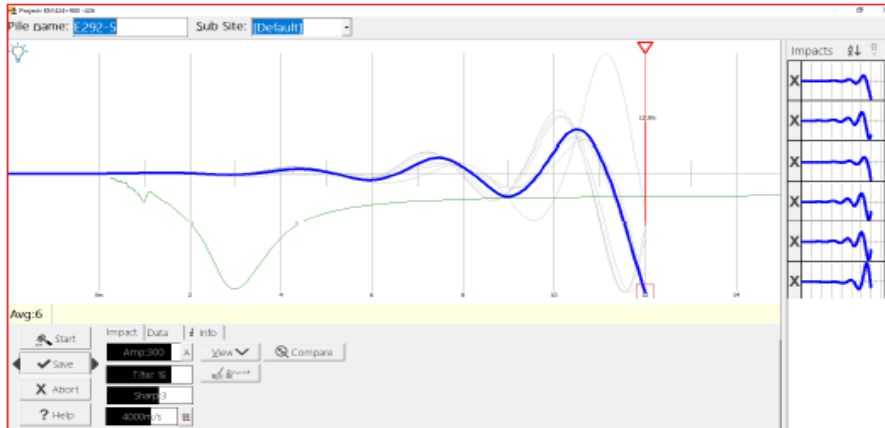
Değerlendirme: Kolon imalat boyunca sürekli. İmalat Boyu: OK



Şekil 5.41. KM 424+900 süreklilik testi sonuçları

NO	KOLON			DENEY TARİHİ	PİT İLE TESPİT EDİLEN DENEY BOYU	AÇIKLAMA
	KM	ADI	PROJE BOYU (m)			
29	426+428	E292-5	12.0		12,00	

Değerlendirme: Kolon imalat boyunca sürekli. İmalat Boyu: OK



Şekil 5.42. KM 426+428 süreklilik test sonucu

Yapılan deneyler sonucunda imal edilen derin karıştırma kolonlarında iyileştirilmiş zemin kapasitesini olumsuz yönde etkileyecek herhangi bir majör anomali sinyaline rastlanmamıştır. Ayrıca kolonların planlanan derinliklere ulaştığı ve süreklilik arz ettiği tespit edilmiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Zemin iyileştirme işlerinde verilecek kararlar ve proje sürecinde tecrübe çok önemli bir yere sahiptir. Bunun yanı sıra proje esnasında arazi ile ilgili iyileştirme öncesi ve sonrası sonuçlar dikkatle takip edilmeli, yapılan iyileştirmenin istenilen oranda gerçekleşip gerçekleşmediği belirlenmelidir. Demiryollarında iyi bir altyapı tasarımı yapılmadan, üstyapıda en iyi malzemeler kullanılmış olsa bile bir demiryolu hattının üzerine gelen kuvvetleri güvenli şekilde karşılaması, seyir güvenliği sağlaması, üstyapı elemanlarında şekil değiştirmeye ve bozulmalara neden olacak etkilerin ortadan kaldırılması mümkün olmayacaktır.

Ülkemizde demiryolu ağlarının büyük bir kısmı yetersiz ve bakımsız altyapı ile hizmet vermektedir. Bu hatların altyapılarının iyileştirilmesi zor ve yüksek maliyetlidir. İyileştirmenin yapılması durumunda, üstyapıda meydana gelecek bozulmaların daha az olacağı, buna bağlı olarak da işletme maliyetlerinin düşeceği, daha konforlu ve hızlı bir seyahat imkânı sağlanacağı bir gerçektir.

Demiryollarının yenilenmesi ve yeni yol yapımlarında teknolojik gelişmeler de göz önüne alındığında hem yapım süresi hem maliyet hem de kullanım ömrü açısından en uygun şekilde altyapının dizayn edilmesi büyük önem taşımaktadır. Demiryolu hatlarında taşıma gücü ve oturma problemlerini belirlemeye yönelik analizler analitik ve nümerik olarak yapılabilmektedir. Tren yükleri ve dolgular tarafından zemine etkileyen dinamik yükler zeminlerde deformasyonlara yol açmaktadır. Bu amaçla taşıma gücü hesaplarından sonra zeminde oluşacak ani ve konsolidasyon oturmaları hesaplanması gerekmektedir.

Tez çalışmasında Adana-İncirlik hattındaki altyapıda iyileştirme yöntemi olarak derin karıştırma yöntemi ve kimyasal katkılı çimento stabilizasyonu (Novocrete®), ile iyileştirme yapılmıştır. Arazide yapılan uygulamalara ait hesaplamalar ve laboratuvar çalışmalarına tez çalışmasında yer verilmiştir. Laboratuvar çalışmaları Zafer Mühendislik Yeraltı Araştırma Merkezinde ve Konya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarında yapılmıştır.

Adana-İncirlik hattında yapılan sondaj verilerine göre demiryolu hattında killi, siltli-killi birimler olarak belirlenmiştir. Demiryolu hattı altında kalan 1,50–7,50m kalınlığındaki zeminin ortalama SPT-N değeri 9-15 arasındadır. İnşa edilecek demiryolu hattı için zeminden 1-2 m yüksekliğinde dolgu yapılması gerekmektedir. Killi birimlerde Skempton (1961), taşıma gücü formülü kullanılarak zeminin emniyetli taşıma kapasitesi 46,80-79,73 kPa arasında hesaplanmıştır. Eurocode LM-71

standardına göre demiryolu yükü 80,00 kPa olarak belirlenmiş ve dolgu tabanı altında oluşacak gerilme artışı hesaplanmıştır. Bunun sonucunda zeminde taşıma gücü problemi oluşacağı belirlenmiştir. Bu amaçla hatta derin karıştırma yöntemi ve kimyasal katkılı çimento stabilizasyonu (Novocrete®), ile iyileştirme yapılması uygun görülmüştür.

Projede Novocrete® ile yapılan iyileştirme sonucunda şartnameye göre E_{v2} değerinin 45 MPa değerinden büyük olması şartı aranmakta olup, yapılan plaka yükleme deneyleri sonrasında alınan değerlerde minimum 265 Mpa değerleri elde edilmiştir. Kullanılan malzeme ile şartnamede istenen değerlere ulaşıldığı görülmüştür. Bunun yanı sıra doğal durumda ve Novocrete® kullanılması durumunda taşıma gücü sonuçları karşılaştırmalı olarak aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 6.1. Doğal durumda ve Novocrete® kullanıldığında taşıma gücü sonuçları

KM	Ceyhan-Günyazı		Sondaj No	Oturmalar Doğal			Oturmalar Novocrete®		
	Uyg (m)	Zemin		Ani	Kons.	Toplam	Ani	Kons.	Toplam
424+100-424+900	800	Çok katı kumlu kil	C9	5,74	1,20	6,94	2,57	1,02	3,59
427+700-428+000	300	Çok katı siltli kil		4,93	1,23	6,16	2,18	1,05	3,23
428+500-429+700	1200	Orta katı kumlu kil	C14	5,51	1,24	6,75	2,33	1,05	3,38

Ayrıca, söz konusu güzergahta Novocrete® malzemesi ile yapılan daha önceki projelerin (Afyon-Sandıklı-Dinar ve Samsun-Kalın) verileri incelendiğinde imalatlar sonu test sonuçlarının şartname kabul değerlerinin bariz üstünde olması ile Novocrete® uygulamasının beklenenden çok daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Novocrete® uygulanan zeminlerde sistem bir bütün olarak ele alınmıştır. Örneğin alt zeminde meydana gelebilecek belli çökelmeler sonrasında Novocrete® tabakası bir bütün olarak ve tek bir alan olarak çökelmektedir. Ayrı ayrı çökelmeler meydana gelmez. Novocrete® tabakasının bakım gerektirmemesi ve masif bir temel tabakası olmasından dolayı uzun kullanım ömrü sağlaması önemlidir. Novocrete® tabakasında doldurulması gereken boşluklar yoktur, ayrıca çökme de olmaz. Bundan dolayı daha sonra bakım gerektirecek bir aşama yoktur. Donmaya karşı direncinden dolayı tabakanın kaldırılması gerekmez.

