

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SAMSUN-KALIN (SİVAS) DEMİRYOLU MODERNİZASYONU  
PROJESİNDE ÇİMENTO VE NOVOCRETE İLE ZEMİNLERİN  
STABİLİZASYONU**

**BEGÜM YEMENİCİ**

**KOCAELİ 2019**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**


**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SAMSUN-KALIN (SİVAS) DEMİRYOLU MODERNİZASYONU**  
**PROJESİNDE ÇİMENTO VE NOVOCRETE İLE**  
**ZEMİNLERİN STABİLİZASYONU**

**BEGÜM YEMENİCİ**

**Dr.Öğr.Üyesi Özkan CORUK**  
**Danışman, Kocaeli Üniversitesi**  
**Doç.Dr.Ahmet KARAKAŞ**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi**  
**Dr.Öğr.Üyesi Erkan BOZKURTOĞLU**  
**Jüri Üyesi, İstanbul Teknik Üniversitesi**

  
.....  
  
.....  
  
.....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 11.07.2019**

## **ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**

Kocaeli Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde hazırlamış olduğum bu yüksek lisans tezi, Samsun-Kalın (Sivas) Demiryolu Modernizasyon Projesi'nde, Zile- Artova arasında kalan zayıf zeminlerin çimento ile iyileştirilmesinde çimento ile birlikte kullanılan Puzolanik Bağlayıcı Mineralin (NovoCrete) etkilerinin araştırılmasını konu almaktadır. Araştırma kapsamında, çimento ile birlikte kullanılan Puzolanik Bağlayıcı Mineralin (NovoCrete), çimentonun mühendislik özelliklerine ve zemin iyileştirmesine olan etkisi değerlendirilmiştir.

Tez boyunca yapmış olduğum tüm araştırma ve değerlendirme aşamalarımda, sorularıma içten bir şekilde cevap veren, en doğru şekilde yönlendiren, tüm görüş ve düşüncelerini benimle paylaşan, kalp kırmayan danışman hocam, Sayın Dr. Öğretim Üyesi Özkan CORUK'a teşekkürlerimi sunarım. Hazırlamış olduğum tezi, başından sonuna kadar okuyan ve gereken düzeltmeleri yapmamda bana yardımcı olan Sayın Doç. Dr. Ahmet KARAKAŞ'a ve Sayın Dr. Öğretim Üyesi Erkan BOZKURTOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım esnasında benim her zaman yanımda olan, maddi manevi destekleri ile fedakârlıklarını esirgemeyen değerli aileme, nişanlım Kurtuluş AYDIN'a, kuzenim Ece ÜNAL'a ve arkadaşım Cansu YORULMAZ'a sonsuz teşekkür eder, minnet duygularımı sunarım.

Haziran- 2019

Begüm YEMENİCİ

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	iv
TABLolar DİZİNİ.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ÖZET .....	vii
ABSTRACT .....	viii
GİRİŞ.....	1
1. GENEL BİLGİLER .....	4
1.1. Zayıf Zeminlerin İyileştirilmesi .....	4
1.1.1. Sığ (Yüzelsel) Zemin İyileştirme Yöntemleri.....	7
1.1.2. Drenaj sistemleri .....	8
1.1.3. Kompaksiyon .....	8
1.1.4. Çimento ile yapılan stabilizasyon .....	8
1.1.5. Kireç ile yapılan stabilizasyon .....	10
1.1.6. Uçucu kül ile yapılan stabilizasyon.....	11
1.1.7. Bitüm ile yapılan stabilizasyon.....	11
1.2. NovoCrete Teknolojisi .....	12
1.3. NovoCrete Teknolojisi İle Yapılan Daha Önceki Uygulamalar .....	12
1.4. Çimento ve Kireç Stabilizasyonuna Yönelik Önceki Çalışmalar .....	14
1.5. Demiryolu Altyapı Sistemleri .....	18
1.6. Samsun- Kalın Demiryolu Güzergâhı .....	19
2. BÖLGESEL JEOLojİ VE İNCELEME ALANIN JEOLojİSİ .....	23
2.1. Bölgesel Jeoloji .....	23
2.2. İnceleme Alanın Jeolojisi .....	23
2.2.1. Tokat Metamorfizmaları (Pzt).....	24
2.2.2. Karakaya Formasyonu (TRk) .....	25
2.2.3. Çalarasin Formasyonu (Kça) .....	25
2.2.4. Çekerek Formasyonu (Tcek) .....	26
2.2.5. Alüvyon (Qal) .....	26
2.3. Çalışma Alanının Mühendislik Jeolojisi .....	27
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	33
3.1. Malzeme .....	33
3.2. Çalışma Yöntemi ve Süresi .....	33
3.3. NovoCrete Teknolojisi İle Çimento Kullanımındaki İdeal Katkı Oranlarını Belirlemek Adına Yapılan Laboratuvar Çalışmaları .....	33
3.4. Zile- Artova Arasındaki Zayıf Zeminler Üzerinde NovoCrete Teknolojisi ile Gerçekleştirilen Laboratuvar Çalışmaları .....	37
3.5. Zile- Artova Arasındaki Zayıf Zeminler Üzerinde NovoCrete Teknolojisi ile Gerçekleştirilen Arazi Çalışmaları.....	39
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	45
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	59

KAYNAKLAR.....	61
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	66



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Uygulama derinliğine göre zemin iyileştirme yöntemleri .....	7
Şekil 1.2. Serbest basınç mukavemetinin çimento muhtevasına etkisi.....	10
Şekil 1.3. Demiryolunun hattını oluşturan sistemlerin görünümü.....	18
Şekil 1.4. Samsun- kalın demiryolu hattının tamamı ile Zile- Artova arasındaki hattın ayrıntılı görünümü .....	20
Şekil 2.1. Samsun-Kalın demiryolu güzergâhı ve civarının jeoloji haritası.....	24
Şekil 2.2. Km: 233+430'da Karakaya formasyonuna ait açık bordo renkli seviyeler .....	28
Şekil 2.3. Km: 236+100 Karakaya formasyonuna ait çamurtaşı ve kıltaşının mevcut demiryolu yarmasında görünümü .....	28
Şekil 2.4. Km: 234+530 çekerek formasyonuna ait zayıf kaya özelliğindeki ayrılmış çamurtaşlarının görünümü .....	29
Şekil 2.5. Killerin aktivitesi ve plastisite indisiiyle killerin şişme özelliğinin belirlenmesi .....	31
Şekil 3.1. Çalışma yöntemi ve çalışma sürecini gösteren akış diyagramı .....	34
Şekil 3.2. Zile- artova arasından örnek olarak alınmış zemin numuneleri.....	37
Şekil 3.3. Değişik güzergâhlardaki uygulama öncesi çalışma alanının görünümü .....	40
Şekil 3.4. Yeraltı su seviyesi platform düzeyinde olan çalışma alanının görünümü .....	40
Şekil 3.5. Güzergâh üzerinde karşılaşılan zayıf zemin görünümü .....	41
Şekil 3.6. Önünde çeki demiri bulunan frezeleme makinesi.....	42
Şekil 3.7. Frezeleme işlemi/ çimento serimi .....	42
Şekil 3.8. Uygulama sonrasındaki NovoCrete tabakası.....	44
Şekil 3.9. Sıkıştırmadan sonra NovoCrete tabakasını sulama işlemi .....	44
Şekil 4.1. Km: 218+190 üzerinden uygulamadan sonra alınan karot örneği .....	48
Şekil 4.2. Karot örneği üzerinde yapılan serbest basınç deneyleri .....	48
Şekil 4.3. 218+190 km üzerinde uygulama öncesi ile NovoCrete uygulaması sonrası kür günlerine göre elde edilen CBR değerleri.....	49
Şekil 4.4. Mevcut zemin ile Novocrete® eklendikten sonra elde edilen deney sonuçları.....	50
Şekil 4.5. 218+000 kilometredeki kür günü ve dayanım ilişkisi .....	52
Şekil 4.6. 230+500 kilometredeki kür günü ve dayanım ilişkisi .....	52
Şekil 4.7. 246+000 kilometredeki kür günü ve dayanım ilişkisi .....	53
Şekil 4.8. Farklı güzergâhlardaki imalat öncesi ve sonrası arazi test sonuçları .....	54
Şekil 4.9. Farklı güzergâhlardaki imalat öncesi ve sonrası arazi test sonuçları .....	55
Şekil 4.10. Km: 220+410 ve km: 220+590 üzerinde yapılan dinamik plaka test sonuçları.....	56
Şekil 4.11. Farklı kilometrelerde laboratuvar deneyleri ile bulunan 28 günlük kür sonrası elastisite modülü değerleri .....	57

## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Yollar Fenni şartnamesi tablo 14/1'e göre zayıf zemin özellikleri.....	4
Tablo 1.2. Zayıf zeminlerde görülen problemler.....	5
Tablo 1.3. Zemin tipine göre kullanılan çimento yüzdesi .....	9
Tablo 2.1. Karayolları teknik şartnamesinde yer alan değerler ile formasyondaki kil birimlerinin değerleri.....	30
Tablo 2.2. Killerin şişme potansiyeli .....	31
Tablo 3.1. Mevcut zeminlerin mühendislik özellikleri.....	38
Tablo 4.1. Km: 218+190 alınan zemin numunesinin mühendislik özellikleri .....	47
Tablo 4.2. Km: 218+190 üzerinden alınan karot örneğinin deney sonuçları.....	49
Tablo 4.3. Değişik zemin türleri için UIC tarafından hazırlanan $E_{v2}$ değerleri .....	55

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

V	: Hız (km/sa)
$w_{opt}$	: Optimum Su Muhtevası (%)
$\sigma_b$	: Serbest Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
$E_{v1}$	: Birinci Plaka Yükleme Deneyinin Sonucunda Oluşa Elastisite Modülü (N/mm <sup>2</sup> )
$E_{v2}$	: İkinci Plaka Yükleme Deneyinin Sonucunda Oluşan Elastisite Modülü (N/mm <sup>2</sup> )
$E_{vd}$	: Dinamik Elastisite Modülü (N/mm <sup>2</sup> )

### Kısaltmalar

LL	: Likit Limit (%)
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
PL	: Plastik Limit (%)
SW	: Well-graded sand (İyi Derecelenmiş Kum)
UBM	: Uluslararası Birleşmiş Müşavirler
UIC	: International Union of Railways, (Uluslararası Demiryolları Birliği)
USCS	: Unified Soil Classification System, (Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi)



# SAMSUN-KALIN (SİVAS) DEMİRYOLU MODERNİZASYONU PROJESİNDE ÇİMENTO VE NOVOCRETE İLE ZEMİNLERİN STABİLİZASYONU

## ÖZET

Bu yüksek lisans tezinde, Samsun-Kalın (Sivas) Demiryolu Modernizasyonu kapsamında güzergâhtaki zayıf zeminlerin çimento ile iyileştirilmesi araştırılmıştır. Araştırma kapsamında zeminlerin çimento ile iyileştirilmesinde çimentonun mühendislik özelliklerine katkı sağlayan puzolanik, saf, toz, bağlayıcı mineralin (NovoCrete) çimento ve zemin iyileştirmesine etkisi değerlendirilmiştir. Güzergâhtaki zeminlerin mühendislik özellikleri belirlenmiş ve modernizasyon projesindeki limit değerlerin altında kalan kesimlerdeki zayıf zeminlerin iyileştirilmesinde geleneksel yöntemlerden farklı olarak çimento ile zemin iyileştirmesi planlanmıştır. Öncelikle laboratuvar ortamında farklı zemin türlerinde, farklı oranlarda çimento ve NovoCrete eklenerek yapılan deneyler sonrasında, proje ölçütlerini sağlayan ideal katkı oranları belirlenmiştir. Projede, genelde katkı oranları 1 metrekare iyileştirilecek zemin için 60 kilogram çimento ve çimentonun %2 oranına karşılık gelen 1,12 kilogram NovoCrete kullanılmıştır. Bu katkı oranı veya oranlarıyla, Samsun-Kalın Demiryolu Modernizasyon Projesi'nde yaklaşık olarak 70 km uzunluğundaki kesimde iyileştirme yapılmıştır. Bu tez kapsamında güzergâhtaki en sorunlu kesim olan Zile-Artova arasındaki 30 kilometre uzunluğundaki bölümde zeminlerin iyileştirilmesinde NovoCrete teknolojisi (çimento+puzolanik bağlayıcı mineral) ile iyileştirilme yöntemleri ve bu yöntemle yapılan iyileştirmeyle elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen uygulama sonrası yapılan laboratuvar ve arazi deneyleri ile elde edilen zemin özellikleri ile uygulama öncesine ait mevcut zemin özellikleri karşılaştırılmıştır. Bu doğrultuda NovoCrete teknolojisi ile yapılan iyileştirme sonuçlarının zeminin mühendislik özelliklerine olumlu etkileri saptanmış ve sonuçlar proje ölçütlerine göre değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda, proje için ilk başta ön görülen geleneksel iyileştirme yöntemine kıyasla NovoCrete teknolojisi ile iyileştirme yönteminin projeye önemli ölçüde hız ve zaman kazandırdığı ve zemin türüne göre belirlenen katkı oranları ile yerinde iyileştirilmiş zemin tabakasında mukavemeti ve esnekliği arttırarak proje ölçütleri üzerindeki değerlere ulaşıldığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çimento Stabilizasyonu, NovoCrete, Zeminlerin İyileştirilmesi.

# **SOIL STABILIZATION WITH CEMENT AND NOVOCRETE AT MODERNIZATION PROJECT OF SAMSUN-KALIN (SIVAS) RAILWAY**

## **ABSTRACT**

In this master thesis, within the scope of Samsun-Kalin (Sivas) Railway Modernization, the improvement of weak soils on the route with cement was investigated. Within the scope of the research, the effect of pozzolanic, pure, powder, binder mineral (NovoCrete), which contributes to the engineering properties of cement in the improvement of soils with cement, was evaluated. The engineering properties of the soils on the route were determined and in order to improve the weak soils in the sections below the limit values in the modernization project, it was planned to improve the soil with cement unlike traditional methods. Firstly, the experiments were carried out by adding different proportions of cement and NovoCrete in different soil types in the laboratory, and then the ideal contribution rates that meet the project criteria were determined. In the project, 1.12 kilograms of NovoCrete, which corresponds to 2 kilograms of cement and 60 kilograms of cement, was used for the treated soil area with 1 square meter. With this contribution rate or proportions, improvements have been made in the approximately 70 km long section of Samsun-Kalin Railway Modernization Project. In this thesis, NovoCrete technology (cement + pozzolanic binder mineral) treatment methods and the results obtained with this method were evaluated in the improvement of soils in the 30 km long section between Zile-Artova which is the most problematic section on the route. Soil properties obtained by laboratory and field tests after the application were compared with the existing soil properties before the application. In this respect, the positive results of the improvements made with NovoCrete technology on the engineering properties of the soil were determined and the results were evaluated according to the project criteria. As a result of the evaluation, it was found that NovoCrete technology provides significant speed and time to the project compared to the traditional improvement method originally envisaged for the project, and the values on the project criteria are reached by increasing the strength and flexibility in the on-site improved soil layer with the contribution rates determined according to the type of soil.

**Keywords:** Cement Stabilization, NovoCrete, Improvement of Soils.

## **GİRİŞ**

Proje ölçütlerini karşılaması mümkün olmayan, düşük mühendislik özelliklerine sahip olan zeminler, zayıf zemin olarak adlandırılmakta ve bu zayıf zeminlerin iyileştirilmesinde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Kullanılan yöntemler, geleneksel yöntemlere ve güncel olarak günümüzde gelişen teknolojilere göre farklılık göstermektedir. Geleneksel olarak kullanılan yöntemlerde, genellikle mevcut olan zayıf zeminler kaldırılarak, yerlerine taş ya da kaya dolgusu serilip sıkıştırılması ve üzerine üstyapı tabakalarının yerleştirilmesi ön görülmektedir. Güncel veya modern yöntemlerde geliştirilen çeşitli katkı malzemeleri yardımıyla çimento veya kireçle mevcut zeminin mühendislik özelliklerinin yerinde iyileştirilmesi gibi yöntemler bulunmaktadır. Zeminlerin yerinde iyileştirilmesini sağlayan bu tip yöntemlerde, belli oranlarda çimento veya kireç karıştırılarak zayıf zemin güçlendirilmekte ve zemin proje ölçütlerine uygun olan değerlere yükseltilmektedir.

Çimento stabilizasyonu, genelde mevcut zeminin ağırlıkça %2 ile %10 arasında çimento katılarak yapılan bir iyileştirme yöntemidir. Çimento ile yapılan bu iyileştirmelerde zeminin dayanım özelliklerinin artmasına karşın özellikle esneklik isteyen üstyapı yüklerinde esneklik özelliklerini kaybetmektedir. Çimentonun bu dezavantajı dikkate alındığında, çeşitli katkı malzemeleri kullanarak zeminlerin iyileştirilmesi geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemlerden birisi de puzolanik bir bağlayıcı türü olan NovoCrete katkı malzemesi ile yapılan zemin stabilizasyonudur. Bu amaçla Samsun- Kalın Demiryolu Modernizasyon Projesi'nde, zeminlerin stabilizasyonunda NovoCrete uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Samsun- Kalın Demiryolu 378 km uzunluğunda ve yaklaşık yüz yıldır hizmet vermekte olan bir demiryolu hattıdır. Bu mevcut demiryolu hattının, seyahat süresinin kısaltılması, trafik ve yolcu yükünün artırılması gibi amaçlarla modernizasyonuna karar verilmiştir. Fakat mevcut hattın alt yapısının proje için uygun ölçütlerde olmadığına ve iyileştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Bu nedenle üstyapı ve altyapı kontrol sistemlerinin, yeni teknolojiye uygun olabilmesi için yapılan proje çalışmaları sonucunda zeminin 1,00 ile 3,00 metre kalınlığına sahip kaya dolgu ile iyileştirilmesi öngörülmüştür.

Projenin öngörülen kaya dolgu ile iyileştirilme yöntemine bakıldığında, ilk etapta mevcut bulunan rayların sökülmesi, balast ile subbalast tabakalarının kaldırılmasının ardından mevcut doğal ve dolgu zeminin iyileştirilmesi gerekmektedir. Zeminlerin iyileştirilmesi gerçekleştirildikten sonra yeni subbalast ile balast tabakalarının imalatının tamamlanması ve yeni travers ile rayların montajının yapılması istenmektedir. Fakat ekonomi ve zaman faktörü değerlendirildiğinde, yaklaşık olarak 70 km uzunluğundaki kesimde NovoCrete teknolojisi ile zayıf zeminlerin iyileştirilmesinin daha uygun olduğuna karar verilmiştir. Bu tez kapsamında ise güzergâhtaki en sorunlu kesim olan Zile-Artova arasındaki 30 kilometre uzunluğundaki bölümde uygulanan NovoCrete Teknolojisi ve bu teknoloji kullanılarak gerçekleştirilen iyileştirme sonrasında elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Değerlendirme ise Zile- Artova arasında, çoğunluğu alüvyon ve Çekerek Formasyonuna ait kila ve çamurtaşı birimlerinin ayrışma zonu olan düşük-yüksek plastisiteli kil seviyelerine ait numuneler üzerindeki çalışmaları kapsamaktadır.

Buna bağlı olarak bu tez çalışması, zayıf zeminlerin iyileştirilmesinde, çimento stabilizasyonu ile birlikte kullanılan NovoCrete teknolojisinin, çimentoya olan etkisinin araştırılmasını da konu almaktadır. Araştırma aşamasında, farklı zeminlerdeki çimento stabilizasyonu uygulamasını ve çimento ile zemin etkileşimini konu alan değerlendirmeler araştırılmıştır. Bununla ilgili dünyada ve ülkemizde yapılan çalışmalar ile ilgili bilgi ve verilerden faydalanılmıştır. Daha sonraki aşamalarda ise bu bilgiler doğrultusunda çimento stabilizasyonunda kullanılan NovoCrete teknolojisi ve Samsun- Kalın Demiryolu'nda yapılan modernizasyon projesinde yapılan çalışma sonuçları tez kapsamında ilgili bölümlerde anlatılmıştır.

Uygulama için öncelikle mevcut zemin özellikleri laboratuvar ortamında belirlenerek, eklenecek olan malzemelerin ideal katkı oranları ve uygulama derinliği hesaplanmıştır.

Arazide bu teknolojinin uygulaması gerçekleştirilmeden önce ve uygulama sonrası olmak üzere örnek olarak alınan mevcut zemine, öncesini ve sonrasını değerlendirmek amacı ile gerekli arazi/laboratuvar deneyleri veya testleri yapılmıştır. Bu sonuçlara bakıldığında çimento stabilizasyonu ile birlikte kullanılan NovoCrete teknolojisinin, farklı zemin türlerinde uygulandığında iyileştirilecek olan zayıf zeminlerin mühendislik özellikleri üzerinde etkisinin nasıl olduğu, nasıl sonuçlar verdiği değerlendirilmiştir.

Değerlendirme sonucunda; proje için ilk başta ön görülen geleneksel iyileştirme yöntemine oranla NovoCrete teknolojisi ile yerinde iyileştirme yöntemi projeye önemli ölçüde hız ve zaman kazandırmıştır. Başlarda düşük olan ve altyapı sistemi için uygun olmayan CBR değerlerinin, uygulama sonrasında artış gösterdiği ve benzer artışlara dayanım değerlerinde de bulunduğu görülmüştür. Aynı zamanda yüksek dayanıma sahip zemin tabakasının üstyapı için istenilen esnekliğe ulaşmasını sağlayarak çimentonun bu yöndeki olumsuz özelliğine fayda sağlamıştır. NovoCrete, çimentoya nazaran tüm zemin türlerine uygun olduğu ve yapılan çalışmalarda başarılı sonuçlar sağladığı elde edilmiştir. Ayrıca stabilizasyonda çimentonun reaksiyon hızını arttırmasını sağlayan puzolan içeriği ve geçirimsiz özelliği sayesinde uzun ömürlü bir kullanım sağlamaktadır. Böylece çimentonun zemin ile etkileşimini ve performansını olumlu yönde etkileyerek daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Zayıf Zeminlerin İyileştirilmesi

Tüm inşaat projelerinde taşıyıcı tabaka olarak karşılaşılan zeminlerin cinsi; sahip oldukları nitelikleri, mühendislik özellikleri ve arazi koşulları gibi etmenlere bağlı olarak farklılık göstermektedir (Tumluer, 2006). Bu sebeplerden dolayı zemin, çoğu zaman üzerine yapılacak olan yapı için ideal niteliklere sahip olmamakta ve üzerine gelen statik yükler altında proje için beklenen performansı gösterememektedir (Zorluer ve Usta, 2003; Öztürk, 2012). Literatürde bu durumdaki zeminler, zayıf zemin olarak tanımlanmaktadır. Karayolları Teknik Şartnamesi (KGM, 2013) zayıf zeminlerin tanımlanması birkaç farklı şekilde yorumlanmaktadır. Öncelikle zeminin tanımlanması, Tablo 1.1’de verilen laboratuvar çalışmaları ile belirlenebilen limit değerlerine göre yapılmaktadır.

