T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SIKIŞTIRILMIŞ DOLGULARDA ENJEKSİYON YÖNTEMİ İLE ZEMİN İYİLEŞTİRMESİ

Ali Emir ŞİŞMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Geoteknik Programı

Danışman

Doç. Dr. Mehmet Şükrü ÖZÇOBAN

Mayıs, 2021

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SIKIŞTIRILMIŞ DOLGULARDA ENJEKSİYON YÖNTEMİ İLE ZEMİN İYİLEŞTİRMESİ

Ali Emir ŞİŞMAN tarafından hazırlanan tez çalışması 26.05.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Geoteknik Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Mehmet Şükrü ÖZÇOBAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Mehmet Şükrü ÖZÇOBAN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Suat AKBULUT, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Recep İYİSAN, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Mehmet Şükrü Özçoban danışmanlığında tarafımca hazırlanan SIKIŞTIRILMIŞ DOLGULARDA ENJEKSİYON YÖNTEMİ İLE ZEMİN İYİLEŞTİRMESİ başlıklı tezimde tüm veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Ali Emir ŞİŞMAN

İmza

Aileme

ve

Dostlarıma…

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum bu çalışmanın deneysel aşamaları, Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Kutay Özaydın Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda hazırlanmıştır. Bu çalışma süresince değerli bilgi ve deneyimleriyle çalışmamın her aşamasına katkıda bulunan kıymetli tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Mehmet Şükrü ÖZÇOBAN' a içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Deney düzeneğinin hazırlanmasında, tez çalışmam ve deney süresince deneyimlerinden yararlandığım ve karşılaştığım problemlerin çözümünde yardımlarını hiçbir zaman eksik etmeyen Sayın Prof. Dr. Suat AKBULUT' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans süresince beni desteklerini benden esirgemeyen lisans arkadaşlarım, İnşaat Mühendisi Burak IŞILDAR, İnşaat Yüksek Mühendisi Fakih Bedirhan AKIN'a, yüksek lisans arkadaşlarım, İnşaat Yüksek Mühendisleri Bahar YAMAN ve Yusuf KAYA'ya, bana gösterdikleri sabır, anlayış ve güven için babam Burhan ŞİŞMAN, annem Semiha ŞİŞMAN, anneannem Nilüfer KURTULUŞ ve dedem Reşat KURTULUŞ'a ve aldığım eğitimin mimarı olan bütün öğretmenlerime teşekkürü borç bilirim.

İnşaat Mühendisi

Ali Emir ŞİŞMAN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ viii
KISALTMA LİSTESİ ix
ŞEKİL LİSTESİ x
TABLO LİSTESİ xxiv
ÖZET xxv
ABSTRACT xxvii
1 GİRİŞ 1
1.1 Literatür Özeti 2
1.2 Tezin Amacı 5
1.3 Hipotez 5
2 ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ 6
2.1 Giriş 6
2.2 Zemin İyileştirmesi 7
2.3 Zemin İyileştirmesi ile İlgili Yöntemler 8
2.3.1 Kompaksiyon Teorisi 9
2.3.2 Sıkıştırılmış Kohezyonsuz Zeminlerin Özellikleri ve Rölatif Sıkılık 9
2.3.2 Vibroflotasyon 15
2.3.3 Vibrokompaksiyon 16
2.3.4 Patlatma ile Stabilizasyon 17
2.3.5 Sıkıştırma Kazıkları 19
2.3.6 Taş Kolonlar 21
2.3.7 Ön Konsolidasyon ve Düşey Drenler 21
2.3.2 Kireç Stabilizasyonu 22
2.3.3 Uçucu Kül ile Stabilizasyon 23
2.3.4 Fırın Cürufu ile Stabilizasyon 24
2.3.5 Elektro-Kinetik Stabilizasyon 25

2.3.6 Geosentetiklerle Stabilizasyon 25
2.4 Enjeksiyon 26
2.4.1 Enjeksiyonun Tarihçesi 26
2.4.2 Enjeksiyonun Kullanım Alanları 27
2.4.3 Enjeksiyon Çeşitleri 27
2.4.4 Zeminlerin Enjekte Edilebilirliğinin İncelenmesi 28
2.4.4 Permeasyon (Sızdırma-Emdirme) Enjeksiyonu 30
2.4.5 Kontak (Dolgu) Enjeksiyonu 31
2.4.6 Kaya Enjeksiyonu 32
2.4.7 Çatlatma (İntrüzyon) Enjeksiyonu 32
2.4.8 Kompaksiyon (Sıkıştırma) Enjeksiyonu 32
2.4.9 Konsolidasyon Enjeksiyonu 33
2.4.10 Perde Enjeksiyonu 33
2.4.11 Jet Enjeksiyonu 34
3 MATERYAL VE YÖNTEM 36
3.1 Enjeksiyon Uygulanan Zemin 36
3.1.1 Jips 41
3.1.2 Kum ve Çakıl 43
3.2 Enjeksiyonda Kullanılan Çimentolar 47
3.2.1 MasterRoc MP650 Mikro Çimento Özellikleri 47
3.2.2 Mikro Çimento Uygulama Alanları 47
3.2.3 Mikro Çimentonun Özellikleri 47
3.2.4 Mikro Çimentonun Avantajları 48
3.2.5 Kullanılan Mikro Çimentonun Performans Özellikleri 48
3.2.6 Kullanılan Katkılar 49
3.2.2 Nuh Çimento CEM-I 42.5 R Portland Çimentosu 50

4 DENEYSEL ÇALIŞMA VE SONUÇLARI 51

4.1 Deney Düzeneği 51

4.2 Enjeksiyon Deneylerinde Kullanılan Deney Düzeneği ve Deney Elemanları 52

4.3 Deney Numunelerinin Oluşturulması ve Numunelere Yapılan Dayanım ve Permeabilite Testleri 54

4.3.1 Deney Numuneleri ile İlgili Bilgiler 54

4.3.2 Ön Deneylerin Yapılması 57

4.3.3 Deney Numuneleri Başlıklanması İşlemi 58

4.3.4 Permeabilite Deneyleri 59

5 SONUÇ VE ÖNERİLER 72

KAYNAKÇA 75

A KULLANILAN JİPS NUMUNESİNİN ANALİZ RAPORU 79

B NUMUNELERİN NUMARA VE İÇERİK TABLOLARI 81

C SERBEST BASINÇ DENEYİNE TABİ TUTULAN NUMUNELERİN GERİLME-BİRİM DEFORMASYON GRAFİKLERİ 88

D JİPS VE JİPS-KUM NUMUNELERİNE AİT KÜTLE DEĞİŞİMİ VE DAYANIM KARŞILAŞTIRMA GRAFİKLERİ 157

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 172

SİMGE LİSTESİ

N_H	Basınç Gerilmesi
e	Deplasman
$\triangle h$	Deneyde Kullanılan Sabit Su Yükü
$\emptyset'$	Efektif Kayme Mukavemeti Açısı (Efektif İçsel Sürtünme Açısı)
Q	Geçen Su Miktarı
t	Geçen Süre
k	Geçirimlilik Katsayısı
S_N	Geri Dolgu Malzemesi Uygunluk Kriteri
D	Islah Derinliği
τ_f	Kayma Mukavemeti
σ'	Kayma Yüzeyine Etki Eden Efektif Normal Gerilme
e_{max}	Maksimum Boşluk Oranı
e_{min}	Minimum Boşluk Oranı
L	Numune Boyu
D_r	Rölatif Sıkılık
H	Tokmak Düşü Yüksekliği

KISALTMA LİSTESİ

AASHTO	Amerikan Karayolları Birliği
ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
CU	Konsolidasyonlu - Drenajsız Deney
EN	Avrupa Normları
FHWA	Federal Karayolu İdaresi
J	Jips
J-K	Jips-Kum
J-K-Ç	Jips-Kum-Çakıl
MÇ	Mikro Çimento
PÇ	Portland Çimentosu
RPM	Dakikadaki Devire Sayısı
s/ç	Su/Çimento Oranı
TS	Türk Standartları
UU	Kondolidasyonsuz - Drenajsız Deney

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Standart ve modifiye proktor çekici ve proktor kabı 12
Şekil 2.2 Kompaksiyon deneyinde elde edilen kuru yoğunluk su içeriği ilişkisi (Johnson ve Salberg, 1960) 12
Şekil 2.3 Standart proktor deneyi ve modifiye proktor deneyi kuru birim hacim ağırlık-su muhtevası ilişkisi grafiği 13
Şekil 2.4 Dinamik kompaksiyon uygulanması (FHWA, 2017) 13
Şekil 2.5 Vibroflotasyon aşamaları (Brown, 1977) 16
Şekil 2.6 Vibrokompaksiyon aşamaları (OMS, 2021) 17
Şekil 2.7 Patlatma ile stabilize edilen zemin ve etkileri 18
Şekil 2.8 Patlatma ile stabilize edilmiş zemin 19
Şekil 2.9 GeoConcrete Colomn® ve iyileştirme mekanizması 20
Şekil 2.10 Ön yükleme sonrası oturma davranışı gösteren zemin (Bilal M. ve Talib A., 2016) 22
Şekil 2.11 Kireç ile zemin stabilizasyonu, kireç serim işlemi 23
Şekil 2.12 Uçucu kül elde edilen termik santral bacası 24
Şekil 2.13 Öğütülmemiş yüksek fırın curufu 24
Şekil 2.14 Geosentetik çeşitleri : (a)Geotekstil, (b)Geomembran, (c)Geogrid, (d) Geomat 25
Şekil 2.15 Permeasyon (Sızdırma-Emdirme) enjeksiyonu (Tunçdemir, 2004) 31
Şekil 2.16 Kontak (Dolgu) enjeksiyonu (Wang, 2020) 31
Şekil 2.17 Kaya enjeksiyonu (Mutman, 2007) 32
Şekil 2.18 Kompaksiyon enjeksiyonu (Essler, 2000) 33
Şekil 2.19 Jet enjeksiyon sistemleri: (a) tek akışkanlı sistem, (b) iki akışkanlı sistem (c) üç akışkanlı sistem (Shibazaki, 2013) 35
Şekil 2.20 Üç farklı sistemde kullanılan jet borularının şematik görünümü: (a) tek akışkanlı sistem, (b) iki akışkanlı sistem, (c) üç akışkanlı sistem (Croce vd,2014) 35
Şekil 3.1 Ülkemizde bulunan Jips ve Kireç Taşı madenlerinin bulunduğu konumlar (Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü) 36
Şekil 3.2 Kullanılan jips numunelerinin kırılmadan önceki hali 42
Şekil 3.3 Kullanılan jips numunelerine ait granülometri eğrisi 43
Şekil 3.4 Piknometre deneyi 43
Şekil 3.5 Kullanılan kum numunesine ait granülometri eğrisi 45
Şekil 3.6 Kullanılan çakıl numunelerine ait granülometri eğrisi 46
Şekil 3.7 Kullanılan MasterRheobuild 2000PF katkısı 49
Şekil 4.1 Deney düzeneği şeması 52
Şekil 4.2 Enjeksiyonda kullanılan tij 53
Şekil 4.3 Enjeksiyonda kullanılan karıştırıcı motoru ve karıştırıcı motoru kontrol paneli 53
Şekil 4.4 Grout harcının çökelmemesi veya ayrışmaması için kullanılan karıştırıcı 54
Şekil 4.5 Serbest basınç deneylerinde kullanılmak üzere üretilen Jips-Kum-Çakıl, Jips-Kum ve Jips içeren numunelerin özellikleri 56
Şekil 4.6 Farklı s/ç ve rölatif sıkılıkta üretilen Jips ve Jips-Kum numunelerinin fırınlanma durumları 56
Şekil 4.7 a) Kalıplara yerleştirilmek üzere hazırlanan Kum-Çakıl numunesi b) enjeksiyon yapılan Kum-Çakıl numunesi 57

Şekil 4.8 Yetersiz enjeksiyon basıncı sonrası başarısız olarak sonuçlanan numune..... 58
Şekil 4.9 TS EN 12390-3 Ek-A-3'e uygun şekilde başlıklama işlemi yapılan numune 59
Şekil 4.10 Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Geotekniği Laboratuvarında kurulan sabit seviyeli permeabilite deneyi düzeneği 60
Şekil 4.11 Enjeksiyon yapılmadan önce Dr=% 30 olarak sıkıştırılmış Jips-Kum-Çakıl numunesine ait permeabilite-zaman grafiği..... 61
Şekil 4.12 s/ç=1 olan Portland ve Mikro Çimento ile enjeksiyon yapılan Dr=% 30 olarak sıkıştırılmış Jips-Kum-Çakıl 28 günlük dayanımına ulaşmış numunelere ait permeabilite-zaman grafiği 61
Şekil 4.13 Jips-Kum- Çakıl karışımı numunelerin enjeksiyon sonrası yüzdesel olarak Grout Harcı/Toplam Kütle oranı grafiği 62
Şekil 4.14 Jips numunelerin enjeksiyon sonrası yüzdesel olarak Grout Harcı/Toplam Kütle oranı grafiği..... 62
Şekil 4.15 Jips-Kum karışımı numunelerin enjeksiyon sonrası yüzdesel olarak Grout Harcı/Toplam Kütle oranı grafiği 63
Şekil 4.16 Yapı Malzemesi Laboratuvarı basınç deneyi düzeneği..... 63
Şekil 4.17 Hidrolik numune çıkarıcı kriko 64
Şekil 4.18 a) Ön Deneylerde elden edilen priz almış başarısız enjeksiyon örneği b) Hidrolik numune çıkarıcıdan çıkarılan başarısız numune örneği 64
Şekil 4.19 Enjeksiyon sonrası kalıptan çıkartılması için ilk prizini alması beklenen numuneler 65
Şekil 4.20 50 ve 80 °C'de fırınlanan Jips ve Jips-Kum enjeksiyonu numuneleri 65
Şekil 4.21 Basınç dayanım testine tabi tutulan bir Jips-Kum Çakıl numunesi..... 66
Şekil 4.22 Basınç dayanım testine tabi tutulan bir Jips numunesi..... 66
Şekil 4.23 Basınç dayanım testine tabi tutulan bir Jips-Kum numunesinin kırılma yüzeyinin görüntüsü..... 67
Şekil 4.24 Basınç dayanım testine tabi tutulan bir Jips numunesinin kırılma yüzeyinin görüntüsü 67
Şekil 4.25 Rölatif sıkılıkları % 30 ve % 70 olan Jips-Kum-Çakıl numunesine s/ç=1 olan Portland Çimentosu enjeksiyonu sonucu 7 ve 28 günlük ortalama dayanım grafiği..... 68
Şekil 4.26 Rölatif sıkılıkları % 30 ve % 70 olan Jips-Kum-Çakıl numunesine s/ç=1,5 olan Portland Çimentosu enjeksiyonu sonucu 7 ve 28 günlük ortalama dayanım grafiği 68
Şekil 4.27 Rölatif sıkılıkları % 30 ve % 70 olan Jips-Kum-Çakıl numunesine s/ç=1 olan MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı enjeksiyonu sonucu 7 ve 28 günlük ortalama dayanım grafiği 69
Şekil 4.28 Rölatif sıkılıkları % 30 ve % 70 olan Jips-Kum-Çakıl numunesine s/ç=1,5 olan MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı enjeksiyonu sonucu 7 ve 28 günlük ortalama dayanım grafiği..... 69
Şekil 4.29 Rölatif sıkılıkları % 30 ve s/ç=1olan Jips-Kum-Çakıl numunelerine MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ve Portland Çimentosu enjeksiyonu sonucu 7 ve 28 günlük ortalama dayanım grafiği..... 70
Şekil 4.30 Rölatif sıkılıkları % 30 ve s/ç=1,5 olan Jips-Kum-Çakıl numunelerine MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ve Portland Çimentosu enjeksiyonu sonucu 7 ve 28 günlük ortalama dayanım grafiği..... 70
Şekil 4.31 Rölatif sıkılıkları % 70 ve s/ç=1olan Jips-Kum-Çakıl numunelerine MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ve Portland Çimentosu enjeksiyonu sonucu 7 ve 28 günlük ortalama dayanım grafiği..... 71

Şekil 4.32 Rölatif sıkılıkları % 70 ve s/ç=1,5 olan Jips-Kum-Çakıl numunelerine MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ve Portland Çimentosu enjeksiyonu sonucu 7 ve 28 günlük ortalama dayanım grafiği..... 71
Şekil A.1 Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Laboratuvarında Jips Numunesine Yaptırılan Standart Kalitatif Mineral Analizi Sonucu (Sayfa 1/2) 79
Şekil A.1 Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Laboratuvarında Jips Numunesine Yaptırılan Standart Kalitatif Mineral Analizi Sonucu (Sayfa 2/2) 80
Şekil C.1 s/ç= 1 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği..... 88
Şekil C.2 s/ç= 1 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği..... 89
Şekil C.3 s/ç= 1 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği..... 89
Şekil C.4 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği..... 90
Şekil C.5 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği..... 90
Şekil C.6 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği..... 91
Şekil C.7 s/ç= 1 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği..... 91
Şekil C.8 s/ç= 1 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği..... 92
Şekil C.9 s/ç= 1 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği..... 92
Şekil C.10 s/ç= 1 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği..... 93
Şekil C.11 s/ç= 1 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği..... 93
Şekil C.12 s/ç= 1 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği..... 94
Şekil C.13 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği..... 94

Şekil C.14 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği 95
Şekil C.15 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği 95
Şekil C.16 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği 96
Şekil C.17 s/ç=1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği 96
Şekil C.18 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği 97
Şekil C.19 s/ç= 1.5 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği 97
Şekil C.20 s/ç= 1.5 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği 98
Şekil C.21 s/ç= 1.5 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği 98
Şekil C.22 s/ç= 1.5 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği 99
Şekil C.23 s/ç= 1.5 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği 99
Şekil C.24 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği 100
Şekil C.25 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği 100
Şekil C.26 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği 101
Şekil C.27 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif

sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği 101
Şekil C.28 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği 102
Şekil C.29 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği 102
Şekil C.30 s/ç= 1.5 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği 103
Şekil C.31 s/ç= 1.5 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği 103
Şekil C.32 s/ç= 1.5 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği 104
Şekil C.33 s/ç= 1.5 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği 104
Şekil C.34 s/ç= 1.5 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği 105
Şekil C.35 s/ç= 1.5 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği 105
Şekil C.36 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği 106
Şekil C.37 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği 106
Şekil C.38 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği 107
Şekil C.39 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği 107
Şekil C.40 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği 108
Şekil C.41 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif

sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği 108
Şekil C.42 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu ile hazırlanan grout karışımı katkısıyla hazırlanmış ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 109
Şekil C.43 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 109
Şekil C.44 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 110
Şekil C.45 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 110
Şekil C.46 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 111
Şekil C.47 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 111
Şekil C.48 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 112
Şekil C.49 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 112
Şekil C.50 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 113
Şekil C.51 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 113
Şekil C.52 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 114
Şekil C.53 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 114
Şekil C.54 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 115
Şekil C.55 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 115
Şekil C.56 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 116

Şekil C.57 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 116
Şekil C.58 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 117
Şekil C.59 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 117
Şekil C.60 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 118
Şekil C.61 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 118
Şekil C.62 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 119
Şekil C.63 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 119
Şekil C.64 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 120
Şekil C.65 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 120
Şekil C.66 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 121
Şekil C.67 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 121
Şekil C.68 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 122
Şekil C.69 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 122
Şekil C.70 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 123
Şekil C.71 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin

80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 123
Şekil C.72 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 124
Şekil C.73 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 124
Şekil C.74 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 125
Şekil C.75 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 125
Şekil C.76 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 126
Şekil C.77 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 126
Şekil C.78 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 127
Şekil C.79 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 127
Şekil C.80 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 128
Şekil C.81 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 128
Şekil C.82 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 129
Şekil C.83 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 129

Şekil C.84 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 130
Şekil C.85 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 130
Şekil C.86 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 131
Şekil C.87 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 131
Şekil C.88 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 132
Şekil C.89 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 132
Şekil C.90 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 133
Şekil C.91 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 133
Şekil C.92 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 134
Şekil C.93 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 134
Şekil C.94 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 135
Şekil C.95 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 2 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 135
Şekil C.96 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 136

Şekil C.97 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 136
Şekil C.98 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 137
Şekil C.99 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 137
Şekil C.100 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 138
Şekil C.101 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 138
Şekil C.102 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 139
Şekil C.103 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 139
Şekil C.104 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 140
Şekil C.105 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 140
Şekil C.106 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 141
Şekil C.107 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 141
Şekil C.108 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 142
Şekil C.109 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 142
Şekil C.110 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 1 kere

fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 143
Şekil C.111 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 143
Şekil C.112 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 144
Şekil C.113 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 144
Şekil C.114 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 145
Şekil C.115 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 145
Şekil C.116 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 146
Şekil C.117 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 146
Şekil C.118 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 147
Şekil C.119 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 147
Şekil C.120 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 148
Şekil C.121 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 148
Şekil C.122 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 149

Şekil C.123 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 149
Şekil C.124 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 150
Şekil C.125 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 150
Şekil C.126 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 151
Şekil C.127 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 151
Şekil C.128 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 152
Şekil C.129 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 152
Şekil C.130 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 153
Şekil C.131 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 153
Şekil C.132 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 154
Şekil C.133 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 154
Şekil C.134 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 155
Şekil C.135 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum

numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 155
Şekil C.136 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 156
Şekil C.137 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği 156
Şekil D.1 Karışımı katkısı sonrası 7 günlük dayanımını alan farklı rölatif sıkılıkta, farklı çimentolar ve farklı s/ç oranı ile hazırlanmış Jips numunelerin 50°C'de 1 kere fırınlanması sonrası kütle kaybı grafiği 157
Şekil D.2 Karışımı katkısı sonrası 7 günlük dayanımını alan farklı rölatif sıkılıkta, farklı çimentolar ve farklı s/ç oranı ile hazırlanmış Jips numunelerin 80°C'de 1 kere fırınlanması sonrası kütle kaybı grafiğ 158
Şekil D.3 Karışımı katkısı yapılmış Jips numunelerine 50 °C'de yapılan 3 fırınlama sonrası toplam kütle değişimi grafiği 159
Şekil D.4 Karışımı katkısı yapılmış Jips numunelerine 80 °C'de yapılan 3 fırınlama sonrası toplam kütle değişimi grafiği 160
Şekil D.5 % 30 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips numunelerine s/ç=1 olan Portland Çimento karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği 161
Şekil D.6 % 30 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips numunelerine s/ç=1,5 olan Portland Çimento karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği 161
Şekil D.7 % 70 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips numunelerine s/ç=1 olan Portland Çimento karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği 162
Şekil D.8 % 70 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips numunelerine s/ç=1,5 olan Portland Çimento karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği 162
Şekil D.9 % 30 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips numunelerine s/ç=1 olan MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği 163
Şekil D.10 % 30 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips numunelerine s/ç=1,5 olan MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği 163
Şekil D.11 % 70 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips numunelerine s/ç=1 olan MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği 164
Şekil D.12 % 30 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips numunelerine s/ç=1,5 olan MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği 164
Şekil D.13 Karışımı katkısı sonrası 7 günlük dayanımını alan farklı rölatif sıkılıkta, farklı çimentolar ve farklı s/ç oranı ile hazırlanmış Jips-Kum numunelerin 50°C'de 1 kere fırınlanması sonrası kütle kaybı grafiği 165
Şekil D.14 Karışımı katkısı sonrası 7 günlük dayanımını alan farklı rölatif sıkılıkta, farklı çimentolar ve farklı s/ç oranı ile hazırlanmış Jips-Kum numunelerin 80°C'de 1 kere fırınlanması sonrası kütle kaybı grafiği 165

Şekil D.15 Karışımı katkısı yapılmış Jips-Kum numunelerine 50 °C'de yapılan 3 fırınlama sonrası toplam kütle değişimi grafiği 166
Şekil D.16 Karışımı katkısı yapılmış Jips-Kum numunelerine 80 °C'de yapılan 3 fırınlama sonrası toplam kütle değişimi grafiği 167
Şekil D.17 % 30 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips-Kum numunelerine s/ç=1 olan Portland Çimento karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği 168
Şekil D.18 % 30 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips-Kum numunelerine s/ç=1,5 olan Portland Çimento karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği 168
Şekil D.19 % 70 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips-Kum numunelerine s/ç=1 olan Portland Çimento karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği 169
Şekil D.20 % 70 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips-Kum numunelerine s/ç=1,5 olan Portland Çimento karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği 169
Şekil D.21 % 30 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips-Kum numunelerine s/ç=1 olan MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği 170
Şekil D.22 % 30 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips-Kum numunelerine s/ç=1,5 olan MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği 170
Şekil D.23 % 70 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips-Kum numunelerine s/ç=1 olan MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği 171
Şekil D.24 % 70 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips-Kum numunelerine s/ç=1,5 olan MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği 171

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Rölatif sıkılığa bağlı zemin durumu tanımlaması tablosu (Seed ve Idriss, 1971) 11
Tablo 2.2 Standart proktor deneyi ve modifiye proktor deneyi karşılaştırması (TS 1900) 11
Tablo 2.3 Dinamik kompaksiyon derinlik ıslahı formülünde bulunan, zeminin cinsine göre değişen ampirik n katsayısı değeri (FHWA,2017) 14
Tablo 2.4 Zemin özellikleri ve durumlarına göre kullanılabilecek enjeksiyonlar (Hontoria ve Sanchez, 2006)..... 29
Tablo 2.5 Geçirimlilik katsayısı ve enjekte edilebilirlik arasındaki ilişki (Karol,2003)..... 30
Tablo 3.1 Enjeksiyon yapılan Jips-Kum-Çakıl numunelerinin özelliklerine göre dağılımı 38
Tablo 3.2 Katkı karışımıyla iyileştirilen Jips-Kum numunelerinin özelliklerine göre dağılımı 39
Tablo 3.3 Katkı karışımıyla iyileştirilen Jips numunelerinin özelliklerine göre dağılımı 40
Tablo 3.4 Kum numunesi piknometre deney sonuçları 44
Tablo 3.5 Kum numunesinin tabii su muhtevası sonuçları 44
Tablo 3.6 Çakıl numunesi piknometre deney sonuçları..... 45
Tablo 3.7 Çakıl numunesinin tabii su muhtevası sonuçları 46
Tablo 3.8 Emaco MasterRoc MP650 Mikro Çimentonun fiziksel özellikleri 48
Tablo 3.9 Nuh Çimento CEM-I 42.5 R Portland Çimentosu kimyasal bileşenleri..... 50
Tablo 3.10 Nuh Çimento CEM-I 42.5 R Portland Çimentosu fizikomekanik özellikleri 50
Tablo 4.1 Deneylerde kullanılan kalıpların boyutları 55
Tablo B.1 Jips-Kum-Çakıl numunelerine yapılan enjeksiyonda kullanılan grout harcı, malzeme özellikleri ve kırım durumuna göre numuneler..... 81
Tablo B.1 Jips-Kum-Çakıl numunelerine yapılan enjeksiyonda kullanılan grout harcı, malzeme özellikleri ve kırım durumuna göre numuneler (devamı) 83
Tablo B.2 Jips numunelerine yapılan enjeksiyonda kullanılan grout harcı, malzeme özellikleri ve fırınlama durumuna göre numuneler 83
Tablo B.2 Jips numunelerine yapılan enjeksiyonda kullanılan grout harcı, malzeme özellikleri ve fırınlama durumuna göre numuneler (devamı)..... 84
Tablo B.2 Jips numunelerine yapılan enjeksiyonda kullanılan grout harcı, malzeme özellikleri ve fırınlama durumuna göre numuneler (devamı)..... 85
Tablo B.3 Jips-Kum numunelerine yapılan enjeksiyonda kullanılan grout harcı, malzeme özellikleri ve fırınlama durumuna göre numuneler..... 85
Tablo B.3 Jips-Kum numunelerine yapılan enjeksiyonda kullanılan grout harcı, malzeme özellikleri ve fırınlama durumuna göre numuneler(devamı) 86
Tablo B.3 Jips-Kum numunelerine yapılan enjeksiyonda kullanılan grout harcı, malzeme özellikleri ve fırınlama durumuna göre numuneler (devamı) 87

ÖZET

Sıkıştırılmış Dolgularda Enjeksiyon Yöntemi İle Zemin İyileştirmesi

Ali Emir ŞİŞMAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Mehmet Şükrü ÖZÇOBAN

Ülkemiz bulunduğu coğrafi konum gereği bünyesinde farklı oluşumlu kayaçları ve madenleri barındırmaktadır. Bu oluşumlardan bir tanesi olan jips minerali ülkemiz sınırlarında yaygın olarak bulunmakla beraber Sakarya, Bolu, Kırşehir, Nevşehir, Kayseri, Sivas ve Erzurum illeri çevresinde yoğunlaşmıştır. Bu araştırma kapsamında ülkemizde bu kadar fazla miktarda yoğun olarak bulunan jips mineralinin dolgu malzemesi olmaya uygunluğu deneysel olarak irdelenmiştir.

Bu amaç doğrultusunda jips malzemesini tek olarak kullanmanın yanı sıra, kum ile karıştırılarak, kum ve çakıl ile karıştırılarak numuneler hazırlanmıştır. Jips-Kum-Çakıl içeren numunelere sabit basınç altında (1,5 bar) enjeksiyon yapılması sonucunda elde edilen serbest basınç dayanımlarının ve permeabilitelerinin değişimleri ve aralarındaki ilişki incelenirken; Jips ve Jips-Kum içeren numuneler su-çimento karışımı eklenerek, karışım katkılı numuneler oluşturulmuş ve uygun olarak sıkıştırılarak incelenmiştir.

Yapılan deneylerde 2 farklı rölatif sıkılıkta (Dr=% 30 ve Dr=% 70) sıkıştırılan numunelere, 2 farklı çimentonun (CEM-I 42.5 R Normal Portland Çimentosu ve

MasterRoc MP650 Mikro Çimento) , 2 farklı su/çimento oranında (s/ç= 1 ve s/ç=1,5) hazırlanan grout harcının enjekte edilme ile serbest basınç dayanımlarındaki değişimi irdelenmiştir. Bunun yanı sıra Jips-Kum-Çakıl karışımlarından oluşan numunelere permeabilite deneyi de yapılmıştır. Jips-Kum-Çakıl malzemelerinden oluşan numunelerin kür işlemleri oda sıcaklığında yapılmış olup 7 ve 28 günlük dayanımları karşılaştırılmıştır; Jips ve Jips-Kum numuneleri ise 1 haftalık priz sonrası 2/6'sı oda sıcaklığında, 1/6'sı 50 °C'de 1 kere, 1/6'sı 50°C'de tekrarlı olarak 3 kere, 1/6'sı 80°C'de 1 kere ve 1/6'sı 80°C'de tekrarlı olarak 3 kere fırınlanarak sıcaklık altındaki davranışı ve nem kaybı-emilim değişimi incelenmiştir ve 28 gün sonunda serbest basınç deneyinde dayanımları belirlenmiştir.

Deneyler neticesinde, kullanılan MasterRoc MP650 Mikro Çimento ile yapılan enjeksiyonların CEM-I 42.5 R Normal Portland Çimentosuna göre daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Fırınlanan (Etüv uygulaması yapılan) Jips ve Jips-Kum numunelerinde 50 ve 80 °C'de tekrarlı olarak 3 kere fırınlanan numunenin aynı sıcaklıkta 1 kere fırınlanan numunelere göre daha düşük dayanıma sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Permeabilite deneylerinde ise Portland Çimentosu ve Mikro Çimento ile yapılan enjeksiyonlarda, enjeksiyon yapılmayan numunelere göre sırasıyla 27 kat ve 363 kat daha az su geçirimliliğine sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Zemin mekaniği, Zemin iyileştirme, Enjeksiyon, Jips, Grout

ABSTRACT

Ground Improvement in Compacted Fillings by Injection Method

Ali Emir ŞİŞMAN

Department of Civil Engineering

Master of Science Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet Şükrü ÖZÇOBAN

Due to the geographical location of Turkey, it contains rocks and mines of different formations. Gypsum mineral, which is one of these formations, is common in the borders of Turkey, but it is concentrated around the provinces of Sakarya, Bolu, Kırşehir, Nevşehir, Kayseri, Sivas and Erzurum. In this research, the suitability of gypsum mineral, which is so abundantly found in Turkey, as a filling material was examined experimentally.

For this purpose, using just the gypsum material in addition, samples were prepared by mixing it with sand and mixing it with sand and gravel. While examining the changes in the unconfined compressive strengths and permeability of the samples containing Gypsum-Sand-Gravel and the relationship between them, obtained as a result of injection under constant pressure (1.5 bar); Samples containing gypsum and gypsum-sand were added to the water-cement mixture, samples with mixture additives were formed and appropriately compacted and examined.

In the experiments performed, 2 different cement (CEM-I 42.5 R Normal Portland Cement and MasterRoc MP650 Micro Cement), 2 different water/cement ratios (w/c = 1 and w/c = 1.5), the change in the unconfined compressive strength by injecting the prepared grout mortar was examined. The curing process of the samples consisting of

gypsum-sand-gravel materials was carried out at room temperature and their 7 and 28 days strengths were compared. For the behaviour of Gypsum and Gypsum-Sand samples under temperature and moisture loss-absorption changes were investigated after 1 week of setting, 2/6 at room temperature, 1/6 at 50 ° C, 1 time, 1/6 at 50 ° C repeatedly 3 times, 1/6 1 time at 80 ° C and 1/6 repeatedly at 80 ° C for 3 times by oven-dried and their results unconfined compressive strength were compared at the end of 28 days. Furthermore, two permeability tests were carried out on samples consisting of Gypsum-Sand-Gravel mixture samples, and the results were compared.

As a result of the experiments, it was determined that the injections made with MasterRoc MP650 Micro Cement used were much more effective than CEM-I 42.5 R Normal Portland Cement. It has been concluded that the samples oven-dried at 50 and 80 ° C repeatedly at 50 and 80 ° C have lower strength than the samples oven-dried once at the same temperature. In the permeability tests, it was concluded that the injections made with Portland Cement and Micro Cement had 27 times and 363 times less water permeability, respectively, compared to the non-injection samples.

Keywords: Soil mechanics, Soil improvement, Injection, Gypsum, Grout

1
GİRİŞ

Dünyanın birçok yerinde, insanlar çeşitli amaçlara hizmet edecek mühendislik yapıları yapmaya devam etmektedir. Bunların bir kısmı mesken olarak kullanılırken, bir kısmı barajlar ve bir kısmı ulaşım yapıları olarak kullanılmaktadır. Bütün bu yapılar yapılırken inşa sahasında zaman zaman kazı ve dolgu çalışmalarına ihtiyaç olunmaktadır. Bu dolgularda ise genellikle mevcut arazide kazı sırasında elde edilen malzemeler kullanılmaktadır. Ancak bu kullanım bazı mühendislik problemlerinden dolayı her zaman mümkün olamamaktadır. Yapılacak olan dolgular da amaca uygun olarak yapılmalıdır. Örneğin bir istinat yapısı arkası geri dolgu inşaatı için geçirimliliği yüksek zemin malzemesi olması gerektiğinden granüler malzeme ile doldulurken, bir toprak baraj yapısının amacına uygun şekilde hizmet etmesi için, baraj gövdesi kil çekirdek olarak yapılmakta ve membada bulunan suyun mansap tarafına geçmemesi amaçlanmaktadır.

Jips mineralinin dolgu malzemesi olarak kullanılmasının imkânının olup olmadığı bu araştırmanın konusudur. Ayrıca jips minerali su ile etkileşime girip farklı davranışlar gösteren bir malzeme olarak bilinmektedir. Literatürde ve saha çalışmalarında suyun jips mineraline kabarma ve çözünme etkisi bulunmaktadır. Bu yüzden mühendislik uygulamalarında karşılaşılması veya kullanılması durumunda değerlendirmelerin yeterli bir şekilde yapılması, yapı güvenliği için önem arz etmektedir.

Bunun yanı sıra jips gibi minerallerin süreksizlik içeren ve çatlaklı bir yapıda olduğu bilinmekte, aynı zamanda dolgu malzemesi olarak kullanıldığında, kullanıldığı ortamdaki stabilitesi akıllarda soru işareti bırakmaktadır. Bu durumda olan bir yapıda bağlayıcı özelliği olan bir malzeme ile stabiliteyi sağlamak en akılcı çözümdür. Hem ekonomik ve hem de hızlı bir yöntem olan enjeksiyon yöntemiyle benzer sorunlar aşılmaktadır. Bu yöntem sadece stabiliteyi sağlamakla kalmayacak olup aynı zamanda dayanımı arttırıp geçirimliği azaltacaktır. Dünyada 200 yılı aşkın süredir enjeksiyon yöntemleri kullanılarak bu sorunlara çözüm aranmaktadır ve enjeksiyon hala araştırmacılar tarafından irdelenmeye devam etmekte olan popüler bir konudur.

1.1 Literatür Özeti

Aitcin vd. 1984'te yaptıkları çalışmalarda çimento harçlarına katkı olarak ağırlıkça farklı oranlardaki (% 5, % 10, % 15 ve % 20) silis dumanı ile harçlar oluşturmuş ve bu harçların zamana bağlı olarak basınç dayanımı, tiksotropi, sulanma ve akışkanlık değişimlerini incelemişlerdir. 4/10 oranında su/çimento oranı ile başlanılan deneylerde silis dumanı oranı arttırıldıkça su/çimento oranı da yükseltilmiştir. Basınç dayanımının ve akışkanlığın silis dumanı oranıyla doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir. En yüksek basınç dayanımı değerini ağırlıkça %20 silis dumanı katkısı ilave edilmiş numunelerden elde edilmiştir.

Mitchell ve Wentz 1991'de bir sağlık yapısı inşaatında yüzeyden 2,4 -10,7 metre altında gevşek-orta sıkı kum tabakasına yaptıkları Standart Penetrasyon Deneylerinde elde ettikleri değerler 15-26 arasındayken, 500 Blaine değerli mikro çimento ve hacimce ‰ 1'den az fosforik asit ilave edilen harç ile deldikleri kuyulara yaptıkları 120 cm. aralıklı ve 90 cm boyundaki enjeksiyonlar sonrasında Standart Penetrasyon değerlerinin 21-36 aralığına yükseldiği gözlemlenmiştir.

Mori 1992'de iki farklı enjeksiyon düzeneği hazırladığı laboratuvar şartlarında renklendirilmiş harçlar kullanarak harcın priz almasından sonra oluşan geometrik şekli ve enjekte edilebilirliği irdelemiştir. Çeşitli parametrelerin enjeksiyona etkisini incelemiştir. Çevre basıncının etkisini irdelediği deneylerinde ise enjekte edilebilirliğin çevre basıncı ile ters enjeksiyon basıncı ile doğru orantılı olduğunu belirlemiştir.

Schwarz ve Krizek 1992'de harç hazırlarken kullanılan karıştırıcıların hızlarının enjeksiyon sonrası dayanıma etkisini irdelemişlerdir. Deneyde normal portland çimentosunun yanı sıra ince daneli Blaine değeri 100, 300 ve 500 olan çimentolardan farklı karıştırıcılar ile harçlar hazırlamışlardır.10 dakikaya kadar karıştırıcılarda karıştırdıkları, su/çimento oranı 1,0-2,0-3,0 ve 4,0 olan harçlar kullanmışlardır. Daha uzun süre karıştırılan karışımların viskozitelerinin attığını ancak daha çabuk çöktüğünü buna rağmen sonuçta aynı çökelme yüzdelerine ulaştıklarını gözlemlemişlerdir. Priz sürelerinin ise karıştırma hızı ve süresi ile ilişkisinin bulunmadığını belirtmişlerdir.

Krizek ve Helal 1992'de çimento enjeksiyonu öncesinde ve sonrasında kum içerisindeki boşluk yapılarının değişimlerini incelemişlerdir. % 65 sıkılığı olan Ottowa Test Kumuna 0,7 bar basınç altında ince daneli çimento harcı enjekte edip 7 ve 28 günlük permeabilite,

basınç ve çekme dayanımlarını incelemişlerdir. Numunelerinin %50'sine yatay yönlü kür uygularken % 50'sine düşey yönlü kür uygulamışlardır. Düşey yönlü kür edilen numunelerin permeabiliteleri, yatay yönlü kür edilen numunelerin permeabilitelerinden düşük olduğu, su/çimento oranı arttıkça numunelerin permeabilitelerinin de arttığı belirlenmiştir.

Krizek ve arkadaşları 1992'de ince daneli çimentoya sodyum silikat katkısı kullanarak kum numunelerine enjeksiyon yapmış ve numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiklerini incelemiştir. Numunelere UU, CU ve basınç ve çekme deneyleri uygulamışlardır. % 50, % 70 ve % 95 boşluk oranlarıyla hazırladıkları numunelere su/çimento oranı 2 ve sodyum silikat oranı % 20 ve %40 arasında değişen farklı harçlar enjekte etmişlerdir. Basınç dayanımı, kür süresi ve yoğunluk artışı gösteren numunelerin rölatif sıkılığı 3 kat artarken basınç dayanımları % 10 çekme dayanımlarının ise % 20 oranında yükseldiği gözlemlenmiştir.

Perret 1997'de farklı su/çimento oranlarında ince daneli çimento ve portland çimentosu kullanarak ve çeşitli katkılarla harçlar hazırlamıştır. Portland çimentosundan hazırlanan harcın viskozitesinin ince daneli çimento ile hazırlanan harçtan daha düşük bulmuştur. İnce daneli çimento ile hazırlanan harçlarda su/çimento oranın 1,2 – 2,0 arasında olduğu durumda enjekte edilebilirliğin %100 olduğunu gözlemlemiştir. % 6 oranında silis dumanı katkısı kullandığı enjeksiyon harçlarının enjekte edilebilirliği ve sulanmayı düşürdüğünü, viskoziteyi ise yükselttiğini belirlemiştir.

Akbulut 1999'da iri daneli rölatif sıkılığı % 30 ve % 80 olan zemin numunelerine yaptığı enjeksiyon uygulamasında, çimento, çimento-uçucu kül, çimento-kil ve çimento-silis dumanı süspansiyonlarını kullanmıştır. Rölatif sıkılık basınç dayanımı, süspansiyon bileşenleri ve katkı oranlarının zamana bağlı değişimlerini incelemiştir. Silis dumanı katkısıyla yapılan enjeksiyonlarda, numunelerin basınç dayanımı % 30-% 70 oranında artarken, uçucu kül katkısı ile yapılan enjeksiyonlarda bu oran % 5-% 25 oranında ve kil katkısı ile yapılan enjeksiyonlarda % 15 oranında dayanım kayıpları gözlemlenmiştir. Geçirimlilik katsayısını önemli ölçüde azalarak 1.26 cm/sn 'den 10^{-5} ile 10^{-7} değerlerine düştüğünü belirlemiştir.

Akbulut ve Sağlamer 2002'de zeminde enjeksiyon başarısını etkileyen parametreleri irdelemiş ve enjeksiyon yapılabilirliğin belirlenmesi için tahmini bir yöntem geliştirmişlerdir. İri daneli zeminlerin enjeksiyon harcı ile harçlanabilmesinin kesin tahmini için, enjeksiyon karışımının ve zeminin ince dane oranının, granülometresinin, rölatif sıkılık, su/çimento oranının ve enjeksiyon basıncının önemli olduğunu belirlemişlerdir. İki farklı rölatif sıkılıkta (% 30 ve % 80) hazırladıkları numunelere, 6 farklı su/ çimento oranındaki(0,8, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5 ve 3,0) enjeksiyon harçlarını 0,5 bar ve 2,5 bar basınç altında enjekte etmişlerdir. Deneyler sonucunda elde ettikleri veriler doğrultusunda bir bağıntı geliştirmişlerdir ve bu bağıntıda zemine enjeksiyon yapılabilmesinin 3 parametreye bağlı olduğunu öne sürmüşlerdir.

Mutman 2005'te 2 farklı zeminin ,4 farklı rölatif sıkılığında (% 25, % 50, % 75 ve % 100) hazırladığı numunelere 1,0 , 1,5 ve 2,0 bar basınç altında 0,7 1,0 ve 1,5 su/çimento oranındaki hazırlanan enjeksiyon harçlarını enjekte etmişlerdir. Elde ettikleri numuneleri 7 ve 28 gün boyunca suda kürledikten sonra serbest basınç deneyine tabi tutmuşlardır. Deney sonucunda su/çimento oranıyla, serbest basınç deneyinden ele edilen dayanım arasında ters orantı olduğunu vurgulamışlardır. Çalışmalarının ikinci aşamasında belirledikleri 3 farklı sahada zeminin geoteknik özelliklerini belirlemek için Standart Penetrasyon Deneyi (SPT), Koni Penetrasyon Deneyi (CPT) ve sismik kırılma deneyleri yapmışlardır. Zeminlere su/ çimento oranı 1,0 olan harç, derinliğe bağlı olarak 1,0, 1,5 ve 2,0 bar basınç ile enjekte edilmiştir. Enjeksiyon sonrası 28. gün sahada kontrol için tekrar geoteknik inceleme yapıldığında Vs ve Vp hızlarında % 36 ve % 64 artışlar olmuş ve yerel zemin sınıfının enjeksiyon yapılan bölgede Vs ve Vp hızlarına bağlı olarak 1 derece artmasına sebep olmuştur.

Avcı 2009'da ince taneli çimento ile yaptığı çalışmada enjeksiyon malzemesi olarak Ultrafin12 kullanmıştır. Orta ve ince kumlarda yaptığı çalışmasında Su/çimento oranını sabit tutarken rölatif sıkılık değerlerini değiştirmiş, rölatif sıkılık değerlerini sabit tutarken ise su/çimento değerlerini değiştirerek zeminlerin dayanımlarını ve permeabilite özelliklerini incelemiştir.

Mollamahmutoğlu ve Yılmaz 2011'de yaptıkları çalışmada permeasyon enjeksiyonunda, çok sayıda enjeksiyon malzemesi kullanmış, bunlardan biri olan portland çimentosunun granülometrisinin çok geniş aralıklarda değişmesi sebebiyle orta ve ince kumlara nüfuz etmesinin zor olduğunu belirlemişlerdir. Bu yüzden orta ve ince kumlarda granülometrisi

daha dar olan ve dane çapı daha küçük olan malzemeye ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir.

1.2 Tezin Amacı

Sıkıştırılmış Jips-Kum-Çakıl karışımı zeminlerde enjeksiyon yöntemi ile zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesini amaçlamaktadır. Bu tez kapsamında mikro çimento ve portland çimentosu kullanılarak silindirik kalıplarda laboratuvar ortamında imal edilen % 30 ve % 70 rölatif sıkılık değerindeki numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının ve permeabilite değerlerinin belirlenmesi ve karşılaştırılması planlanmıştır.

Bunun yan sıra Jips ve Jips-Kum numuneleri üzerinde ise karışım katkısı ile zemin iyileştirmesi yapılması amacıyla numuneler % 30 ve % 70 rölatif sıkılıkta olacak şekilde hazırlanması ve tekil ve tekrarlı sıcaklık etkisi sonrası 28 günlük basınç mukavemetindeki değişimi gözlemeyi amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Deney sonrasında elde edilmesi beklenilen sonuçlar neticesinde doğada farklı rölatif sıkılıkta bulunan, farklı tipteki zeminlere (Jips, Jips + Kum, Jips+ Kum + Çakıl) yapılan çimento enjeksiyonları ve katkı karışımları sonucu beklenen düzeyde olmayan mühendislik parametrelerinin artarak zeminin, o alanda yapılacak olan mühendislik yapısının gerekliliklerini sağlayacak duruma gelmesi beklenmektedir. Yapılacak enjeksiyon numunelerinde ve karışım katkılı numunelerde kullanılacak MasterRoc MP650 ile Normal Portland 42,5 Çimentosu arasında ise daha yüksek blaine değerine sahip olan mikro çimentonun, parçacık boyutları ve yapısı itibariyle boşlukları daha iyi doldurarak daha düşük permeabilite değerleri ve daha yüksek basınç dayanımına sahip olması beklenmektedir. Sıcaklığa maruz kalan karışım katkılı numunelerde oluşacak dehidrasyonun çimentonun bağlayıcılığını düşürmesini, tekrarlı sıcaklık değişimlerinin ise numune yapısını iyice bozarak 28 günün sonunda daha düşük basınç dayanımları vermesi beklenmektedir.

2
ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

2.1 Giriş

Günümüzde ki mühendislik yapılarında, zeminler gerek yapının taşıyıcı tabakası olarak gerekse başlı başına bir inşaat malzemesi olarak kullanılmaktadır. Zeminler, değişik konumlarda karşımıza farklı koşullarda çıkabilmektedir. Bu durumda zeminin arazideki koşulları da önem arz etmektedir. Bu koşullar sıkılık derecesi, su muhtevası, konsolidasyon basıncı, yükleme ve drenaj koşullarıdır. Bu koşullara bağlı olarak, inşaat sahasında karşılaşılan zeminler yapılmak istenen yapı için uygun koşulları taşımayabilmektedir. İnşa sahasının veya mevcut zeminin inşa işlemine uygun yeni zeminle değiştirilmesi mümkün olmayan koşullarda arazideki mevcut durumdaki zeminin özelliklerinin iyileştirilmesi hem ekonomik hem de teknoloji olarak daha mümkün olduğu şartlarda mühendislik çözümü olarak en uygun şekillerde zeminler iyileştirilir.

Mevcut zemin koşullarının iyileştirilmesi için kullanılabilecek yöntemler iki ana grup içinde incelenebilir.

1. Toprak dolgularda kullanılacak zeminlerin malzeme özelliklerinin iyileştirilmesi ve uygun dolgu hazırlama yöntemleri. Bunlar;
    a. Kompaksiyon yöntemleri
    b. Katkı malzemeleri (çimento, bitüm, kireç, zemine uygun kimyasal maddeler) kullanılması ile zeminin özelliklerinin iyileştirilmesi
2. Doğal zemin tabakalarının koşullarının yerinde(sahada) iyileştirilmesi maksadıyla başvurulabilecek yöntemle ise ana gruplar olarak şöyle sıralanabilirler.
    a. Mekanik yöntemler- değişik sıkıştırma(Kompaksiyon) teknikleri

b. Hidrolik Yöntemler- Yeraltı suyu, kontrolü, drenaj, zemin suyunun zeminden zamana bağlı olarak çıkartılması(konsolidasyon), ön yükleme
c. Fiziko-kimyasal Yöntemler- Katkı malzemeleri, enjeksiyon yöntemleri, elektro stabilizasyon, ısıl işlemler (ısıtma-soğutma(dondurma))
d. Hafif malzemelerin kullanımı (ağırlık azaltma)
e. Donatılı zemin- Çelik veya geosentetik donatılar

Bu bahsedilen zemin iyileştirme yöntemlerinden bazıları tek bir zemin tipi için uygun olurken, bazıları daha yaygın olarak farklı zeminlere uygulanabilir. Bu durum zeminin ince dane içeriğine ve zeminin granülometrik özelliklerine göre değişim gösterir.

2.2 Zemin İyileştirmesi

İyileştirilmesi gereken mevcut zemin koşulları için uygun stabilizasyon yöntemi kullanılmaktadır.

Yapılan bir zemin iyileştirilmesi uygulaması ile zeminin mühendislik özelliklerinin hepsinin ideal durumda artması mümkün değildir. İhtiyaç duyulan iyileştirmeye yönelik yöntem kullanılmalıdır. Zeminlerde iyileşmesi beklenebilecek mühendislik özellikleri şunlardır;

- Taşıma Gücü
- Kayma Gerilmesi
- Birim Hacim Ağırlık
- Donma-Çözünme Problemleri
- Dinamik Özellikler
- Oturma
- Su durumu

Zemin iyileştirilmelerinden önce daha ekonomik çözümler bulunabilirse bu ekonomik çözümlere başvurulabilir. Bu çözümler;

- Tasarım değişikliği

- Proje alanı-yeri değişikliği
- Yapı yüküne eşdeğer yükün zeminden uzaklaştırılması
- Temel tasarımının (dizaynının) değiştirilmesi
- Zemin iyileştirilmesi

2.3 Zemin İyileştirmesi ile İlgili Yöntemler

Zeminlerin iyileştirilmesinde bilim insanları farklı zeminler için bir çok zemin iyileştirme yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntemler zemin koşullarına, zeminde iyileştirilecek zemin özelliklerine göre değişiklik gösterebilmektedir.

1. Tabakaların yerinde iyileştirilmesi
    a. Kompaksiyon Teorisi
        i. Kompaksiyon
        ii. Dinamik Kompaksiyon
    b. Vibroflotasyon
    c. Vibrokompaksiyon
    d. Patlatma ile Stabilizasyon
    e. Sıkıştırma Kazıkları
    f. Taş Kolonlar
    g. Ön konsolidasyon(Killi Zemin + Zaman) ve Düşey Drenler
2. Kireç/Uçucu kül Stabilizasyonu
3. Çimento ve diğer katkılarla stabilizasyon
4. Elektro-kinetik Stabilizasyon
5. Geosentetiklerle stabilizasyon
6. Enjeksiyon Yöntemleri

Zemin iyileştirme yöntemlerinden bazılarıdır. Ayrıca gelişen teknoloji ile beraber her geçen gün yeni zemin iyileştirme yöntemleri de bulunmaktadır. (Tunç, 2002)

2.3.1 Kompaksiyon Teorisi

İnşaat mühendisliğinde farklı sebepler için toprak dolgu yapıların inşası yoğunlukla kullanılan yöntemlerdendir. En çok, inşa sahasının yükseltilmesi amacıyla yapılan dolgular, havalimanı ve karayolları kaplamalarının zemin dolguları ile çeşitli maksatlarda kullanılmak istenilen su yapılarının inşasında kullanılır. Yanı sıra, amaca uygun olmayan zemin koşullarının bulunduğu sahalarda, mevcut doğal zeminin yerine amaca uygun olan zeminler ile değiştirilerek zemin iyileştirmesi çalışmaları yapılmaktadır. (Özaydın, 2016)

Bu kullanılan zeminler, kendi doğal sahalarından (ariyet sahası) kazılarak elde edilen zemin olacaktır. Böyle bir zeminin, bir işlemden geçmeden kullanılması dolgu zeminde, yüksek boşluk oranlarına, su geçirimliliğine ve sıkışabilirliğe; düşük dayanıma sahip olmasının yanında, mühendislik özellikleri zeminin farklı noktalarında farklı değerlere sahip olacaktır. (Özaydın, 2016)

Kompaksiyon (sıkıştırma) zemin daneleri arasındaki hava boşluklarının azaltılması ve danelerin birbirlerine yaklaştırılmasıyla danelerin daha sıkı dizilime sahip olmalarını amaçlayan mekanik işleme verilen isimdir. Danelerin sıkıştırılmasıyla birim hacim ağırlığın artmasıyla zemine ait mühendislik parametreleri iyileştirilmiş olur. Bu dizilim değişikliği zemine uygulanacak statik ve dinamik etkiler altında danelerin bağıl olarak hareketleri ile sağlanır. Danelerin hareket kapasitesi, uygulanan yüke ve zeminin su muhtevasına bağlıdır.

2.3.2 Sıkıştırılmış Kohezyonsuz Zeminlerin Özellikleri ve Rölatif Sıkılık

Kompaksiyon sonrasında daneli zeminlerin sıkılık derecelerinde artış gerçekleşmektedir. Bu artışın sonucu olarak kayma mukavemetinde artışlar ve boşluk oranında azalmalar meydana gelir. Azalan boşluk oranı, zeminlerin sıkışabilirliklerini azaltır. Böylelikle sıkıştırılmış zeminler daha yüksek taşıma gücüne ve daha düşük oturma eğilimine sahip olmaktadır.

Kohezyonsuz zeminlerde kayma mukavemeti Mohr- Coulumb teorisine göre Eşitlik 2.1 ile ifade edilmektedir.

$$\tau_f = \sigma' tan\varnothing' \tag{2.1}$$

Bağıntıda σ' kayma yüzeyine etkiyen efektif normal erilme, $\emptyset$' kayma mukavemeti açısını (içsel sürtünme açısı) belirtmektedir.

Rölatif sıkılık, iri daneli zeminlerin yoğunluklarına göre sınıflandırılmasında kullanılan bir kavramdır. Rölatif sıkılık malzemelerin boşluk oranlarına göre tanımlanır. Zeminin mevcut durumundaki boşluk oranının, en yüksek (maksimum) ve en düşük (minimum) boşluk oranlarıyla olan göreceli ilişkisidir. Rölatif sıkılık, iri daneli zeminlerde kayma mukavemeti, sıvılaşma ve sıkışma gibi bir takım parametreler hakkında fikir verici olsa da tek başına kesin bilgi sağlamaya yetmezler. Rölatif sıkılığın matematiksel gösterimi Eşitlik 2.2'de verilmiştir.

$$Rölatif\ Sıkılık(\%) = \frac{e_{max} - \mathrm{e}}{\mathrm{e}_{max} - e_{min}} x100 \qquad (2.2)$$

Verilen formülde e_{max} en yüksek boşluk oranını, yani zeminin en gevşek durumunu, e_{min} en düşük boşluk oranını, yani zeminin en sıkı ve e arazide mevcut durumdaki boşluk oranını ifade etmektedir. (D'Appolonia, 1954)

Maksimum ve minimum boşluk oranı, bir zemin için indeks parametrelerdendir yani laboratuvar ortamında elde edilen parametrelerdir. İnce daneli zeminlerin davranışı çok karmaşık olduğundan bu parametrelerin elde edilmesi çok kolay olmamaktadır. İri daneli zeminlerde ise elde edilen değerler yaklaşık değerlerdir. İri daneli zeminlerindeki en büyük handikap arazideki sıkılık oranının belirlenmesidir Bunun nedeni örselenmemiş numune alınması çok zor olması ve arazi deneylerine dayanan yaklaşımlar kullanılarak belirlenmesidir. Tablo 2.1'de zeminlerin rölatif sıkılık değerlerine bağlı tanımlanması verilmiştir.

Tablo 2.1 Rölatif sıkılığa bağlı zemin durumu tanımlaması tablosu (Seed ve Idriss, 1971)

Rölatif Sıkılık (%)	Tanım
0-15	Çok gevşek
15-35	Gevşek
35-65	Orta Sıkı
65-85	Sıkı
85-100	Çok Sıkı

İri daneli zeminlerin arazide kum konisi yöntemiyle doğal boşluk oranı belirlenmektedir. En gevşek durum (maksimum boşluk) hacmi bilinen silindirik bir kap içerisine kuru zeminin 2.5 cm'den dökülerek doldurulmasıyla belirlenir. En sıkı durum ise (minimum boşluk), suya doygun olarak ve titreşim ve/veya kompaksiyon uygulanarak sıkıştırılması yoluyla bulunur (ASTM-D4254 ve TS 1900-1).

2.3.1.1 Kompaksiyon

Kompaksiyon deneylerine aynı zamanda Proktor deneyleri de denilmektedir. Yaygın olarak kullanılan 2 tip proktor deneyi vardır. Bunların özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2.2 Standart proktor deneyi ve modifiye proktor deneyi karşılaştırması (TS 1900)

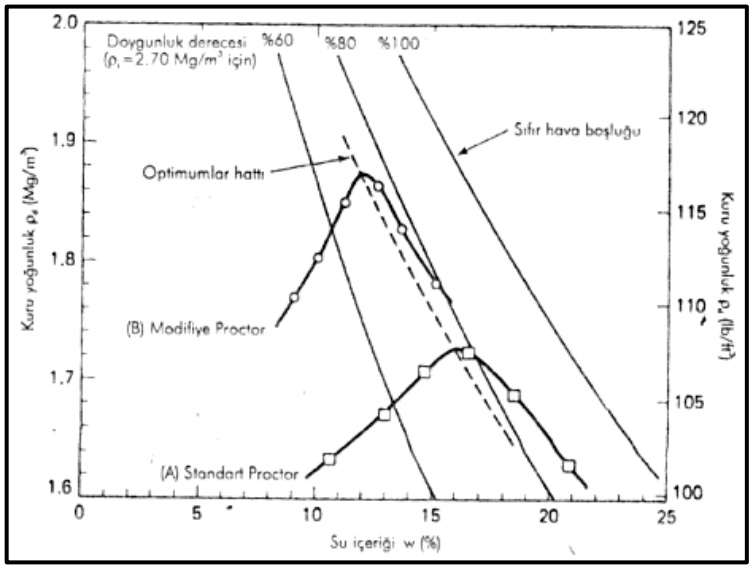
Standart Proktor Deneyi	Modifiye Proktor Deneyi
25 Düşüş	25 Düşüş
3 Tabakada Sıkıştırma	5 Tabakada Sıkıştırma
944 mm^3 Kalıp Hacmi	944 mm^3 Kalıp Hacmi
2.5 Kg Kütleli Standart Proktor Çekici	4.5 Kg Kütleli Standart Proktor Çekici
305 mm Yükseklikten Düşüş	460 mm Yükseklikten Düşüş
594.8 kJ/m^3 Enerji	2698 kJ/m^3 Enerji



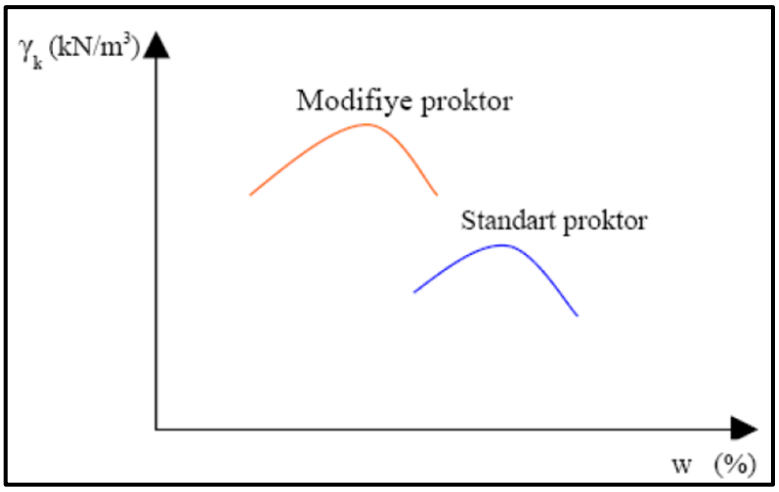
Şekil 2.1 Standart ve modifiye proktor çekici ve proktor kabı

Proktor deneylerinde zemine uygulanan enerjinin formülü aşağıdaki gibidir. (Eşitlik 2.3)

$$Uygulanan\,Enerji = \frac{Çekiç\ Ağırlığı \text{ x Düşüş Yüksekliği x Sıkıştırılan Tabaka Sayısı x Tabaka Başı Düşüş}}{\text{Kap Hacmi}} \quad (2.3)$$



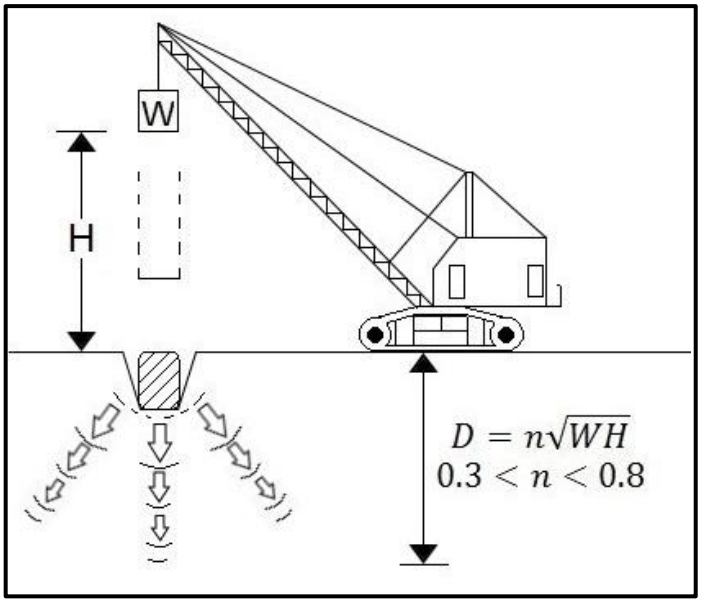
Şekil 2.2 Kompaksiyon deneyinde elde edilen kuru yoğunluk su içeriği ilişkisi (Johnson ve Salberg, 1960)



Şekil 2.3 Standart proktor deneyi ve modifiye proktor deneyi kuru birim hacim ağırlık-su muhtevası ilişkisi grafiği

2.3.1.2 Dinamik Kompaksiyon

Son yıllarda uygulama kolaylığı ve ekonomikliği sebebiyle yaygın olarak kullanılmaya başlanmış zemin iyileştirme yöntemidir. Sıkışabilen ve labil zeminlerin ıslahında kullanılır. Bu teknik, bir vinçle 12-30 metre yüksekten, 5.5-27.5 ton ağırlıklarındaki bir yük önceden karelaj yapılmış zemine ardışık olarak çok sayıda düşürülmek suretiyle yapılır. Bu yöntemde yüksek titreşim frekansları ve genlikleri oluştuğu için genellikle yerleşim yerlerinden uzak bölgelerde uygulanması tavsiye edilmektedir.



Şekil 2.4 Dinamik kompaksiyon uygulanması (FHWA, 2017)

Zeminin ıslahı uygulanan enerji ile doğru orantılıdır. Uygulanan enerji, düşürülen yüke, yükün düştüğü mesafeye ve tekrar sayısına bağlıdır. Aşağıda verilen Eşitlik 2.4 ile formülle dinamik kompaksiyonun etki ıslah derinliği elde edilir.

$$D = n\sqrt{WH} \tag{2.4}$$

Formülde D, ıslah derinliği; W, tokmak ağırlığı (ton); H, Tokmak düşüş yüksekliği (metre), n ampirik katsayıdır. Bu ampirik katsayı n, aşağıdaki Tablo2.3'ten alınır.

Tablo 2.3 Dinamik kompaksiyon derinlik ıslahı formülünde bulunan, zeminin cinsine göre değişen ampirik n katsayısı değeri (FHWA,2017)

Zemin Cinsi	**Doygunluk Derecesi**	**Tavsiye Edilen n* değeri**
Granüler Zemin (Geçirgen Zemin)	Yüksek	0.50
	Düşük	0.50-0.60
Yarı Geçirgen Zemin (Genellikle PI<8 Olan Siltli Zeminlerdir)	Yüksek	0.35-0.40
	Düşük	0.40-0.50
Geçirimsiz Zemin (Genellikle PI>8 Olan Killi Zeminlerdir	Yüksek	Yöntem Tavsiye Edilmez
	Düşük	0.35-0.40 ve w/c <PL Olmalı
*Uygulanan enerji 1-3 x 10^6 MJ/m² arasında geçerlidir.		

Dinamik kompaksiyon için;

- Etki derinliğine bağlı olarak W ve H değerleri
- Uygulama enerjisi
- Düşü aralığı ve düşme sayısı
- Atlama Sayısı

gibi parametrelerin belirlenmesi gereklidir. Yapılan arazi ve laboratuvar deneyleriyle ıslah edilecek zemin tabakası kalınlığı belirlendikten sonra yukarıda verilen Eşitlik 2.4 ile yük (W) ve düşü yüksekliği (H) hesaplanabilir. Uygulama enerjisi genel olarak

belirlenen saha üzerine uygulanacak ortalama enerji olarak kabul edilir. Uygulama enerjisi aşağıda yer alan formül ile hesaplanır (Eşitlik 2.5).

$$UE = \frac{NWHP}{\left(\text{uygulama ağırlığı}\right)^2} \tag{2.5}$$

Formülde UE, uygulama enerjisi (kg.m/m^2 veya J/m^2); N, her bir noktaya düşürülen yük tekrarı; W, yük (kg); H, düşü yüksekliği (m); P, atlama sayısını ifade etmektedir.

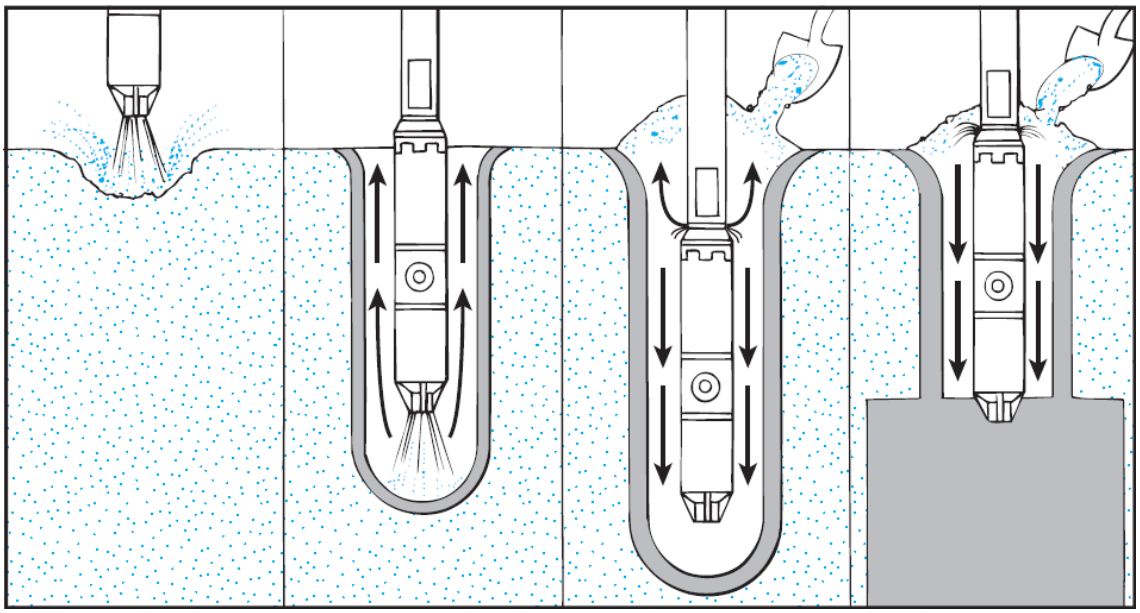
Kompaksiyon sonrası oluşan derin boşluklar, uygun malzeme ile doldurulur. Doldurulan malzeme ya daha küçük yükler kullanılarak sıkıştırılır ya da farklı kompaksiyon yöntemleriyle kompakte edilerek istenilen durum oluşturulur.