Homojen karışım esnasında uzun, yatay ve dikey kristaller oluşturarak daha yüksek "PSI" oluşturarak yükü yanal olarak dağıtmaktadır. Yüksek basınç dayanımı, yüksek elastikiyet ve geçirimsiz bir yapıyı mevcut bir zemine tam olarak

kazandırdığından, zemine su girmez. Bu yüzden zeminde donma olmaz ve dondan dolayı genleşme olmadığından zeminde deformasyon oluşmaz.

Zemin iyileştirilmesinde kimyasal katkılı çimento stabilizasyonu kullanılması durumunda ilave bir kazıya gerek duyulmaması ve temel katmanının inşasında mevcut toprağın kullanılması hem ekonomik yönden hem de zaman yönünden avantaj teşkil etmektedir. Böyle bir durumda öğütülmüş mineral-mıcırın temel alt tabakasında kullanılmasına gerek duyulmamaktadır. Stabilizasyon esnasında temelin altına belli bir eğim verilmek suretiyle inşaat alanının drenajı sağlanmaktadır.

Kimyasal katkılı çimento stabilizasyonu, diğer stabilizasyon yöntemlerine göre (kaya dolgu, geokompozit, vb.) imalat süresini % 60-70 oranında azaltmaktadır. Kullanılacağı alana ilave bir nakliye maliyeti bulunmamaktadır. Bu sayede aynı zamanda trafik yoğunluğunun çevreye olabilecek olumsuz etkilerini ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca iyileştirme yapılacak bölgede kullanılmak üzere dolgu malzemesi maliyeti sıfırdır.

Kullanılan stabilizasyon malzemesinin, daha önceki deneyimler ve yapılan testlerin sonucuna göre uzun süre dayanıklılık sağlayacağı ve ağır yük taşıma kapasitesine sahip olacağı düşünülmektedir. Bunun yanı sıra su geçirimsizliği sağlaması (donmadan dolayı patlama, vb. etkilerin olmaması), asit, tuz ve kimyasallara karşı dirençli olması ile zemin türlerinin neredeyse tamamına uygulanabilir olması büyük bir avantaj teşkil etmektedir.

Çimento ve Novocrete® ile derin karıştırma yöntemi kullanılarak farklı özelliklerdeki zeminlerin iyileştirilmesi sonucu imal edilen zemin tabakası yüksek dayanım değerlerine ulaşmaktadır. Bunun yanı sıra bu malzemelerin kullanılması ile oluşturulan temel, alt temel veya taşıyıcı tabaka homojen, geçirimsiz, yüksek dayanımlı ve düşük deformasyon değerlerine ulaşmaktadır.

Uygulanacak zemin iyileştirilmesi belirlenirken proje gereksinimleri kesin olarak belirlenmeli ve süre, nakliye, ekonomi, verim, istenen değerlere ulaşabilme, malzeme temini, kalifiye personel ihtiyacı gibi çeşitli kriterle göz önüne alınarak en doğru yöntemin seçilmesi gerekmektedir.

Derin karıştırma yöntemi maliyetinin düşük olması, kolay uygulanabilirliği ve çevreye olan minimum etkisi ile son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmış bir yöntemdir. Bu yöntem ile istenilen özelliklere sahip olamayan mukavemeti düşük olan zeminlerde yüksek modüllü kolonlar oluşturularak taşıma gücü arttırılmaktadır.

Derin karıştırma yönteminde zeminin yerinde karıştırılması sayesinde zemin bağlayıcı ile priz almakta ve bu da üniform bir kolon çapı elde edilmesini sağlamaktadır. Bunun yanı sıra mevcut zemini kullanmasından dolayı kaynak tüketimi konusunda verimlilik sağlamakta ve zayıf zeminler için pratik ve hızlı sonuçlar vermektedir. Yerinde yapılan uygulama olmasından dolayı çevreye etkisi minimum seviyededir. Derin karıştırma yönteminde üstyapıdan gelen yükleri rijit kolonların taşımasından dolayı oturmalar azalmaktadır.

Çizelge 6.2. Yükleme deney sonuçları

Sıra No	Numune No	Yükleme Kademesi	Toplam Oturma (mm)	Kalıcı Oturma (mm)	Numune Boy (m)
1	425+615	35 ton (Proje yükü)	1,66	1,21	8,00
		52,50 ton (proje yükü %150)	2,37	1,71	
2	425+870	38 ton (Proje yükü)	1,88	0,92	12,00
		57,00 ton (Proje yükü %150)	2,74	1,41	
3	426+072	38 ton (Proje yükü)	0,99	0,57	12,00
		57,00 ton (Proje yükü %150)	1,74	0,90	
4	426+202	38 ton (Proje yükü)	0,92	0,82	12,00
		57,00 ton (Proje yükü %150)	1,29	1,06	
5	426+675	38 ton (Proje yükü)	0,82	0,70	12,00
		57,00 ton (Proje yükü %150)	1,07	0,72	
6	427+000	38 ton (Proje yükü)	0,46	0,37	12,00
		57,00 ton (Proje yükü %150)	0,78	0,44	

Adana-İncirlik-Toprakkale projesinde incelenen bölümde elde edilen maksimum oturma değerleri ve kalıcı oturma değerleri dikkate alındığında; proje tasarımında yatak katsayısının belirlenmesinde kullanılan Bowles (1996) yaklaşımında müsaade edilen deplasman sınırı 25 mm olarak belirlenmiştir. Elde edilen deformasyonlar tasarımda dikkate alınan değerlerin altında olup, tasarım kriterlerini sağlamıştır.

Bunun yanı sıra incelenen kesimde imal edilen derin karıştırma kolonlarında yapılan deneyler sonucunda iyileştirilmiş zemin kapasitesini olumsuz yönde etkileyecek herhangi bir majör anomali sinyaline rastlanmadığı ve kolonların planlanan derinliklere ulaştığı ve süreklilik arz ettiği de tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, demiryolu projelendirmeleri esnasında ve daha sonra yapılacak imalatlar esnasında her proje gerek deneysel özellikler ve gerekse projede istenen kriterler bazında değerlendirilmelidir. Demiryolu altyapısı oluşturulurken, projenin uygulanacağı sahanın zemin özelliklerinin ayrıntılı olarak gerek arazi gerekse laboratuvar araştırmaları ile belirlenmesi gerekmektedir. Demiryolu üstyapısında meydana gelen birçok bozulmanın altyapı kaynaklı olduğu bilinmekte olup, altyapının sağlam ve standartlara uygun şekilde tasarlanarak inşa edilmesi büyük öneme sahiptir. Bundan dolayı, altyapı oluşturulurken zemin parametrelerine göre zeminin

iyileştirilmesi ve gelen yükleri taşıyabilecek değerlere uygun imal edilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, zeminin iyileştirilmesi esnasında projenin yeri, çevreye olan etkileri, projenin içinde bulunduğu coğrafi yapı ve durum, maliyet, ekipman temini, kalifiye personel temini, süresi gibi etkenler de göz önünde bulundurulmalı ve en uygun iyileştirme yöntemi belirlenmelidir.