Tablo 1.1. Karayolları Teknik Şartnamesi 203/1 göre zayıf zemin özellikleri

Deney Adı	Limit Değer	Standart No
Likit Limit (LL)	$\leq 60$	TS 1900-1 AASHTO T-89
Plastisite İndisi (PL)	$\leq 30$	TS 1900-1 AASHTO T-89
Kuru Birim Hacim Ağırlık	$\geq 1,450 \text{ t/m}^3$	TS 1900-1 AASHTO T-89

Yukarıda verilen şekil içerisinde belirtilmekte olan laboratuvar çalışması sonrasında belirlenen, zeminin likit limit değerinin, 60 sınır değerine eşit ya da az olduğu durumlar için yine plastisite indisinin 30 sınır değerine eşit ya da küçük olduğu durumlar için ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerinin,  $1,450 \text{ t/m}^3$  değerine eşit ya da büyük olduğu durumlarda zeminler, zayıf zemin olarak yorumlanmaktadır (URL-1 ve KGM, 2013).

Karayolları Teknik Şartnamesi (KGM, 2013)'nin diğer zayıf zemin yorumlamaları da açıklanacak olunursa; yeraltısu seviyesinin platform düzeyinde veya üzerinde olduğu durumlardaki, bünyesinde kil, silt ve organik madde içermekte olan zeminler, problemlili olarak görülmekte ve yine zayıf zemin olarak tanımlanmaktadır (URL-1, ve KGM, 2013).

Zayıf zeminler, projenin hazırlık aşamasında ya da projenin yapım evresinde, laboratuvarında veya arazide gerçekleştirilen araştırma çalışmaları ile belirlenmektedir (URL-1). Bunun nedeni; araştırma çalışmaları ile üzerine yapı oluşturulacak zeminin cinsi, dane boyu, aktivite durumu, kıvam limitleri gibi fiziksel ve zemindeki geçirgenlik durumu, şişme karakteristikleri, oturma değerleri ve taşıma kapasitesi gibi mühendislik özelliklerinin belirlenmesi gerçekleştirilmektedir (Aydın ve Uygur, 2017). Zeminin fiziksel ve mühendislik özelliklerinin uygun olmadığı durumlarda, dikkat edilmeden veya önlem alınmadan yapılan yapılarda ise Tablo 1.2'de verilen problemler görülmektedir.

Tablo 1.2. Zayıf zeminlerde görülen problemler

Zeminde Görülen Problemler	Etkileri
Zeminlerin sıvılaşma potansiyeli	Zeminde Göçme Potansiyeli
Yetersiz taşıma gücü	Oturma Deformasyonları
Yapım sırasında veya sonrasında meydana gelen aşırı oturmalar	Oturma Deformasyonları
Şev duraysızlığı	Oturma Deformasyonları
Temel kazısı ile ilgili problemler	Kayma Potansiyeli
Kazı sonucu kabarmalar	Farklı Oturma Deformasyonları

Tablo 1.2'de verilen zayıf zeminlerin yarattığı problemler neticesinde zemin, statik yükler altında, yetersiz taşıma gücüne sahip olmakla beraber, sıvılaşma potansiyeli taşıyabilmekte, böylece şişme, oturma, kabarma deformasyonları gibi birçok durumlar ile karşılaşmaktadır. Bu durumlarla karşılaşıldığı takdirde zeminin, üzerine yapılacak olan yapıları güvenli ve ekonomik bir şekilde taşıması mümkün olmamaktadır (URL-1).

Geleneksel olarak bilinen yöntemlerde; bu tip problemlerle karşılaşıldığında, ya sorunlu bölgeden vazgeçilerek başka bir arazi aranır ya da uygun olmayan zemin kazılarak atılır ve yerine ariyet sahalarından istenilen niteliklere uygun olan zemin getirilerek kontrollü bir şekilde yerleştirilmesi yapılmaktadır (Altun, 2010). Fakat geleneksel yöntemlerin, her zaman ekonomik ve zaman açısından uygun olmadığı durumlarda, günümüzde gelişen ve gelişmekte olan teknoloji sayesinde, birçok zayıf zemin iyileştirme yöntemleri uygulanmaktadır.

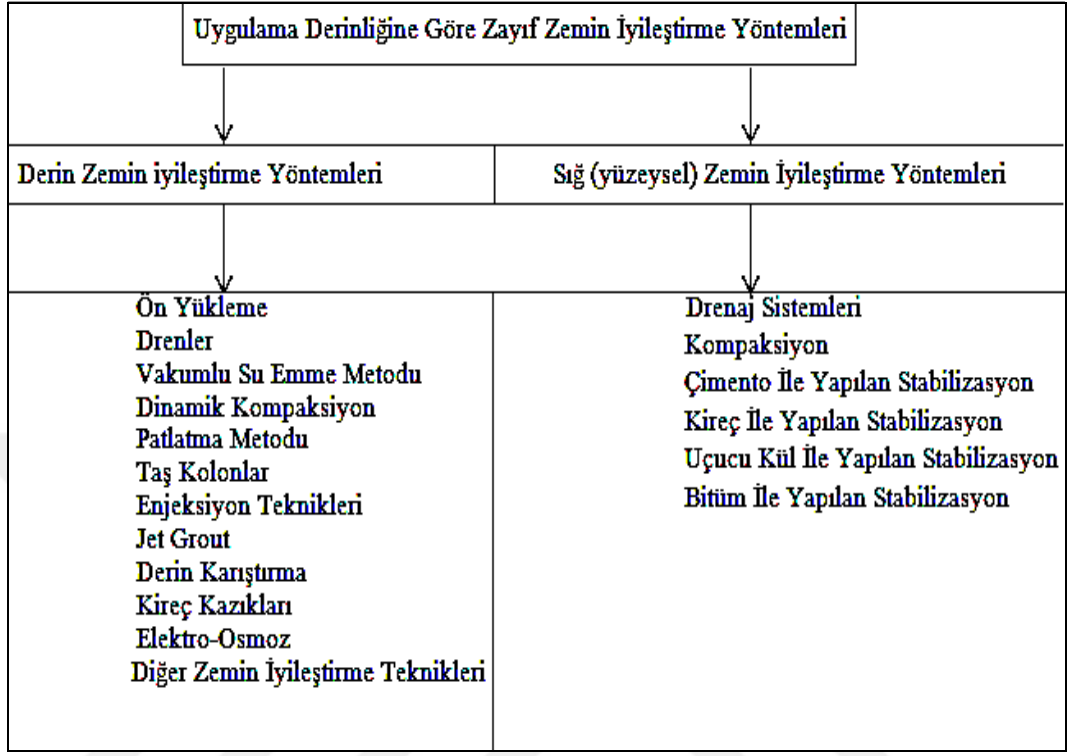
Zayıf zeminlerin iyileştirme veya diğer bir adıyla stabilizasyon yöntemlerinde iyileştirme, mekanik araçlar ile karıştırılarak ya da sıkıştırılarak sağlandığı gibi stabilizasyonla beraber bağlayıcı, tutucu ve su uzaklaştırıcı maddelerin veya malzemelerin kullanılmasıyla da yapılmaktadır. Bu genel tanımlamaya göre dört ayrı gruba ayırmak mümkündür. Stabilizasyon çeşitlerinin, zemin üzerinde uygulanacak projeye, projede ulaşılması istenilen zemin ölçüt değerlerine, zeminin mühendislik özelliklerine, uygulama derinliğine vb. çeşitli durumlara göre uygunluğu değişmektedir.

Farklı stabilizasyon yöntemlerinin uygulanmasıyla; zeminin kayma direnci ile geçirimsizliğin artırılması, bünyesinde bulunan kum-çakıl gibi iri daneler arasındaki boşlukların azaltılması ile daneler arasındaki sıklığın sağlanması, kil-silt gibi problem yaratabilecek ince daneli zeminlerin kıvamlarının artırılması gibi çözümlere ulaşılmaktadır. Bu çözümlere ulaşılması ile zemin, üzerine yapılacak olan yapıyı güvenli ve ekonomik bir şekilde taşıyabilmektedir (Sağlamer, 1985).

Sağlamer (1985) tarafından yapılan çalışmaya göre; stabilizasyon yöntemlerinin, zemin dane çapına dikkat edilerek seçilmesinin daha doğru olduğunu, sebebinin ise tüm zemin iyileştirme yöntemlerinin, zemindeki daneler arasındaki boşluk oranının mekanik araçlarla azaltılması veya daneler arasındaki boşlukların uygun katkı ile doldurulması amacıyla yapıldığını açıklamaktadır (Ayan, 2009). Zemin dane çapının yanı sıra yine dikkat edilmesi gereken diğer bir durum ise iyileştirme yöntemlerinin, uygulama derinliğine göre seçilmesidir. Uygulama derinliğine göre zemin iyileştirme türleri, derin iyileştirme ve sıg (yüzeysel) zemin iyileştirme yöntemleri olarak kendi aralarında ikiye ayrılmakta ve Şekil 1.1'de verilmektedir (Ayan, 2009). Şekil 1.1'de bahsedilen zemin iyileştirme yöntemleri ile günümüzde bu yöntemlere ek olarak



sürekli geliştirilen ve geliştirilmekte olan pek çok zemin iyileştirme yöntemleri bulunmaktadır.



Şekil 1.1. Uygulama derinliğine göre zemin iyileştirme yöntemleri (Ayan, 2009)

Bu tez kapsamında, sığ zemin iyileştirme yöntemlerine dahil olan, çimento stabilizasyonu ve çimento stabilizasyonunda çimento ile birlikte kullanılan NovoCrete katkı malzemesi araştırılmıştır. Bu nedenle, aşağıdaki bölümlerde daha çok sığ zemin iyileştirme yöntemleri hakkında kısa bilgiler sunulmuştur.

### 1.1.1. Sığ (Yüzeysel) Zemin İyileştirme Yöntemleri

Sığ zemin iyileştirme yöntemleri, zeminlerin iyileştirilmesinde mevcut zeminin yüzeyinden itibaren sığ derinliklerinde uygulanmasının, uygun ve ekonomik olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin içerisinde, üzerinde katkı kullanılarak ya da katkı kullanılmadan veya kompaksiyon yöntemi ile daneler arasındaki boşlukların azaltılmasını ve drenaj sistemleriyle zeminin drene edilmesi gibi çeşitli yöntemleri içermektedir (Ayan, 2009).

### **1.1.2. Drenaj sistemleri**

Drenaj sistemleri; zemin bünyesindeki su muhtevasının optimum miktarda tutulmasını, bölgeye su girişinin engellenmesini ve bölgeden suyun uzaklaştırılmasını sağlamak için kullanılmaktadır (Uzuner, 1995).

Nem ve su izolasyonu yapabilmesi sayesinde, zeminin mukavemet değerinin ve taşıma gücünün artmasında etkili olmaktadır. En çok olumlu etkisi ise kohezyonlu zeminler üzerinde görülmektedir (Ayan, 2009).

Önalp (1983), drenaj sistemlerini; kayma mukavemetini arttırma odaklı olan Fransız Drenleri olarak yüzeydeki ya da yeraltındaki çevre sularını toplamayı hedefleyen Çevre Drenleri olarak, killer için tercih edilen Köstebek Drenleri ve kademeli pompa sistemi kullanılarak uygulanan Kuyu Drenleri olarak dört farklı grup altında açıklamaktadır. Zemin cinsine ve kullanım amacına göre seçilerek kullanılan bu drenaj sistemleri zemini, stabil bir şekilde tutulmasını sağlayarak yeraltı veya yerüstü suların etkisinden korumaktadır (Ayan, 2009).

### **1.1.3. Kompaksiyon**

Kompaksiyon ile zemin iyileştirme; zeminin kuru birim hacim ağırlığı dikkate alınarak, zeminin optimum su muhtevası kontrolünde, mekanik araçlarla zemindeki daneler arasındaki havanın çıkarılması işlemidir. Dolayısıyla bu yöntem zemin danelerin, birleşmesini veya sıkışmasını sağlamak amacıyla yapılmaktadır (Ayan, 2009). Bu sayede zeminde, geçirimsizlik özelliğini azaltarak, taşıma gücünü ve dayanımını arttırarak zemine daha kararlı bir yapı kazandırılmasını sağlamaktadır (Tumluer, 2006). Kompaksiyon yöntemi, silindir makinaları, vibratörler gibi çeşitli mekanik araçlar ile yapılmaktadır.

### **1.1.4. Çimento ile yapılan stabilizasyon**

Çimento stabilizasyonu, 1920 yıllardan bu yana çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bağlayıcı ve tutucu özelliklerinden dolayı su ile reaksiyona girdiğinde erimeden sertleşmekte ve zemin danelerini birbirine bağlamaktadır (Tumluer, 2006). Danelerin birbirine bağlanmasını sağlayan su miktarı, standart proktor deneyi ile belirlenerek her zemin türünde farklılık göstermektedir.

Ayrıca kullanılması gereken su miktarı çimentonun, zemin ile girdiği reaksiyon için de büyük önem taşımaktadır. Önemli olan diğer bir durum ise çimentonun zemin türüne göre belirlenen kullanım miktarı ve dolayısıyla başarı durumudur.

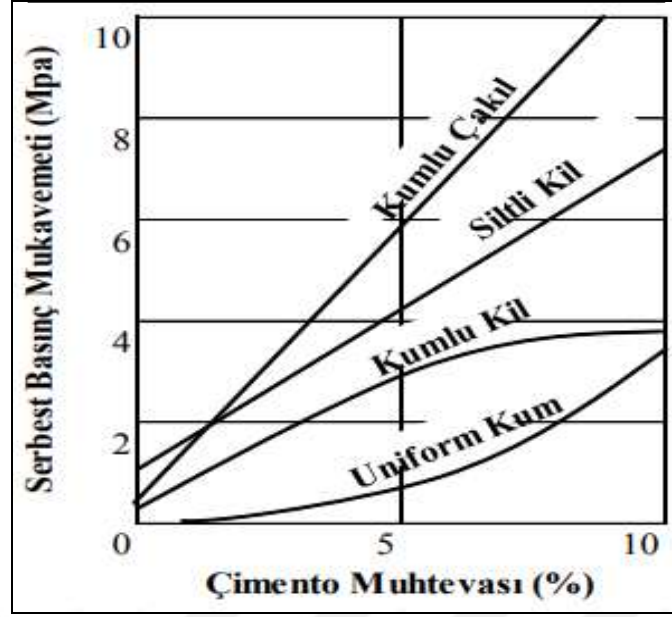
Her zemin için kullanılacak çimento miktarları yaklaşık olarak zemin tiplerine göre aşağıdaki Tablo 1.3'te verilmektedir.

Tablo 1.3. Zemin tipine göre kullanılan çimento yüzdesi

ZEMİN TİPİ	AĞIRLIK OLARAK ÇİMENTO YÜZDESİ
İnce Kırılmış Kaya	0,50-1
İyi Derecelenmiş Kumlu Kil Çakılları	2,00-4,00
İyi Derecelenmiş Kum	2,00-4,00
Kötü Derecelenmiş Kum	4,00-6,00
Kumlu Kil	4,00-6,00
Siltli Kil	6,00-8,00
Ağır Kil	8,00-12,00
Organik Zeminler	10,00-15,00

Tablo 1.3'te zemin tipine göre kullanılması gereken çimento yüzdeleri verilmektedir. Kullanılacak çimento yüzdeleri, zemin tipi ile birlikte, zeminin sıkışma oranına ve ideal kür gün süresine bağlı olarak da değişiklik göstermektedir (Tumluer, 2006). Kullanılan çimento miktarının artması, çimentonun zemini iyileştirme başarısını doğru orantılı olarak attırmamaktadır. Dolayısıyla, çimento stabilizasyonunun başarısı, en fazla organik madde içeren zeminlerde olması beklenirken çimento, organik madde içeren zeminlerde ve killerde çok fazla başarı gösteremediği bilinmektedir (Ayan, 2009). Fakat doğru orantılı olarak artış gösteren, çimentonun serbest basınç mukavemeti ile çimento muhtevası olmaktadır (Şekil 1.2).

Şekil 1.2'de çimento muhtevası ile serbest basınç mukavemeti arasındaki ilişki verilmektedir. Uzuner (1995) tarafından hazırlanan araştırma çalışmasına göre, arazide istenilen mukavemet ve dayanım değerlerine göre çimento muhtevasının %1,50 oranında arttırılmasının gerekli olduğu söylenmektedir. Aşağıda verilen şekil yorumlanacak olunursa çimento katkısı, kumlu çakıllar üzerinde daha başarılı olmaktadır.



Şekil 1.2. Serbest basınç mukavemetinin çimento muhtevasına etkisi (Ayan,2009)

Çimentonun, stabilizasyon sırasında sahip olduğu özelliklerinin ve zemin iyileştirmesindeki başarısının geliştirilmesi adına günümüzde çeşitli katkı malzemeleriyle birlikte kullanıldığı görülmektedir. Bu sebeple tezin ileriki bölümlerinde, çimento stabilizasyonunda, katkı malzemesi olarak kullanılan NovoCrete malzemesinin, çimentoya ve zemin iyileştirilmesine olan etkilerine yer verilmektedir.

#### 1.1.5. Kireç ile yapılan stabilizasyon

Kireç, zemin iyileştirilmesinde kullanılan en eski katkı malzemesi olarak bilinmektedir.

Kireç genel olarak değerlendirildiğinde, kil minerali içeren zeminlerin çoğunu %3 ile %8 oranında eklenmesi ile zeminin rahatlıkla iyileştirilmesini sağlamaktadır. Bunun sebebi ise kirecin, kil mineralinin sahip olduğu kristal kafesinden silisi uzaklaştırarak reaksiyona girmesidir. Dolayısıyla kil mineralinin kimyasal özelliği değişmekte ve bünyesine giren sudan etkilenmeyerek, şişme özelliğini kaybetmektedir. Kilin su ile temas ettiğinde etkilenmemesi ve kil davranışı göstermemesi, kireç stabilizasyonunu başarılı kılmaktadır (Akyarlı ve diğ., 2009).

### **1.1.6. Uçucu kül ile yapılan stabilizasyon**

Uçucu kül, genellikle kömür yakılarak, enerji üretmek için çalışılan santrallerde, santrallerin bacalarından çıkan ve silt boyuntundaki ince taneli, gri renkli malzeme olarak adlandırılmaktadır. Uçucu küllerin, Kimyasal ve fiziksel özellikleri, kömür cinsine ve yanış şekline göre değişmektedir (Güler ve diğ., 2005). Günümüzde, uçucu küllerin sahip olduğu puzolon özelliği taşıması sebebiyle zemin iyileştirme yöntemlerinde, katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Özellikle kireç ile karıştırılarak yapılan iyileştirme çalışmasında, çoğunlukla killi zeminlerde olumlu sonuç veren kirecin, iri taneli zeminlerin iyileştirilmesi üzerindeki etkisini arttırmaktadır. Ayrıca Bell (1993) tarafından yapılan bir çalışmaya göre uçucu küller, zeminin plastisite indisi değerinin %10'dan az olduğu durumlarda stabilazör olarak seçilmesinin uygun olduğu belirtilmektedir.

### **1.1.7. Bitüm ile yapılan stabilizasyon**

Bu yöntem, ince daneli zeminlerin permabilitesini azaltarak, ince daneli zeminlerin yumuşamasını önleyerek suyun zararlı etkilerinden korunmasını sağlamaktadır. Ayrıca iri daneli zeminlerde, danelerinin birbiri ile yapışmasını sağlayarak zemine kohezyon özelliği kazandırmaktadır. Diğer katkı malzemelerine göre biraz daha pahalı olmakta ve genellikle kurak havalarda uygulanmasına dikkat edilerek çoğunlukla karayollarında kullanılmaktadır.

Böylece bitüm ile iyileştirilmiş yüzeylerin, bitümün kazandırdığı niteliklerinden dolayı, iyileştirilen zemin, iyi niteliğe sahip bir alttemel görevi üstlenmektedir (Tumluer, 2006). Zeminde geçirimsizliği azaltmak için kullanılmak istenirse ideal katkı oranlarının %4-%7 arasında olacak şekilde kullanılması gerekmektedir. Yine bitüm kullanılmasında diğer dikkat edilecek bir durum ise; zeminin 200 No'lu elekten geçen kısmının %12 'den küçük ve Plastisite indisinin ise %10'dan düşük olması gerekmektedir .

Genel olarak bu bölümde en çok kullanılan stabilizasyon yöntemleri anlatılmış olsa da günümüzde farklı türlerde birçok katkı malzemesi kullanılarak stabilizasyon yapılması mümkündür.

Tez konusunu kapsayan çimento stabilizasyonu ve çimento stabilizasyonu ile birlikte kullanılan NovoCrete katkı malzemesinin etkilerini araştırmak için literatürde çimento ile yapılan diğer stabilizasyon çalışmaları araştırılmış ve NovoCrete malzemesi anlatılmıştır.

### **1.2. NovoCrete Teknolojisi**

Bu stabilizasyon çalışmasında Portland çimentosu ile birlikte kullanılan NovoCrete, Alman teknolojisine ait, alt yapı iyileştirmesinde kullanılan bir teknoloji ürünüdür. Kullanılmaya başlanılmasından önce 12 yıl süren test ve kontrol aşamalarını başarılı bir şekilde geçmesinin ardından dünyada ilk olarak 2003 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Birçok ülkede yaygın olarak kullanılan NovoCrete, ülkemizde ise Jags Innovative Products İnşaat Sanayi ve Ticaret Limited şirketi tarafından ilk olarak 2012 yılında Ankara Batı-Kent Ostim 1940 No'lu Cadde üzerinde uygulanmıştır (Aydıner, 2017).

Kimyasal özelliklerine bakıldığında, NovoCrete geri dönüşüm sağlayan, tamamıyla alkali ve toprak alkali sülfat yapılarından oluşan, aynı zamanda diğer katkı malzemelerine oranla daha doğal ve çevreci olan bir üründür. Puzolan yapısı sayesinde birleştirici ve tutucu özelliği bulunmaktadır. Bu sebeple Portland çimentosu ile kullanıldığında, çimentonun zemin ile bağdaşmasını ve hızlı bir şekilde puzolanik reaksiyona girmesini sağlamaktadır. Türkiye'de de bu sayede iyileştirme projelerinde tercih edilerek kullanılmaya devam edilmektedir.

### **1.3. NovoCrete Teknolojisi İle Yapılan Daha Önceki Uygulamalar**

Zeminlerin yerinde iyileştirmesini sağlayan NovoCrete teknolojisi ile çimento stabilizasyonunda üstyapı ile uyumu sağlayacak esnek bir alt temel veya üst yapı katmanlarının bazı bölümlerinin imalatı söz konusu olmuştur. Bununla ilgili çeşitli Ar-Ge çalışmaları yapılmış ve hala daha NovoCrete teknolojisi ile gerçekeştirilen farklı çalışmalar devam etmektedir. Karayolları Genel Müdürlüğü kapsamında da benzer şekilde Ar-Ge projeleri, Kocaeli Mühendislik Fakültesi Projesi olarak JAGS Innovative Products İnşaat Sanayi ve Ticaret Limited şirketi ile birlikte sürdürmektedir. Ülkemizde de bu uygulamaya ait demiryolu, karayolları ve otoyollardaki çalışmalar ve örnekler özetle aşağıda anlatılmıştır;

JAGS Innovative Products İnşaat Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi tarafından (2013), KGM 4. Bölge Ankara-Gölbaşı- Kayseri Karayolu BALA İlçe geçişinde alt yapı iyileştirmesi yapılmıştır. NovoCrete ile iyileştirilen altyapının 3 yıl sonrasında performansı deneylerle kontrol edilmiş ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Öncesi ve sonrasındaki CBR ve dayanım değerlerinin kür günü geçtikçe arttığı sonuçlarına ulaşılmıştır. Yine benzer bir çalışma; Tekirdağ, Çerkezköy Kapaklı-Saraylı Karayolu altyapı iyileştirme projesinde yapılmıştır.