2.3.2 Vibroflotasyon

Vibroflotasyon YASS altındaki ve üstündeki yüksek kum muhtevasına sahip veya gevşek durumdaki kumlu zeminlerde uygulanan derin iyileştirme yöntemidir. 1930'lu yıllarda Almanya'da bulunup geliştirilen bu yöntem sonraki zamanlarda dünyada yaygınca kullanılmıştır.

2-4,5 metre uzunluğunda 30-45 cm çapında ve 3-8 ton ağırlığında silindirik bir vibratörün dönmesiyle vibrasyon etkisi yaratılır. Ayrıca su jeti ile zeminde önceden dikey kuyular açılmaktadır. Kullanılan makinenin ucuna takılan özel vibratör ünitesi ucu ile zeminde düşey kuyular açılır. Açılan bu kuyulara granüler malzeme kuyunun alt noktasından yüzeye doğru sıkıştırılarak yerleştirilir. Böylelikle zeminde düşey granüler kolonlar/kazıklar oluşmaktadır. Bu sayede zemin hem sıkışmış olurken hem de düşey granüler kolonlar/kazıklar oluşturulmuş olur. Bu işlemle zeminin taşıma gücü de arttırılmış olur. (Bauer Maschinen GmbH, 2012).

Kullanılacak geri dolgu malzemesinin uygunluk şartı Brown (1977) 'a göre Eşitlik 2.6'ya göre sağlanmaktadır.



Şekil 2.5 Vibroflotasyon aşamaları (Brown, 1977)

$$S_N = 1.7\sqrt{\frac{1}{(d_{10})^2}+\frac{1}{(d_{20})^2}+\frac{3}{(d_{50})^2}} \tag{2.6}$$

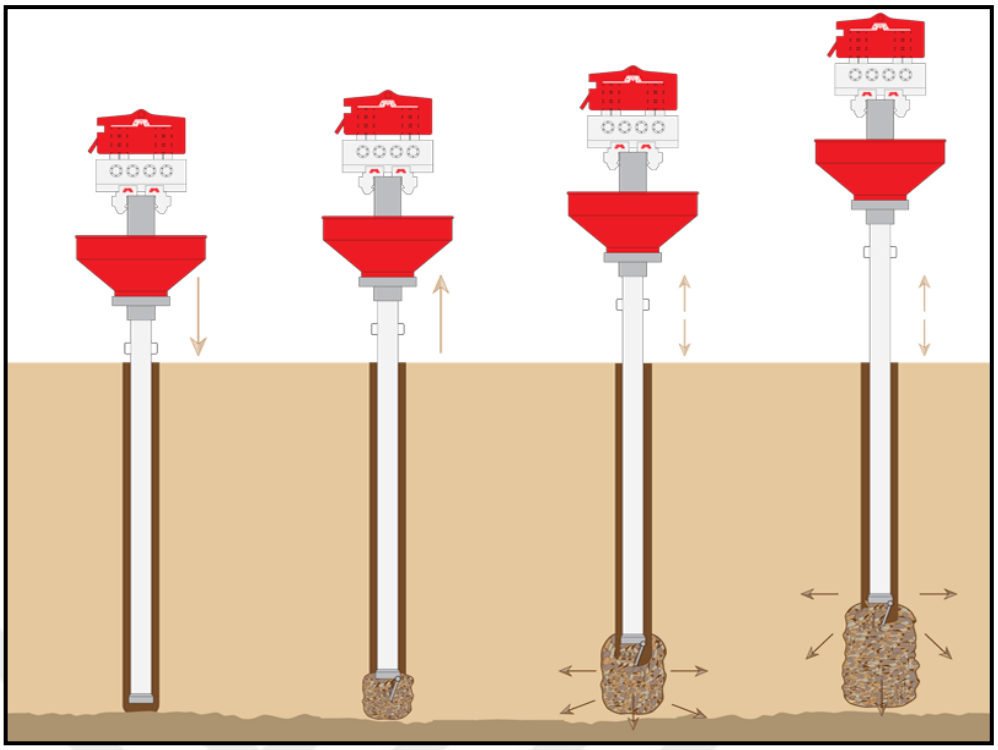
Formülde, d_{10}, d_{20} ve d_{50} mm cinsinden elek analizi sonucu, elekten ağırlıkça geçen % 10, % 20 ve % 50 dane boyutlarıdır.

Eğer S_N, $0<S_N<10$ ise çok iyi, $10<S_N<20$ ise iyi, $20<S_N<30$ ise vasat ve $S_N>30$ ise kötü olarak adlandırılabilir.

2.3.3 Vibrokompaksiyon

Vibrokompaksiyon, zemine penetre edilebilen çekiçlerin kullanıldığı granüler zeminlerin derin kompaksiyonu için kullanılan bir iyileştirme yöntemidir.

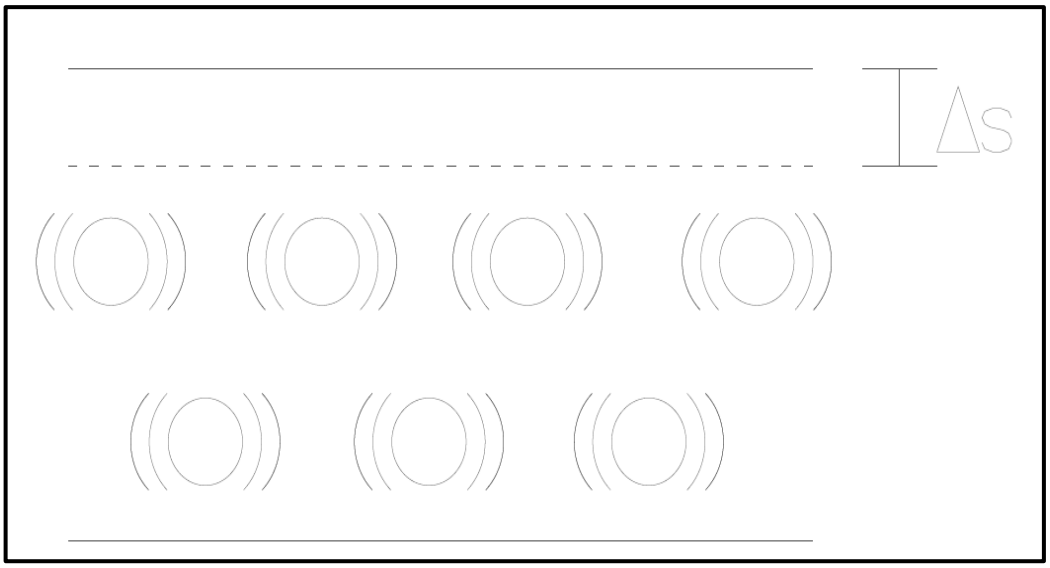
Yaygın olarak; Franki Y-Probu, Vibro-Kanat ve Terraprop tipleri kullanılır. Vibrokompaksiyonda, vibroflotasyonun aksine dikey vibrasyonlar uygulanarak granüler malzemelerin yerleştirilmesi sağlanır. Vibroflotasyona göre 4-5 kat daha hızlı uygulansa da uygulama sonrası elde edilen rölatif sıkılık değerleri çok daha düşük ve vibrasyonun düşey yönlü olması sebebiyle yatay yönde sıkışan hacim daha azdır. Bu nedenle vibrokompaksiyon 1-2 metre aralıklarla yapılmaktadır (Bauer Maschinen GmbH, 2012).



Şekil 2.6 Vibrokompaksiyon aşamaları (OMS, 2021)

2.3.4 Patlatma ile Stabilizasyon

Patlatma tekniği risk içeren bir zemin iyileştirme yöntemidir. Bu yöntemle hem Yüksek Plastisiteli Organik Zeminlerin (OH) ve Turba Zeminlerin (Bitkisel Toprak– PT) gibi çok yumuşak zeminlerin konsolidasyonunda hem de granüler zeminlerin derin kompaksiyonunda başarılı sıkıştırmalar elde edilmektedir. Bu yöntemde malzeme hacminde % 6 düşüş ve rölatif sıkılığında ise % 35-% 85 artış sağlanabilmektedir. Bunun için sıkıştırılması istenilen zemin tabakasının yarısı veya ¾'ü kadar altına 3-10 metre aralıklı derinlikler açılarak içerisine 1-12 kilogram veya her m^3 için en fazla 30 gram patlayıcı zemine yerleştirildikten sonra patlatılır. Patlamanın etkisiyle oluşan titreşim sayesinde zemin sıkılaşır. Kompaksiyon başarısı patlama noktalarının çevresinde bulunan zeminin boyutuna ve oluşan boşluk suyu basıncına bağlıdır. Ayrıca zemin malzemesinin 200 numaralı eleğin altında kalan kısmı % 3'ün altında olması durumunda oldukça etkili olan bu yöntemde, % 15'ten fazla ince malzeme olması başarı oranını oldukça düşürmektedir (Tunç, 2002).



Şekil 2.7 Patlatma ile stabilize edilen zemin ve etkileri

Bilinen miktarda patlayıcı ile sıkışabilecek zemin kütlesinin küresel çapı aşağıdaki Eşitlik 2.7 ile bulunabilmektedir.

$$2R = n\sqrt{W} \tag{2.7}$$

Formülde; N: Gevşek ve doygun ince kum için 15-25, Doygun olmayan ve sıkı ince kum için 7-9; R; Etkin yarıçap, m ; W patlayıcı miktarı, kg (% 60 saflıkta dinamit içeren).

Granüler zeminlerde patlama ile kompaksiyonun başarısı zeminin doygunluğuna bağlıdır. Tam doygun zeminlerde kompaksiyon başarısı yüksekken, doygun olmayan zeminlerde kompaksiyon başarısı düşmektedir. Bu yöntemde zemine yerleştirilen patlayıcılar ardı ardına çok kısa süreler içerisinde patlatılır ancak ilk patlama ile zemin % 60'a kadar otururken daha sonraki patlamalarda % 20 oturum sağlanmaktadır.



Şekil 2.8 Patlatma ile stabilize edilmiş zemin

Patlatma esnasında meydana gelen titreşimler daneler arası sürtünme direncini yendikten sonra, danelerin daha sıkı bir yerleşimle çökelir. Bu da hacimsel bir sıkışma oluşturur.

Bu yöntem suya doygun zeminlerde anlık bir sıvılaşmaya, boşluk suyu basıncının yükselmesine yol açar. Artık boşluk suyu basıncı sönümlenirken, hacimsel sıkışma (oturma) meydana gelir. Artık boşluk suyu basıncı oluşumu Eşitlik 2.8 ile ilişkilidir.

$$N_H = \frac{\sqrt[3]{W}}{R} \tag{2.8}$$

Eşitlikte N_H artık boşluk suyu basıncını, W patlayıcı ağırlığını ve R patlatma noktasından mesafeyi ifade etmektedir. N_H ne kadar yüksek ise boşluk suyu basıncı sönümlemesi ve oturmalar o kadar fazla olmaktadır (Court ve Mitchell, 1994).

2.3.5 Sıkıştırma Kazıkları

Gevşek ve boşluk oranı yüksek kumlu zeminlerin sıkışma kapasiteleri çok yüksektir. Sıkıştırma kazıkları, bu durumda olan zeminlerin boşluk oranını azaltarak, zeminde oluşabilecek oturmaları azaltmak, birim hacim ağırlığını arttırarak zeminin taşıma gücünü yükseltmeyi amaçlar (Bicalho,2005).

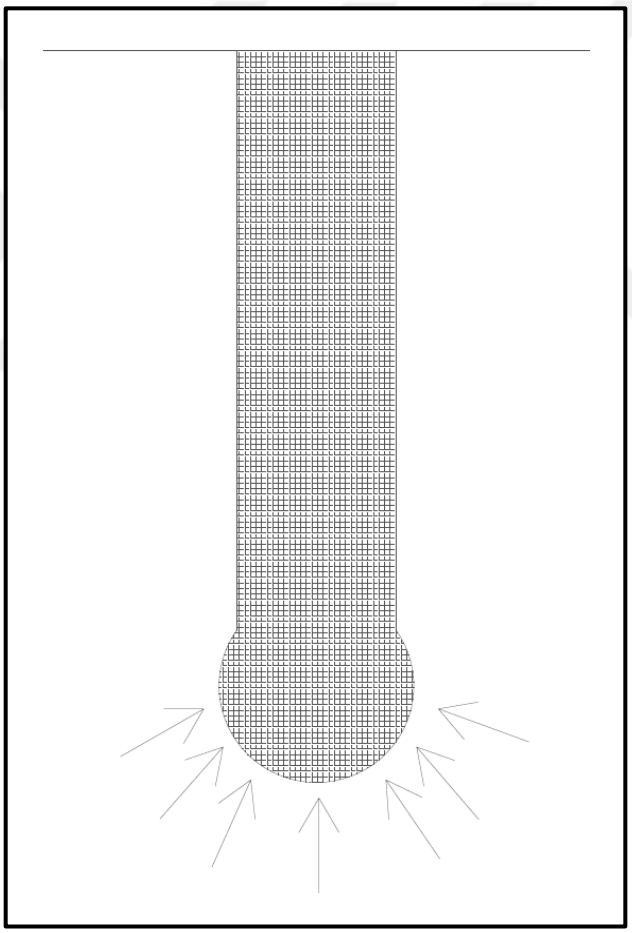
Ucu kapalı ve içi boş bir boru zemine titreşimle ve basınç ile penetre edilirken, zemin iyileştirilmeye zorlanır ve sıkıştırılır. Borunun ucu açılıp içine borunun üst tarafından

granüler zemin malzemesi doldurulur ve sıkıştırılarak boru geri çekilir. Zemin içinde sıkıştırılmış granüler kolonlar oluşur.

2.3.5.1 GeoConcrete Columns(GCC) (Forajsız Donatısız Beton Kolon Uygulaması)

GeoConcrete Column®, özel olarak dizayn edilmiş bir mandrel ve darbeleme kafasının dinamik olarak düşey yönde darbeleme enerjisi ile birlikte statik bir güçle tasarım derinliğe kadar çakılması ve mandrel içinden betonun boşaltılmasıyla imal edilen beton kolon sistemidir.

Mandrelin zemini yanlara doğru iterek, zemini deplase etmesi ve zeminin yer değiştirmeye zorlanması ve sıkışması esasına dayanır. Düşey darbeleme enerjisi ile kolon alt kotunda "bottom bulb" adı verilen dip soğanı oluşturulur (Moreno, 2019).



Şekil 2.9 GeoConcrete Colomn® ve iyileştirme mekanizması

Bu yöntemle;

a) Toplam ve farklı oturmaların kontrol edilir.
b) Proje ihtiyaçları doğrultusunda zemin taşıma gücü kapasitesi arttırılır.

c) Şev ve dolguların kapasitesi sağlanır.
d) Sıvılaşmaya karşı iyileştirilmede (sıkılık derecesinin arttırılmasında) kullanılır.

2.3.6 Taş Kolonlar

Zemin özelliklerinin iyileştirilmesi dışında zemine taşıyıcılık özelliği kazandıran (taşıma kapasitesinin artmasına sebep olan) taş kolonlar ile zemin iyileştirmede zeminde doldurulan bölgeler kompozit malzeme özelliği gösterir (FHWA, 2017).

0.5-0.8 m çapında ve 1.5-3.0 m aralıklı şekilde dizayn edilen taş kolonlarda kullanılan geri dolgu malzemesi Eşitlik 2.6'daki S_N uygunluk eşitliğine göre belirlenmektedir. Hem kohezyonlu hem kohezyonsuz zeminlerde uygulanabilen bir iyileştirme yöntemidir. Kohezyonlu zeminlerde bu yöntemle amaçlanan;

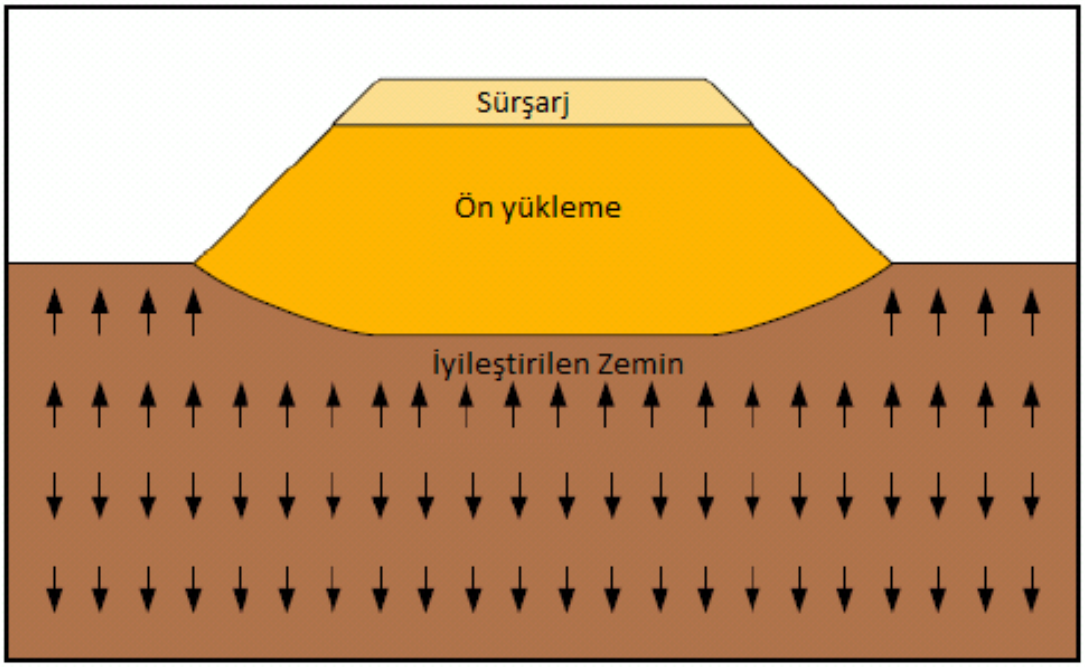
- Taşıma gücünü arttırmak
- Oturmaları azaltmak

Bu iki hedefin sonucunda iyileştirilmiş zemin tabakalarının mühendislik parametrelerinde artış gözlenir. Kohezyonlu zeminlerdeki amaç ise;

- Sıkılık derecesinin arttırmak
- Sıvılaşma direncini arttırmak

2.3.7 Ön Konsolidasyon ve Düşey Drenler

Ön konsolidasyon yöntemi, ince daneli zeminlerde uygulanan ve konsolidasyonun hızlı gerçekleşmesi esasına dayanarak zemini iyileştirmeyi hedefleyen yöntemdir. Bu zeminlerin permeabilitesi düşük olması sebebiyle konsolidasyonun tamamlanması uzun süreler almaktadır. Bunun yanı sıra suya doygun, yumuşak ve sıkışma kapasitesi yüksek olan bu zeminlerde oturma miktarları çok fazla olması sebebiyle üst yapıya zarar verme ihtimali artmaktadır. Bu yüzden zemine üst yapı kaynaklı gelecek yük miktarını önceden zemine yüklemek ve düşey drenler yerleştirmek suretiyle zeminde bulunan boşluk suyunun tahliye (drenaj) süresi kısaltılır. Zemini, zeminin taşıma gücünü aşmayacak büyüklükteki bir yükle yüklemek suretiyle yükleme hızı oluşan boşluk suyu basınçlarının sönümlenmesini sağlayacak şekilde olmalı ya da dolgu altında geotekstiller kullanılmalıdır. Ön konsolidasyonun asıl amacı yapısal yükler altında zeminde oluşacak oturmaları yapı inşasından önce gerçekleştirmektir. Bunun en kolay yolu ise hem yatay hem de düşey yönde boşluk suyu basınçlarını sönümlemektir (Bilal M. ve Talib A., 2016).



Şekil 2.10 Ön yükleme sonrası oturma davranışı gösteren zemin
(Bilal M. ve Talib A., 2016)

2.3.2 Kireç Stabilizasyonu

Kireç, insanlık tarihinde stabilizasyon amacıyla kullanılmış en eski katkı maddelerinden biridir. Romalılar, Hititliler, Persler ve Çinliler yol stabilizasyonunda bu malzemeyi kullanmışlardır.

Kalsiyum karbonat içeren kireç taşının yüksek derecelerde (900-1000°C) pişirilmesiyle kireç elde edilir. Bu kirece sönmemiş kireç de denilmektedir. Kireç taşının pişirilme işlemine kalsinasyon denilir. Kalsinasyon işlemi reaksiyonu Eşitlik 2.9 ile ifade edilmiştir.

$$CaCO_3 + Isı \rightarrow CO_2 + CaO \tag{2.9}$$

Sönmemiş kirecin su ile reaksiyonu sonucu ısı açığa çıkar, böylece kireç bağlayıcı özellik kazanır.

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + Isı \tag{2.10}$$

Kireç stabilizasyonu killi zeminlerde yapılan bir iyileştirme yöntemidir. Bu yöntemde sönmüş kireç olan $Ca(OH)_2$ kullanılır. Kalsiyum hidroksit eklenilen zeminlerde flokülasyon ve katyon değişimi gibi kimyasal reaksiyonlar meydana gelir. Bu

reaksiyonlar uzun süre devam eder ve oluşan kalsiyum silikat jeli hem zemin içerisindeki boşlukları doldur hem de bağlayıcılık görevi görür. Kireç stabilizasyonunda kullanılan optimum kireç oranı ağırlıkça % 4'tür (Kavak, 2015).



Şekil 2.11 Kireç ile zemin stabilizasyonu, kireç serim işlemi

2.3.3 Uçucu Kül ile Stabilizasyon

Uçucu kül, enerji üretimi için kurulmuş olan termik santrallerin bacalarından elde edilen bir atık malzemedir. Bu çok ince olan (silt boyutlu) atık malzeme bacalarda bulunan özel filtreler sayesinde tutularak başta çimento sektörü olmak üzere birçok sektörde kullanılmaktadır (AASHTO,2011). Ülkemizdeki termik santrallerden senede 15 milyon ton uçucu kül elde edilmektedir. Bu yan ürünü olduğu kömürün cinsine göre farklı mineralojik yapılarda ve farklı renklerde bulunmaktadır. Bu atık malzeme, çimento ve kireç stabilizasyonunda katkı malzemesi olarak kullanılmakta ve kayma mukavemetini önemli oranda arttırıcı etkiye sahiptir.



Şekil 2.12 Uçucu kül elde edilen termik santral bacası

2.3.4 Fırın Cürufu ile Stabilizasyon

Demir-Çelik fabrikalarında demir cevherinin işlenmesi sırasında meydana gelen bir yan üründür. Aniden soğutulması sonucu katılaşan ve daha sonra öğütülerek kullanılan bir malzemedir. Kendi başına bir bağlayıcılığı olmamasına rağmen, portland çimentosu ile beraber kullanıldığı durumlarda çevresel şartlara karşı betonun durabilitesini önemli ölçüde arttırdığı yapılan araştırmalar sonucu ispatlanmıştır. Betonun işlenebilirliğini arttırıp geçirgenliğini düşüren bir yapıya sahiptir.



Şekil 2.13 Öğütülmemiş yüksek fırın curufu

2.3.5 Elektro-Kinetik Stabilizasyon

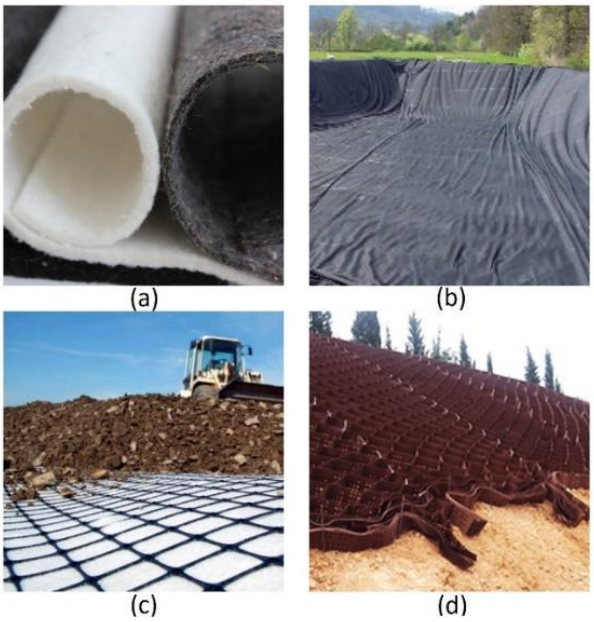
Zemin içerisinden geçirilen elektrik akımı sayesinde, killi zeminde serbest halde bulunan suyun dışarı çıkmasını ve zemin danecikleri arasında çimentolanma etkisi oluşturmayı amaçlayan bir uygulamadır. Zemin iç yapısında bir stabilizasyon oluşturmayı amaçlar.

2.3.6 Geosentetiklerle Stabilizasyon

Geosentetikler, yapıların zeminlerinde farklı amaçlar için kullanılan genellikler polimer esaslı olarak ağımsı veya düz yapıda üretilen yapı malzemeleridir. Bu yapı malzemelerinin örnekleri:

- Geotekstiller
- Geomembranlar
- Geogridler
- Geomatlardır.

Bu malzemeler, zeminin karşılayamadığı çekme gerilmelerini karşılamak, zeminlerin taşıma kapasitesini arttırmak, zeminlerde oluşacak oturmaları önlemek, zeminlere gelen gerilmeleri zemine daha dengeli ve eşit olarak dağıtmak, zemin-yapı, ve zemin-temel arasında oluşabilecek hidrolojik ilişkiyi engellemek, şevlerin duraylılığını sağlamak amacıyla üretilen hızlı ve kısmen ekonomik zemin iyileştirme yöntemidir (FHWA, 2017).



Şekil 2.14 Geosentetik çeşitleri : (a)Geotekstil, (b)Geomembran, (c)Geogrid, (d) Geomat

2.4 Enjeksiyon

Enjeksiyon, bir ortama bir akışkanın basınçla gönderilmesi işlemidir. Geoteknik mühendisliğinde ise, zemin ve kaya formasyonlarında bulunan boşlukların belirli tekniklerle çimento ve/veya benzeri enjeksiyon malzemesi ile doldurulması ile boşlukların azaltılarak daha mukavemetli, daha geçirimsiz ve daha az oturma deplasmanı yapan formasyonlar oluşturulması işlemidir (Nonveiller, 1989).

Genellikle zemin içerisine penetre edilen bir boruyla zemine portland çimentosu ve su karışımı enjekte edilerek zeminin mühendislik parametrelerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Ancak portland çimentosunun boyutlarından daha küçük boşluklardaki zeminlerin doldurulamayışı, portland çimentosundan 40-100 kat daha küçük miktarlarda olabilen daha geniş yüzey alanları ile daha hızlı kimyasal reaksiyona girebilen mikro çimentoların üretimine ve kullanımına zemin oluşturmuştur. Mikro çimentonun bile yetersiz kalabildiği silt-kil zeminlerde ise kimyasal enjeksiyon malzemeleri kullanılmaya başlamıştır. Ancak bu kimyasalların zeminlerde ve zeminlerde bulunan canlılara ve zemin suyunda bıraktığı zararlı etkiler sebebiyle kimyasal enjeksiyon uygulanan alanlar kısıtlanmıştır (Avcı, 2015).

2.4.1 Enjeksiyonun Tarihçesi

Enjeksiyon uygulamaları, inşaat mühendisliğine görece daha yeni bir uygulama olmasına rağmen 200 yıldan uzun bir geçmişe sahiptir. Charles Berigny bu yöntemin atası olarak kabul edilir ve ilk uygulamayı yönetici olarak çalıştığı Dieppe limanına 1802 yılında çakıllı zemine inşa edilen gelgit savakları temellerine kil, su kireci ve puzolan harcı ile yapmıştır. Başarıyla sonuçlanan bu uygulama sonrasında Portland Çimentosu ile hazırlanan başka bir enjeksiyon harcı kullanılmış ve 1838'de Collin tarafından Fransa'da duvarları çatlak olan Grosbois Barajı'nın çatlaklarının doldurulmasında kullanılmıştır. Gelişen teknoloji sayesinde enjeksiyonlarda kullanılan pompalar da güçlenmiş, böylelikle enjeksiyona daha uygun pompalar kullanılmıştır. 1950'lere gelindiğinde Amerika Birleşik Devletleri'nde enjeksiyon uygulamaları yaygınlaşmaya başlamış ve 1980'lerde Amerikan İnşaat Mühendisleri Birliği, Enjeksiyon Komitesi tarafından yönteme yönelik bir yönetmelikle, enjeksiyon uygulamalarının sınırları belirlenmiştir. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan enjeksiyon tipi olan Jet Enjeksiyonu ise 1970'lerde Japonya'da geliştirilerek kullanılmaya başlanmıştır (Nonveiller, 1989).

2.4.2 Enjeksiyonun Kullanım Alanları

Enjeksiyon uygulamaları, mühendislik parametrelerinin iyileştirilmesinde etkin olarak kullanılmaktadır. Bu uygulamalardan bazıları;

1. Zeminlerin kayma mukavemetini ve taşıma kapasitesini arttırmak
2. Zeminlerin oturma davranışını kısıtlamak
3. Şevlerin duraylılığının sağlanması
4. Farklı oturmalara uğramış yapıların düzeltilmesi
5. Ön germeli ankrajların sabitlenmesinde
6. Art germeli ve ön germeli betonların ankraj halatlarının sabitlenmesinde
7. Erozyon tehlikesinin önlenmesinde
8. Tünel kaplaması ile kayaç formasyonları arasındaki boşlukların doldurulması
9. Baraj yapılarının temellerinde bulunan formasyonların geçirgenliğinin azaltılarak, sızıntı miktarının düşürülmesi ve rezervuarda bulunan suyu kaybının azaltılması

amaçlarıyla yapılmaktadır.

2.4.3 Enjeksiyon Çeşitleri

Bir zemine yapılacak olan enjeksiyonun türü, zeminin granülometresi, yapının derinliği ve yeraltı su seviyesinin konumuyla enjeksiyon ekipmanının temini gibi konularla doğrudan ilişkilidir.

Enjeksiyonlar, kullanılan malzemeye göre ikiye ayrılır;

- Çimento Enjeksiyonları
- Kimyasal Enjeksiyonlar

Çimento enjeksiyonları, zemin içerisine çimento-su karışımının enjekte edilerek mukavemeti daha yüksek bir zemin oluşturur. Genellikle portland çimentosu kullanılan zeminlerin granülometrik eğrilerine göre mikro çimentolar da kullanılmaktadır. Kimyasal enjeksiyonlarda ise poliüretan, epoksi ve reçine gibi kimyasal kökenli enjeksiyon malzemesi kullanılarak zeminin mühendislik parametreleri iyileştirilmesi hedeflenir. Kimyasal enjeksiyonlar, çimento enjeksiyonlarına oranla daha etkili olarak, daha geniş spektrumlu olarak zemine etkir. Ancak çimento enjeksiyonları, kimyasal enjeksiyonlara oranla çok daha ekonomiktir. Ayrıca Kimyasal enjeksiyonlar aşındırıcı ve zehirleyici etkiler de barındırır (Tunç, 2002).

Enjeksiyonlar zemin ve kayaya nüfuz yayılımı açısından ve yapıda oluşturacağı davranış değişikliği yönünden ise 8 türde incelenmektedir.

1. Permeasyon (Emdirme)Enjeksiyonu
2. Kontak Enjeksiyonu
3. Kaya Enjeksiyonu
4. Çatlatma (intrüzyon) Enjeksiyonu
5. Kompaksiyon Enjeksiyonu
6. Konsolidasyon Enjeksiyonu
7. Perde Enjeksiyonu
8. Jet Enjeksiyonu (Jet-Grout)

Bu enjeksiyon tiplerinden permeasyon(emdirme), kontak ve kaya enjeksiyonları enjeksiyon harcının zemin içerisindeki boşluklara dolması sırasında zemin mevcut yapısını bozmadan zemine yerleşirken diğerleri ise zeminin yapısını bozmaktadır.

2.4.4 Zeminlerin Enjekte Edilebilirliğinin İncelenmesi

Yapılan çalışmalar ortaya koymuştur ki, zeminlerin farklı birçok yöntemle iyileştirilmesi mümkündür. Enjeksiyon yönteminin mevcut zemin için doğru yöntem olup olmadığına ise karar vermek için farklı zamanlarda pek çok çalışma yapılmıştır. Bunlar içinde en önemlilerinden bir tanesi ise, Akbulut ve Sağlamer (2002) tarafından yapılan çalışmadır. Bu çalışmada zeminlerin enjeksiyon edilebilirlik oranı için ince dane oranı % 6'dan küçük, s/ç oranı 0,8-2 aralığında olan ve enjeksiyon basıncı 50-200 kPa aralığında olan numuneler için amprik olarak geliştirilen şu Eşitlik 2.11 önermiştir:

$$N = \frac{(D_{10})_{zemin}}{(d_{90})_{enjeksiyon}} + k_1 \frac{s/ç}{FC} + k_2 \frac{P}{D_r} \qquad (2.11)$$

Verilen formülde;

$(D_{10})_{zemin}$=Elek analizi sonucu zeminde % 10 geçene karşılık gelen dane çapı

$(d_{90})_{enjeksiyon}$= Elek analizi sonucu enjeksiyon harcında % 90 geçene karşılık gelen dane çapı

s/ç=Enjeksiyon harcının su/çimento oranı

FC= İnce dane oranı (0,6 mm elek altı malzemenin toplam zemin malzemesine oranı)

P= Enjeksiyon basıncı (kPa)

Dr=Zeminin rölatif sıkılık oranı

k_1: 0.5 Sonucu normalize etmek için kullanılan birimsiz sabit değer k_2: 0.01 Sonucu normalize etmek için kullanılan ve birimi 1/kPa olan sabit değer

Eğer eşitliğin sonucunun N>28 olması durumunda zeminin yeterince enjekte edilebilir. N<28 olması durumunda zemin yeterince enjekte edilemez sonucuna varılabilir.

Bunun yanı sıra, Burwell (1958), Herndon ve Lenahan (1976) Mnif(1997) ve Perret vd. (2000) bu konuyla ilgili çeşitli çalışmalar yapmışlardır.

Enjeksiyon yönteminde de kendi içerisin de farklı materyaller ile gerçekleştirilir. Bunun için en önemli parametrelerden birisi ise zeminlerin permeabilitesidir. Doğal zeminlerin ve kaya formasyonların farklı permeabilite katsayılarına sahip olması ihtiyaca göre farklı enjeksiyon tekniklerinin beraber olarak kullanılmasını gerektirebilir. Aşağıdaki Tablo 2.4'te bu durum gösterilmiştir.

Tablo 2.4 Zemin özellikleri ve durumlarına göre kullanılabilecek enjeksiyonlar (Hontoria ve Sanchez, 2006)

	Zemin Tipi	**Zemin Yapısını Bozmayan Enjeksiyonlar İçin Harçlar**	**Zemin Yapısını Bozan Enjeksiyonlar İçin Harçlar**
Kaya	Çatlaklı e>100 mm	Çimento Harçları	Çimento Harçları
	Kırık, Çatlaklı 0,1 mm < e < 100 mm	Çimento Harçları Mikro daneli harçlar	-
	Mikro Çatlaklı 0,05 mm < e < 0,1	Mikro daneli harçlar	-
	e < 0,05 mm	Özel Kimyasal Harçlar	-
Kum	Çakıl, Kumlu Çakıl ve İri Kum $k>10^{-3}$ m/s	Çimento Harçları	Yüksek Viskoziteli Çimento Harcı
	Kum, Orta Kum $10^{-3}<k<10^{-5}$ m/s	Mikro daneli harçlar	Çimento Harçları
	İnce Kum, Silt $10^{-5}<k<10^{-6}$	Özel Kimyasal Harçlar	Çimento Harçları

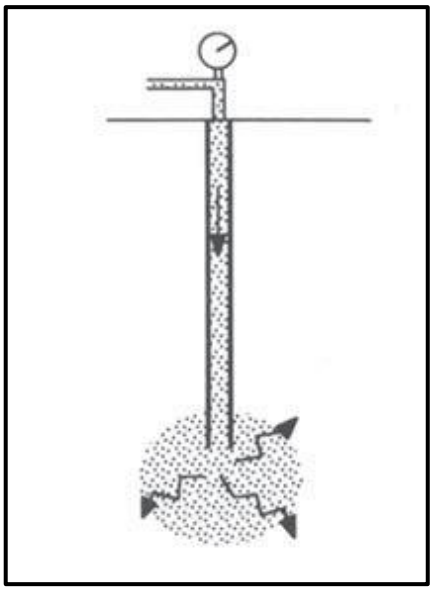
Permeabilite zeminin enjeksiyona uygun olup olmadığını belirlemede etkili bir göstergedir. Karol tarafından 2003 yılında yapılan bir çalışmada permeabilite-enjekte edilebilirlik arasındaki ilişki Tablo 2.5'te yer aldığı gibidir.

Tablo 2.5 Geçirimlilik katsayısı ve enjekte edilebilirlik arasındaki ilişki (Karol,2003)

k (m/s)	Enjekte Edilebilirlik
$10^{-8} < k$	Enjekte edilemez
$10^{-7} < k < 10^{-8}$	5cP altındaki viskoziteli enjeksiyonlar zorlukla enjekte edilebilir üzerindeki enjekte edilemez
$10^{-5} < k < 10^{-7}$	10 cP üzerinde viskoziteli malzemeler ile zorlukla daha düşük viskoziteli
$10^{-3} < k < 10^{-5}$	Genel olarak bütün kimyasal enjeksiyonlar enjekte edilebilir
$10^{-3} < k$	Katı bir süspansiyon enjeksiyonu veya katı dolgusu bulunan kimyasal enjeksiyonlar kullanılır

2.4.4 Permeasyon (Sızdırma-Emdirme) Enjeksiyonu

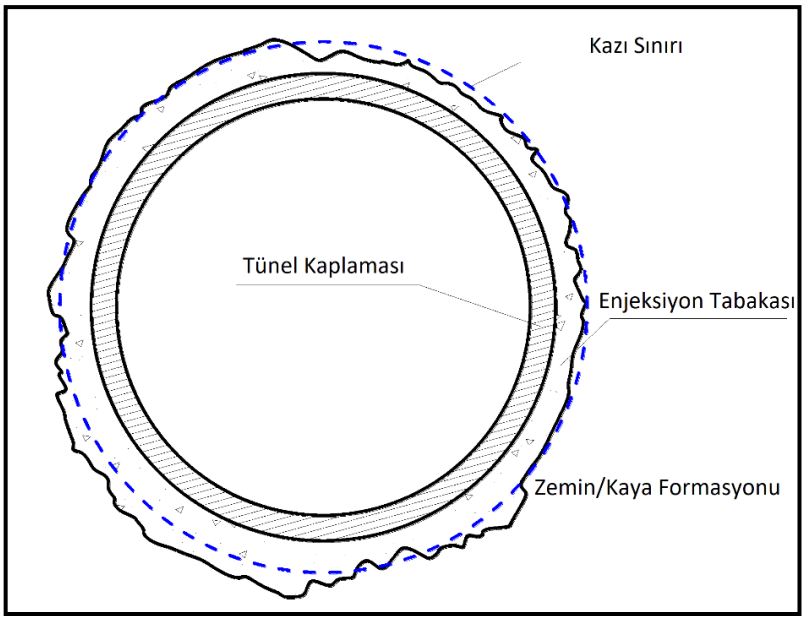
Permeasyon (Sızdırma) enjeksiyonunda zemin daneleri arasındaki boşlukların enjeksiyon harcı ile doldurularak daha rijit ve bütün yapılar oluşturulması amaçlanmaktadır. Bu yöntemde düşük basınç ile zemine enjekte edilen enjeksiyon harcı zemini oluşturan danelerin yerini değiştirmeyerek zemin yapısını bozmayacak şekilde zemindeki boşlukları doldurur. Bu sayede zeminin hem dayanımı artarken hem de geçirimsizliğinin arttırılması hedeflenir.



Şekil 2.15 Permeasyon (Sızdırma-Emdirme) enjeksiyonu (Tunçdemir, 2004)

2.4.5 Kontak (Dolgu) Enjeksiyonu

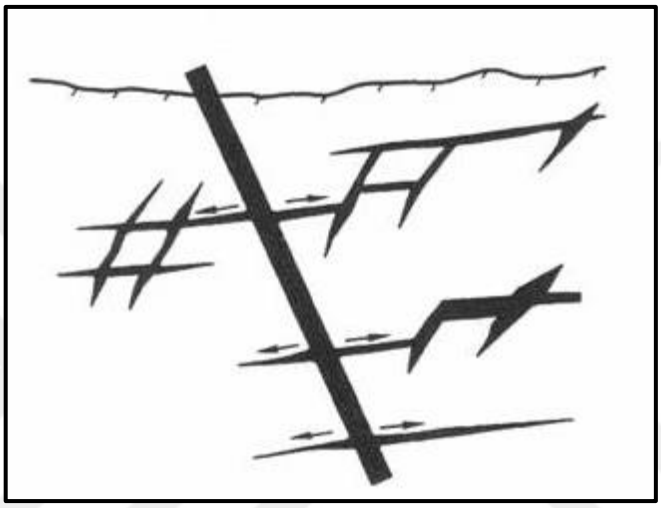
Tünel, galeri ve şaft gibi yapılarda kaplama ile zemin veya kaya formasyon arasında kalan göçük boşluklarının doldurulmasında kullanılır. Dolgu enjeksiyonu olarak da adlandırılır. Göçük boşluklarının boyutlarına bağlı olarak enjeksiyon alanı değişmektedir. Yapılan enjeksiyonda, enjeksiyon basıncı en çok 2 bar olarak kullanılır. Daha yüksek enjeksiyon basınçlarında kaplama tabakasında göçmelere sebebiyet verebilir. (Mutman, 2007)



Şekil 2.16 Kontak (Dolgu) enjeksiyonu (Wang, 2020)

2.4.6 Kaya Enjeksiyonu

Kaya ortamlar içerisinde süreksizlikler ve çatlaklar bulundurabilen ortamlardır. İçerisinde yoğun çatlaklar ve süreksizlikler barındıran ortamların geçirimliliği de yüksektir. Bu durumu önlemek ve ortamın rijitliğini arttırmak için ortamda yeni çatlaklar oluşturmayacak şekilde düşük basınçta enjeksiyon yapılarak ortam doldurulur. Böylelikle hem ortama rijitlik sağlanır, hem de ortamın geçirimliliği düşer. Ayrıca ortamda yapılabilecek olası bir yer altı kazısında, kazı alanına doğru oluşabilecek kütle hareketi bir miktar engellenmiş olunacaktır (Kutzner, 1996).



Şekil 2.17 Kaya enjeksiyonu (Mutman, 2007)

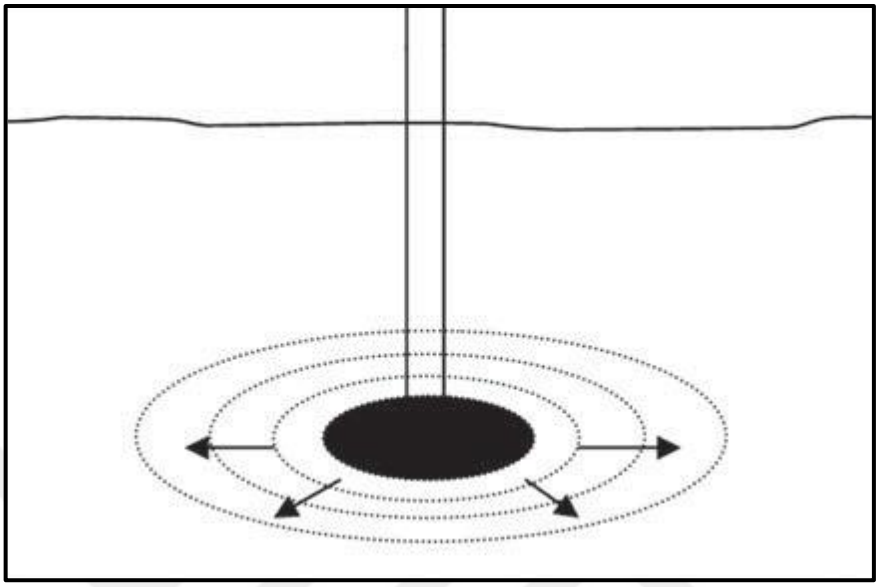
2.4.7 Çatlatma (İntrüzyon) Enjeksiyonu

Permeasyon enjeksiyonunun mümkün olmayacağı çok sıkı veya görece ince daneli zeminlerde, zemine yüksek basınç (~40 bar) ile düşük viskoziteli enjeksiyon verilerek zemin yapısı bozulur ve enjeksiyonun zemin içerisinde ağaç köklerine benzer şekilde yerleşimi sağlanarak zemin lokal olarak sıkışır böylelikle stabilizasyon sağlanır. Genellikle oturma davranışı yaparak sıkışan zeminlerde, farklı oturma yapan yapı temellerinde ve tünel uygulamalarında kullanılır (Schroff, 1993).

2.4.8 Kompaksiyon (Sıkıştırma) Enjeksiyonu

Kompaksiyon enjeksiyonunda zemini sıkıştırabilecek kadar yüksek basınçla, viskozitesi yüksek enjeksiyon harcı zemine enjekte edilerek uygulanır. Yüksek viskozite durumunda olan enjeksiyon harcı zemine homojen şekilde kalır ve zemin içerisindeki boşluklara dağılmaz (Andrus ve Chung, 1995).

Bu metotta enjeksiyon harcı zeminde üst üste küresel kütleler oluşturur. Böylelikle bütünsel kolonlar oluşmuş olur. Bu metot genellikle sıvılaşabilen zeminler için tercih edilir. % 40 silt içeren kumlarla ince kumda uygulanabilir. s/ç=1 ve altında olan enjeksiyon harçları kullanılmalıdır (Mutman, 2007).



Şekil 2.18 Kompaksiyon enjeksiyonu (Essler, 2000)

2.4.9 Konsolidasyon Enjeksiyonu

Kaya kütlelerinde yapılan bu enjeksiyonun amacı şekil değiştirmeyi azaltarak, dayanımı arttırmaktır. Kayadaki çatlakları ve boşlukları yüksek dayanımlı ve hacmi değişmeyen karışımlarla doldurarak elde edilir. Aynı zamanda zemin suyunun akışı engellenir (Mutman,2007).

2.4.10 Perde Enjeksiyonu

Su tutmak, biriktirmek ya da kabartmak amacıyla inşa edilen baraj yapılarında memba ile mansap alanları arasındaki su irtibatını kesmek amacıyla yapılır. Teorik olarak sızma boyunu uzatması ya da sızmaya karşı geçirimsizlik sağlanması amaçlanır. Karot delikleri benzeri kuyular açılarak zemine aktarılır. Çimentonun yanı sıra bentonit bulamacı gibi su tutma kapasitesi çok yüksek killer de kullanılır.

2.4.11 Jet Enjeksiyonu

Jet enjeksiyonu, mevcut durumuyla üzerine gelecek yükleri taşımaya yeterli olmayan genellikle gevşek yapılı zeminlerin yüksek basınç ile (300-700 bar) kullanılarak su ve çimento karışımının zemine penetre edilen bir boru ile yerleştirilmesi işlemidir. Yüksek basınçla boru ağızlıklarından çıkan enjeksiyon harcı zeminin yapısını bozar. Enjeksiyon işlemi sırasında penetre edilen borunun kendi ekseni etrafında dönmesiyle dairesel formda jet kolonlar oluşurulur. Sabit hızla veya beklemeli şekilde boru yukarı çekilerek kolonun devamlılığı sağlanır. Beklemeli yöntemde boru yukarı çekilirken her 4-10 santimetrede beklenilmeli ve beklenilen bu süre zarfında da enjeksiyon işlemi sürdürülmelidir. Bu yöntem ile 3 metre çapına kadar kolonların oluşturulması mümkündür. Jet enjeksiyonu ile zeminlerin elastisite modülü ve taşıma kapasite artarken, sıvılaşma riski ve geçirimliliği azalmaktadır (Erol, 2018).

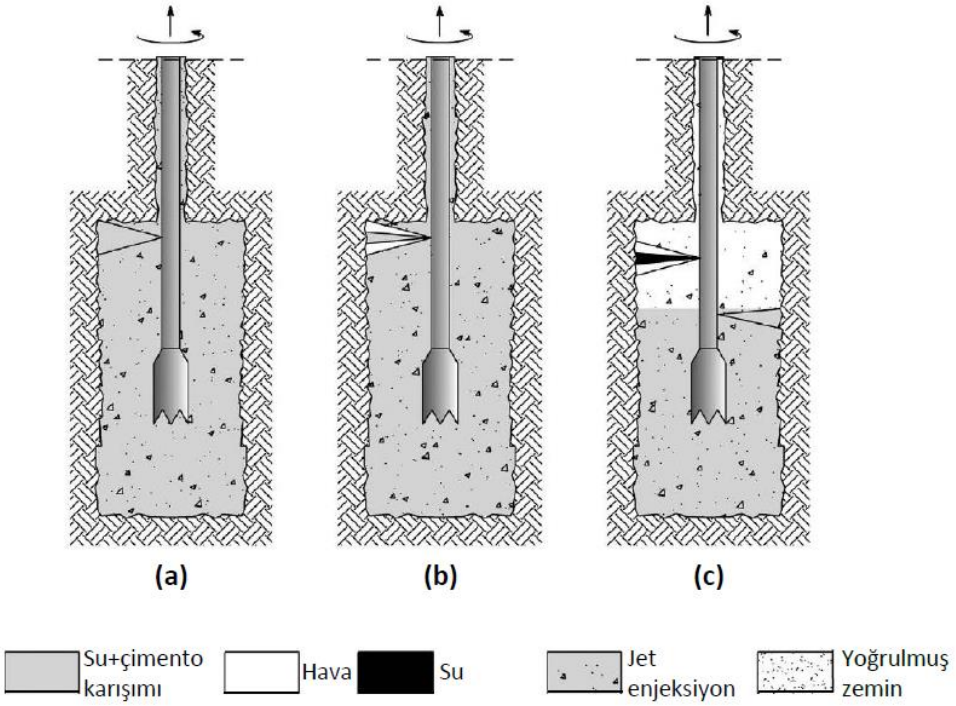
3 farklı çeşitte jet enjeksiyonu vardır. Bunlar;

- Tek akışkanlı sistem
- İki akışkanlı sistem
- Üç akışkanlı sistemdir (Croce vd. 2014).

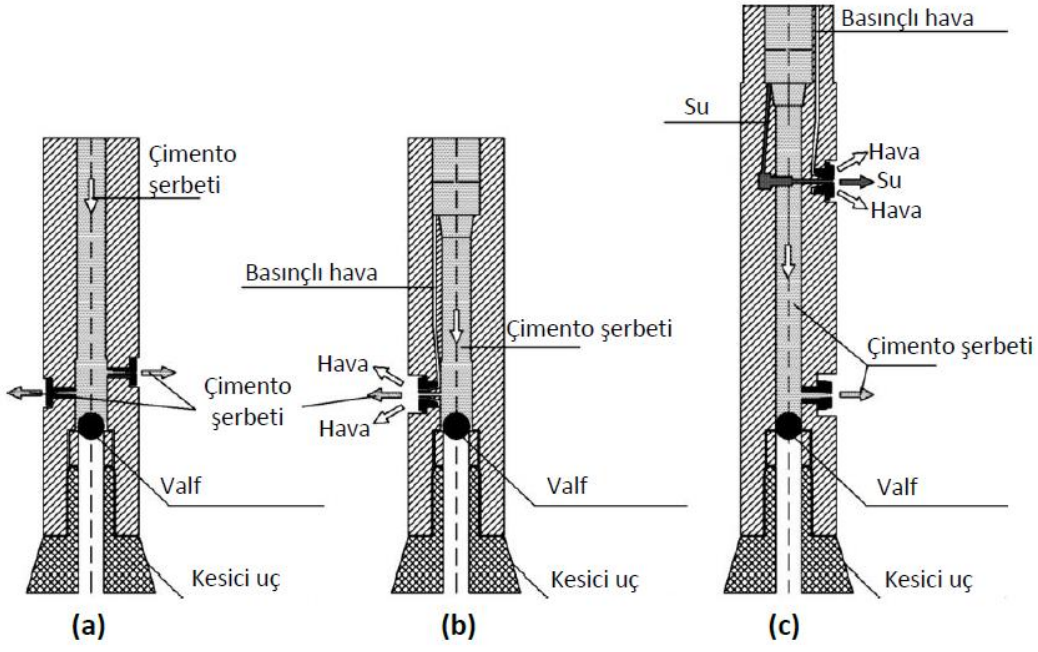
Tek akışkanlı sistemde zemin çimento-su karışımı olan harç yüksek basınçla enjekte edilmektedir. Bu yöntemde zeminin bu tek sıvı ile harmanlanması söz konusudur.

İki akışkanlı sistemde, tek akışkanlı sisteme ek olarak hava da kullanılır. Hava ile dağıtılan zemin enjeksiyon harcı ile doldurulur. Bu yöntemde havanın kullanılması enerji kayıplarının önüne geçer.

Üç akışkanlı sistemde ise, iki akışkanlı sisteme ek olarak su kullanılır. Zeminin parçalanması ve harçlanması birbirinden farklı kısımlarda gerçekleşir. Parçalama işlemi başlığın üst tarafında bulunan ağızlıklardan uygulanan basınçlı su ve hava ile sağlanır. Başlığın alt tarafında bulunan ağızlıktan ise çimento-su karışımı zemine enjekte edilir.



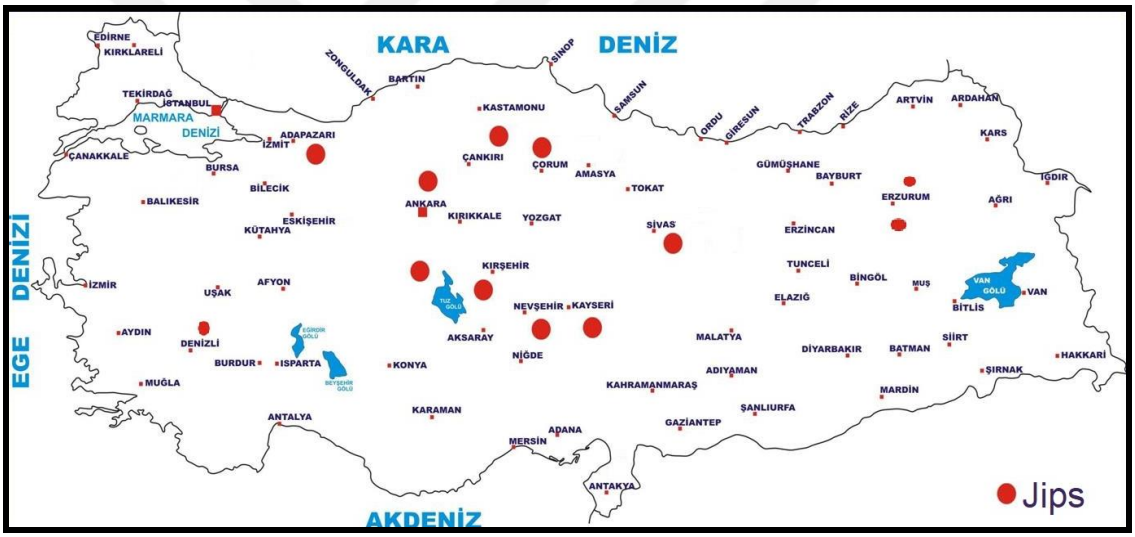
Şekil 2.19 Jet enjeksiyon sistemleri: (a) tek akışkanlı sistem, (b) iki akışkanlı sistem (c) üç akışkanlı sistem (Shibazaki, 2013)



Şekil 2.20 Üç farklı sistemde kullanılan jet borularının şematik görünümü: (a) tek akışkanlı sistem, (b) iki akışkanlı sistem, (c) üç akışkanlı sistem (Croce vd,2014)

3
MATERYAL VE YÖNTEM

Dünyada uzun yıllardır zemin iyileştirmesi amacıyla yöntemlerle çeşitli zeminler iyileştirilmiştir. Ülkemizde bir çok noktada bulunan jips mineralinin (Şekil 3.1) hem dolgu malzemesi olarak kullanılması hem de jips formasyonunda yapılacak olan bir tünel yapısının enjeksiyon yöntemiyle iyileştirilmesinin mümkün olup olmadığına yönelik bir çalışma bulunmamaktadır. Çimento-su karışımının düşük basınç ile jips içeren zeminlere enjekte edilmesiyle zeminin hangi oranda iyileşeceğinin araştırılması amaçlanmıştır.



Şekil 3.1 Ülkemizde bulunan Jips ve Kireç Taşı madenlerinin bulunduğu konumlar (Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü)

3.1 Enjeksiyon Uygulanan Zemin

İşbu tezde, ülkemizin bir çok bölgesinde rastlanan jips mineralinin dolgu zeminlerde kullanılmasının iyileştirilmesinde enjeksiyon yönteminin etkinliğinin incelenmesi amaçlanmıştır. Laboratuvar çalışmalarında, Jips-Kum-Çakıl karışımı zeminin, 2 farklı rölatif sıkılığına, 2 farklı tipteki çimentoyla ve 2 farklı su/çimento oranıyla, 1.5 bar basınç ile yapılan enjeksiyonun zeminin mühendislik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

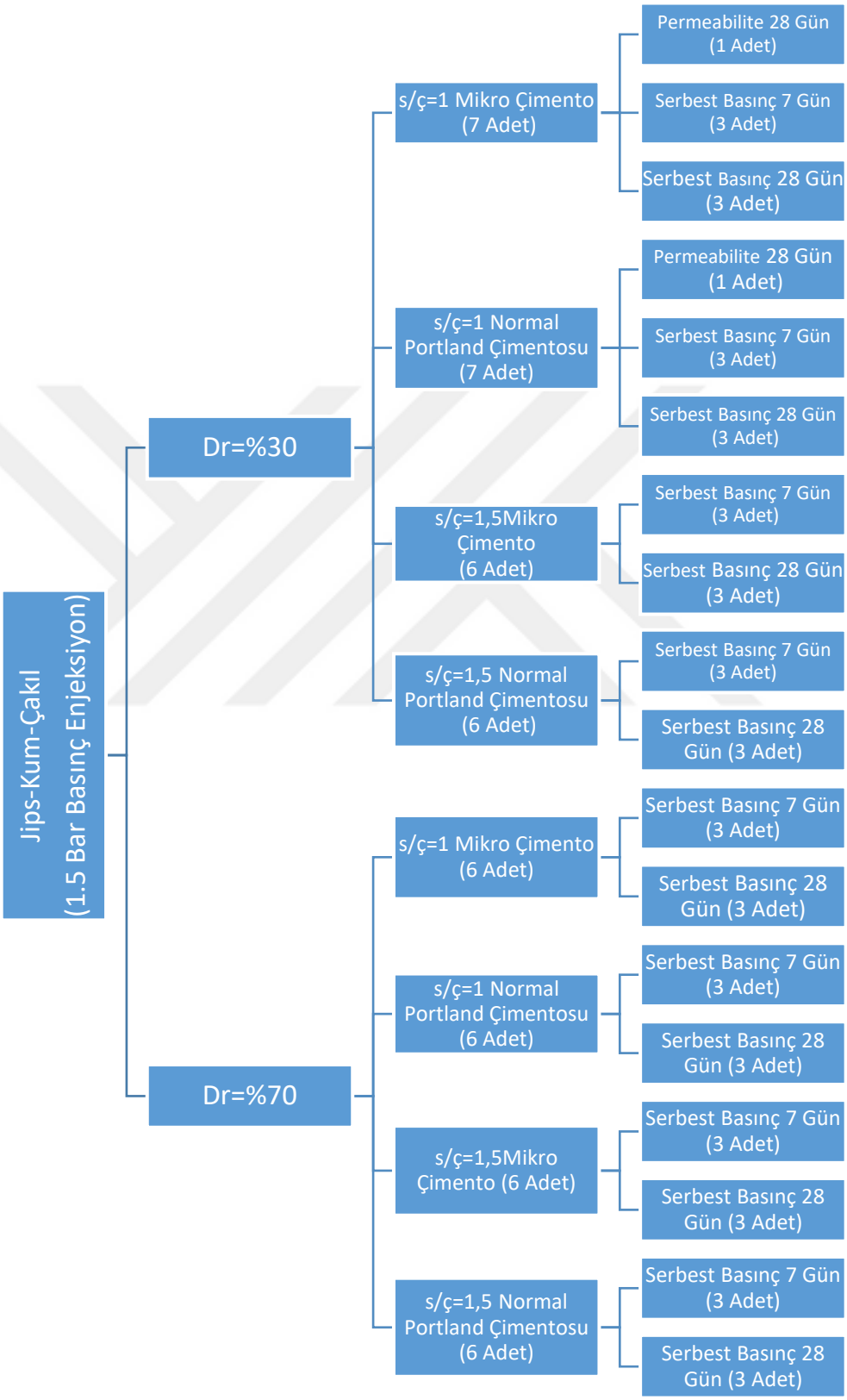
Bunun yanı sıra, Jips-Kum karışımı ve Jips malzemelerinden oluşan numunelere ise, enjeksiyonda kullanılan çimento-su karışımı ayrı ayrı karıştırılarak karışım katkılı numuneler oluşturulmuştur.

Deney sürecinde iyileştirilip karşılaştırılması amaçlanan 3 farklı tip zemin/zemin karışımı mevcuttur. Bunlar;

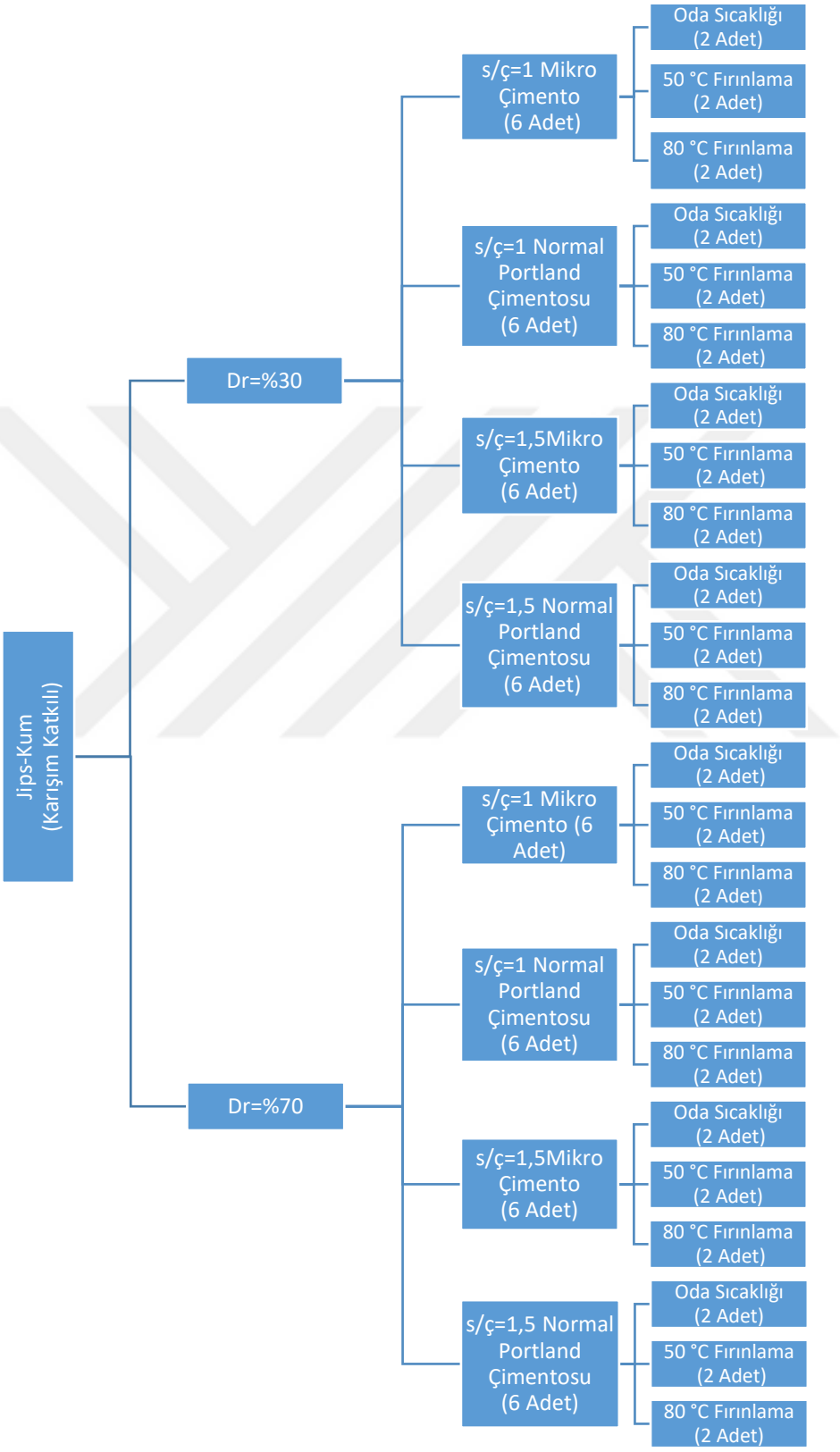
1. Jips-Kum-Çakıl karışımı (J-K-Ç)
2. Jips-Kum karışımı (J-K)
3. Jips (J)

Bu numunelere ait dağılım aşağıda Tablo 3.1, Tablo 3.2 ve Tablo 3.3'te verilmiştir.

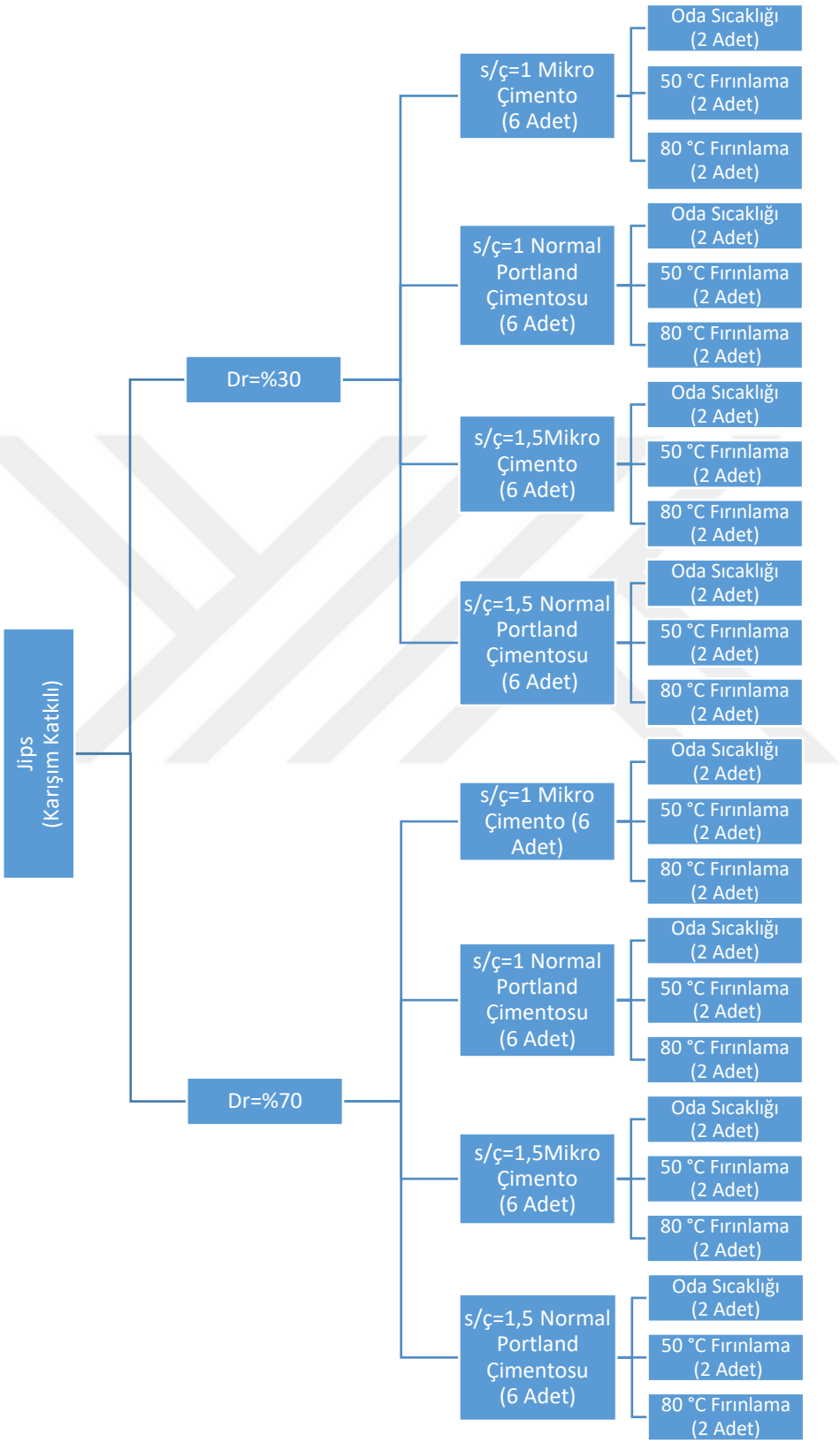
Tablo 3.1 Enjeksiyon yapılan Jips-Kum-Çakıl numunelerinin özelliklerine göre dağılımı



Tablo 3.2 Katkı karışımıyla iyileştirilen Jips-Kum numunelerinin özelliklerine göre dağılımı



Tablo 3.3 Katkı karışımıyla iyileştirilen Jips numunelerinin özelliklerine göre dağılımı



İyileştirmede kullanılan jips, kum ve çakıl malzemelerinin granülometrik eğrisi aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir (Şekil 3.2, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5). Jips numunesinin Erzurum'dan gelen hali fotoğraf olarak aşağıda gösterilmiştir (Şekil 3.1). Ancak numune öğütülmüş ve kompakte edilmiş olduğu için sahada bulunduğu gibi değil daha küçük danecik boyutlarıyla kullanılmıştır.