KAYNAKLAR

- Zemin iyileştirme yöntemleri, <http://imb.cu.edu.tr/tr/Belgeler/ZM2-2.oturum.pdf>:
- Internet, www.imtek.com.tr:
- Internet, www.jags.com.tr:
- JAFEC USA INC Geotechnical Constructors, <http://jafecusa.com/?pageid=14>:
- 2017, Deney Raporları, *Sistem Jeoteknik Müh. Laboratuvar Hizmetleri Sondaj Madencilik Tic. Ltd. Şti, Ankara.*
- 719R, U. C., 1994, Earthworks and Track-Bed Layers for Railway Lines, International Union of Railways Paris.
- Akbaş, G., 2008, Demiryollarında altyapının teknik tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- Akbulut, S., 1999, Enjeksiyon ile granür zeminlerin jeoteknik özelliklerinin iyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- Altun, S., 2010, Zemin iyileştirme yöntemleri, derin temeller ve uygulama örnekleri. Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği İnşaat Mühendisleri Odası Semineri. İzmir.
- Anonim, 2017, TCDD Demiryolu Modernizasyon Dairesi Başkanlığı Adana-Toprakkale demiryolu hattı Km. 380+300-448+599,38 güzergâh jeoteknik değerlendirme raporu, TCDD, Ankara.
- Anonim, 2013, TCDD Yol Dairesi Başkanlığı İncirlik- Toprakkale istasyonları arası II. hat proje revizyonu yapılması işi jeoloji-hidrojeoloji-mühendislik jeolojisi raporu, TCDD, Ankara.
- ASTM, 2000, D 5882-95, Standard test method for low strain impact integrity testing of piles-deep foundations, *American Society For Testing and Materials, USA.*
- Ay, İ., 2014, Geosentetik Malzemelerin Demiryollarında Kullanımı ve Balast-Alt Balast Tabaka Kalınlıklarının Azaltılması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- Ayan, E., 2009, Derin Zemin İyileştirme Yöntemleri ve Uygulamadan Örnekler, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- Aydın, E., 2006, Trakya demiryolu hattı iyileştirilmesi için standartlar.
- Barmak, B., 2011, Derin zemin iyileştirme yöntemleri ve taş kolon uygulaması, Yüksek Lisans Semineri, *Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat.*

- Bergado, D., Ruenkrairergsa, T., Taesiri, Y. ve Balasubramaniam, A. S., 1999, Deep soil mixing used to reduce embankment settlement, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement*, 3 (4), 145-162.
- Bildik, S., 2017, Zemin iyileştirme yöntemleri, *İMO İstanbul Şubesi*, İstanbul.
- Bowles, J. E., 1996, Foundation analysis and design, McGraw-Hill Company, USA, p.
- Bruce, M., Berg, R., Collin, J., Filz, G., Terashi, M. ve Yang, D. J. U. D. o. T., Federal Highway Administration, McLean, VA, 2013, Federal Highway Administration Design Manual: Deep Mixing for Embankment and Foundation Support, FHWA-HRT-13-046.
- Burrow, M., Ghataora, G. ve Stirling, A., 2005, A rational approach to railway track substructure design, *Proceedings of the Conference on Excellence in Railway Systems Engineering and Integration*, Catalis Training Center, London.
- CORUK, Ö., KAVAK, A. ve AYDINER, A., 2017, Demiryollarında Zemin İyileştirilmesinde Novocrete® Uygulamaları, *Demiryolu Mühendisliği* (6), 73-78.
- Çetin, H., Zemin ıslah yöntemleri, <https://docplayer.biz.tr/47697721-Zemin-islak-yontemleri-prof-dr-hasan-cetin.html>:
- Demiröz, A. ve Karaduman, M., 2009, Zemin iyileştirme metotları, *Selçuk Teknik Dergisi*, Cilt 8, Sayı 3-2009.
- Durgunoğlu, H. T., 2008, Zeminlerde karşılaşılan problemler ve zemin iyileştirmesi, *Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Deprem ve Yapı Bilimleri Ana Bilim Dalı Bahar Sempozyumu*, Gebze.
- Ekim, O., 2007, Yüksek hızlı demiryolları için geometrik özellikler ve altyapı, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- EN, T., 2006, 14679, Özel jeoteknik uygulamalar-Derin karıştırma. TSE, Ankara.
- Esveld, C., Modern Railway Track, 1989 (MRT-Productions, Duisburg, Germany), p.
- Esveld, C. ve Esveld, C., 2001, Modern railway track, MRT-productions Zaltbommel, p.
- Evren, G., 2001, Toprak işleri, *İstanbul*, Birsen Yayınevi, p.
- Evren, G., 2002, Demiryolu, *İstanbul*, Birsen Yayınevi, p.
- Gündoğdu, A.E.K., 2019, Karaman-Ulukışla hızlı tren hattı güzergahı ve sanat yapılarında karşılaşılan geoteknik problemler ve çözümleri, Yüksek Lisans Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

- Kaya, Z., 2016, Derin karıştırma kolonlarının ölçülen ve hesaplanan kapasitelerinin tam ölçekli yükleme deneyleri ile incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Kılıç, H. O., 2013, Derin karıştırma yöntemi tasarım ve uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.
- Kitazume, M. ve Terashi, M., 2013, The deep mixing method, *Netherlands*, CRC press, p.
- Kocabıyık, A., 2018, Derin karıştırma (deep mixing) ile taş kolon zemin iyileştirme metotlarının karşılaştırılması, Uzmanlık Tezi, *İller Bankası Anonim Şirketi*, Ankara.
- Küçükali, N., 2008, Demiryolu altyapısının jet enjeksiyon yöntemi ile iyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.
- Lichtberger, B., 2011, Track compendium: formation, permanent way, maintenance, economics., Hamburg: Eurailpress.
- Mittal, A. V. ve Maurya, S. K., 2007, Ballast specification for high axle load and high speed, *Indian railway institute of civil engineering, research project, session No:721*.
- Mungan, H., 2016, Zeminin kırma taş kolonları ile iyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Murthy, V. N. S., 2002, Geotechnical Engineering, CRC Press.
- Nalçakan, M. S., 2004, Problemler zeminlerde geoteknik çözümler, *TMH Türkiye Mühendislik Haberleri*, 2 (430), 29-30.
- NYSDOT, 2013, Geotechnical Design Manual Chapter 14 Ground Improvement Technology.
- Onur, M. İ., Tuncan, A., Kılıç, H. O. ve Tuncan, M., 2016, Yeni Bir Derin Zemin Karıştırma Sistemi Tasarımı ve Arazi Uygulamaları, *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9 (3), 194-205.
- Öztürk, Z. ve Arlı, V., 2006, Demiryolunda koruyucu tabakaların işlevleri ve uygulanma prensipleri, *International Railway Symposium*.
- Öztürk, Z. ve Arlı, V., 2009, Demiryolu mühendisliği, İstanbul Ulaşım AŞ, p.
- Özudoğru, T. Y., Şenol, A. ve Taylan, Z. N., 2009, Kazıklarda sinyal eşleme yöntemi ve çakılabilirlik analizi, *İMO Teknik Dergisi*, 20 (98), 4793-4810.
- Profillidis, V. A., 2000, Railway engineering, p.