10 cm road-mix metodu ile yapılan bitümlü sathi kaplı yolun, kaplaması kaldırılmadan direkt olarak NovoCrete malzemesi serilerek yerinde iyileştirilmiştir. İyileştirme öncesinde, %3,99 olarak bulunan düşük CBR değeri, uygulama sonrasında %271,31 gibi yüksek CBR değerine ulaşmıştır. Benzer olumlu sonuçlar, elastisite ve deformasyon modüllerinde de bulunmuştur.

Irmak-Karabük-Zonguldak Demiryolu Hattı Rehabilitasyonu ve Sinyalizasyonu Projesi'nde bu teknolojisi ile ray, travers ve balast takımları kaldırılarak, mevcut olan zayıf zeminin yerinde stabilizasyonu sağlanmıştır. Yapılan dinamik plaka yükleme deneyinde uygulama öncesindeki  $E_{v2}$  değeri 7,50 MPa iken, uygulama sonrası  $E_{v2} > 180$  MPa değerine ulaşılmıştır (Coruk ve diğ., 2017). Statik plaka yükleme deneyinde ise 160- 490 MPa olarak ölçülmüştür. Proje, 2 gün süre içerisinde bitirilerek yüksek taşıma kapasitesine ulaştırılmıştır

Bozkurt-Dinar arasındaki 75 kilometre uzunluğunda olan ve toplamında 28,88 kilometrelik iyileştirilen bölgenin büyük bir kısmı yüksek-düşük plastisiteye ve düşük dayanıma sahip kil zemin tabakasıdır. Bölgedeki yeraltı su seviyesi iyileştirme derinliği ile aynı seviyede veya daha üzerinde olmasına karşın iyileştirme başarıyla sonuçlanmıştır. Proje tasarım değerlerinin çok daha üzerinde olan sonuçlara ulaşılmıştır (Aydiner, 2007). Bu çalışmalarda öncelikle çimento katkısı kullanılarak yapılan zayıf zeminlerin iyileştirilme uygulamaları araştırılmıştır.

Araştırma boyunca, daha önce çimento ile yapılan stabilizasyon örneklerindeki ideal katkı oranları, kür günlerinin etkileri ile en uygun kür günleri, çimentoya belirli oranlarda eklenen diğer kimyasal veya mineral katkılarının artı ya da eksi yönlerini ifade edilen çalışmalardaki elde edilen sonuçlar dikkate alınmıştır.

Dikkate alınan önceki çalışmalar eşliğinde, iyileştirmede kullanılan çimento katkısının, rijit davranış göstererek zeminde tam olarak esnekliği sağlayamadığını ve zeminin daha esnek bir yapı kazanmasını hedeflemek amacıyla gerçekleştirilen NovoCrete teknolojisinin uygulanması ve uygulama sonrasındaki sonuçları bu tez kapsamında değerlendirilmiştir.

#### **1.4. Çimento ve Kireç Stabilizasyonuna Yönelik Önceki Çalışmalar**

Zeminlerin iyileştirilmesinde uygulanan çimento stabilizasyonu ile ilgili Türkiye’de ve dünyada yapılan bazı örnek çalışmalar özetle aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

Shroff ve diğ. (1992), polimer ve çimento karışımlarının ayrı ayrı kullanarak, mukavemeti ile viskozitesinin zamana göre değişimini araştırmıştır. Portland çimentosu ile kimyasal ve polimer içeren katkı malzemesine yapılan testlerin sonucunda, çimento karışımı olan numunelerin, kimyasal içeren diğer numunelere oranla daha yüksek basınç mukavemetine eriştiğine ulaşmıştır.

Tüdeş (1996), zeminlerin çimento ve kireç katkısı ile stabilizasyonu araştırdığı tez çalışmasında, örnek olarak aldığı 3 zemin türünün mineralojik ve fiziksel özelliklerini belirlemek için gerekli deneyler yapılmıştır. Zeminlerin kayma direnci parametrelerini belirlemek amacıyla, katkısız zemin ile çimento+ kireç eklenmiş olan zeminlerin, standart bir enerji ile sıkıştırılması sağlanmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında ise kireç ve çimentonun iyileştirmede başarı sağladığına, optimum katkı madde oranının %5 ile %10 oranında olduğuna ulaşılmıştır. Ayrıca bu katkı oranlarının artırılması, uygulanan her malzemedeki stabilizasyon başarısını arttırmadığına ulaşılmıştır.

Aytekin ve Nas (1998), Trabzon civarındaki sarı, kahverengi ve kırmızı renkte olan farklı türlerdeki zeminlerden örnekler alarak, kireç ve çimento katkısı ile ayrı ayrı yapılan iyileştirilme sonuçlarında, dayanım oranlarındaki başarı durumunu araştırılmıştır. Araştırma sonucunda, kullanılan katkı maddesi kadar zemin türünün de plastisite indisini etkilediğini ve çok yüksek dayanım değerlerine ulaşılması gerekmeyen haller için %5 ile %10 arasında kireç katkısı uygun olurken yüksek



dayanım değerleri istendiği durumlarda ise imento katkısının daha uygun olduğu sonuçlarına ulaşmışlardır.

Eren ve Yılmaz (2004), yüksek firin cürufunun veya uçucu külün Portland imentosu yerine kullanılma durumunu araştırdığı çalışmasında, değişik sıcaklıklarda kr edilen betonlarının dayanım değerleri karşılaştırılmıştır. Uçucu kül ve cürufun dayanım oranlarına göre Portland imentosunun, dayanımındaki değerlerinin daha hızlı arttığını ve en yüksek dayanım değerine kendisinde ulaştığı görülmüştür. Cüruf ile çimentonun karışmasının, kullanılan iki tipin kimyasal oranlarının farklı olmasının yanı sıra cürufun hidrasyon sürecinin daha yavaş olması sebebiyle zemin dayanım değerini geciktireceği yönünden uygun görülmemiştir.

Heari ve diğ. (2005), Tahran alvyonuna ait zemin türü kumlu çakıl olan zeminlerde, imento stabilizasyonu hakkında yaptığı çalışmada, katkısız olan numunelere ve imento içeriği %1,5 %3, %4,5, %6 ve %9 olarak hazırlanan numunelere konsolidasyonlu drenajsız üç eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Yapılan bu deneylerin sonucunda 28 gün kür sonrası imento katkısız zemin numunesinde plastik kırılma gözlenirken imento katkılı numunelerde ise verev kırılma gözlenmiştir.

Erdoğan (2005), imento harçlarının sahip olduğu niteliklerinin iyileştirilmesi amacıyla mermer tozu, lateks ve süper akışkanlaştırıcı gibi katkı maddeleri eklenmesinin imento harçlarına olan etkileri araştırdığı bu çalışmada, mermer tozunun sadece maliyeti düşük olması ve tekrar kullanılabilme özelliği avantaj sağladığı görülmüştür.

Süper akışkanlaştırıcılar ile latesksin kılcallık katsayısı ile su emme oranını azalttığına ayrıca lateksin aderans ile eğilme mukavemetini arttırırken basınç mukavemetini azalttığı fakat süper akışkanlaştırıcılarda ise her iki mukavemet değerleri arttırdığı sonuçları görülmüştür. Bu bulgulara göre amaç ve ortam koşullarına göre katkı maddelerinin seçimi belirlenmeli ya da birkaç katkıyı doğru oranda kullanılmasının gerekli olduğuna ulaşılmıştır.

Şimşek ve Çiftci (2006), Tuğla ununun puzolanik madde olarak çimentoda kullanılabilirliği araştırdığı çalışmada, puzolanik madde olan tuğla ununun çimentonun standart kıvam suyu ihtiyacını ve prizlenmesi süresini arttırdığına ulaşılmıştır. 90 ile 180 gün sonrasında eğilme dayanımları % 2,66 ve %4,49 olarak, basınç dayanımları ise % 1,24 ve % 5,2 oranında artarken en yüksek basınç dayanımına 28 gün sonrasında % 20 oranındaki tuğla unu eklenmiş olan numuneler üzerinde 36,7 MPa olarak ulaşılmıştır.

Kılıç (2008), İngiltere’de bulunan West Ashling, Hamble ve Emsworth bölgelerine ait bazı killi zemin numunelerinde çimento ile stabilizasyonu deneysel olarak incelemiştir. Laboratuvarda katkısız ve %6, %10 çimento katkısı eklenerek hazırlanan numunelere, VANE ve üç eksenli basınç testleri yapılmış ve bu testlere göre kayma mukavemet özelliklerinin iyileştiği görülmüştür. Ancak bu değerler alınan bölgelerdeki zemin türüne göre farklılık göstermekle beraber 7,14 ve 28 günlük kür süresi sonrasında ise çimento katkılı numunelerdeki serbest basınç mukavemetinin zamanla arttığı sonuçlarına ulaşılmıştır.

Okyay ve Dias (2010), çimento ve kireç ile işlem görmüş zeminlerin mekanik özelliklerini laboratuvar ortamında araştırmıştır. Çimento katkılı uygulamalarda çimento, mevcut zeminin dayanım değerlerini hızlı bir şekilde arttırdığını, kireç ile yapılan iyileştirmenin ise çimentodan daha uzun süre aldığını ve uygulama sonrasındaki alınan sonuçların, uygulama formülüne bağlı olduğunu saptamıştır. Aynı zamanda zeminde, elastisite modülü, kohezyon ve içsel sürtünme oranlarının da zaman ile değiştiğine ulaşılmıştır.

Fırat ve Cömert (2011), çalışmada ilki kaolin+ kireç ikincisi kaolin+ bentonit+ kireç içermekte olan iki farklı matris üzerinde, farklı oranlarda çimento katkısı ve F sınıfı uçucu kül kullanılarak stabilize edilen örneklerde, belirli kür günleri sonrasındaki deney sonuçları değerlendirilmiştir. Malzeme özelliğini ölçülmesi için en uygun kür günü süresinin 28 gün olduğuna ve uçucu kül kullanılan matrisin taşıma gücünde artış görülürken çimento kullanılanda ise azalma görülmüştür. Fakat dayanım azalmasına rağmen en yüksek CBR değerine çimento katkılı matriste ulaşılmıştır. Diğer katkı oranlarına göre daha yüksek taşıma gücü ve dayanım değerlerine, katkı

oranlarının %15 olduğunda ve plastik özelliklerini tamamen kaybetmediğinde ulaşılmıştır.

Kök ve diğ. (2012), düşük taşıma gücüne sahip kum-çakıl zemin numunesi üzerinde, farklı oranlarda yapılan çimento stabilizasyonu ile zeminin taşıma gücüne ve üst yapı maliyetine olan etkisi araştırılmıştır. Araştırmada, yeterli bir üst yapı için optimum çimento miktarı %7 olarak hesaplanmış ve uygulama öncesi %3 CBR değerine sahip yol altyapısının, uygulama sonrası %50'den daha fazla CBR değerine eriştiği ve üst yapı maliyetinin ise yaklaşık %50 oranında azaldığı görülmüştür. CBR değerinin artması, üst yapı maliyetinde azalma sağladığını ve bu nedenle düşük taşıma gücüne sahip zeminlerde, çimento stabilizasyonu yapılması gerektiğine kanaat getirilmiştir.

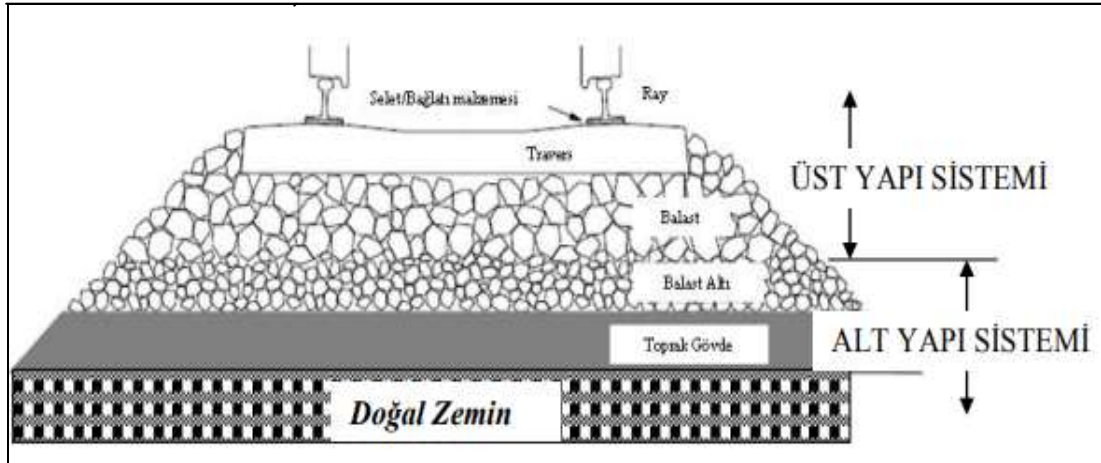
Doru (2014), Harran Bölgesi'ndeki killi zeminlerin iyileştirilmesinde çimentoya ek olarak F ( %0'dan az CaO içeren) sınıfı ve C (%10'dan fazla CaO içeren) sınıfı uçucu kül kullanılarak iyileştirilmesi araştırılmıştır. Araştırma boyunca, uçucu kül oranı kullanılan çimentonun %10'u, %30'u ile %50'si olacak şekilde kullanılmış ve 28 günlük kür sonrasında yapılan deneylerin sonuçlarında uçucu kül oranının artması sonucu çekme dayanımı ile serbest basınç mukavemet sonuçlarının düştüğü görülmüştür. Ayrıca C sınıfı uçucu külün daha iyi priz aldığını, çimento oranının uçucu kül oranından fazla olduğu numunelerde erken yaş dayanımının daha yüksek olduğu saptamıştır. Son olarak ince taneli zeminlerin daha fazla su çekmesi sebebi ile bağlayıcı malzemelerin puzolanik reaksiyon sırasında, karışım suyunu etkili şekilde kullanamadığı düşünülmüştür.

Bideci ve diğ. (2018), kolemanit katkısının çimento üzerindeki etkisini araştırılan çalışmada; kolemanit katkısının artması ile priz alma süresinin uzaması, standart kıvam suyu ihtiyacının artması, özgül yüzey değerlerinin düşmesi ve basınç dayanımlarında ise azalma olması gibi sonuçlar elde edilmiştir. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde kolemanitin, %1, %3 ve %5 oranlarında çimentoya eklenerek kullanımı uygun bulunmuştur. Çimento stabilizasyonu ile ilgili yukarıda bahsedilen çalışmalarda, çimento ile birlikte kullanılan çeşitli katkı malzemeleri üzerinde belirli kür günleri sonrası yapılan deney sonuçlarına bakılarak, katkı malzemelerinin zemin parametrelerine olan etkileri genel olarak değerlendirilmiştir.

Değerlendirmeler doğrultusunda, yukarıda verilen çalışmalarda katkı malzemelerinin, istenilen zemin parametrelerinde her zaman artış sağlamadığını fakat daha önce yapılmış Ar-Ge Projeleri ve Samsun- Kalın Demiryolu Modernizasyon Projesi gibi NovoCrete teknolojisi ile iyileştirilen zeminlerin dayanım ile CBR değerleri, elastikiyet özellikleri çoğunlukla artış göstermiştir. NovoCrete, çimentonun sahip olduğu nitelikleri olumlu yönde etkileyerek iyileştirme sonrasında uygulandığı her projede ve her zemin türünde başarılı sonuçlar vermektedir.

### 1.5. Demiryolu Altyapı Sistemleri

Bir demiryolu, genel olarak traversler, balast, alt balast (subbalast) ve taban zemini gibi bileşenleri içeren üstyapı ve üstyapıyı taşıyan altyapı sistemlerinden oluşmaktadır (Akbaş, 2008). Şekil 1.3.'te bu sistemler daha ayrıntılı olarak gösterilmektedir. Şekil 1.3.'te verilen demiryolu sistemleri; ray, travers, balasttan oluşan üstyapı sistemleri ile balast altı ya da subbalast ve altındaki zemin tabakalarından oluşmaktadır. Bu sistemlerin sahip olduğu özellikleri ile kalınlıkları, yolun mesnet rijitliği ile geometrisini ve drenaj sisteminin korunmasını önemli derecede etkilemektedir ( Erel ve Yalçın, 2007).



Şekil 1.3. Demiryolunun hattını oluşturan sistemlerin görünümü (Öztürk ve Arlı, 2009)

Balastlar, traversler ile rayları birbirine bağlamayı sağlayan ve üstyapı altına döşenerek 20-60 mm arasında değişim gösteren doğal ya da kırmataş danelerinden oluşmaktadır. Demiryolu sisteminin devamında ise balastların hemen altında

bulunan, yolun esas taşıyıcı kısmı olan altyapı sistemleri bulunmaktadır. Bu altyapı sistemleri, üstyapı üzerine demiryolu inşa edilebilmesi için zemin üzerinde yapılması gerekli olan tüm yapı ve işleri içermektedir.

Altyapı sistemine daha ayrıntılı bakılacak olunursa, balast altında taban zemin bulunmaktadır. Altyapı sistemi altında bulunan taban zemini, sürekli tekrarlanan tekerlek yüklerinin sebep olduğu titreşimleri, çok fazla deformasyona uğramadan taşınmalı ve çevreden gelebilecek sıcaklık ile su içeriğindeki değişimlerin etkilerine karşı ise dayanıklı olması gerekmektedir. Ayrıca taban zeminin önemli olduğu diğer etmen ise hat performansdır.

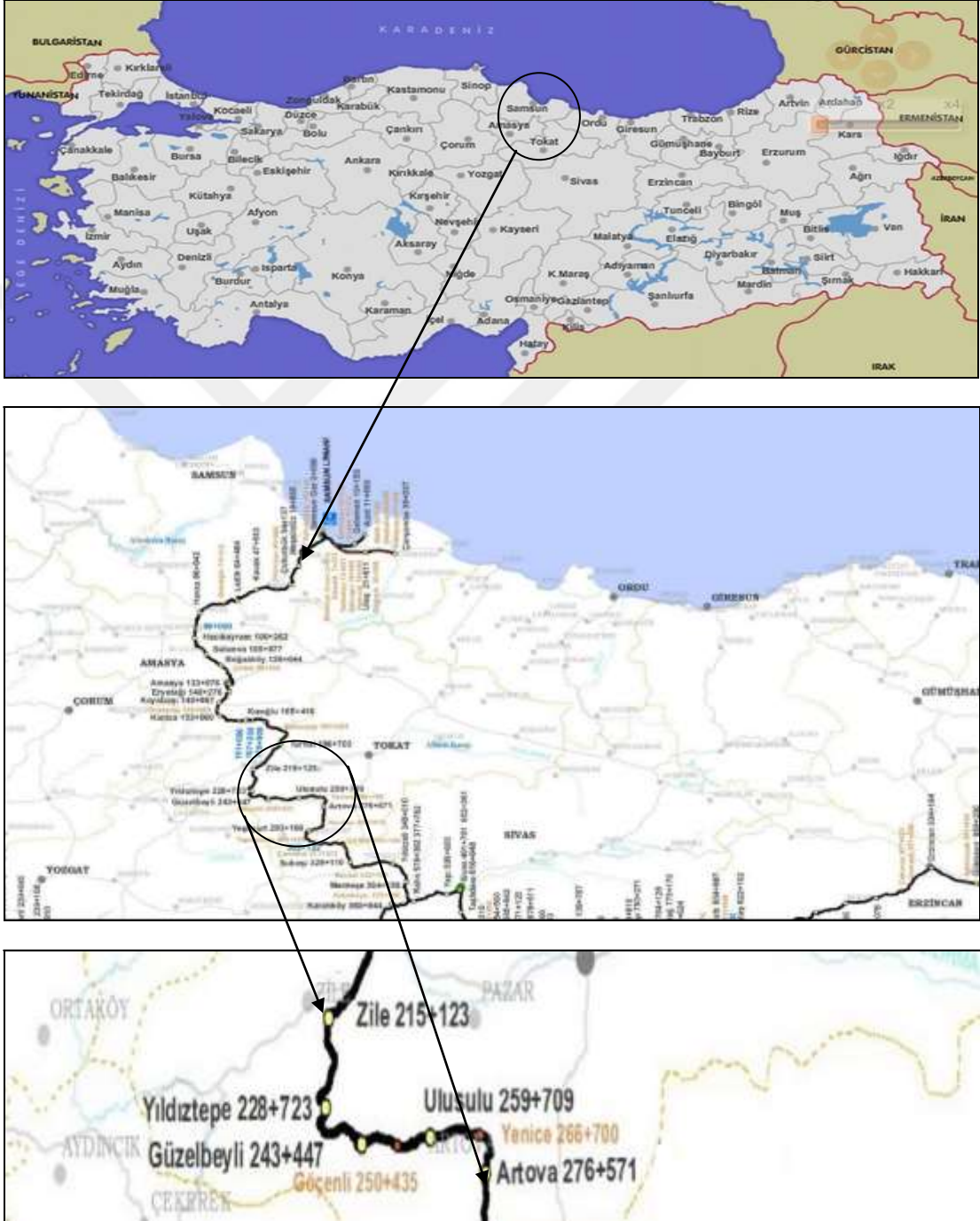
Hat performansını, Li (1994) tarafından yapılan çalışmaya göre taban zeminin taşıma gücü (CBR) çok önemli olmakta ve diğer önemli parametreler ise hat esnekliği, kalıcı ray oturmaları, aşınmalar ve stabilite olarak sıralanmaktadır. Bu parametrelere ek olarak drenaj etkisi de aynı şekilde hat performansını ve esnek üstyapı projelendirilmesinde önemli rol oynamaktadır (KGM, 2008).

Esnek bir üstyapının sağlanması amacıyla, gerekli görüldüğü takdirde kaplama tabakaları oluşturulmaktadır. Oluşturulan kaplama tabakaları, doğrudan trafik yüklerine maruz kalması sebebiyle üstyapının diğer tabakalarına göre daha fazla basınç ile çekme gerilmelerini karşılayabilecek yüksek elastisite özelliğine sahip olması gerekmektedir. Fakat üstyapı istenilen ölçütlere uymasına karşın iyi nitelikte bir altyapı olmaması durumunda; üstyapı sağladığı görevleri yerine getiremeyecektir. Bu neden ile uygun bir altyapı sistemi için demiryollarının zemin işlerinin tasarımı ya da inşaatı, karayolları için geliştirilmiş tekniklere dayanarak tasarlanmakta ve iyileştirilmesi yapılmaktadır. Ancak bu takdirde Demiryolu sistemi, istenilen niteliklere getirildiğinde konfor sağlamakta, güvenli ve uzun süre hizmet vermektedir.

## **1.6. Samsun- Kalın Demiryolu Güzergâhı**

Samsun- Kalın Demiryolu, Türkiye'nin kuzey kesimine ait olan Karadeniz bölgesinde yer almakta ve Samsun Karadeniz sahilinden başlayarak Sivas Kalın beldesine ulaşmaktadır (Şekil 1.4).