3.1.1 Jips

Jips ($CaSO_4 + 2H_2O$) doğada renksiz ve/veya beyaz renkte bulunan 120 °C'de fırınlanması sonucu suyunun büyük bir kısmını kaybederek alçıya dönüşen, monoklinik kristal sistemde, mohs sertlik skalasındaki değeri 2 ve özgül ağırlığı 2,32 gr/cm³ olan bir mineraldir. (MTA) Alçı tek başına ve/veya katkılarla birlikte, başta inşaat olmak üzere, sağlık, kimya ve tekstil endüstrilerinde yoğun olarak kullanılan bir malzemedir. Ateşe dayanıklı yapısı ve boşluklarının çok küçük olması sebebiyle üzerine gelen ses dalgalarını reflekte etmesi sebebiyle de ses ve ısı yalıtımında kullanılır (Karaman ve Kibici, 2008).

Ancak mineraller kendilerine özgü olan kimyasal özellikleri, farklı ergime derecesi ve kimyasal bileşenleriyle atmosfer ve çevre koşullarından kimyasal yol ile duraylılığını kaybeden ve ayrışan yapıdalardır. Bu ayrışan mineraller başka kimyasal olaylarla tekrar birleşerek teni minerallere dönüşebilmektedir. Jips minerali bu süreçler ile ayrışabilen bir mineraldir. Jips minerali içerinde bulunan kristal suyu (H_2O), düşük derecelerde ısıtılması sonucu kaybederek susuz kalsiyum sülfata ($CaSO_4$) yani anhidrite dönüşür (Yıldırım, 2013).

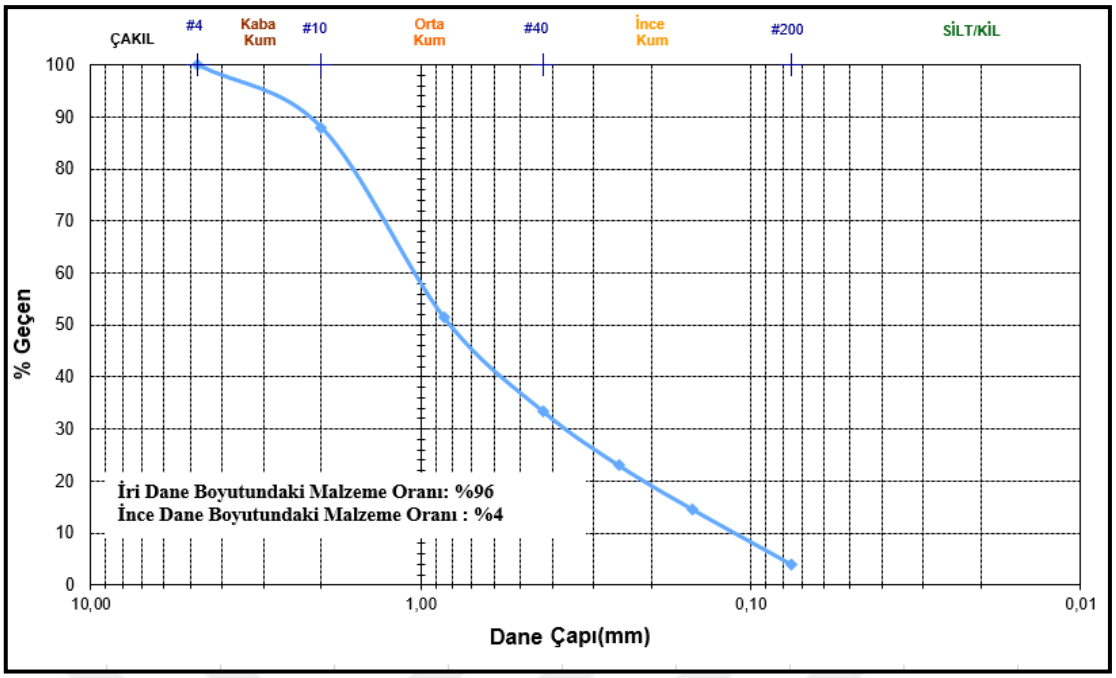
Jips ve anhidrit de içerisinde bulunan sülfatın etkisiyle betonun bozunmasına sebep olabilmektedir (Akman, 1990). Ayrıca anhidrit hidrate olarak jips mineraline dönüşür. Hidrate olmuş mineraller, sertliklerini kaybederek daha kolay eriyebilir duruma gelirler. Örneğin anhidritin hidratasyonu sonucu jipse dönüşürken hacminde % 30'luk bir artış meydana gelir ve bu da tünel yapılarının tabanlarında kabarmaya sebep olur. Bunun yanı sıra, kaya tuzu ve jips gibi mineraller asidik özellikli suların etkisinde kısa sürede kolaylıkla eriyerek çözünürler ve karstik yapılı jeomorfolojik şekiller oluştururlar (Yıldırım,2013).

Deneylerde kullanılan jips Erzurum'dan temin edilmiştir. Malzemenin jips olduğu ve mineralojik özellikleri Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi bünyesinde yapılan 35-30-MP-19, Standart Kalitatif Mineral Analizi

ile optik mikroskobik analiz yöntemler ile mineralojik bileşimleri tanımlanmış, XRD difraktogram üzerinden ASTM Standartlarına uygun olarak ayrıntılı mineralojik tanımlamalar yaptırılarak belirlenmiş ve kurumdan gelen sonuç belgesi Ekler kısmında Ek-A.1 olarak eklenmiştir.



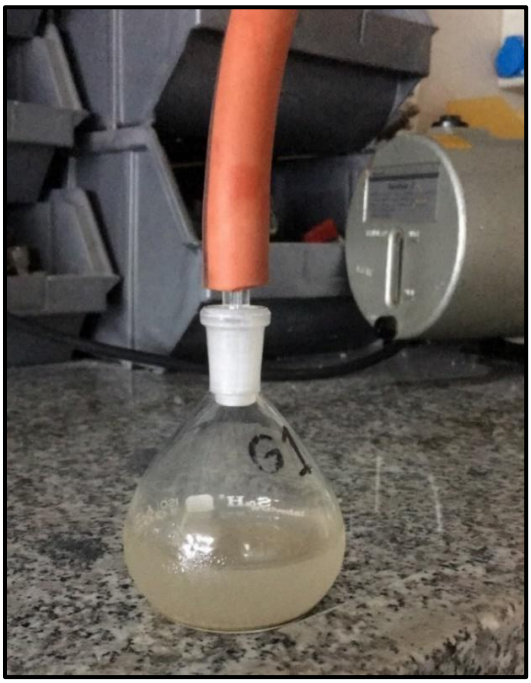
Şekil 3.2 Kullanılan jips numunelerinin kırılmadan önceki hali



Şekil 3.3 Kullanılan jips numunelerine ait granülometri eğrisi

3.1.2 Kum ve Çakıl

Kullanılan kum ve çakıl numunelerine Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Prof. Dr. Kutay Özaydın Geoteknik Laboratuvarında piknometre, doğal su muhtevası ve elek analizi deneyleri uygulanmış ve sonuçları Tablo 3.4'de aşağıda gösterilmiştir.



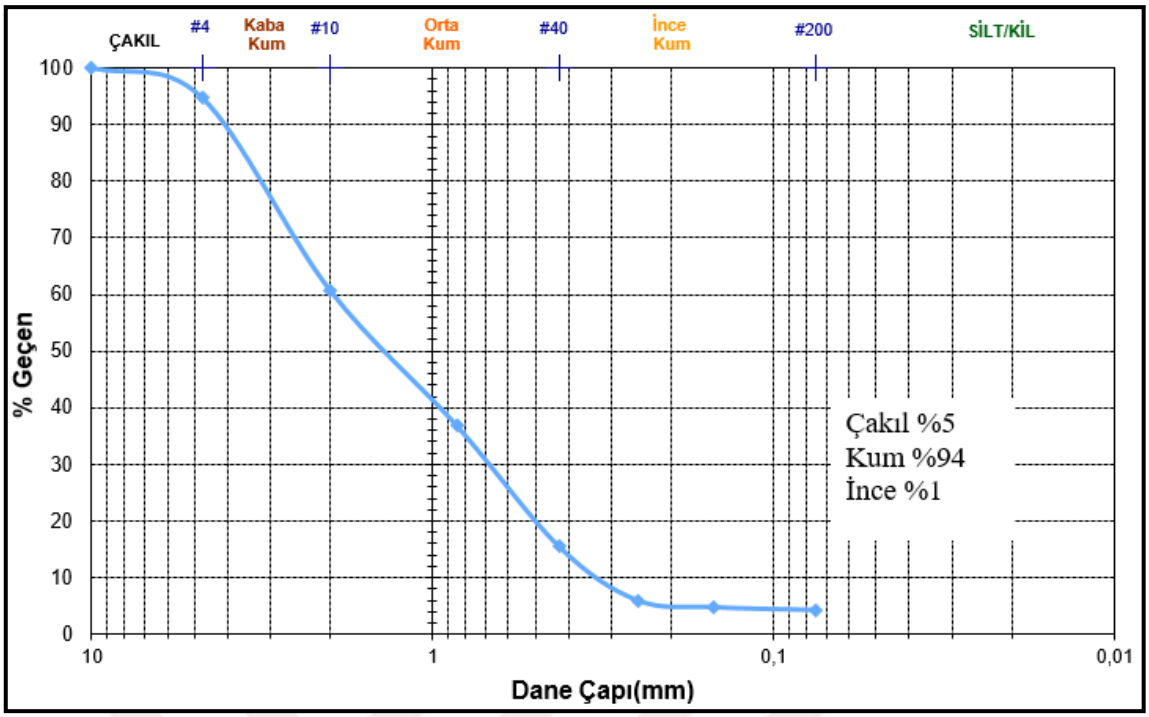
Şekil 3.4 Piknometre deneyi

Tablo 3.4 Kum numunesi piknometre deney sonuçları

Numune	**Kum**	
Piknometre No:	12	12
Kuru Zemin Ağırlığı (W_1) (gram)	6.50	5.00
Su + Piknometre Ağırlığı (W_2) (gram)	100.00	100.00
W_1+W_2 (gram)	106.50	105.00
Su + Piknometre Ağırlığı + Zemin Ağırlığı(W_3) (gram)	104.04	103.12
$W_1+W_2-W_3$ (gram)	2.46	1.88
$Gs=W_1/(W_1+W_2-W_3)$(gram/cm³)	2.64	2.66
Ortalama Gs	2.65	

Tablo 3.5 Kum numunesinin tabii su muhtevası sonuçları

Kum		
Kap No:	1	2
Islak Numune + Dara (gram)	567	570,5
Kuru Numune + Dara (gram)	563.5	566.5
Su Miktarı (gram)	3.5	4.0
Dara (gram)	505	512.1
Kuru Zemin (gram)	58.5	54.4
Su Muhtevası (%)	5,98	7,35
Ortalama Su Muhtevası (%)	6,67	



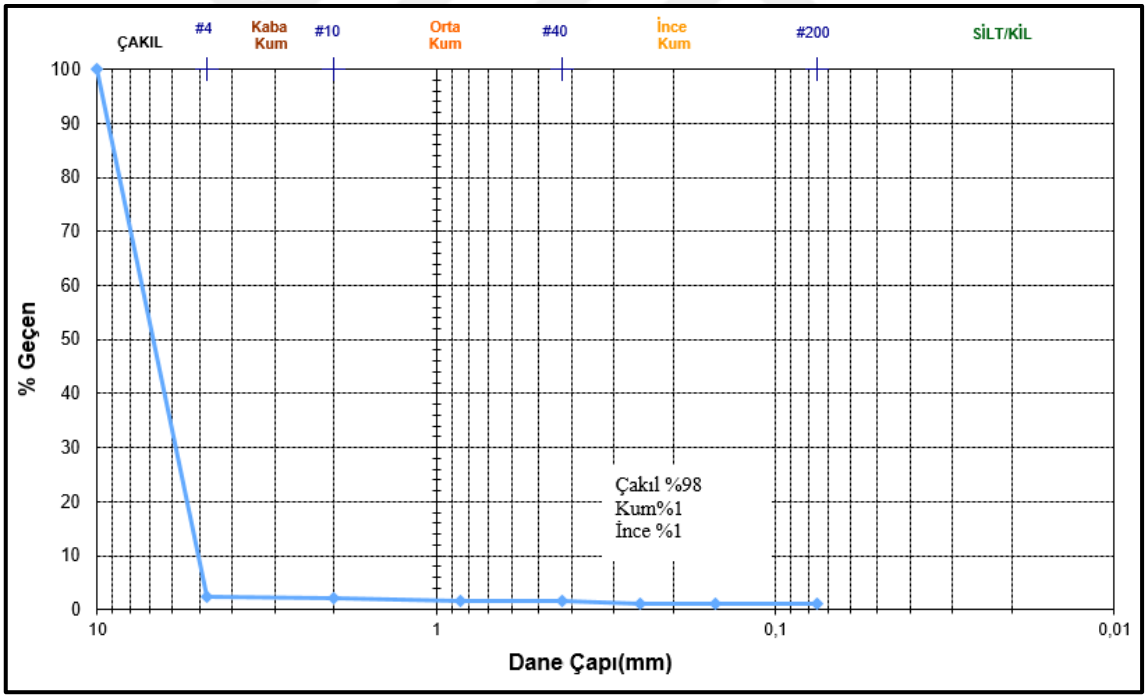
Şekil 3.5 Kullanılan kum numunesine ait granülometri eğrisi

Tablo 3.6 Çakıl numunesi piknometre deney sonuçları

Numune	**Çakıl**	
Piknometre No:	12	12
Kuru Zemin Ağırlığı (W_1) (gram)	5.00	5.21
Su + Piknometre Ağırlığı (W_2) (gram)	100.00	100.00
W_1+W_2 (gram)	105.00	105.21
Su + Piknometre Ağırlığı + Zemin Ağırlığı(W_3) (gram)	103.14	103.28
$W_1+W_2-W_3$ (gram)	1.86	1.93
$Gs=W_1/(W_1+W_2-W_3)$(gram/cm³)	2.69	2.70
Ortalama Gs	2.69	

Tablo 3.7 Çakıl numunesinin tabii su muhtevası sonuçları

Çakıl		
Kap No:	1	2
Islak Numune + Dara (gram)	652.3	665.4
Kuru Numune + Dara (gram)	647.5	659.5
Su Miktarı (gram)	4.8	5.9
Dara (gram)	505.0	512.1
Kuru Zemin (gram)	142.5	147.4
Su Muhtevası (%)	3.37	4.00
Ortalama Su Muhtevası (%)	3.69	



Şekil 3.6 Kullanılan çakıl numunelerine ait granülometri eğrisi

3.2 Enjeksiyonda Kullanılan Çimentolar

Deneyde 2 farklı çimento kullanılmıştır.

1. MasterRoc MP650 Mikro Çimento
2. Nuh Çimento CEM-I 42.5 R Normal Portland Çimentosu

3.2.1 MasterRoc MP650 Mikro Çimento Özellikleri

MasterRoc MP 650, saf portland çimentosu klinkerinden öğütülmüş ve 650 m^2/kg Blaine değerine sahip iyi derecelendirilmiş bir mikro çimentodur. MasterRoc MP 650 mikro çimento, küçük parçacık boyutlarına sahiptir ve bu özelliği ile dar derzlere, çatlaklara ve boşluklara nüfuz etmesini arttırıcı özelliğidir. Bu üstün penetrasyon özelliği kayalarda ve zeminlerde, sıradan portland çimentosundan çok daha etkili bir su geçirmezlik sağlar. (BASF, 2018)

Özgül Yüzey Alan – Blaine: 1 gram çimentonun içindeki taneciklerin cm^2 cinsinde yüzey alan toplamıdır. Blaine değerinin yüksek olması erken dayanımı, priz süresini ve su ihtiyacını etkileyebilmektedir. Katkılı çimentolarda(kalker, cüruf ve uçucu kül içeren) blaine değeri yüksek olabilmektedir.

3.2.2 Mikro Çimento Uygulama Alanları

Mikro çimentolar günümüzde yaygınlığı artarak kullanılmaya devam etmektedir. Kullanım sebepleri ise 2 µm'den küçük çimento tanecikleri çok hızlı reaksiyona girer, çok hızlı priz alır ve betonda yüzeysel çatlaklara neden olur. 60 µm'den büyük tanecikler ise çok yavaş reaksiyona girer ve hiçbir zaman tam hidrate olamazlar. Kısacası verimleri çok düşüktür. 2-30 µm arası en ideal aralıktır. Bu aralıktaki ince taneler erken dayanıma, iri taneler ise geç dayanıma katkıda bulunur. Mikro çimento kullanılan uygulamalar ise;

1) Kazı öncesi veya sonrası tünellerin, oyukların ve madenlerin stabilizasyonunda
2) Yer altı suyu sızdırmazlığının sağlanmak istenildiği yerlerde
3) Kontak enjeksiyonu
4) Patlatma enjeksiyonu

3.2.3 Mikro Çimentonun Özellikleri

1. Hızlı priz alma süresi
2. Durabilite

3. Uygun Maliyet
4. İnce partikül boyutları
5. Zararsız, tehlikesiz

3.2.4 Mikro Çimentonun Avantajları

1. Dar derzlerde, çatlaklarda ve gözenek boşluklarında kusursuza yakın penetrasyon
2. Doğru uygulama sonrasında daha düşük permeabilite değerleri
3. Geliştirilmiş enjeksiyon verimliliği ve daha az atık
4. Daha iyi çalışma ortamı

3.2.5 Kullanılan Mikro Çimentonun Performans Özellikleri

3.2.5.1 Kullanılan Mikro Çimentonun Fiziksel Özellikleri

Tablo 3.8 Emaco MasterRoc MP650 Mikro Çimentonun fiziksel özellikleri

Teknik Özellikler			
İncelik (Özgül Yüzey – Blaine)		>625 m²/kg	
Partikül Boyutu Dağılımı			
<40 µm	% 100	<5 µm	% 50
<30 µm	% 99	<2 µm	% 23
<20 µm	% 97	d_{95}	13 µm
<15 µm	% 93	d_{50}	5 µm
<10 µm	% 80	d_{25}	2 µm

3.2.5.2 Kullanılan Mikro Çimentonun Priz Süresi

Vicat iğnesi tekniği ile su/çimento oranı 1 olan ve 20° C ortam koşullarındaki saf numunenin priz süreleri aşağıdaki gibidir.

Başlangıç Priz Süresi : 60-120 dk.

Bitiş Priz Süresi: 120-150 dk.

3.2.5.3 Kullanılan Mikro Çimentonun Priz Süresi

Karıştırıcı suyla doldurulur, daha sonra çimento eklenerek 2 dakika süreyle karıştırılır. MasterRheobuild1000 katkısı eklenir ve 2 dakika daha karıştırılarak tanka eklenir.

Verimli bir karıştırıcı kullanmak çok önemlidir. Kolloid karıştırıcılar tercih edilir ve tam karıştırma için en iyi sonuçları verir. Kolloid karıştırıcılar için minimum hız 1500 RPM (devir/dakika) olmalıdır.

3.2.6 Kullanılan Katkılar

Deneyde MasterRoc MP650 Mikro Çimento kullanılan enjeksiyon harçlarında özgül ağırlığı 1.24 g/cm³ ve pH değeri 8.0 olan MasterRheobuild1000 katkısı kütlece % 1,5 oranında kullanılmıştır.



Şekil 3.7 Kullanılan MasterRheobuild 2000PF katkısı

3.2.2 Nuh Çimento CEM-I 42.5 R Portland Çimentosu

Deneylerde kullanılan kontrol parametrelerinden birisi de çimentodur. Mikro çimentonun yanı sıra kolayca bulunabilen Portland Çimentosuyla deneyler arasında karşılaştırılma yapılmıştır. Deneylerde Kocaeli Hereke 'de bulunan Nuh Çimento'ya ait tesislerde TS EN 197-1:2012 standardına göre üretilen CEM-I 42.5 R Portland Çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal bileşenleri ve fizikomekanik özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 3.9 ve Tablo 3.10).

Tablo 3.9 Nuh Çimento CEM-I 42.5 R Portland Çimentosu kimyasal bileşenleri

Kimyasal Bileşen	**İçerik Oranı (%)**	**Kimyasal Bileşen**	**İçerik Oranı (%)**
Kalsiyum oksit (CaO)	62.70	Potastum Oksit (K_2O)	0.41
Silisyumdioksit (SiO_2)	20.50	Sodyum Oksit (Na_2O)	0.18
Aluminyum Oksit (Al_2O_3)	4.65	Klow (Cl^-)	0.01
Demir (III) Oksit (Fe_2O_3)	3.40	Titanyum dioksit (TiO_2)	-
Kükürt Trioksit (SO_3)	2.21	Kızdırma Kaybı	2.15
Magnezyum Oksit (MgO)	1.02	Çözünmeyen Katı	0.60

Tablo 3.10 Nuh Çimento CEM-I 42.5 R Portland Çimentosu fizikomekanik özellikleri

İncelik (Özgül Yüzey – Blaine)	351 m²/kg	Basınç Dayanımları (Maksimum Dayanım)	
Özgül Ağırlık g/cm³	3.16-3,21	2 Gün (48 Saat), MPa	30.2
Priz Başlama Periyodu, Dakika	20.50	7 Gün (168 Saat), MPa	51.1
Priz Bitiş Periyodu, Dakika	1.02	28 Gün (672 Saat),MPa	62.2

4
DENEYSEL ÇALIŞMA VE SONUÇLARI

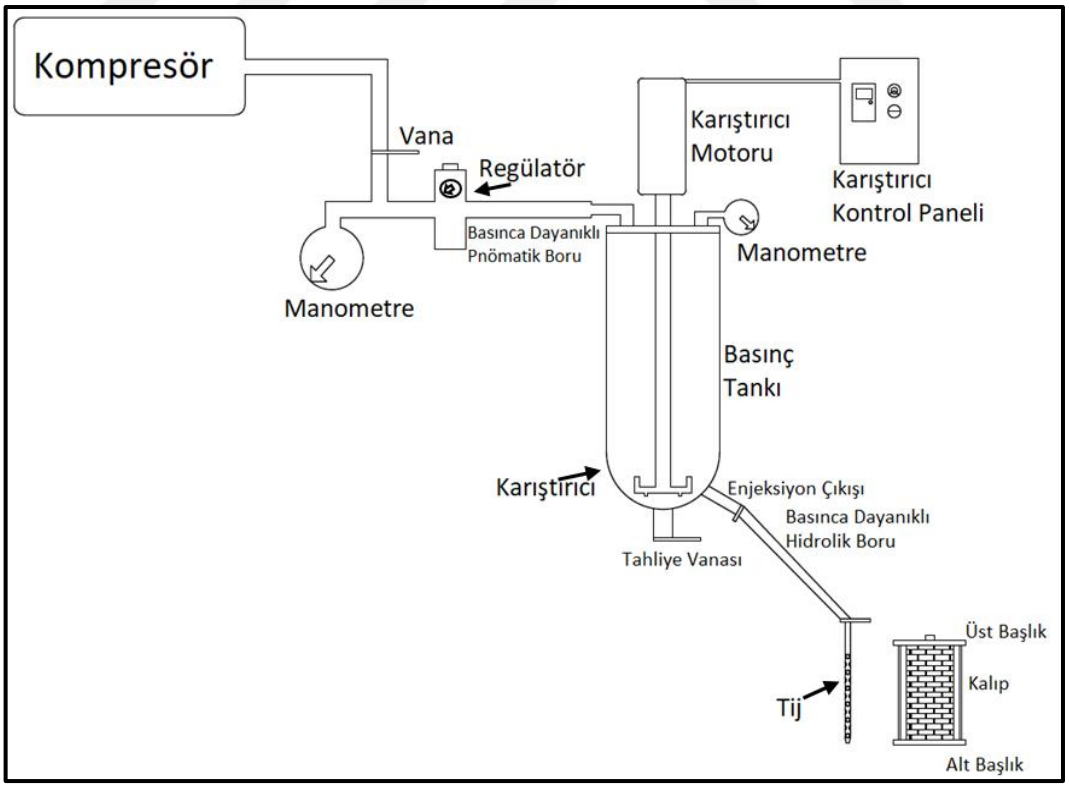
Deneysel olarak hazırlanan bu çalışma jips içeren bir zeminde, enjeksiyonunun kısa süreli olarak zemini iyileştirmesine etkileri incelenmiştir. Deney düzeneği literatürde yer alan çeşitli çalışmaların ve güncel olarak yapılan uygulamalarda kullanılan yöntemler ve düzeneklere bağlı olarak hazırlanmıştır.

4.1 Deney Düzeneği

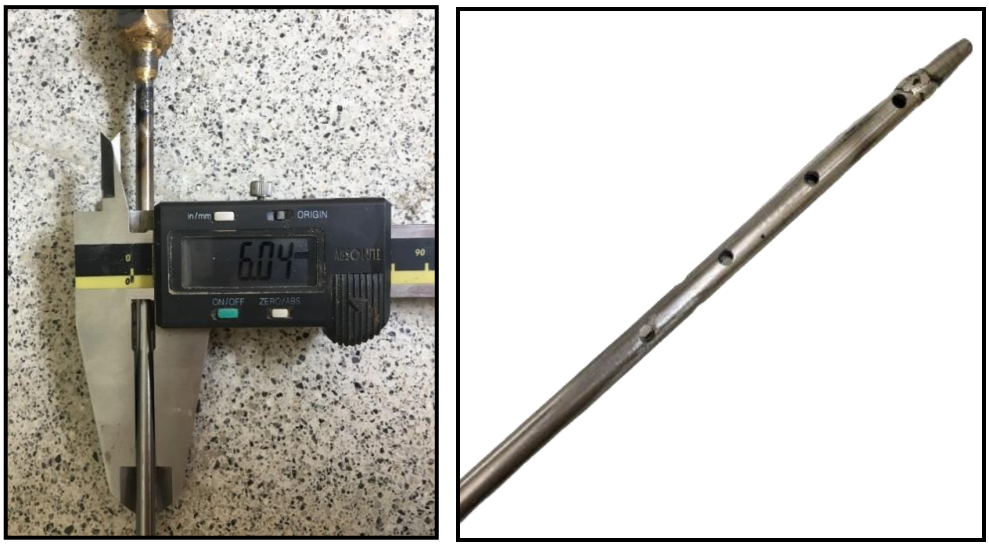
Deney düzeneği Şekil 4.1'de görüldüğü gibi ana basınç tankından borular sayesinde sistemde basınç oluşturulur. Sisteme gelen basınçlı boru T dirsek ile ayrılıp bir ucu sistemdeki mevcut basıncı sürekli ölçer pozisyonda konumlandırılırken diğer ucu enjeksiyon sistemine gitmektedir. Sisteme uygulanacak basıncı ölçmek ve kontrol etmek amacıyla malzeme tankından önce bir düzenleyici (regülatör) yardımıyla hem sistemin basıncı ölçülmekte olup hem de basınç ayarlanabilmektedir. Malzeme tankında, biri tabanda (tahliye çıkışı), diğeri ise tabandan 3 santimetre yüksekte 45° açıyla yerleştirilmiş ve grout harcını hidrolik boru ile tije ileten 2 çıkış bulunmaktadır. Ayrıca malzeme tankının üst kapağı Metrik 14 boyutunda 4 vida malzeme tankına sabitlenmektedir. Enjeksiyonda kullanılan çimento süspansiyonu önce dışarıda kullanılacak reçeteye göre hazırlanıp daha sonra malzeme tankına dökülmektedir. Dökülen süspansiyonun çökelmemesi veya ayrışmaması için malzeme tankının kapağına yerleştirilmiş, elektrik motoru ile desteklenen 1500 RPM (Revolutions per minute -Dakikadaki devir sayısı) gücünde sabit hızla dönen ve ucunda çıkıntı bulunan bir karıştırıcı (Şekil 4.4) da mevcuttur. Yine de hazırlanan çimento harcının çökelmesi ihtimaline karşı enjeksiyon çıkışı tabandan değil, tabandan 3 santimetre yukarıda açılan bir delikten sağlanmaktadır. Sistemin çeşitli noktalarında sistemde yaşanabilecek tıkanmalara müdahale etmek amacıyla kontrol vanaları da bulunmaktadır. Malzeme tankında bulunan grout harcı sisteme sağlanılan ve sabit olarak 1.5 bar olan basınç ile hidrolik boru ile tije iletilir. Tij (Şekil 4.2) üzerinde, ikişerli gruplar halinde ve birbirlerine göre 180 ° açıyla ve şaşırtmalı olarak yerleştirilmiş 14 adet; 1 adet de tijin uç kısmında bulunmak suretiyle toplam 15

adet 2,5 mm çapında çıkış bulunmaktadır. Grout harcını hidrolik boruya ileten çıkış vanası kapalı olan tanka basınç verilirken aynı zamanda karıştırıcı grout harcının çökelmemesi için 1500 RPM hızla çalıştırılır. Malzeme tankındaki basıncı sabitlenene kadar vanalar açılmaz ve basıncın sabitlenmesi için beklenir. Önceden istenilen malzeme ve sıkılıkta sıkıştırılırlarak hazırlanan numunelerin yerleştirildiği ve numunelerin rahatlıkla kalıptan çıkması için kalıp yağı ile yağlanmış deney kalıplarında enjeksiyon yapılır. Enjeksiyonun numune kaplarının çeperlerine kadar gelene kadar o seviyede enjeksiyona devam edilir ve tij yukarı çekilerek numunenin tamamen çimento süspansiyonu ile kaplanması sağlanır. Bu işlemler her numune için tekrarlanır. Enjeksiyon yapılmış numunelerin priz alması için oda sıcaklığında ve güneş almayan bir ortamda bekletilir. Numunelerin enjeksiyondan önceki ve sonraki ağırlıkları tartılarak numuneye yapılan enjeksiyon miktarı ağırlıkça belirlenir. Numuneler priz alması sonrası kalıplarından hidrolik kriko (Şekil 4.15) yardımı ile çıkarılarak kürlenmesi için oda sıcaklığında bekletilir.

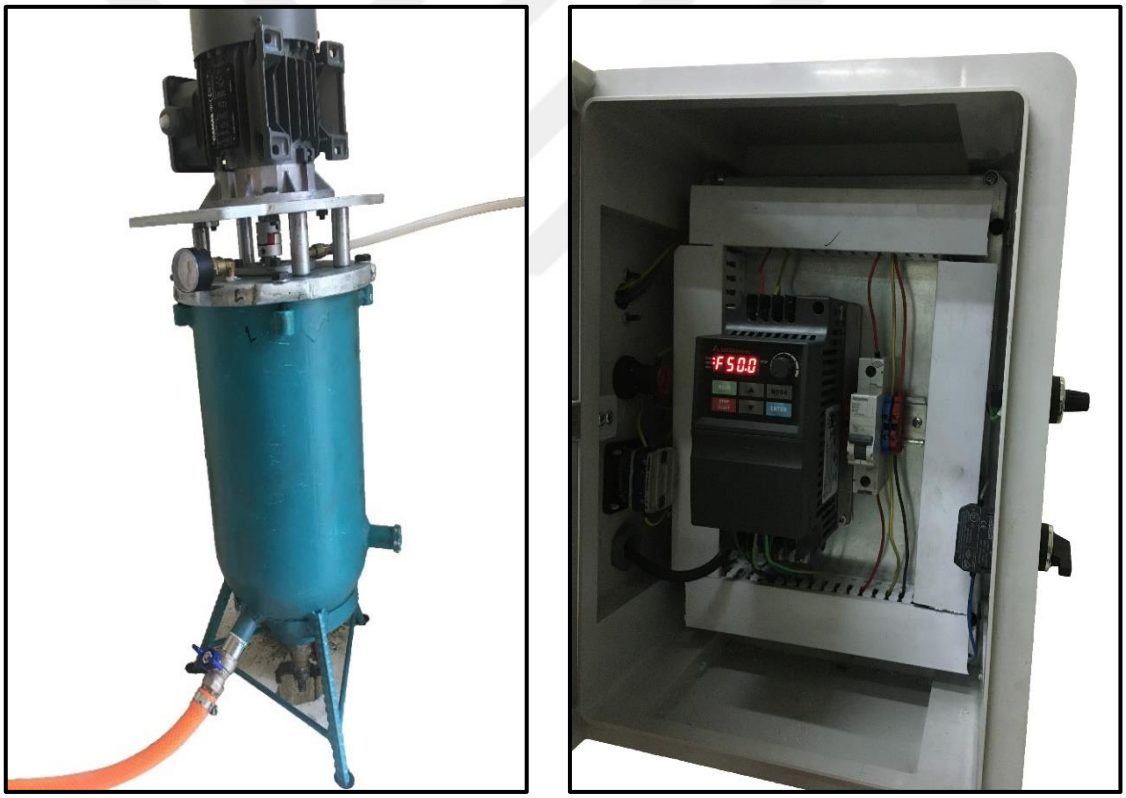
4.2 Enjeksiyon Deneylerinde Kullanılan Deney Düzeneği ve Deney Elemanları



Şekil 4.1 Deney düzeneği şeması



Şekil 4.2 Enjeksiyonda kullanılan tij



Şekil 4.3 Enjeksiyonda kullanılan karıştırıcı motoru ve karıştırıcı motoru kontrol paneli



Şekil 4.4 Grout harcının çökelmemesi veya ayrışmaması için kullanılan karıştırıcı

4.3 Deney Numunelerinin Oluşturulması ve Numunelere Yapılan Dayanım ve Permeabilite Testleri

4.3.1 Deney Numuneleri ile İlgili Bilgiler

Deneylerde 3 farklı malzeme kombinasyonunda (Jips + Kum + Çakıl (ağırlıkça % 20-% 40-% 40), Kum + Jips (ağırlıkça % 50-% 50) ve Jips), 2 farklı rölatif sıkılıkta (Dr= % 30 ve Dr=% 70), 2 farklı çimentoyla (Nuh Çimento CEM-I 42,5 R Portland Çimentosu ve MasterRoc MP 650 Mikro Çimento), 2 farklı su/çimento oranında (s/ç= 1/1 ve s/ç=3/2) basınç deneylerinde kullanılmak üzere 148 farklı numune hazırlanmıştır. Deneylerde kullanılacak malzeme miktarının belirlenmesi için rölatif sıkılık deneyleri yapılmıştır.

J-K-Ç numuneleri çapları 103 mm, yükseklikleri 206 mm olan kalıplarda hazırlanmıştır. Bu numuneler kalıplarda sıkıştırılarak 1.5 bar basınç altında enjeksiyon yapılmıştır. J ve J-K numuneleri ise çapları 44 mm yükseklikleri 88 mm olan kalıplarda hazırlanmıştır. Bu numuneler ise bir kapta çimento-su karışımı ile karıştırılıp daha sonra kalıplarda sıkıştırılmıştır. Kutay Özaydın Geoteknik Laboratuvarı'nda hazırlanan numunelerin basınç dayanımları, Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi

Laboratuvarında kırılmıştır. Permeabilite deneyleri ise Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Çevre Geotekniği Laboratuvarı'nda hazırlanmıştır.

Tablo 4.1 Deneylerde kullanılan kalıpların boyutları

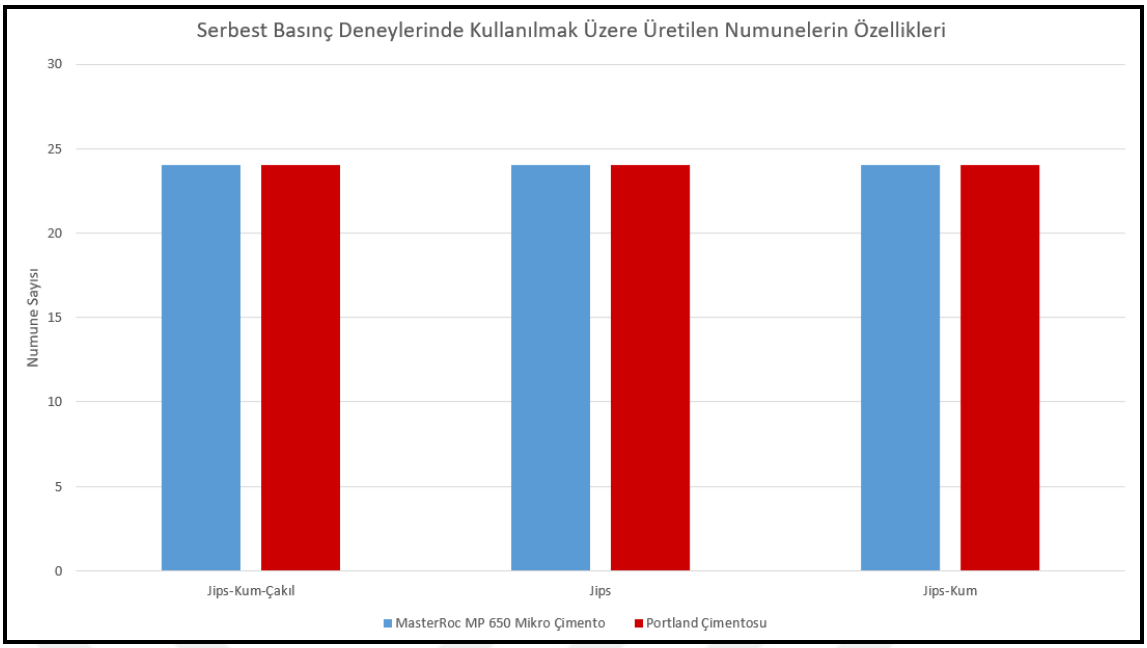
	Serbest Basınç			Permeabilite
	Jips-Kum-Çakıl	Jips-Kum	Jips	Jips-Kum-Çakıl
Ø (mm)	103	44	44	100
h (mm)	206	88	88	200

Hazırlanan 48 J-K-Ç numunesinden, gereken numunelere başlıklama işlemleri yapıldıktan sonra 7 ve 28 günlük dayanımlarını kazanmalarının ardından Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda kırılmıştır.

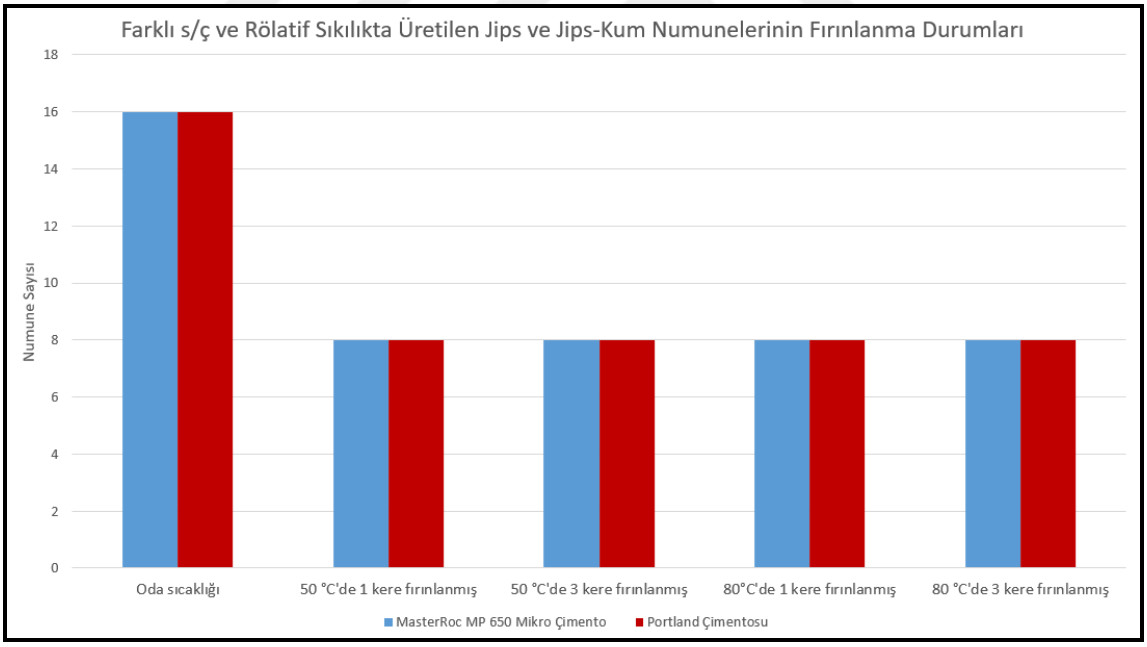
Hazırlanan 48er adet J-K ve J numunelerinden, 2/6'sı, (32 tanesi) oda sıcaklığında bekletilmiş ve 28 günlük dayanımlarını kazanmaları sonrasında; 1/6'sı (16 tanesi) 1 kere, 1/6'sı (16 tanesi) 3 kere 50°C'de fırınlandıktan sonra; 1/6'sı (16 tanesi) 1 kere, 1/6'sı (16 tanesi) 3 kere 80°C'de fırınlandıktan sonra serbest basınç deneyinde kırılmıştır. (Tablo 3.1, Tablo 3.2 Tablo 3.3 ve Ek-B)

Ayrıca Jips ve Jips-Kum numunelerine ait fırınlama sonrası kütle değişimi ve dayanım karşılaştırma grafikleri Ek-D kısmında verilmiştir.

J-K-Ç numunesinden 2 adet (Dr=% 30 ve Portland Çimentosu ve MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı) numuneye permeabilite deneyleri yapılmış ve sonuçlar incelenmiştir.



Şekil 4.5 Serbest basınç deneylerinde kullanılmak üzere üretilen Jips-Kum-Çakıl, Jips-Kum ve Jips içeren numunelerin özellikleri



Şekil 4.6 Farklı s/ç ve rölatif sıkılıkta üretilen Jips ve Jips-Kum numunelerinin fırınlanma durumları

4.3.2 Ön Deneylerin Yapılması

Deneylere başlamadan önce referans değerler belirlenerek çalışmalara başlanmıştır. 3 farklı çakıl ve 3 farklı kum numunesine çeşitli kombinasyonlarına rölatif sıkılık tayini deneyleri yapılmıştır. Rölatif sıkılık tayinleri sonrası daha önceden yağlanmış kalıplarda % 30 ve % 70 rölatif sıkılıkla sıkıştırılarak numuneler hazırlanmıştır. Mori (1992)'nin yaptığı çalışmada enjeksiyon basıncının enjekte edilebilirlikle doğru orantılı bir ilişki tespit etmesiyle deneylere 4 bar basınç ile başlanmıştır. s/ç oranı 0,5-1,0-1,5 ve 2,0 olan grout harçları hazırlanan zeminlere enjekte edilmiştir. Tijin dış çapının 6 mm olması ve 4 bar enjeksiyon basıncı grout harcının ayrışmasına ve grout harcının prizinin hızlanarak tij içerisinde priz almasına neden olmuştur. Bu deneyler neticesinde başarısız enjeksiyonlar elde edilerek Akbulut ve Sağlamer'in 2002'de önerdiği s/ç oranının 0,8-2,0 ve enjeksiyon basıncının ise 50-200 kPa olarak önerdiği çalışma referans alınarak çalışmalara devam edilmiştir. Çalışmalar neticesinde enjeksiyon basıncının 1,5 bar ve kullanılan kum ve çakılın ise granülometri eğrileri Şekil 3.5 ve 3.6'da verilen kum ve çakıl olmasına karar verilmiştir



a) b)

Şekil 4.7 a) Kalıplara yerleştirilmek üzere hazırlanan Kum-Çakıl numunesi
b) enjeksiyon yapılan Kum-Çakıl numunesi



Şekil 4.8 Yetersiz enjeksiyon basıncı sonrası başarısız olarak sonuçlanan numune

4.3.3 Deney Numuneleri Başlıklanması İşlemi

Enjeksiyon yapılan numunelerin kırım öncesinde ilk prizlerini alacakları süre boyunca alt ve üst başlıkları olmasına rağmen zemin malzemelerinin anizotropik yapısı ve rötre sebebiyle numune başlıklarında bir takım şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Bu şekil değiştirmeler basınç dayanımı deneyini etkilemektedir. Basınç kuvveti uygulanması beklenilen numunelerin başlıkları farklı olması ve numunede eksantrisite bulunması durumunda basınç kuvvetlerinin yanı sıra kesme kuvvetleri etki edeceğinden, dayanım olması gerekenden farklı çıkması beklenmektedir. Bu sebeplerden dolayı başlıkları düzgün olmayan numunelere TS-EN 12390-3 Ek-A-3 maddesine uygun olarak, başlıklama işlemi uygulanmıştır.



Şekil 4.9 TS EN 12390-3 Ek-A-3'e uygun şekilde başlıklama işlemi yapılan numune

4.3.4 Permeabilite Deneyleri

Zeminler boşluklu yapıda bulunan geçirimliliği olan malzemelerdir. Zeminlerin üstünde bulunan su zamanla sızarak aşağıda bulunan geçirimsiz tabaka sınırlarına kadar inmektedir. Bu geçirimliliği yerçekimi kuvvetleri, kılcallık ve uygulanan dış yükler sağlar. Bu sızma olayı geçirimlilik olarak tanımlanmakta ve k ile gösterilmektedir.

Bu ***k*** katsayısı iki farklı deney ile bulunabilmektedir. Bunlar Düşen Seviyeli Permeabilite Deneyi ve çalışmamızda da kullandığımız Sabit Seviyeli Permeabilite Deneyleridir. Sabit Seviyeli Permeabilite Deneyi, ASTM D2434 - 19 standardına göre yapılmaktadır.

$$k = \frac{\mathrm{Q.L}}{\Delta h.A.t} \tag{4.1}$$

Yukarıda verilen bağıntıda, k, permeabilite katsayısını (santimetre/saniye); Q, geçen su miktarını (cm^3); L , numune boyunu, Δh deneyde kullanılan sabit su yüksekliği (santimetre); A, numune alanı (cm^2); t, geçen süreyi (saniye) ifade etmektedir.

İlk durumda % 30 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips-Kum-Çakıl numunesi üzerinde yapılan sabit seviyeli permeabilite deneyinde, elde edilen permeabilite katsayısı, k, 1,1282 x 10^{-3} santimetre/saniye olarak tespit edilmiştir. Enjeksiyonun permeabilite üzerinde etkisinin de irdelenmesi amacıyla portland çimentosu ve MasterEmaco MP650 Mikro Çimento +% 1.5 Katkı ile s/ç oranı 1 olacak şekilde enjeksiyon yapılan numunelere de permeabilite deneyi yapılmıştır.

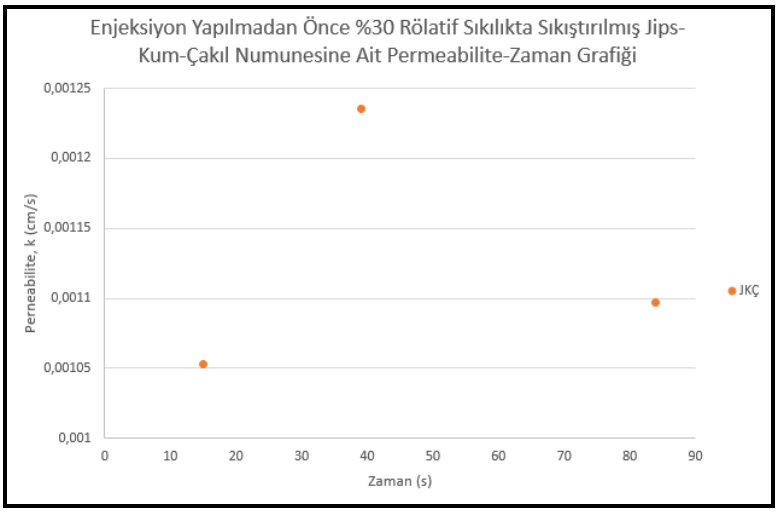
Portland çimentosu ile yapılan enjeksiyon sonrası elde edilen ve 28 günlük dayanımı sonrası sabit seviyeli permeabilite deneyine tabi tutulan numunenin permeabilite katsayısı, k , 4,131 x 10^{-5} santimetre/saniye olarak tespit edilmiştir.

MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile yapılan enjeksiyon sonrası elde edilen ve 28 günlük dayanımı sonrası sabit seviyeli permeabilite deneyine tabi tutulan numunenin permeabilite katsayısı, k , 3,1065 x 10^{-6} santimetre/saniye olarak tespit edilmiştir.

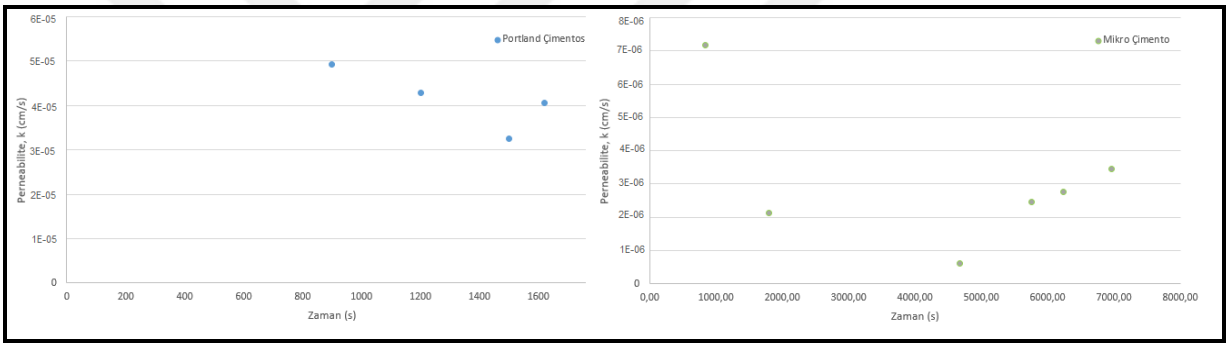
Portland çimentosu ile yapılan enjeksiyonun enjeksiyon yapılmayan enjeksiyona oranla yaklaşık 27 kat daha az geçirimli iken, mikro çimento ile yapılan enjeksiyonun, enjeksiyon yapılmayan zemine göre yaklaşık 363 kat daha az geçirimli olduğu tespit edilmiştir.



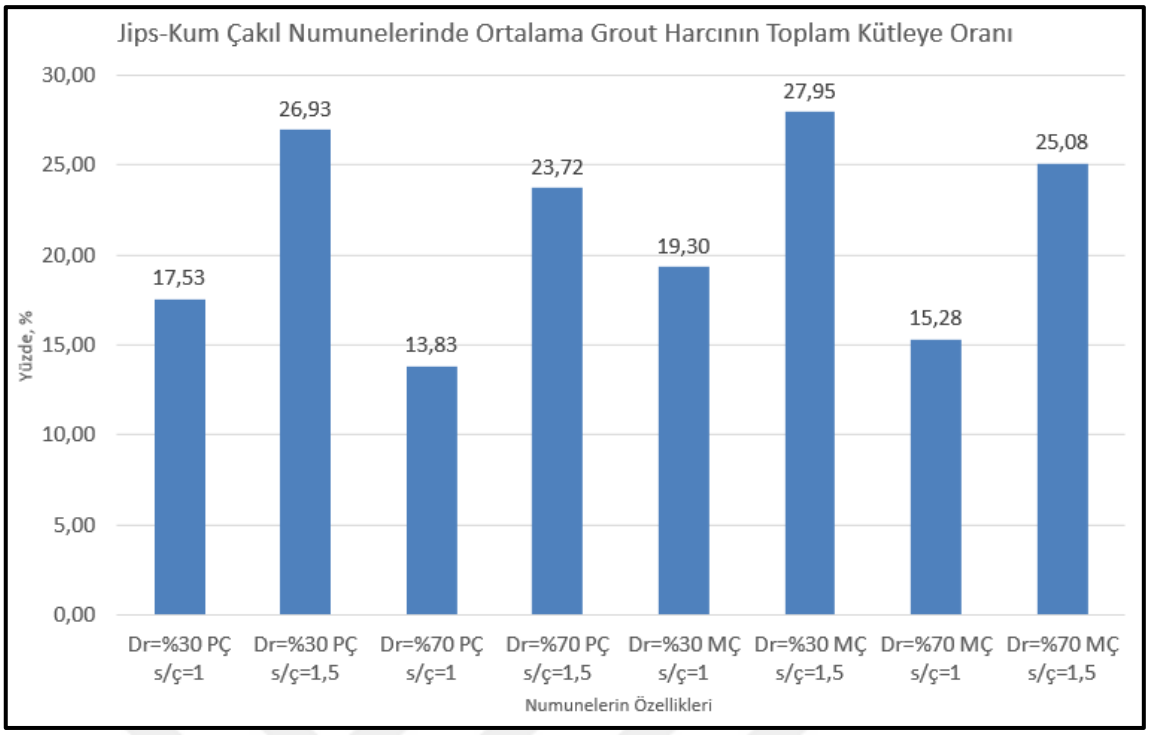
Şekil 4.10 Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Geotekniği Laboratuvarında kurulan sabit seviyeli permeabilite deneyi düzeneği



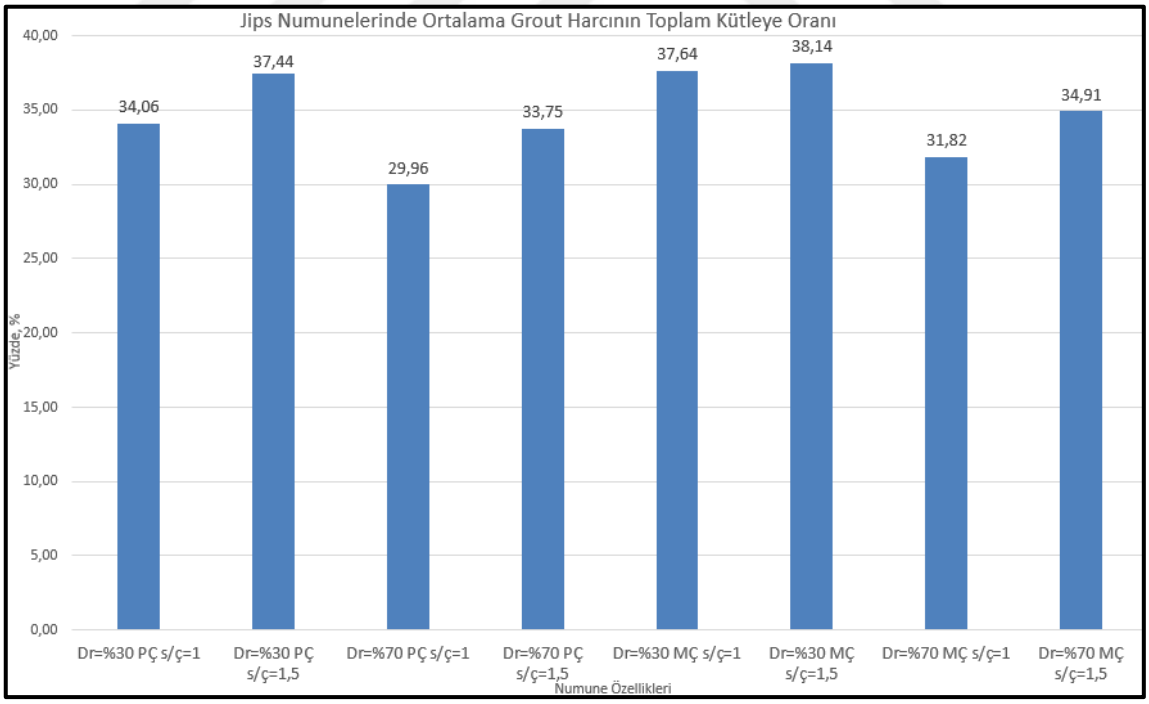
Şekil 4.11 Enjeksiyon yapılmadan önce Dr=% 30 olarak sıkıştırılmış Jips-Kum-Çakıl numunesine ait permeabilite-zaman grafiği



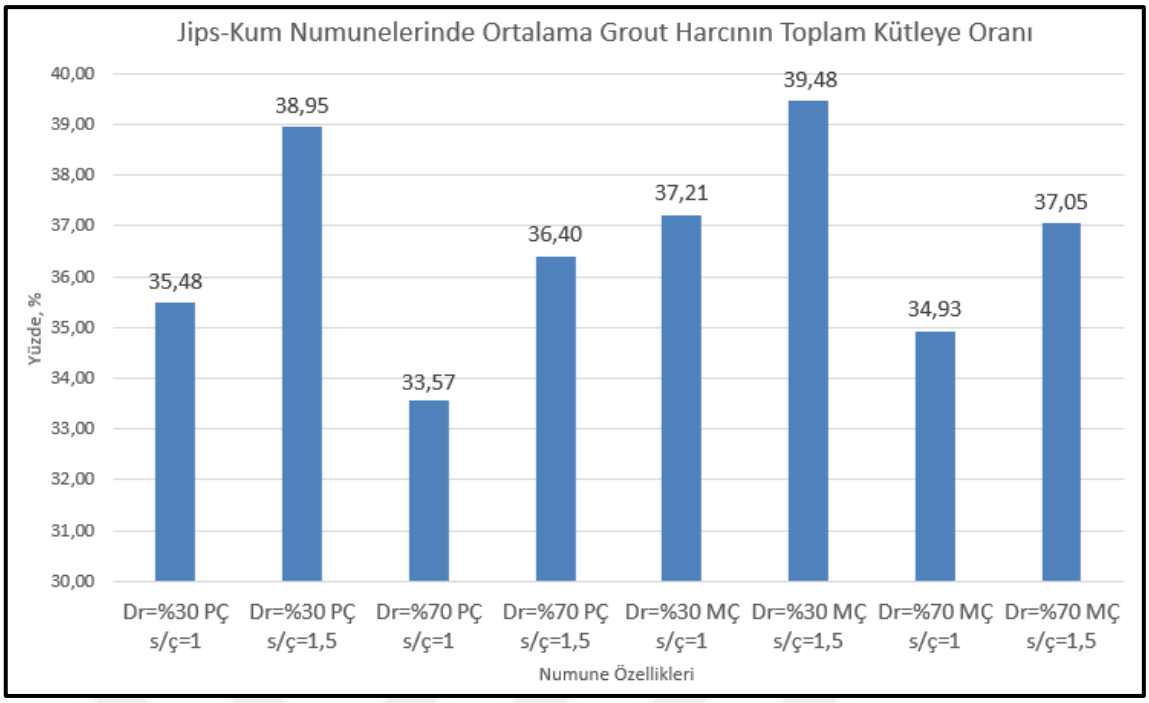
Şekil 4.12 s/ç=1 olan Portland ve Mikro Çimento ile enjeksiyon yapılan Dr=% 30 olarak sıkıştırılmış Jips-Kum-Çakıl 28 günlük dayanımına ulaşmış numunelere ait permeabilite-zaman grafiği



Şekil 4.13 Jips-Kum- Çakıl karışımı numunelerin enjeksiyon sonrası yüzdesel olarak Grout Harcı/Toplam Kütle oranı grafiği



Şekil 4.14 Jips numunelerin enjeksiyon sonrası yüzdesel olarak Grout Harcı/Toplam Kütle oranı grafiği



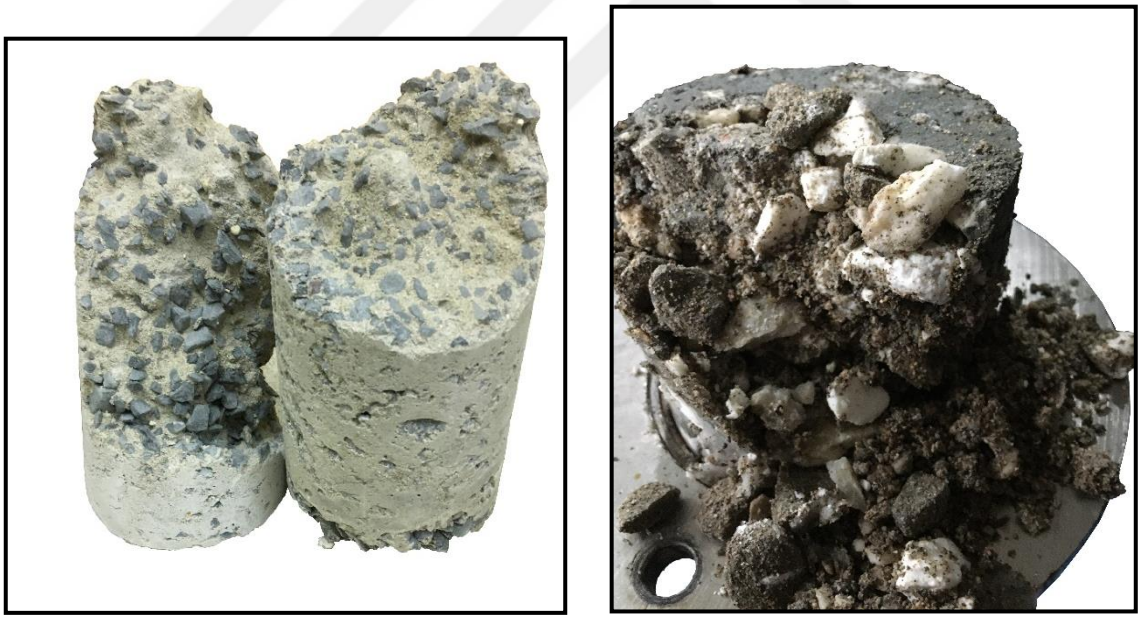
Şekil 4.15 Jips-Kum karışımı numunelerin enjeksiyon sonrası yüzdesel olarak Grout Harcı/Toplam Kütle oranı grafiği



Şekil 4.16 Yapı Malzemesi Laboratuvarı basınç deneyi düzeneği



Şekil 4.17 Hidrolik numune çıkarıcı kriko



a) b)

Şekil 4.18 a) Ön Deneylerde elden edilen priz almış başarısız enjeksiyon örneği b) Hidrolik numune çıkarıcıdan çıkarılan başarısız numune örneği



Şekil 4.19 Enjeksiyon sonrası kalıptan çıkartılması için ilk prizini alması beklenen numuneler



Şekil 4.20 50 ve 80 °C'de fırınlanan Jips ve Jips-Kum enjeksiyonu numuneleri



Şekil 4.21 Basınç dayanım testine tabi tutulan bir Jips-Kum Çakıl numunesi



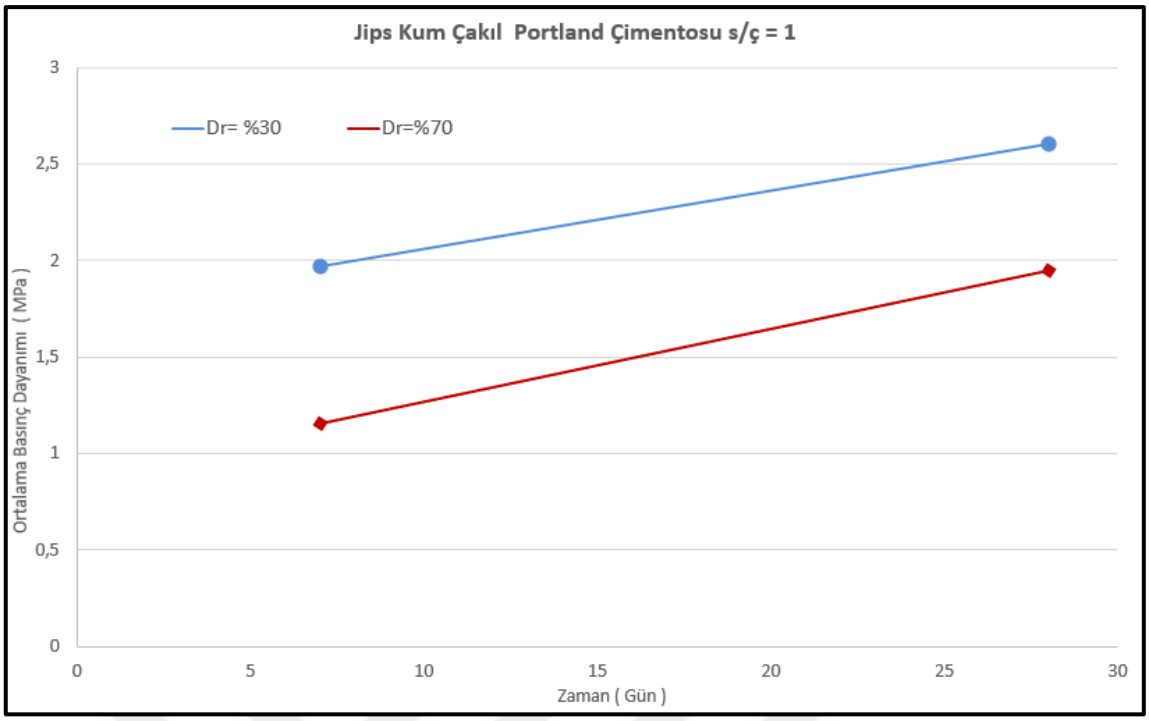
Şekil 4.22 Basınç dayanım testine tabi tutulan bir Jips numunesi



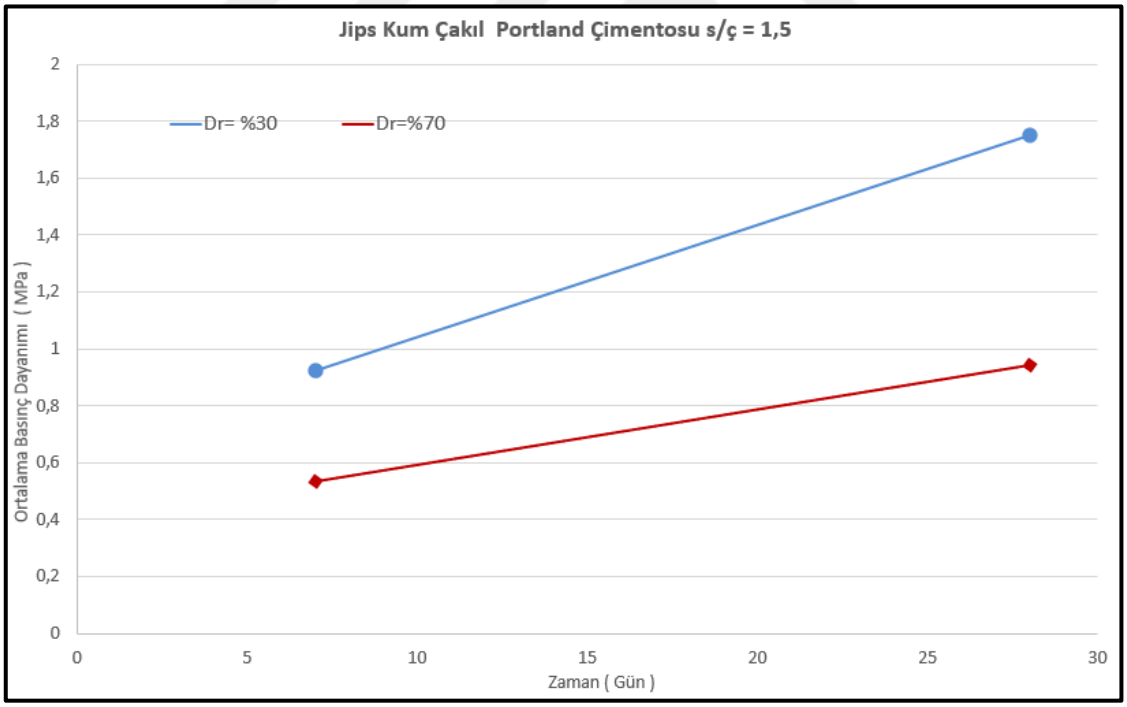
Şekil 4.23 Basınç dayanım testine tabi tutulan bir Jips-Kum numunesinin kırılma yüzeyinin görüntüsü