- Radampola, S. S., 2006, Evaluation and modelling performance of capping layer in rail track substructure, PhD Thesis, *Central Queensland University Centre for Railway Engineering Queensland*.
- Sağlam, A., 1985, Zemin ıslah metotları. DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Schmidt, G. C., 1961, Stratigraphic nomenclature for the Adana region petroleum district VII, *Petroleum Administration Bull*, Ankara, 47-63.
- Semiz, E., 2009, Metro inşasında kullanılan zemin iyileştirme çalışmalarının değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Specifications, 2012, LRFD Bridge Design, Washington, DC, USA, *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*.
- Toksoy, S., 2017, Demiryolu altyapı güçlendirmesinde geosentetiklerin kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, *Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Topolnicki, M., 2004, In situ soil mixing. Ground Improvement, *Oxford*, p.
- Tunç, A., 2002, Yol mühendisliğinde geoteknik ve uygulamalar, Atlas Yayın Dağıtım, p.
- UIC, 2003, 702 Static loading diagrams to be taken into consideration for the design of rail carrying structures on lines used by international services, International Union for Railways, Paris.
- Yalçın, N. S. ve Erel, A., 2007, Yüksek Hızlı Demiryollarında Altyapının Önemi Ve Tasarım İlkeleri, *İMO 7. Ulaştırma Kongresi*, İstanbul, 19-21.
- Ye, G., Xu, C. ve Gao, Y., 2006, Improving soft soil using combined cement deep mixing column and preloading with prefabricated vertical drains, In: *Ground Modification and Seismic Mitigation*, Eds, p. 23-28.
- Yemenici, B. ve Çoruk, Ö., 2017, Zeminlerin yerinde iyileştirilmesinde Novocrete® teknolojisi ve uygulamaları. MÜHJEO'2017: Ulusal Mühendislik Jeolojisi ve Jeoteknik Sempozyumu. ÇÜ, Adana.
- Yetiş, C. ve Demirkol, C., 1986, Adana baseni batı kesiminin detay jeoloji etüdü, *MTA Raporu, Rapor No:8037, Ankara*.
- Yetiş, C., Demirkol, C., Lagop, H. ve Ünlügenç, U. C., 1991, Kozan-K20 paftası: MTA, 1/100000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları,, Ankara:
- Yi, Y., Liu, S., Zhang, D. ve Zhu, Z., 2009, Experimental study on T-shaped soil-cement deep mixing column composite foundation, *Slope Stability, Retaining Walls, and Foundations: Selected Papers from the 2009 GeoHunan International Conference*, 1-7.
- Yıldırım, S., 2002, Zemin incelemesi ve temel tasarımı, Birsen yayınevi, p.

Yüksel, P., 2007, Geoteknik tasarım esasları, *T.C. Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları, Limanlar, Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü, Ankara.*

Zümrüt, S., 2018, Bozkurt-Dinar (Afyon) istasyonları arası demiryolu hattı sondaj ve zemin iyileştirme çalışmaları, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.*



EKLER

SONDAJ LOGLARI



ZAFER MÜHÜR										SONDAJ NO / BORING NO : SK-C10 (425+160)								
SONDAJ LOGU / BORING LOG										SAYFA NO / PAGE NO : 1								
SONDÖR / DRILLER : Murat ANAZ																		
PROJE ADI / PROJECT NAME : İNCİRLİK-TOPRAKKALE DEMİRYOLU REHABİLİTASYON PROJESİ																		
SONDAJ YERİ / BORING LOCATION : CEYHAN / ADANA																		
KİLOMETRE / KILOMETER : 425+160				Muhafaza Borusu Derinliği / Casing Depth :														
SONDAJ DERİNLİĞİ / BORING DEEPTH : 21,00 m				Baş. Ve Bitiş Tarihi / Start and Finish Date : 12.01.2017-13.01.2017														
SONDAJ KOTU / ELEVATION : 29,852				Koordinat Coordinate X : 490415,0820				Koordinat Coordinate Y : 4101556,1510										
YERALTISUYU / GRANDWATER : 2,2				Koordinat Coordinate Z : 29,8520														
DERİNLİK / DEPTH	NUMUNE NO / SAMPLE NO	TİPİ / TYPE	MANİPÜLE RİN / RUN	STANDART PENETRASYON DENEYİ / STANDARD PENETRATION TEST						JEOTEKNİK TANIMLAMA / GEOTECHNICAL DESCRIPTION	PROFİL / PROFILE	P PRESİYOMETRE / PRESSIOMETRE		BAŞANBİLİK / STRENGTH	AYRISMA / WEATHERING	KIRIK / 30 CM / FRACTURE / 30 CM	KAROT % / CORECOVERY %	RQD %
				DARBE SAYISI / NUMBER OF BLOWS			GRAFIK / GRAPH					P ₁ / Kg/cm ²	P ₂ / Kg/cm ²					
21,00	SPT-14		21.00-21.45	7	7	6	13											
22,00									KUYU SONU : 21,00 m									
23,00																		
24,00																		
25,00																		
26,00																		
27,00																		
28,00																		
29,00																		
30,00																		
31,00																		
32,00																		
33,00																		
34,00																		
35,00																		
36,00																		
37,00																		
38,00																		
39,00																		
40,00																		
41,00																		
42,00																		
DAYANIMLILIK-STRENGTH				AYRISMA-WEATHERING				İNCE DANELİ-FINE GRAINED				İRİ DANELİ-COARSE GRAINED						
I	DAYANIMLI	STRONG	I	TAZE	FRESH	N=0-2	ÇOK YUMUŞAK	V-SOFT	N=0-4	ÇOK GEVŞEK	LOOSE							
II	ORTA DAY	M.STRONG	II	AZ AYRISMIŞ	S.WEATHERED	N=3-4	YUMUŞAK	SOFT	N=5-10	GEVŞEK	LOOSE							
III	ORTA ZAYIF	M.WEAK	III	ORTA AYRISMIŞ	M.WEATHERED	N=5-9	ORTA KATI	M-STIFF	N=11-30	ORTA SIKI	M-DENSE							
IV	ZAYIF	WEAK	IV	ÇOK AYRISMIŞ	H.WEATHERED	N=10-15	KATI	STIFF	N=31-50	SIKI	DENSE							
V	ÇOK ZAYIF	V.WEAK	V	TAM AYRISMIŞ	C.WEATHERED	N=16-30	ÇOK KATI	V-STIFF	N=51-100	ÇOK SIKI	V-DENSE							
KAYA KALİTESİ RQD %				KIRIK-FRACTURE/30 CM				ORANLAR-PROPORTIONS										
%0-25	ÇOK ZAYIF	V-POOR	%1	SEYREK	WIDE(W)	%5<	PEK AZ	SLIGHTLY	%5<	PEK AZ	SLIGHTLY							
%25-50	ZAYIF	POOR	1-1	ORTA	MODERATE(M)	%5-15	AZ	LITTLE	%5-20	AZ	LITTLE							
%50-75	ORTA	FAIR	2-10	SİK	CLOSE(C)	%15-35	ÇOK	VERY	%20-50	ÇOK	VERY							
%75-90	İYİ	GOOD	10-30	ÇOK SIK	INTENSE(I)	%35>	VE	AND										
%90-100	ÇOK İYİ	EXCELLENT	>30	PARÇALI	CRUSHED(CR)													
SPT	:Standart Penetrasyon Deneyi			K	:Kerol Nummesi			SONDAJ MÜHENDİSİ		İMZA		TARİH						
SPT	:Standart Penetration Test			K	:Core Sample			DRILLING ENGINEER		SIGN		DATE						
D	:Örselemiş Numune			P	:Presiyometre Deneyi			N. Ergin SONGÜR										
D	:Disturbed Sample			P	:Pressuremeter Test			Jeoloji Mühendisi										
UD	:Örselememiş Numune			VST	:Vane Deneyi													
UD	:Undisturbed Sample			VST	:Vane Shear Test													