Samsun- Sivas (Kalın) arasında bulunan bu demiryolu, Cumhuriyet Dönemi'nde Samsun Limanı'nı İç Anadolu Bölgesi'ne bağlanmasını sağlamak için TCDD tarafından inşa edilmiştir. İnşa edilmesinden bu yana yaklaşık 100 yılı aşkın süredir toplu yolcu genellikle ise yük taşıma amacıyla hizmet vermektedir.



Şekil 1.4. Samsun- Kalın Demiryolu Hattının tamamı ile Zile- Artova arasındaki hattın ayrıntılı görünümü

Hizmet vermekte olan hat künyesine bakıldığında demiryolu, 378 kilometre uzunluğa sahip olan tek bir hattan oluşmakta, 54 vagon ile 41 istasyon kapasitesine sahip ve operasyonel hızı ortalama 30- 40 kilometre/saat arasında iken maksimum yapabildiği hız ise 60 kilometre/saat olmaktadır (URL-2). 100 yıldır kullanılan sinyalizasyonsuz ve elektrifikasyonsuz olan Samsun- Kalın demiryolu hattına, günümüzde çoğu özelliklerin yetersiz olduğu bu yüzden geliştirilmesi nedeniyle 2015 yılında hizmetine ara vermiştir.

Hattın bu süre zarfında; seyahat süresinin 9 saatten 5 saate indirilmesi, günlük tren kapasitesinin artırılması, peron ve istasyonların yenilenmesi, yük/yolcu kapasitesinin geliştirilmesi gibi kabiliyet ve kapasite artırma çalışmalarını gerçekleştirebilmek üzere demiryolu hattının modernizasyonu ile sinyalizasyonunun yapılmasına karar verilmiştir.

Bahsedilen modernizasyon aşamalarının, modernizasyonu yapılacak olan Samsun-Kalın Demiryolunu'nu etkilememesi, güvenlik ve konfor değerlerinin düşmemesi amacıyla demiryolu sisteminin geliştirilmesi, altyapı sisteminin iyileştirilmesi gerektiği gerekli görülmüştür. Aynı zamanda demiryolunun, iklimin ve trafik yükünün sebep olduğu olumsuz koşullardan en az düzeyde etkilenmesi, bakım ile işletme maliyesinin düşürülmesi hedeflenmektedir.

Hedeflenen özellikler için iyileştirilme aşamasında, zeminin istenilen kriterlere getirilmesi üzere alternatif çözüm yolları değerlendirilmiştir. Yeni teknolojiye uygun olması gereken demiryolu yol altyapısı için yetersiz mühendislik özelliklerine sahip zayıf zeminlerin kaldırılması ve uygun görülen ariyet sahalarından istenilen nitelikte olan zeminlerin getirilmesi gibi geleneksel yöntemler değerlendirilmiştir. Fakat bu geleneksel yöntemlerin yerine, NovoCrete ve beraberinde kullanılan makine teknolojisi ile proje ölçütlerini sağlayamayan zayıf zeminlerin yerinde iyileştirilmesi daha uygun aynı zamanda daha avantajlı bulunmuştur. Böylece daha ekonomik, kısa süreli ve çevreci olan bu yöntem tercih edilerek yeni yol tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Samsun- Kalın Demiryolu Hattı üzerinde, altyapı sistemlerinin NovoCrete teknolojisi ile yerinde iyileştirilmesi, toplam olarak 70 kilometre uzunluğundaki zayıf zeminler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında, 70 kilometrelik iyileştirilen bölümün daha sorunlu kesimi olan, Zile- Artova arasındaki 30 kilometre üzerindeki zayıf zeminlerin NovoCrete ile yerinde iyileştirilmesi ile sonuçlarının değerlendirilmesi anlatılmıştır. Bu sebeple bu bölgede yer alan zeminlerin özellikleri daha ayrıntılı olarak ilgili bölümlerde incelenmiş, Zile- Artova arasındaki güzergâh ile yakın bölgenin genel jeolojisi hakkındaki bilgiler verilmiştir.

Bölgelerin arazi çalışmalarında Fugro Sial (2016) tarafından zemin-kaya tanımlamaları yapılmış ve jeolojik rapor hazırlanmıştır. Bu rapora göre, demiryolu güzergâhının 210+100 ile 276+000 arasında kalan kesiminde Kuvaterner yaşlı alüvyal birimlerin örttüğü Paleozoyik'ten Eosen dönemine kadar çökelmiş olan çeşitli kaya topluluklarından oluşmaktadır.



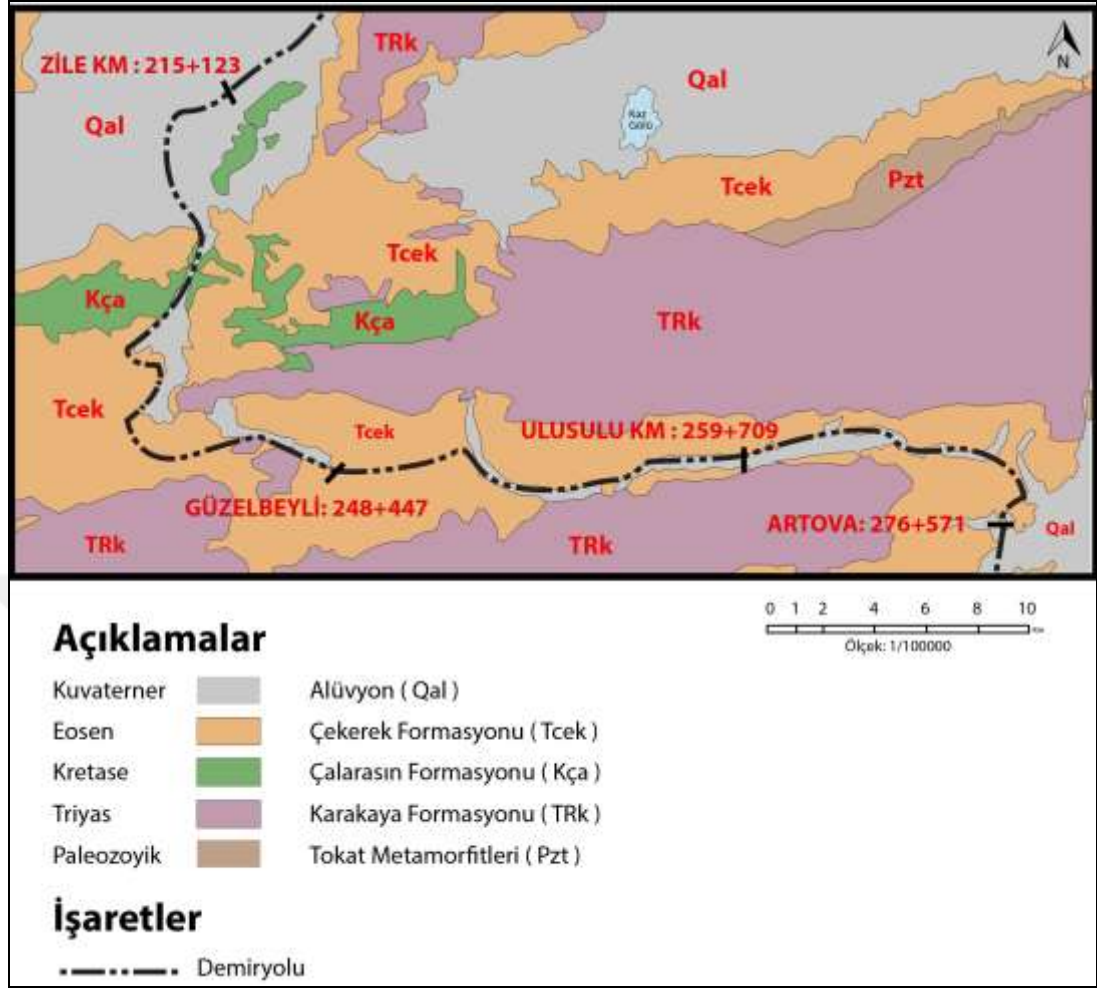
## **2. BÖLGESEL JEOLJİ VE İNCELEME ALANIN JEOLJİSİ**

### **2.1. Bölgesel Jeoloji**

Zile- Artova bölgesi, Sakarya Kıtası'nın doğu bölgesini oluşturan Tokat Masifi içerisinde yer almaktadır. Yer aldığı Tokat Masifi'nin batı kısmında Çankırı Havzası, güney kısmında Ankara-Erzincan Süturu bulunmaktadır. Masifin kuzey kısmını ise Kuzey Anadolu Fayı'nın ana kolu ile çevrelenmektedir (Blumenthal,1950; Şengör ve Yılmaz, 1981; Yılmaz ve diğ., 1997a ve 1997b). Bu masif içerisinde, birbirinden bölgesel diskordanslar ile ayrılabilen dört farklı kaya grubu bulunmaktadır. Bu dört kaya grubunda, Karakaya karmaşığına ait Triyas yaşlı metamorfik temel ve bu metamorfik temelin altında uyumsuzlukla örtülü olarak Liyas-Alt Kretase yaşlı kırıntılı volkanitler ile karbonatlar bulunmaktadır. Yine metamorfik temelin altında Üst Kretase yaşlı bloklu kireçtaşları, ofiyolitik kayalar ile volkanitler bulunmakta ve son olarak Eosen yaşlı çökeller ile volkanik kayalar yer almaktadır (Tüysüz ve diğ., 1998).

### **2.2. İnceleme Alanın Jeolojisi**

İnceleme alanı, Zile-Artova arasında kalan km:215+000 ile km:246+000 olarak yaklaşık 30 kilometre uzunluğundaki kısımları kapsamaktadır. Zile-Artova civarının jeolojisi genel anlamda; yukarıda da bahsedildiği gibi Permiyen-Triyas, Üst Kretase-Paleosen ve Neojen zamanlarına ait jeolojik birimler ile vadi tabanları ve vadi düzlüklerindeki alüvyal çökellerle temsil edilmektedir (Yılmaz ve Tüysüz 1984). Çalışılan güzergâh boyunca Çekerek formasyonu ve alüvyon birimleri yüzeylenmektedir. Çalışılan güzergâhın yakın dolayında ise Çalarasin formasyonu ile Karakaya formasyonu ve yer yer Tokat metamorfitlerinin mostraları bulunmaktadır (Şekil 2.1). Bahsedilen bu formasyonların genel özellikleri aşağıdaki bölümlerde sunulmuştur.



Şekil 2.1. Samsun-Kalın demiryolu güzergâhı ve civarının jeoloji haritası (Sümengen, 2013)

### 2.2.1. Tokat Metamorfitleri (Pzt)

Çalışma alanındaki birimlerin temelini, bölgenin en yaşlı birimi olan Permien-Triyas yaşlı Tokat metamorfikleri oluşturmaktadır. Tokat metamorfikleri, Tokat ilinin çevresinde ve Yeşilırmak Nehri'nin kuzey ile güney bölgelerinde yaygın olarak görülmektedir. Bu sebeple Tokat metamorfikleri, çalışma alanında genel anlamda iki bölümden oluşmaktadır. Yeşilırmak'ın kuzey kesiminde bulunması sebebiyle tamamının yeşil şistlerden oluştuğu aynı zamanda yer yer metabazitler, metatüfler, metakonglomeralar ile ara katlı olarak ya da mermer ve kristalleşmiş kireçtaşı blokları olarak görülen metavolkanotortul dizi özelliğine sahip bölüm şeklinde olarak ikiye ayrılmaktadır (Yılmaz ve Tüysüz 1984).

İlk olarak Özcan ve Aksay (1996) tarafından adlandırılan Tokat metamorfizitleri genel olarak değerlendirildiğinde ise görülen en yaygın kaya türleri; diyabaz, yastık yapılı spilit, aglomera, bazik tüf kökenli meta volkanikler ve yeşil şistlerdir (Özcan ve Aksay, 1996). Yine yaygın görülen diğer kaya türleri ise bahsedilen kaya türleri ile ardalanmış olarak bulunan pelitik metatortul, grafitşist, kalkışist, glokofanlı şistler ve mermer olmaktadır.

### **2.2.2. Karakaya Formasyonu (TRk)**

Karakaya formasyonu ilk olarak Bingöl ve diğ., (1975) tarafınca, Biga yarımadasında tanımlanarak isimlendirilmiştir. Sevin ve Uğuz (2014) tarafından yapılan çalışmada; Karakaya formasyonunun, Tokat metamorfizitlerinin altında bulunduğunu, Tokat metamorfizitleri ile arasında açısız, tektonik, geçişli bir uyumsuzluk olduğunu ve üzerinde bulunan Jura yaşlı, karbonatlı ve kırıntılı kayaları uyumsuzluk ile üzerlediği düşünülmektedir. Yine Sevin ve Uğuz (2014) Karakaya formasyonunu, kırıntılı ve karbonatlı kayalar ile ara sıra volkanizmanın etkin olduğu havza kenarlarındaki kireçtaşı bloklarıyla birlikte çökeldiğini söylemektedir.

Karakaya formasyonu birimleri ise Permiyen yaşlı sarı, kahve, gri renklerinde değişkenlik gösteren, ince-orta tabakalı ve kıvrımlı, kırıntılı-karbonat blokları içeren ve özellikle üste doğru karbonat içeriğinin artması sebebiyle Orta-Geç Triyas yaşlı kumlu kireçtaşı litolojisine doğru geçmektedir.

### **2.2.3. Çalarasın Formasyonu (Kça)**

Çalışma güzergâhı içerisinde Çalarasın formasyonu, Zile bölgesinin güney ve güney batı kısımlarında yer yer görülmektedir. Yılmaz ve Tüysüz (1984) tarafından adlandırılan Çalarasın formasyonunun genel özelliklerine bakıldığında, güzergâhta bulunan temel kayaların üzerinde bazen kırıntılılarla ve pelajiklerle başlayan istifin yaygın görülen litolojisi, gri renkte ve ince katmanlı silttaşı ile gri, kahve renklerde olan ve laminalı yapıya sahip şeyl ardalanmasından oluşmaktadır. Ayrıca birim içerisinde kırmızı çamurtaşı yaygınca bulunmakta ve yer yer gri siyah renklerde volkanitler ile türbiditik çakıltaşları görülmektedir (Yılmaz ve Tüysüz, 1984).

#### **2.2.4. Çekerek Formasyonu (Tcek)**

Çekerek formasyonunu genelinde Eosen yaşlı, sığ denizel ince daneli kumtaşı, karbonatlı kumtaşı, kıltaşı ve zaman zaman sığ kireçtaşları temsil etmektedir (Özcan ve Aksay, 1996). Formasyonun alt kısımlarını gri, yeşil renkli kıltaşı ile marnlar temsil etmekte ve zaman zaman nummulit, lamellibrans fosillerini içermektedir. Formasyonun üst kısımlarında ise sarı renklerde siltaşı ve kumtaşları görülmektedir. Formasyondaki istif içerisinde karbonat oranının artış gösterdiği zamanlarda, beyaz-krem renkli, sert-kırılgan yapıya sahip, orta-kalın tabakalı olan masif kireçtaşları görülmektedir. Ayrıca formasyondaki birimlerin sahip olduğu Oolitik veya biyoklastik doku çıplak gözle bile görülmektedir (Özcan ve Aksay, 1996).

Özcan ve Aksay, (1996) bu birimlerin Tokat Masifi'nin iç kesimlerinde sığ denizel bir ortamı temsil ettiğini fakat bölgenin güneyine ve batısındaki Çankırı Havzası'na doğru gidildiğinde sığ denizel ortamı temsil eden birimlerin, yaklaşık 1000 m kalınlığına sahip derin denizel bir türbidit istifine dönüştüğü belirtilmiştir (Tüysüz, 1996; Tüysüz ve diğ., 1998).

Yılmaz ve Tüysüz (1984)'e göre bu formasyonun Tokat grubundaki kaya grubu ile Yeşilirmak grubundaki kayaların üzerine taban çakıltaşının açılmal uyumsuzlukla gelmekte olduğunu ve bu düzeylerin alt kısmında çok miktarda metamorfik ve ofiyolit çakılları bulunmaktadır. Öncesinde yapılmış olan enine kesitlerde kısmen 1000 m kalınlığına sahip olan kayalarda, yer yer Nummulites'li kumtaşı ve kıltaşı düzeyleri gözlenmektedir. Bu sebeple bu birim, Alt-Orta Eosen yaşta olduğunu, kıyıya yakın litoral ya da neritik olan bir ortamda çökelmiş olabileceği düşünülmektedir (Yılmaz ve Tüysüz 1984).

#### **2.2.5. Alüvyon (Qal)**

Bölgenin en genç birimlerini temsil etmektedir. Bu birimler, Yeşilirmak ile beraber Çekerek Irmak'ının ve küçük ırmakların açmış olduğu vadilerde, alüvyon malzemeler, tutturulmamış orta-iri boyuta sahip, yarı yuvarlak yarı köşeli çakıllar, kum, silt, çamur vb. birikintiler görülmektedir.

Zile- Artova arasını kapsayan güzergâhta km: 276+571 içerisinde bulunan Artova bölgesinin civarını Eosen yaşlı Çekerek formasyonu ile Çekerek Çayı'nın bir kolu olan Karasu deresinin oluşturduğu alüvyon birimleri temsil etmektedir. Bölgenin devamını ise Artova'nın kuzey kısmına doğru uzanan ve Yeşilirmak'ın oluşturduğu Silizözü deresinin vadi çökelleri oluşturmaktadır. Bu vadi çökellerin çoğu, vadinin dar olması ve taşınma mesafesinin kısa olması nedeniyle genel olarak durgun su birikintisi özelliği taşımaktadır. Bu sebeple çökellerin geneli, ince daneli zemin grubuna ait olmakta ve yapılan deney sonuçları neticesi ile orta-yüksek plastisiteli kil birimlerden oluşmaktadır.

Çalışma güzergâhı içerisinde yer alan km:248+447 üzerinde bulunan Güzelbeyli bölgesine yine Eosen yaşlı Çekerek formasyonu hâkim olmaktadır. Güzelbeyli bölgesinden çalışma güzergâhının kuzeyinde bulunan Zile bölgesine doğru gidildikçe yer yer Çalarasın formasyonuna ait kırmızı çamurtaşı yaygınca bulunmakta ve ayrıca bu formasyonlara ait gri siyah renklere volkanitler ile türbiditik çakıltaşları görülmektedir. Çalışma güzergâhının km: 215+123'te bulunan Zile bölgesi ise daha genç birimleri içeren alüvyon çökellerinden oluşmaktadır.

### **2.3. Çalışma Alanının Mühendislik Jeolojisi**

Zile- Artova arasındaki güzergâhlar ayrıntılı olarak değerlendirildiğinde; birimlerin egemen litolojisi, genelinde Eosen yaşlı düz ve engebeli topografyayı oluşturan Çekerek formasyonuna ait kumtaşı-çamurtaşı aralanmasından oluşmaktadır. Zile- Artova arasındaki ara ara bazı kilometreler içerisinde ise Çekerek formasyonunun uyumsuzlukla örttüğü ve Karakaya Formasyonu bulunmaktadır (Şekil 2.2).

Şekil 2.2'de km: 233+430 üzerinde koyu kırmızı renge sahip volkano-sedimanter ile çamurtaşı- kıltaşlarından oluşmakta olan Karakaya formasyonu ve bunları uyumsuzlukla örten açık bordo renkli Çekerek formasyonuna ait çamurtaşlarının genel görünümü verilmektedir.



Şekil 2.2. Km: 233+430'da Karakaya formasyonuna ait açık bordo renkli seviyeler

Çamurtaşı ve kilaşları tektonizma etkisi ile zayıf kaya özelliğine sahiptir (Şekil 2.3). Bu nedenle yoğun tektonizmaya maruz kalan kesimlerinde açılan yarmalarda küçük kaymalar ve düşmeler görülmüştür.



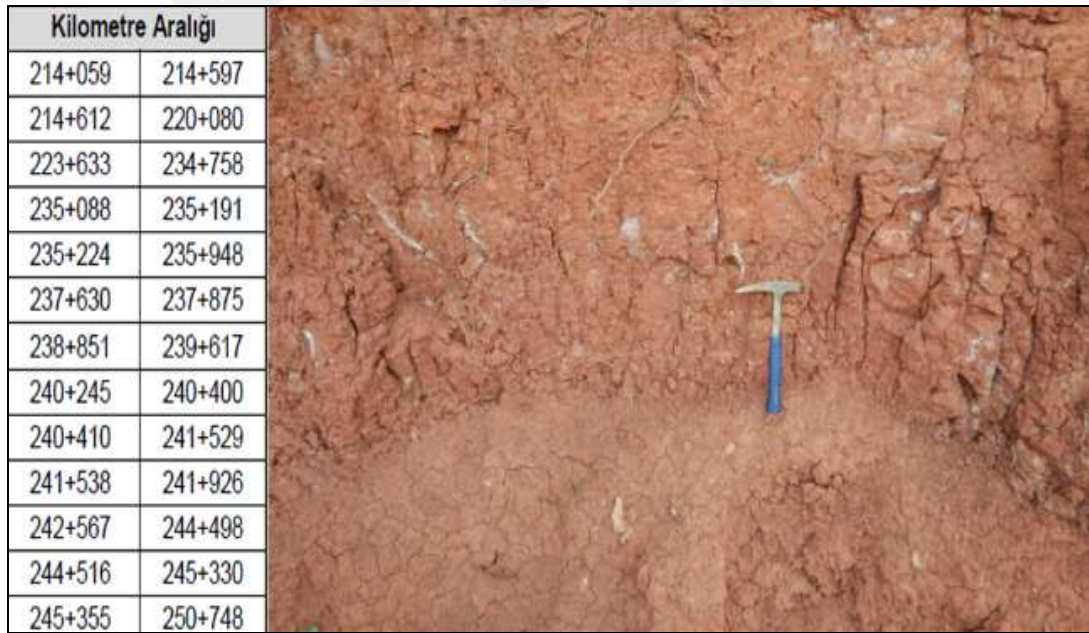
Şekil 2.3. Km: 236+100 Karakaya formasyonuna ait çamurtaşı ve kilaşının mevcut demiryolu yarmasında görünümü

Zile- Artova arasının genel jeolojisini, genelinde Karakaya ve Çekerek Formasyonu kontrol etmektedir. Bu birimlerin üzerinde ise Çekerek Irmağı ve kollarının taşıdığı alüvyon tabakaları ile yamaç molozu bulunmaktadır. Alüvyon tabakalarının kalınlığı

ve litolojisi ise alüvyonu taşıyıp biriktiren akarsuyun debisi, akış rejimi ve vadi özelliklerine göre değişim göstermektedir.

Yukarıda bahsedildiği gibi 30 kilometre uzunluğundaki Zile- Artova arasını Çekerek ve Karakaya formasyonu oluşturmakta fakat Karakaya formasyonu çalışılan kilometreler üzerinde çok daha az görülmektedir. Dolayısıyla NovoCrete teknolojisi ile yerinde iyileştirme çalışması, çoğunlukla Çekerek formasyonu üzerindeki zayıf birimler üzerinde gerçekleştirilmektedir. Bu sebeple aşağıda Çekerek formasyonuna ait genel birimlerin özellikleri daha ayrıntılı olarak anlatılmaktadır (Şekil 2.4).