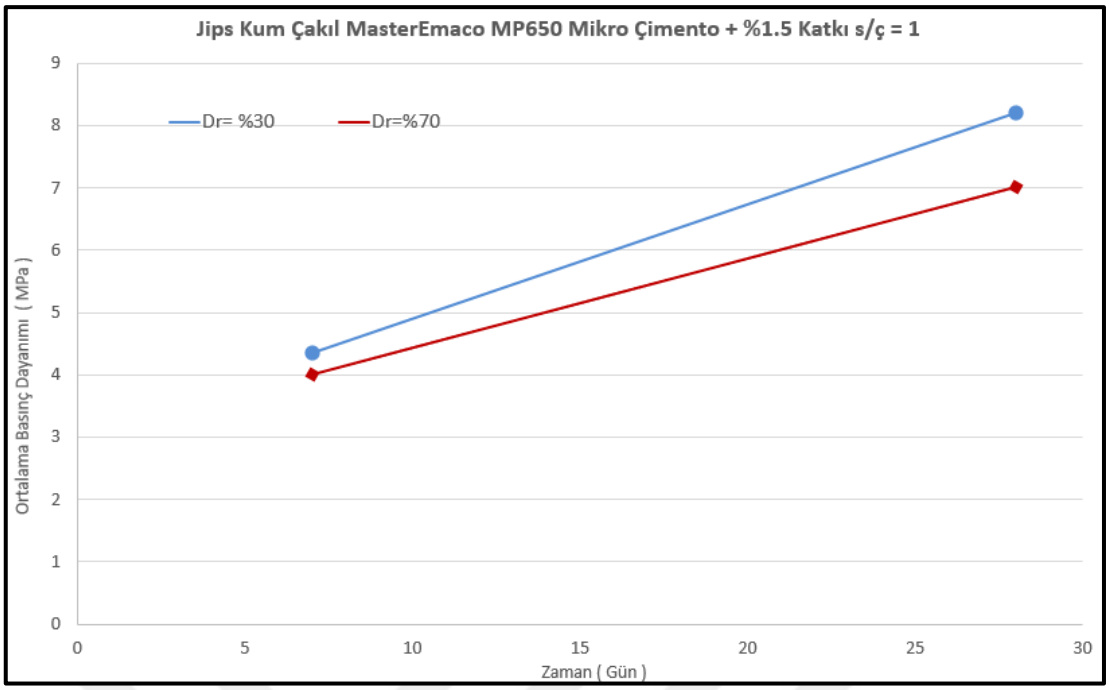
Şekil 4.24 Basınç dayanım testine tabi tutulan bir Jips numunesinin kırılma yüzeyinin görüntüsü



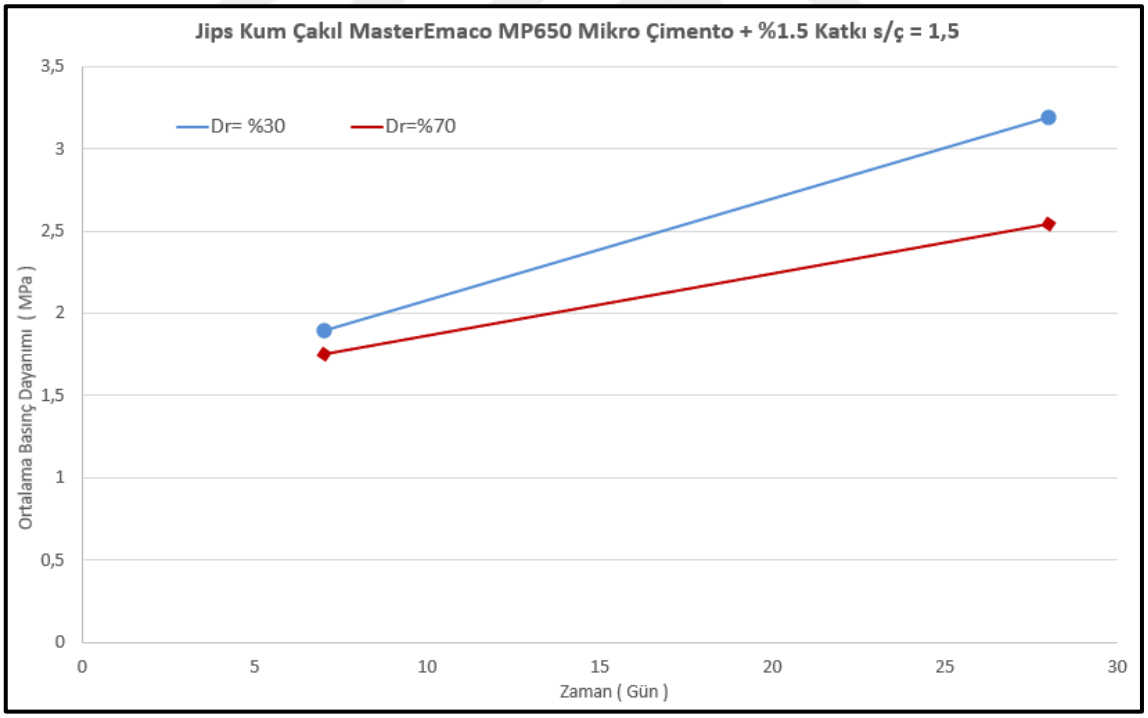
Şekil 4.25 Rölatif sıkılıkları % 30 ve % 70 olan Jips-Kum-Çakıl numunesine s/ç=1 olan Portland Çimentosu enjeksiyonu sonucu 7 ve 28 günlük ortalama dayanım grafiği



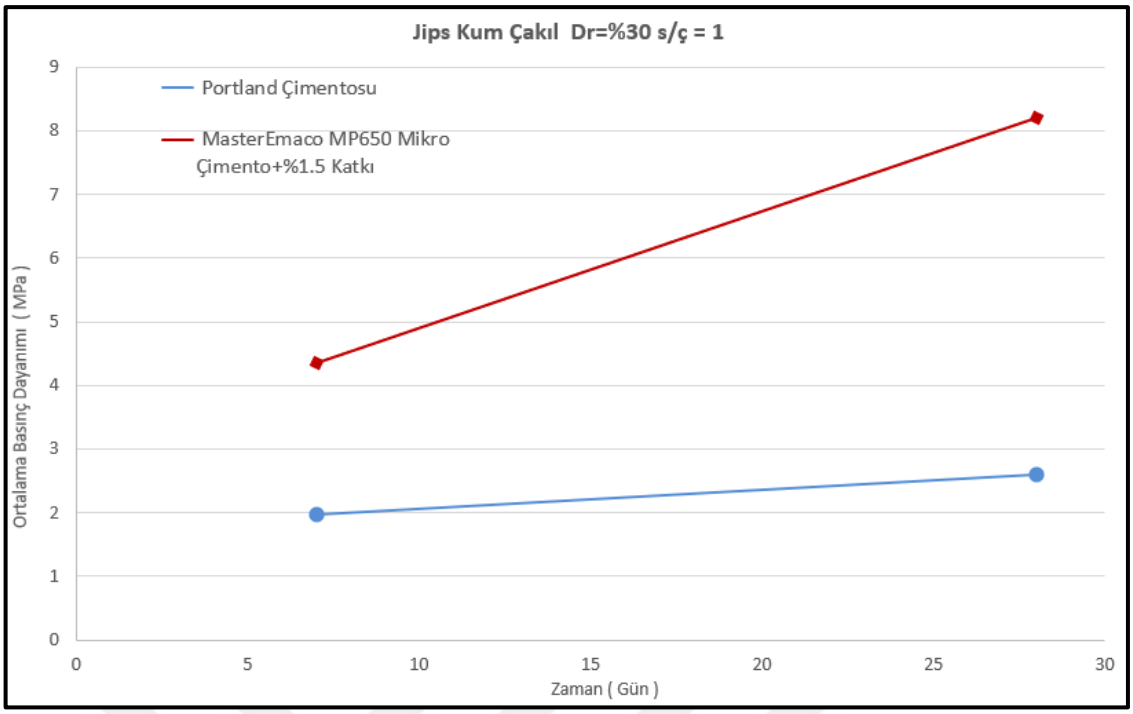
Şekil 4.26 Rölatif sıkılıkları % 30 ve % 70 olan Jips-Kum-Çakıl numunesine s/ç=1,5 olan Portland Çimentosu enjeksiyonu sonucu 7 ve 28 günlük ortalama dayanım grafiği



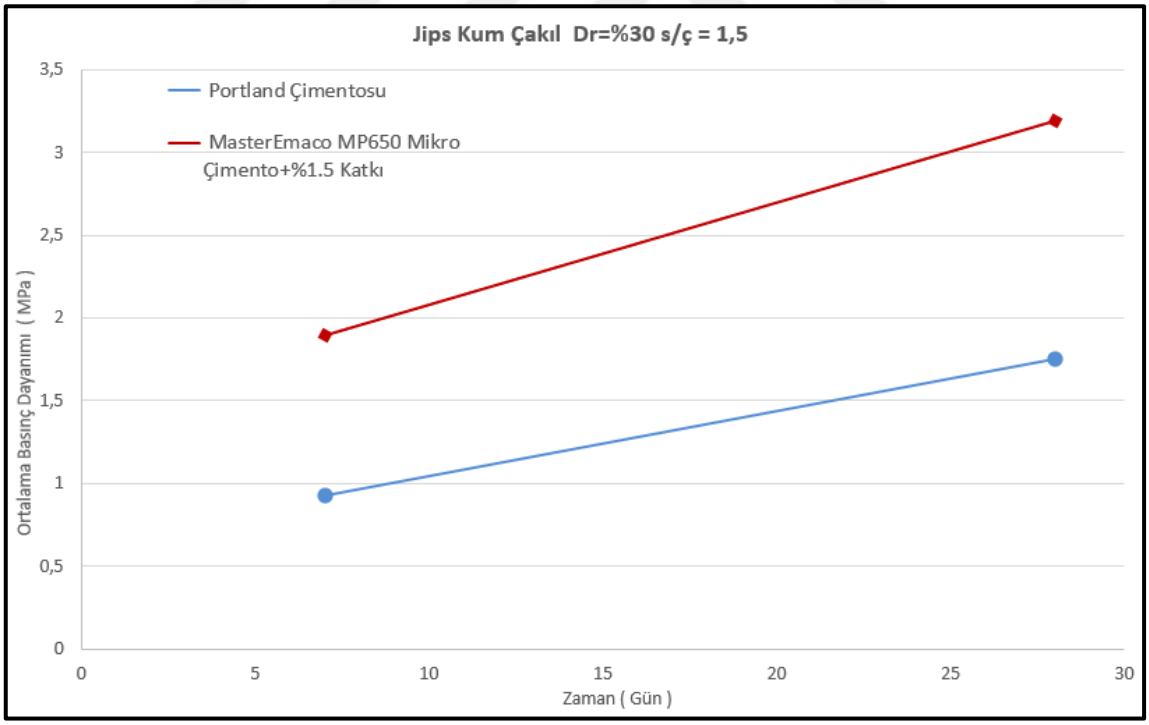
Şekil 4.27 Rölatif sıkılıkları % 30 ve % 70 olan Jips-Kum-Çakıl numunesine s/ç=1 olan MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı enjeksiyonu sonucu 7 ve 28 günlük ortalama dayanım grafiği



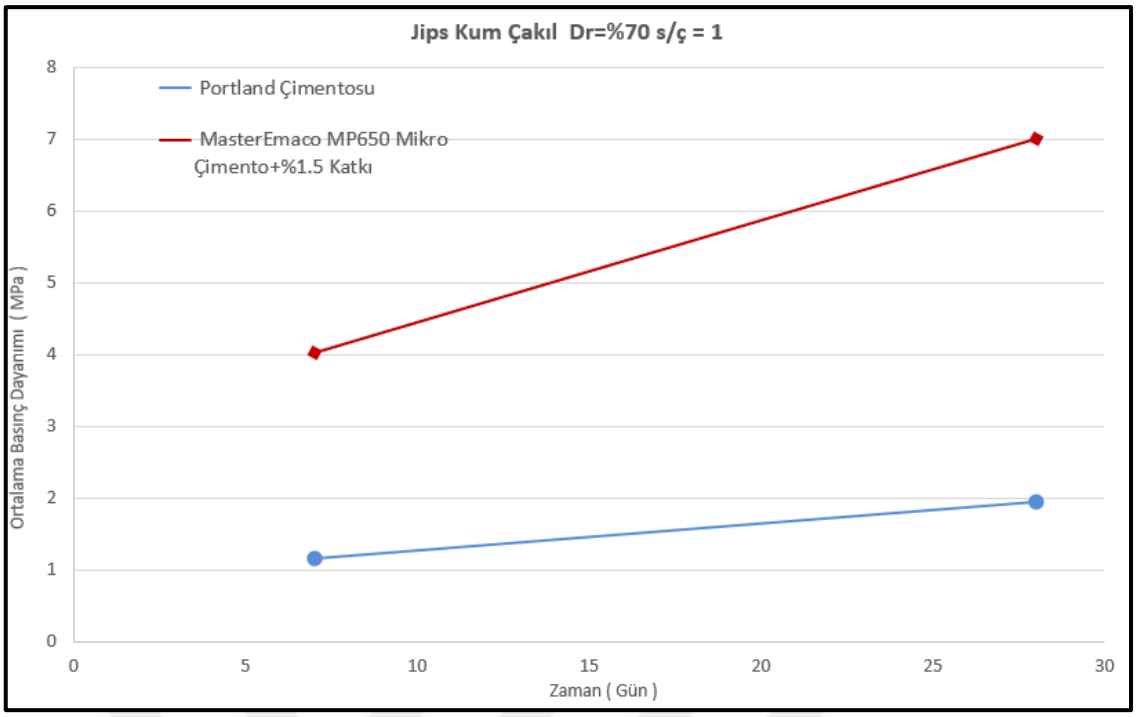
Şekil 4.28 Rölatif sıkılıkları % 30 ve % 70 olan Jips-Kum-Çakıl numunesine s/ç=1,5 olan MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı enjeksiyonu sonucu 7 ve 28 günlük ortalama dayanım grafiği



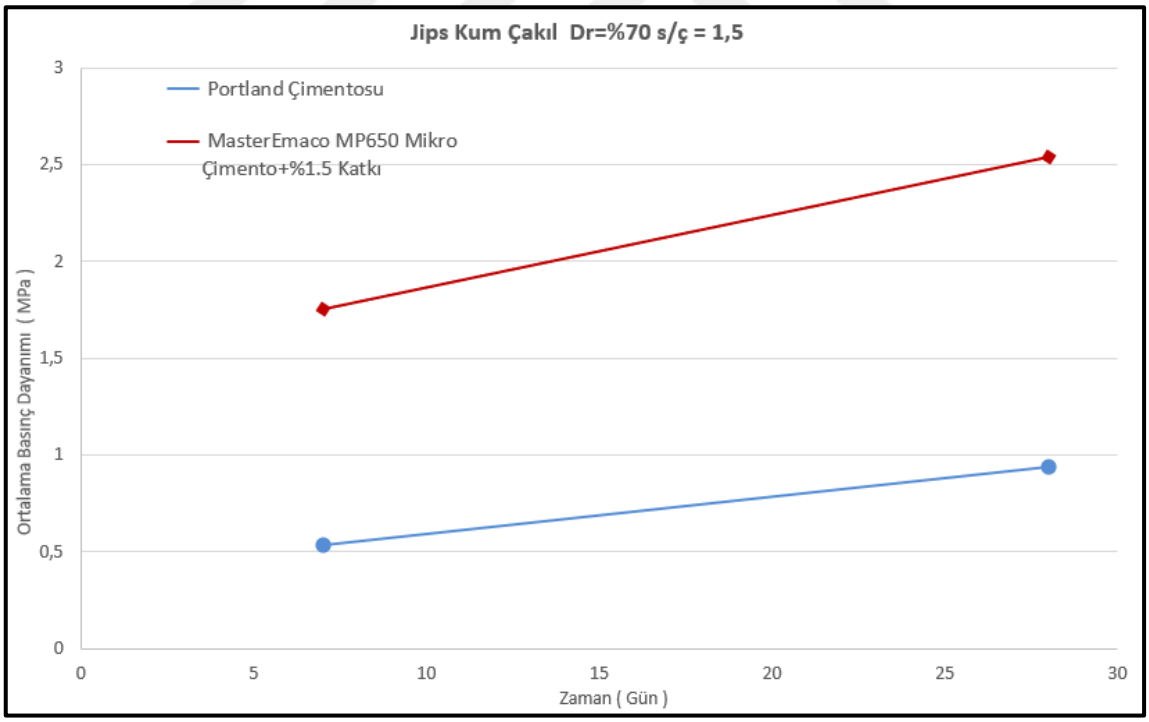
Şekil 4.29 Rölatif sıkılıkları % 30 ve s/ç=1olan Jips-Kum-Çakıl numunelerine MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ve Portland Çimentosu enjeksiyonu sonucu 7 ve 28 günlük ortalama dayanım grafiği



Şekil 4.30 Rölatif sıkılıkları % 30 ve s/ç=1,5 olan Jips-Kum-Çakıl numunelerine MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ve Portland Çimentosu enjeksiyonu sonucu 7 ve 28 günlük ortalama dayanım grafiği



Şekil 4.31 Rölatif sıkılıkları % 70 ve s/ç=1olan Jips-Kum-Çakıl numunelerine MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ve Portland Çimentosu enjeksiyonu sonucu 7 ve 28 günlük ortalama dayanım grafiği



Şekil 4.32 Rölatif sıkılıkları % 70 ve s/ç=1,5 olan Jips-Kum-Çakıl numunelerine MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ve Portland Çimentosu enjeksiyonu sonucu 7 ve 28 günlük ortalama dayanım grafiği

5
SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde artan insan nüfusu dünyanın birçok noktasında insanları yapılaşmaya itmektedir. Bu yapılar farklı fonksiyonellikte olabilmektedir. Örneğin insanlar yaşamak için yeni meskenler inşa ederken, bu meskenlere ulaşım için tüneller ve yollara ihtiyaç duyarken bu yapılarda kullandıkları sular içinse su tutma yapılarına ihtiyaç duyarlar. Bu yapıların yapıldığı noktalarda ise zemin her zaman yapılan yapıya uygun durumda olmayabilir. İstenilenden formda olmayan bu noktalar insanlar tarafından çeşitli iş makineleriyle istenilen forma getirilir. Bu aşamada zeminlerde çeşitli yarma ve dolgu işlemleri yapılır. Bu dolguların ise stabilitesinin bozulmadan sürmesi gerekmektedir.

Bu tez kapsamında jips ve jips karışımı içeren çeşitli dolgu malzemelerinin enjeksiyon ile iyileştirilmesi deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla Jips-Kum-Çakıl karışımı içeren rölatif olarak % 30 ve % 70 sıkıştırılmış zemine enjeksiyon yapılmış, 7 ve 28 günlük sonuçları incelenmiştir. Jips ve Jips-Kum içeren ve rölatif olarak % 30 ve % 70 oranlarında sıkıştırılan zeminler ise 7 günlük prizlerinin ardına 50 ve 80 °C'de fırınlanarak 28 günün sonunda serbest basınç deneyinde kırılmıştır . Zeminin geçirimliliğinin incelenmesi amacıyla ise rölatif sıkılığı % 30 ve % 70 olan Jips-Kum-Çakıl numunelerine enjeksiyon yapılmış ve 28 günlük dayanımı sonrasında permeabilite testine tabi tutulmuştur. Yapılan deneyler sonucu elde edilen sonuç ve öneriler aşağıda verilmiştir.

- Zeminlerde rölatif sıkılık arttıkça zemine enjekte edilen grout miktarı azalmaktadır.
- Zeminlere enjekte edilen groutların su/çimento oranı arttıkça oluşturulan numunelerin serbest basınç dayanımları düşmektedir.
- Sıkıştırılan zeminlerde Nuh Çimento CEM-I 42.5 R Portland Çimentosu ile iyileştirilen zeminlerin, MasterRoc MP 650 Mikro Çimento ile iyileştirilen zeminlere göre daha düşük mukavemet gösterdiği tespit edilmiştir.
- Jips-Kum-Çakıl malzemelerinden oluşan zeminlere yapılan enjeksiyonlardan en düşük dayanım % 70 rölatif sıkılıkla sıkıştırılan, s/ç oranı 1.5 ve Portland Çimentosu

içeren numunenin 7 gün sonunda serbest basınç deneyine tabi tutulmasıyla elde edilmiş olup 0,44 MPa iken, en yüksek dayanım ise, %30 rölatif sıkılıkla sıkıştırılan s/ç oranı 1 olan ve Mikro Çimento içeren numunenin 28 gün sonunda serbest basınç deneyine tabi tutulmasıyla elde edilmiş olup 10,95 MPa'dır.

- Jips numunelerinde 28 gün sonrası yapılan serbest basınç dayanımı deneyleri sonucu elde edilen en düşük değer 2,56 MPa olup bu değer % 70 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış s/ç oranı 1,5 olan Portland Çimentosu harcı ile enjeksiyon yapılmış, 80 °C'de 3 defa fırınlanmış numuneye aittir. En yüksek değer ise 41,28 MPa ile % 30 rölatif sıkılıkta sıkıştırılan s/ç oranı 1 olan ve Mikro Çimento içeren numuneye aittir.
- Jips numunelerinin 50°C'de 1 kere fırınlanmasıyla numuneler en düşük kütle kaybı % 1,56 iken, en yüksek kütle kaybı % 6,66'dır. 3 kere fırınlanan numunelerde ise bu miktar en düşük % 3,25 iken, en yüksek % 7,73'tür.
- Jips numunelerinin 80°C'de 1 kere fırınlanmasıyla numuneler en düşük kütle kaybı % 3,76 iken, en yüksek kütle kaybı % 9,02'dir. 3 kere fırınlanan numunelerde ise bu miktar en düşük % 5,89 iken, en yüksek % 10,41'tür.
- Jips-Kum numunelerinde 28 gün sonrası yapılan serbest basınç dayanımı deneyleri sonucu elde edilen en düşük değer 2,19 MPa olup bu değer % 70 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış s/ç oranı 1,5 olan Portland Çimentosu harcı ile enjeksiyon yapılmış, 80 °C'de 3 defa fırınlanmış numuneye aittir. En yüksek değer ise 20,34 MPa ile % 30 rölatif sıkılıkta sıkıştırılan s/ç oranı 1 olan ve Mikro Çimento içeren numuneye aittir.
- Jips-Kum numunelerinin 50°C'de 1 kere fırınlanmasıyla numuneler en düşük kütle kaybı % 0,80 iken, en yüksek kütle kaybı % 5,66'dır. 3 kere fırınlanan numunelerde ise bu miktar en düşük % 0,91 iken, en yüksek % 6,66'tür.
- Jips-Kum numunelerinin 80°C'de 1 kere fırınlanmasıyla numuneler en düşük kütle kaybı % 2,29 iken, en yüksek kütle kaybı % 8,26'dir. 3 kere fırınlanan numunelerde ise bu miktar en düşük % 4,41 iken, en yüksek % 10,76'tür
- Jips-Kum-Çakıl numunelerinin % 30 rölatif sıkılıkta sıkıştırılması sonrasında yapılan Sabit Seviyeli Permeabilite deneyinde enjeksiyon öncesi permeabilite katsayısı, k, 1.1282×10^{-3} olarak tespit edilmişken, Portland Çimentosu ve Mikro Çimento Enjekte edilen numuneler 28 günlük dayanımları sonrasında yapılan Sabit Seviyeli Permeabilite deneylerinde k, sırasıyla 4.131×10^{-5} ve 3.1065×10^{-6} santimetre/ saniye olarak tespit edilmiştir.

- Mikro Çimentosunun tanecik boyutlarının Portland Çimentosundan küçük olması, Mikro Çimentonun Portland Çimentosuna göre daneler arasına daha kolay nüfuz etmesine olanak sağladığından Portland Çimentosu ile enjeksiyon yapılan numunenin, enjeksiyon yapılmayan numuneye göre geçirimliliği 27 kat düşürürken, Mikro Çimento ile enjeksiyon yapılan numunenin geçirimliliği ise 363 kat düşmüştür.
- Enjeksiyonlarda numune sayıları arttırılarak daha fazla örnekleme ulaşılacağından daha gerçekçi sonuçlara ulaşılabilir.
- Kullanılan tijin kalınlığı arttırılarak aynı basınç altında grout harcı daha kolay enjekte edilebileceği için daha düşük s/ç oranlarında enjeksiyon yapılabilir.
- Jips priz süresini kısaltan bir malzeme olduğu için zemin altında çimento harcının işlenebilirliği azaltabilir. Bunun için uygulamada priz geciktirici kullanılması gerekebilir.
- Jips mineralinin asidik özellikli suların etkisindeki davranışı incelenmelidir.
- Yer altı ve yer üstü suları ile etkileşimi kesilerek veya azaltılarak zemin yapılarında kullanımı gerçekleştirilebilir. Ancak jips mineralinin içerisinde bulunan sülfat sebebiyle beton ile ilişkisinin uzun dönemli olarak incelenmesi gerekmektedir.
- Jips mineralinin ısı değişimleri altındaki (fırınlanması sonrası) hacimsel değişikliği gerekli enstürmantasyon ile araştırılabilir.
- Jips minerali içeren, enjeksiyon veya karışım katkısı ile hazırlanan numunelerin fırınlanması sonucu değişen numune dayanımları ve kütle kaybı arasındaki ilişki irdelenebilir.

KAYNAKÇA

AASHTO M 295, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete,2011

A. O. Erol, Z. Çekinmez Bayram, Jet Enjeksiyon Yöntemi, Yüksel Proje, Ankara, 2018

Aitcin, P., Ballivy, G., Parizeau, R., "The Use of Condensed Silica Fume in Grouts," Innovative Cement Grouting, American Concrete Institute, 1–18, 1984

Akbulut S. ve Saglamer A., "Estimating the groutability of granular soils: A new approach," Tunnelling and Underground Space Technology , cilt.17, sa.4, ss.371-380, 2002

Akbulut S., "Enjeksiyon ile Granüler Zeminlerin Geoteknik Özelliklerinin İyileştirilmesi" Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1999

Akman, M. S., "Yapı Malzemeleri", İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi Matbaası, 162 s., İstanbul, 1990.

ASTM (American Society for Testing and Materials), Annual Book of ASTM Standarts-Construction: Soil and Rock. ASTM Publications, Vol.04.08, New York,1994

ASTM D854-14. Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. Pennsylvania,USA: ASTM International. 2014

ASTM D2434 -19 Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head). Pennsylvania,USA: ASTM International. 2019

ASTM D4254 – 16, Standard Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density, 2016

Avcı E. ," Ultra İnce Taneli (Spinor A6) Süspansiyon Enjeksiyonunun, Solüsyon Türü Kimyasal Enjeksiyonlara Alternatifliğinin Araştırılması ", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Nisan 2015.

Bauer Maschinen GmbH. "Ground Improvement by Depth Vibrator." PI 80, Schrobenhausen, Germany 2012

Bell, F.G., "Engineering Treatment of Soils", E&FN SPON, London,GB, 1993

Bicalho KV, Castello RR. Improvement of loose sandy soil foundation by compaction piles In: 16 International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Osaka, Japon, 2005

Bilal, Mohammad & Talib, Abdullah, "A Study on AdvancesinN Ground Improvment Techniques". 10.13140/RG.2.1.4865.4965., 2016

Brown, R.E., .Vibroflotation Compaction of Cohesionless Soils. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 103(12): pp. 1437-1451, 1977

Cassagnrade, A. , "Characteristics of cohesionless soil affecting the Stability of slopes and Earth fills". Journal of the Boston Society of Civil Engineers 1936

Croce, P., Flora, A. ve Modoni, G. "Jet Grouting Technology, Design and Control", CRC Press: Taylor & Francis Group. 2014

Das M.B., Principles of Foundation Engineering, Eighth Edition, Cengage Learning Publishing, 2014

D'Appolonia, E., Miller Jr., C.E., & Ware, T.M "Sand Compaction by Vibroflotation." Proc., ASCE, 79(200), 1-23., 1953

D'Appolonia, E. "Loose Sands- Their Compaction by Vibroflotation." Symp. On Dynamic Testing of Soils, ASTM Int., 138-162. , 1954

Demiröz A., Karaduman M., Zemin Iyileştirme Metotları,Selçuk Teknik Dergisi, Cilt 8, Sayı 3-2009, Konya,2009 pp:176-192

Dogan U., Ozel S., Gypsum karst and its evolution east of Hafik (Sivas, Turkey),Geomorphology 71 (2005) 373–388 DOI: https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.04.009

FHWA (Federal Highway Administration), Ground Modification Methods Reference Manual – Volume I, Chapter 4- Deep Compaction, April 2017

FHWA (Federal Highway Administration), Ground Modification Methods Reference Manual – Volume II, Chapter 4- Deep Compaction, April 2017

Haussman, M. R. Engineering Principles of Ground Modification. New York/USA: Mc Graw Hill, 1990

Hontoria, E., Sanchez, M., "Ground injections", Technology Innovation in Underground Construction, D2.4.4.1., 6-16, (2006).

Karaarslan E., Atık Döküm Kumunun Harç İçinde Agrega Olarak Kullanımının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, , Kocaeli, 2019

Karaman M.E., Kibici Y.,"Temel Jeoloji Prensipleri" Genişletilmiş İkinci Baskı, 17. Bölüm, BelenYayıncılık ve Matbaacılık, 398.s., A

Kavak A. "Zayıf Zeminlerin Kireç İle İyileştirilmesi" Kireç Dünyası, Sayı 1 Sayfa: 12-17, Temmuz-Ağustos-Eylül 2015

Kavak A. vd. "Kil Oranı Yüksek Bir Dolgu Malzemesinin Kireç İle Stabilizasyonu"14. Ulusal Kil Sempozyumu, 1-3 Ekim 2009, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

Kavak, A., Mutman, U., Keskin, E. "Granüler Zeminlerde Çimento Enjeksiyonu", Deprem Sempozyumu, Kocaeli,2005

Krizek, R.J. , Helal, M. , "Anisotropic Behavior of Cement-Grouted Sand", Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics, Geotechnical Engineering Division of ASCE, 30, 541-550, 1992

Kutzner, C., "Grouting of Rock and Soil", A.A. Balkema, 1996

MasterRheobuild 2000 Superplasticizer for high performance concrete and a dispersing agent for MasterRoc® micro-cements for ground injection Technical Data Sheet, BASF Corporation,2018

MasterRoc MP 650 Micro Cement Technical Data Sheet, BASF Corporation, 2018

Mitchell, J., K., Wentz, F.,J., "Performance of Improved Ground During theLoma Prieta Earthquake", Earthquake Engineering Research Center, UCB/EERC-9 1/12, 93,1991

Mitchell, J.K., "Stabilisation of Soils for Foundations of Structures", Geotechnical Engineering University of California. 1976.

Mollamahmutoğlu, M., Yılmaz, Y., Engineering Properties of Medium to- Fine Sands Injected with Microfine, Marine Georesources and Geotechnology 29(2): 95-100,2011

Moreno J., Reinforcement and Ground Improvement Geopier® Solution, Soil Improvement Challenges on Alluvial Zones 2nd Seminar on Transportation Geotechnics, 28-29 January 2019, Vila Franca de Xira, Portugal

Mori, A., Tamura, M., Hayashi, H., Shibata, H. "Some Factors Related to Injected Shape in Grouting", Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics, Geotechnical Engineering Division of ASCE, 30, 313-324, 1992

Mutman U., " Düşük Basınçlı Çimento Enjeksiyonu ile Zemin Özelliklerinin İyileştirilmesi ", Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2007.

Nicholson P. G., Soil Improvement and Ground Modification Methods, Elsevier Inc., 2015

Nonlevier, E. Grouting Theory and Practice. (1). Amsterdam,The Netherland: Elsevier Science Publishers B.V.,1989

OMS Pile Driving Equipment GmbH, Vibrocompaction, VibroFloat Brochure, Krefeld, Germany,2021

Ozarslan M.," Katkılı İnce Taneli Çimento Şerbetinin ve Enjekte Edildiği İnce ve Orta Taneli Kumların Bazı Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi" Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Nisan 2012

Ozcoban M.S., et al. "Predicting permeability of compacted clay filtrated with landfill leachate by k-Nearest Neighbors modelling method" Water Science & Technology, IWA Publishing, (2018) 77 (8): 2155–2164.

Ozaydın K., Zemin Mekaniği, Birsen Yayınları, 2016

Ozel S., Identification and Assessment of Hazard of Development in Gypsum Karst Regions: Examples from Turkey, Natural Hazards - Risk, Exposure, Response, and Resilience,IntechOpen,2019 DOI: http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.83684

Perret, S. , Ballivy, G. , Khayat, H., Mnif, T., 1997, Injectability of fine sand with cement-based grout, Proceeding of the Geo-Logan 97 Conference on grouting, Logan-Utah , 289-305.

Qiong Wang, Shanyong Wang, Scott William Sloan, Daichao Sheng, Ramin Pakzad, Experimental investigation of pressure grouting in sand, Soils and Foundations, Volume 56, Issue 2, 2016, Pages 161-173, ISSN 0038-0806, https://doi.org/10.1016/j.sandf.2016.02.001

Schroff A.V., Shah D. L., Grouting Technology In Tunnelling and Dam Construction, pp.20-490, Balkema Publishers, Brookfield,1993

Schwarz, L.G., Krizek R.J., Effect of mixing on rheological properties of Microfine cement grout. In: Proceedings of Grouting Soil Improvement and Geosynthetics. New Orleans, LA, USA: GT Div=ASCE, 512–525,1992

Seed, H. B. and Idriss, I. M., 1971. Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Div., ASCE, 97, 9, 1249-1273. https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0001662

Tekin, E. , Mollamahmutoğlu, M., "Çok ince taneli çimento (Rheocem-900) enjeksiyonu ile farklı gradasyona sahip kumların enjekte edilebilirliği" Gazi Üniv. Müh.- Mim. Fakültesi Dergisi, Cilt 25, No 3, 533-539,2010

TS EN 206:2014 Beton - Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk Standardı

TS EN 12390-3:2019 Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini

TS 13515:2014: TS EN 206'nın Uygulamasına Yönelik Tamamlayıcı Standard

TS 1900-1 İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri – Böüm 1:Fiziksel Özelliklerin Tayini

Tunç A. , Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 2002

Tunçdemir F., "Temel Zeminlerinin Enjeksiyon Tekniği ile İyileştirilmesi", Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı430, 2004-2, (Sayfa 59-64)

URL1-https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/jips (Ziyaret Tarihi: 24/01/2021)

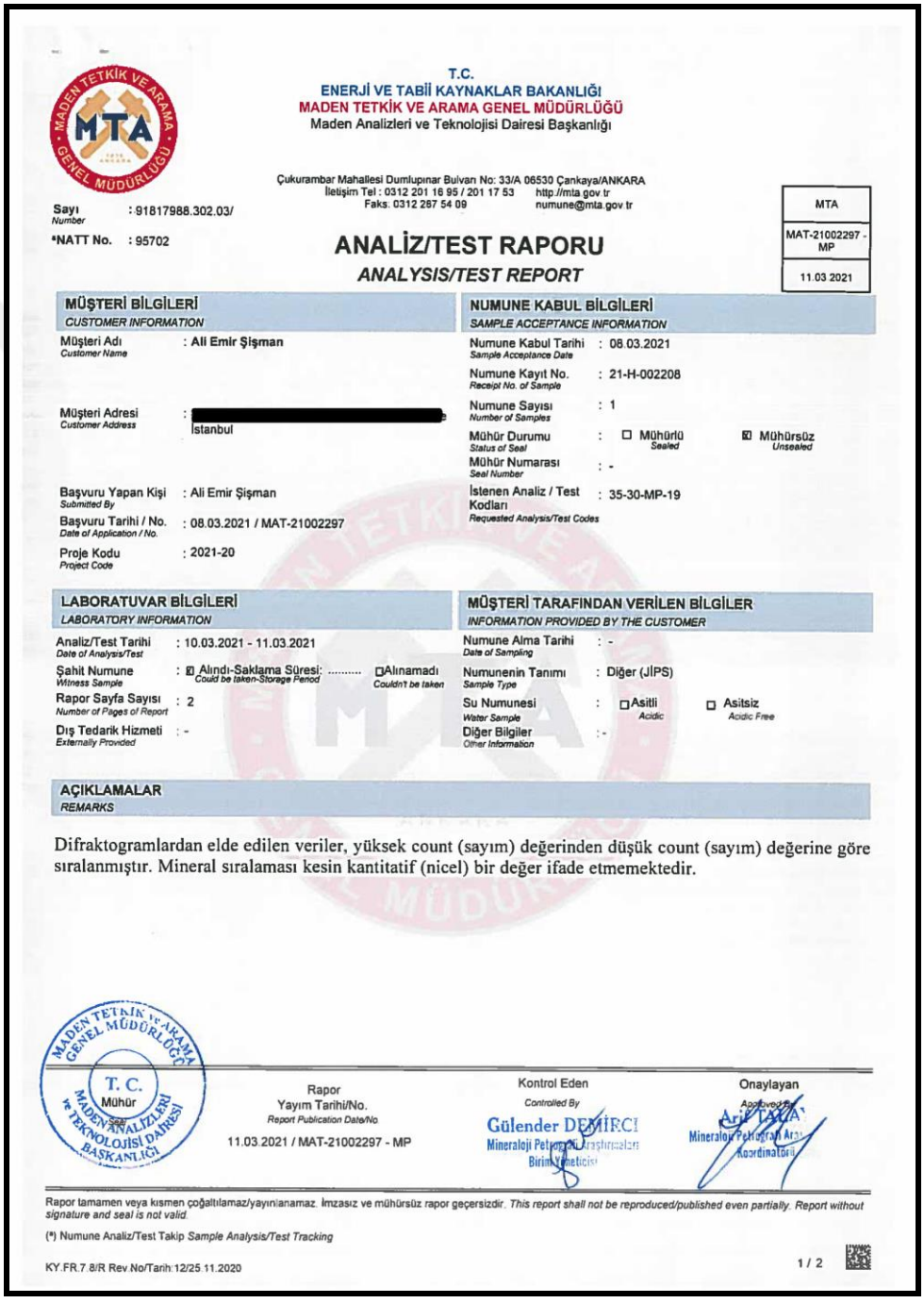
Wang, Z.; Jin, D.; Shi, C. Spatial Variability of Grouting Layer of Shield Tunnel and Its Effect on Ground Settlement. Appl. Sci. 2020, 10, 5002. https://doi.org/10.3390/app10145002

Yıldırım M., Gökaşan E., Mühendisler İçin Jeoloji (Genişletilmiş İkinci Baskı), Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayın Merkezi,İstanbul, 2013

Yıldırım S., Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı, Birsen Yayınları, 2009

A

KULLANILAN JİPS NUMUNESİNİN ANALİZ RAPORU



T.C.
ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI
MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı

Çukurambar Mahallesi Dumlupınar Bulvarı No: 33/A 06530 Çankaya/ANKARA
İletişim Tel : 0312 201 16 95 / 201 17 53 http://mta.gov.tr
Faks: 0312 287 54 09 numune@mta.gov.tr

Sayı : 91817988.302.03/
Number
*NATT No. : 95702

MTA
MAT-21002297 - MP
11.03.2021

ANALİZ/TEST RAPORU
ANALYSIS/TEST REPORT

MÜŞTERİ BİLGİLERİ / *CUSTOMER INFORMATION*

Müşteri Adı / Customer Name : Ali Emir Şişman
Müşteri Adresi / Customer Address : [redacted] İstanbul
Başvuru Yapan Kişi / Submitted By : Ali Emir Şişman
Başvuru Tarihi / No. / Date of Application / No. : 08.03.2021 / MAT-21002297
Proje Kodu / Project Code : 2021-20

NUMUNE KABUL BİLGİLERİ / *SAMPLE ACCEPTANCE INFORMATION*

Numune Kabul Tarihi / Sample Acceptance Date : 08.03.2021
Numune Kayıt No. / Receipt No. of Sample : 21-H-002208
Numune Sayısı / Number of Samples : 1
Mühür Durumu / Status of Seal : ☐ Mühürlü / Sealed ☒ Mühürsüz / Unsealed
Mühür Numarası / Seal Number : -
İstenen Analiz / Test Kodları / Requested Analysis/Test Codes : 35-30-MP-19

LABORATUVAR BİLGİLERİ / *LABORATORY INFORMATION*

Analiz/Test Tarihi / Date of Analysis/Test : 10.03.2021 - 11.03.2021
Şahit Numune / Witness Sample : ☒ Alındı-Saklama Süresi: ..... / Could be taken-Storage Period ☐ Alınamadı / Couldn't be taken
Rapor Sayfa Sayısı / Number of Pages of Report : 2
Dış Tedarik Hizmeti / Externally Provided : -

MÜŞTERİ TARAFINDAN VERİLEN BİLGİLER / *INFORMATION PROVIDED BY THE CUSTOMER*

Numune Alma Tarihi / Date of Sampling : -
Numunenin Tanımı / Sample Type : Diğer (JİPS)
Su Numunesi / Water Sample : ☐ Asitli / Acidic ☐ Asitsiz / Acidic Free
Diğer Bilgiler / Other Information : -

AÇIKLAMALAR / *REMARKS*

Difraktogramlardan elde edilen veriler, yüksek count (sayım) değerinden düşük count (sayım) değerine göre sıralanmıştır. Mineral sıralaması kesin kantitatif (nicel) bir değer ifade etmemektedir.

MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ — T. C. Mühür — MADEN ANALİZLERİ VE TEKNOLOJİSİ DAİRESİ BAŞKANLIĞI

Rapor Yayım Tarihi/No. / Report Publication Date/No.: 11.03.2021 / MAT-21002297 - MP

Kontrol Eden / Controlled By: Gülender DEMİRCİ, Mineraloji Petrografi Araştırmaları Birim Yöneticisi

Onaylayan / Approved By: Mineraloji Petrografi Araştırmaları Koordinatörü

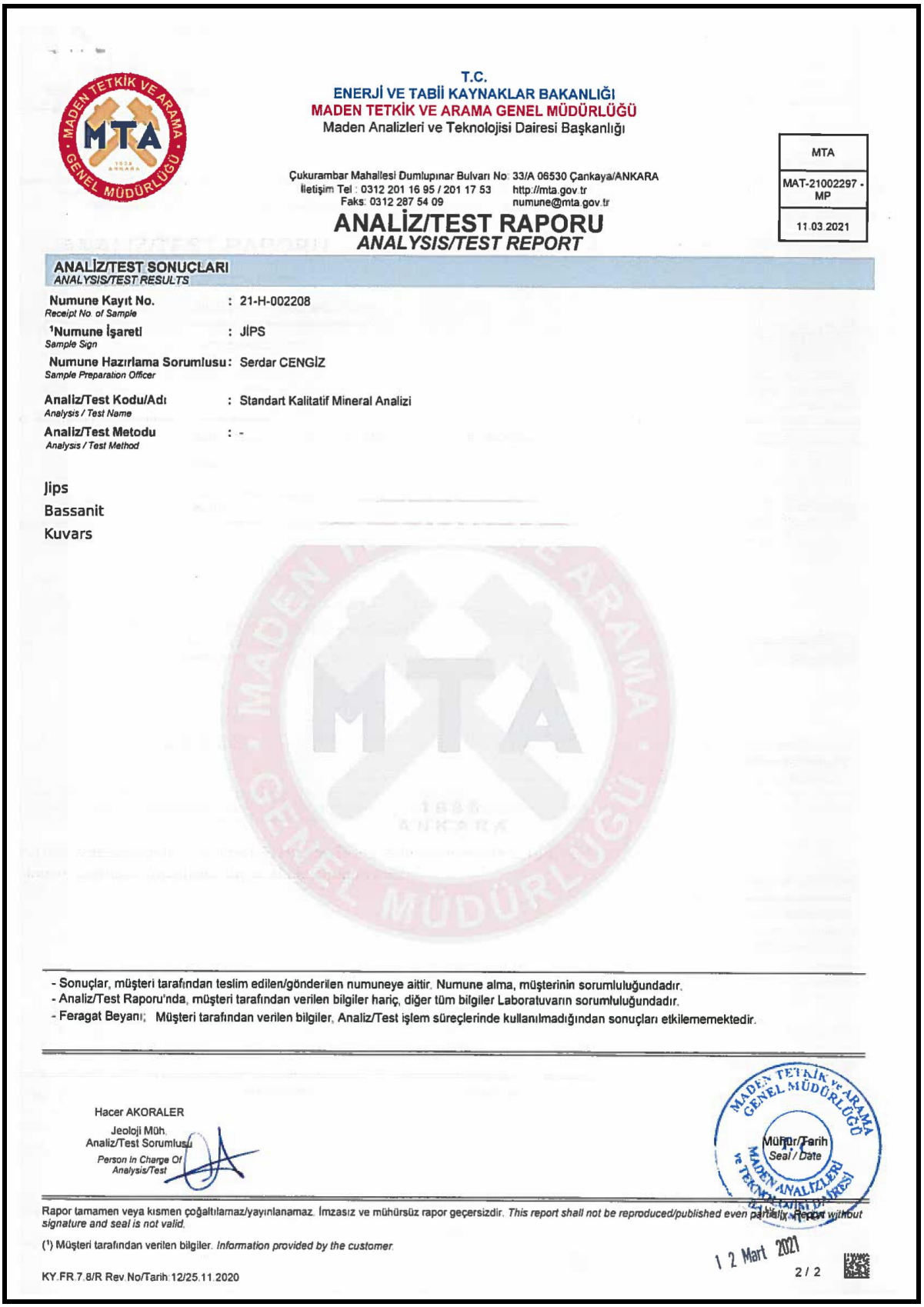
Rapor tamamen veya kısmen çoğaltılamaz/yayınlanamaz. İmzasız ve mühürsüz rapor geçersizdir. *This report shall not be reproduced/published even partially. Report without signature and seal is not valid.*

(*) Numune Analiz/Test Takip *Sample Analysis/Test Tracking*

KY.FR.7.8/R Rev.No/Tarih:12/25.11.2020

1 / 2

Şekil A.1 Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Laboratuvarında Jips Numunesine Yaptırılan Standart Kalitatif Mineral Analizi Sonucu (Sayfa 1/2)



T.C.
ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI
MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı

Çukurambar Mahallesi Dumlupınar Bulvarı No: 33/A 06530 Çankaya/ANKARA
İletişim Tel : 0312 201 16 95 / 201 17 53 http://mta.gov.tr
Faks: 0312 287 54 09 numune@mta.gov.tr

MTA
MAT-21002297 - MP
11.03.2021

ANALİZ/TEST RAPORU
ANALYSIS/TEST REPORT

ANALİZ/TEST SONUÇLARI
ANALYSIS/TEST RESULTS

Numune Kayıt No. : 21-H-002208
Receipt No. of Sample

[1]Numune İşareti : JİPS
Sample Sign

Numune Hazırlama Sorumlusu : Serdar CENGİZ
Sample Preparation Officer

Analiz/Test Kodu/Adı : Standart Kalitatif Mineral Analizi
Analysis / Test Name

Analiz/Test Metodu : -
Analysis / Test Method

Jips
Bassanit
Kuvars

- Sonuçlar, müşteri tarafından teslim edilen/gönderilen numuneye aittir. Numune alma, müşterinin sorumluluğundadır.
- Analiz/Test Raporu'nda, müşteri tarafından verilen bilgiler hariç, diğer tüm bilgiler Laboratuvarın sorumluluğundadır.
- Feragat Beyanı; Müşteri tarafından verilen bilgiler, Analiz/Test işlem süreçlerinde kullanılmadığından sonuçları etkilememektedir.

Hacer AKORALER
Jeoloji Müh.
Analiz/Test Sorumlusu
Person In Charge Of Analysis/Test

Müdür/Tarih
Seal / Date

Rapor tamamen veya kısmen çoğaltılamaz/yayınlanamaz. İmzasız ve mühürsüz rapor geçersizdir. *This report shall not be reproduced/published even partially without signature and seal is not valid.*

([1]) Müşteri tarafından verilen bilgiler. *Information provided by the customer.*

12 Mart 2021

KY.FR.7.8/R Rev.No/Tarih:12/25.11.2020

2 / 2

Şekil A.1 Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Laboratuvarında Jips Numunesine Yaptırılan Standart Kalitatif Mineral Analizi Sonucu (Sayfa 2/2)

B

NUMUNELERİN NUMARA VE İÇERİK TABLOLARI

Tablo B.1 Jips-Kum-Çakıl numunelerine yapılan enjeksiyonda kullanılan grout harcı, malzeme özellikleri ve kırım durumuna göre numuneler

Numune Numarası	Kullanılan Malzeme	Kullanılan Çimento	Rölatif Sıkılık	s/ç oranı	Kırım Günü
1	Jips-Kum-Çakıl	PÇ	30	1	7
2	Jips-Kum-Çakıl	PÇ	30	1	7
3	Jips-Kum-Çakıl	PÇ	30	1	7
4	Jips-Kum-Çakıl	PÇ	30	1	28
5	Jips-Kum-Çakıl	PÇ	30	1	28
6	Jips-Kum-Çakıl	PÇ	30	1	28
7	Jips-Kum-Çakıl	MÇ	30	1	7
8	Jips-Kum-Çakıl	MÇ	30	1	7
9	Jips-Kum-Çakıl	MÇ	30	1	7
10	Jips-Kum-Çakıl	MÇ	30	1	28
11	Jips-Kum-Çakıl	MÇ	30	1	28
12	Jips-Kum-Çakıl	MÇ	30	1	28
13	Jips-Kum-Çakıl	PÇ	70	1	7
14	Jips-Kum-Çakıl	PÇ	70	1	7
15	Jips-Kum-Çakıl	PÇ	70	1	7
16	Jips-Kum-Çakıl	PÇ	70	1	28
17	Jips-Kum-Çakıl	PÇ	70	1	28
18	Jips-Kum-Çakıl	PÇ	70	1	28

Tablo B.1 Jips-Kum-Çakıl numunelerine yapılan enjeksiyonda kullanılan grout harcı, malzeme özellikleri ve kırım durumuna göre numuneler (devamı)

19	Jips-Kum-Çakıl	MÇ	70	1	7
20	Jips-Kum-Çakıl	MÇ	70	1	7
21	Jips-Kum-Çakıl	MÇ	70	1	7
22	Jips-Kum-Çakıl	MÇ	70	1	28
23	Jips-Kum-Çakıl	MÇ	70	1	28
24	Jips-Kum-Çakıl	MÇ	70	1	28
25	Jips-Kum-Çakıl	PÇ	70	1,5	7
26	Jips-Kum-Çakıl	PÇ	70	1,5	7
27	Jips-Kum-Çakıl	PÇ	70	1,5	7
28	Jips-Kum-Çakıl	PÇ	70	1,5	28
29	Jips-Kum-Çakıl	PÇ	70	1,5	28
30	Jips-Kum-Çakıl	PÇ	70	1,5	28
31	Jips-Kum-Çakıl	MÇ	70	1,5	7
32	Jips-Kum-Çakıl	MÇ	70	1,5	7
33	Jips-Kum-Çakıl	MÇ	70	1,5	7
34	Jips-Kum-Çakıl	MÇ	70	1,5	28
35	Jips-Kum-Çakıl	MÇ	70	1,5	28
36	Jips-Kum-Çakıl	MÇ	70	1,5	28
37	Jips-Kum-Çakıl	PÇ	30	1,5	7
38	Jips-Kum-Çakıl	PÇ	30	1,5	7
39	Jips-Kum-Çakıl	PÇ	30	1,5	7
40	Jips-Kum-Çakıl	PÇ	30	1,5	28
41	Jips-Kum-Çakıl	PÇ	30	1,5	28

Tablo B.1 Jips-Kum-Çakıl numunelerine yapılan enjeksiyonda kullanılan grout harcı, malzeme özellikleri ve kırım durumuna göre numuneler (devamı)

42	Jips-Kum-Çakıl	PÇ	30	1,5	28
43	Jips-Kum-Çakıl	MÇ	30	1,5	7
44	Jips-Kum-Çakıl	MÇ	30	1,5	7
45	Jips-Kum-Çakıl	MÇ	30	1,5	7
46	Jips-Kum-Çakıl	MÇ	30	1,5	28
47	Jips-Kum-Çakıl	MÇ	30	1,5	28
48	Jips-Kum-Çakıl	MÇ	30	1,5	28

Tablo B.2 Jips numunelerine yapılan enjeksiyonda kullanılan grout harcı, malzeme özellikleri ve fırınlama durumuna göre numuneler

Numune Numarası	**Kullanılan Malzeme**	**Kullanılan Çimento**	**Rölatif Sıkılık**	**s/ç oranı**	**Fırınlanma Derecesi (°C)**	**Fırınlama Sayısı**
101	Jips	PÇ	30	1	Oda Sıcaklığı	-
102	Jips	PÇ	30	1	Oda Sıcaklığı	-
103	Jips	PÇ	30	1	50	1
104	Jips	PÇ	30	1	50	3
105	Jips	PÇ	30	1	80	1
106	Jips	PÇ	30	1	80	3
107	Jips	PÇ	70	1	Oda Sıcaklığı	-
108	Jips	PÇ	70	1	Oda Sıcaklığı	-
109	Jips	PÇ	70	1	50	1
110	Jips	PÇ	70	1	50	3
111	Jips	PÇ	70	1	80	1
112	Jips	PÇ	70	1	80	3

Tablo B.2 Jips numunelerine yapılan enjeksiyonda kullanılan grout harcı, malzeme özellikleri ve fırınlama durumuna göre numuneler (devamı)

113	Jips	PÇ	30	1,5	Oda Sıcaklığı	-
114	Jips	PÇ	30	1,5	Oda Sıcaklığı	-
115	Jips	PÇ	30	1,5	50	1
116	Jips	PÇ	30	1,5	50	3
117	Jips	PÇ	30	1,5	80	1
118	Jips	PÇ	30	1,5	80	3
119	Jips	PÇ	70	1,5	Oda Sıcaklığı	-
120	Jips	PÇ	70	1,5	Oda Sıcaklığı	-
121	Jips	PÇ	70	1,5	50	1
122	Jips	PÇ	70	1,5	50	3
123	Jips	PÇ	70	1,5	80	1
124	Jips	PÇ	70	1,5	80	3
125	Jips	MÇ	30	1	Oda Sıcaklığı	-
126	Jips	MÇ	30	1	Oda Sıcaklığı	-
127	Jips	MÇ	30	1	50	1
128	Jips	MÇ	30	1	50	3
129	Jips	MÇ	30	1	80	1
130	Jips	MÇ	30	1	80	3
131	Jips	MÇ	70	1	Oda Sıcaklığı	-
132	Jips	MÇ	70	1	Oda Sıcaklığı	-
133	Jips	MÇ	70	1	50	1
134	Jips	MÇ	70	1	50	3
135	Jips	MÇ	70	1	80	1
136	Jips	MÇ	70	1	80	3

Tablo B.2 Jips numunelerine yapılan enjeksiyonda kullanılan grout harcı, malzeme özellikleri ve fırınlama durumuna göre numuneler (devamı)

137	Jips	MÇ	30	1,5	Oda Sıcaklığı	-
138	Jips	MÇ	30	1,5	Oda Sıcaklığı	-
139	Jips	MÇ	30	1,5	50	1
140	Jips	MÇ	30	1,5	50	3
141	Jips	MÇ	30	1,5	80	1
142	Jips	MÇ	30	1,5	80	3
143	Jips	MÇ	70	1,5	Oda Sıcaklığı	-
144	Jips	MÇ	70	1,5	Oda Sıcaklığı	-
145	Jips	MÇ	70	1,5	50	1
146	Jips	MÇ	70	1,5	50	3
147	Jips	MÇ	70	1,5	80	1
148	Jips	MÇ	70	1,5	80	3

Tablo B.3 Jips-Kum numunelerine yapılan enjeksiyonda kullanılan grout harcı, malzeme özellikleri ve fırınlama durumuna göre numuneler

Numune Numarası	**Kullanılan Malzeme**	**Kullanılan Çimento**	**Rölatif Sıkılık**	**s/ç oranı**	**Fırınlanma Derecesi (°C)**	**Fırınlama Sayısı**
201	Jips-Kum	PÇ	30	1	Oda Sıcaklığı	-
202	Jips-Kum	PÇ	30	1	Oda Sıcaklığı	-
203	Jips-Kum	PÇ	30	1	50	1
204	Jips-Kum	PÇ	30	1	50	3
205	Jips-Kum	PÇ	30	1	80	1
206	Jips-Kum	PÇ	30	1	80	3

Tablo B.3 Jips-Kum numunelerine yapılan enjeksiyonda kullanılan grout harcı, malzeme özellikleri ve fırınlama durumuna göre numuneler(devamı)

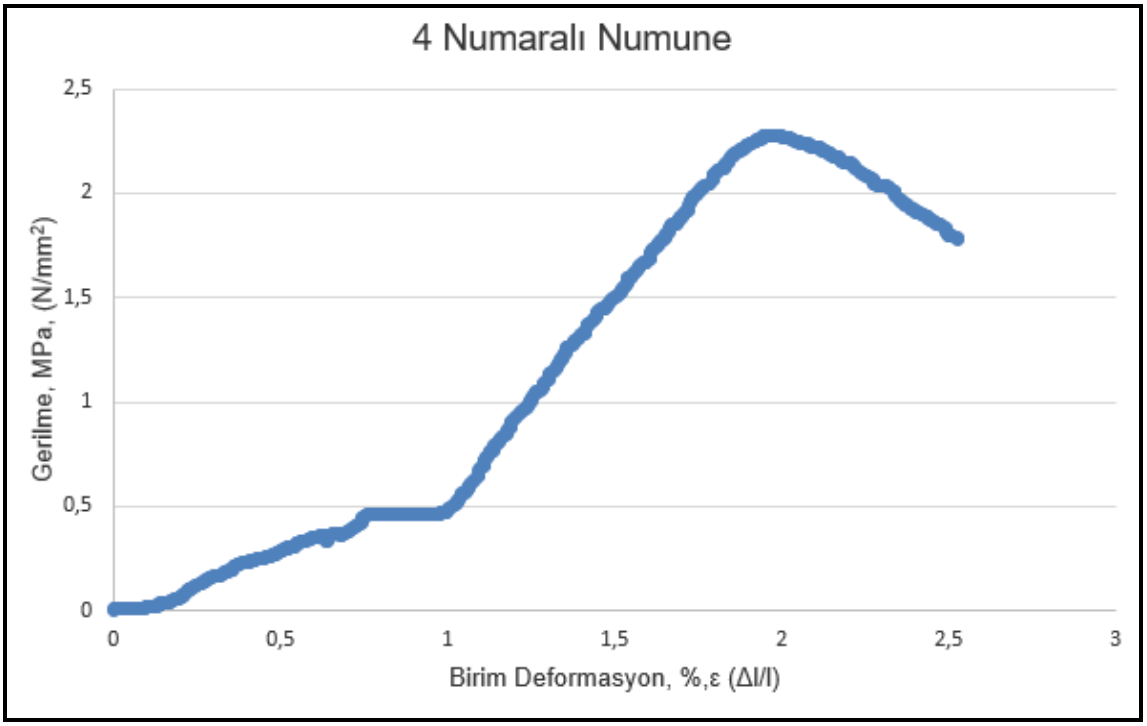
207	Jips-Kum	PÇ	70	1	Oda Sıcaklığı	-
208	Jips-Kum	PÇ	70	1	Oda Sıcaklığı	-
209	Jips-Kum	PÇ	70	1	50	1
210	Jips-Kum	PÇ	70	1	50	3
211	Jips-Kum	PÇ	70	1	80	1
212	Jips-Kum	PÇ	70	1	80	3
213	Jips-Kum	PÇ	30	1,5	Oda Sıcaklığı	-
214	Jips-Kum	PÇ	30	1,5	Oda Sıcaklığı	-
215	Jips-Kum	PÇ	30	1,5	50	1
216	Jips-Kum	PÇ	30	1,5	50	3
217	Jips-Kum	PÇ	30	1,5	80	1
218	Jips-Kum	PÇ	30	1,5	80	3
219	Jips-Kum	PÇ	70	1,5	Oda Sıcaklığı	-
220	Jips-Kum	PÇ	70	1,5	Oda Sıcaklığı	-
221	Jips-Kum	PÇ	70	1,5	50	1
222	Jips-Kum	PÇ	70	1,5	50	3
223	Jips-Kum	PÇ	70	1,5	80	1
224	Jips-Kum	PÇ	70	1,5	80	3
225	Jips-Kum	MÇ	30	1	Oda Sıcaklığı	-
226	Jips-Kum	MÇ	30	1	Oda Sıcaklığı	-
227	Jips-Kum	MÇ	30	1	50	1
228	Jips-Kum	MÇ	30	1	50	3
229	Jips-Kum	MÇ	30	1	80	1
230	Jips-Kum	MÇ	30	1	80	3

Tablo B.3 Jips-Kum numunelerine yapılan enjeksiyonda kullanılan grout harcı, malzeme özellikleri ve fırınlama durumuna göre numuneler (devamı)

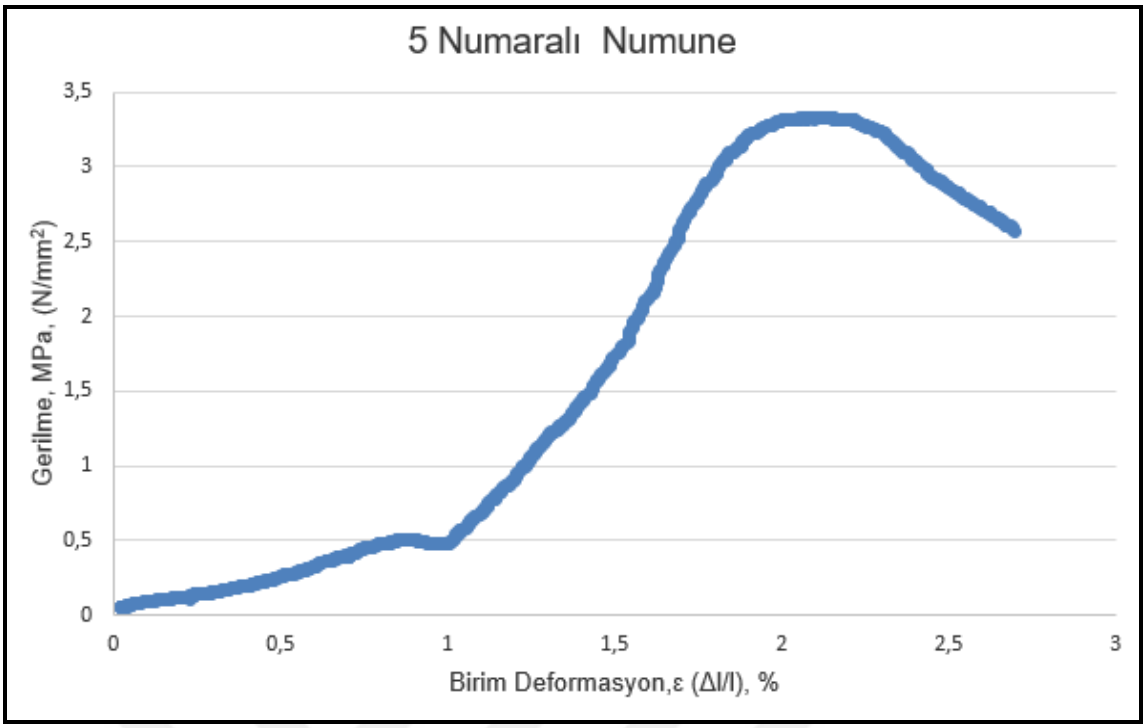
231	Jips-Kum	MÇ	70	1	Oda Sıcaklığı	-
232	Jips-Kum	MÇ	70	1	Oda Sıcaklığı	-
233	Jips-Kum	MÇ	70	1	50	1
234	Jips-Kum	MÇ	70	1	50	3
235	Jips-Kum	MÇ	70	1	80	1
236	Jips-Kum	MÇ	70	1	80	3
237	Jips-Kum	MÇ	30	1,5	Oda Sıcaklığı	-
238	Jips-Kum	MÇ	30	1,5	Oda Sıcaklığı	-
239	Jips-Kum	MÇ	30	1,5	50	1
240	Jips-Kum	MÇ	30	1,5	50	3
241	Jips-Kum	MÇ	30	1,5	80	1
242	Jips-Kum	MÇ	30	1,5	80	3
243	Jips-Kum	MÇ	70	1,5	Oda Sıcaklığı	-
244	Jips-Kum	MÇ	70	1,5	Oda Sıcaklığı	-
245	Jips-Kum	MÇ	70	1,5	50	1
246	Jips-Kum	MÇ	70	1,5	50	3
247	Jips-Kum	MÇ	70	1,5	80	1
248	Jips-Kum	MÇ	70	1,5	80	3

C

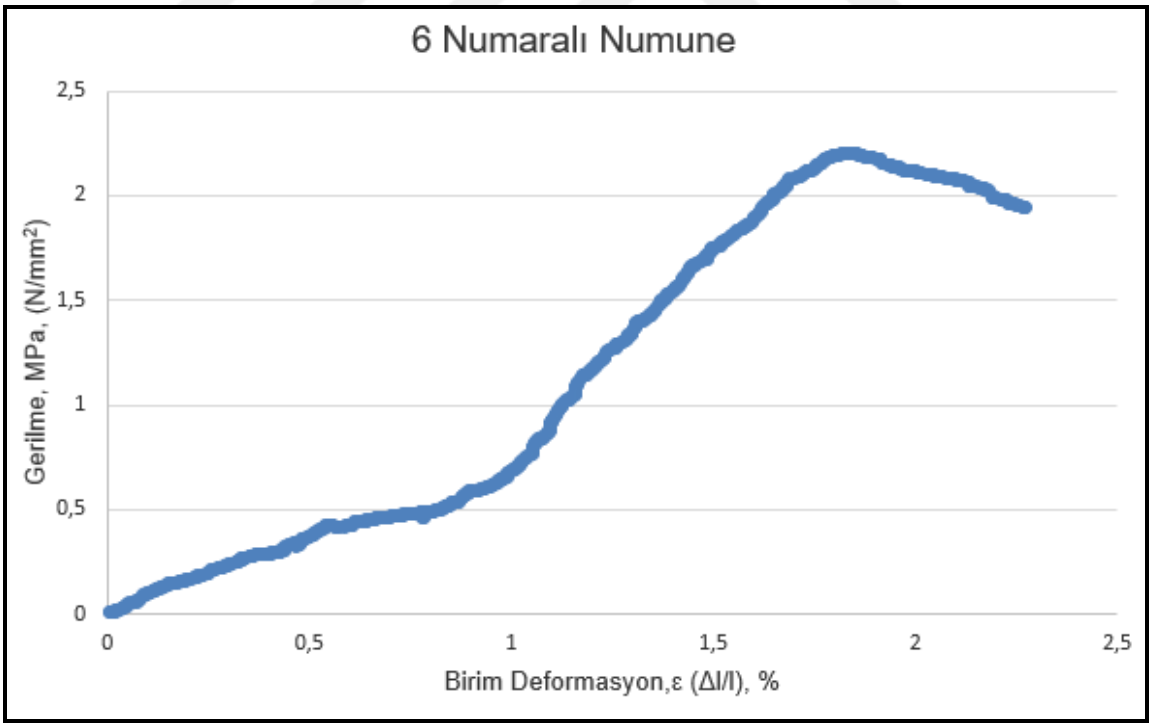
SERBEST BASINÇ DENEYİNE TABİ TUTULAN NUMUNELERİN GERİLME-BİRİM DEFORMASYON GRAFİKLERİ



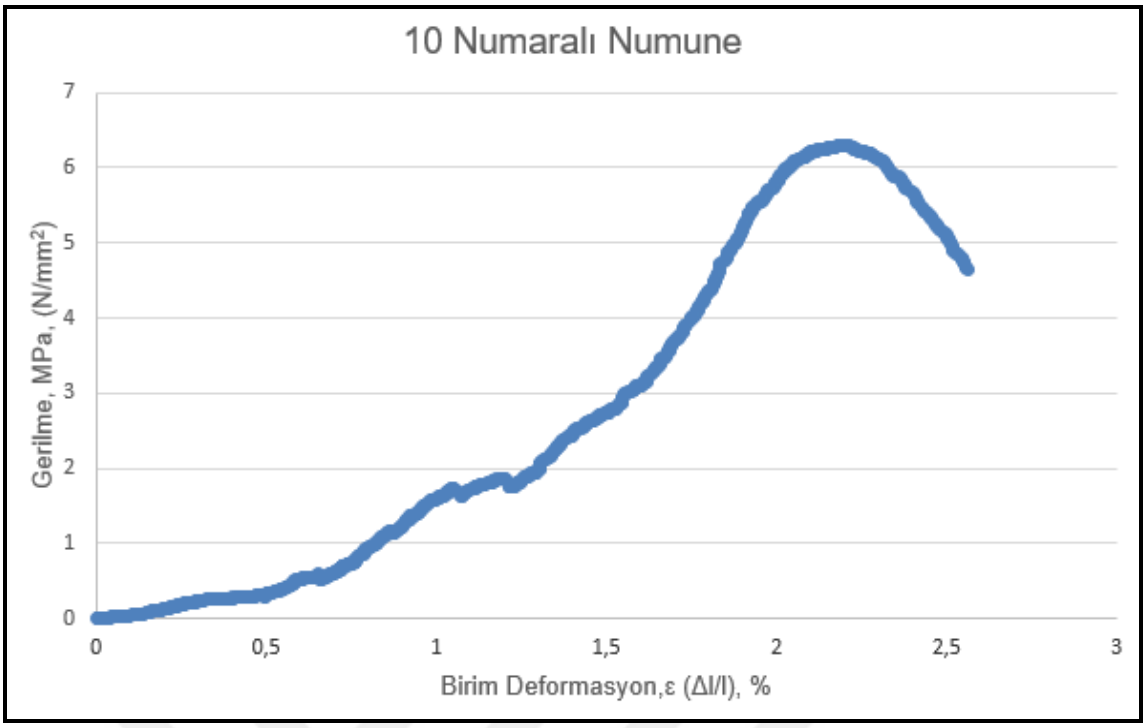
Şekil C.1 s/ç= 1 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