ZAFER GEOTEKNİK YERLİTİ ARAMA VE DENEYLER										SONDAJ NO / BORING NO : SK-C11 (426+300)								
SONDAJ LOGU / BORING LOG										SAYFA NO / PAGE NO : 1								
PROJE ADI / PROJECT NAME : İNÇİRLİK-TOPRAKKALE DEMİRYOLU REHABİLİTASYON PROJESİ										SONDÖR / DRILLER : Murat ANAZ								
SONDAJ YERİ / BORING LOCATION : CEYHAN / ADANA																		
KİLOMETRE / KILOMETER : 426+300										Muhafaza Borusu Derinliği / Casing Depth :								
SONDAJ DERİNLİĞİ / BORING DEPTH : 25,50 m										Baş. Ve Bitiş Tarihi / Start and Finish Date : 11.01.2017-12.01.2017								
SONDAJ KOTU / ELEVATION : 30,178										Koordinat Coordinate X : 491445,1500								
YERALTISUYU / GRANDWATER : 2,45										Koordinat Coordinate Y : 4102041,9110								
										Koordinat Coordinate Z : 30,1780								
DERİNLİK / DEPTH (m)	MAMURE CİNSİ / SAMPLE TYPE	MANİFRE / RUN	STANDART PENETRASYON DENEYİ / STANDARD PENETRATION TEST							JEOTEKNİK TANIMLAMA / GEOTECHNICAL DESCRIPTION	PROFİL / PROFILE	P PRESİYOOMETRE / PRESSOMETER		DAYANILIRLIK / STRENGTH	AYRISMA / WEATHERING	KIRIK / 30 CM / FRACTURE / 30 CM	KAROT / % / CORE RECOVERY %	ROD %
			DARBE SAYISI / NUMBER OF BLOWS				GRAFİK / GRAPH					R_p / Kg/cm ²	R_u / Kg/cm ²					
0,00																		
1,00																		
2,00	SPT-1	1.50-1.95		5	6	7	13											
3,00																		
3,00																		
3,00	SPT-2	3.00-3.45		4	5	5	10											
4,00																		
4,00																		
5,00	SPT-3	4.50-4.95		4	4	5	9											
6,00																		
6,00																		
6,00	SPT-4	6.00-6.25		4	4	4	8											
7,00																		
8,00	SPT-5	7.50-7.95		5	4	5	9											
9,00																		
9,00	SPT-6	9.00-9.45		5	6	5	11											
10,00																		
11,00	SPT-7	10.50-10.95		5	6	6	12											
12,00																		
12,00	SPT-8	12.00-12.45		5	6	7	13											
13,00																		
14,00	SPT-9	13.50-13.95		5	6	6	12											
15,00																		
15,00	SPT-10	15.00-15.45		4	5	6	11											
16,00																		
17,00	SPT-11	16.50-16.95		4	4	6	10											
18,00																		
18,00	SPT-12	18.00-18.45		5	6	6	12											
19,00																		
20,00	SPT-13	19.50-19.95		6	5	6	11											
21,00																		
DAYANIMLILIK-STRENGTH			AYRISMA-WEATHERING			İNCE DANELİ-FINE GRAINED			İRİ DANELİ-COARSE GRAINED									
I	DAYANIMLI	STRONG	I	TAZE	FRESH	N=2	ÇOK YUMUŞAK	V.SOFİ	N=0-4	ÇOK GEVŞEK/LOOSE								
II	ORTA DAY	M.STRONG	II	AZ AYRISMIŞ	S.WEATHERED	N=3-4	YUMUŞAK	SOFT	N=5-10	GEVŞEK LOOSE								
III	ORTA ZAYIF	M.WEAK	III	ORTA AYRISMIŞ	M.WEATHERED	N=5-8	ORTA KATI	M.STIFF	N=11-30	ORTA SIKI M.DENSE								
IV	ZAYIF	WEAK	IV	ÇOK AYRISMIŞ	H.WEATHERED	N=9-15	KATI	STIFF	N=31-50	SIKI DENSE								
V	ÇOK ZAYIF	V.WEAK	V	TAM AYRISMIŞ	C.WEATHERED	N=16-30	ÇOK KATI	V.STIFF	N=51-100	ÇOK SIKI V.DENSE								
						N=30	ŞERT	HARD										
KAYA KALİTESİ RQD %			KIRIK-FRACTURE 30 CM			ORANLAR-PROPORTIONS												
%0-25	ÇOK ZAYIF	V.P.OOR	1	SEYREK	WIDE(W)	%5<	PEK AZ	SLIGHTLY	%5<	PEK AZ	SLIGHTLY							
%25-50	ZAYIF	POOR	1-2	ORTA	MODERATE(M)	%5-15	AZ	LITTLE	%5-20	AZ	LITTLE							
%50-75	ORTA	FAIR	2-10	SIK	CLOSE(C)	%15-35	ÇOK	VERY	%20-50	ÇOK	VERY							
%75-90	İYİ	GOOD	10-20	ÇOK SIK	INTENSE(I)	%35>	VE	AND										
%90-100	ÇOK İYİ	EXCELLENT	>20	PARÇALI	CRUSHED(CR)													
SPT	:Standart Penetrasyon Deneysi		K	:Kerir Numunesi		SONDAJ MÜHENDİSİ			İMZA		TARİH							
SPT	:Standart Penetration Test		K	:Core Sample		DRILLING ENGINEER			SIGN		DATE							
D	:Örselemiş Numune		P	:Presiyometre Deneysi		N. Engin SONGÜR												
D	:Disturbed Sample		P	:Pressuremeter Test		Jeoloji Mühendisi												
UD	:Örselememiş Numune		VST	:Vane Deneysi														
UD	:Undisturbed Sample		VST	:Vane Shear Test														