Çekerek formasyonu genellikle temsili olarak Şekil 2.4'te gösterildiği gibi açık kırmızı renkli, orta-kalın düzensiz tabakalı, kötü boylanmış, çakıltaşı ve çamurtaşı/ sert kil ardalanmasından oluşturmaktadır. İyileştirme yapılan ayrışma zonu genelde kil ve çakıllı kil boyutundaki kırıntılılardan oluşur.



Şekil 2.4. Km: 234+530 Çekerek formasyonuna ait zayıf kaya özelliğindeki ayrışmış çamurtaşlarının görünümü

Özellikle diğer zemin türlerinden fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ayrılan kil birimlerinin fazla olması nedeniyle mevcut killerin mühendislik davranışlarını belirleyebilmek için laboratuvarında gerekli deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler ile killi zeminlerin mühendislik davranışlarını etkileyen su içeriği killerin şişme-

büzülme mekanizması, yine su içeriğine göre değişen plastik durumu ve kıvam özellikleri proje tasarlama aşamasında belirlenmiştir. Bu etmenlere bağlı olarak; killerin mukavemet, yük altında şekil değiştirme, sıkışma gibi mühendislik özellikleri değerlendirilmiştir (Kılıç, 2008).

Çekerek formasyonuna ait killer üzerine yapılan Atterberg deneylerin sonucu ile ulaşılan likit limit ve plastisite indeksi değerlerinin çoğunluğu, Karayolları Teknik Şartnamesi'nde yer alan sınır değerlerinin üzerinde ya da sınıra yakın değerlerde olduğuna ve bu sınır değerlerinin ise bölgedeki killerin orta- yüksek plastisite özelliğine sahip olduğunu göstermektedir.

Bu amaçlar ile Çekerek formasyonlarına ait killer, üzerinde yapılan laboratuvar deney sonuçlarının yer aldığı Fugro Sial (2016) tarafından hazırlanan jeolojik ve jeoteknik değerlendirme raporu eşliğinde incelenmiştir (Tablo 2.1).

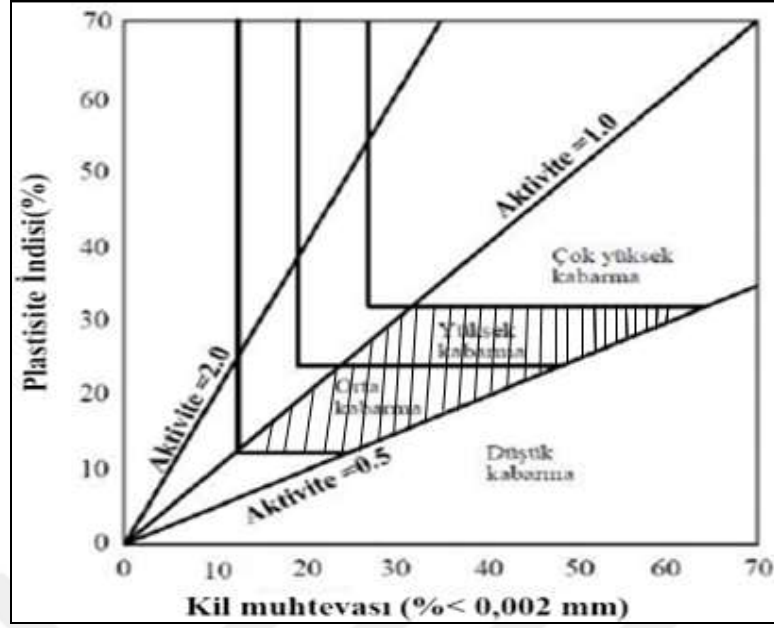
Tablo 2.1. Karayolları teknik şartnamesinde yer alan değerler ile formasyondaki kil birimlerinin değerleri

Deney	Şartname Limiti	Çekerek Formasyonu kil birimleri
Likit Limit (LL)	$\leq 60$	60,4
Plastisite İndeksi	$\leq 35$	35,3

Yine bölgede bulunan mevcut killerin şişme özelliklerini belirlemek amacı ile killer üzerinde sınıflama ve konsolidasyon deney sonuçları incelenmiştir. İncelenen deney sonuçları ile kil aktivitelerinin, plastisite indisinin kil yüzdesine oranlanmasıyla killerin şişme özelliklerinin tarif edilmesini sağlayan Van Der Merwe (1964)'nin grafiği ile yorumlanmıştır (Şekil 2.5).

Şekil 2.5'te verilen grafiğe göre laboratuvar deneyleri sonrası elde edilen sonuçlar ile killerin şişme özellikleri değerlendirilmiş ve numunelerin çoğu orta- yüksek kabarma aralığında olduğuna ulaşılmıştır.





Şekil 2.5. Killerin aktivitesi ve plastisite indisiyle killerin şişme özelliğinin belirlenmesi (Van Der Merwe, 1964)

(Şekil üzerindeki taralı alan, güzergâh üzerinden alınmış kil numunelerinin şişme aralığını göstermektedir.)

Ayrıca yine killerin şişme özellikleri Chen (1975) tarafından hazırlanan sınıflama ile değerlendirilmiştir (Tablo 2.2).

Tablo 2.2. Killerin Şişme Potansiyeli (Chen, 1975)

Şişme Potansiyeli	Plastisite İndisi
Düşük	0-15
Orta	10-35
Yüksek	20-55
Çok Yüksek	>55

Yukarıda verilen grafik ile Tablo 2.2’de gösterilen sınıflama göz önüne alındığında Zile- Artova arasındaki Çekerek formasyonuna ait killerin orta-yüksek plastisiteli kil sınıfında yer aldığı ve şişme özelliklerini belirleyen deney sonuçları doğrultusunda orta-yüksek plastisiteli kil sınıflarının; genelinde orta- yüksek şişme özelliğine bazı bölümlerde ise çok yüksek şişme özelliklerine sahip oldukları sonucuna ulaşılmıştır. Bu özelliklere sahip killerin “QS0- Uygun Olmayan” zemin sınıfı içerisinde yer

aldığı ve UIC'ye göre uygun bir alt temel olarak görülmediği bu nedenler ile iyileştirilmesinin gerekli olduğu neticesine ulaşılmıştır.

Ayrıca arazide açılan yarmalar içerisinde, daha önce yapılan drenajların düzgün çalışmamasından kaynaklanarak, yüzey suların demiryolu kenarlarındaki hendeklerde birikmesiyle kil birimlerin doygun hale geldiği ve dinamik etkiler sebebi ile yumuşadıkları düşünülmektedir. Gerçekleştirilen diğer çalışmalar ile tüm çalışmalar derlendiğinde, bölgeye hâkim olan birimlerin yüksek su muhtevasına sahip olduğu ve yüksek su çıkışlarının meydana geldiği gözlenmiştir. Bu sebeple akmaların gözlendiği alanların drenajı şartnamelere uygun olarak yapılması ve yarma bölgelerinde su toplanmalarının önlenmesi gerekmektedir. Özellikle demiryolu yarmalarında yüksek su ihtivasına sahip birimlerin aşırı zayıf kaya özelliğinde olduğu ve zemin gibi davrandığı neticesiyle stabilitesinin arttırılmasının gerekli olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır. Güzergâhtaki zayıf zeminlerin dayanımını arttırmak, yeraltı su seviyelerinin yüksek veya platform seviyesinde olması gibi bu tip proje ömrünü kısaltan durumların önlenmesi ile uzun ömürlü kullanım sağlayan ve yeni teknolojiye uygun bir altyapı sisteminin yapımı, çeşitli yöntemler ile gerçekleştirilmiştir.

Fugra Sial, (2016) tarafından hazırlanan rapor içerisinde tüm güzergâhlar içerisindeki zemin grupları değerlendirilmiş ve bu zeminlerin iyileştirme yöntemleri belirlenmiştir. Km: 210+000 ile 276+000 arasındaki zayıf zeminleri gerekli görülen ve değişen durumlara bağlı olarak 1,00 ile 3,00 metre kalınlıklarında taş ile kaya dolgu ile iyileştirilmesi yapılmıştır. Yine bölgenin bazı kesimlerinde, farklı derin iyileştirme yöntemleri ve NovoCrete ile çimento kullanılarak yerinde iyileştirme teknolojisi gibi yöntemlerin kullanılması ile hat içerisindeki zayıf zeminler iyileştirilmiştir.

Zayıf zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılan NovoCrete teknolojisinin yöntemi, laboratuvar ve arazi çalışmaları olarak malzeme ve yöntem bölümünde incelenmiştir.

### **3. MALZEME VE YÖNTEM**

#### **3.1. Malzeme**

Tezin bu bölümünde, Samsun-Kalın (Sivas) Demiryolu Modernizasyonu Projesinde, güzergâhtaki zayıf zeminlerin çimento ile birlikte çimentoya belirli oranlarda NovoCrete katkı malzemesinin eklenmesi ile yapılan zayıf zemin iyileştirme uygulaması anlatılmaktadır. Bu zemin iyileştirme uygulamasında malzeme olarak, Portland çimentosu ve yeni bir teknoloji ürünü olan NovoCrete katkı malzemesi kullanılmıştır.

#### **3.2. Çalışma Yöntemi ve Süresi**

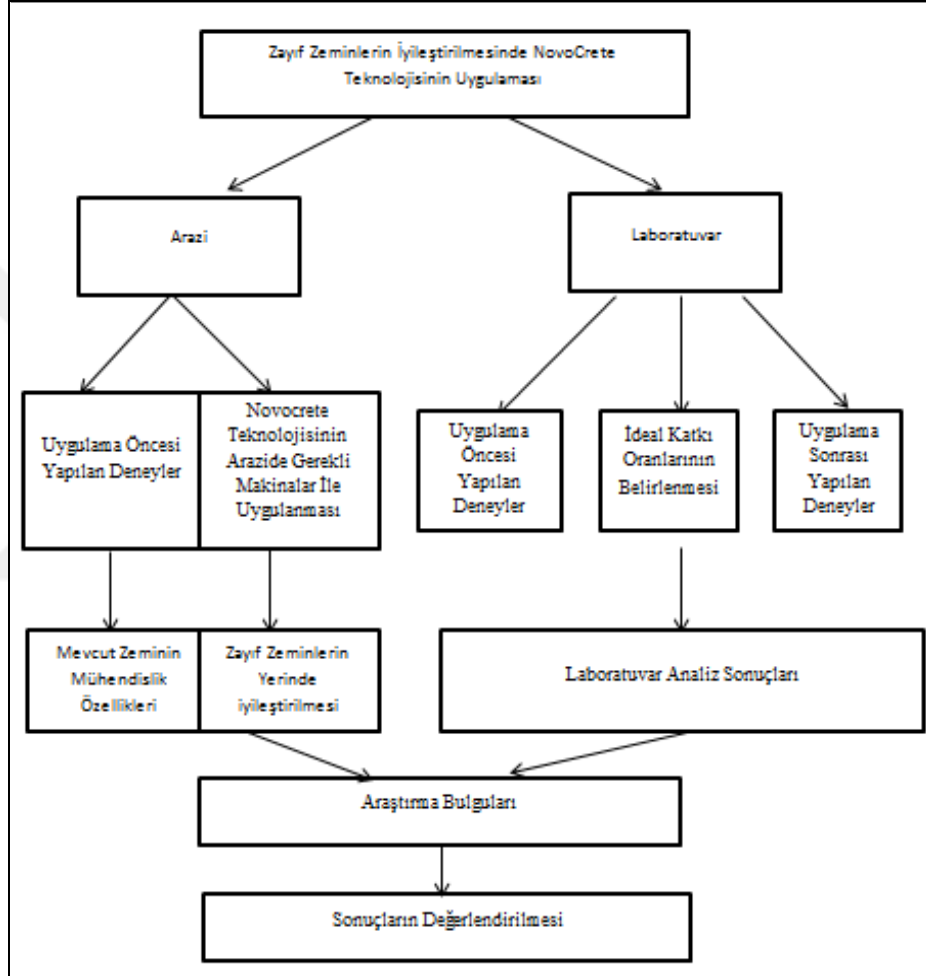
Öncelikle arazide uygulamaya geçilmeden önce çimento ve NovoCrete malzemesinin, ideal katkı oranlarını belirlemek adına laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. İdeal katkı oranlarının belirlenmesinin ardından, Zile-Artova arasındaki zayıf zeminlerin iyileştirilmesinde uygulanan NovoCrete Teknolojisinin, laboratuvar ve arazi çalışmaları anlatılmıştır. Yaklaşık 3 yılda tamamlanan bu çalışmaların yöntem içeriğinin ve sürecinin verildiği akış diyagramı Şekil 3.1’de verilmektedir.

#### **3.3. NovoCrete Teknolojisi İle Çimento Kullanımındaki İdeal Katkı Oranlarını Belirlemek Adına Yapılan Laboratuvar Çalışmaları**

Arazide uygulamaya geçilmeden önce örnek olarak alınmış zemin numunelerine, farklı oranlarda çimento ve NovoCrete karışımı eklenerek, NovoCrete mineralinin çimentoya olan etkisini değerlendirmek amacıyla deney çalışmaları yapılmıştır.

Çimentoya etkisi ile beraberinde bu deney çalışmalarıyla, arazide yapılacak olan NovoCrete ile stabilizasyon işlemi için uygun karışım değerlerinin hangi oranlarda olması gerektiğini, farklı zemin türlerindeki ve farklı oranlardaki başarısının nasıl olabileceği gibi araştırma sonuçları da elde edilmiştir.

Laboratuvar çalışmalarının ardından tez kapsamındaki Zile-Artova arasındaki güzergâhlardan alınmış olan zemin örnekleri üzerinde laboratuvar ve arazi deneyleri yapılarak uygulama işlemi takip edilmiştir. Uygulama işlemi öncesinde laboratuvarda numunelerin çimento ile karıştırılması için uygun kaplara aktarılmıştır. Daha sonra farklı oranlardaki çimento ve çimento miktarının %2 oranında NovoCrete ile zemin numuneleri karıştırılmış ve deneye hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma yöntemi ve çalışma sürecini gösteren akış diyagramı

### 3.3. NovoCrete Teknolojisi İle Çimento Kullanımındaki İdeal Katkı Oranlarını Belirlemek Adına Yapılan Laboratuvar Çalışmaları

Arazide uygulamaya geçilmeden önce örnek olarak alınmış zemin numunelerine, farklı oranlarda çimento ve NovoCrete karışımı eklenerek, NovoCrete mineralinin çimentoya olan etkisini değerlendirmek amacıyla deney çalışmaları yapılmıştır.

Çimentoya etkisi ile beraberinde bu deney çalışmalarıyla, arazide yapılacak olan NovoCrete ile stabilizasyon işlemi için uygun karışım değerlerinin hangi oranlarda olması gerektiğini, farklı zemin türlerindeki ve farklı oranlardaki başarısının nasıl olabileceği gibi araştırma sonuçları da elde edilmiştir.

Laboratuvar çalışmalarının ardından tez kapsamındaki Zile-Artova arasındaki güzergâhlardan alınmış olan zemin örnekleri üzerinde laboratuvar ve arazi deneyleri yapılarak uygulama işlemi takip edilmiştir. Uygulama işlemi öncesinde laboratuvarında numunelerin çimento ile karıştırılması için uygun kaplara aktarılmıştır. Daha sonra farklı oranlardaki çimento ve çimento miktarının %2 oranında NovoCrete ile zemin numuneleri karıştırılmış ve deneye hazır hale getirilmiştir. Böylece hazırlanan numune grupları üzerinde, 7 ve 28 kür günleri sonrası, eklenen katkı malzemelerinin zemin mühendislik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmak için deneylere tabii tutulmuştur. Kür sonrası deney için hazır hale getirilen silindir numune gruplarında serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Yapılan deney ile 7 ve 28 gün sonrasında ölçülen dayanım sonuçları belirlenmiştir.

Farklı oranlarda çimento ve %2 oranında NovoCrete eklenerek gerçekleştirilen deney sonuçlarına bakıldığında, katkı eklenmeden önceki dayanım değeri ile farklı oranlardaki çimento karışımları sonrası çimento miktarı ve kür süresinin artışı doğrultusunda daha yüksek değere ulaştığı saptanmıştır. Çimento+NovoCrete miktarının dayanım değerlerini arttırdığını, ayrıca 7 kür günü sonrasında bulunan dayanım değerlerinin, 28 gün sonrasında daha da yüksek olan dayanım değerlerine ulaştığı gözlemlenmiştir. Böylelikle kür gün süresi geçtikçe dayanım değerlerinin de arttığına ulaşılmıştır. Bu durumda, çimento+NovoCrete ile yapılan uygulamanın veya kür gün süresi geçtikçe zemin daneleri arasındaki fiziksel ve kimyasal bağların, zamanla daha fazla kuvvet kazandırığı yorumu çıkarılabilmektedir (Keskin ve diğ., 2017). Ayrıca katkı malzemelerinin taşıma oranlarına ve elastisite özelliklerine de olumlu etkiler sağladığı gözlenmiştir.

Yapılan CBR deneyi sonrasında numunelerin taşıma oranlarının kür süresi ve Çimento+NovoCrete miktarındaki artışa göre yüksek değerlere ulaştığı saptanmıştır.

Sonuç olarak, güzergâhtan alınan zemin numuneler üzerinde gerçekleştirilen çimento+ NovoCrete uygulamasının CBR değerlerinde, dayanım ve statik elastisite modülü değerlerinde ciddi oranlarda artış göstererek, pozitif katkı sağladığı saptanmış, kür gün süresi geçtikçe bu değerlerin daha da artış sağlayarak zeminde başarılı sonuçlar verdiği ve zemini çoğu standartlara göre istenilen ölçütlerin daha üstünde olan değerlere ulaştırdığı görülmüştür.

Bu sonuçlara göre proje ölçütleri dikkate alınarak Samsun- Kalın Demiryolu güzergâhında örnek zeminlerde 1 m<sup>3</sup> için 180 kg olarak kullanılan çimento miktarının ideal olduğunu ve 1 m<sup>2</sup> zemine göre hesaplandığında, 60 kilogram çimento ile %2 NovoCrete eklenmesinin uygun olduğuna dolayısıyla ideal görülen bu oranlarla uygulanmasına karar verilmiştir.

Laboratuvar deneyleri, İstanbul'da bulunan GEOLAB laboratuvarındaki jeoloji mühendislerinin kontrolünde gerçekleşmiş olup elde edilen deney sonuçlarını, tezdeki ilgili bölümlerde kullanılmıştır. Yapılan laboratuvar deney sonuçlarında, NovoCrete mineralinin, farklı oranlardaki çimento ile farklı zemin türlerine uygun olduğu, zeminin mühendislik özelliklerini arttırdığı sonuçlara ulaşılmıştır. Bu veriler doğrultusunda NovoCrete uygulamasına, Samsun-Kalın Demiryolu Modernizasyon Projesi'nde gerçekleştirilmek üzere, laboratuvar ve arazi uygulamaları eşliğinde devam edilmiştir.

Arazide, Samsun- Kalın Demiryolu Modernizasyon Projesi'ndeki tez konusunu kapsayan, Zile-Artova arasında uygulanan zayıf zeminlerin iyileştirme çalışmasındaki elde edilen bulgular ile değerlendirilmiştir.

Bu değerlendirme için öncesinde örnek olarak yapılan laboratuvar çalışmaları eşliğinde, km: 218+000, km: 230+500, km: 246+000 bölgelerinde NovoCrete ile yapılan çimento stabilizasyonunda, 1 m<sup>2</sup> zemin için 60 kg/m<sup>2</sup> çimento ve çimento miktarının %2 oranına karşılık gelen 1,12 kg/m<sup>2</sup> NovoCrete kullanılması gerektiği hesaplanmıştır. İyileştirilecek tabaka kalınlığı ise 35 cm olarak belirlenmiştir. Arazide yapılan çalışmalar boyunca bu bölgelerden örnekler alınarak, yapılan test/deneyler ile uygulama sonuçları, uygulama öncesi ile karşılaştırılmıştır.

### 3.4. Zile- Artova Arasındaki Zayıf Zeminler Üzerinde NovoCrete Teknolojisi ile Gerçekleştirilen Laboratuvar Çalışmaları

Çalışma aşamasında, bölgenin jeolojik koşulları araştırılmış ve güzergâhtaki zeminlerin mühendislik özelliklerini belirlemek için Zile- Artova arasını kapsayan, Km: 218+000, 230+500, 246+000 bölgelerindeki bazı kesimlerinden örnekler alınmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Zile- Artova arasından örnek olarak alınmış zemin numuneleri

Alınan zemin örneklerin mühendislik özellikleri, laboratuvarında gerekli deneyler ile belirlenmiş ve Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Mevcut zeminlerin mühendislik özellikleri

<b>Km:</b>	<b>218+000</b>	<b>230+500</b>	<b>246+000</b>
<b>LL (%)</b>	62,4	66,51	41,08
<b>PL(%)</b>	21,4	2,8	9,6
<b>PI(%)</b>	41,1	44,3	22,1
<b>Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlığı (kN/m<sup>3</sup>)</b>	15,02	15,34	15,7
<b>Optimum Su Muhtevası (%)</b>	22,6	22,14	20
<b>CBR (%)</b>	4,51	3,01	4,45

CH ve CL zemin sınıflamalarına ait olan zemin örneklerine, Atterberg limit deneyi ile zeminin kıvam limitlerine göre, Likit limitleri sırasıyla, %62,4, %66,5 ve %41,08 olarak bulunmuştur. Bulunan bu değerlerin, zemin numunelerinin orta-yüksek plastisiteli kil sınıfında olduğunu göstermektedir. Laboratuvarında yapılan proktor deneyi sonrasında optimum su muhteva değerleri, %20 ile %22,6 dolaylarında, kuru birim hacim ağırlıkları %15 civarında olduğu görülmüştür.

California taşıma oran (CBR) testleri sonucundaki değerler ise %3 ve %5 arasında bulunmuştur. Bulunan CBR sonuçlarıyla zeminlerin, çok kötü zemin niteliğinde olduğu, altyapı için düşük değerler olarak bulunduğu, yol yapımı ve modelleme amaçları için yetersiz kaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca laboratuvarında sınıflandırma ve doğal durum tespitleri için elek analizi, pressiometre, organik madde tayini, modifiye proktor, konsolidasyon vb. deneylerin de yapılması ile belirlenmiştir. Çalışmada, uygulama öncesi alınan zemin örnekleri ile doğal zeminin indeks özellikleri belirlenmesinin ardından uygun karışım oranlarını hesaplamak amacıyla bu deneyler ile birlikte önceden hazırlanmış olan jeolojik, geoteknik zemin etüd raporları ve hidrojeolojik raporlara bakılmıştır.



Yine karışım oranlarının belirlenmesinde standartlar ve literatür çalışmalarına dikkat edilerek, projede beklenen yük ve trafik hacmi ile istenilen mukavemet değerleri (MPa, kN,  $E_{vd}$ ,  $E_{v2}$ ) göz önünde bulundurulmuştur (Aydiner, 2017).