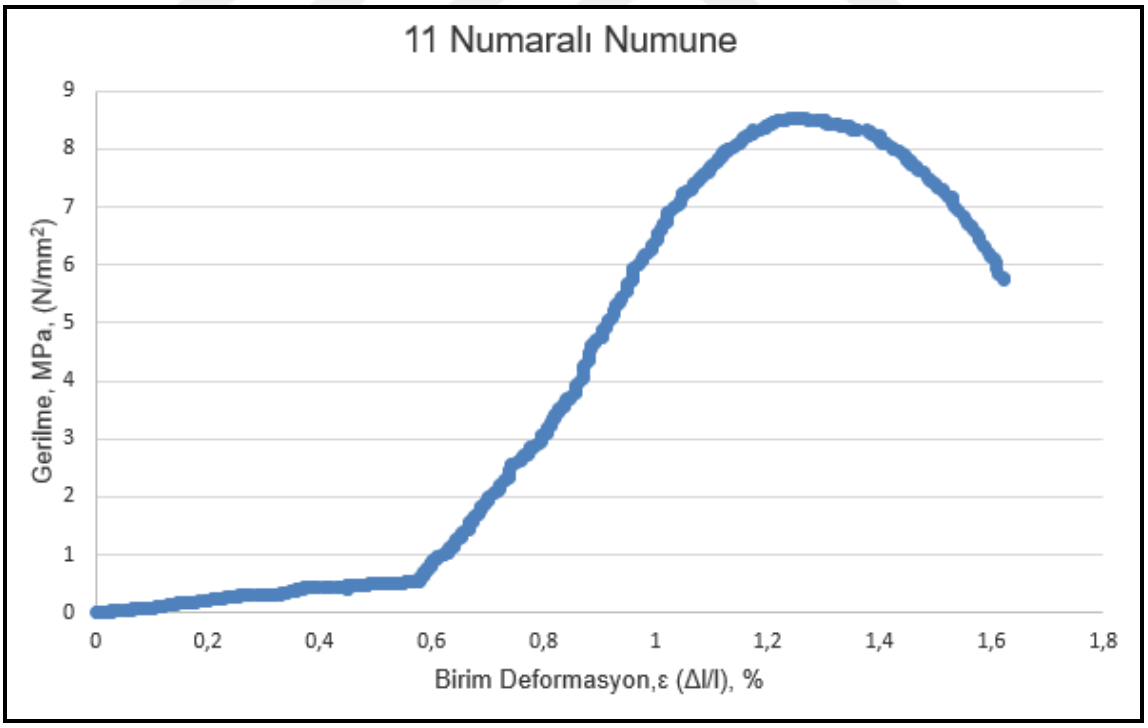
Şekil C.2 s/ç= 1 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



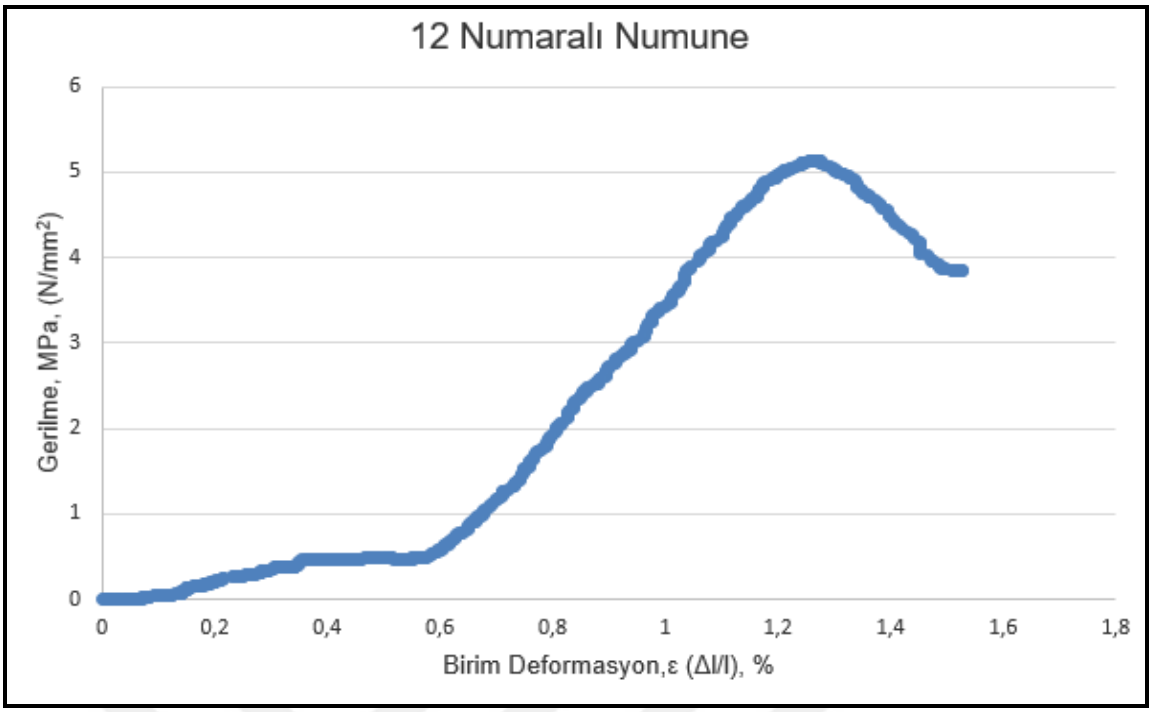
Şekil C.3 s/ç= 1 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



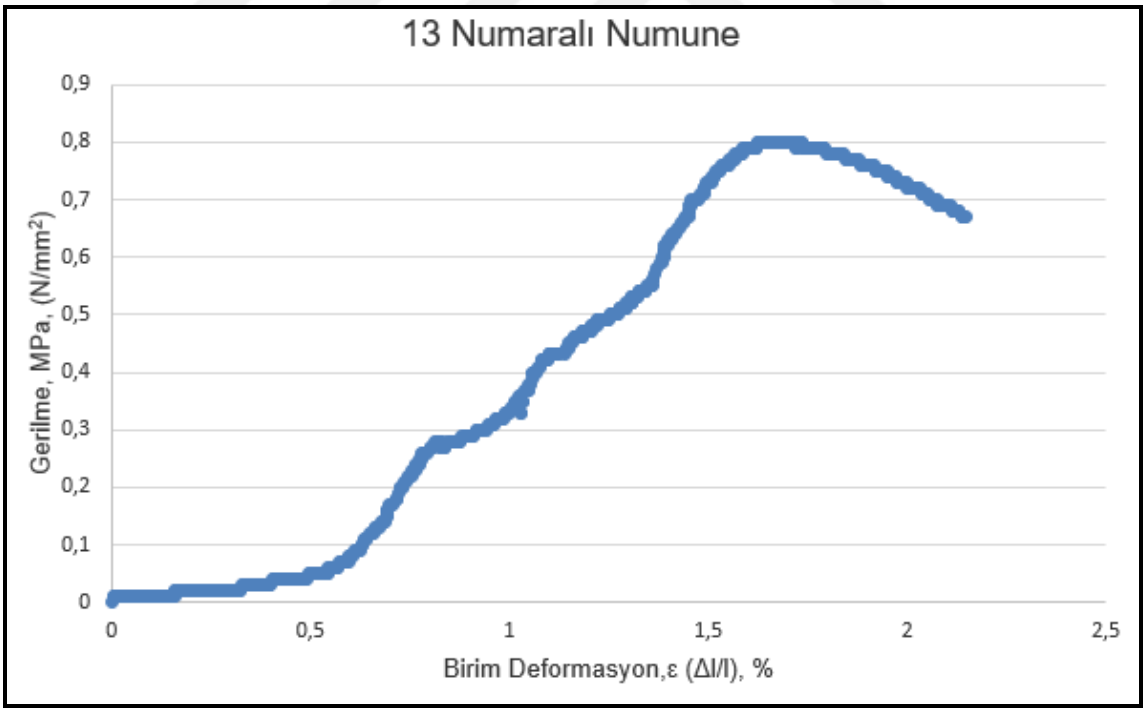
Şekil C.4 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



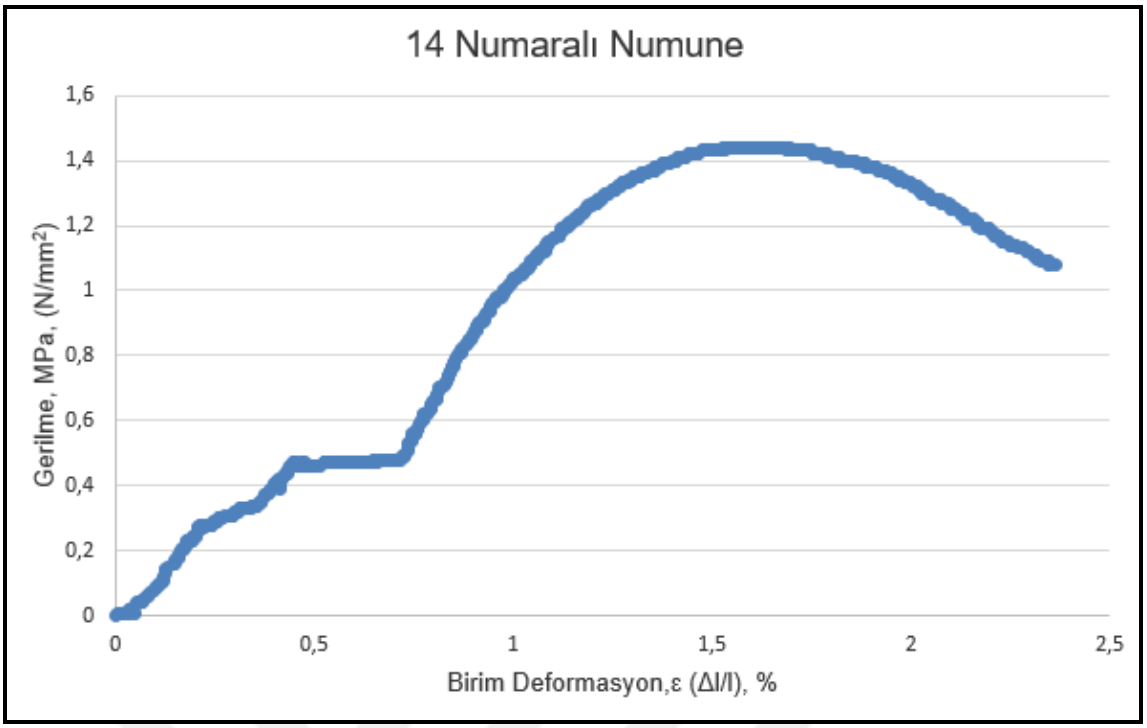
Şekil C.5 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



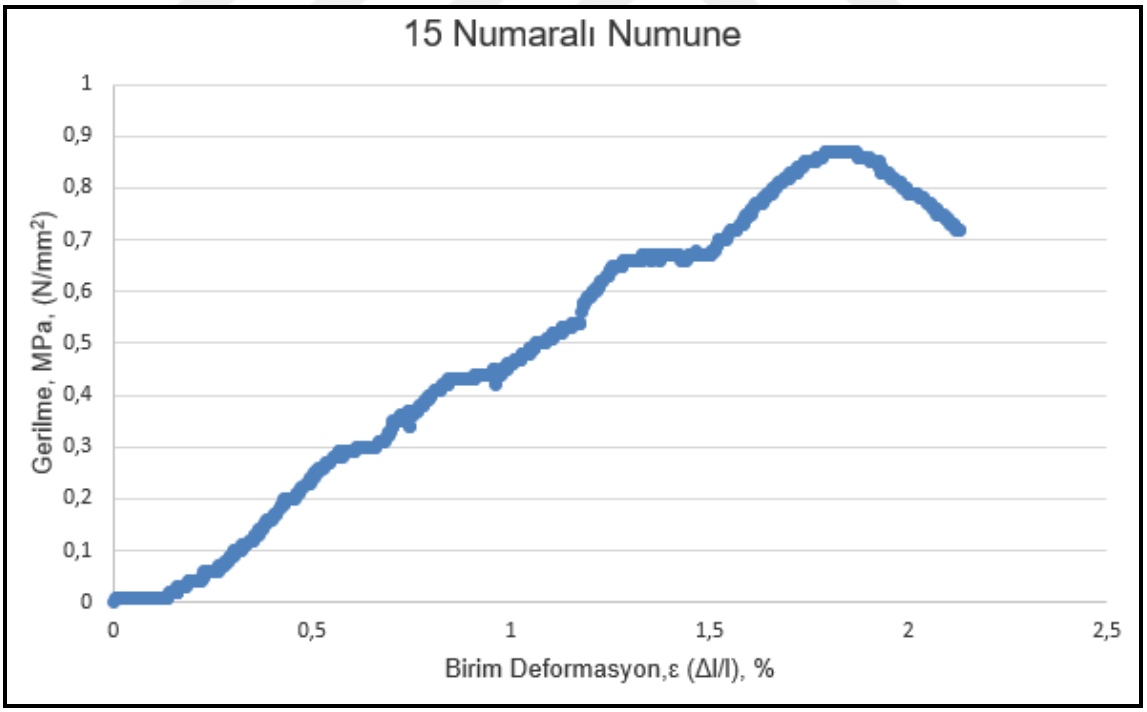
Şekil C.6 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



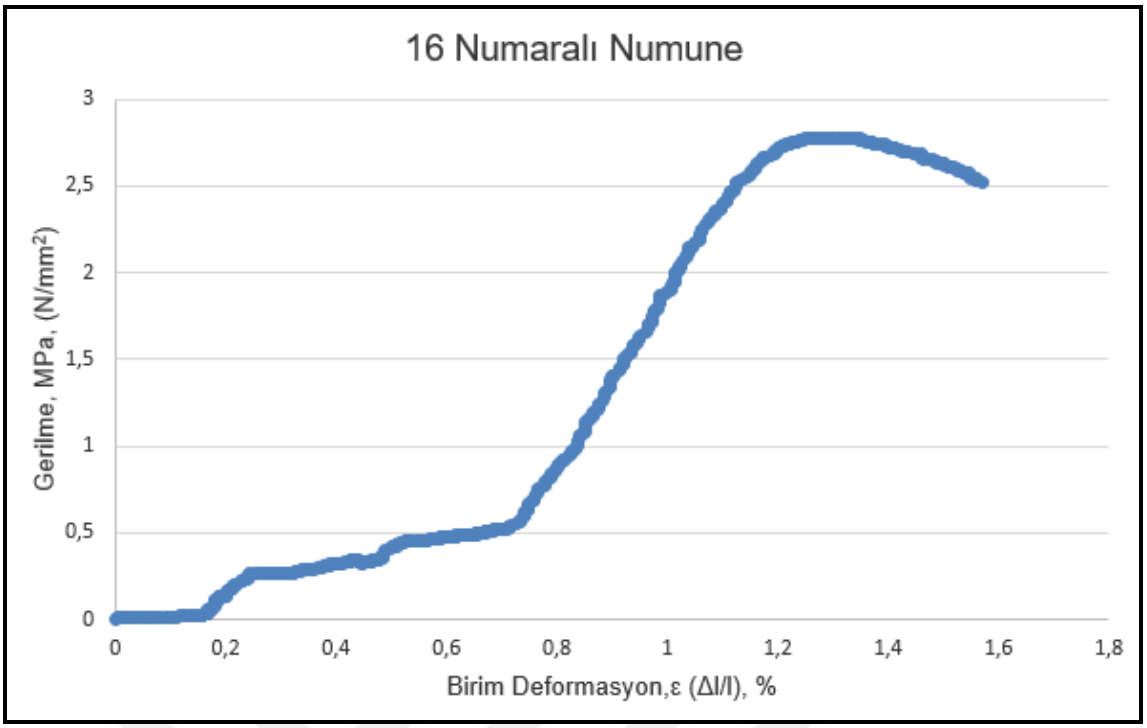
Şekil C.7 s/ç= 1 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



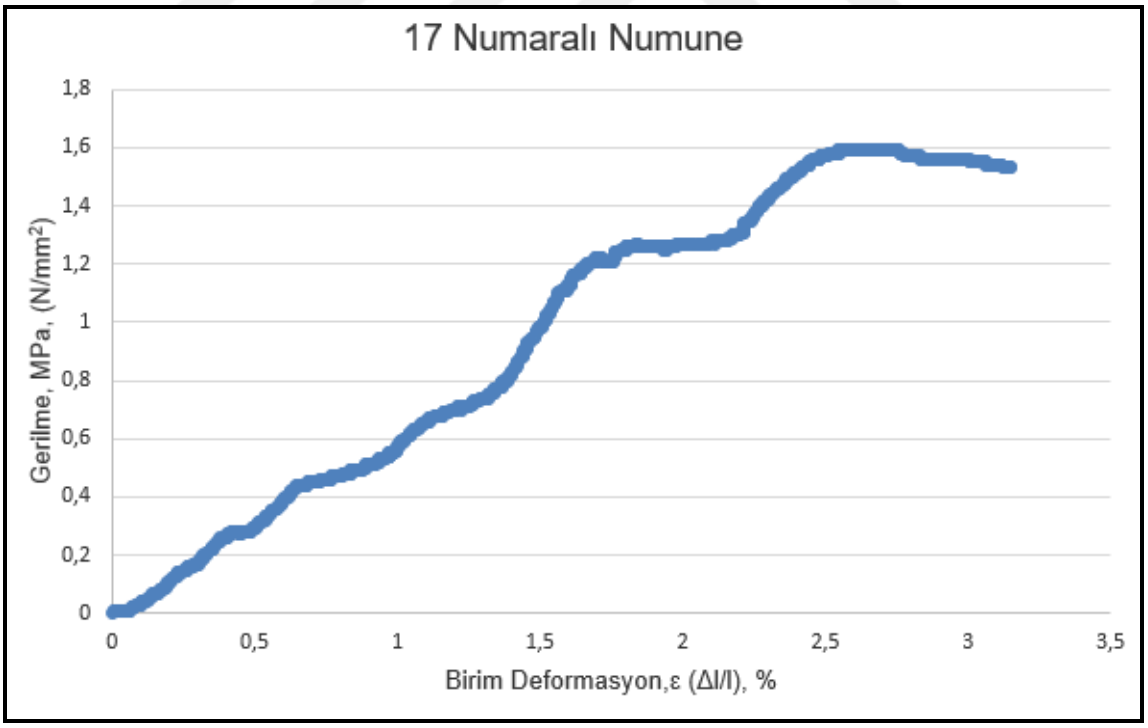
Şekil C.8 s/ç= 1 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



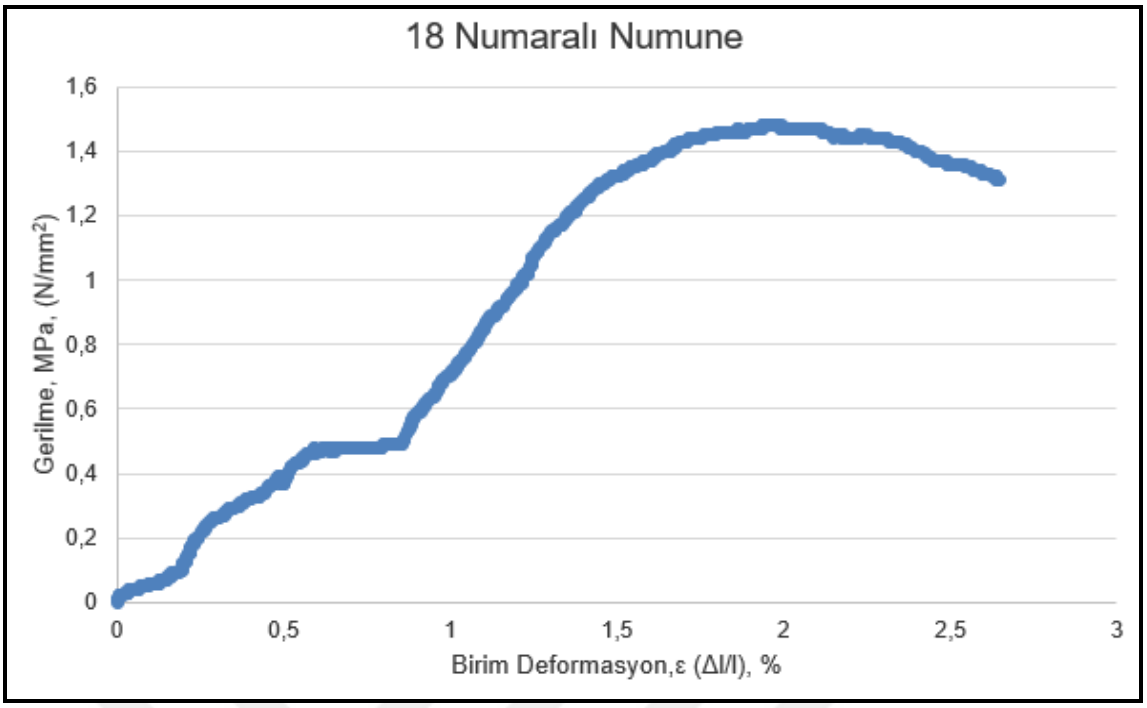
Şekil C.9 s/ç= 1 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



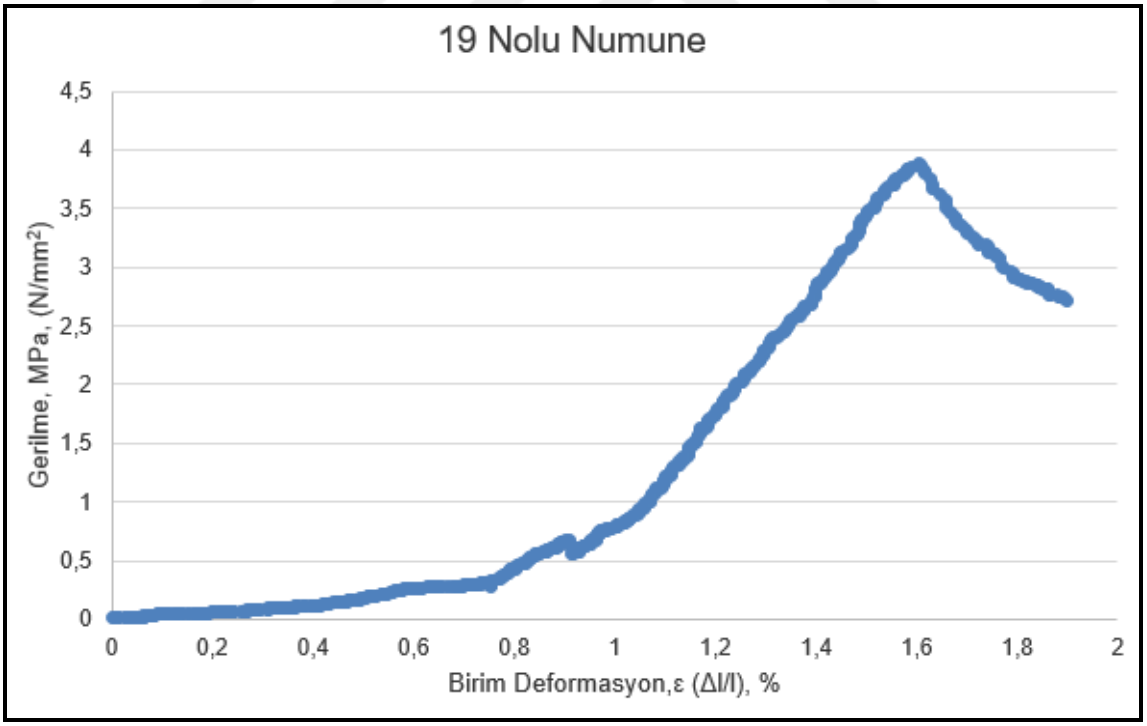
Şekil C.10 s/ç= 1 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



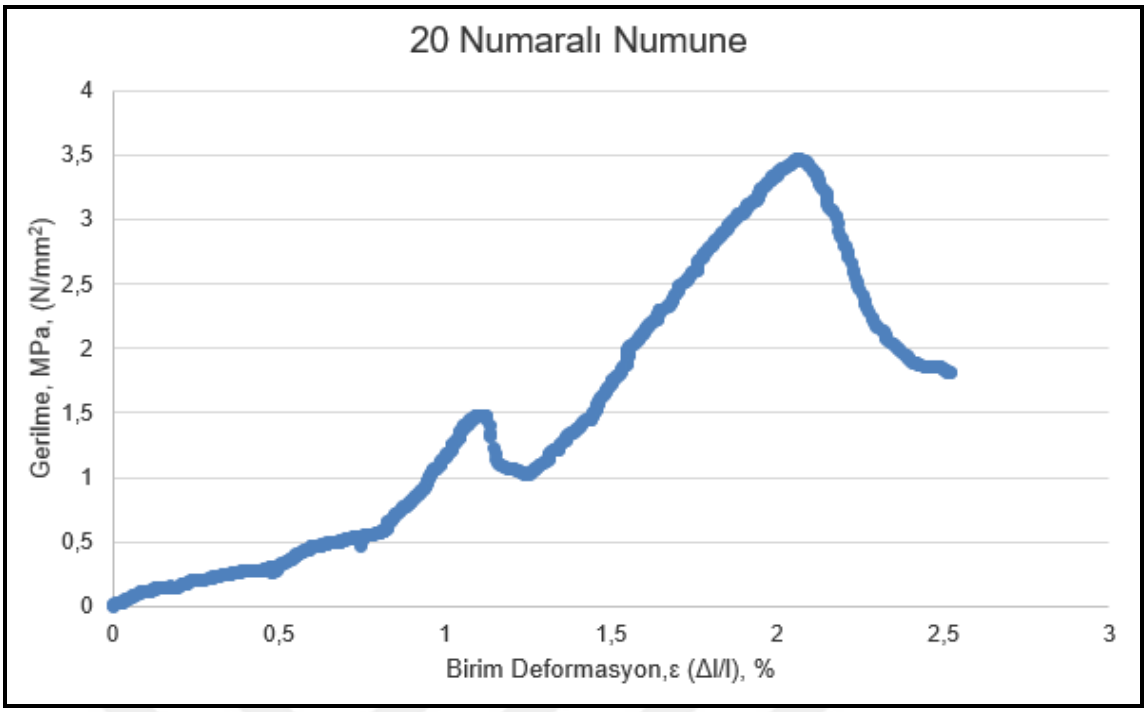
Şekil C.11 s/ç= 1 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



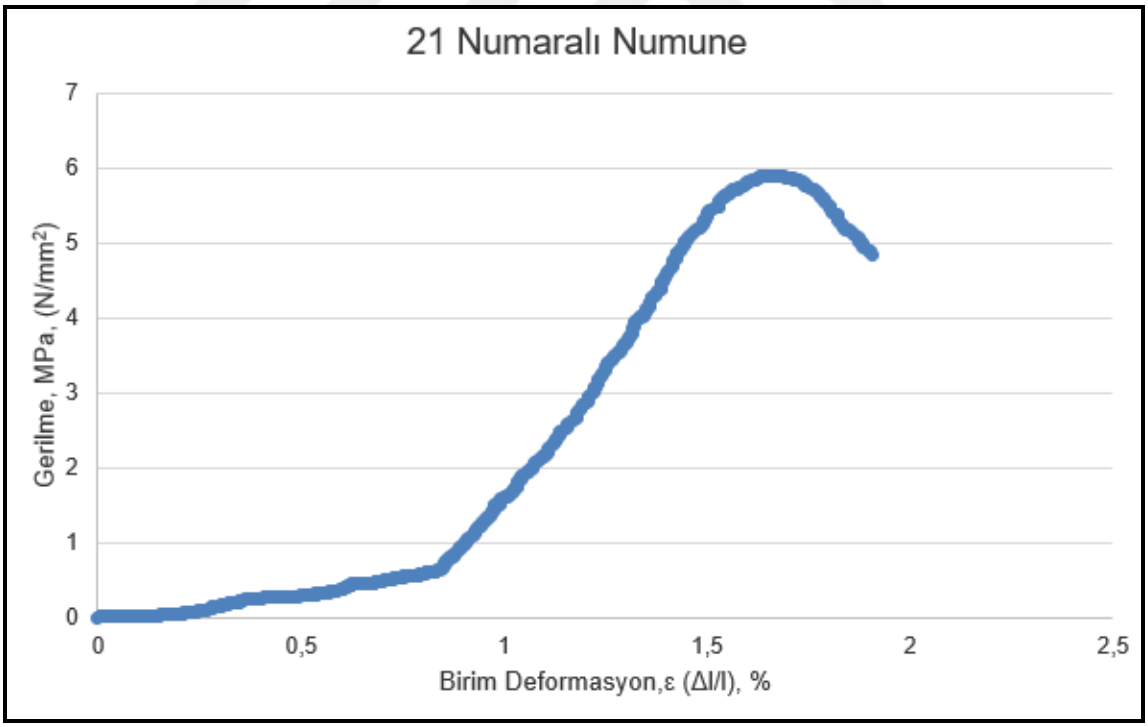
Şekil C.12 s/ç= 1 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



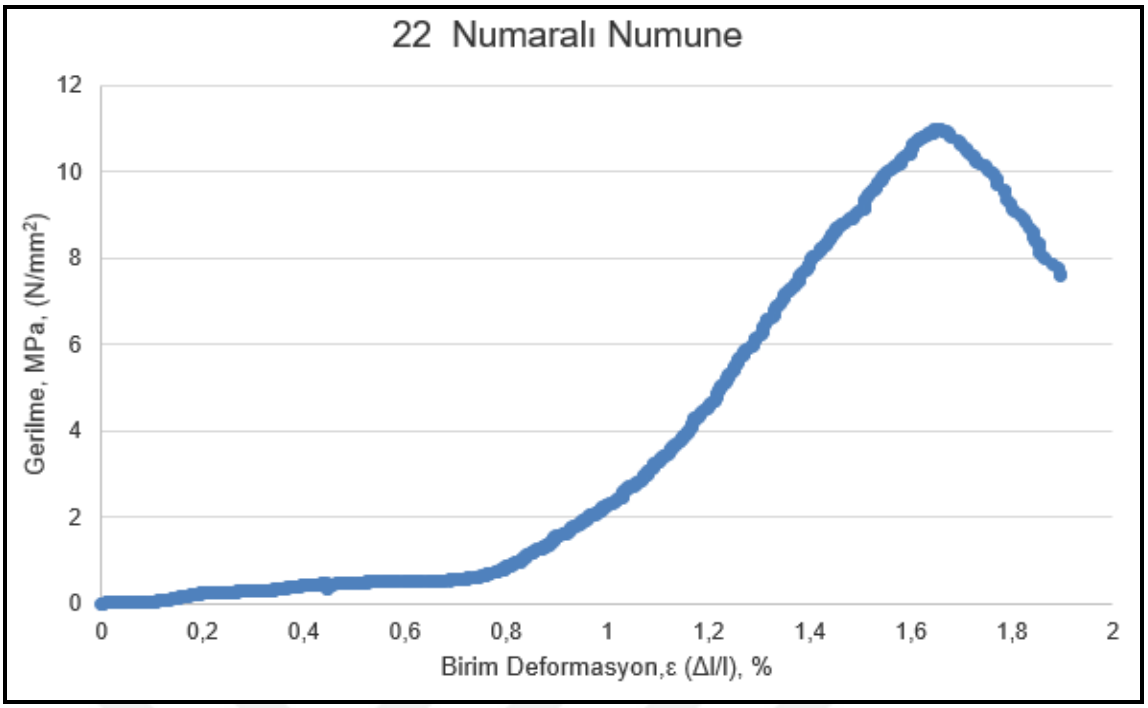
Şekil C.13 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



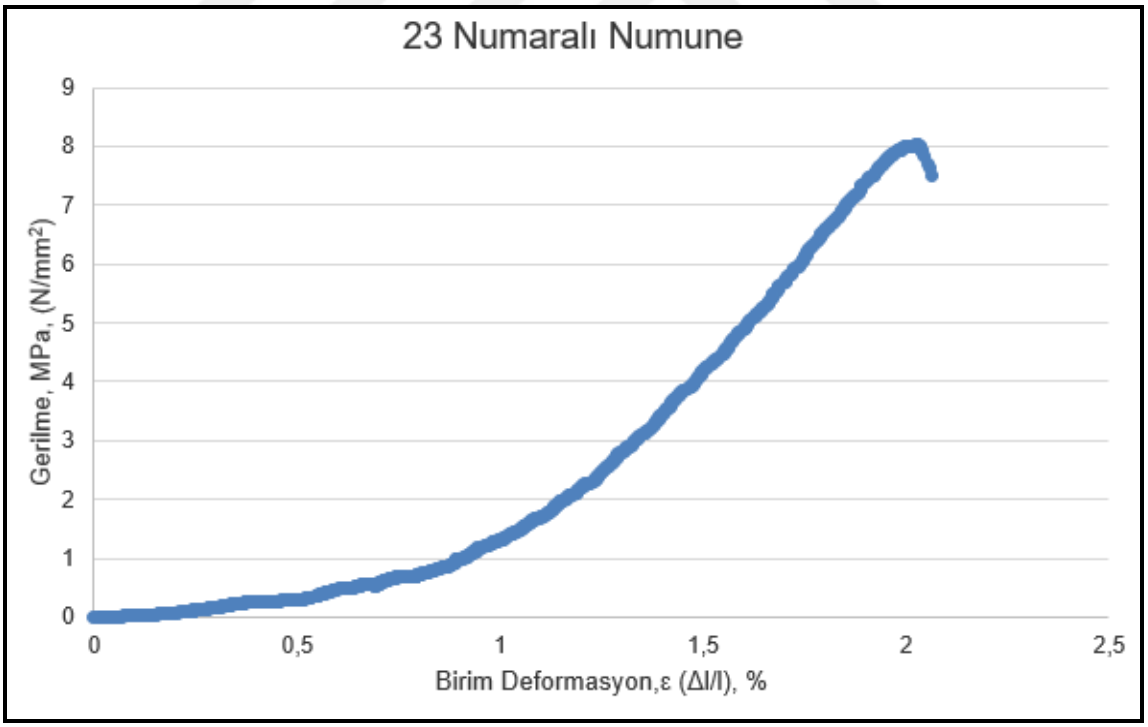
Şekil C.14 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



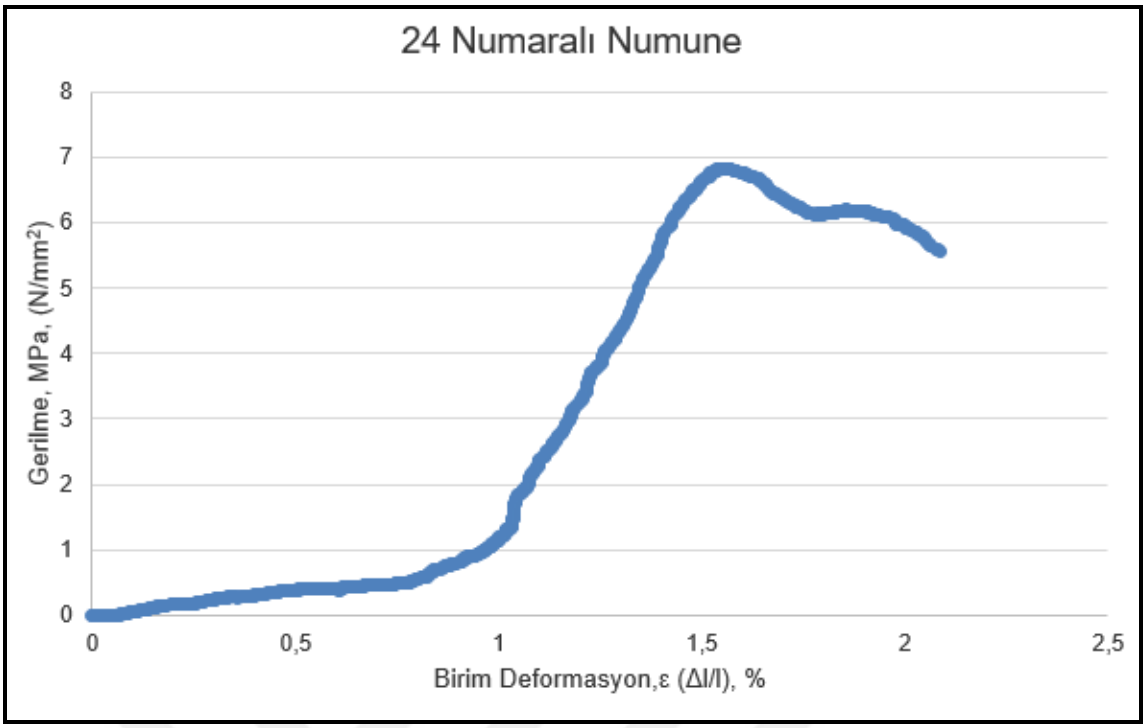
Şekil C.15 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



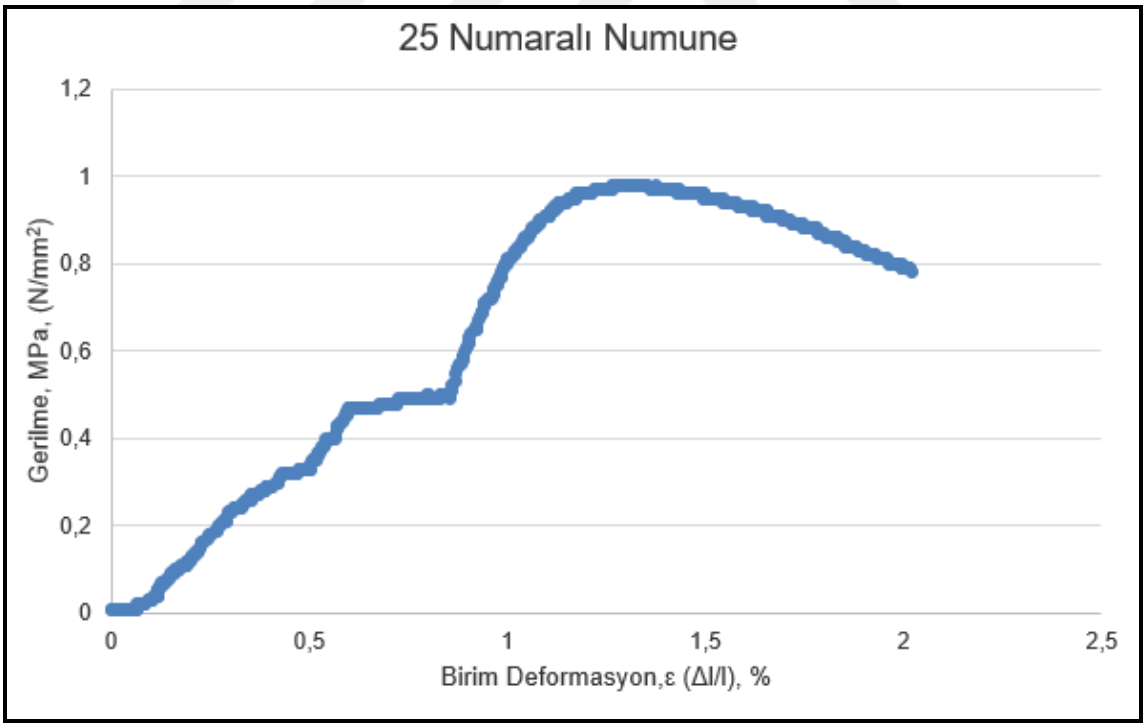
Şekil C.16 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



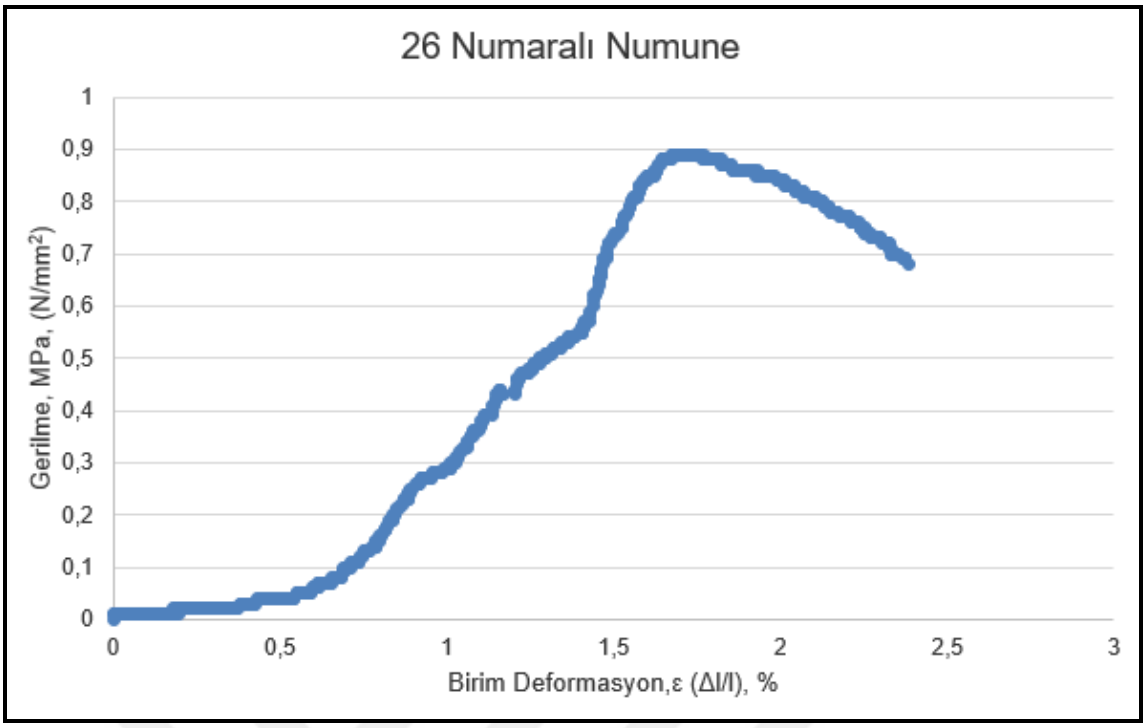
Şekil C.17 s/ç=1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



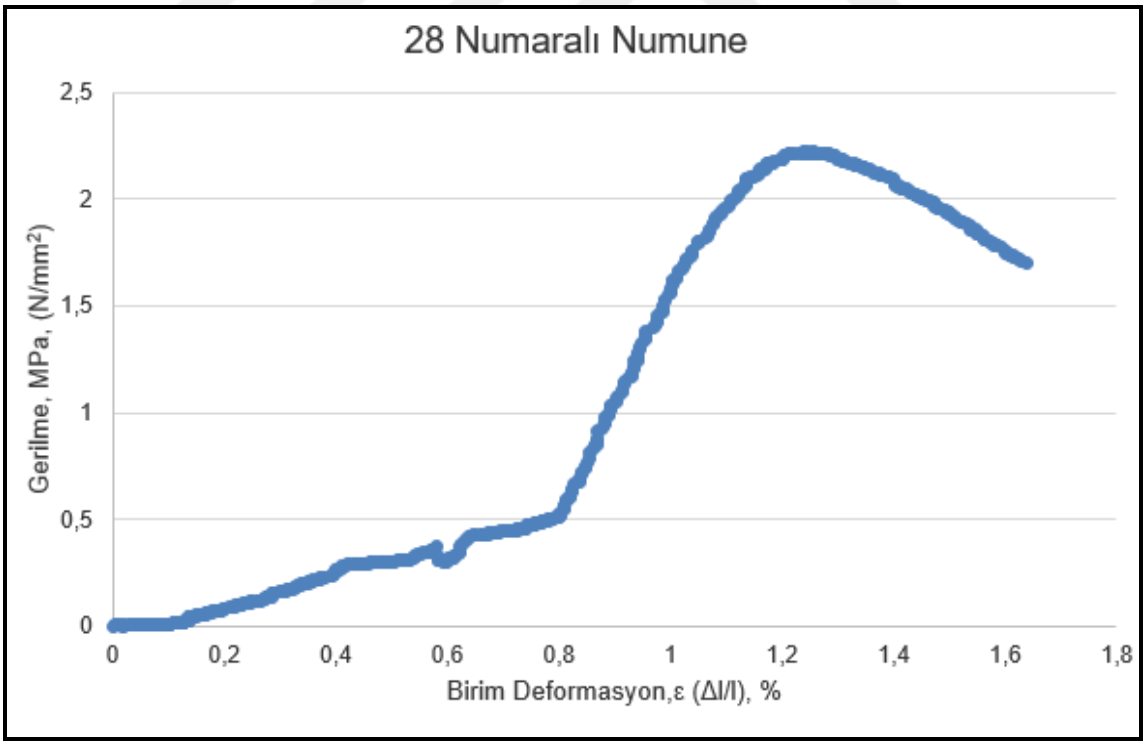
Şekil C.18 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



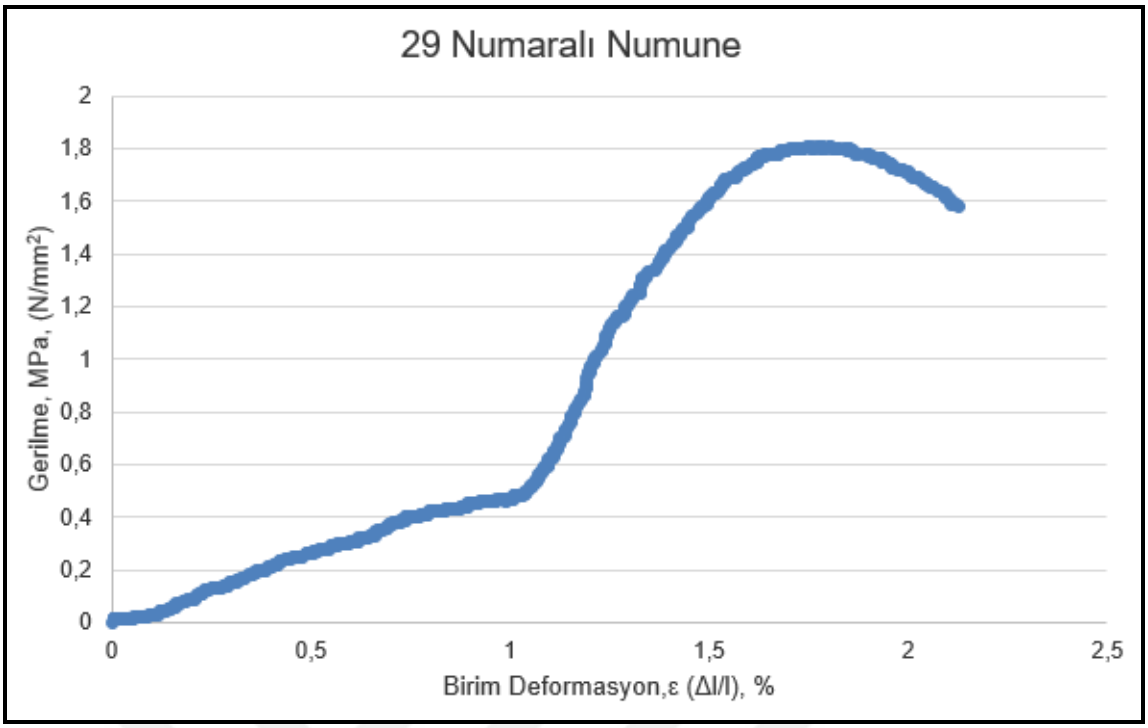
Şekil C.19 s/ç= 1.5 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



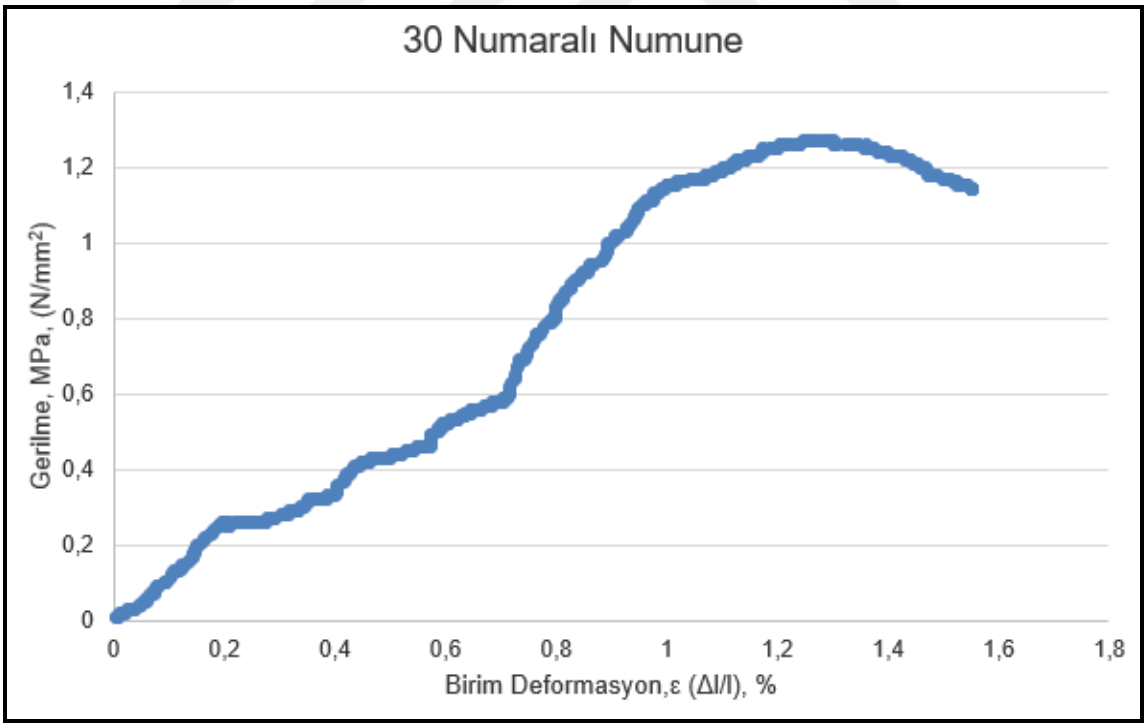
Şekil C.20 s/ç= 1.5 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



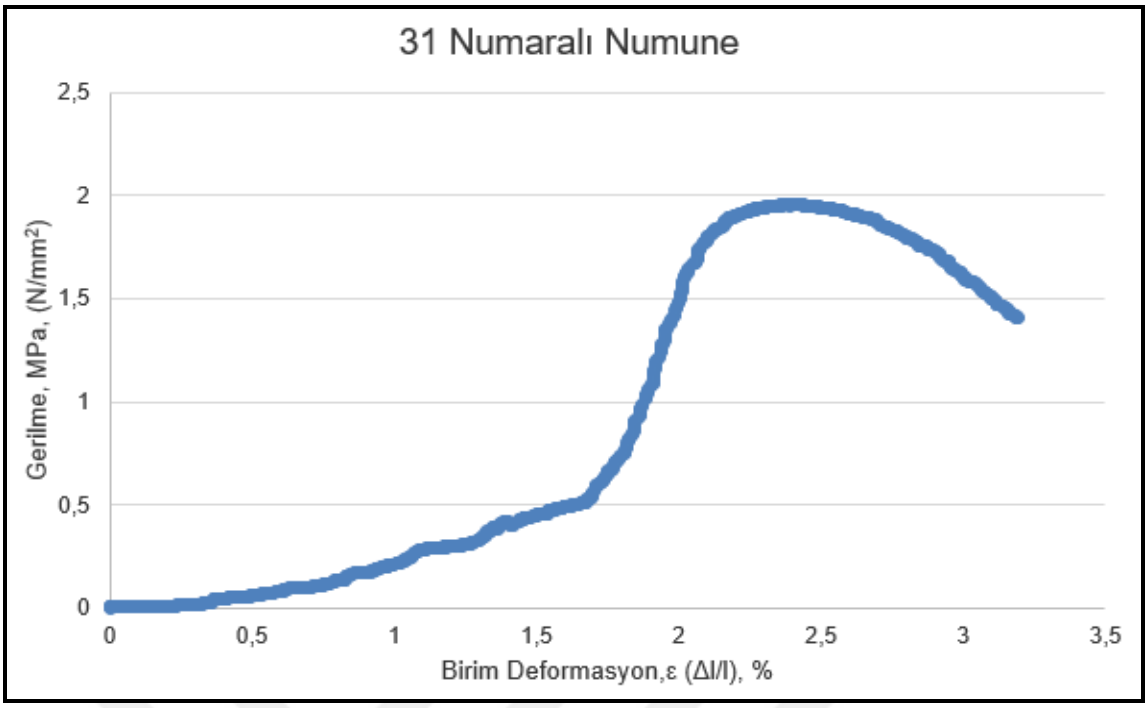
Şekil C.21 s/ç= 1.5 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



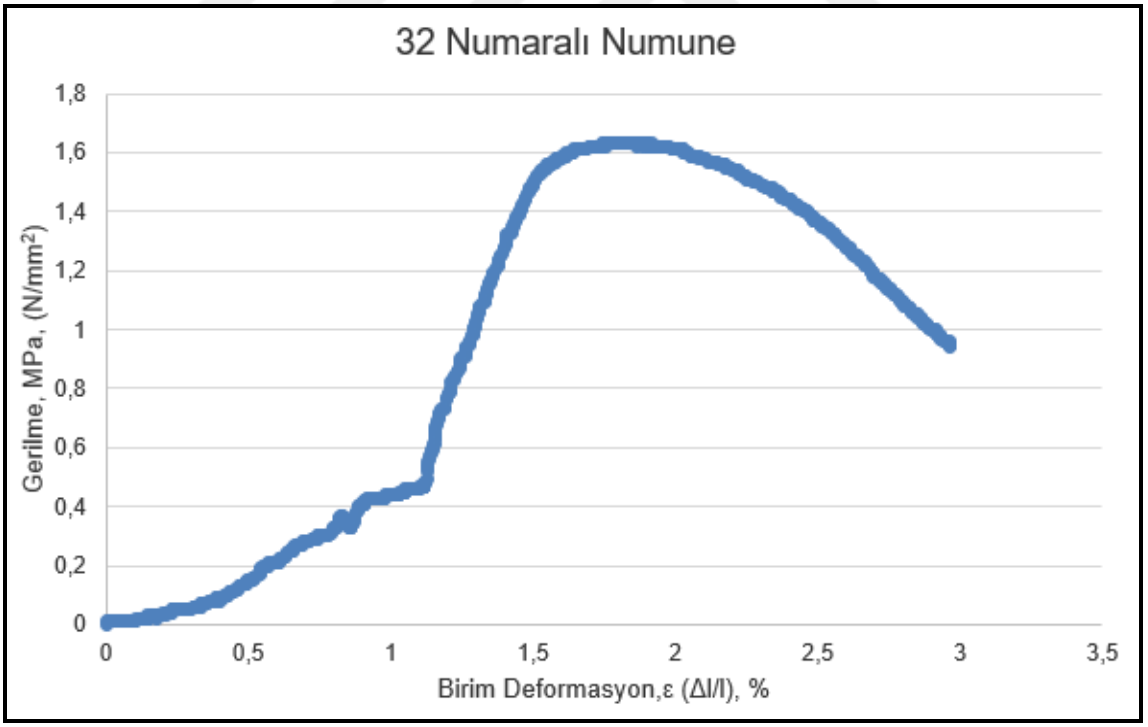
Şekil C.22 s/ç= 1.5 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



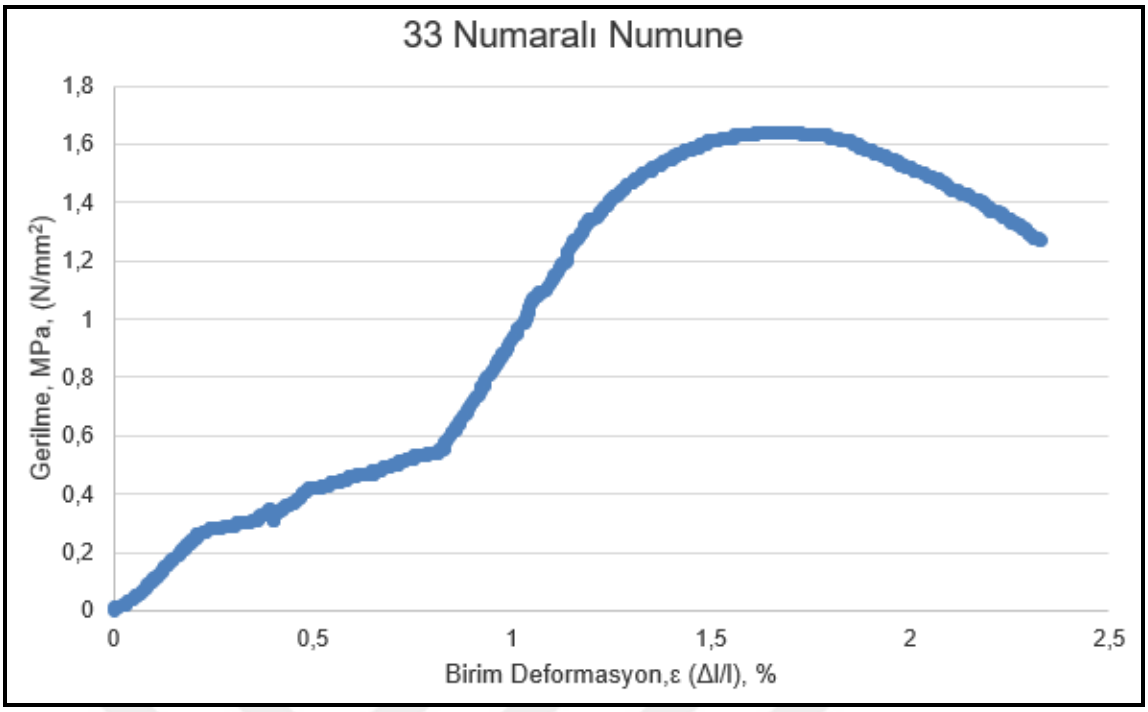
Şekil C.23 s/ç= 1.5 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



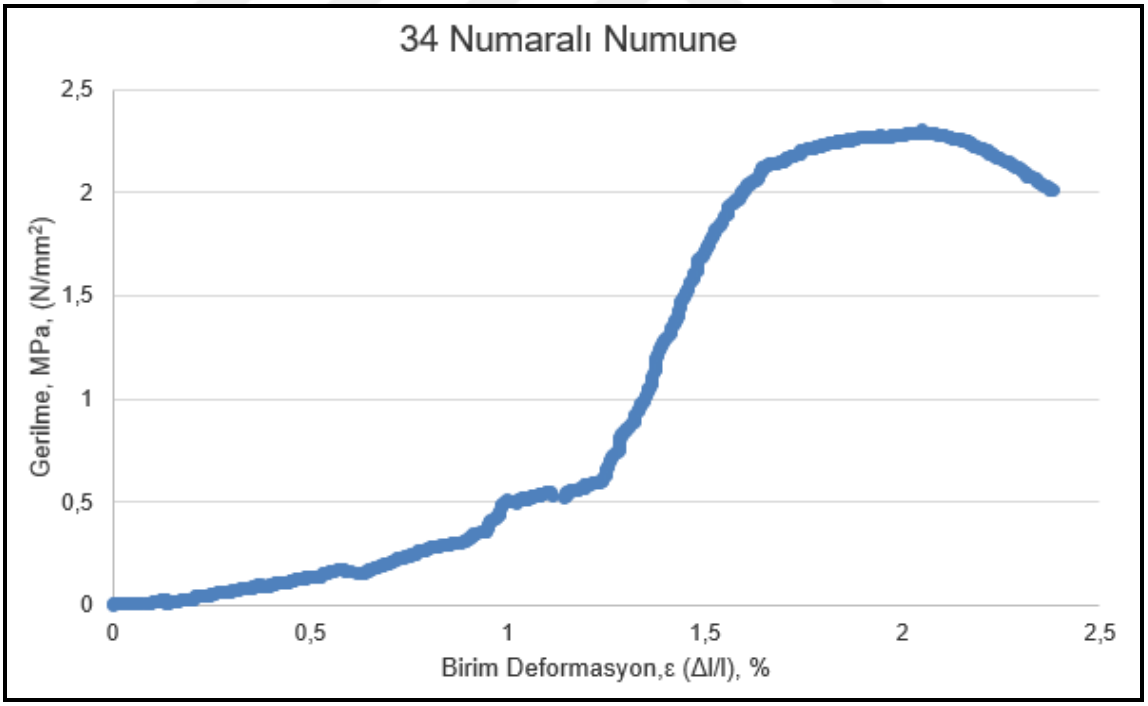
Şekil C.24 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



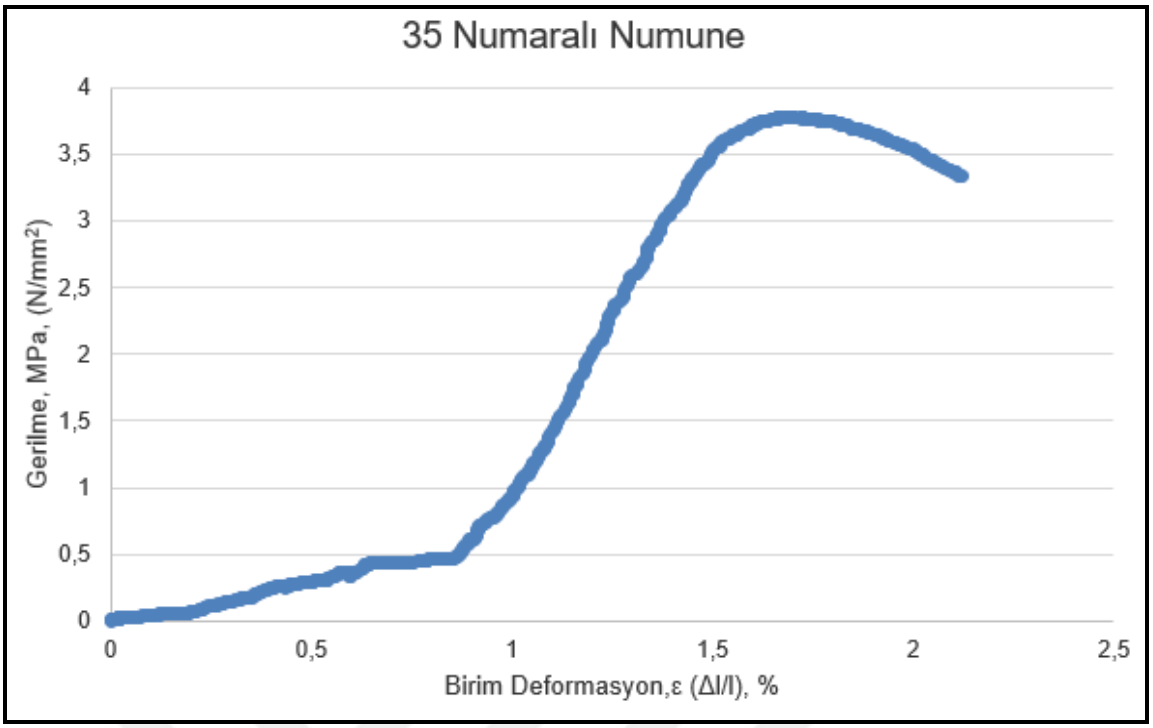
Şekil C.25 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



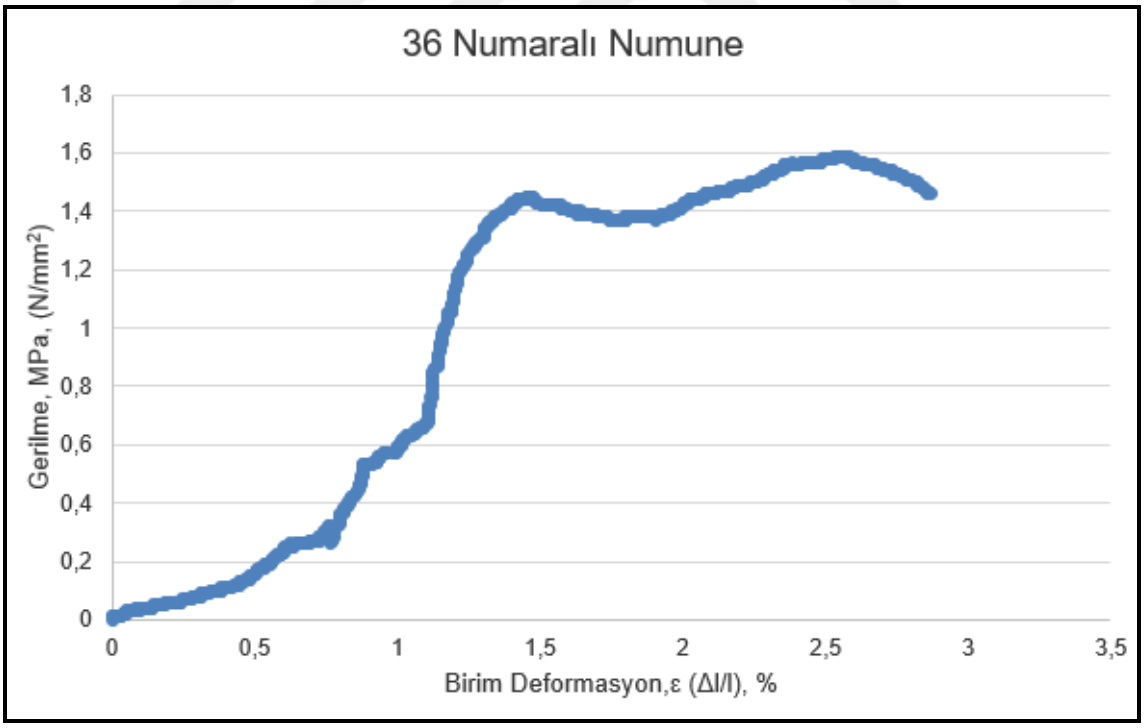
Şekil C.26 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



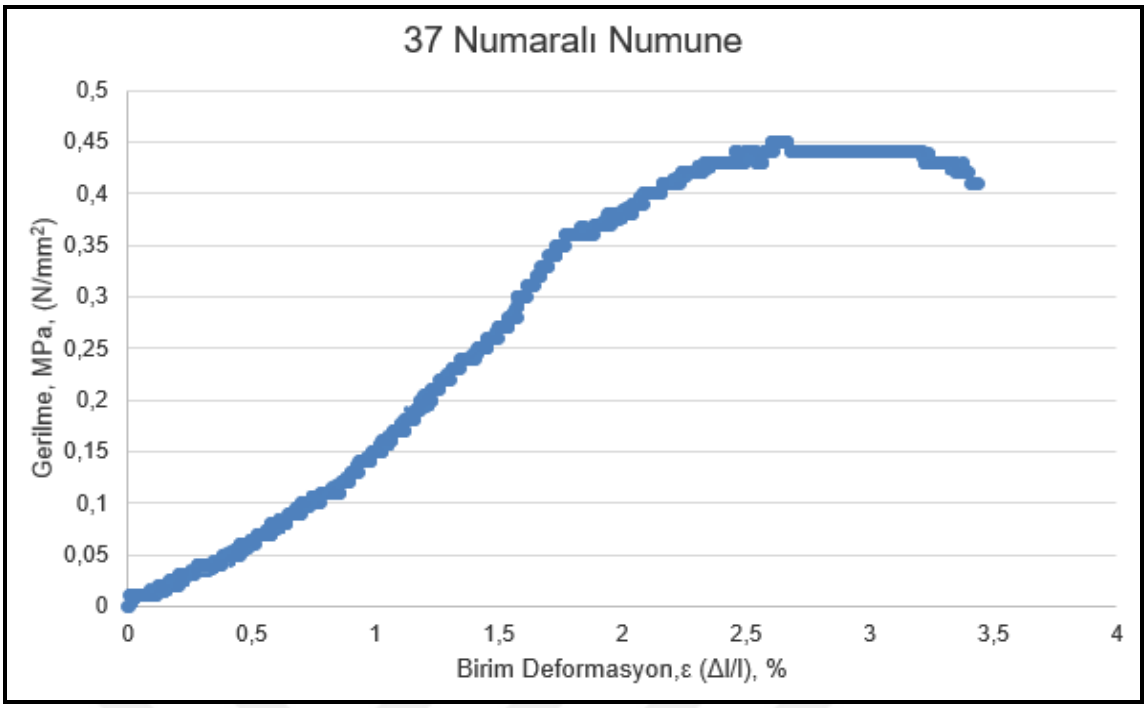
Şekil C.27 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