ZAFER MÜHÜR MÜHÜR MÜHÜR		SONDAJ NO / BORING NO : SK-C11 (426+300)													
		SAYFA NO / PAGE NO : 1													
SONDAJ LOGU / BORING LOG		SONDÖR / DRILLER : Murat ANAZ													
PROJE ADI / PROJECT NAME : İNCİRLİK-TOPRAKKALE DEMİRYOLU REHABİLİTASYON PROJESİ															
SONDAJ YERİ / BORING LOCATION : CEYHAN / ADANA															
KİLOMETRE / KILOMETER : 426+300		Muhafaza Borusu Derinliği / Casing Depth :													
SONDAJ DERİNLİĞİ / BORING DEEPHTH : 25,50 m		Baş. Ve Bitiş Tarihi / Start and Finish Date : 11.01.2017-12.01.2017													
SONDAJ KOTU / ELEVATION : 30,178		Koordinat Coordinate X : 491445,1500													
YERALTISUYU / GRANDWATER : 2,45		Koordinat Coordinate Y : 4102041,9110													
		Koordinat Coordinate Z : 30,1780													
DERİNLİK / DEPTH (M)	NUMUNE / SAMPLE TYPE	MANİFRA / RUN	STANDART PENETRASYON DENEYİ / STANDARD PENETRATION TEST				JEOTEKNİK TANIMLAMA / GEOTECHNICAL DESCRIPTION	PROFİL / PROFILE	P PRESİYOMETRİ / PRESSOMETER		DAYANİMLİK / STRENGTH	AVRİŞMA / WEATHERING	KIRIK / FRACTURE / 30 CM	ORANLAR / PROPORTIONS	
			DARBE SAYISI / NUMBER OF BLOWS						GRAFIK / GRAPH	P ₁ / Kg/cm ²					P ₂ / Kg/cm ²
			0-45 CM	45-90 CM	90-135 CM	N	0 10 20 30 40 50								
21,00	SPT-14	21.00-21.45	6	5	7	12									
22,00															
23,00	SPT-15	22.50-22.95	6	6	7	13									
24,00															
25,00	SPT-16	24.00-24.45	5	6	7	13									
26,00	SPT-17	25.50-25.95	6	6	7	13									
27,00															
28,00															
29,00															
30,00															
31,00															
32,00															
33,00															
34,00															
35,00															
36,00															
37,00															
38,00															
39,00															
40,00															
41,00															
42,00															
DAYANİMLİLİK-STRENGTH				AVRİŞMA-WEATHERING				İNCE DANELİ-FINE GRAINED				İRİ DANELİ-COARSE GRAINED			
I DAYANIMLI STRONG				I YAŞ FRESH				N=1 ÇOK YUMUŞAK V.SOFT				N=0-4 ÇOK GEVŞEK/LOOSE			
II ORTA DAY M.STRONG				II AZ AVRİŞMIŞ S.WEATHERED				N=3-4 YUMUŞAK SOFT				N=5-10 GEVŞEK LOOSE			
III ORTA ZAYIF M.WEAK				III ORTA AVRİŞMIŞ M.WEATHERED				N=5-8 ORTA KATI M.STIFF				N=11-30 ORTA SIKI M.DENSE			
IV ZAYIF WEAK				IV ÇOK AVRİŞMIŞ H.WEATHERED				N=9-15 KATI STIFF				N=31-50 SIKI DENSE			
V ÇOK ZAYIF V.WEAK				V TAM AVRİŞMIŞ C.WEATHERED				N=16-30 ÇOK KATI V.STIFF				N=50 ÇOK SIKI V.DENSE			
KAYA KALİTESİ RQD %				KIRIK-FRACTURE /30 CM				ORANLAR-PROPORTIONS							
%0-25 ÇOK ZAYIF V.POOR				%1 SEYREK WIDE(W)				%5< PEK AZ SLIGHTLY							
%25-50 ZAYIF POOR				1-2 ORTA MODERATE(M)				%5-15 AZ LITTLE				%5< PEK AZ SLIGHTLY			
%50-75 ORTA FAIR				2-10 SIK CLOSE(CI)				%15-35 ÇOK VERY				%5-20 AZ LITTLE			
%75-90 İYİ GOOD				10-20 ÇOK SIK INTENSE(I)				%35> VE AND				%20-50 ÇOK VERY			
%90-100 ÇOK İYİ EXCELLENT				%20 PARÇALI CRUSHED(CR)											
SPT :Standart Penetrasyon Deneyi				K :Korot Numunesi				SONDAJ MÜHENDİSİ / DRILLING ENGINEER				İMZA / SIGN			
SPT :Standart Penetration Test				K :Core Sample				N. Engin SONGÜR / Jeoloji Mühendisi				TARİH / DATE			
D :Örselemiş Numune				P :Presiyometre Deneyi											
D :Disturbed Sample				P :Pressuremeter Test											
UD :Örselememiş Numune				VST :Vane Deneyi											
UD :Undisturbed Sample				VST :Vane Shear Test											

ZAFER FENALTI MÜHÜRÜ		SONDAJ NO / BORING NO : SK-C12 (427+610)														
		SAYFA NO / PAGE NO : 1														
SONDAJ LOGU / BORING LOG		SONDÖR / DRILLER : Murat ANAZ														
PROJE ADI / PROJECT NAME : İNCİRLİK-TOPRAKKALE DEMİRYOLU REHABİLİTASYON PROJESİ																
SONDAJ YERİ / BORING LOCATION : CEYHAN / ADANA																
KİLOMETRE / KILOMETER : 427+610		Muhafaza Borusu Derinliği / Casing Depth :														
SONDAJ DERİNLİĞİ / BORING DEEPHTH : 15,00 m		Baş. Ve Bitiş Tarihi / Start and Finish Date : 14.01.2017-15.01.2017														
SONDAJ KOTU / ELEVATION : 30,993		Koordinat Coordinate X : 492651,1100														
YERALTISUYU / GRANDWATER : 2,20		Koordinat Coordinate Y : 4102524,2930														
		Koordinat Coordinate Z : 30,9930														
DERİNLİK / DEPTH (m)	NUMARASI / NO	MANİPÜLASYON / MANIPULATION	STANDART PENETRASYON DENEYİ / STANDARD PENETRATION TEST					JEOTEKNİK TANIMLAMA / GEOTECHNICAL DESCRIPTION	PROFİL / PROFILE	P PRESİYOMETRİ / PRESSOMETRI		DAYANIRLIK / STRENGTH	AYRISMA / WEATHERING	KIRILMA / FRACTURE (%)	KAROT / CORE RECOVERY (%)	RQD %
			DARBE SAYISI / NUMBER OF BLOWS							GRAFIK / GRAPH	R _s / Kg/cm ²					
0,00			0-45 CM	15-30 CM	30-45 CM	N	0 10 20 30 40 50									
1,00																
2,00	SPT-1	1.50-1.95	8	7	9	16										
3,00																
3,00		UD-1 (2,50 - 3,00)														
4,00	SPT-2	3.00-3.45	8	9	10	19										
5,00	SPT-3	4.50-4.54	7	7	8	15										
6,00																
6,00		UD-2 (5,50 - 6,00)														
7,00	SPT-4	6.00-6.25	6	8	8	16										
8,00	SPT-5	7.50-7.95	8	10	9	19										
9,00	SPT-6	9.00-9.45	8	10	14	24										
10,00																
11,00	SPT-7	10.50-10.95	5	6	6	12										
12,00	SPT-8	12.00-12.45	7	7	8	15										
13,00																
14,00	SPT-9	13.50-13.95	8	9	10	19										
15,00	SPT-10	15.00-15.45	8	10	10	20										
16,00																
17,00																
18,00																
19,00																
20,00																
21,00																
DAYANIMLI / STRONG			AYRISMA / WEATHERING			İNCE DANELİ / FINE GRAINED			İRİ DANELİ / COARSE GRAINED							
I	DAYANIMLI	STRONG	I	TAZE	FRESH	N=2	ÇOK YUMUŞAK	V.SOFT	N=0-4	ÇOK GEVŞEK / LOOSE						
II	ORTA DAY	M.STRONG	II	AZ AYRISMA	S.WEATHERED	N=3-4	YUMUŞAK	SOFT	N=5-10	GEVŞEK	LOOSE					
III	ORTA ZAYIF	M.WEAK	III	ORTA AYRISMA	M.WEATHERED	N=5-8	ORTA KATI	M.STIFF	N=11-30	ORTA SIKI	M.DENSE					
IV	ZAYIF	WEAK	IV	ÇOK AYRISMA	H.WEATHERED	N=9-15	KATI	STIFF	N=31-50	SIKI	DENSE					
V	ÇOK ZAYIF	V.WEAK	V	TAM AYRISMA	C.WEATHERED	N=16-30	ÇOK KATI	V.STIFF	N=50	ÇOK SIKI	V.DENSE					
KAYA KALİTESİ RQD %			KIRILMA-FRACTURE/30 CM			ORANLAR-PROPORTIONS										
%0-25	ÇOK ZAYIF	V.POOR	1	SEYREK	WIDE(W)	%5<	PEK AZ	SLIGHTLY	%5<	PEK AZ	SLIGHTLY					
%25-50	ZAYIF	POOR	1-2	ORTA	MODERATE(M)	%5-15	AZ	LITTLE	%5-20	AZ	LITTLE					
%50-75	ORTA	FAIR	3-10	SİK	CLOSE(C)	%15-35	ÇOK	VERY	%20-50	ÇOK	VERY					
%75-90	İYİ	GOOD	10-20	ÇOK SİK	INTENSE(I)	%35>	VE	AND								
%90-100	ÇOK İYİ	EXCELLENT	>20	PARÇALI	CRUSHED(CR)											
SPT	Standart Penetrasyon Deneyi	K	Karot Numarası			SONDAJ MÜHENDİSİ / DRILLING ENGINEER		İMZA / SIGN		TARİH / DATE						
SPT	Standart Penetrasyon Test	K	Core Sample			N. Engin SONGÜR / Jeoloji Mühendisi										
D	Örselemiş Numune	P	Presiyometre Deneyi													
D	Disturbed Sample	P	Pressuremeter Test													
UD	Örselememiş Numune	VST	Vane Deneyi													
UD	Undisturbed Sample	VST	Vane Shear Test													