Bu hesaplamalar sonrasında, uygulama formülü, frezeleme karışım derinliği ve 1 m<sup>2</sup> alanda uygulanacak olan NovoCrete® + çimento karışım oranı belirlenmiştir. Uygulamalarda kullanılan çimento miktarı, standart proktor deneyi ile belirlenmekte olan zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlığının ( $V_{kmax}$ ) %8 ile %10'u oranlarında olacak şekilde değişim göstermekte ve genellikle çimento miktarı,  $V_{kmax}$ 'ın %10'u oranında kullanılmaktadır. Bu çalışmadaki karışım oranları, Alman teknik şartnamesine bakılarak çimento miktarını %10 oranında kullanılmasına, çimento miktarının %2 'si kadar da NovoCrete® mineralinin kullanılmasına karar verilmiştir (Yılmaz, 2017). Yol altyapı tasarımlarında tabaka kalınlıklarını; zeminin karakteristikleri, statik ile dinamik etkileri, güzergâhın jeolojik ile hidrolojik koşulları, iklimi ve yol kompozisyonu gibi etmenler kontrol etmektedir (Yalçın ve Aydın, 2007).

Yol altyapısını kontrol eden bu etmenler doğrultusunda iyileştirilecek tabaka kalınlıkları 25 cm ile 45 cm arasında değişmektedir. Çoğunlukla 35 cm tabaka kalınlığı tercih edilmekte fakat yüksek dayanım değerine ulaşılması gerekli görülür ise sandviç adı verilen tekrarlı tabaka tasarımları uygulanabilmektedir (Coruk ve diğ., 2017). Zile- Artova arasındaki km: 218+000, km: 230+500, km: 246+000 NovoCrete® ile yapılan çimento stabilizasyonunda, tabaka kalınlığını 35 cm olarak belirlenmiştir

### **3.5. Zile- Artova Arasındaki Zayıf Zeminler Üzerinde NovoCrete Teknolojisi ile Gerçekleştirilen Arazi Çalışmaları**

Bu bölümde, NovoCrete teknolojinin arazide kullanılan makineler ile uygulama aşamaları anlatılmaktadır. Arazide uygulamaya geçilmeden önce topografik aplikasyonları yapılmış bir şekilde teslim alınan çalışma alanındaki Zile- Artova arasındaki çoğunluğu Çekerek formasyonuna ait CH-CL sınıfında olan zayıf zemin olarak değerlendirilen, taşıma gücü düşük, yüksek su muhtevasına sahip zeminler üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Değişik güzergâhlardaki uygulama öncesi çalışma alanının görüntüsü

Projedeki çalışma boyunca, gerekli bölgelerde uygulamaya başlanmadan önce ve uygulamanın yapılması sonrasında arazi fotoğrafları çekilmiştir. Çekilen bu arazi fotoğrafları, uygulamanın aşamasını ve sonrasını daha iyi takip edilmesini sağlamıştır. Arazide karşılaşılan sorunlara, gerekli görülen çözüm yöntemleri uygulanmış ve uygulanan çözüm yöntemleri sonrasında NovoCrete ile zeminin iyileştirilmesi yapılmıştır. Zemini olumsuz etkileyen yeraltı su seviyesi yüksek olan güzergâhlar da bu problemlerden biri olmakta ve bu probleme Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te gösterilen güzergâh üzerinde rastlanmıştır.



Şekil 3.4. Yeraltı su seviyesi platform düzeyinde olan çalışma alanının görünümü

Şekil 3.5'te gösterilen yeraltı su seviyesi platform düzeyinde olan güzergâh için platformu korumak ve suyu uzaklaştırmak amacıyla, yolun sağ ve sol kısımlarına açılmış olan kanallarla, drene edilme işlemi gerçekleştirilmiştir. Drenajı sağlanan bölgenin iyileştirilmesine NovoCrete ile devam edilmiştir.



Şekil 3.5. Güzergâh üzerinde karşılaşılan zayıf zemin görünümü

Yukarıda gösterilen şekil görsellerinde farklı güzergâhlarda karşılaşılan taşıma gücü ve dayanımı düşük zeminlerin bulunduğu ve yeraltı su seviyelerinin platform düzeyinde ya da sınırında olduğu bazı örnek bölümler gösterilmiştir. Buna nazaran diğer bölümlerde de benzer sorunların olması, NovoCrete teknolojisinin uygulandığı kısımların çoğunlukla proje ölçütlerini karşılayamayan ve iyileştirilmesi gereken zayıf zeminlerden oluşması nedeniyle bu zayıf zeminlerin iyileştirilmesi tamamlanması adına arazide NovoCrete işlemine başlanmıştır.

Uygulama işlemine geçilmeden önce silobaslar içerisinde bulunan çimento, jeneratör yardımıyla çimento serme aracına aktarılmıştır. Aktarılan çimentoyu uygulama alanına serme işlemine geçilmiştir. Bunun için metrekaresi  $60 \text{ kg/m}^2$  olarak hesaplanmış olan çimentonun ilk yarısına karşılık gelen  $30 \text{ kg/m}^2$  çimentoyu bilgisayar ile kontrolü sağlanarak dozajlı çimento serme aracı ile uygulanacak olan alana serilmiştir.

İlk serimi gerçekleştirildikten sonra derinlik uçları 35 cm olarak ayarlanmış olan özel frezeleme makinası ile frezeleme işlemine geçilmiştir (Yılmaz, 2017). Bu işlemde, makine önünde çeki demiri ile bağlanmış olan su tankeri sayesinde zemini optimum su muhtevasında mevcut zemin ile karışması ve homojen olmasını aynı zamanda da dinamik bir şekilde ezme işlemi yapılmış olarak işleme devam edilmesini sağlamaktadır (Şekil 3.6, Şekil 3.7).



Şekil 3.6. Önünde çeki demiri bulunan frezeleme makinesi



Şekil 3.7. Frezeleme işlemi/ çimento serimi

Birinci frezeleme işlemleri gerçekleştirildikten sonra keçi ayağı silindir makinesi ile ön sıkıştırma işlemine geçilmiştir. Bu makine, bandaj üzerinde keçi ayağını andıran tırnakların bulunduğu, aynı zamanda vibrasyonlu olan ve temel dolgu malzemesinin sıkıştırılmasında kullanılan bir silindir makinesidir. Bu amaçla ön sıkıştırma işlemi yapılmakta olup hava boşluklarını yok ederek ve malzemeyi birleştirerek toprağın yük taşıma özelliğini arttırmaktadır.

Frezeleme ve 1. pas sıkıştırma işleminin ardından, önceki işlemler ile 30 kg çimento ve mevcut zeminin harmanlanmış olan halinin üzerine, 60 kg/m<sup>2</sup> çimentonun %2 oranına karşılık gelen 1,12 kg/m<sup>2</sup> NovoCrete® malzemesinin dozajlı olarak serim işlemine geçilmiştir. NovoCrete® malzemesinin serim işlemi tamamlandıktan sonra üzerine, kalan diğer yarısı 30 kg/m<sup>2</sup> olan çimentonun serim işlemine geçilmiştir. Böylece biten serim işlemleri ile toplamda 60 kg/m<sup>2</sup> çimento ve 1,12 kg/m<sup>2</sup> NovoCrete® malzemesi mevcut zemin üzerine dökülmüştür.

Daha sonra ikinci frezeleme işleminin uygulanması ile zeminin -35 cm kota kadar homojen bir şekilde ve optimum su muhtevası ile karışması sağlanmıştır. Bu işlemler yapıldıktan sonra arazide mühendisler tarafından zeminin su muhtevası ve sıkışması kontrol edilmiştir. Bu aşamada, eğer aksi bir durum olursa gerekli müdahaleler yapılarak kalan diğer işlemlere geçilmektedir (Yılmaz, 2017).

Tüm serim işlemleri gerçekleşmiş olan NovoCrete tabakasının, harita ekibi tarafından kot ölçümleri yapılmıştır. Greyder aracı ile zemin istenilen kota getirilerek düzleştirilmiştir. Daha sonrasında NovoCrete tabakası dinamik olarak düz silindir ile ulaşılabilir yoğunluk derecesine göre 2 tam pas sıkıştırılması ile stabil bir katman sağlanmıştır. Uygulama sonrası güzergâh üzerinden çekilen fotoğraflar aşağıda gösterilmiştir (Şekil 3.8). Sıkıştırma işlemleri bitiminde NovoCrete katmanında, imalatı korumak için sulama işlemleri yapılmıştır (Şekil 3.9). Hava koşullarına dikkat edilerek yapılan bu sulama işlemleri sonrasında uygulanmış olan kür, kristalleşme ve puzolanik reaksiyon desteklenmiştir (Aydiner, 2017).



Şekil 3.8. Uygulama sonrasındaki NovoCrete tabakası



Şekil 3.9. Sıkıştırmadan sonra NovoCrete tabakasını sulama işlemi

Yukarıda anlatılan uygulama aşamaları ile Samsun-Kalın Demiryolu Modernizasyon Projesi'nde yaklaşık olarak 70 km uzunluğundaki kesimde iyileştirme yapılmıştır. Gerçekleştirilen iyileştirme işlemlerinin değerlendirilmesi, tez konusunu kapsayan Zile- Artova arasındaki 30 kilometre uzunluğundaki düşük dayanımlı zeminlerin iyileştirilmesi sonrasında yapılan arazi/ laboratuvar deney sonuçlarıyla gerçekleştirilecektir.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bir demiryolu hattının, balast+ balast altından (subbalast) oluşan yol yatağı tabakasının projeye uygun mekanik karakteristiklerde ve istenilen kalınlıklarda olması büyük önem taşımaktadır. Bu tabaka kalınlığını ise üst yapıdan gelen yükleri herhangi bir kalıcı şekil değiştirmeye uğratmadan taşıması istenilen altyapı sistemlerinin, taşıma kapasitesi kontrol etmektedir. Taşıma kapasitesi, dolgu ya da yarmadaki zeminin kalitesine ve iyileştirilmiş tabaka kalınlığına göre değişim göstermektedir. Demiryollarında bu sebeplerden dolayı altyapı sistemleri, büyük önem taşımakta ve hizmet ömrü boyunca korunması gerekmektedir.

Samsun- Kalın Demiryolu Hattı'nda iyileştirilen altyapı sistemi, 35 cm tabaka kalınlığında olmakta ve iyileştirmede zeminin taşıma kapasitesi ve kalitesini arttırmak için çimento ile NovoCrete minerali birlikte kullanılmıştır. Kullanılan bu katkı malzemesi, bir filtre tabakası görevi görmekte olup, duyarlı olmayan malzeme özelliğinde olan NovoCrete minerali sayesinde oluşabilecek don olaylarından korumaktadır. Bu sebeple suyun etken olabileceği donma ve çözünme olaylarından zemini koruyarak yol geometrisindeki bozulmaların önüne geçmiştir.

Modernizasyon projesinde, hız ile dingil yükünün artması tüm demiryollarında da olabileceği gibi kalıcı şekil değiştirmeleri meydana getirmektedir. Önüne geçilmesi adına dinamik bir rijitlik sağlayacak şekilde oluşturulan NovoCrete® dolgu tabakası beton mukavemetinde ancak esnek yapı özelliği taşımaktadır. Aynı zamanda tren kritik hıza eriştiğinde, zemin üzerinde gerçekleşen titreşim hareketlerini, yükleri yanal olarak dağıtan metodolojisi sayesinde, oluşturduğu kapalı düzende bu titreşimleri kendi içinde emerek minimize etmesi ile bu hareketlerin tren ve yapı bütünlüğü için tehlikeli olmasını engellemiştir. Bu durumlar için demiryolu üzerine gelen statik ve dinamik yüklerin, zemin üzerinde küçük bir alana iletilmesi sebebiyle oluşabilecek deformasyonların önüne geçilmesini sağlamak adına daha iyi araştırılması gerekmektedir.

İyileştirilen demiryolunun bu yükler karşısındaki dayanımını, taşıma gücünü hesaplamak amacıyla uygulama sonrası CBR deneyleri, dinamik plaka ve statik plaka yükleme deneyleri yapılmıştır. Zeminin taşıma gücü, üst yapıda bulunan tabaka kalınlığını doğrudan belirlemekte ve etkilemektedir (Uz ve Sultan, 2012). Tabaka kalınlığının belirlenmesini sağlayan taşıma gücü ise zeminin birim ağırlığı ve su muhtevası koşullarında, danelerin arasındaki kayma direnci olarak temsil edilmektedir (Uz ve Saltan, 2012). Bu amaçla zeminin sahip olduğu taşıma gücü, CBR deneyi ile belirlenmekte ve % olarak ifade edilmektedir. CBR deneyi, bilindiği gibi iyileştirilen dolguların da taşıma gücünün belirlenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır (Fırat ve Cömert, 2011). Bu nedenle tezin bir önceki bölümünde, uygulama öncesine ait verilmiş olan CBR değerleri ve NovoCrete teknolojisinin uygulanmasından sonra tekrar güzergâhlar üzerinden numuneler alınarak CBR deneylerinin yapılması ile bulunan zeminlerin taşıma gücündeki performans değişiklikleri kıyaslanarak, tezin ileriki bölümlerinde değerlendirilmiştir.

Yine dolguların, temellerin ve alt temellerin taşıma gücünü veya kapasitesini, arazide daha kısa zamanda belirleyebilmek adına kullanılan diğer bir yöntem olarak plaka yükleme deneyi yapılmaktadır (URL-3). Bu deney statik ve dinamik olarak 2 farklı şekilde yapılmakta ve değerlendirilmektedir. Statik plaka yükleme deneyinde, çapı 60 cm olan plaka,  $\sigma_{\max} = 0,5 \text{ N/mm}^2$  (MPa) koşulunu sağlayan gerilme değerine erişene kadar aşamalı olarak yüklenir ve böylece ön yüklemenin ardından ölçülen  $E_{v1}$  değerleriyle son yüklemenin ardından ölçülen ve deformasyon modülü olarak kabul görülen  $E_{v2}$  değerlerine ulaşılarak zemindeki oturma miktarı belirlenmektedir (URL-3).  $E_{v2}$  değerinin bulunması uzun süreceği durumlarda  $E_{vd}$  değerinin hesaplanması için dinamik plaka yükleme deneyi yapılmaktadır (Erel 2007; Akbaş, 2008). Arazide deneyin yapılması istenilen alana yükleme mekanizmasını, yükleme plakasının üzerinde olacak şekilde konumlandırılarak ve kutu içerisinde bulunan ölçüm aletinin kablo aracılığıyla bağlantıları sağlanarak yapılmaktadır (URL-3). Bağlantıları sağlanan deney mekanizması ile 3 ölçüm darbesi uygulanmakta ve uygulanan her darbenin sonrasında ölçüm aletiyle oturma mesafeleri hesaplanarak, dinamik deformasyon modülü değerine yani  $E_{vd}$  değerine ulaşılmaktadır (URL-3).



Bu amaçlar ile tezin ileriki bölümlerinde, uygulama öncesinde taşıma gücü düşük olan güzergâhlardaki zayıf zeminlerin stabilizasyon sonrasında kazanmış olduğu zemin taşıma performanslarının değerlendirilmesi ve tüm bu deney sonuçlarından elde edilen değerlerin birbiriyle olan bağlantıları açıklanarak anlatılmıştır.

Stabilizasyon için karışım oranları, projede istenilen ölçütlere bakılması ve gerekli deneylerin yapılması neticesinde 1 m<sup>2</sup> zemin için 60 kg/m<sup>2</sup> çimento ve kullanılan çimentonun %2'sine karşılık gelen 1,12 kg NovoCrete kullanılmıştır. Stabilizasyonu yapılan güzergâhın farklı kesimlerinden zemin örnekleri alınmış ve NovoCrete uygulaması sonrası çimento+ NovoCrete katkısının zemin mühendislik özelliklerine olan etkisi değerlendirilmiştir.

Bu amaçla Km: 218+190 üzerinden alınan zemin numunesinin uygulama öncesinde belirlenen indeks özellikleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Alınan zemin örneği, düşük plastisiteli kil grubunda ve %2,71 gibi çok düşük CBR değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

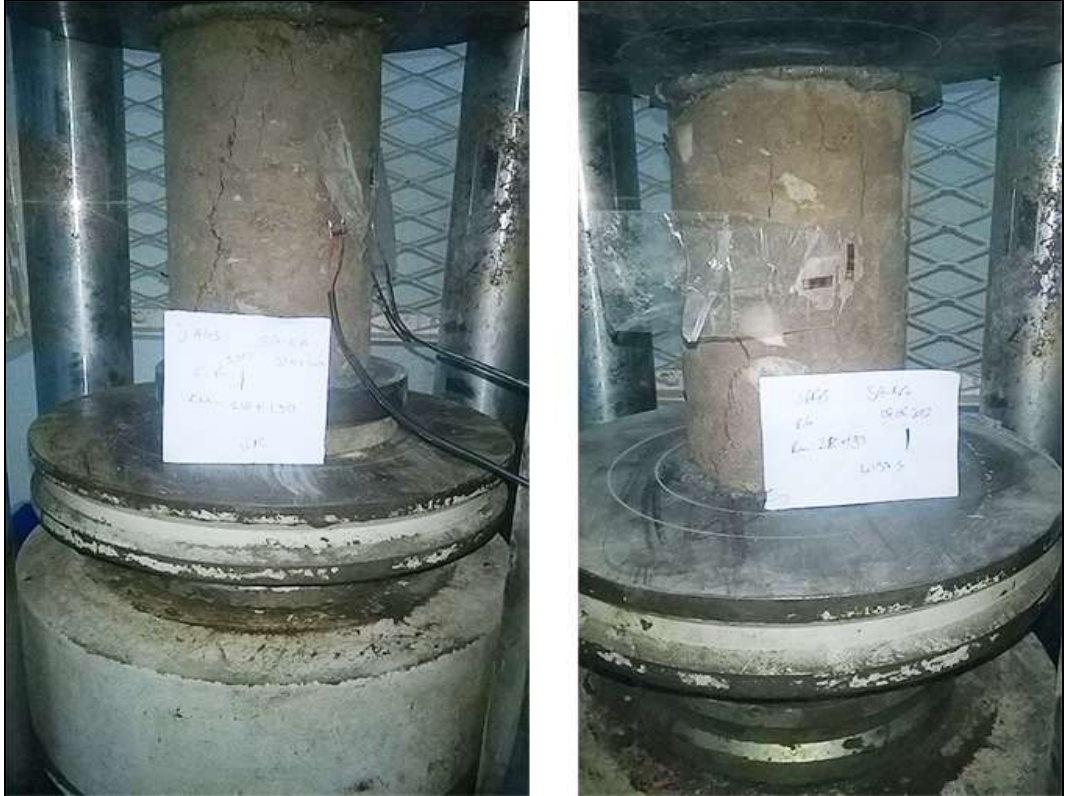
Tablo 4.1. Km: 218+190 alınan zemin numunesinin mühendislik özellikleri

<b>DOĞAL ZEMİN</b>					
Km	Dane Oranı(%)		PI (%)	CBR	
	Silt+Kil(%)	Kil		Oran (%)	Şişme (%)
228+190	99,64	70,79	28,01	2,71	0,52

Yine km: 218+190 üzerinden arazide NovoCrete uygulaması gerçekleştikten sonra uygulama öncesi ile karşılaştırılmak üzere karot örneği alınmıştır (Şekil 4.1). Alınan karot örneğini deneylere hazır hale getirilerek deneylere tabii tutulmuştur (Şekil 4.2). Daha sonrasında bu karot örnekleri üzerinde, 7 ve 28 kür günleri sonrası, eklenen çimento+ NovoCrete katkı malzemelerinin zemin mühendislik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmak için CBR ve dayanım deneylerine tabii tutulmuştur.



Şekil 4.1. Km: 218+190 üzerinden uygulamadan sonra alınan karot örneği



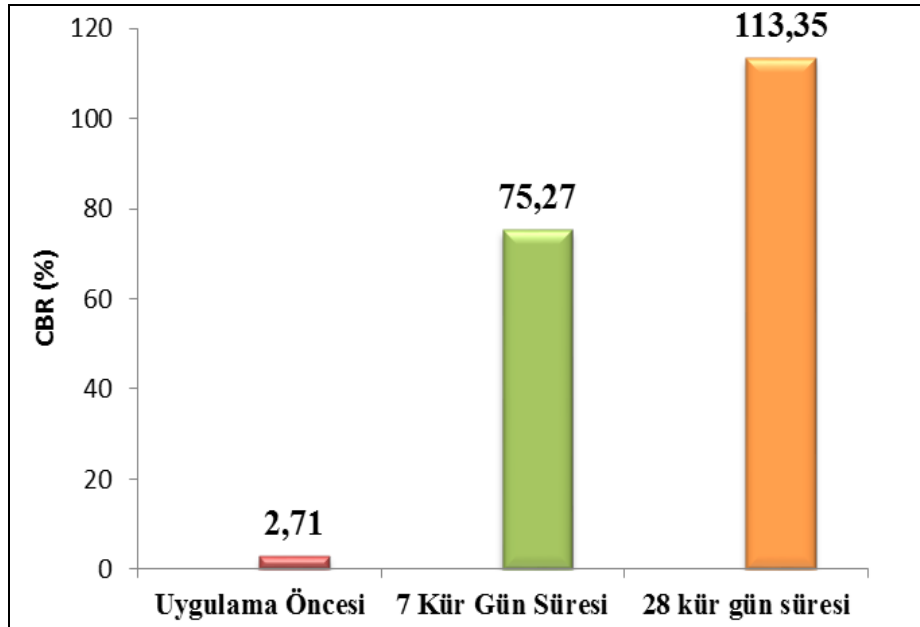
Şekil 4.2. Karot örneği üzerinde yapılan serbest basınç deneyleri

Uygulama sonrası alınan karot örneği, hava geçirmeyecek şekilde muhafaza edilerek, kendi neminde kür olmaları beklenmiştir. Yapılan deney sonuçları Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Km: 218+190 üzerinden alınan karot örneğinin deney sonuçları

<b>UYGULAMA SONRASI</b>			
Kür Günü	CBR		Serbest Basınç Dayanımı (MPa)
	Oran (%)	Şişme (%)	
7	75,27	0,06	1,52
28	113,35	0,02	2,77

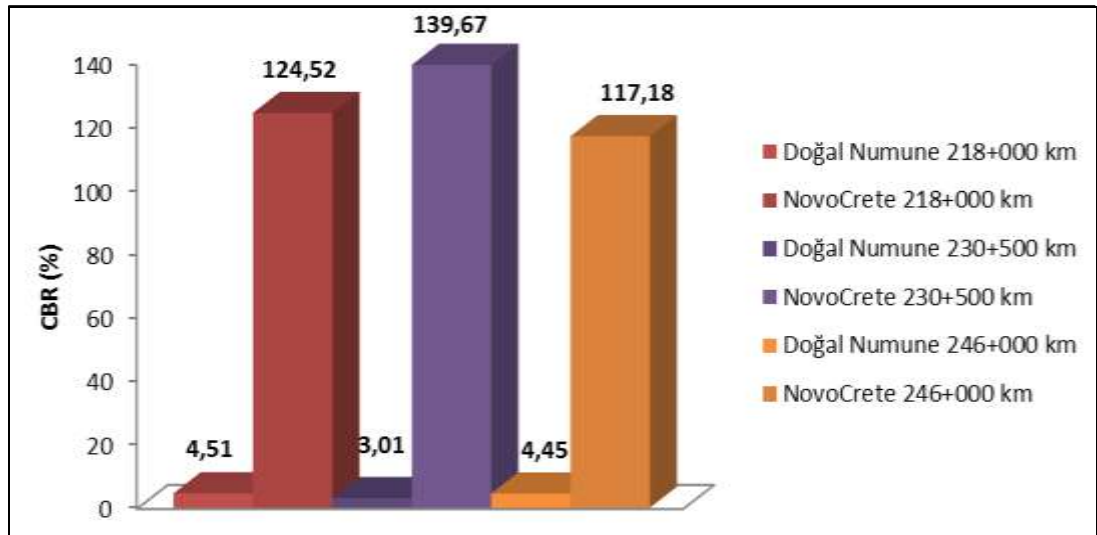
Karot örneği üzerine yapılan deney sonuçlarında, şişme oranları 28 gün sonrasında daha da düşerek % 0,02 bulunmuştur. Dayanım değerleri 1,52 ve 2,77 MPa olarak bulunmuştur. Bir zeminin CBR deneyi sonrasında bulunan CBR değerleri, yol yapımı kullanımında önem taşımakta ve uygunluğu hakkında bilgi vermektedir (Bowles, 1970; Bilgen ve diğ., 2012). Bu sebeple uygulama sonrası gerçekleştirilen CBR değerinin değişimleri Şekil 4.3’te verilen grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4.3. 218+190 km üzerinde uygulama öncesi ile NovoCrete uygulaması sonrası kür günlerine göre elde edilen CBR değerleri

Eren ve Filiz (2009) tarafından yapılan çalışmaya göre CBR değeri %0 -%3 arası değere sahip zeminleri çok zayıf zemin, %3-%7 arası değere sahip olan zeminleri zayıf zemin olarak tanımlamakta ve yol yapımında zeminlerin alt temel olabilmesi için CBR değerlerinin minimum %7-%20 CBR değerinde olması gerekmektedir. Bu duruma göre Şekil 4.3'te verilen deney sonuçlarına bakıldığında uygulama öncesinde %2,71 CBR değerine sahip zemin örneği, çok zayıf zemin niteliğinde olduğunu ve bu değerlerin NovoCrete uygulaması sonrasında 7 gün kür günü sonrası yaklaşık 27 katı kadar artarak %75,27 değerine ulaşmıştır. Artan kür günü ile 28 gün sonrası yapılan deney sonucunda CBR değeri %113,35 olarak önemli derece artış gösterdiği ve yol yapına uygun bir değer olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

Uygulama öncesi ve sonrası deney sonuçlarının korelasyonu için km: 215+190 örneğinde olduğu gibi km:218+000, km: 230+500 ve km:246+000 üzerinden zemini temsil edecek karot örnekleri alınmıştır. Malzeme ve yöntem bölümünde bu kilometreler üzerindeki uygulama öncesine ait doğal zeminlerin indeks değerleri verilmiştir. Bu bağlamda uygulama sonrası yapılan deneyler ile deney sonuçları uygulama öncesindeki deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Mevcut zemine çimento+ NovoCrete uygulaması ile yerinde iyileştirilen zeminler üzerinden alınan karot örneklerine CBR deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları Şekil 4.4'te verilmiştir.