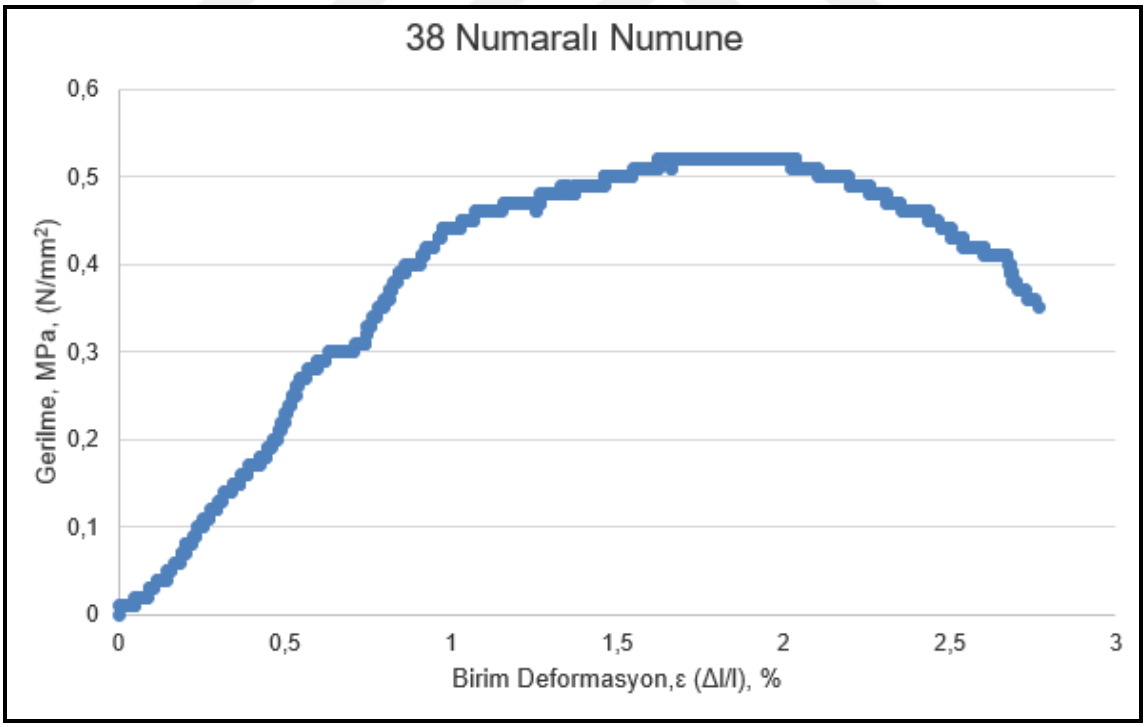
Şekil C.28 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



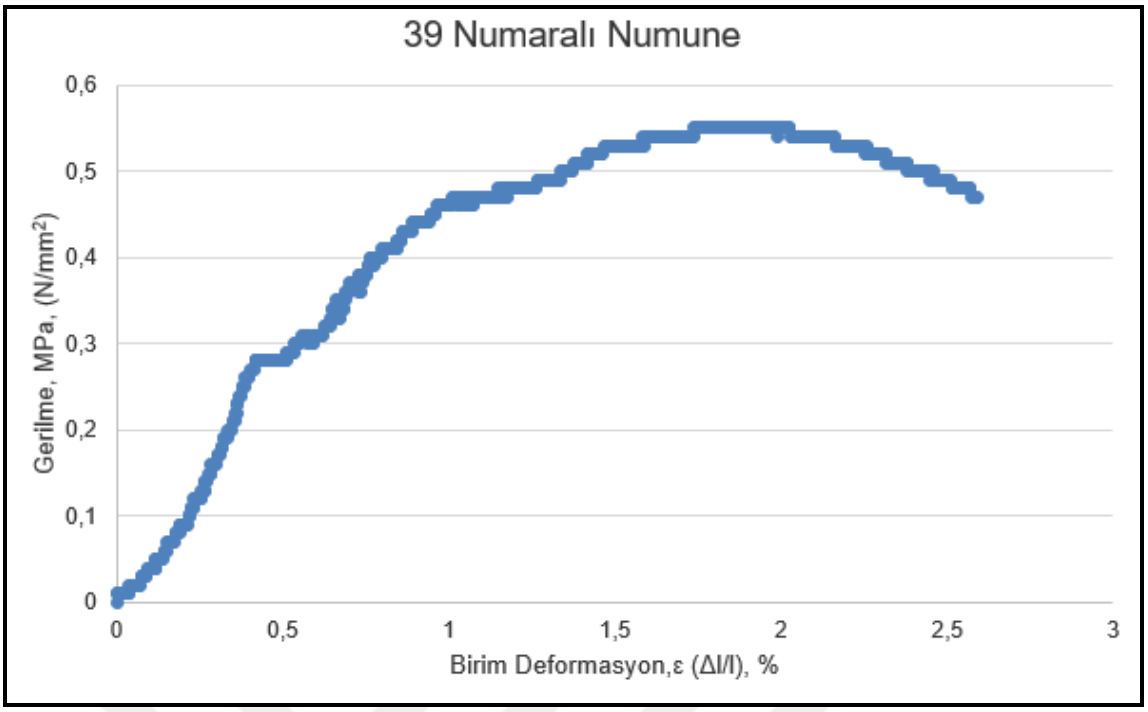
Şekil C.29 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 70 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



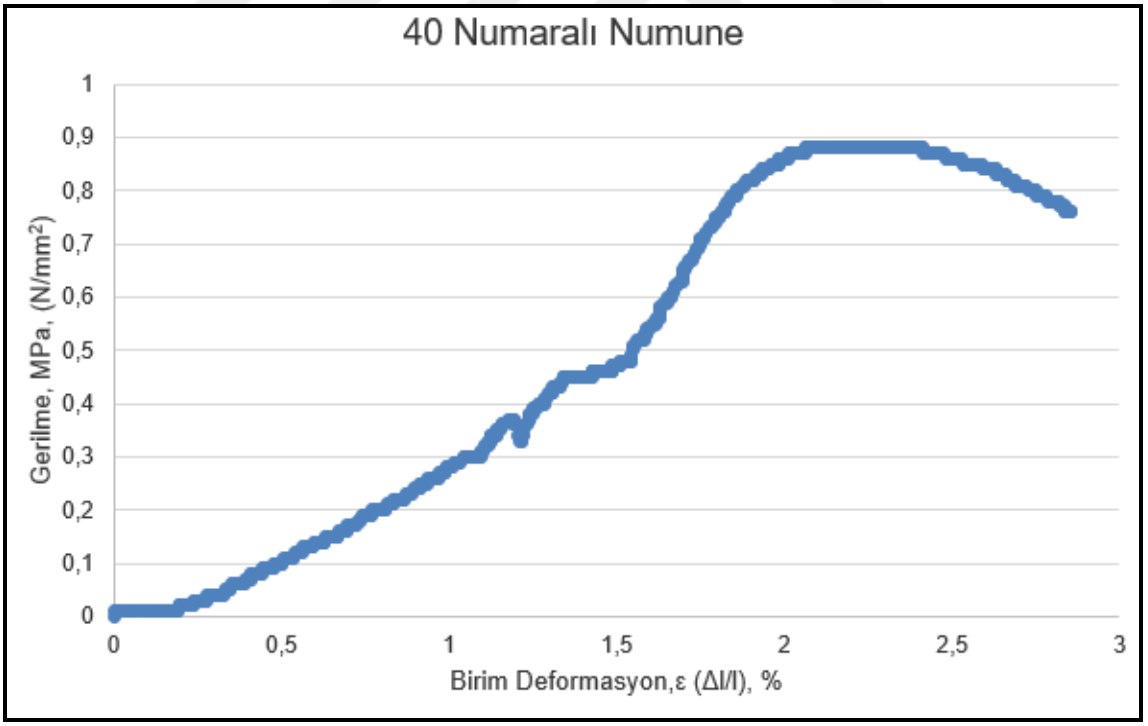
Şekil C.30 s/ç= 1.5 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



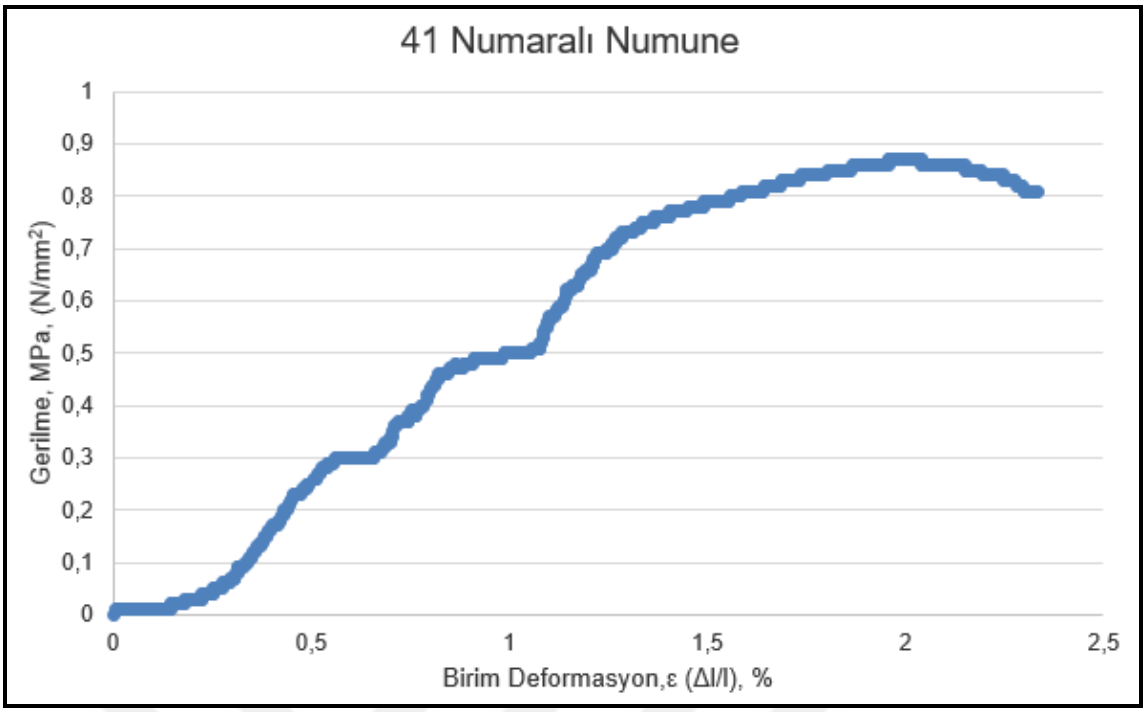
Şekil C.31 s/ç= 1.5 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



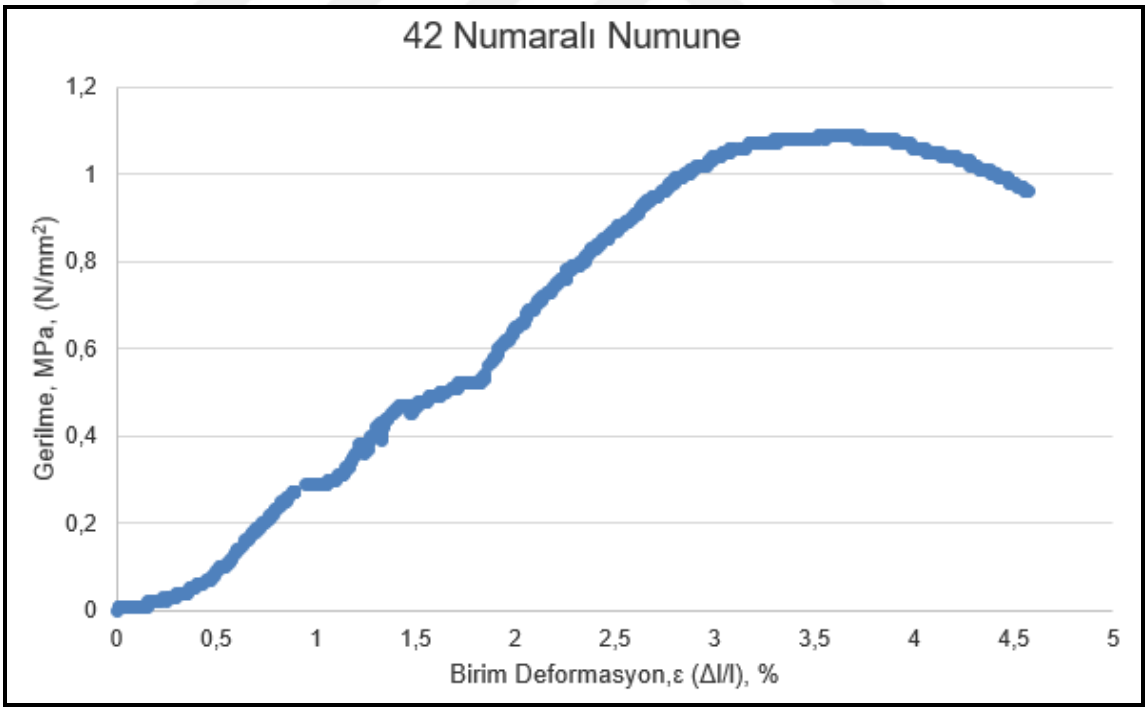
Şekil C.32 s/ç= 1.5 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



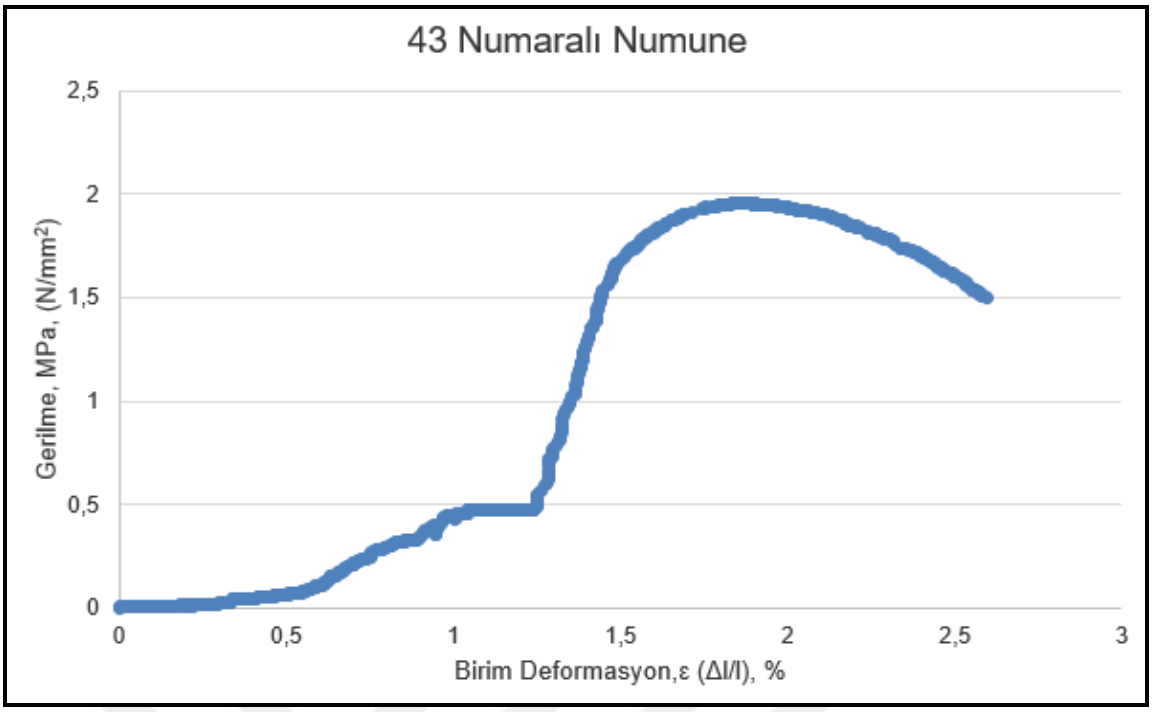
Şekil C.33 s/ç= 1.5 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



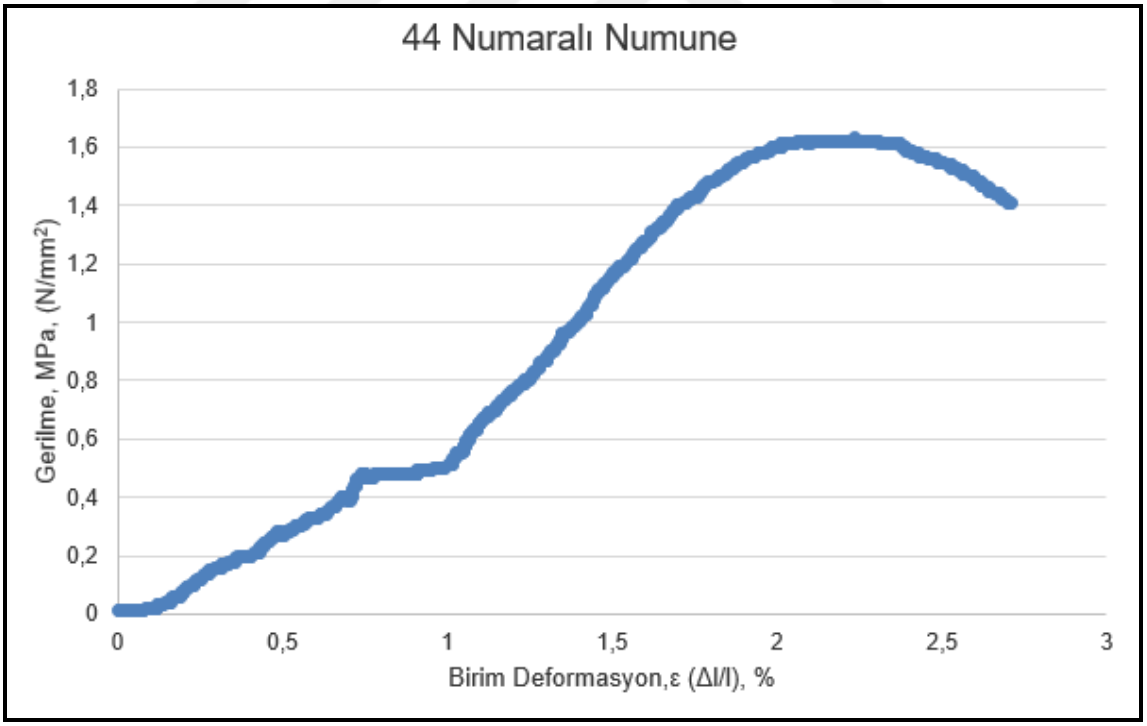
Şekil C.34 s/ç= 1.5 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



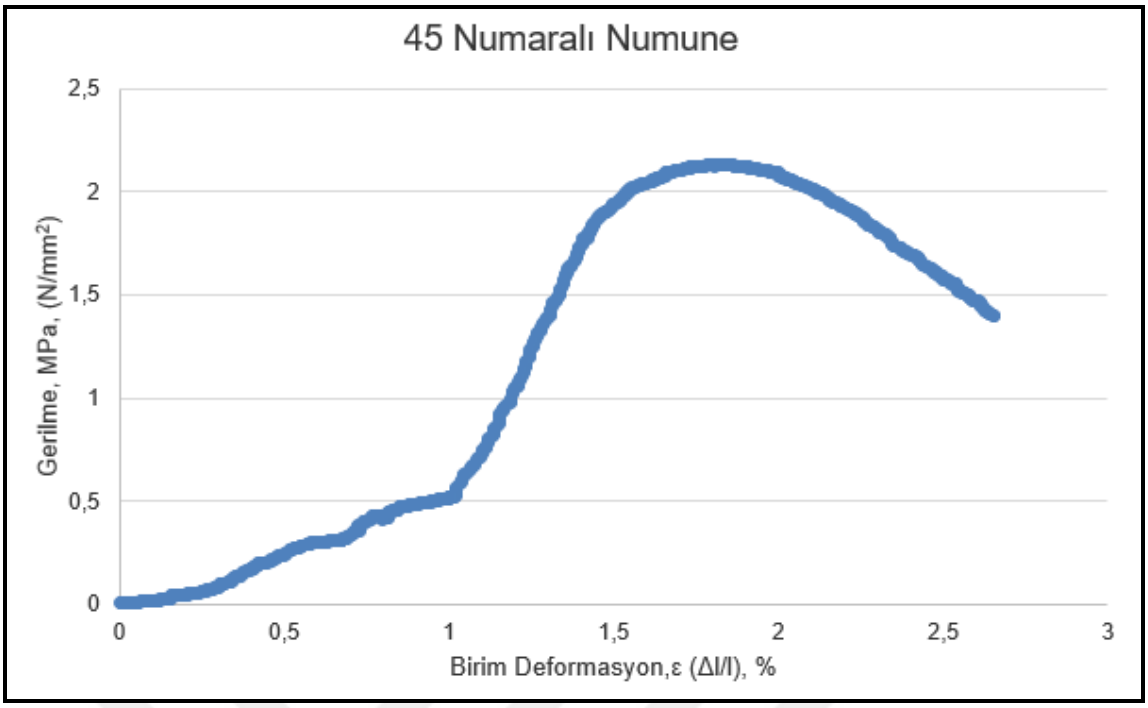
Şekil C.35 s/ç= 1.5 oranındaki Portland 42,5 Çimentosu ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



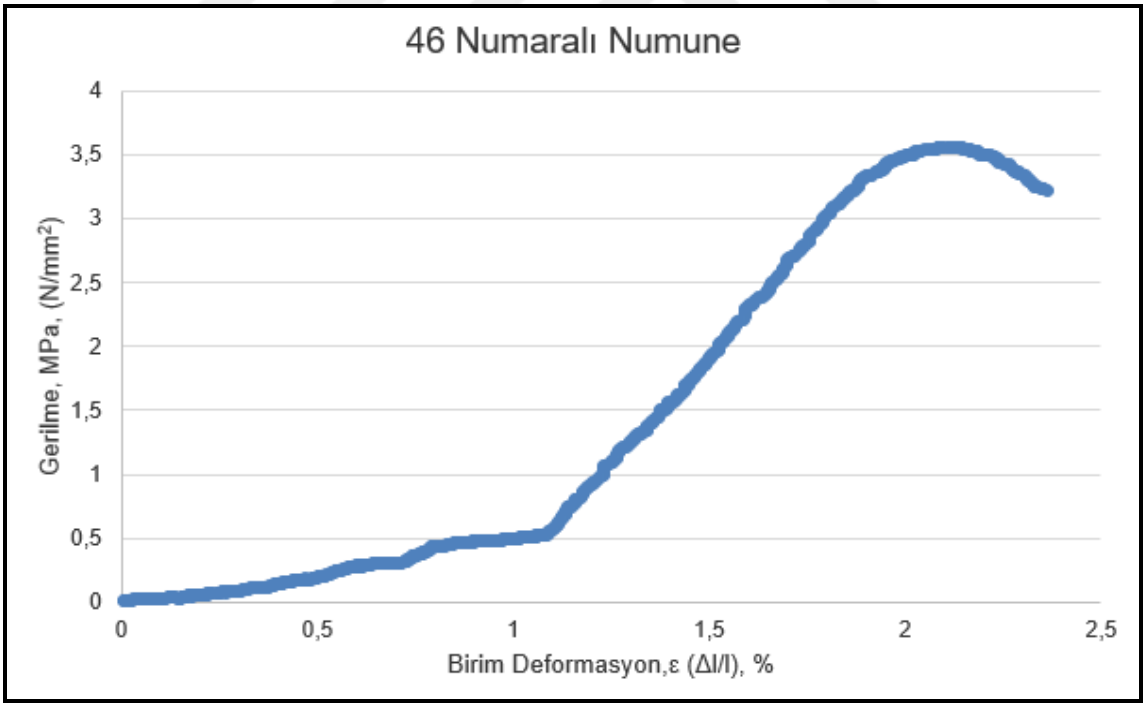
Şekil C.36 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



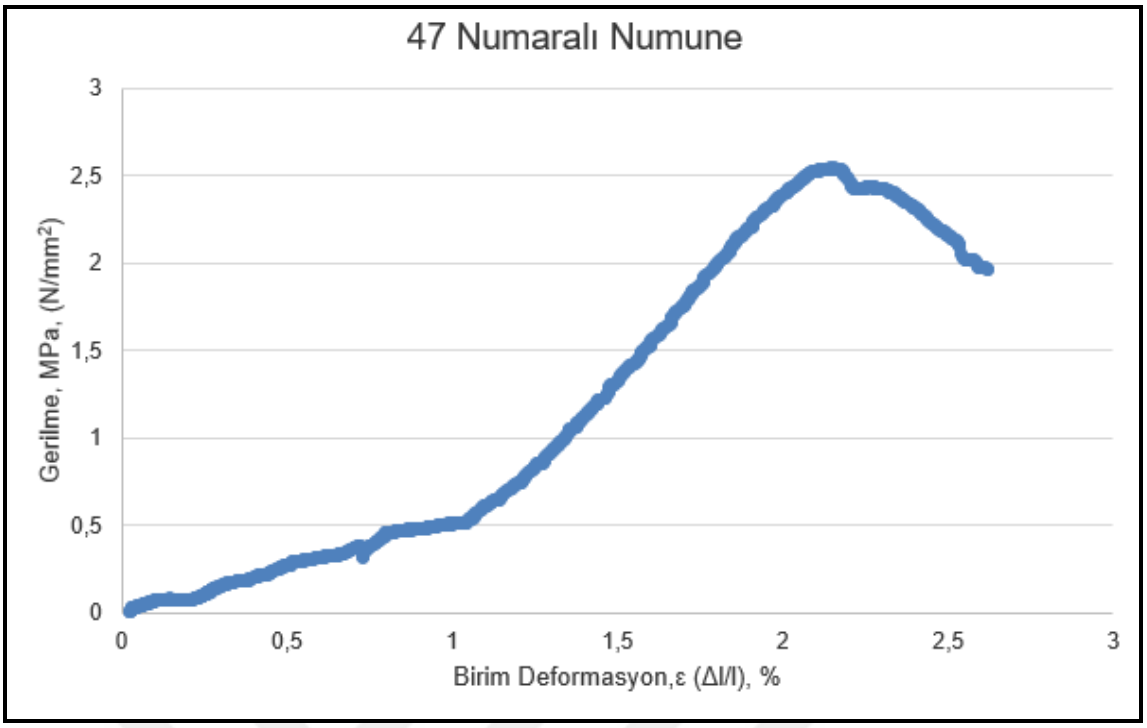
Şekil C.37 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



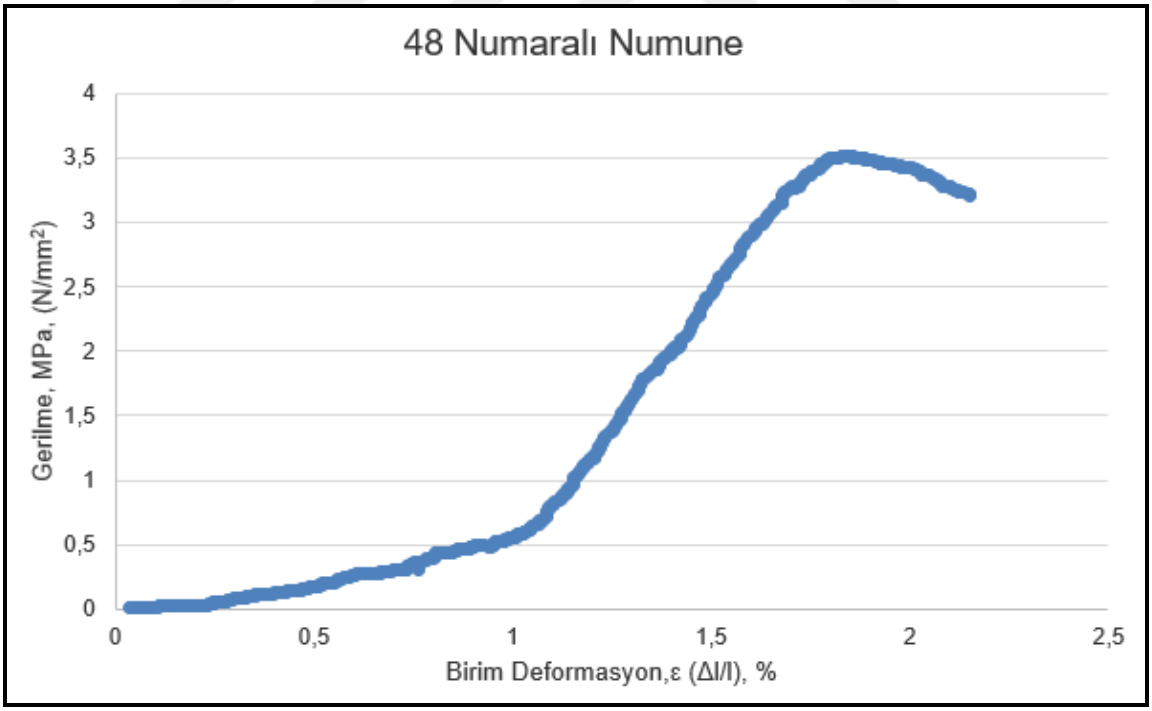
Şekil C.38 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 7 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



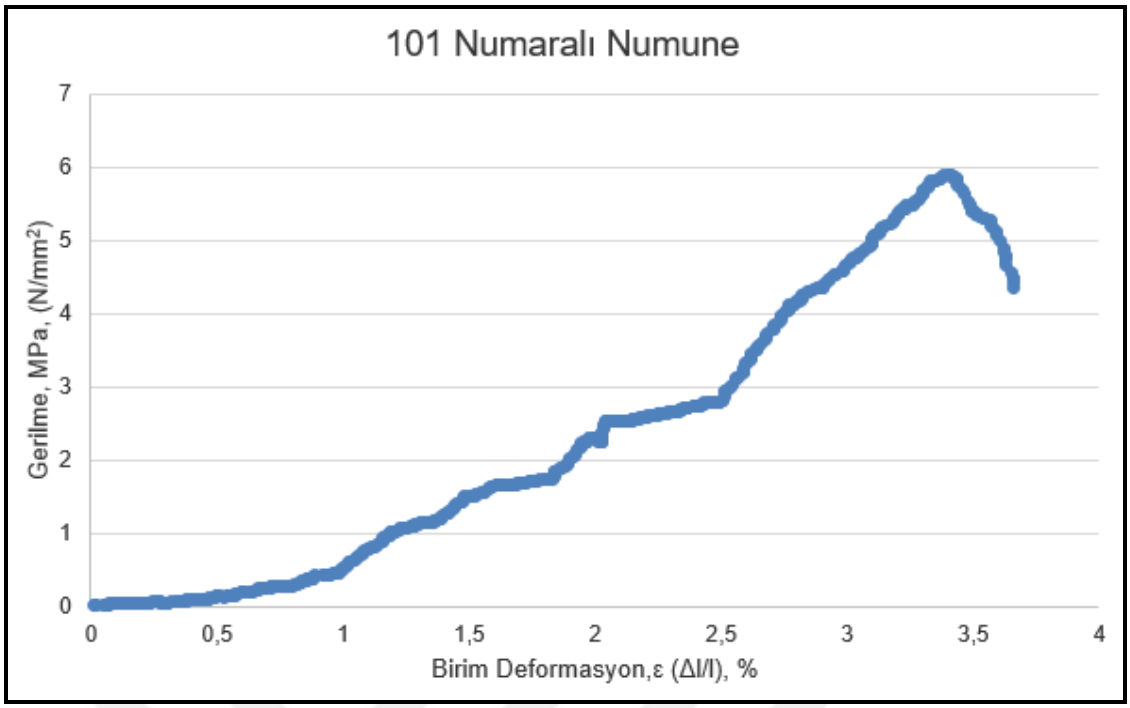
Şekil C.39 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



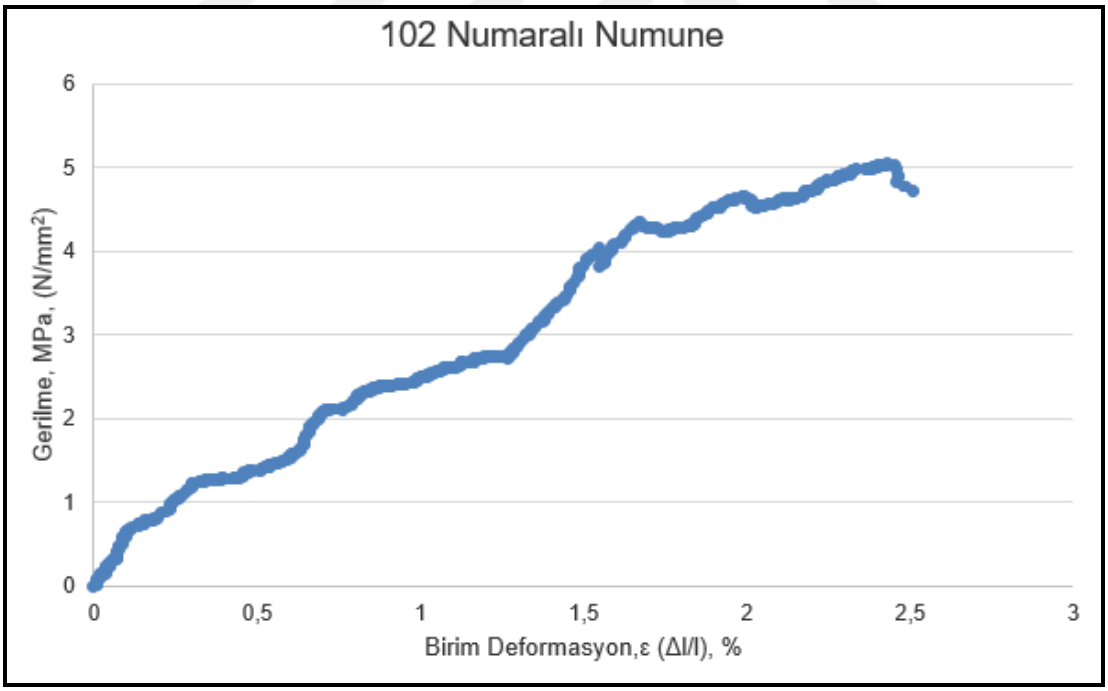
Şekil C.40 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



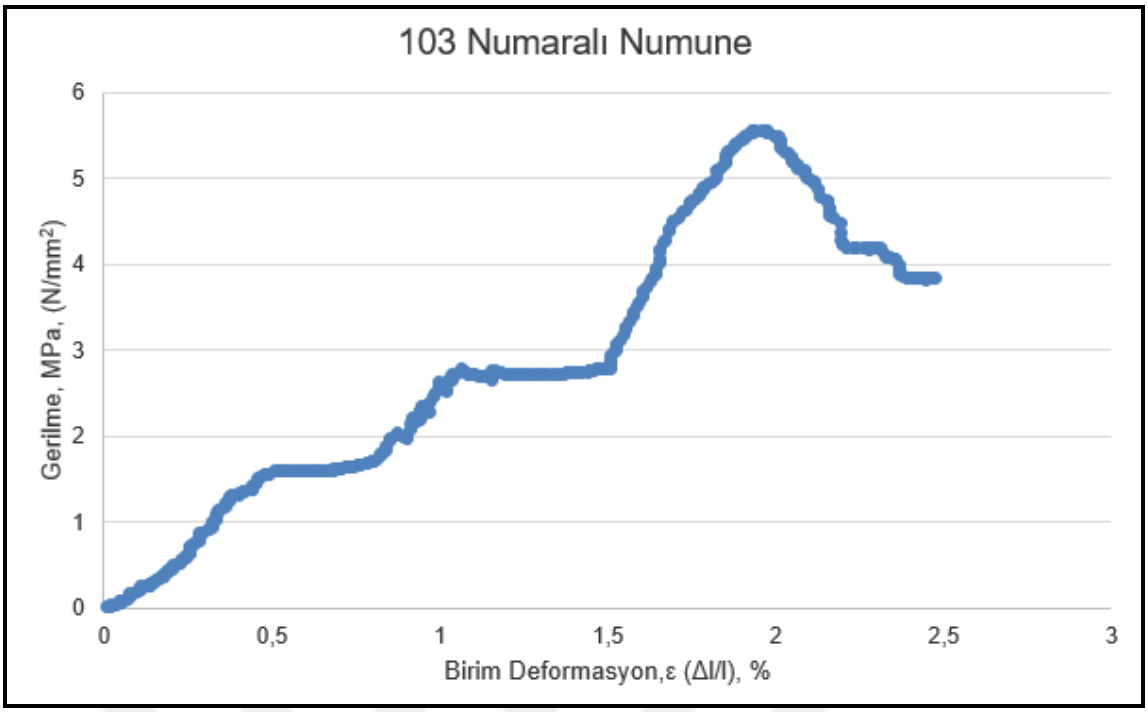
Şekil C.41 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı ile hazırlanan enjeksiyon harcının, 1.5 bar basınç ile enjeksiyon edilmiş rölatif sıkılığı % 30 olan JKÇ numunesinin 28 günlük gerilme-birim deformasyon grafiği



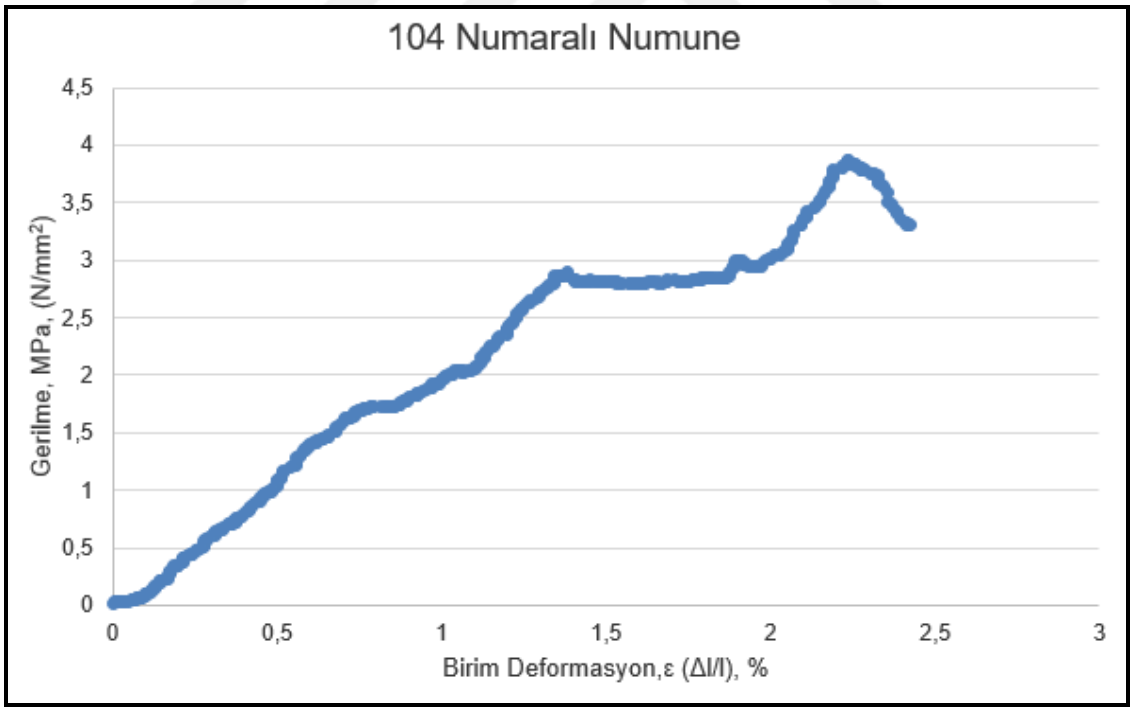
Şekil C.42 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu ile hazırlanan grout karışımı katkısıyla hazırlanmış ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



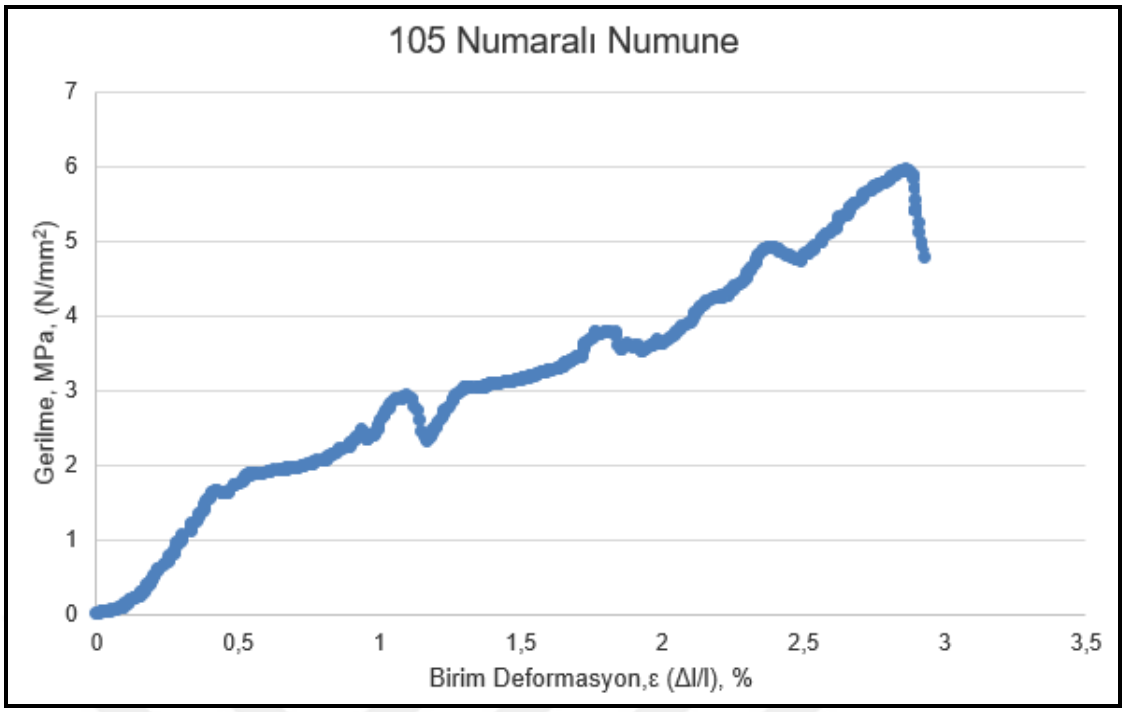
Şekil C.43 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



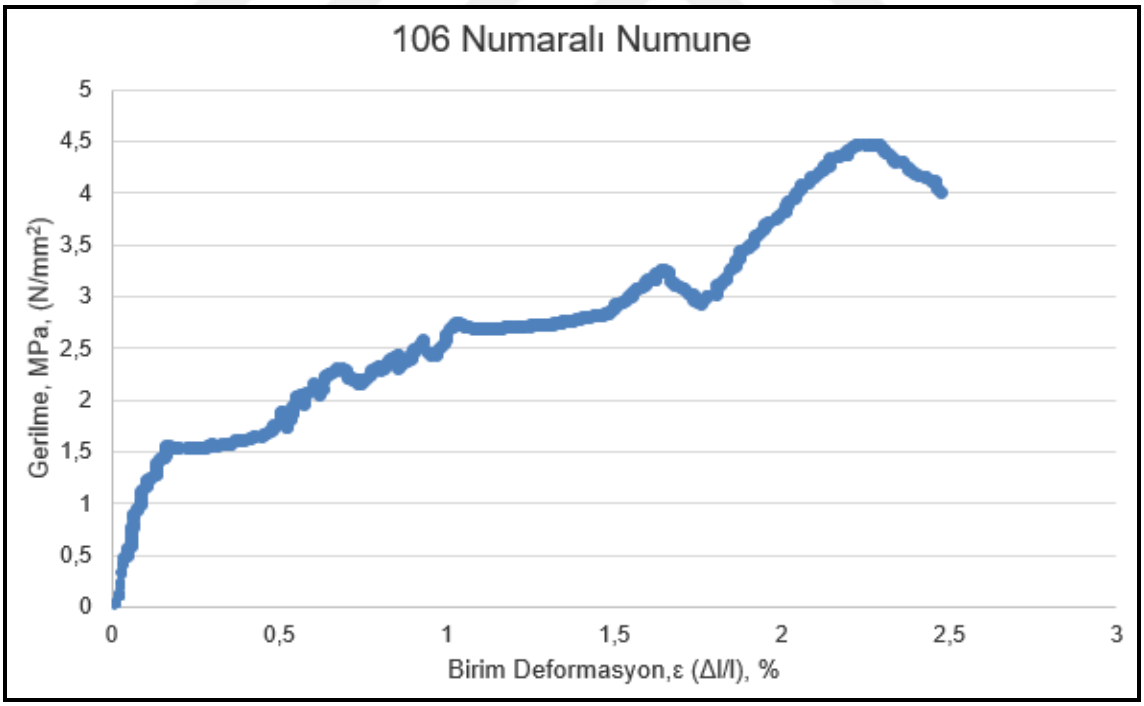
Şekil C.44 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



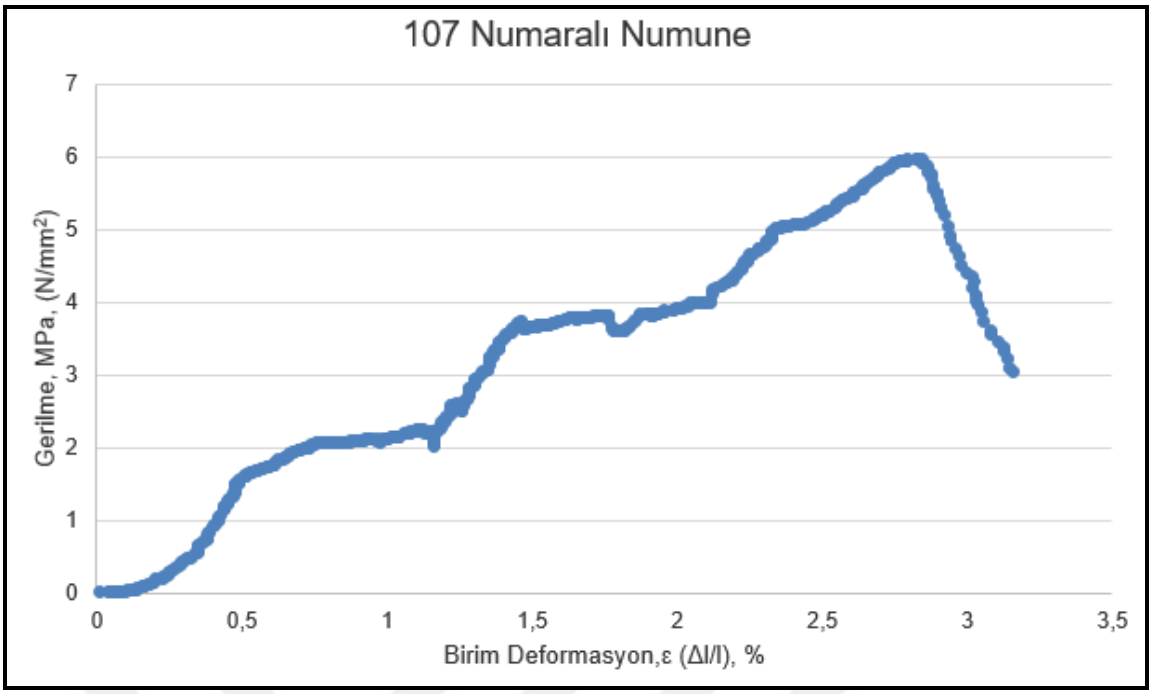
Şekil C.45 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



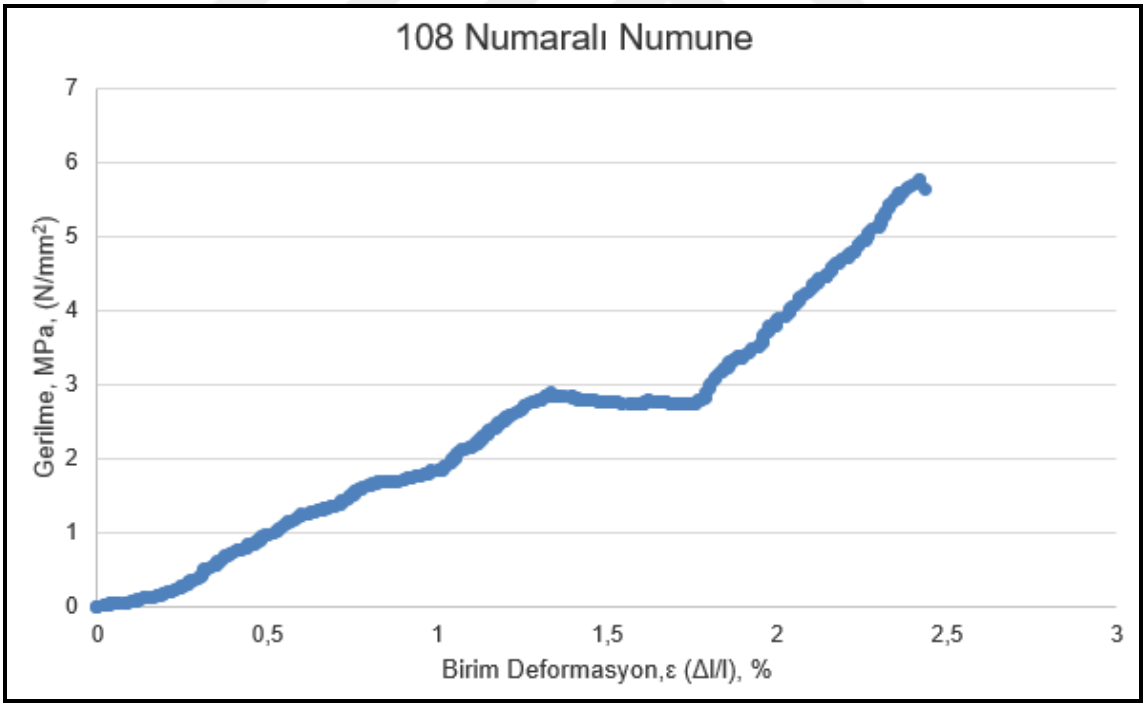
Şekil C.46 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



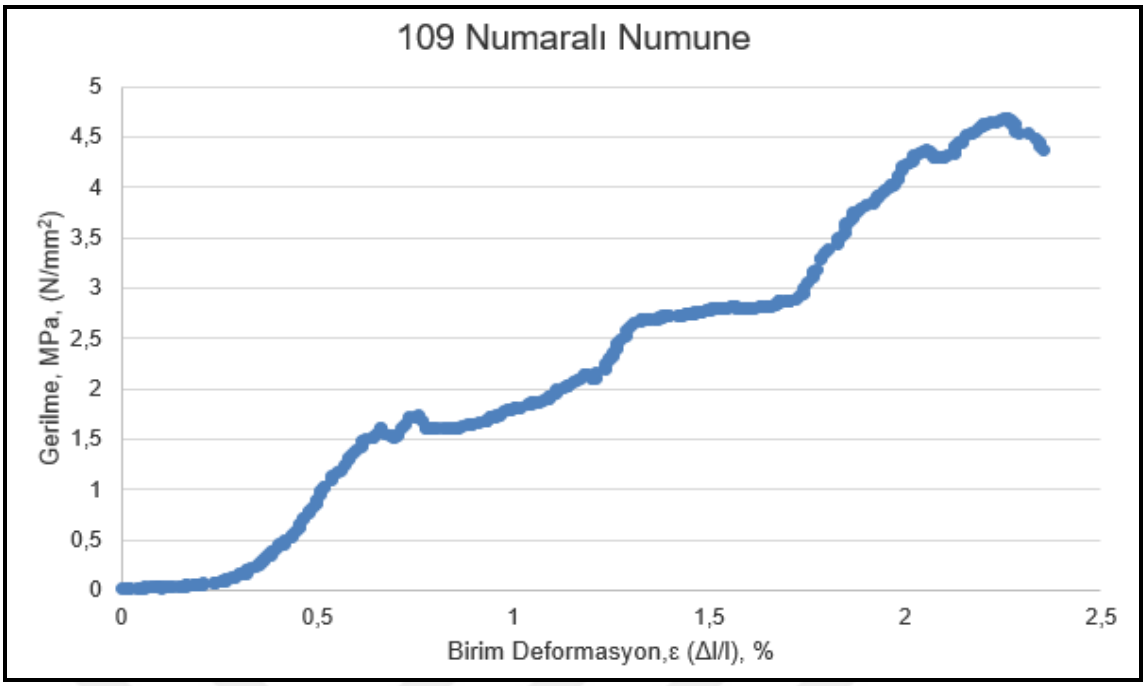
Şekil C.47 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



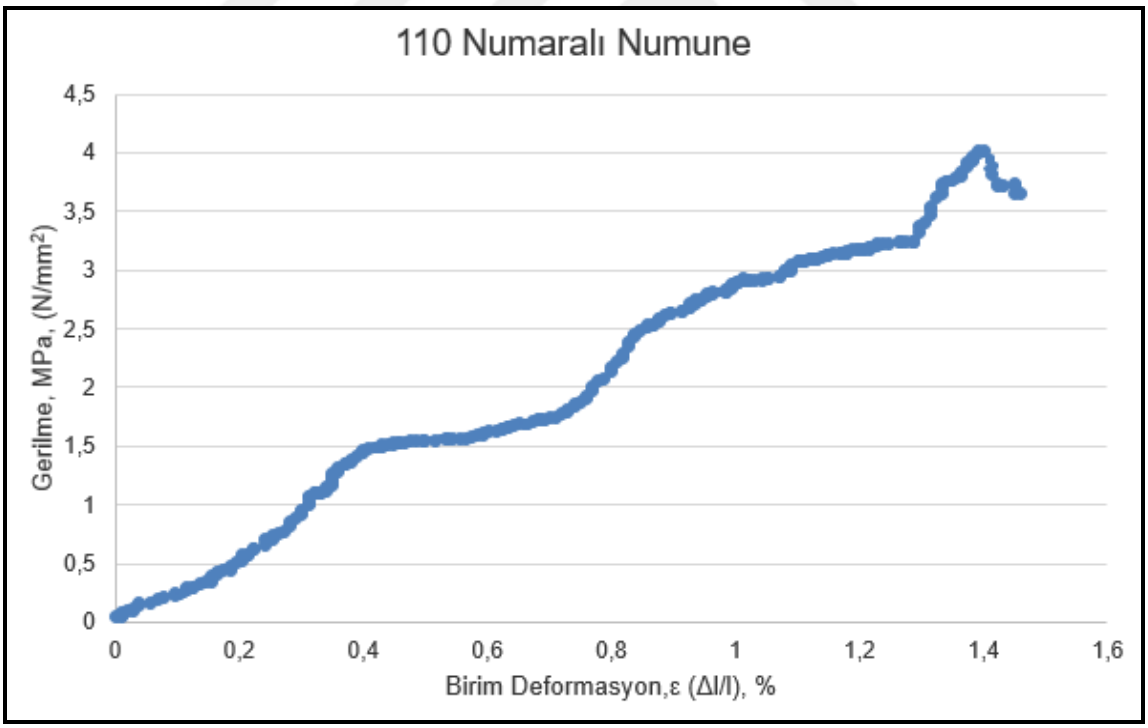
Şekil C.48 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



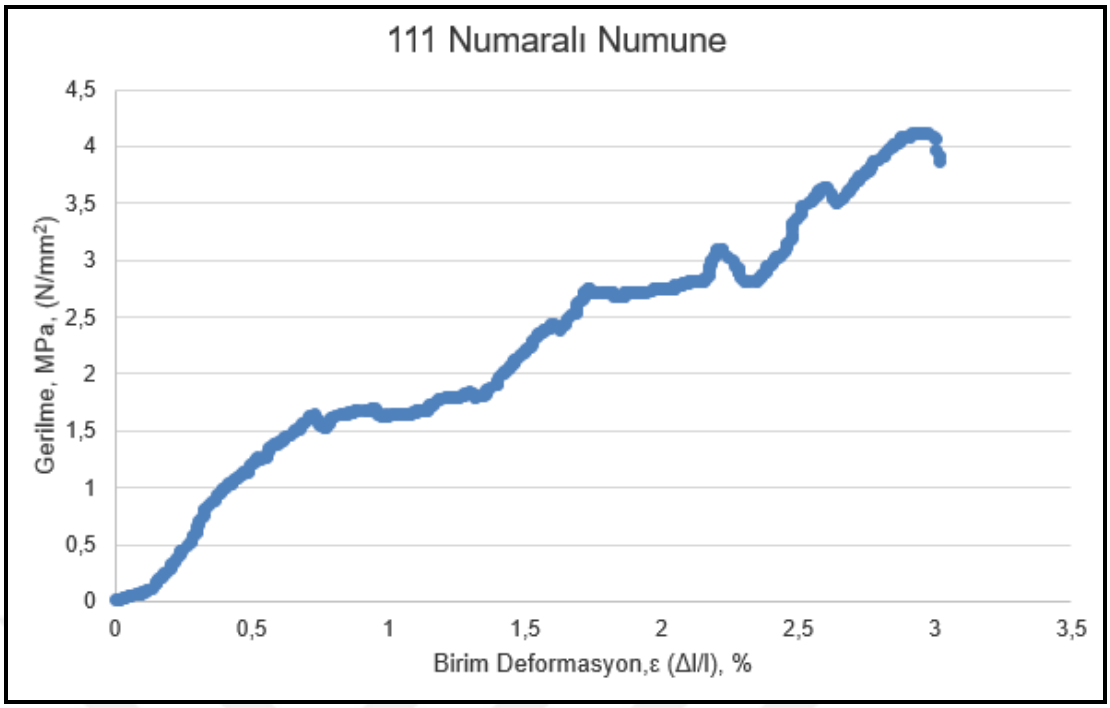
Şekil C.49 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



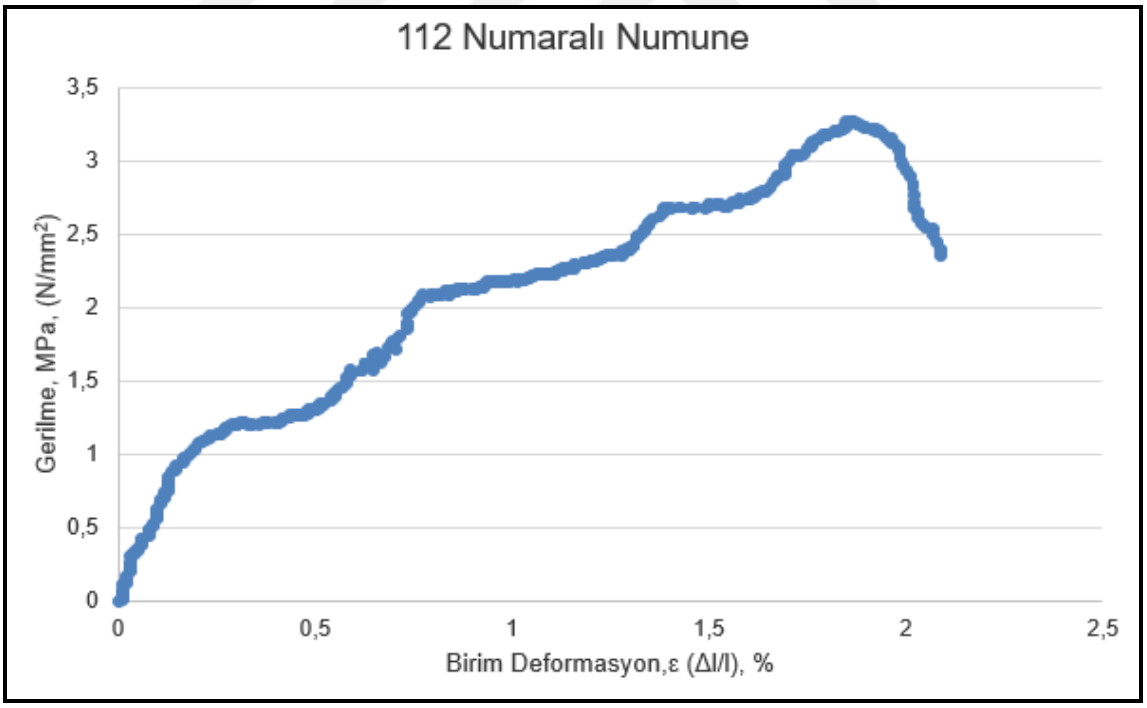
Şekil C.50 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



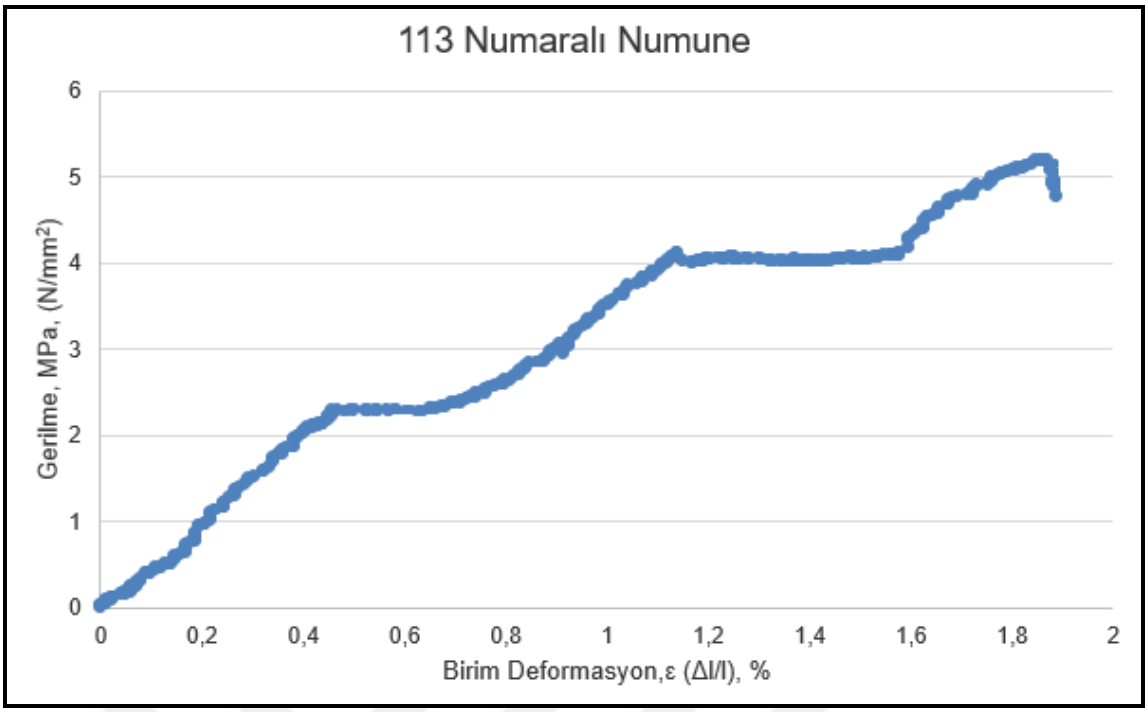
Şekil C.51 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



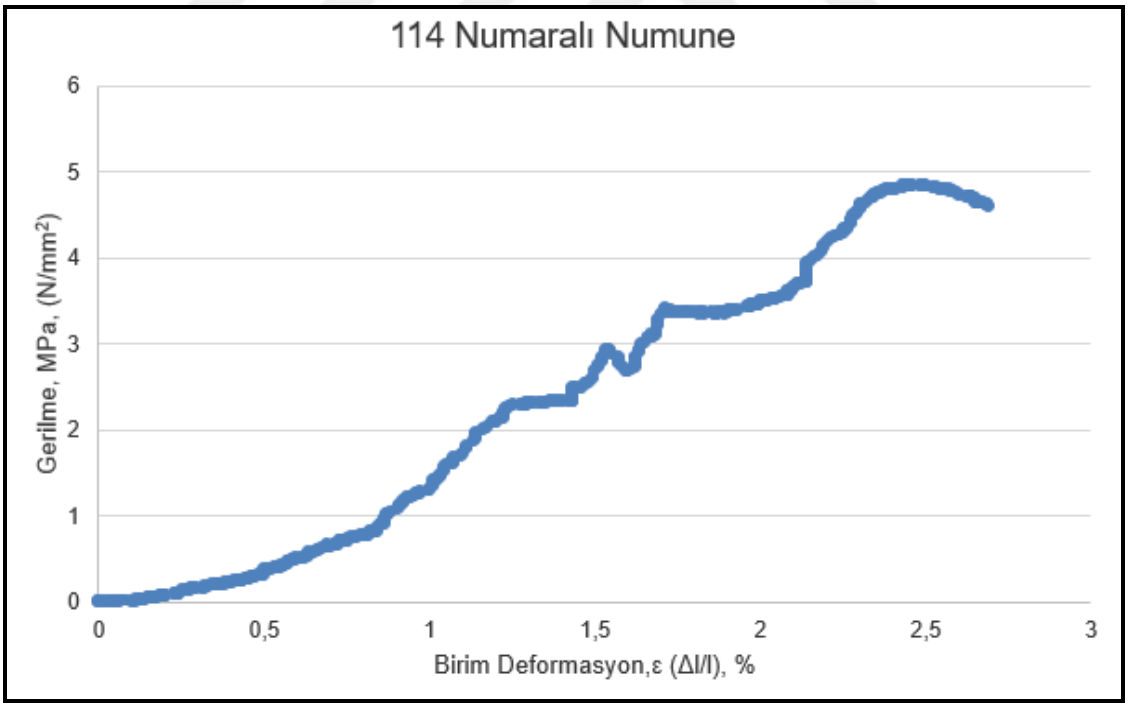
Şekil C.52 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



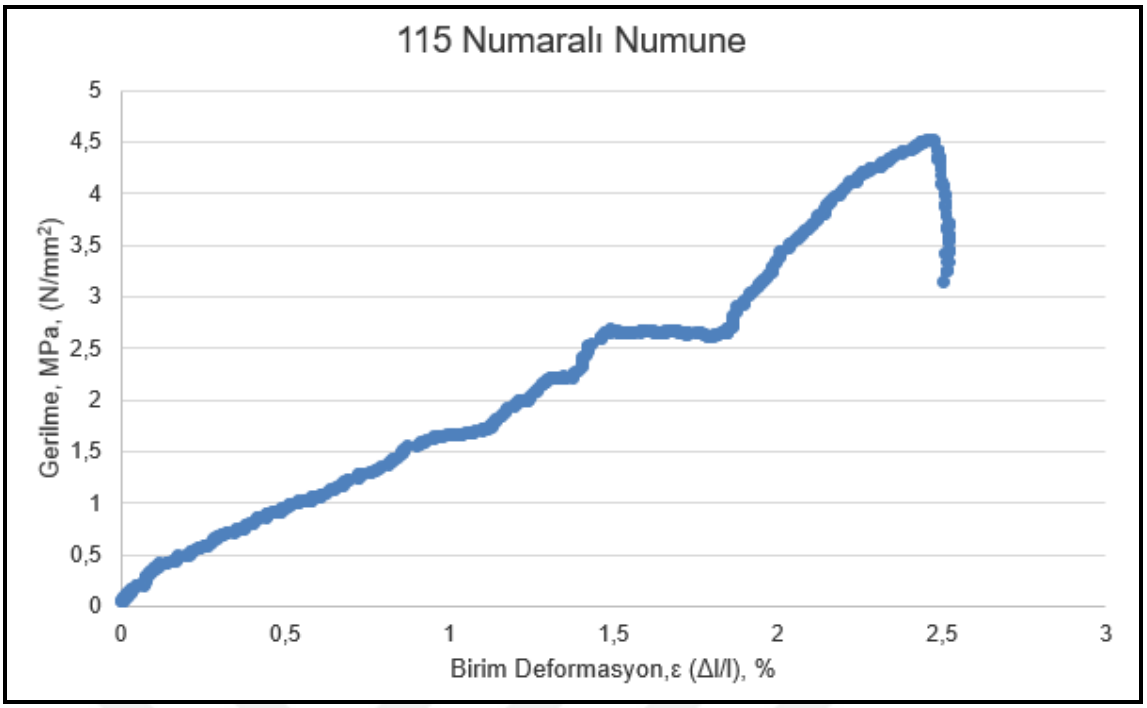
Şekil C.53 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