ZAFER MÜHENDİSLİK VE MİMARLIK		SONDAJ NO / BORING NO : SK-C13 (428+380)														
SONDAJ LOGU / BORING LOG		SAYFA NO / PAGE NO : 1														
PROJE ADI / PROJECT NAME : İNCİRLİK-TOPRAKKALE DEMİRYOLU REHABİLİTASYON PROJESİ		SONDÖR / DRILLER : Muhittin YILDIZ														
SONDAJ YERİ / BORING LOCATION : CEYHAN / ADANA																
KİLOMETRE / KILOMETER : 428+380		Muhafaza Borusu Derinliği / Casing Depth :														
SONDAJ DERİNLİĞİ / BORING DEEPTH : 15,00 m		Baş. Ve Bitiş Tarihi / Start and Finish Date : 10.01.2017-10.01.2017														
SONDAJ KOTU / ELEVATION : 31,133		Kordinat Coordinate X : 493417,2920														
YERALTISUYU / GRANDWATER : 2,15		Kordinat Coordinate Y : 4102611,1980														
		Kordinat Coordinate Z : 31,1330														
DERİNLİK / DEPTH (m)	NUMUNE ÇİNSİ / SAMPLE TYPE	MANİPİR / RIN	STANDART PENETRASYON DENEYİ					GRAFIK / GRAPH	JEOTEKNİK TANIMLAMA / GEOTECHNICAL DESCRIPTION	P	P	DAYANIMLILIK / STRENGTH	AYRISMA / WEATHERING	KIRIK / FRACTURE / CM	KAROT % / CORE RECOVERY %	RQD %
			DARBE SAYISI / NUMBER OF BLOWS													
0,00			0-15 CM	15-30 CM	30-45 CM	N	0 10 20 30 40 50									
0,00								BİTKİSEL TOPRAK								
0,30								0,30 m								
2,00	SPT-1	1.50-1.55					50/5	TÜP BOŞ	-50							
3,00	UD-1 (2,50 - 3,00) TÜP GİTMEDİ															
3,00	SPT-2	3.00-3.45					12 15 16	31								
4,00	UD-2 (4,50 - 5,00)															
6,00	SPT-3	6.00-6.25					50/7	TÜP BOŞ	-50							
8,00	SPT-4	7.50-7.95					12 15 14	29								
9,00	SPT-5	9.00-9.45					10 12 13	25								
10,00	SPT-6	10.50-10.95					10 11 14	25								
12,00	SPT-7	12.00-12.45					11 13 12	25								
14,00	SPT-8	13.50-13.95					12 14 15	29								
15,00	KAROT															
16,00	KUYU SONU : 15,00 m															
17,00																
18,00																
19,00																
20,00																
21,00																
DAYANIMLILIK-STRENGTH			AYRISMA-WEATHERING			İNCE DANELİ-FINE GRAINED			İRİ DANELİ-COARSE GRAINED							
I	DAYANIMLI	STRONG	I	TAZE	FRESH	N=2	ÇOK YUMUŞAK	V SOFT	N=4	ÇOK GEVŞEK	LOOSE					
II	ORTA DAY	M.STRONG	II	AZ AYRISMIŞ	S.WEATHERED	N=3-4	YUMUŞAK	SOFT	N=5-10	GEVŞEK	LOOSE					
III	ORTA ZAYIF	M.WEAK	III	ORTA AYRISMIŞ	M.WEATHERED	N=5-8	ORTA KATI	M.STIFF	N=11-30	ORTA SIKI	M.DENSE					
IV	ZAYIF	WEAK	IV	ÇOK AYRISMIŞ	H.WEATHERED	N=9-15	KATI	STIFF	N=31-50	SIKI	DENSE					
V	ÇOK ZAYIF	V.WEAK	V	TAM AYRISMIŞ	C.WEATHERED	N=16-30	ÇOK KATI	V.STIFF	N=51-100	ÇOK SIKI	V.DENSE					
KAYA KALİTESİ RQD %			KIRIK-FRACTURE/30 CM			ORANLAR-PROPORTIONS										
%0-25	ÇOK ZAYIF	V.POOOR	1	SEYREK	WIDE(W)	%5<	PEK AZ	SLIGHTLY	%5<	PEK AZ	SLIGHTLY					
%25-50	ZAYIF	POOR	1-2	ORTA	MODERATE(M)	%5-15	AZ	LITTLE	%5-20	AZ	LITTLE					
%50-75	ORTA	FAIR	2-10	SIK	CLOSE(CI)	%15-35	ÇOK	VERY	%20-50	ÇOK	VERY					
%75-90	İYİ	GOOD	10-20	ÇOK SIK	INTENSE(I)	%35>	VE	AND								
%90-100	ÇOK İYİ	EXCELLENT	>20	PARÇALI	CRUSHED(CR)											
SPT	Standart Penetrasyon Deneği	K	Karot Numunesi			SONDAJ MÜHENDİSİ		İMZA		TARİH						
SPT	Standart Penetration Test	K	Core Sample			DRILLING ENGINEER		SIGN		DATE						
D	Örselemiş Numune	P	Pressiyometre Deneği			N. Engin SONGÜR										
D	Disturbed Sample	P	Pressiuremeter Test			Jeoloji Mühendisi										
UD	Örselememiş Numune	VST	Vane Deneği													
UD	Undisturbed Sample	VST	Vane Shear Test													