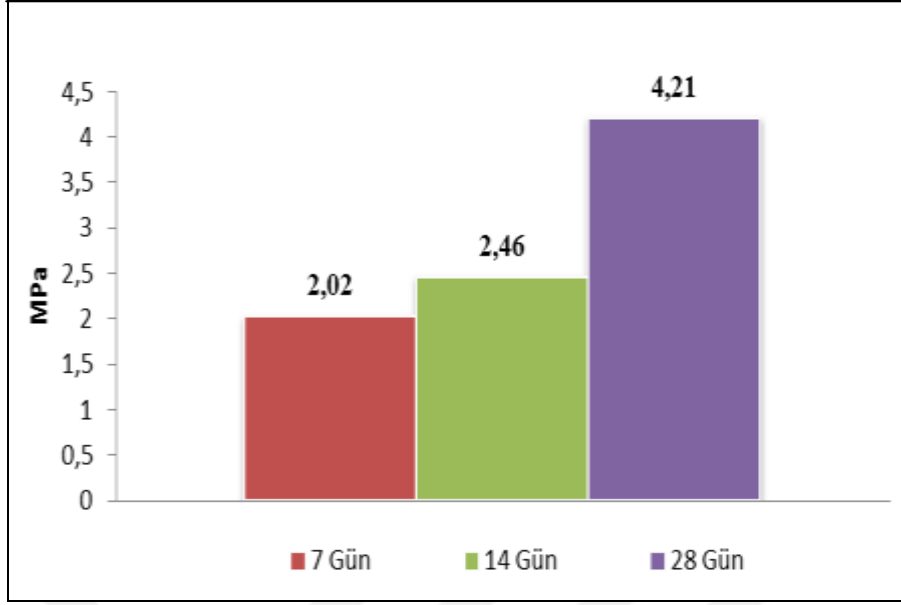
Şekil 4.4. Mevcut zemin ile NovoCrete® eklendikten sonra elde edilen deney sonuçları

Mevcut zemine çimento+ NovoCrete® ilave ederek hazırlanmış olan numuneler üzerinde yapılan CBR deneyleri sonrasında elde edilen değerlerde; 218+000 kilometrede %4,51'den %124,52 değerine, 230+500 kilometrede 3,01'den %139,67 olan değerine ve 246+000 kilometrede ise %4,45'ten %117,18 değerlerine ulaşarak artış göstermiştir. Mevcut zeminin sahip olduğu CBR değerleri zayıf zemin olarak tanımlanmaktadır. Bu değerlerin kür günleri ile paralel bir şekilde artış gösterdiğini yaklaşık 27-45 kat arasında artan değerlere ulaştığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar neticesinde NovoCrete® mineralinin çimento ile beraber kullanılmasının, uygulama öncesinde altyapı için düşük değerlerde olan, yol yapımı ve modelleme amaçları için yetersiz bulunan CBR değerlerinde, uygulama sonrasında ciddi oranlarda artışlara ulaşılmıştır.

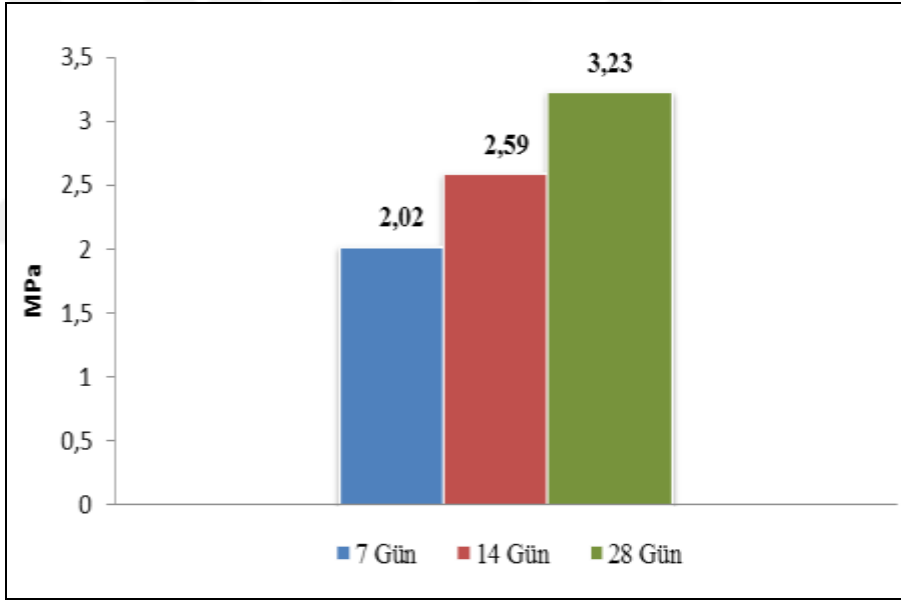
Daha önce Kök ve Yılmaz (2012) tarafından yapılmış olan çalışmaya göre, üst yapıyı kontrol eden CBR değerlerinin artması, taşıma kapasitesinin artmasını sağlarken üstyapı maliyetinde ise azalma sağlayabileceğini göstermiştir. Bu sebeple, CBR değerini arttırmak için taşıma kapasitesi düşük olan zeminlerde çimento uygulanmasının ve çimento ile beraber NovoCrete teknolojisi kullanılmasının, diğer yöntemlere göre hem sahip olduğu içeriği hem de başarısı sayesinde daha çevreci aynı zamanda akılcı bir çözüm olduğu, olumlu sonuçlar verdiği sonuçlarına ulaşılmıştır. Bununla birlikte çimento+ NovoCrete karışımının dayanıma olan etkisini belirlemek amacıyla serbest basınç deneyi yapılmıştır. Bu deney, aynı orandaki karışımlar ile hazırlanan silindir numunelerin 7, 14, 28 günlük kür süresi sonrası yapılmış ve kilometrelerine göre ayrı ayrı olarak gösterilmiştir (Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7).

Aşağıda verilen grafiğe bakıldığında; 218+000 kilometredeki numune sonuçlarında 7 günlük kür sonrası 2,02 MPa, 14 günlük kür sonrasında 2,46 MPa ve 28 günlük kür sonrasında ise 4,21 MPa olarak bulunmuştur.

230+500 kilometredeki numune deney sonuçlarında; 7 günlük kür sonrası 2,02 MPa, 14 günlük kür sonunda 2,59 MPa ve 28 günlük kür sonrasında 3,23 MPa olarak bulunmuştur.



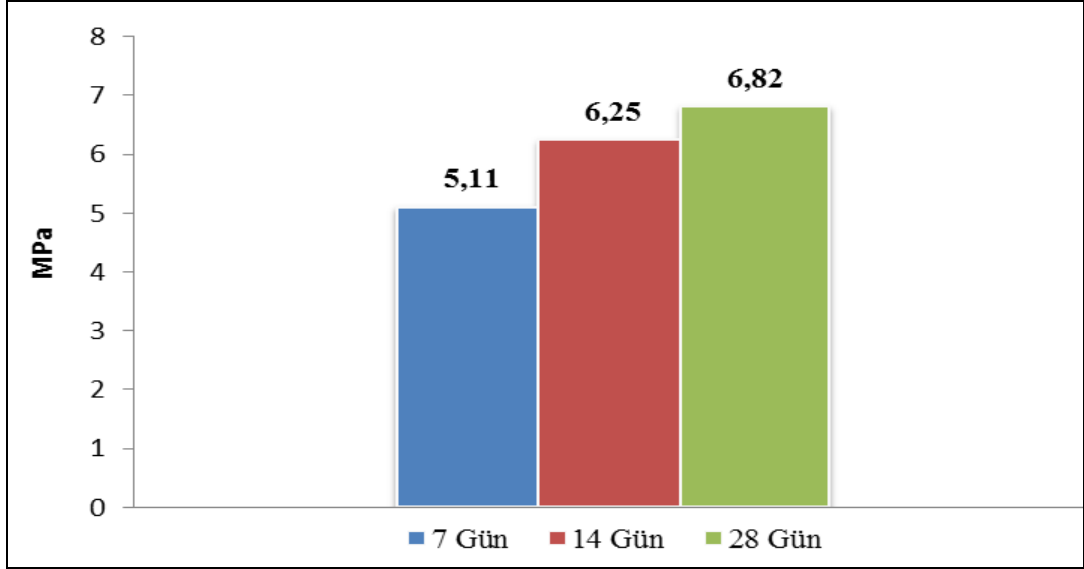
Şekil 4.5. 218+000 kilometredeki kür günü ve dayanım ilişkisi



Şekil 4.6. 230+500 kilometredeki kür günü ve dayanım ilişkisi

Uygulama sonrası, çimentoya %2 oranında eklenmiş NovoCrete mineralinin zemindeki dayanım değerlerine olan etkisi yukarıda verilen grafiklerde gösterilmiştir.

Yapılan serbest basınç deney sonuçları incelendiğinde, en yüksek dayanım değerlerine 28 günlük kür sonrasında ulaşılmıştır. Buna bağlı olarak kür günü geçtikte dayanımda da aynı oranda artış meydana geldiği saptanmıştır.



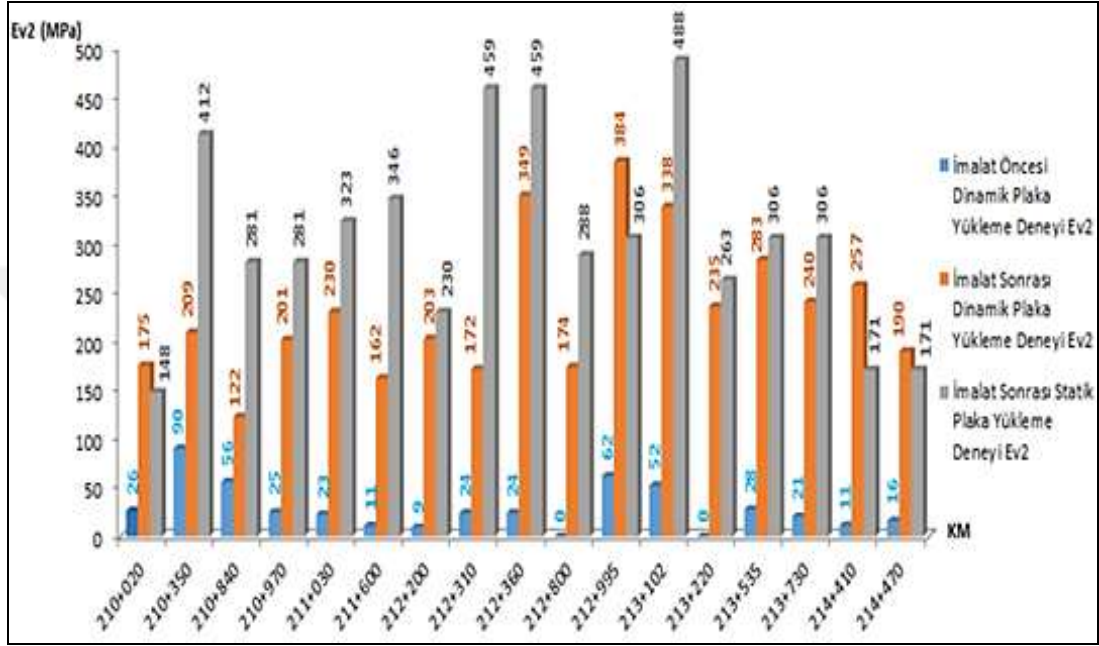
Şekil 4.7. 246+000 kilometredeki kür günü ve dayanım ilişkisi

Keskin ve diğ. (2017), artan kür günü ile basınç dayanımını, zemin daneleri arasındaki fiziksel ve kimyasal bağların, zamanla daha fazla kuvvet kazandırdığı için olduğu fikrinin savunmuştur. Bu durumda çimento+ NovoCrete ile yapılan uygulamanın, zemin daneleri arasındaki fiziksel ve kimyasal bağları kuvvetlendirdiği yorumu çıkarılabilmektedir.

Samsun- Kalın Demiryolu iyileştirme çalışmasında, NovoCrete® uygulamasının sağladığı avantajları ve iyileştirmenin tam olarak başarıya ulaştığını belirlemek amacıyla, taşıyıcı tabakadan beklenen taşıma kapasitesi için CBR değeri ile bağlantılı olan diğer bir yöntem olarak dinamik plaka yükleme deneyleri yapılmıştır. Alman Demiryolları bu bağlantıyı “1 % CBR = 13 MN/m<sup>2</sup> (13 MPa) ve 10 % CBR = 40 MN/m<sup>2</sup> (40 MPa)” şeklinde açıklamaktadır (Erel, 2007).

Deney standartları çerçevesinde yapılan dinamik plaka yükleme deneyindeki, iki şekil değiştirme modülü elde edilmekte, bunlardan birincisi  $E_{v1}$  değeri, ikinci değer ise  $E_{v2}$  olmaktadır. İyileştirilen tabakanın, şekil değiştirme modülü standartlardaki gibi;  $V \leq 160$  km/saat için  $E_{v2}$  değeri  $\geq 50$  MN/m<sup>2</sup> (50 MPa) ve  $V > 160$  km/saat için  $E_{v2}$  değeri  $\geq 80$  MN/m<sup>2</sup> (80 MPa) şartlarını sağlaması gerekmektedir.  $E_{v2}$  değerinin bulunması uzun süreceği durumlarda  $E_{vd}$  değeri kullanılmaktadır (Erel 2007; Akbaş, 2008).

Bu sebeple projede yapılan plaka yükleme deneyleri ile uygulama öncesi ve uygulama sonrası zeminin taşıma kapasitesindeki farklar değerlendirilmiştir. Projede istenilen ölçütlere göre yorumlanmıştır. Samsun-Kalın Demiryolu için yapılan dinamik plaka ve statik plaka yükleme deney sonuçları,  $E_{v2}$  değerleri ile birlikte Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

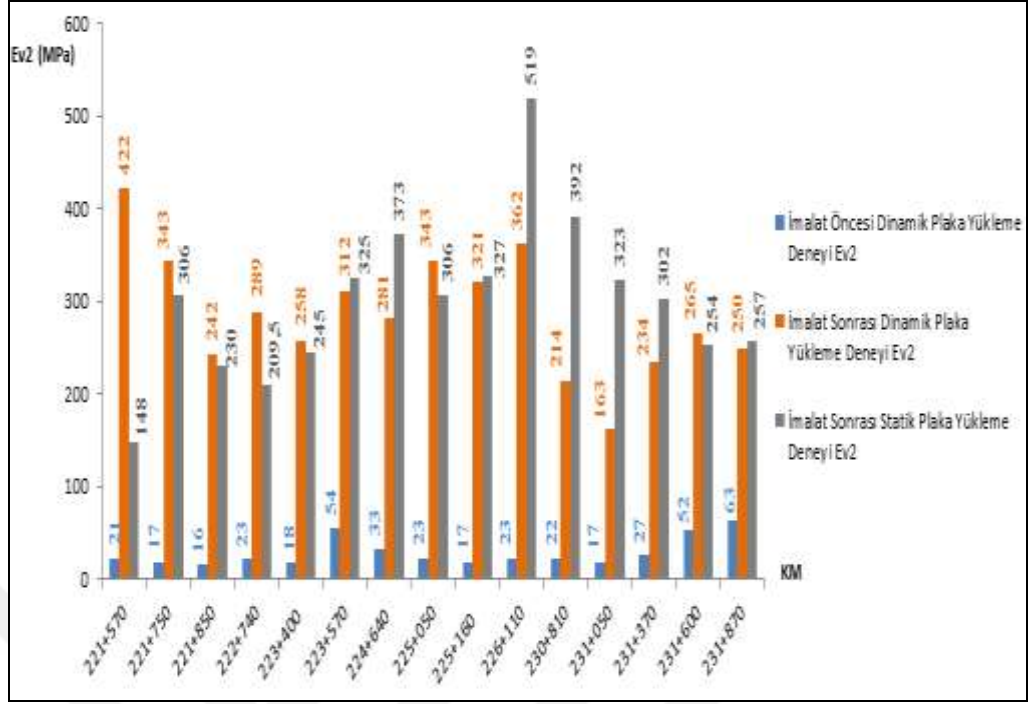


Şekil 4.8. Farklı güzergâhlardaki imalat öncesi ve sonrası arazi test sonuçları (Coruk ve diğ., 2017)

Araziden alınarak laboratuvar ortamında değerlendirilen deney sonuçları, arazide yapılan deneyler kadar güvenilir olmamakta ve temsili olarak alınan numunelerin orijinal kaya veya toprak kütlelerini ne doğrulukta temsil ettiği arazi deneyleri ile daha doğru bir şekilde kontrol edilmektedir (Doğan ve Gökay, 2006). Bu amaçla farklı güzergâhlarda arazi deneyleri yapılmış ve yapılan bu deney sonuçları yukarıdaki gibi gösterilmiştir. Doğal zeminin yük taşıma gücünü, katkı maddesi eklenerek iyileştirilen zeminin taşıma gücü ile kıyaslanmıştır.

Şekil 4.8’de imalat öncesi yapılan dinamik plaka yükleme deney sonuçlarında; en düşük 9 MPa ve en yüksek 90 MPa arasında olan değerlerin, uygulama sonrasında ise en düşük 122 MPa ile en yüksek 488 MPa arasında değişen  $E_{v2}$  değerlerine ulaşmıştır (Coruk ve diğ., 2017).





Şekil 4.9. Farklı güzergâhlardaki imalat öncesi ve sonrası arazi test sonuçları

Yine benzer şekildeki artışların Şekil 4.9’da verilen arazi deney sonuçlarında rastlanmıştır. Uygulama öncesi 16 MPa ile 63 MPa arasında değişen ve düşük olan bu değerler, uygulama sonrasında ise 148-519 MPa arasında değişen yüksek  $E_{v2}$  değerlerine ulaşmıştır. Uluslararası Demiryolları Birliği (UIC) tarafından  $E_{v2}$  ve CBR değerlerinin sınıflanması Tablo 4.3’te verilmiştir.

Tablo 4.3. Değişik zemin türleri için UIC tarafından hazırlanan  $E_{v2}$  değerleri (UIC Code 719R, 1994)

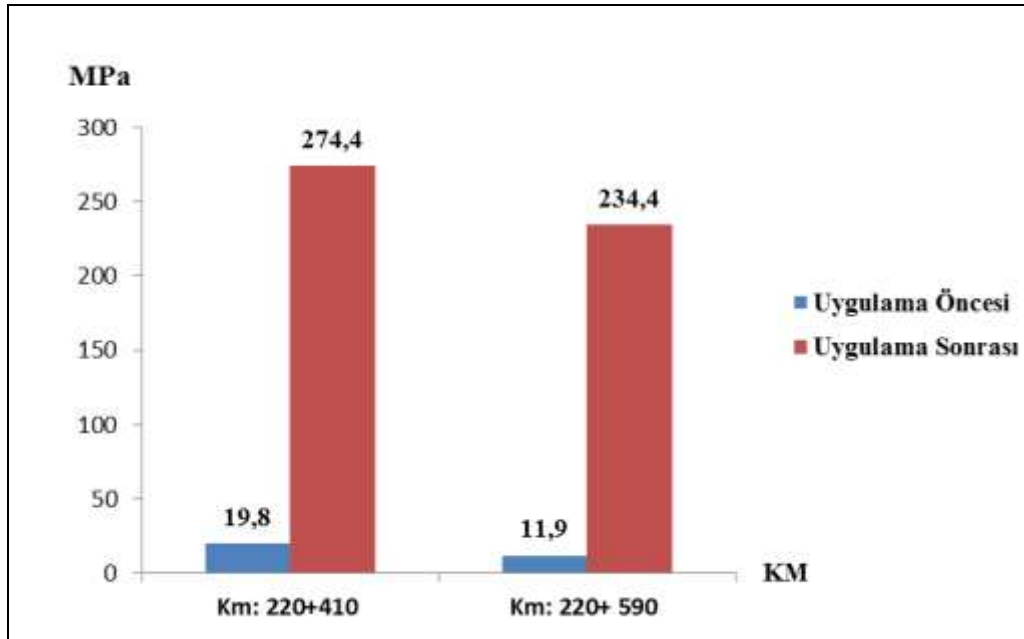
$E_{v2}$	$< 30 \text{ N/mm}^2$	Çok kötü; iyileştirilmesi gerekir.
	$= 30 - 50 \text{ N/mm}^2$	Kötü; koruma tabakası gerekir.
	$= 50 - 70 \text{ N/mm}^2$	Orta; koruma tabakası gerekebilir.
	$= 70 - 90 \text{ N/mm}^2$	İyi.
	$> 90 \text{ N/mm}^2$	Çok iyi.