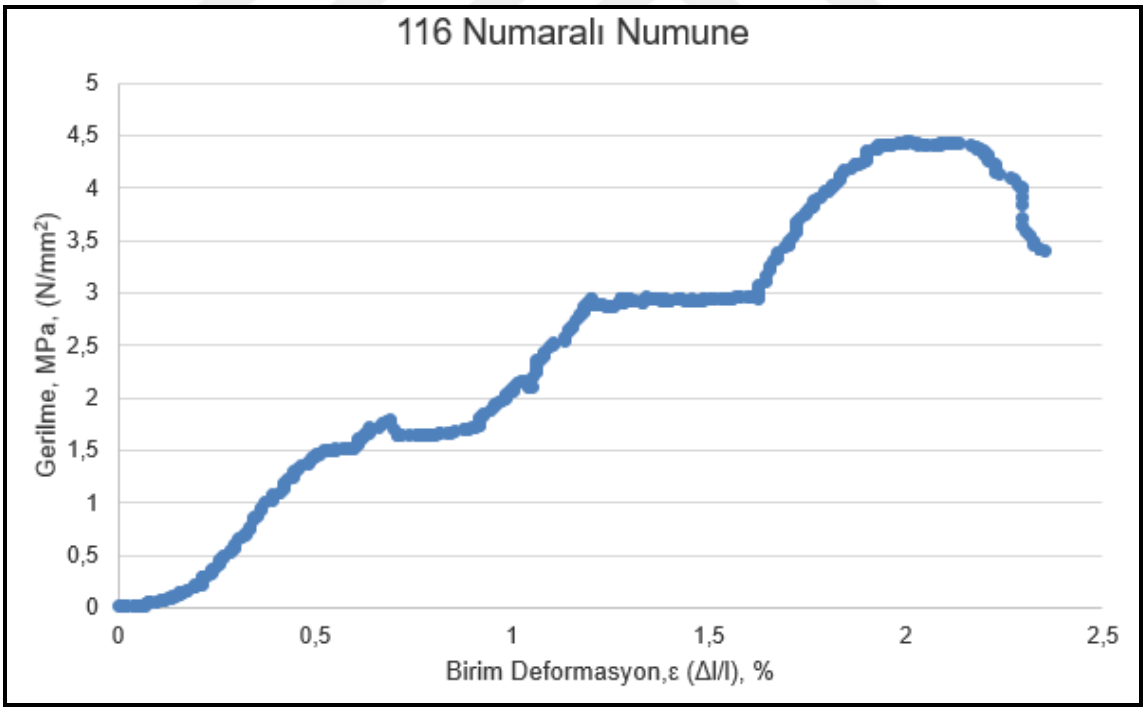
Şekil C.54 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



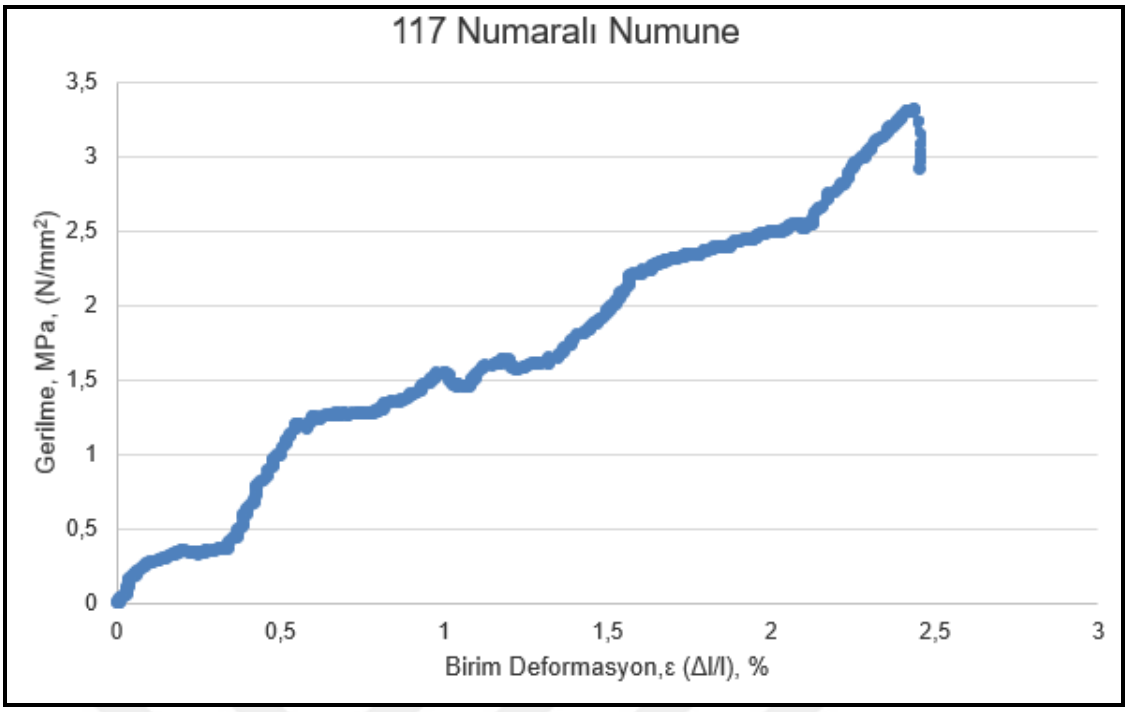
Şekil C.55 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



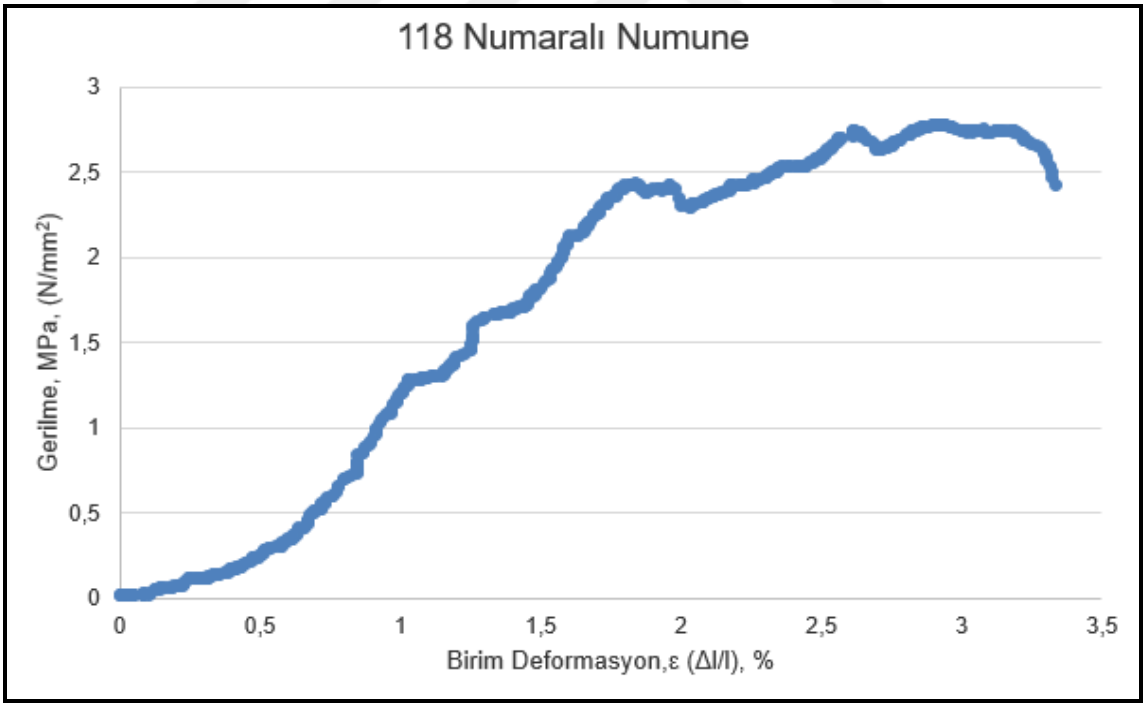
Şekil C.56 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



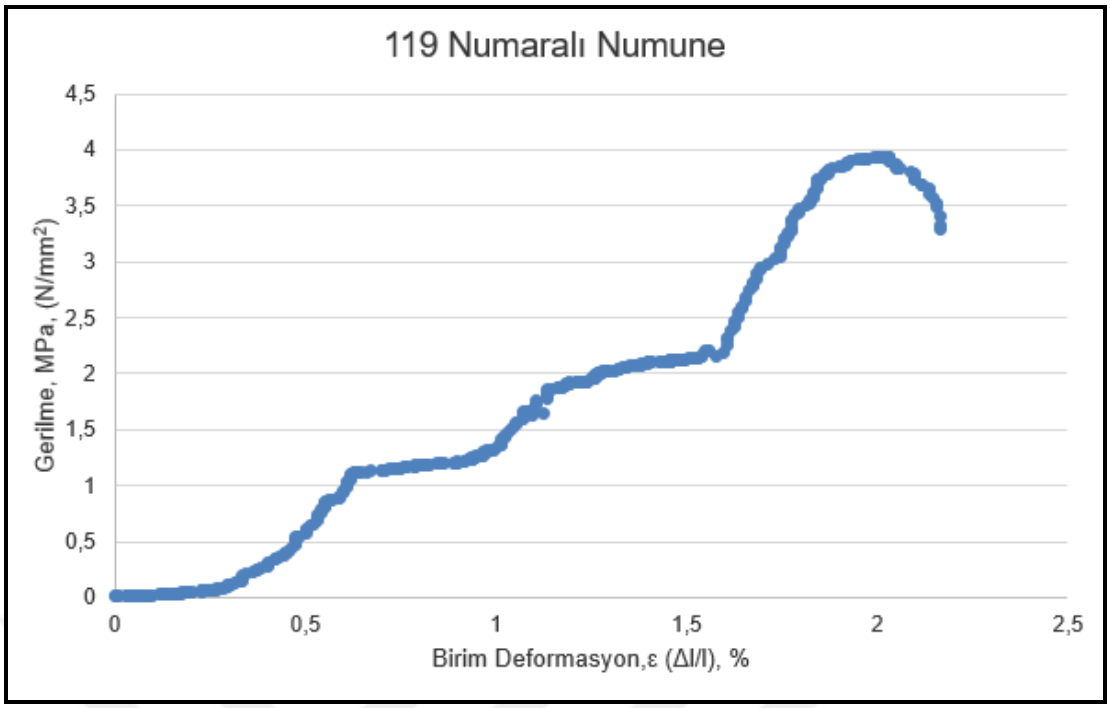
Şekil C.57 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



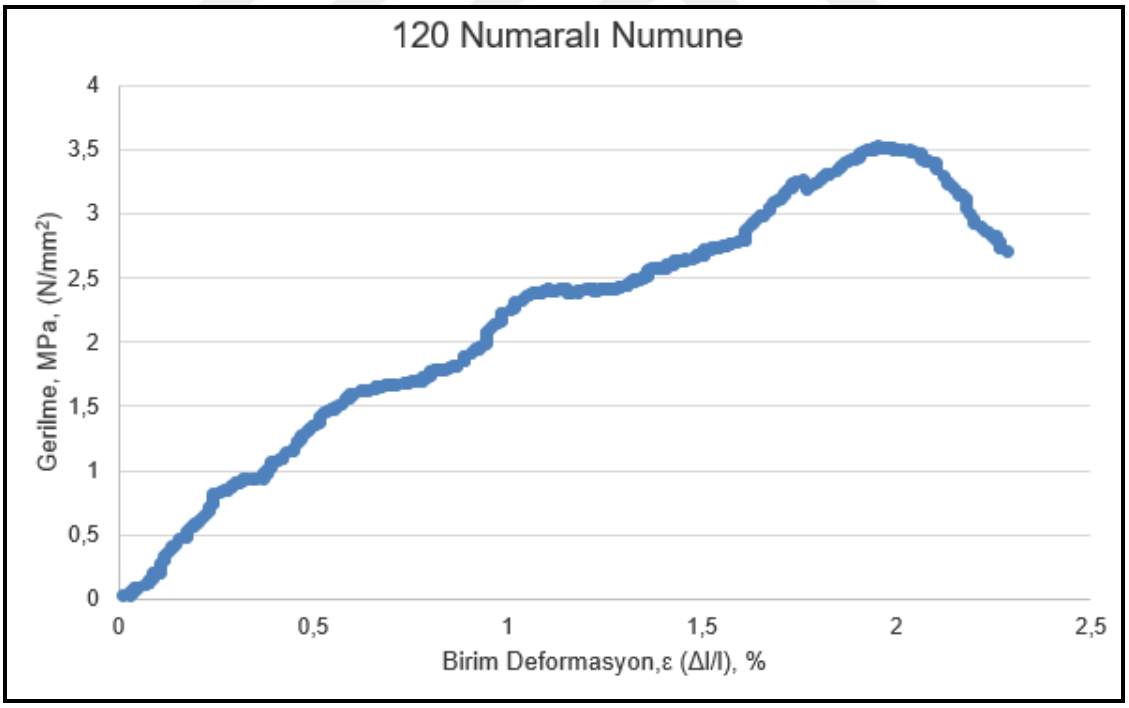
Şekil C.58 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



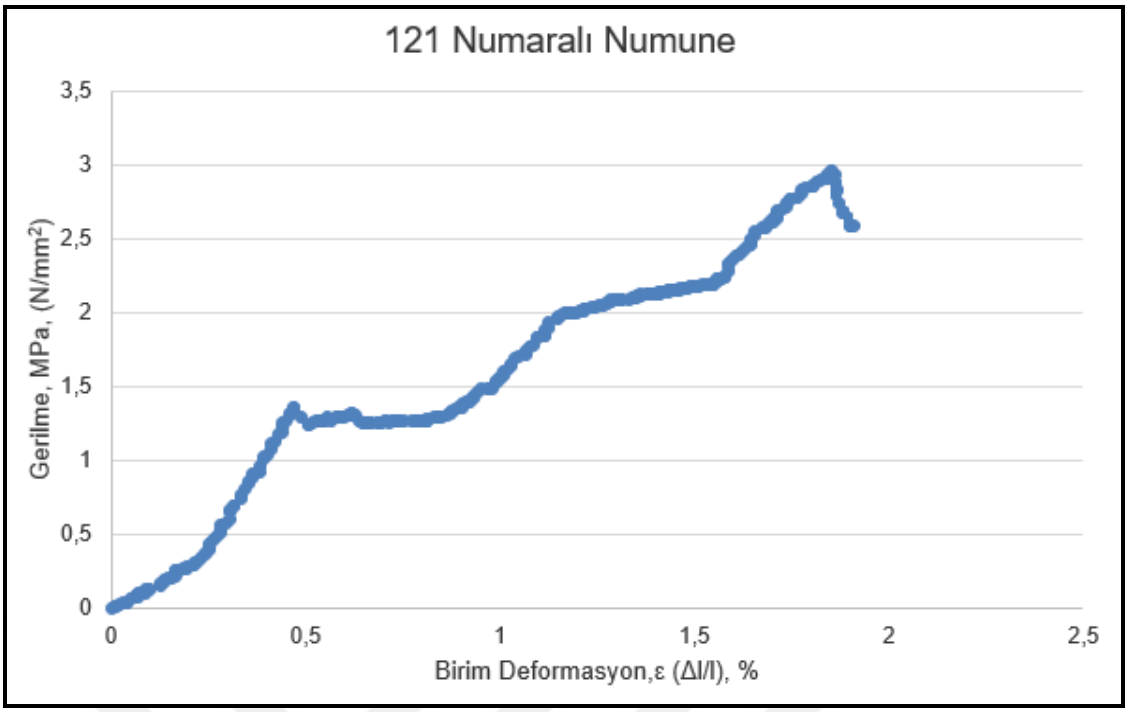
Şekil C.59 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



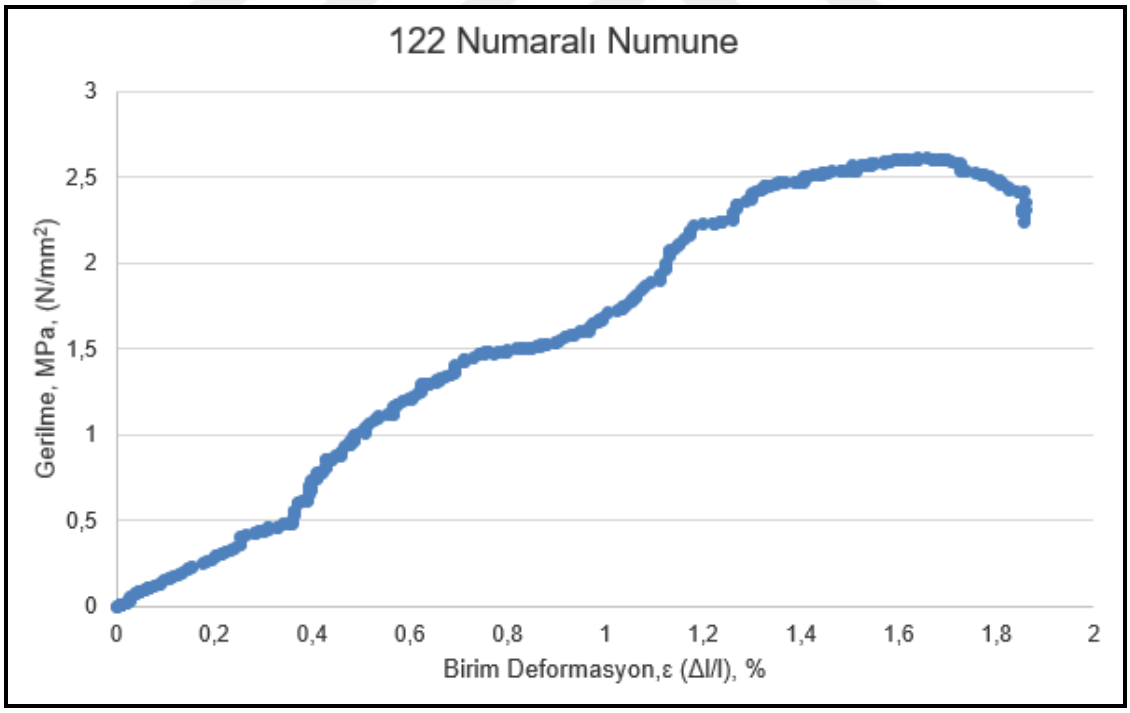
Şekil C.60 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



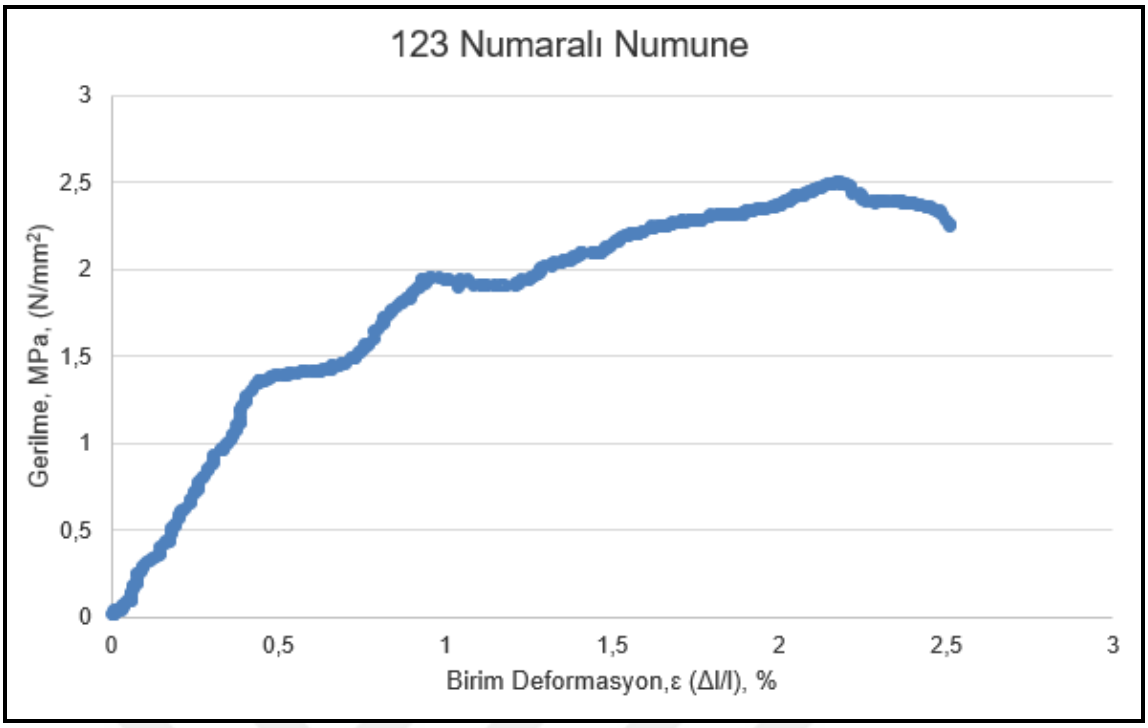
Şekil C.61 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



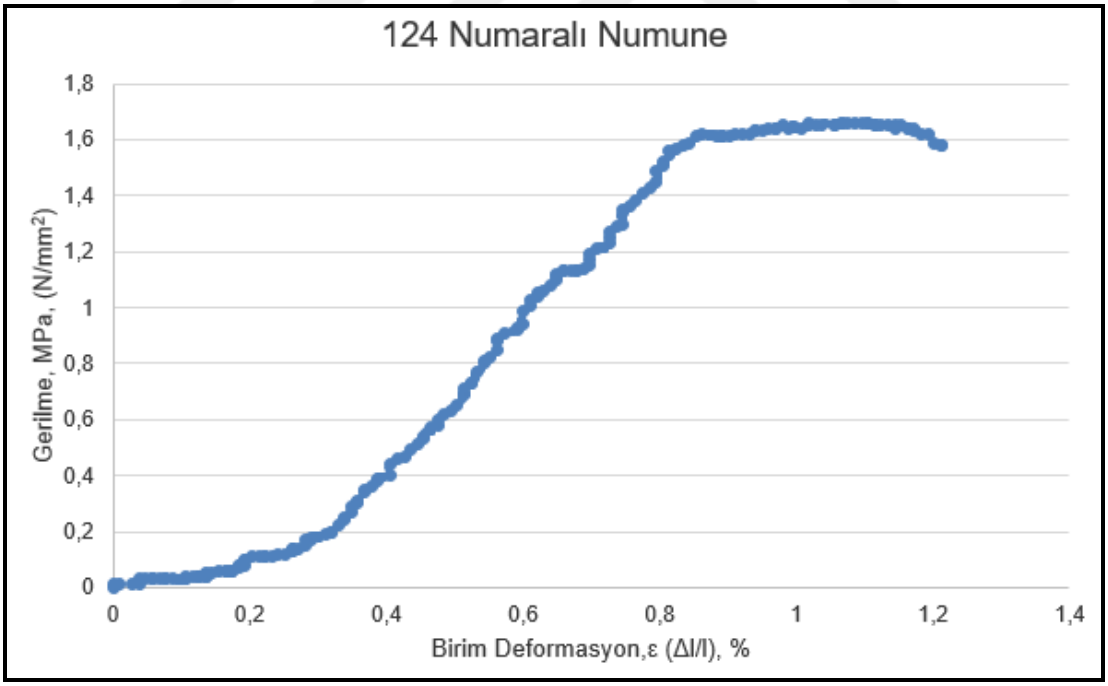
Şekil C.62 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



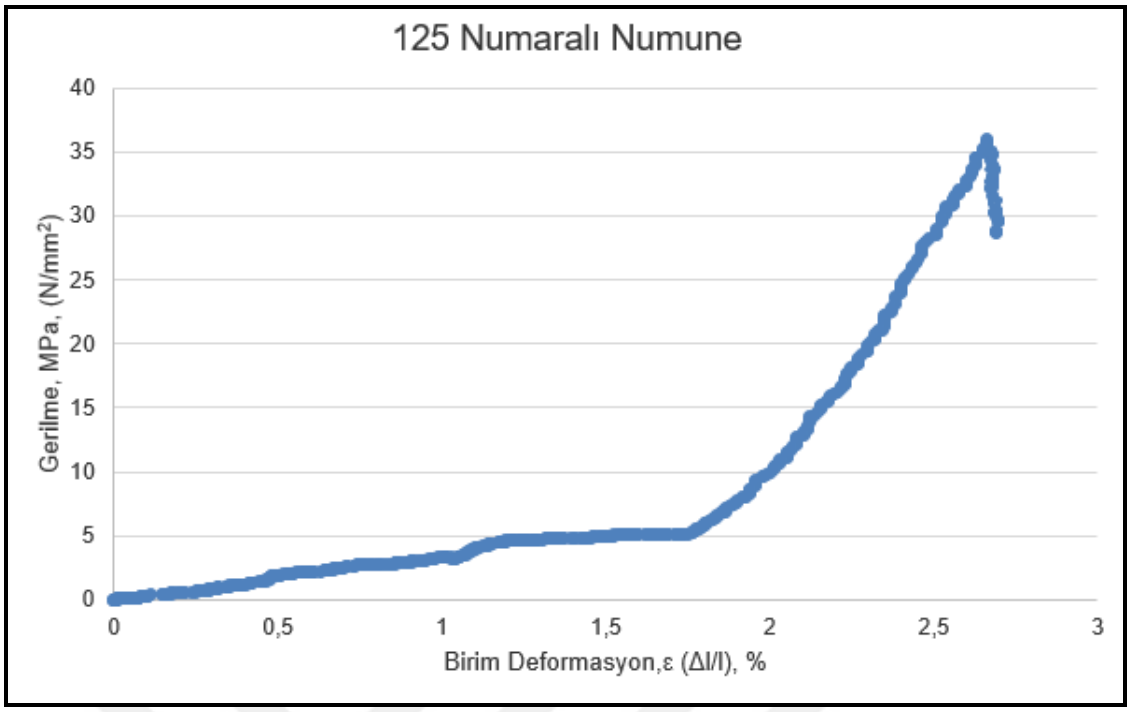
Şekil C.63 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



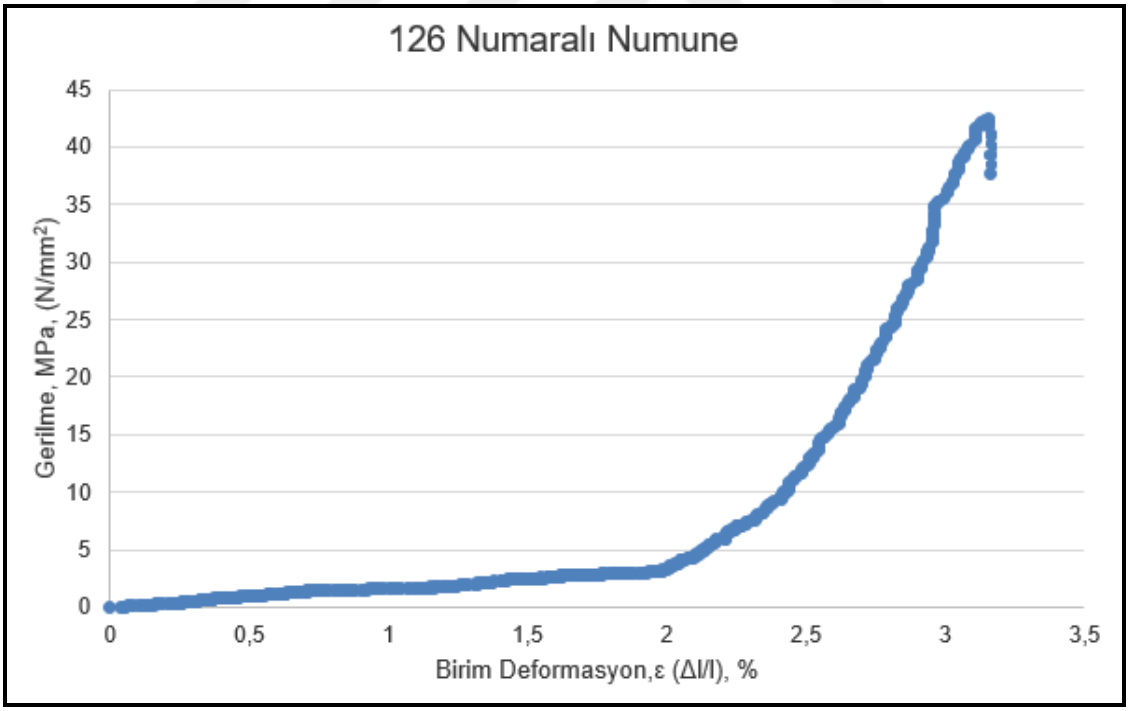
Şekil C.64 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



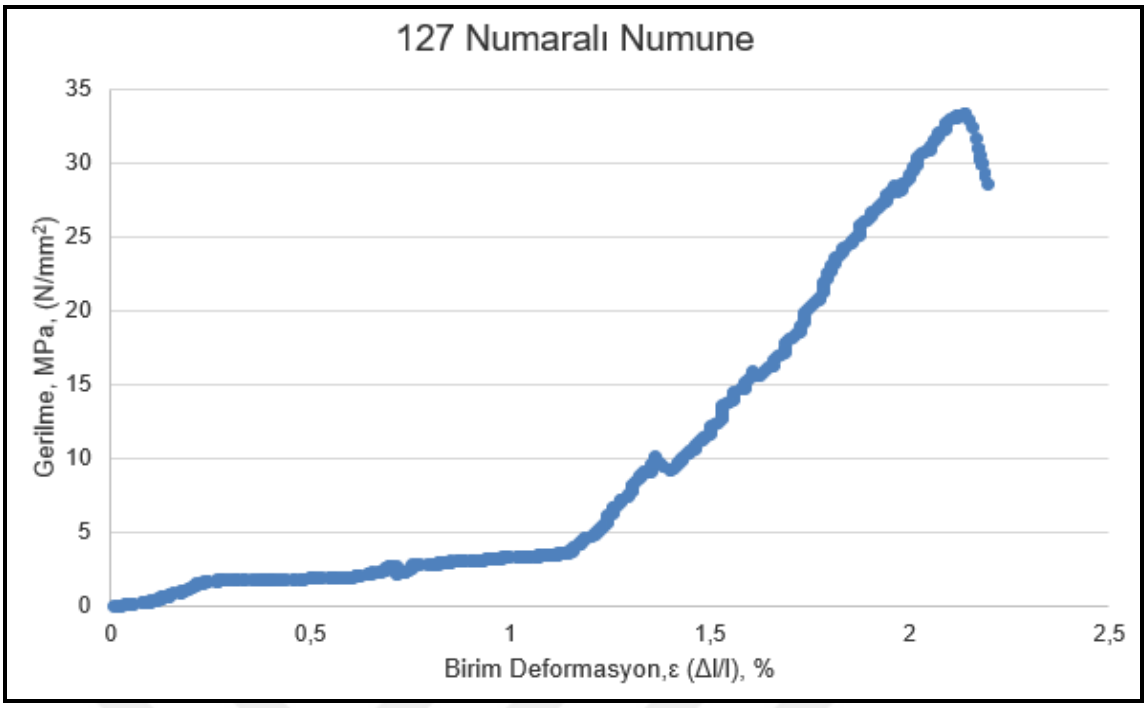
Şekil C.65 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



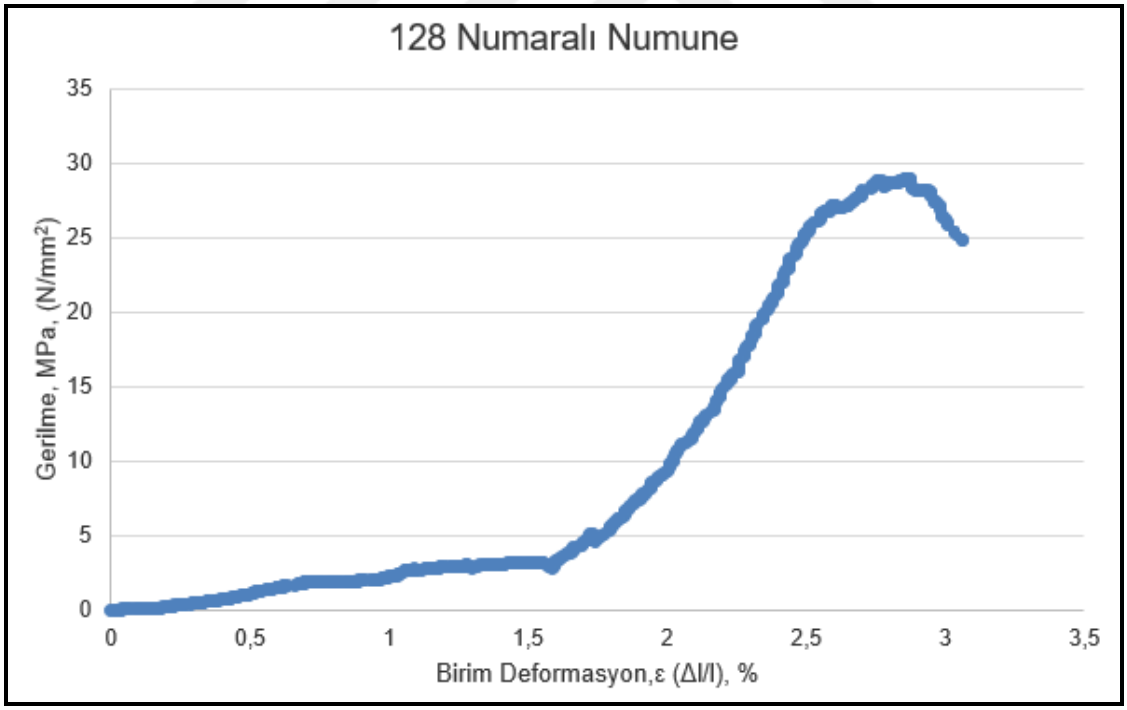
Şekil C.66 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



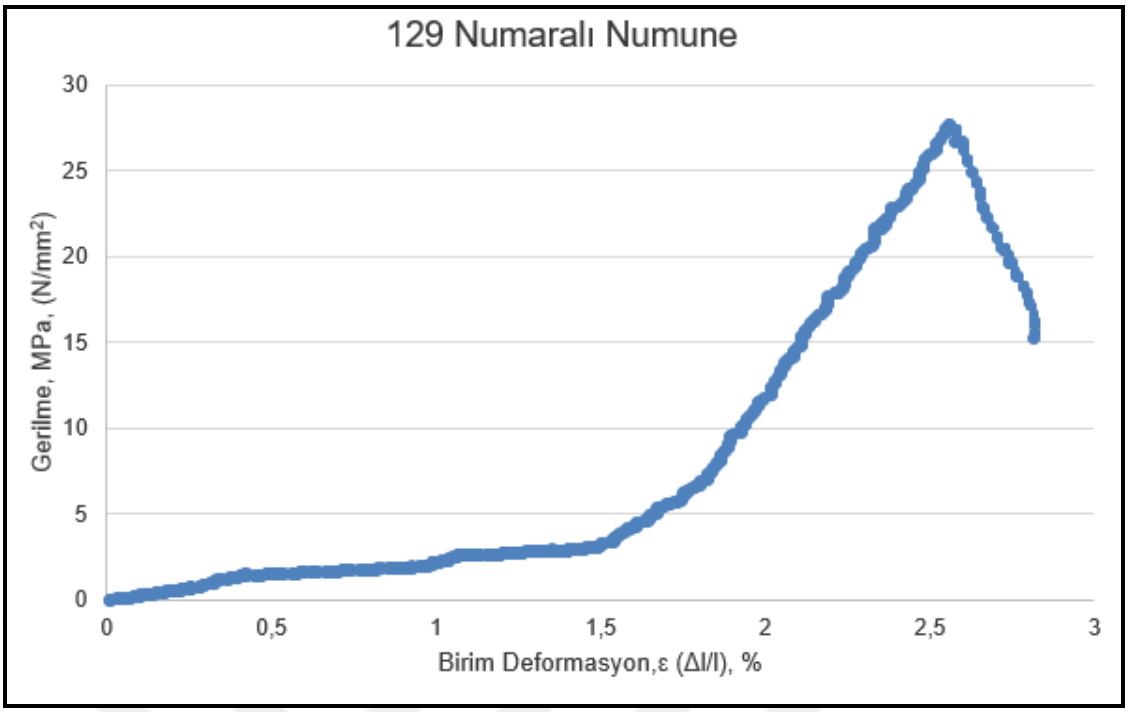
Şekil C.67 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



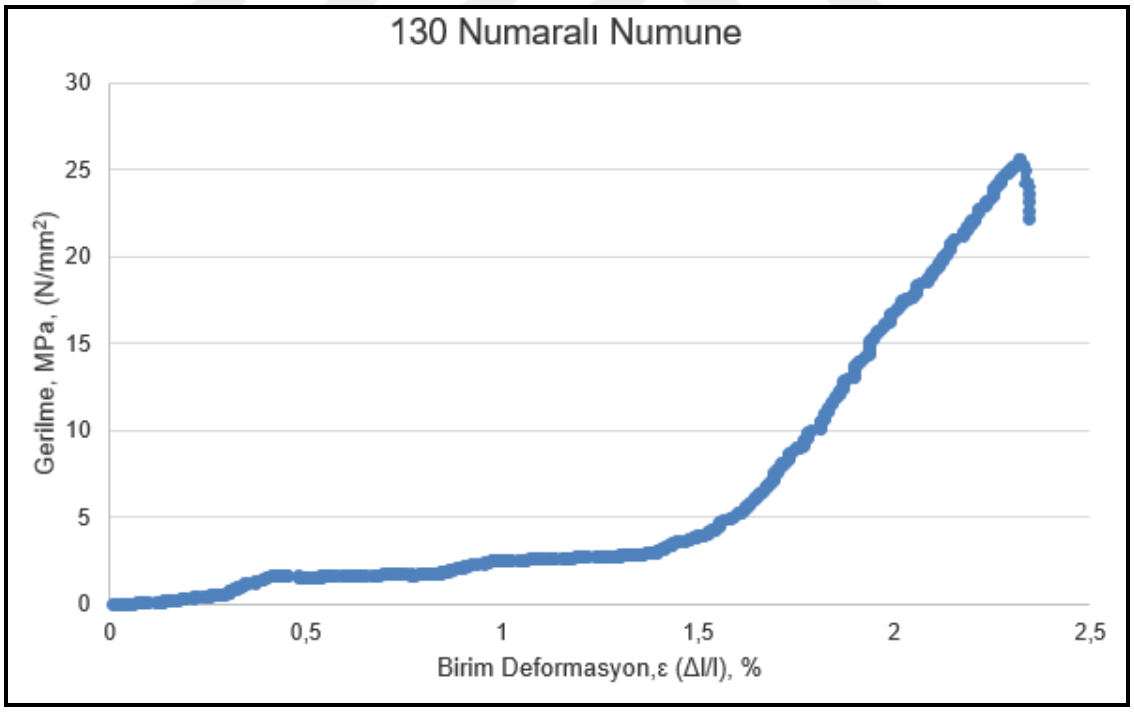
Şekil C.68 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



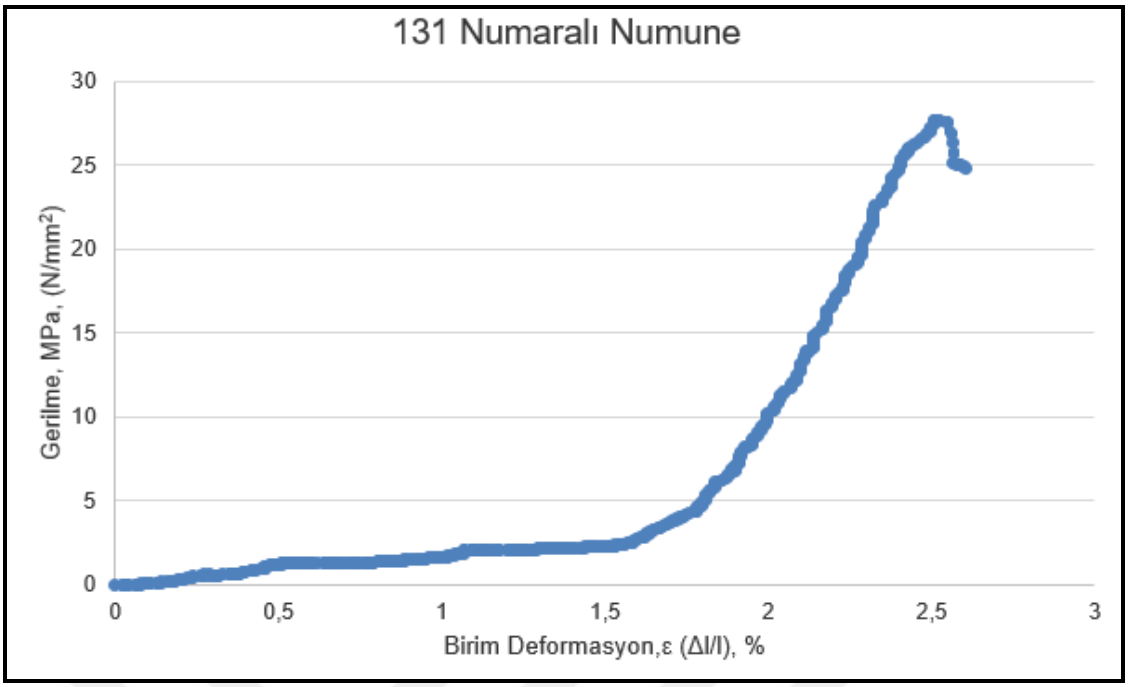
Şekil C.69 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



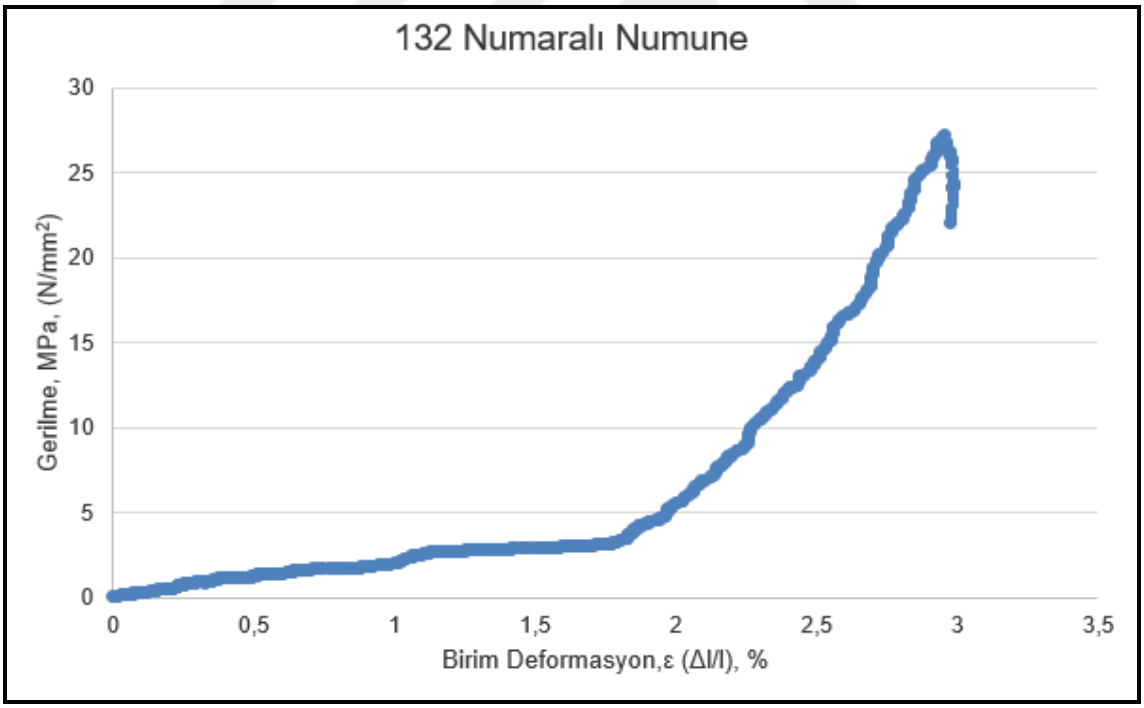
Şekil C.70 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



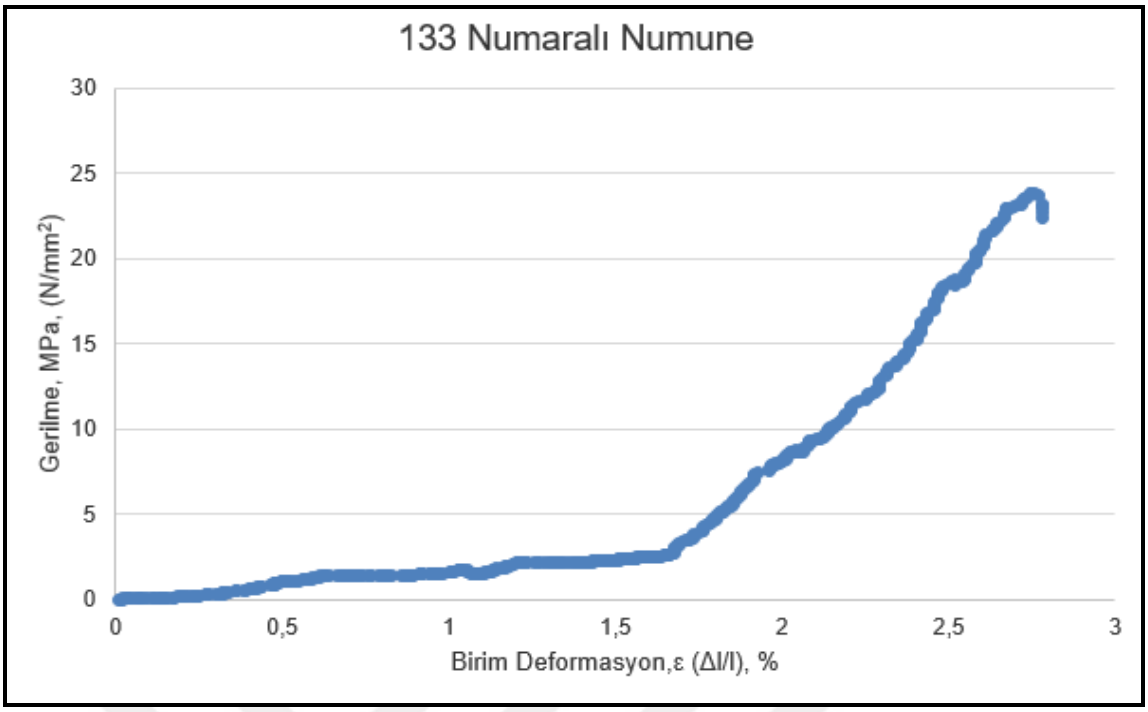
Şekil C.71 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



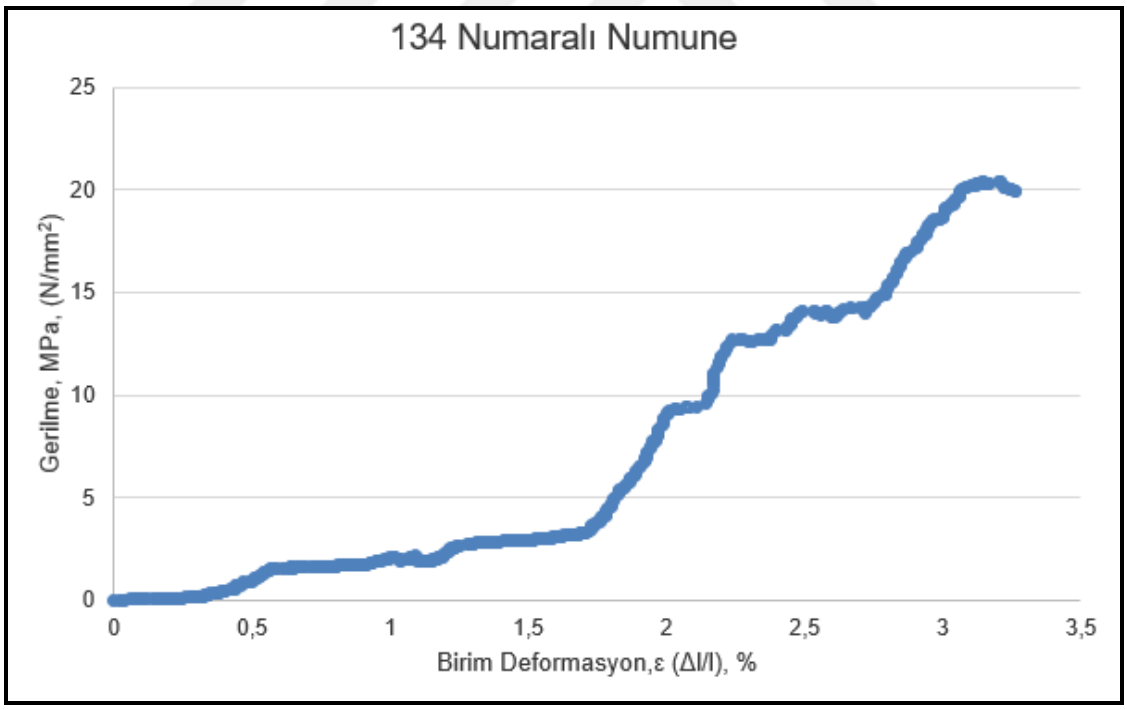
Şekil C.72 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



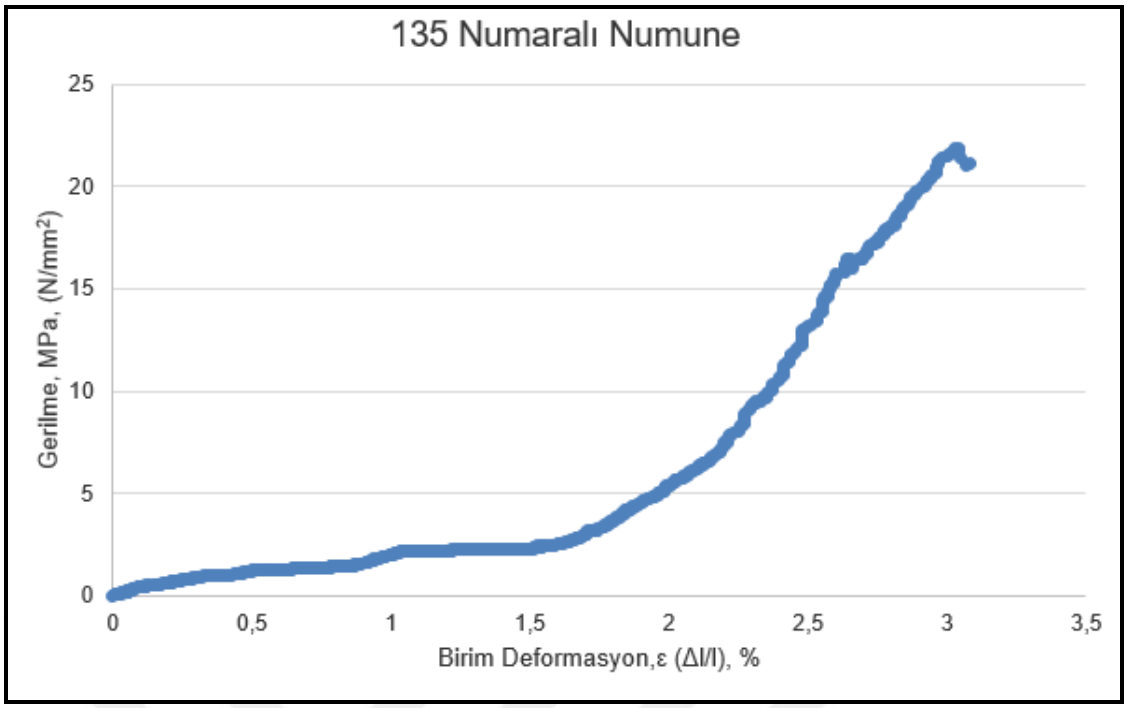
Şekil C.73 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



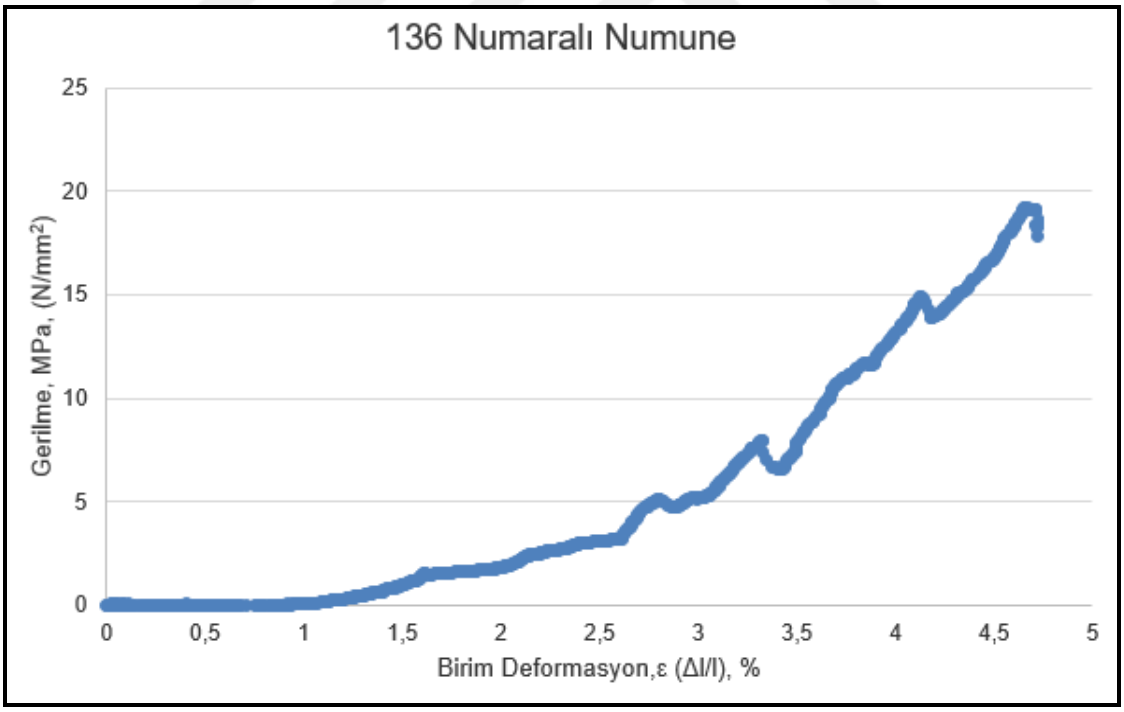
Şekil C.74 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



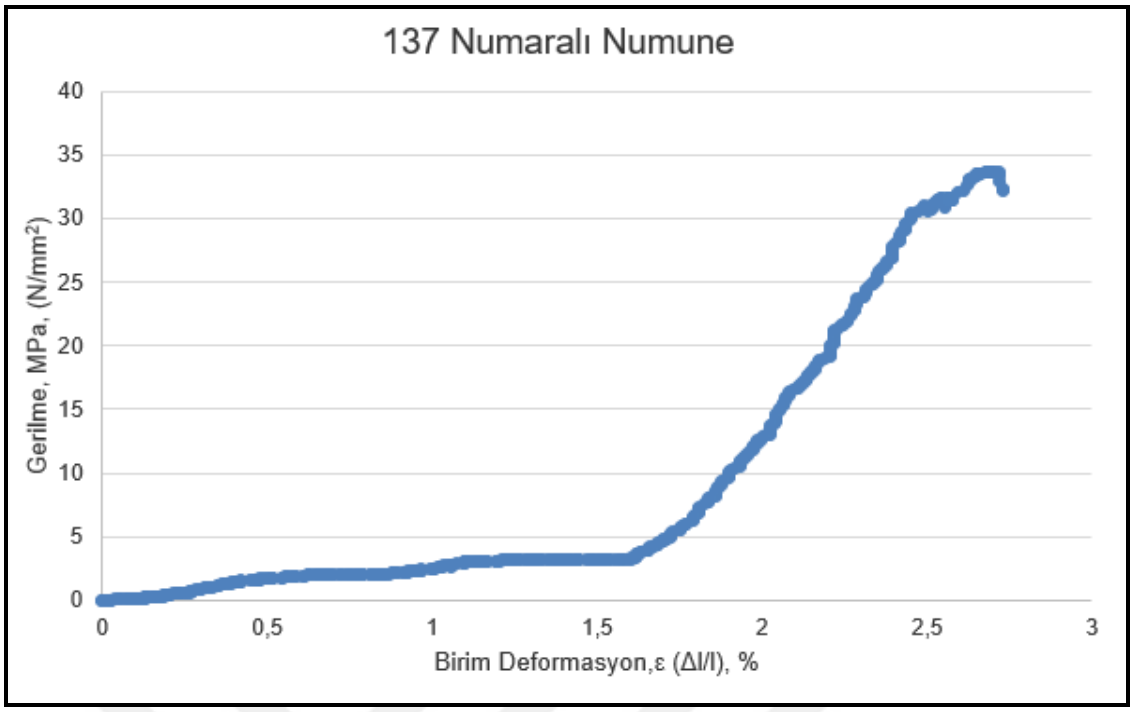
Şekil C.75 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



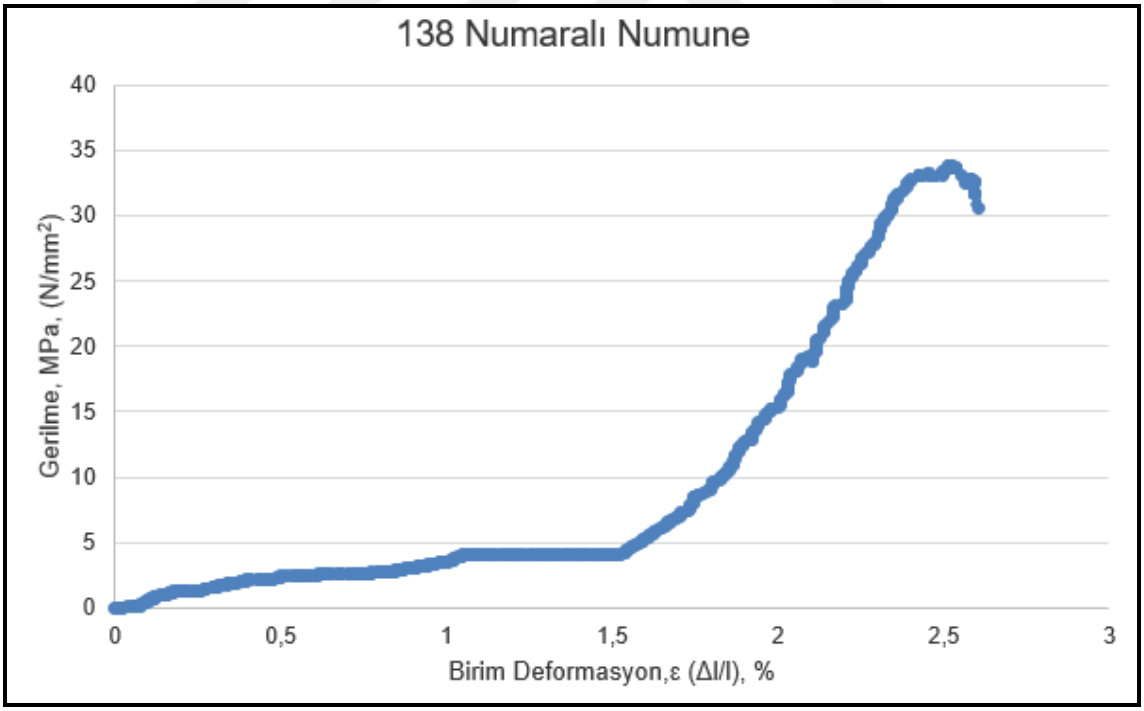
Şekil C.76 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



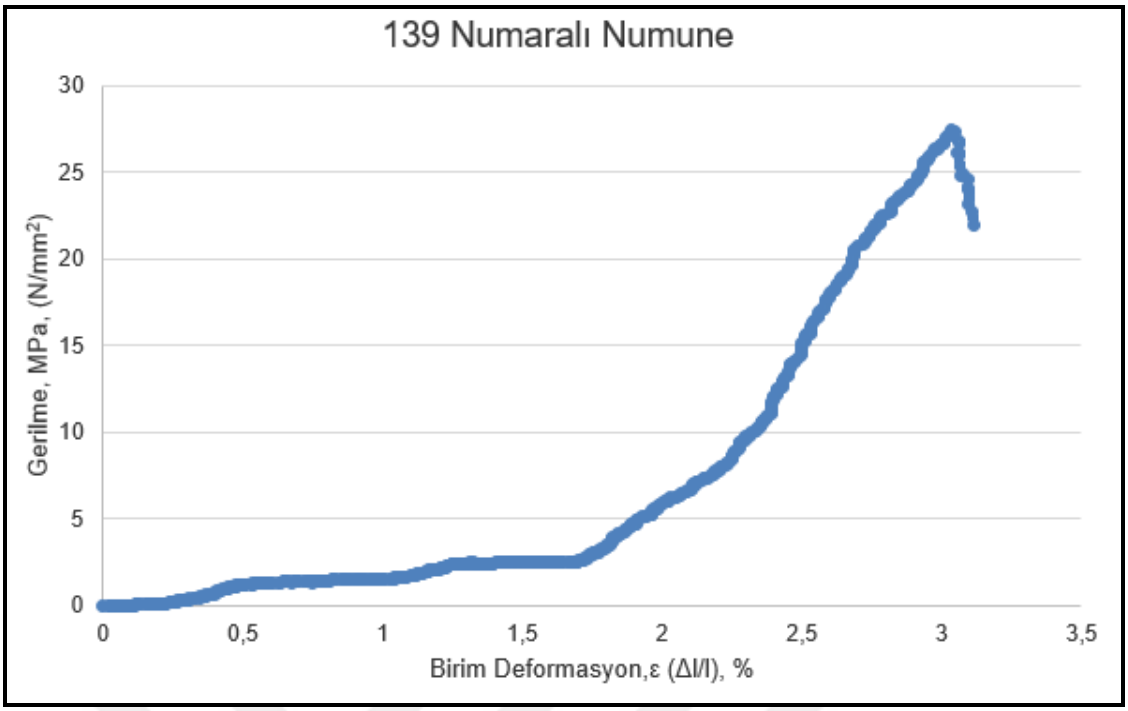
Şekil C.77 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



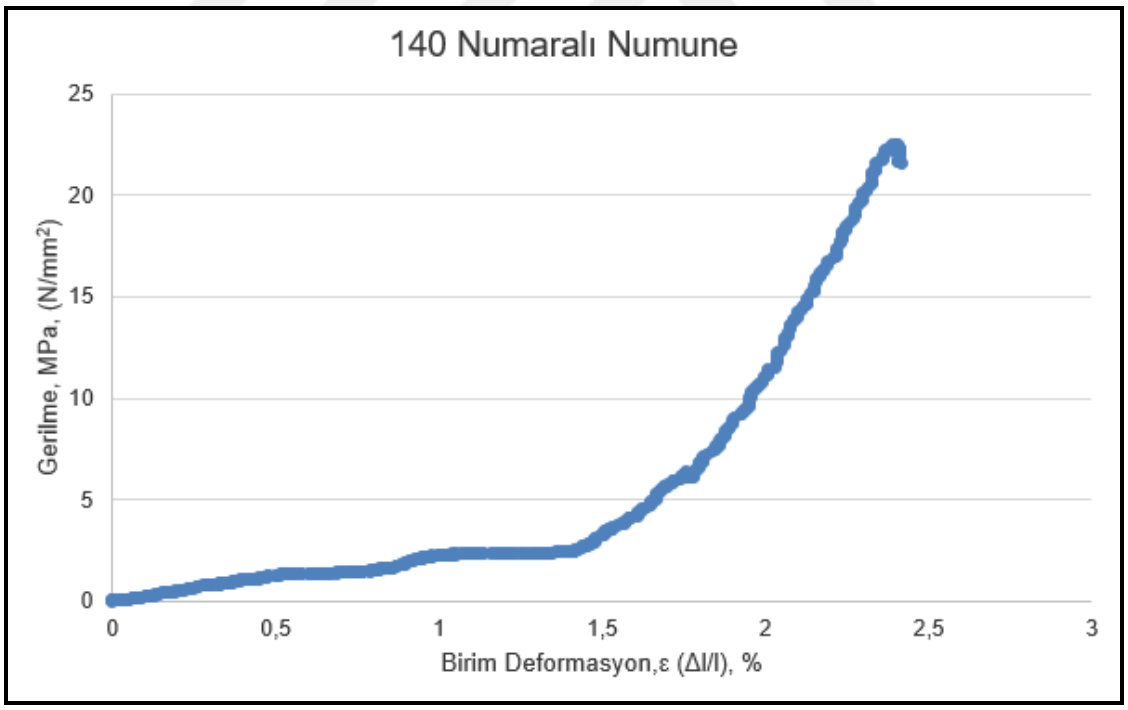
Şekil C.78 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



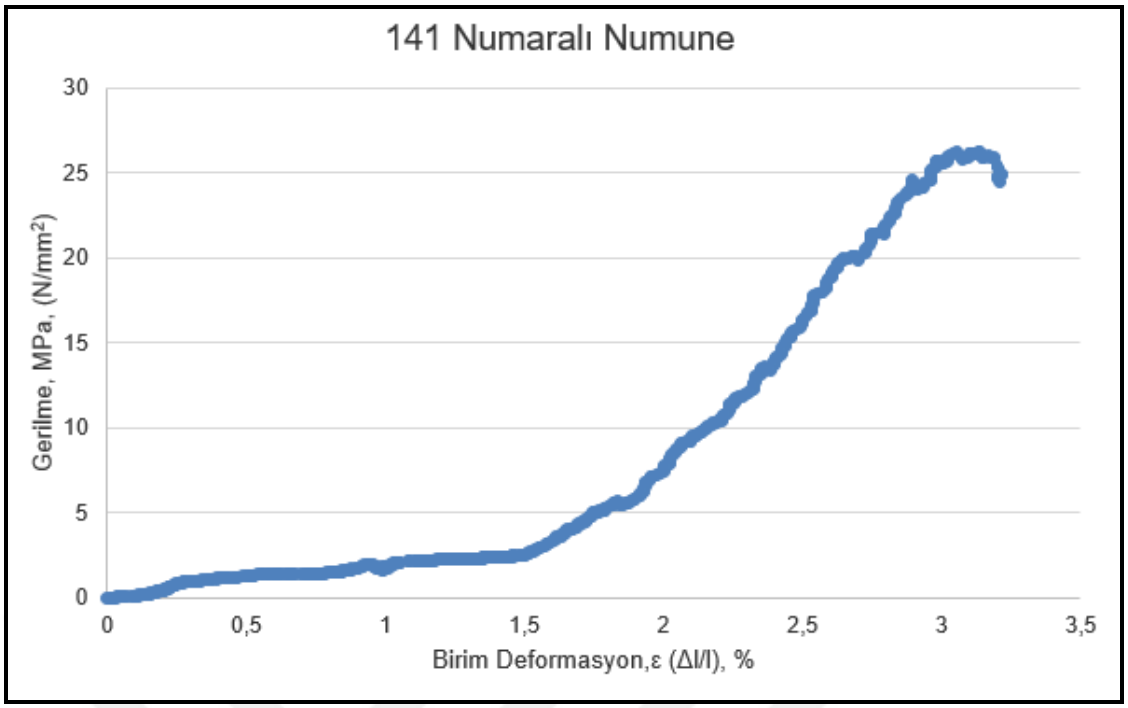
Şekil C.79 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



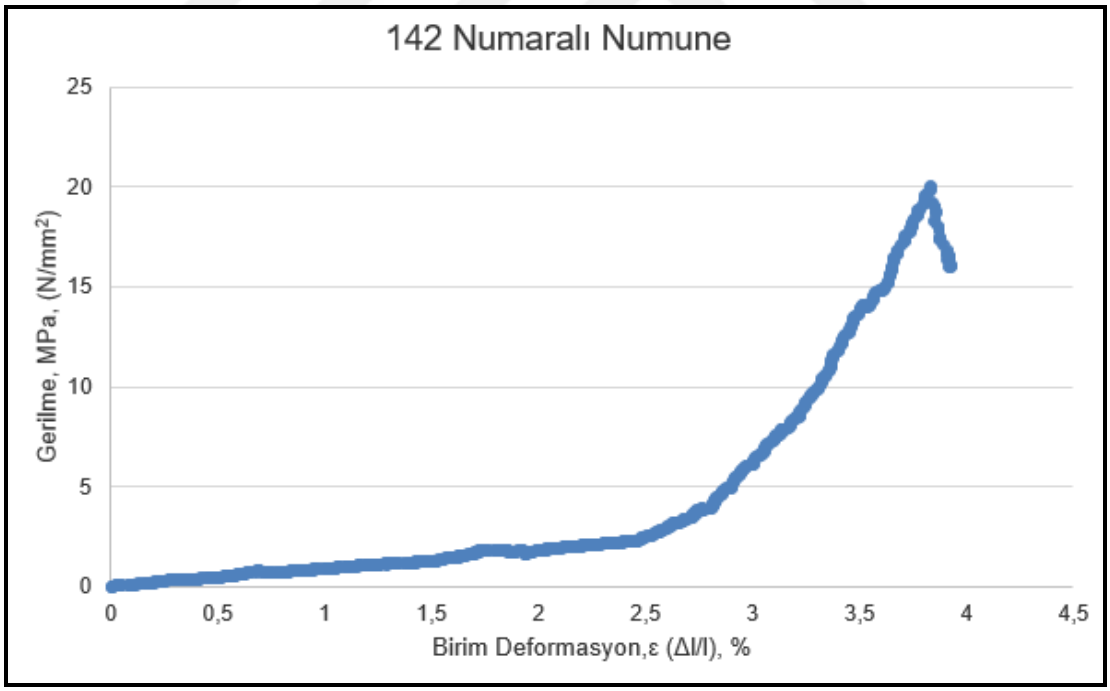
Şekil C.80 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