ZAFER MÜHÜRLEME VE YERELİ HİZMETLER		SONDAJ NO / BORING NO : SK-C14 (428+590)													
SONDAJ LOGU / BORING LOG		SAYFA NO / PAGE NO : 1													
PROJE ADI / PROJECT NAME : İNCİRLİK-TOPRAKKALE DEMİRYOLU REHABİLİTASYON PROJESİ		SONDÖR / DRILLER : Murat ANAZ													
SONDAJ YERİ / BORING LOCATION : CEYHAN / ADANA		Muhafaza Borusu Derinliği / Casing Depth :													
KİLOMETRE / KILOMETER : 428+590		Baş. Ve Bitiş Tarihi / Start and Finish Date : 15.01.2017-15.01.2017													
SONDAJ DERİNLİĞİ / BORING DEPTH : 15,00 m		Koordinat Coordinate X : 493624,8670													
SONDAJ KOTU / ELEVATION : 31,204		Koordinat Coordinate Y : 4102628,1950													
YERALTISUYU / GRANDWATER : 1,90		Koordinat Coordinate Z : 31,2040													
DERİNLİK / DEPTH (m)	NUMUNE CNSİ SAMPLE TYPE	MANİFRA RUN	STANDART PENETRASYON DENEYİ STANDART PENETRATION TEST				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	PROFİL PROFILE	P PRESİYYOMETRE PRESSOMETRE		DAYANIRLIK STRENGTH	AYRISMA WEATHERING	SİNE / 30 CM FRACTURE / 30 CM	KAROT % CORECOVERY %	ROD %
			DARBE SAYISI NUMBER OF BLOWS						GRAFEK GRAPH	R _s Kg/cm ²					
0,00			0-15 CM	15-30 CM	30-45 CM	N	0 10 20 30 40 50								
1,00															
2,00	SPT-1	1.50-1.95	8	8	9	17									
3,00	SPT-2	3.00-3.45	7	8	9	17									
4,00	UD-1 (4.00 - 4.50)														
5,00	SPT-3	4.50-4.54	9	11	10	21									
6,00	SPT-4	6.00-6.25	8	8	9	17									
7,00															
8,00	SPT-5	7.50-7.95	9	9	10	19									
9,00	SPT-6	9.00-9.45	6	7	7	14									
10,00															
11,00	SPT-7	10.50-10.95	7	8	9	17									
12,00	SPT-8	12.00-12.45	8	7	7	14									
13,00															
14,00	SPT-9	13.50-13.95	7	8	8	16									
15,00	SPT-10	15.00-15.45	7	8	7	15									
16,00															
17,00															
18,00															
19,00															
20,00															
21,00															
DAYANIRLIK-STRENGTH			AYRISMA-WEATHERING			İNCE DANELİ-FINE GRAINED			İRİ DANELİ-COARSE GRAINED						
I	DAYANIMLI	STRONG	I	TAZE	FRESH	N=0-2	ÇOK YUMUŞAK	V.SOFT	N=0-4	ÇOK GEVŞEK	LOOSE				
II	ORTA DAY	M.STRONG	II	AZ AYRISMIŞ	S.WEATHERED	N=3-4	YUMUŞAK	SOFT	N=5-10	GEVŞEK	LOOSE				
III	ORTA ZAYIF	M.WEAK	III	ORTA AYRISMIŞ	M.WEATHERED	N=5-8	ORTA KATI	M.STIFF	N=11-30	ORTA SIKI	M.DENSE				
IV	ZAYIF	WEAK	IV	ÇOK AYRISMIŞ	H.WEATHERED	N=9-15	KATI	V.STIFF	N=31-50	SIKI	DENSE				
V	ÇOK ZAYIF	V.WEAK	V	TAM AYRISMIŞ	C.WEATHERED	N=16-30	ÇOK KATI	HARD	N=50	ÇOK SIKI	V.DENSE				
KAYA KALİTESİ RQD %			KIRIK-FRACTURE/30 CM			ORANLAR-PROPORTIONS									
%0-25	ÇOK ZAYIF	V.POOR	-1	SEYREK	WIDE(W)	%5<	PEK AZ	SLIGHTLY	%5<	PEK AZ	SLIGHTLY				
%25-50	ZAYIF	POOR	1-2	ORTA	MODERATE(M)	%5-15	AZ	LITTLE	%5-20	AZ	LITTLE				
%50-75	ORTA	FAIR	D-10	SİK	CLOSE(C)	%15-35	ÇOK	VERY	%20-50	ÇOK	VERY				
%75-90	İYİ	GOOD	10-20	ÇOK SIK	INTENSE(I)	%35>	VE	AND							
%90-100	ÇOK İYİ	EXCELLENT	>30	PARÇALI	CRUSHED(CR)										
SPT	:Standart Penetrasyon Deneysi		K	:Kerit Numunesi		SONDAJ MÜHENDİSİ			İMZA						
SPT	:Standart Penetration Test		K	:Core Sample		DRILLING ENGINEER			SIGN						
D	:Örselemiş Numune		P	:Presiyometre Deneysi		N. Engin SONGÜR			TARİH						
D	:Disturbed Sample		P	:Pressuremeter Test		Jeoloji Mühendisi			DATE						
UD	:Örselememiş Numune		VST	:Vane Deneysi											
UD	:Undisturbed Sample		VST	:Vane Shear Test											

		KAROT SANDIĞI FOTOĞRAF FORMU	
		Sayfa No: 1	
KUYU NO	: SK - C10 (425 + 250)		
DERİNLİK	: 21,00 Metre		
 <p>A photograph showing a soil core sample in a blue box. The box is open, revealing several cylindrical soil samples. A ruler and a color scale are placed below the box for scale and color reference. To the right of the box, there are several white plastic bags and two grey tubes. The box lid has handwritten text in Turkish: "Kuyu no: SK-C10 (425+250)", "Derinlik: 21,00", "İzlenim: Koyu kahverengi", "Tarih: 08.07.2019".</p>			
 <p>A photograph showing a soil core sample in a blue box. The box is open, revealing several cylindrical soil samples. A ruler and a color scale are placed below the box for scale and color reference. The box lid has handwritten text in Turkish: "Kuyu no: SK-C10 (425+250)", "Derinlik: 21,00", "İzlenim: Açık kahverengi", "Tarih: 08.07.2019".</p>			
HAZIRLAYAN	KONTROL	ONAY	

		KAROT SANDIĞI FOTOĞRAF FORMU	
		Sayfa No: 2	
KUYU NO	: SK - C10 (425 + 250)		
DERİNLİK	: 21,00 Metre		
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;">   </div>			
HAZIRLAYAN	KONTROL	ONAY	

		KAROT SANDIĞI FOTOĞRAF FORMU	
		Sayfa No: 1	
KUYU NO	: SK - C13 (428 + 450)		
DERİNLİK	: 15,00 Metre		
			
			
HAZIRLAYAN	KONTROL	ONAY	

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Serdar ARIK
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Balıkesir, 28.04.1980
Telefon : 0 505 268 35 87
Faks : -
E-mail : serdararik80@mynet.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Demiryolu Meslek Lisesi, Eskişehir	1998
Üniversite	: Balıkesir Üniversitesi Müh. Mim. Fak. İnş. Müh.	2004

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
1999	TCDD Şube 36 Şefliği/BALIKESİR	Yol Sürveyanı
2005	TCDD Gen.Müd.Yol Dai Bşk.ANKARA	İnş.Mühendisi
2009	TCDD YHT Bölge Müdürlüğü	İnş.Mühendisi
2012	TCDD Gen.Müd.Yol Dai. Bşk.ANKARA	İnş.Mühendisi
2017	TCDD Demiryolu Bakım Daire Bşk	Şube Müdürü

UZMANLIK ALANI

- Tahribatsız Muayene UT 2-PT 2- ET 2-VT-2 uzmanı
- Yüksek Hızlı Tren İşletme ve Bakım konusu ile ilgili eğitim
- Kurum içinde demiryolları ile ilgili çeşitli konularda eğitimler

YABANCI DİLLER

İyi derecede İngilizce