Bu sınıflama ile yukarıda verilen grafiklerdeki deney sonuçları değerlendirilmiştir. İmalat öncesi yapılan dinamik plaka yükleme deney sonuçlarında; 210+020 ile 214+470 kilometreleri arasındaki 9 MPa ile 90 MPa arasında değişen değerlerin çoğunluğu 30 MPa’dan düşük olması nedeniyle çok kötü zemin durumunda olduğu

ve iyileştirilmesi gerektiği görülmektedir. Aynı durum 221+570 ve 231+870 kilometreleri arasındaki uygulama öncesi yapılan dinamik plaka yükleme deneyinde 17- 63 MPa arasında değişen değerlerin olması, bu değerlerin Şekil 4.10'da verilen  $E_{v2}$  değerlerine göre çok kötü olan zeminin iyileştirilmesi gerektiği görülmektedir.

İyileştirme sonrasında gerçekleştirilen dinamik ve statik plaka yükleme deney sonuçlarına bakıldığında, uygulama öncesinde düşük olarak bulunduğu, uygulama sonrası Birleşmiş Demiryolu Standartı'nda (UIC) istenilen  $90 \text{ N/mm}^2$  (90 MPa) değerinin üzerinde olan değerlere artış göstererek çok kötü nitelikte olan zeminlerin, çok iyi zemin niteliğine eriştikleri sonucuna ulaşılmıştır. Deneyler sonrasında en yüksek  $E_{v2}$  değeri, 226+110 km üzerinde stabilizasyon öncesi 23 MPa olarak bulunan ve çok kötü niteliğe sahip zayıf zemini, yapılan stabilizasyon çalışması sonrası 519 MPa gibi çok yüksek değerlere ulaştırmıştır. Ulaşılan bu  $E_{v2}$  değeri ise Birleşmiş Demiryolu Standartı'nda (UIC) istenilen  $E_{v2}$  değerlerinin, yaklaşık 6 katı olmakta ve iyileştirilen zeminin artık kaya davranışı gösterdiği şeklinde yorumlanmaktadır.

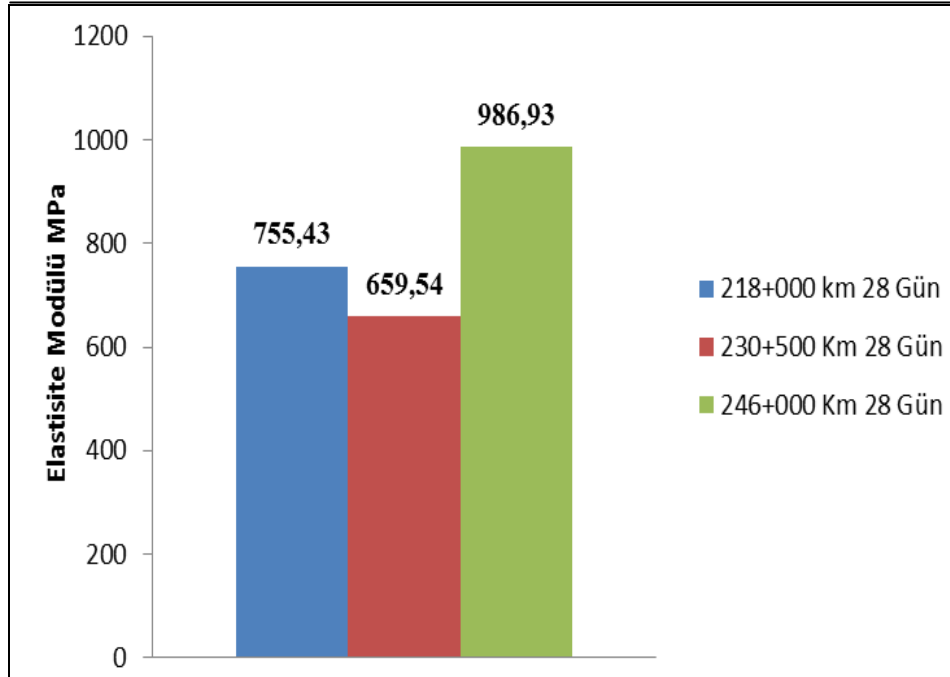
Aynı olumlu sonuçlar, 220+410 ve km: 220+590 üzerinde yapılan dinamik plaka test sonuçları ile Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Km: 220+410 ve km: 220+590 üzerinde yapılan dinamik plaka test sonuçları

Güzergâh olarak 220+410 km üzerinde yapılan dinamik plaka test sonucunda,  $E_{vd}$  değeri 19,8 MPa olarak hesaplanmıştır. Aynı güzergâh üzerinde uygulama sonrası yapılan dinamik test sonucunda ise  $E_{vd}$  değerine 274,4 MPa olarak ulaşılmıştır. Yine km: 220+ 590 üzerinde yapılan dinamik test sonucunda, uygulama öncesinde 11,9 MPa olan  $E_{vd}$  değeri, uygulama sonrasında 234,4 MPa olarak bulunmuştur (Yılmaz, 2017). Böylece, kullanılan katkı malzemelerinin stabilizasyonda başarılı sonuçlar verdiğini, projede istenilen ve beklenen değerlerin üzerindeki değerlere ulaştığını, deney sonuçları ile kanıtlanmıştır.

Yüksek dayanım parametreleri gibi elastisite modülünün de altyapı sistemleri için önem taşıdığı bilinmekte ve iyi bir altyapı tabakası olmayan tasarımların, elastisite modülünün düşük değerlerde olduğu durumlarda, altyapı sistemlerinin üzerine gelen yükleri güvenilir bir şekilde karşılaması mümkün olmamaktadır (Akbaş, 2008). Ayrıca Alman Demiryolları, üzerinde yeni hatların oluşturulacağı zeminlerin Elastisite Modülü değerinin 120 MPa olmasının ihtiyaç olduğunu belirtmektedir (Moderen, 2010). Şekil 4.11.'de laboratuvarda farklı kilometreler üzerindeki zeminlerin 28 günlük kür sonrası yapılan statik elastisite modülü deneyleri ile elde edilen elastisite modülü değerleri verilmiştir.



Şekil 4.11. Farklı kilometrelerde laboratuvar deneyleri ile bulunan 28 günlük kür sonrası elastisite modülü değerleri

Şekil 4.11’de gösterildiği üzere, stabilizasyon sonrası yapılan deney sonuçlarına göre sırasıyla 755,43 MPa, 659,54 MPa ve 986,93 MPa gibi yüksek elastisite modülü değerlerine ulaşılmaktadır. Akbaş (2008) ve Moderen (2010) araştırma çalışmalarındaki istenilen elastisite modülü değerleri dikkate alındığında; Şekil 4.11’de verilen 28 kür günü sonrası elde edilen statik elastisite değerleri, istenilen değerlerin yaklaşık 7-8 katı daha yüksek olarak bulunmuştur.

Kabiliyet ve kapasite arttırmak için gerçekleştirilen bu demiryolu modernizasyon projesi çalışmasında, yapılan deney/test sonuçları doğrultusunda, üzerine üstyapıdan gelecek olan dinamik yüklerden etkilenmeyen ve güvenli bir şekilde karşılanmasını sağlayan, istenilen kriterlere uygun yüksek dayanım ve elastisite modülü değerlerine sahip altyapı sistemi çimento ve NovoCrete teknolojisi kullanılarak yerinde oluşturulmuştur.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışması boyunca zayıf zeminlerin iyileştirilmesinde çimento stabilizasyonu ile puzolanik malzeme olan NovoCrete® teknolojisinin çimentoya ve farklı zemin türlerine olan etkisi araştırılmıştır. Araştırma boyunca, önce çalışmaya örnek olarak laboratuvar deneyleri yapılmış ve NovoCrete teknolojisinin etkisi araştırılmıştır. Araştırma ile NovoCrete teknolojisinin, farklı zemin türlerinin mühendislik özellikleri ile çimentoya olan etkisi incelenmiş ve ideal karışım oranları belirlenmiştir. Belirlenen ideal karışım oranları; 1 m<sup>2</sup> zemin için 60 kg çimento ve kullanılan çimentonun %2'sine karşılık gelen 1,12 kg NovoCrete olarak kullanılmıştır. Kullanılan ideal karışım oranları ile Samsun- Kalın Demiryolu Modernizasyon Projesi'nde yaklaşık 70 kilometre üzerinde bu teknoloji ile zayıf zeminlerin yerinde iyileştirilmesi yapılmıştır. Tez kapsamında Zile- Artova arasındaki demiryolu güzergâhının farklı kesimlerinde gerçekleştirilen zemin iyileştirme çalışma sonuçları değerlendirilmiştir.

Zile- Artova arasında gerçekleşen çalışmalar, genelinde jeolojik açıdan alüvyon birimlerine ait kalınlığı 3,00 m ile 5,00 m arasında değişen, zayıf dayanım özelliklerine sahip olan ve orta-yüksek plastisiteli kil ve killi çakıl düzeyleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. NovoCrete ile 35 cm kalınlığındaki iyileştirilen tabaka, homojen olması, duyarlı olmayan özelliğe sahip olması ile dışarıdan gelebilecek olan su, asit vb. maddeleri bünyesine almamaktadır. Dolayısıyla zemin üzerinde deformasyonlara sebep veren donma/çözünme olayları meydana gelmemektedir. Bu sayede iyileştirme sonrası uzun ömür vadetmekte, çimentoya eklenmesi ile çimentonun iyileştirme sürecini, başarı süresi ile başarı durumunu etkileyen kimyasal özelliklerini olumlu yönde geliştirerek, çimentonun hızlı bir şekilde zemin ile karışmasını ve priz almasını sağlamaktadır.

Yapılan deney sonuçlarında, güzergâh üzerinden alınan mevcut zeminlerin mühendislik özellikleri ve NovoCrete karışımı uygulandıktan sonraki zeminlerin mühendislik özellikleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada; 7,14 ve 28 günlük kür süreleri sonrasında yapılan arazi ve laboratuvar deney sonuçları değerlendirilmiştir.

Değerlendirilen sonuçlara göre; CBR değerleri 218+000 kilometrede %4,51'den %124,52 değerine, 230+500 kilometrede 3,01'den %139,67 değerine ve 246+000 kilometrede ise %4,45'den %117,18 değerlerine ulaşarak artış göstermiştir. Yapılan dinamik plaka test sonuçlarına bakıldığında 9 MPa ile 122 MPa arasında değişen ve geneli çok kötü nitelikte olan zayıf zeminleri, uygulama sonrası 488 MPa ile 519 MPa gibi yüksek  $E_{v2}$  değerine ulaştırılarak çok iyi nitelikte zemin olmalarını sağlamıştır. 19,8 MPa değerinde olan  $E_{vd}$  değeri, uygulama sonrası 274,4 MPa değerine ve 11,9 olan  $E_{vd}$  değeri ise 234,4 MPa değerine ulaşmıştır. Yine benzer artışlara serbest basınç deney sonuçlarında da ulaşılmış ve 755,43 MPa, 659,54 MPa ve 986,93 MPa gibi çok yüksek elastisite modülü değerlerine erişilmiştir. Böylece NovoCrete eklenen zeminin, dayanım ve elastik özelliklerinin önemli ölçüde arttığı görülmüştür.

Aynı zamanda kür gün süresi arttıkça, dayanım parametrelerinin de aynı oranda arttığı ve deformasyon oranlarının ise düştüğü gözlemlenmiştir. Artan değerler ile NovoCrete teknolojisi, zayıf zeminleri proje için istenilen ölçütlerin üzerinde olan değerlere ulaştırması ile başarısını göstermiştir.

Samsun- Kalın Demiryolu Hattı'nın modernizasyonunda, istenilen teknolojiye ve taşıma gücüne uygun olarak iyileştirilen demiryolu altyapı sistemi ile projenin hem güvenliğini hem kullanım süresini artmıştır. Böylece 378 kilometre olan demiryolunun 70 kilometresinde NovoCrete teknolojisi ile yerinde iyileştirme yapılması, uygulanabilecek geleneksel yöntemlere nazaran projeye yaklaşık olarak %70 oranında hız kazandırmıştır.

## KAYNAKLAR

Akbaş G., Demiryollarında Altyapının Teknik Tasarımı, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2008.

Akyarlı A., Kavak A., Atay S., Alkaya S., Killi Zeminlerin Kireç İle İyileştirilmesi. *TSE Standart Dergisi*, İzmir, Türkiye, 2009.

Altun S. Zemin İyileştirme Yöntemleri, Derin Temeller Ve Uygulama Örnekleri, İzmir İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir, Türkiye, 2010.

Aydın E., Uygur E., Zemin Etüdünün Önemi Ve Zemin-Yapı Etkileşimi Üzerine Bir Ön Araştırma, Doğu Akdeniz Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kıbrıs, Türkiye, 2017.

Ayan E., Derin Zemin İyileştirme Yöntemleri ve Uygulamadan Örnekler, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2009, 251281.

Aydiner A., Tabandan Kuvvet Almadan Çalışan ve Mevcut Malzeme İle Yerinde Zemin İyileştirme Teknolojisi, Jags, <https://www.jags.com.tr/>, (Ziyaret tarihi: 10 Nisan 2019).

Aytekin M., Nas E., Soil Stabilization With Lime and Cement, *Teknic Dergi*, **9**(1), 1998, 471-477.

Bideci Ö.S., Bideci A., Öğütülmüş Kolemanit Katkısının Çimento Harçlarına Etkisi, *Mühendis Bilimleri Dergisi*, 2018, **30**(1), 133-138.

Bilgen G., Kavak A., Çapar Ö.F., Düşük Plastisiteli Bir Kilde Katkı Olarak Çelikhane Curufunun Kullanılması ve Kireç ile Etkileşiminin Araştırılması, *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2012, **2**(2), 30-38.

Bingöl E., Akyürek, B., Korkmazer, B., Biga Yarımadası'nın Jeolojisi ve Karakaya Formasyonunun Bazı Özellikleri, *Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi*, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, 1973, Ankara, 70-75.

Blumenthal M.M., Orta ve Aşağı Yeşilirmak Bölgelerinin (Tokat, Amasya, Havza, Erbaa, Niksar) Jeolojisi Hakkında Maden Tetkik Arama Enstitüsü Jeolojik Harita Materyelleri, 1950, Seri D, No.4.

Bowles J.E., Engineering Properties of Soil and their Measurement, New York, 10036 USA, 1970.

Coruk Ö., Kavak A., Aydiner A., Demiryollarında Zemin İyileştirilmesinde Novocrete® Uygulamaları, *Demiryolu Mühendisliği Dergisi*, 2017, (6), 73-78.

Doğan K., Gökay M.K., Plaka Gerilme Deney Sonuçlarının Toprak Ve Kayaç Zeminlerde Gösterdiği Farklılıklar, *Sakarya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2006, **20**, 1-2.

Doru M.H., Çimento Stabilize Zemin İyileştirmelerinde Uçucu Kül Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, Türkiye 2014, 373892.

Erdoğan N., Çimento Harçlarının Niteliklerinin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2005, 166474.

Eren Ö., Yılmaz Z., Değişik Sıcaklıklarda Kür Edilen Salt Portland Çimentolu, Yüksek Fırın Cürufu veya Uçucu Kül Katkılı Betonlarda Dayanım Gelişimi, *İMO Teknik Dergisi*, 2004, **15**(74), 3311-3322.

Eren S., Filiz M., Comparing the Conventional Soil Stabilization Methods to the Consolid System Used as an Alternative Admixture Matter in Isparta Darıdere Material, *Construction and Building Materials*, 2009, **23**(7), 2473-2480.

Haeri S.M., Hosseini S. M., Toll D. G., Yasrebi S. S., The Behaviour Of An Artificially Cemented Sandy Gravel, *Geotechnical & Geological Engineering*, 2005, **23**(5), 537-560.

Fırat S., Cömert A., Uçucu Kül, Kireç Ve Çimento İle İyileştirilmiş Kaolinde Kür Süresinin CBR Üzerine Etkileri, Gazi Üniversitesi, *Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2011, **26**,719-730.

FUGRO SİAL Yerbilimleri Müşavirlik ve Mühendislik Ltd, Jeolojik ve Jeoteknik Değerlendirme Raporu, SAKA 40-611-218-RT-GE-0013-0A, 11-112, 2016.

Güler G., Güler E., İpekoğlu Ü., Mordoğan H., Uçucu Küllerin Özellikleri ve Kullanım Alanları, Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, İzmir, Türkiye, 2005, **19**, 419-423.

Keskin S.N., Sungur A., Akan R., Uzundurukan S., İnce Daneli Zeminlerde Katkı Maddelerinin Ve Donma-Çözülme Çevriminin Serbest Basınç Dayanımına Etkisi, *Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi*, 2017, **5**(3), 473-478.

KGM, Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi, Ankara, 2008.

KGM, Karayolları Teknik Şartnamesi, Ankara, 2013.

Kılıç G., Çimento ile Zemin Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2008, 213300.



Kök B., Yılmaz, M., Geçgil A., Çimento Stabilizasyonlu Zeminin Esnek Üstyapı Maliyetine Etkisi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2012, **18** (3),165-172.

Moderen O., Balastsız Demiryolu Üstyapısının Yapısal Modellenmesi Ve Analizi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010, 293930.

Li D., Railway Track Granular Layer Thickness Design Based On Subgrade Performance Under Repeated Loading, 1994.

Okyay U.S., Dias D., Use Of Lime and Cement Treated Soils as Pile Supported Load Transfer Platform, *Engineering Geology*, 2010, **114**, 34-44.

Önalp A., Geoteknik Bilgisi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon,1983, **2**.

Özcan A., Aksay A., Tokat-Turhal-Almus-Çamlıbel Dolayının Jeolojisi, MTA Jeoloji Etüdüleri Dairesi, Ankara, 1996, Derleme No: 9972.

Öztürk Z., Arlı V., Demiryolu Mühendisliği, İstanbul, 2009.

Sağlamer A., Zemin Islah Metotları, Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekanikliği Semineri, DSİ Genel Müdürlüğü, Adana, 1985.

Sevin M., Uğuz M.F., 1/100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Çorum Paftası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara, 2013.

Sümengen M., 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Tokat Paftası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara, 2013, H-37, No:188.

Şimşek O., Çiftçi M.M., Tuğla Ununun Çimentoda Puzolanik Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliği, *Politeknik Dergisi*, 2006, 9.4, 325-329.

Şengör C.A.M., Yılmaz Y., Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach, *Tectonophysics*,1981, **75**, 3-4, 181-241.

Tumluer G., Çimento Katkılı Kumlu Zeminlerin Mukavemeti, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye, 2006, 183645.

Tüdeş E., Zeminlerin Kireç ve Çimento Katkısı İle Çözümü, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, Trabzon, 1996, 57814, T714, 161s.

Tüysüz O., Yiğitbaş, E., Genç, T., Tarı, U., Batı Karadeniz Bölgesinin Tektonik Birliklerinin Ayırıcı ve 1/500.000 Ölçekli Jeoloji Haritasının Hazırlanması, 1998, Proje No: YDABÇAG-17, TÜBİTAK Raporu, 92.

UIC Code 719R, (1994), Earthworks And Track-Bed Layers For Railway Lines, International Union of Railways, 2nd Edition.

URL-1: <http://www.kgm.gov.tr>, Karayollarında Zayıf Zemin Problemleri ve Önlemler, (Ziyaret tarihi: 14 Temmuz 2019).

URL-2: <http://op.udhb.gov.tr/tr/teknik-destek-projeleri>, T.C Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Yapım Projeleri, (Ziyaret tarihi: 18 Haziran 2019).

URL-3:[https://yapim.otoyolas.com.tr/wp-content/uploads/kaliteyayinlari/5\\_b\\_dinamik\\_plaka\\_yukleme\\_cihazı\\_LWD\\_olcumleri\\_degerlendirme\\_raporu\\_ekleri\\_cilt\\_3](https://yapim.otoyolas.com.tr/wp-content/uploads/kaliteyayinlari/5_b_dinamik_plaka_yukleme_cihazı_LWD_olcumleri_degerlendirme_raporu_ekleri_cilt_3) (Ziyaret tarihi: 19 Haziran 2019).

Uzuner B.A., Temel Mühendisliğine Giriş, Derya Kitabevi, Trabzon, 1995, 139.

Uz V.E., Saltan M., Granüler Yol Tabakalarının Yerinde Değerlendirme Yöntemleri: Dinamik Koni Penetrometre (DCP) Testi, *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi* 2012,4.2: 70-88.

Yalçın S., Aydın E., Yüksek Hızlı Demiryollarında Altyapının Önemi Ve Tasarım İlkeleri, Ulaştırma Kongresi, İstanbul, Türkiye, 2007, 19-21.

Yılmaz E., Samsun-Kalın Demiryolu Modernizasyon Projesi'nde NovoCrete® Uygulaması, Jags Innovative Products, 2017, 1-31.

Yılmaz Y., Tüysüz O., Kastamonu-Boyabat-Vezirköprü-Tosya Arasındaki Bölgenin Jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara, 1984, Rapor No: 7838.

Yılmaz Y., Serdar H.S., Genç C., Yiğitbaş E., Gürer Ö.F., Elmas A., Yıldırım M., Bozcu M., Gürpınar O., The Geology And Evolution of the Tokat Massif, South-Central Pontides, *International Geology Review*, Turkey, 1997a.,**39**, 365–382.

Yılmaz Y., Tüysüz O., Yiğitbaş E., Genç Ş.C., Şengör A.M.C., Geology and Tectonic Evolution of the Pontides, In: Robinson, A.G. (Ed.), Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region Memoir, American Association of Petroleum Geologists, 1997b., **68**, 183–226.

Van der Merwe, D. H., The prediction of heave from the plasticity index and percentage clay fraction of soils, *Civil Engineering= Siviele Ingenieurswese*, Sout Africa, 1964, v6i6: 103-107.

Yıldırım S., Zemin İncelemesi Ve Temel Tasarımı, Birsen yayınevi, İstanbul, 2002.

Zorluer İ., Usta M., Zeminlerin Atık Mermer Tozu İle İyileştirilmesi, *Türkiye IV Mermer Sempozyumu*, Afyon, Türkiye, 2003, 18-19.

## **KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER**

**Yemenici B.**, Coruk Ö., Zeminlerin Yerinde İyileştirilmesinde NovoCrete® Teknolojisi ve Uygulamaları, *Ulusal Mühendislik Jeolojisi ve Jeoteknik Sempozyumu*, Adana, Türkiye, 2017

**Yemenici B.**, Coruk Ö., Çimento ile Zeminlerin İyileştirilmesinde Novocrete® Teknolojisi ve Uygulamaları, *71. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara, Türkiye, 23-27 Nisan/April 2018



## **ÖZGEÇMİŞ**

1994 yılında Muğla'nın Marmaris ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Düzce'nin Akçakoca ilçesinde tamamladı. 2012 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden 2016 yılında Jeoloji Mühendisi olarak mezun oldu. 2016-2019 yılları arasında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı.