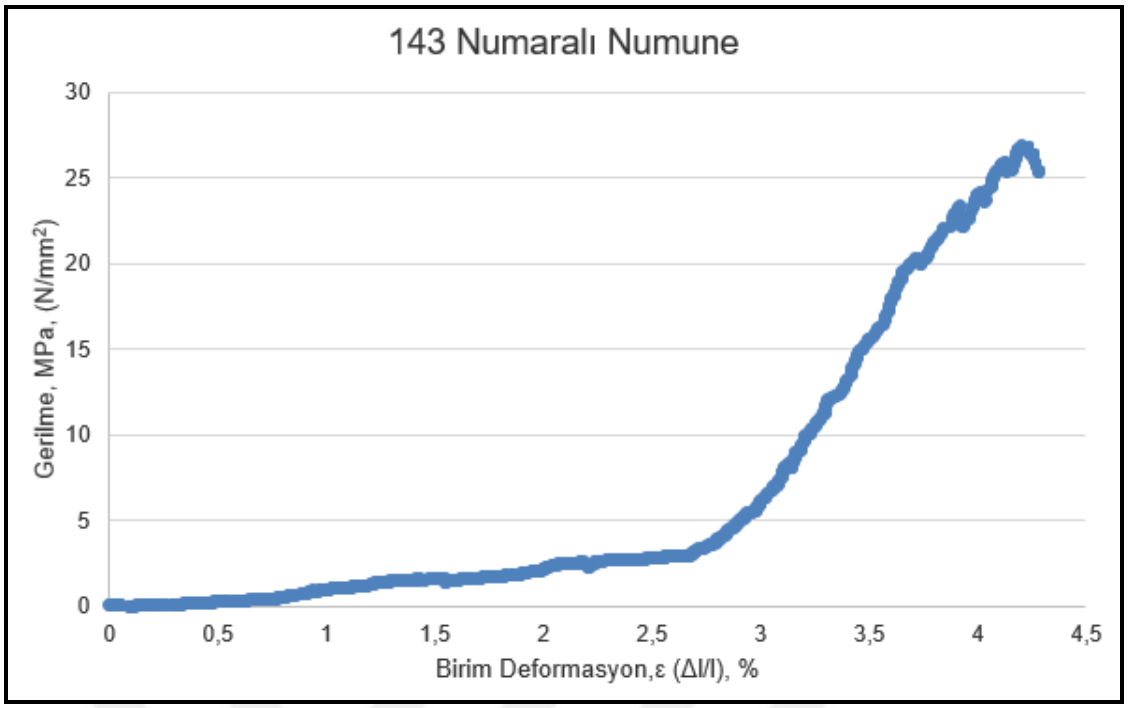
Şekil C.81 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



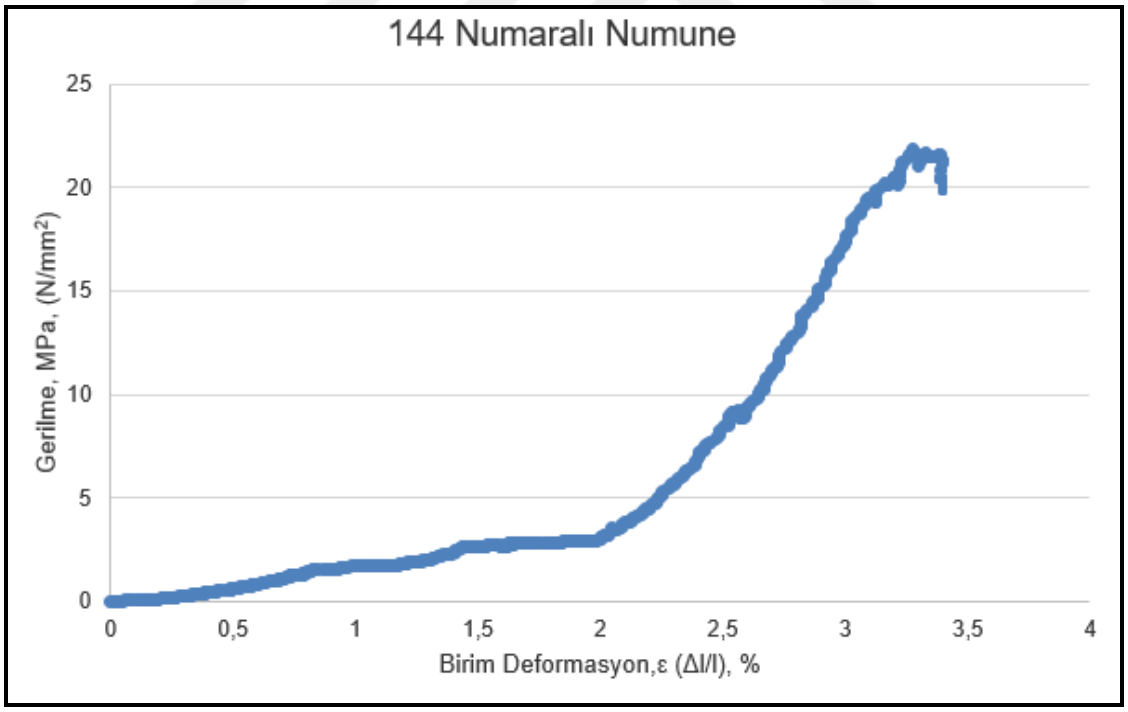
Şekil C.82 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



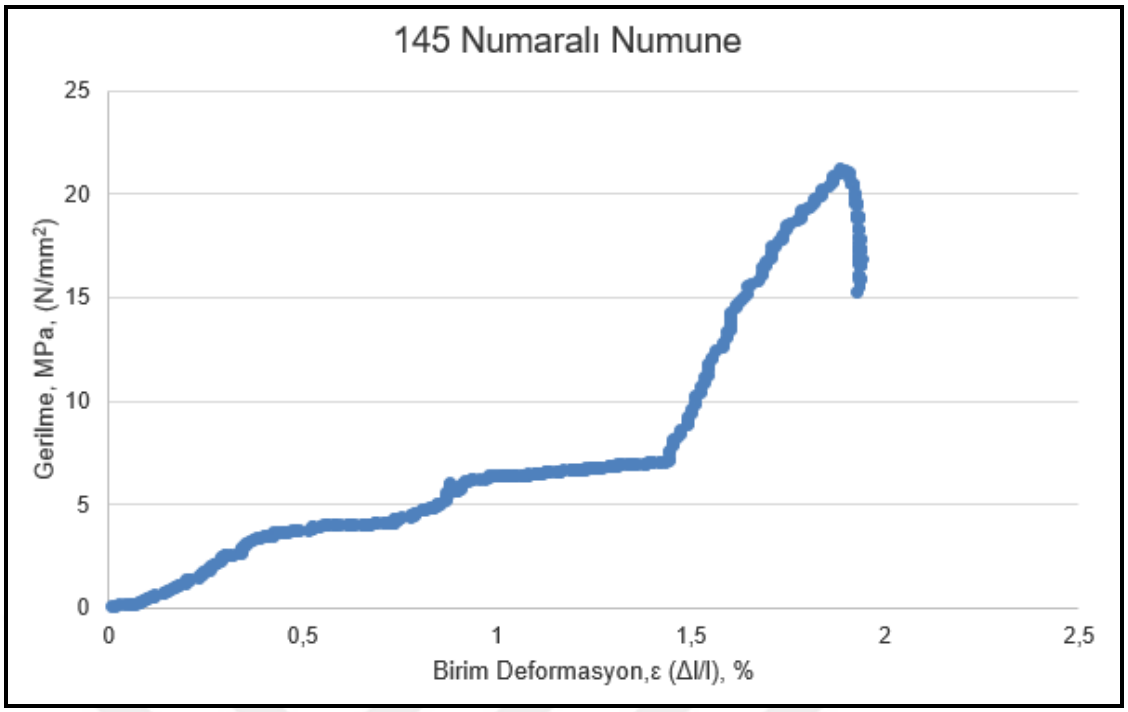
Şekil C.83 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



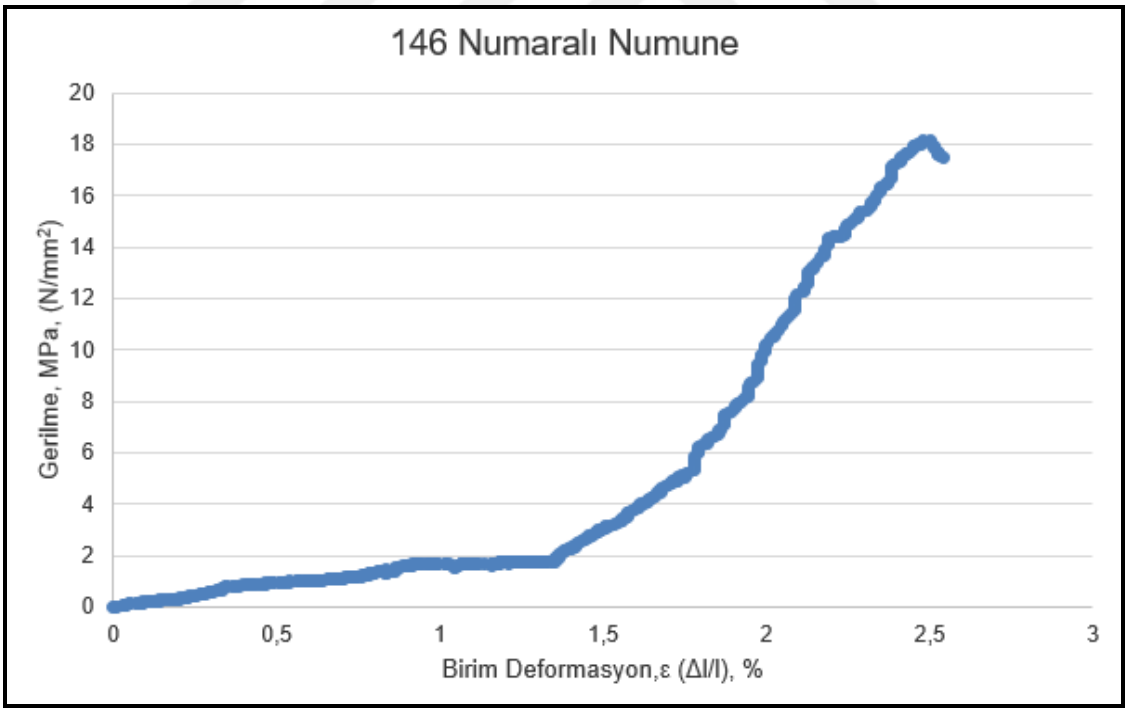
Şekil C.84 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



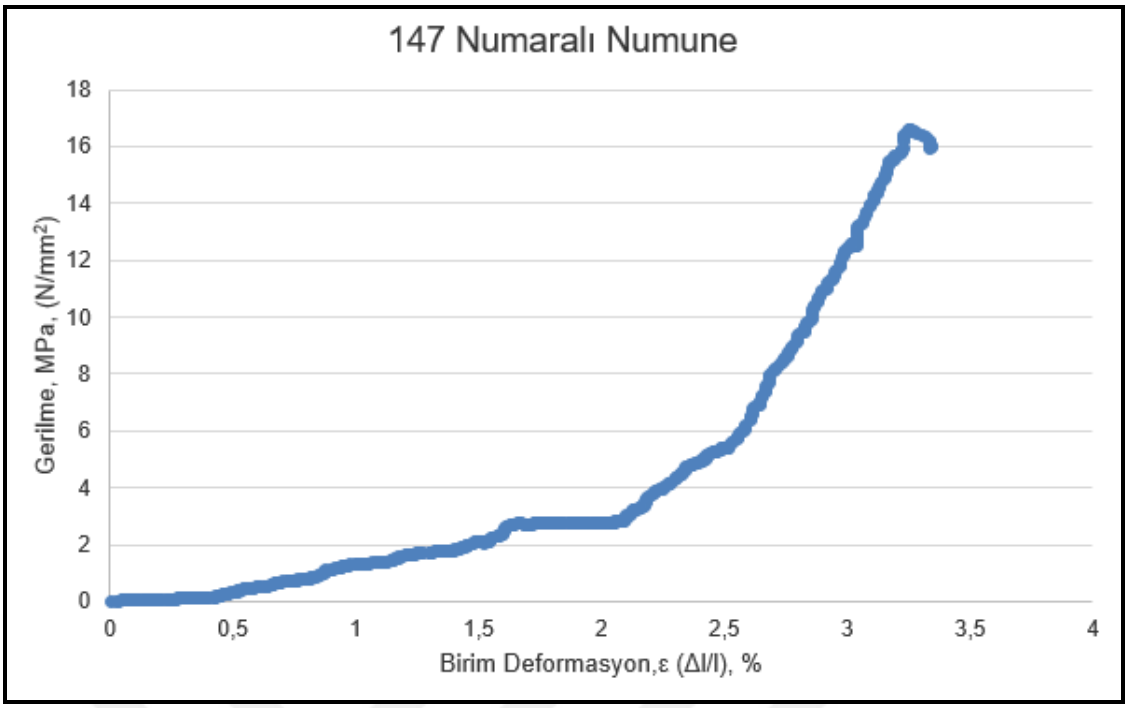
Şekil C.85 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



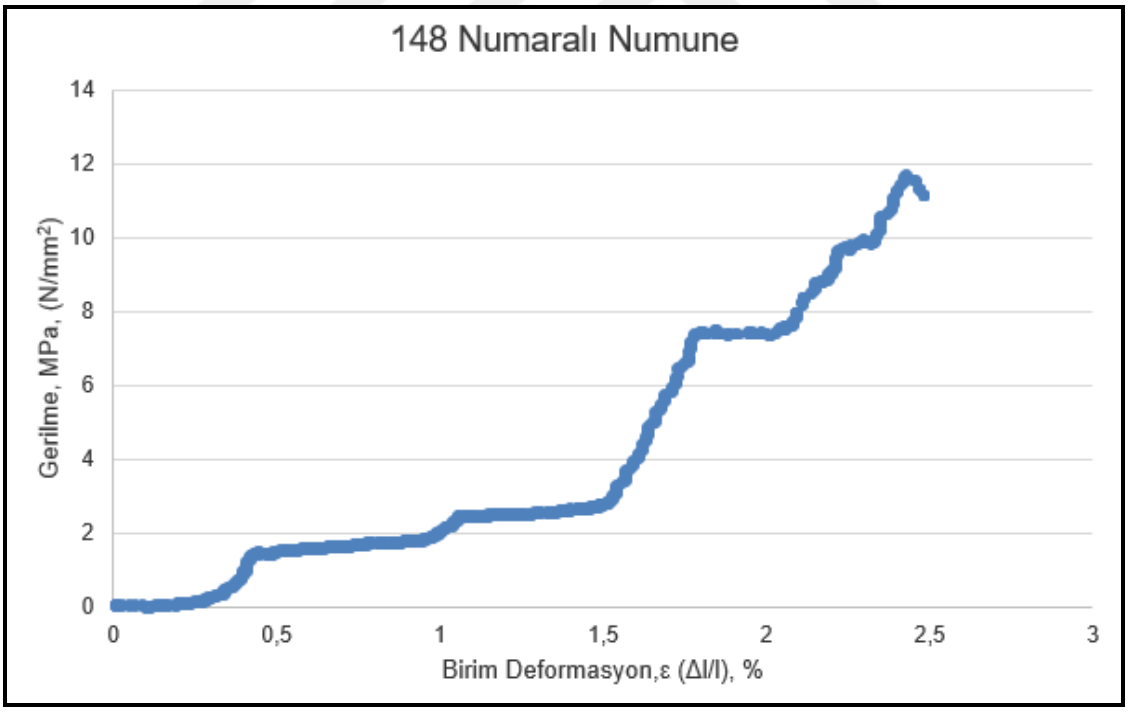
Şekil C.86 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



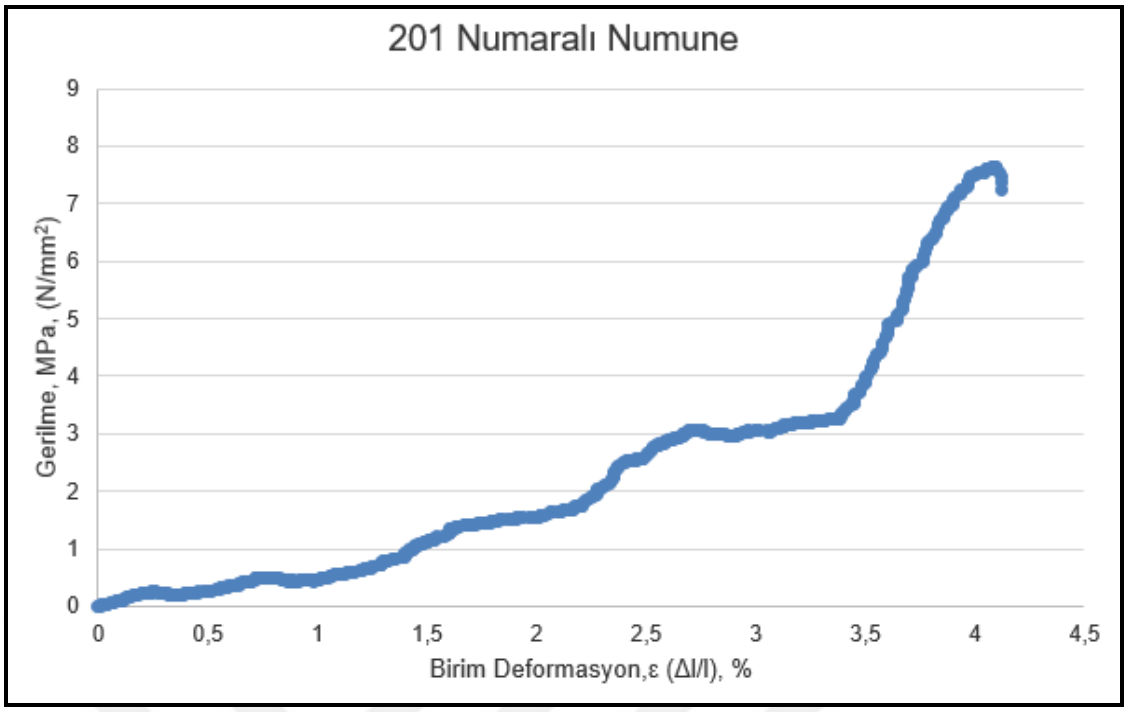
Şekil C.87 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



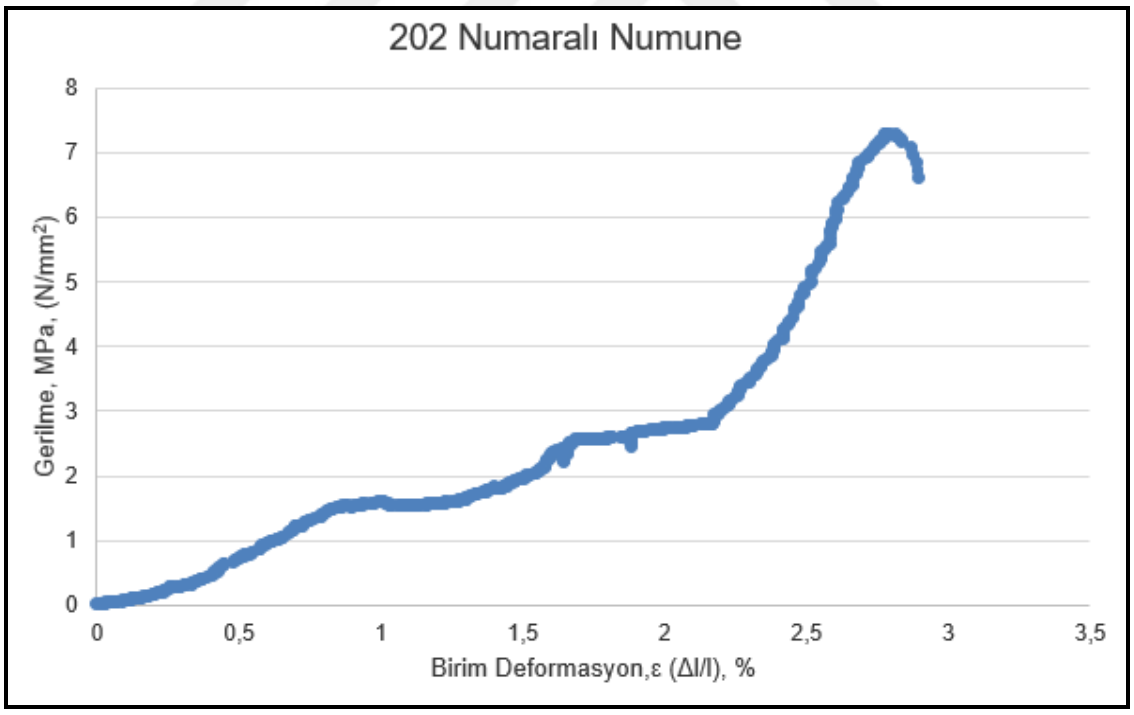
Şekil C.88 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



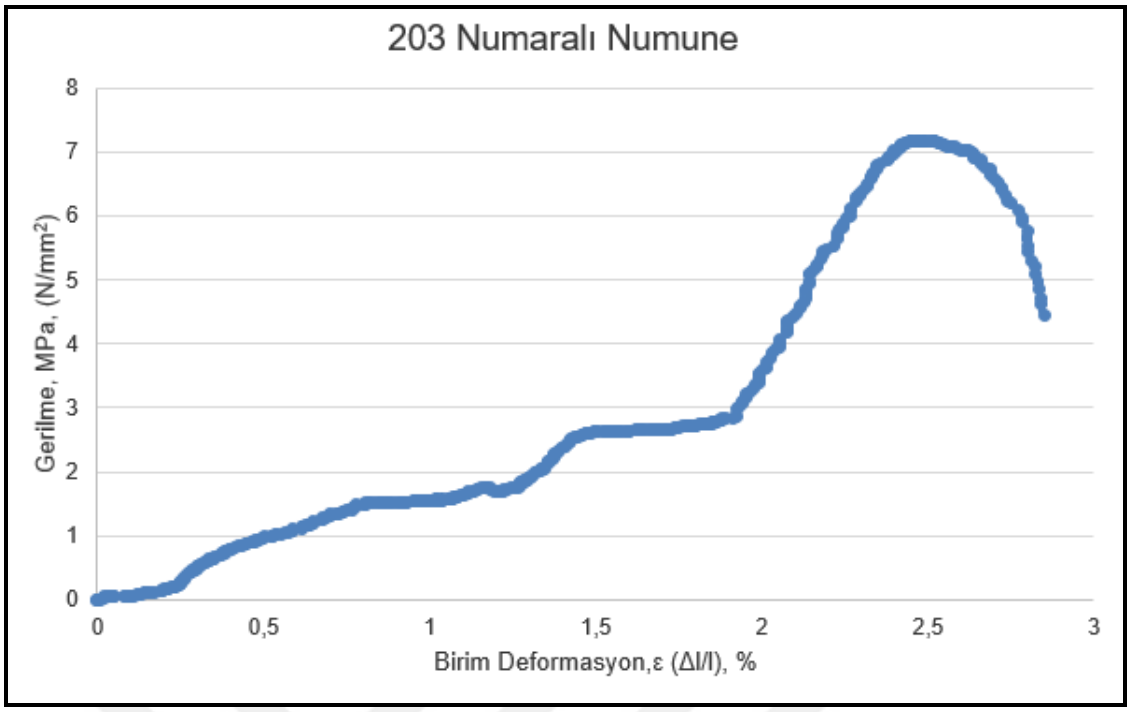
Şekil C.89 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



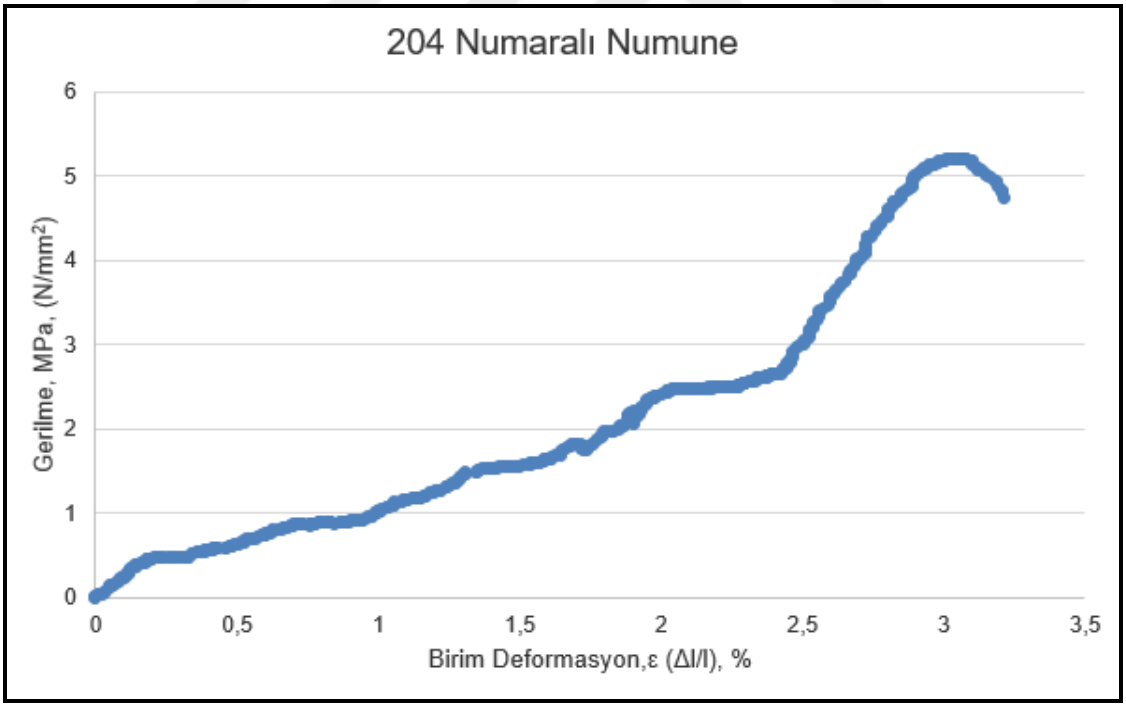
Şekil C.90 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



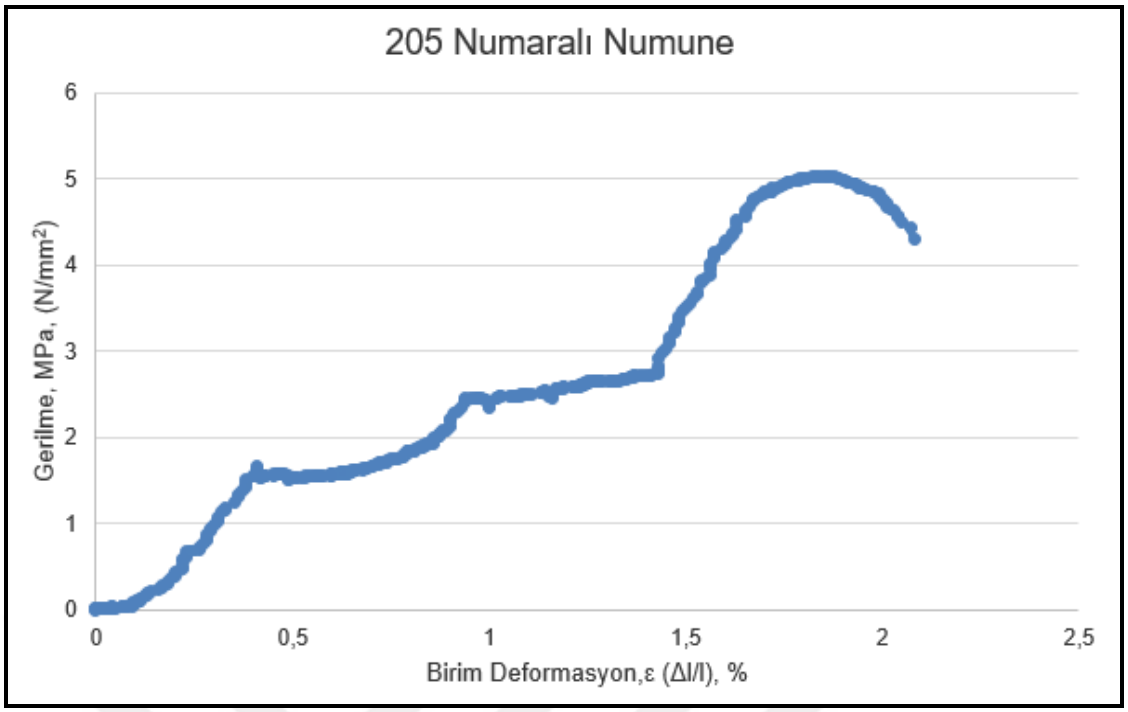
Şekil C.91 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



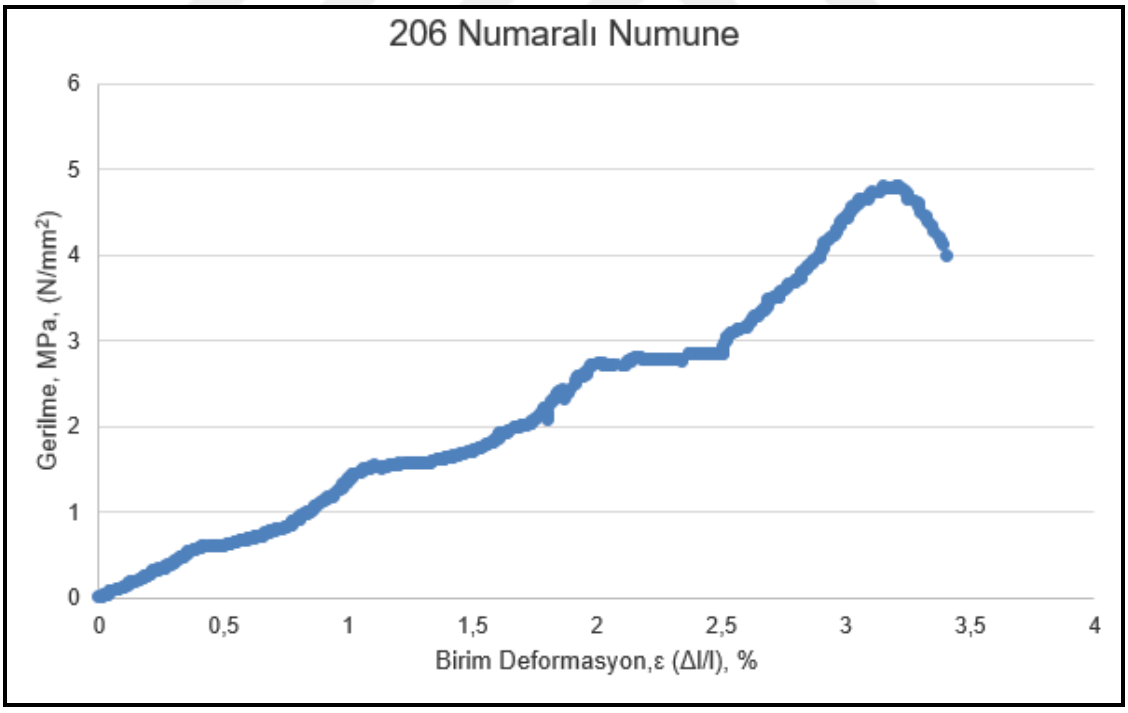
Şekil C.92 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



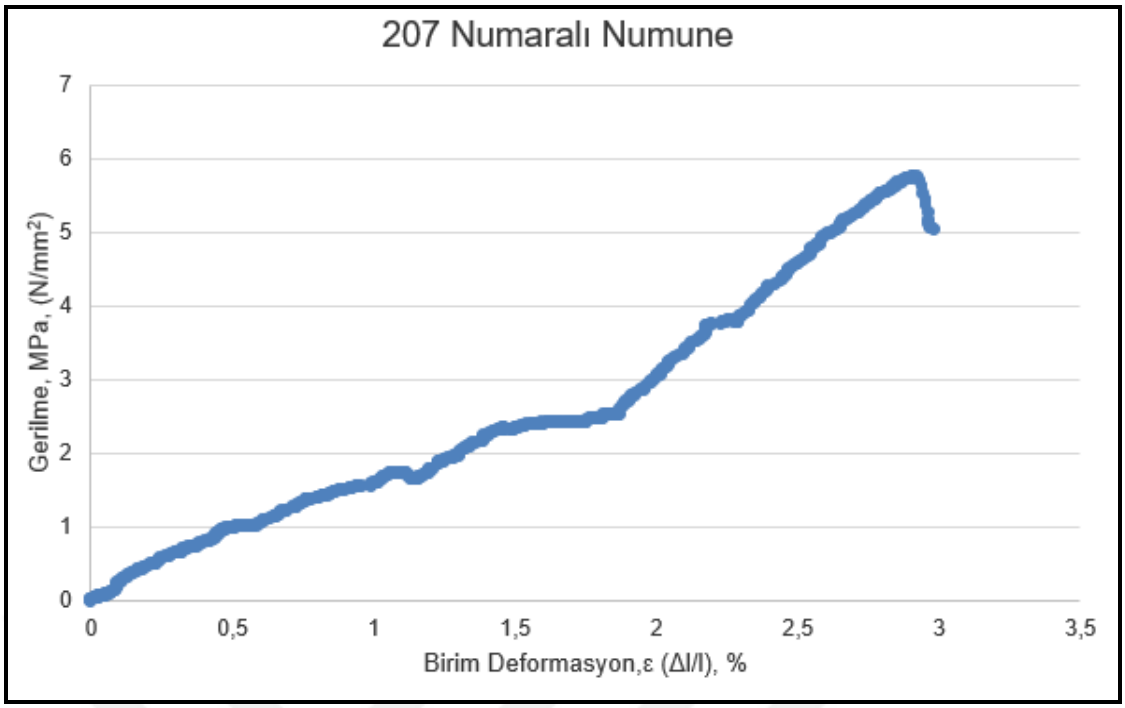
Şekil C.93 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



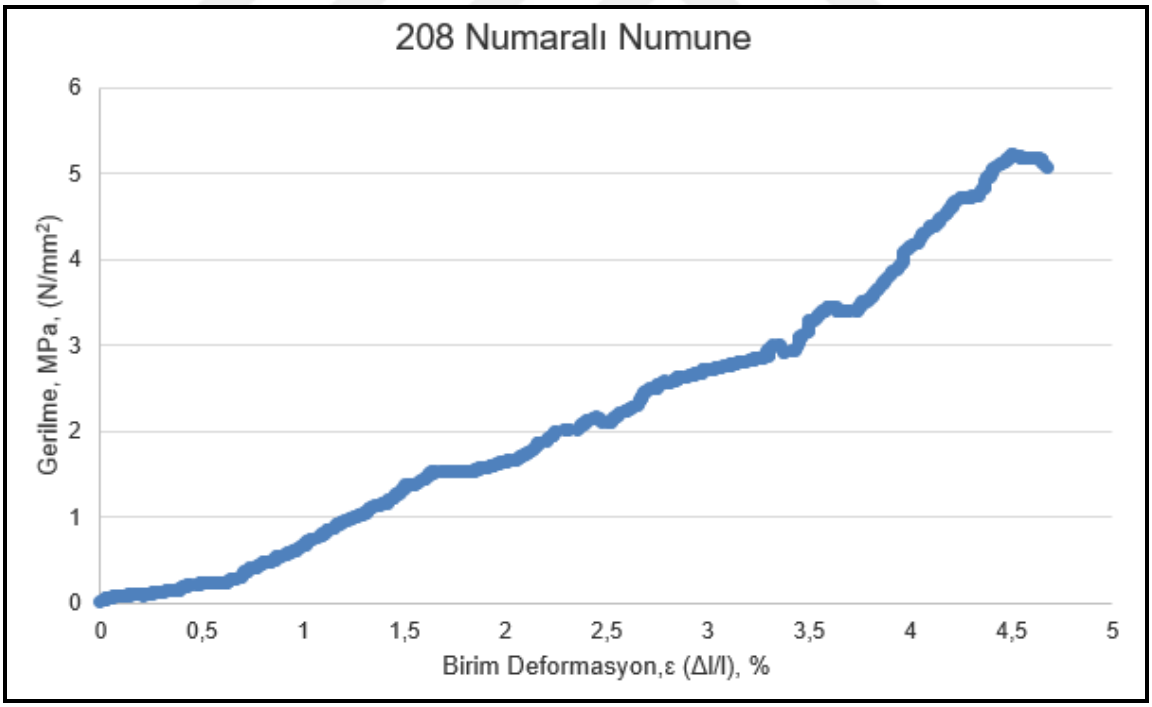
Şekil C.94 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



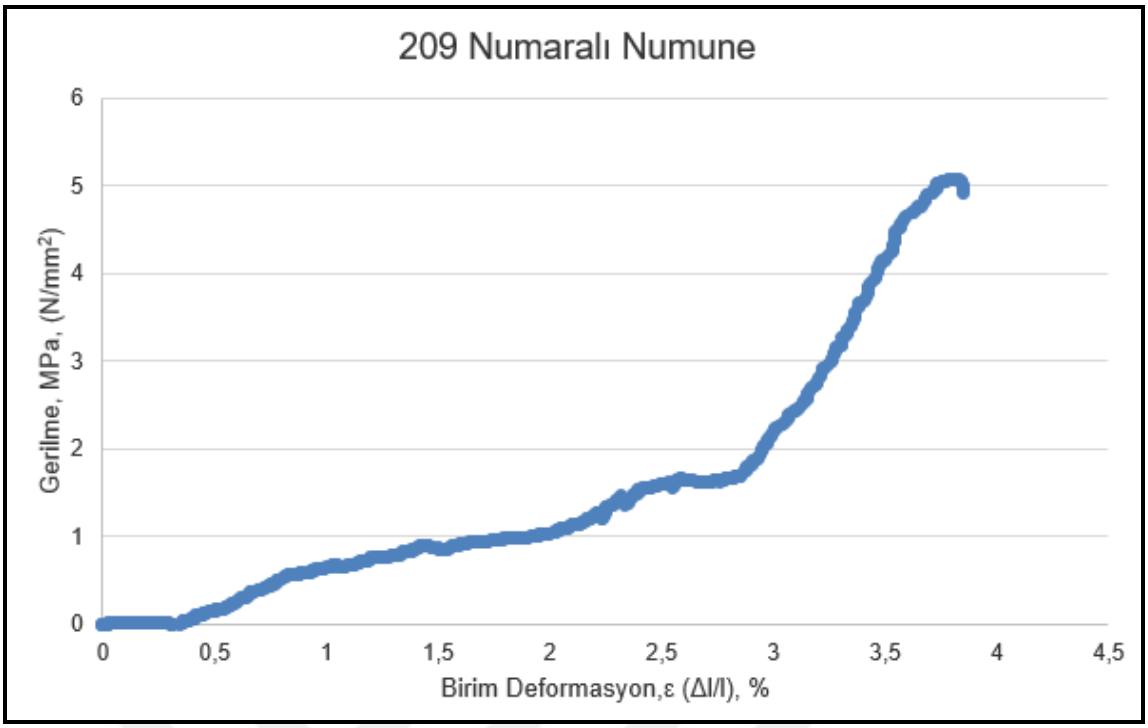
Şekil C.95 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 2 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



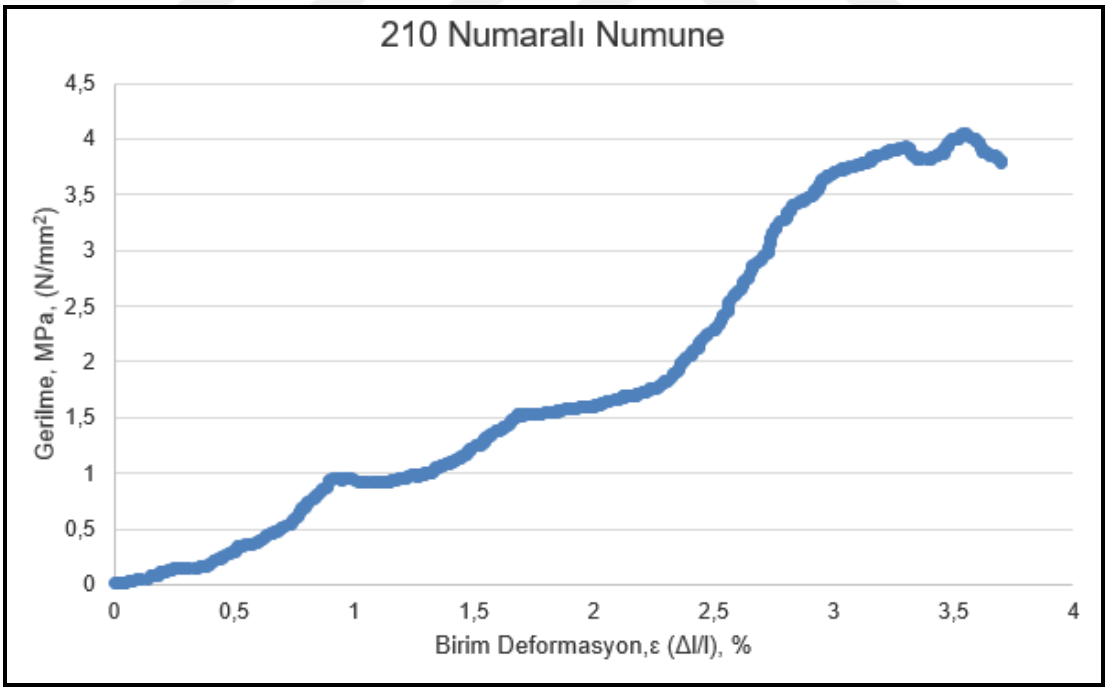
Şekil C.96 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



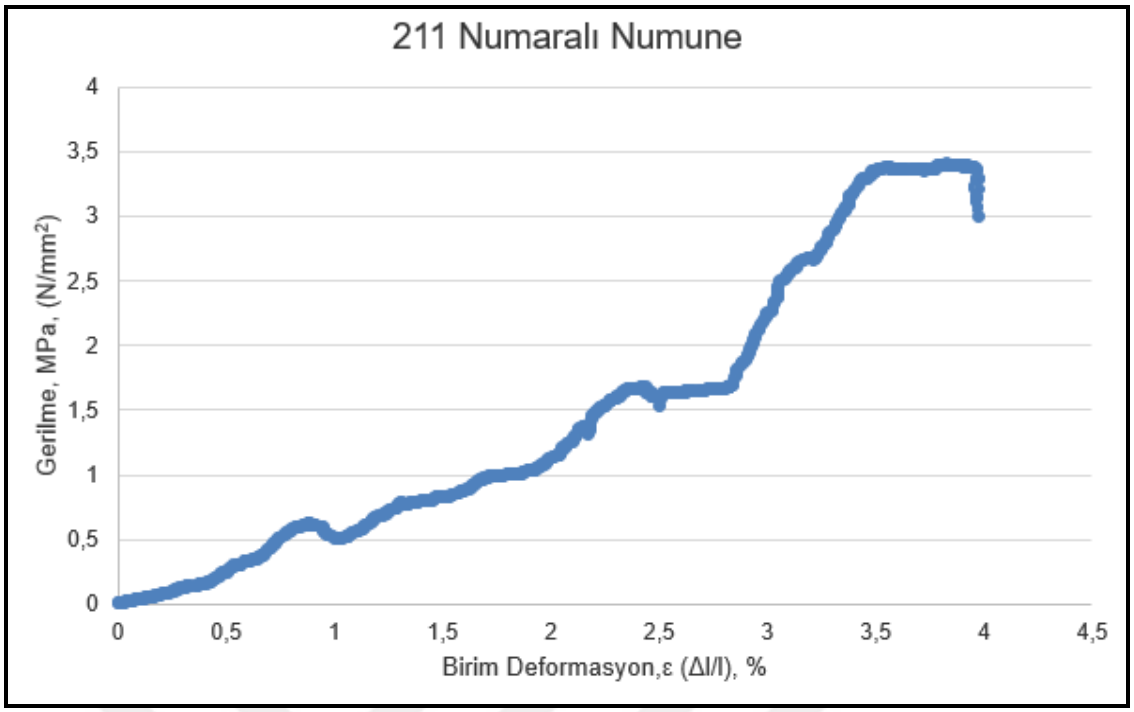
Şekil C.97 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



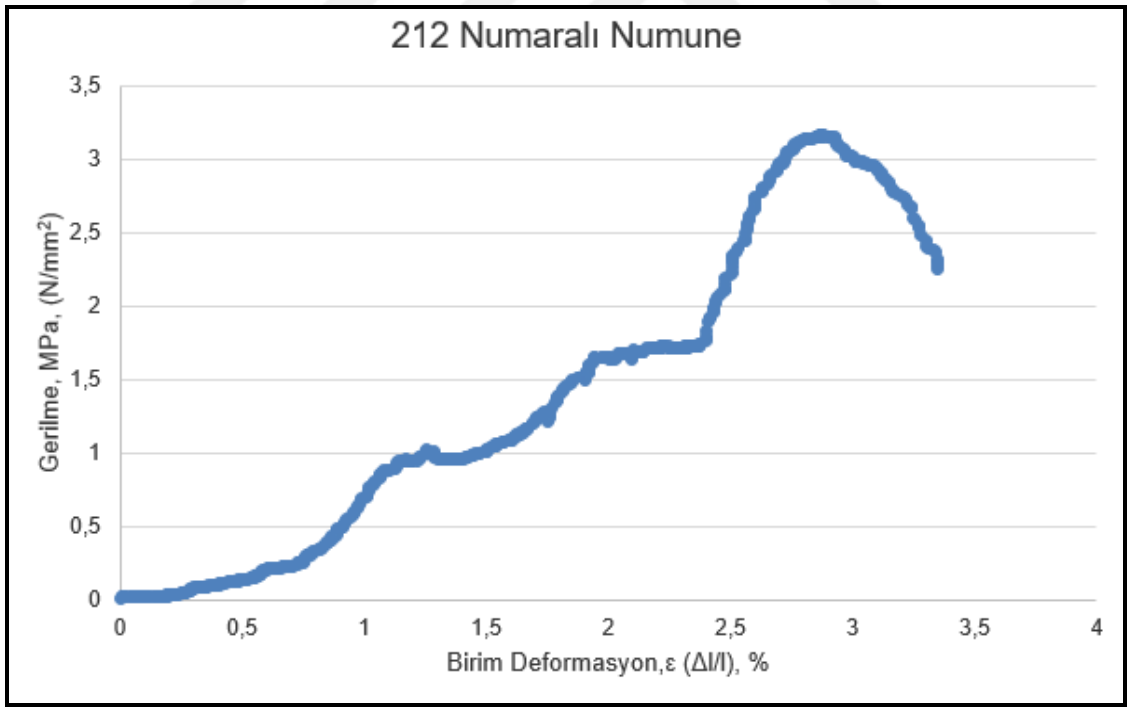
Şekil C.98 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



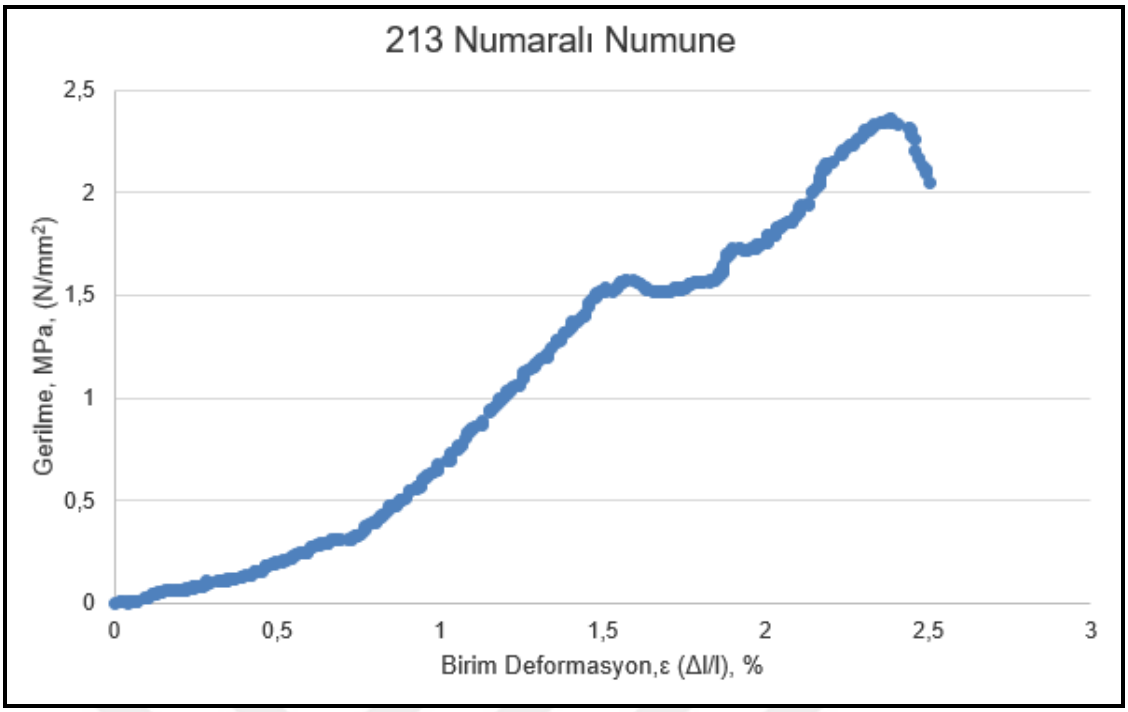
Şekil C.99 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



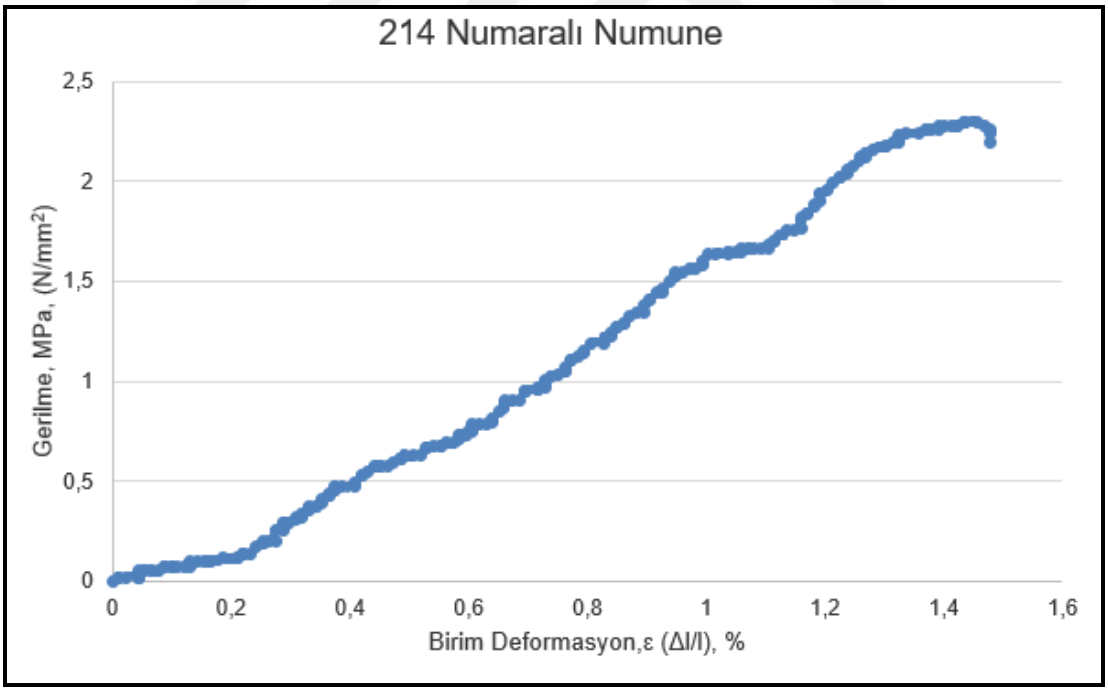
Şekil C.100 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



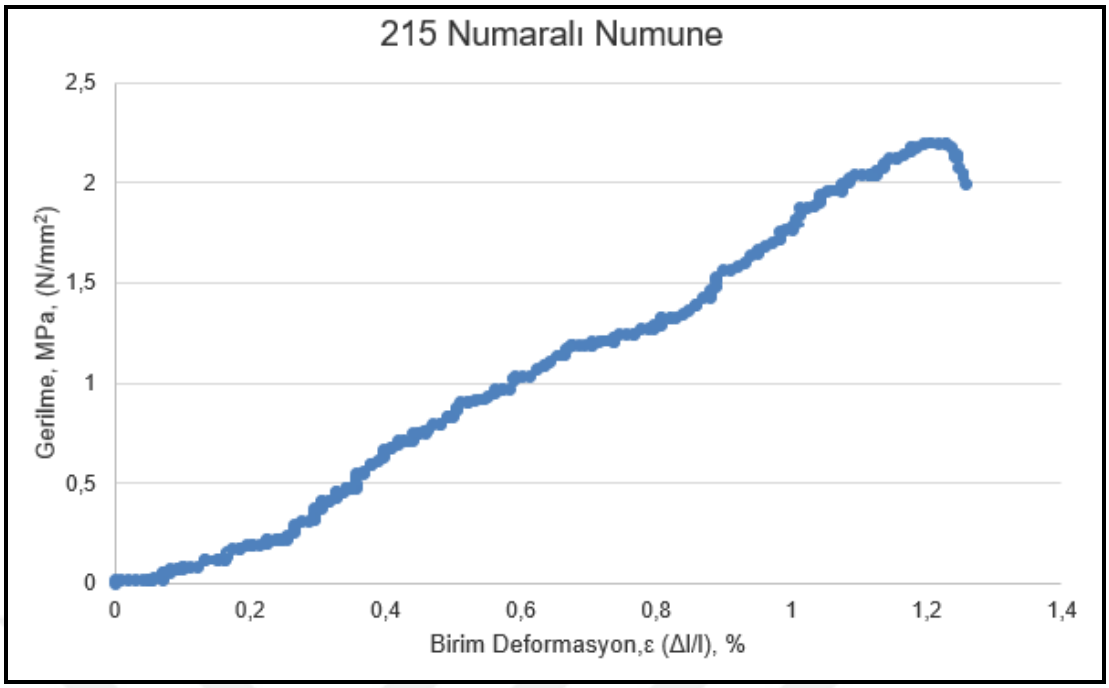
Şekil C.101 s/ç= 1 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



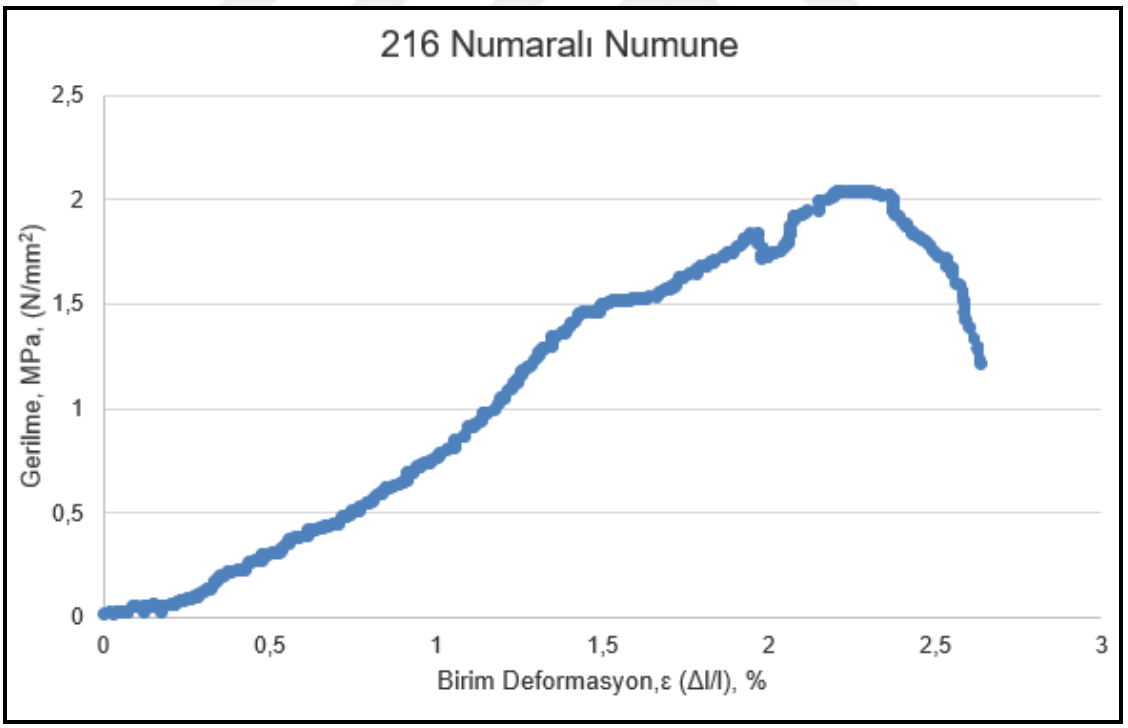
Şekil C.102 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



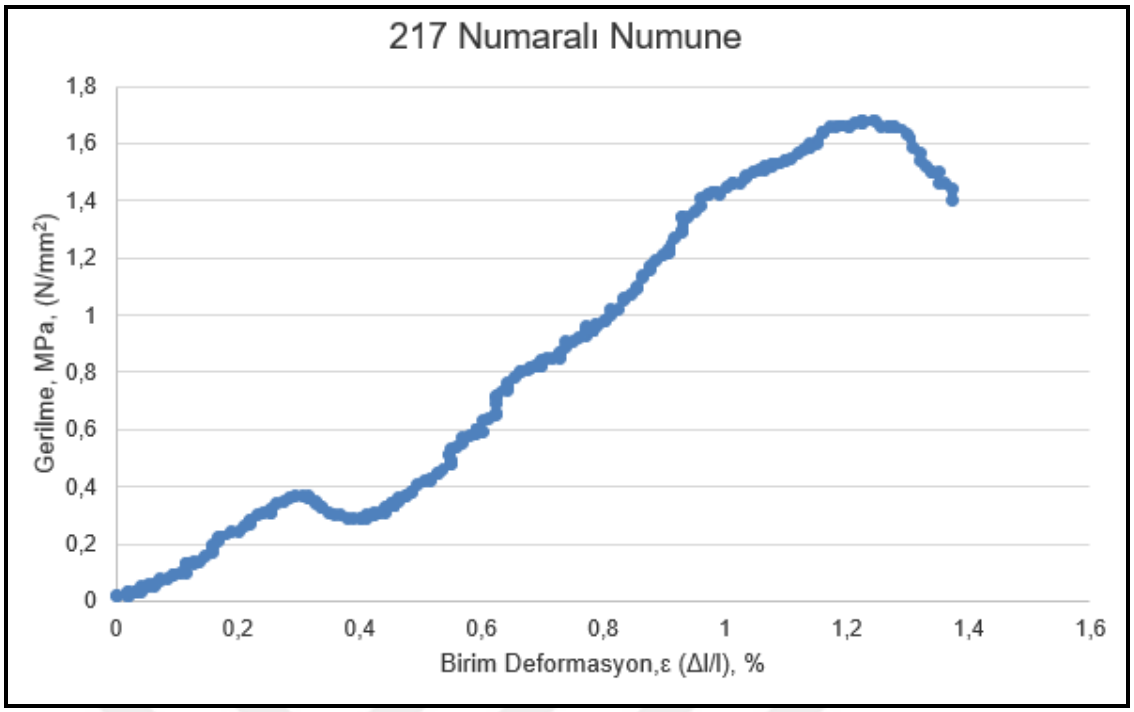
Şekil C.103 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



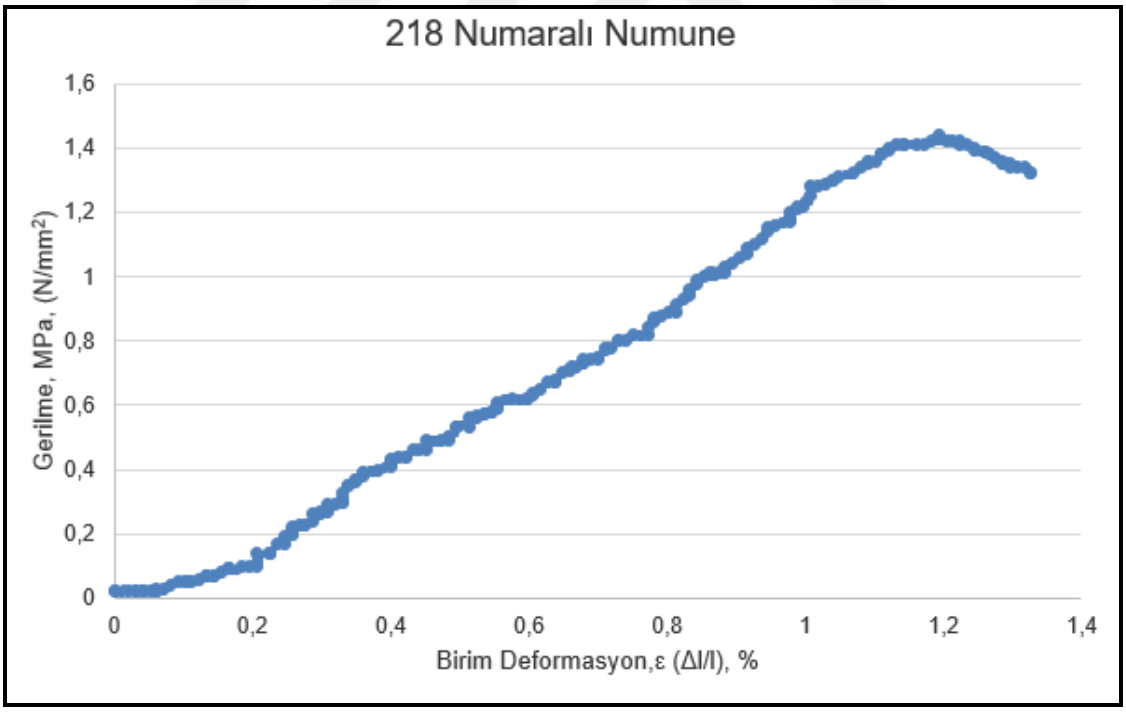
Şekil C.104 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



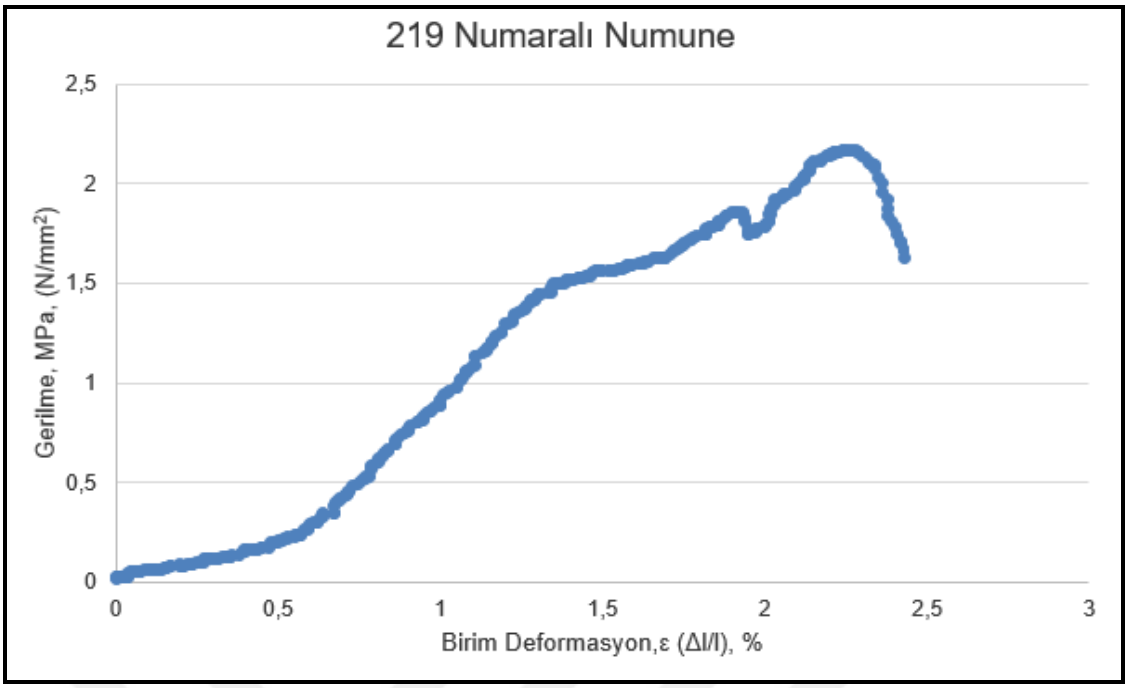
Şekil C.105 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



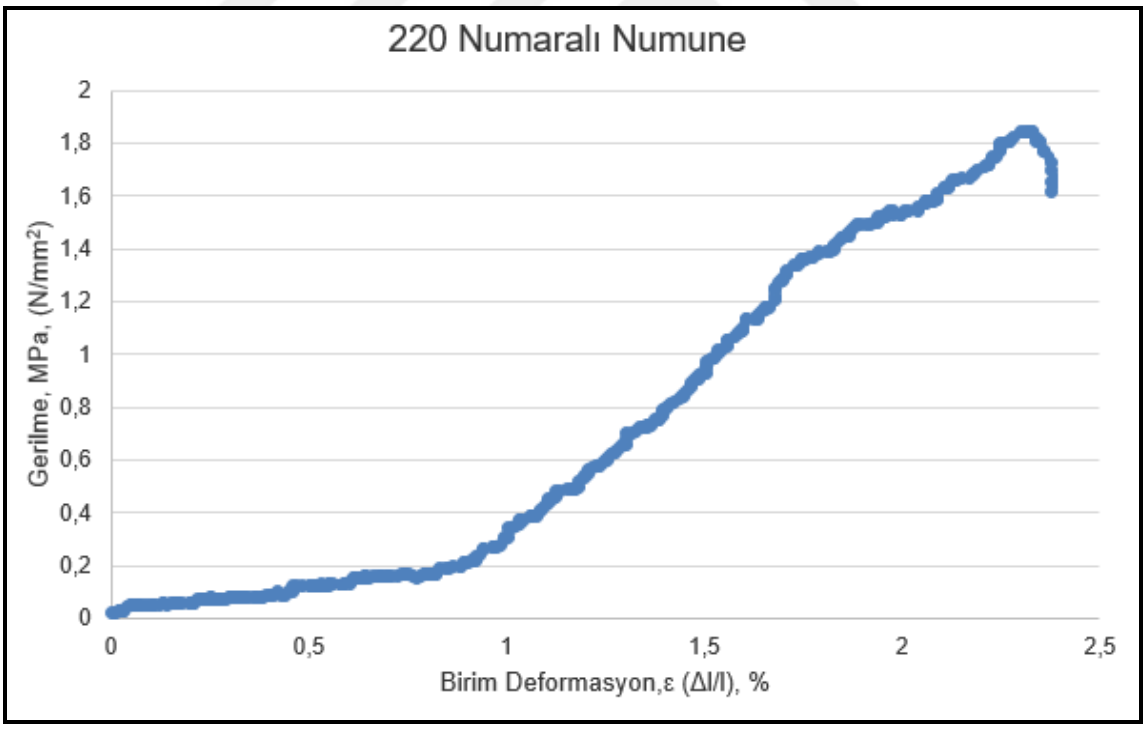
Şekil C.106 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



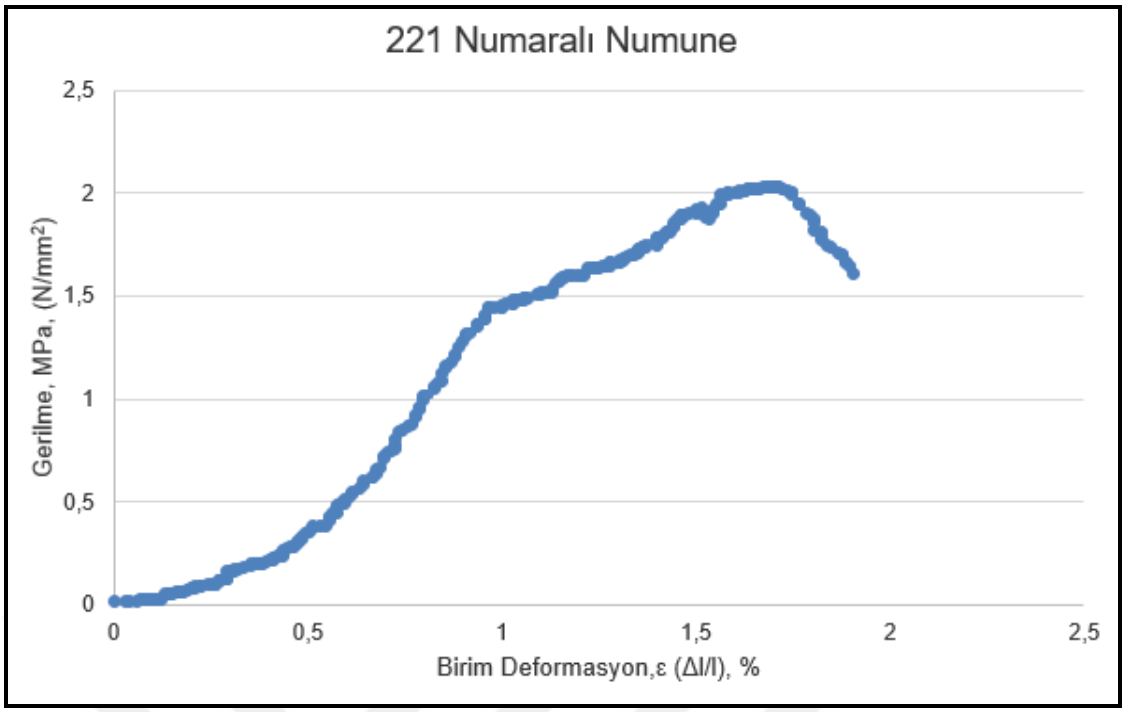
Şekil C.107 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



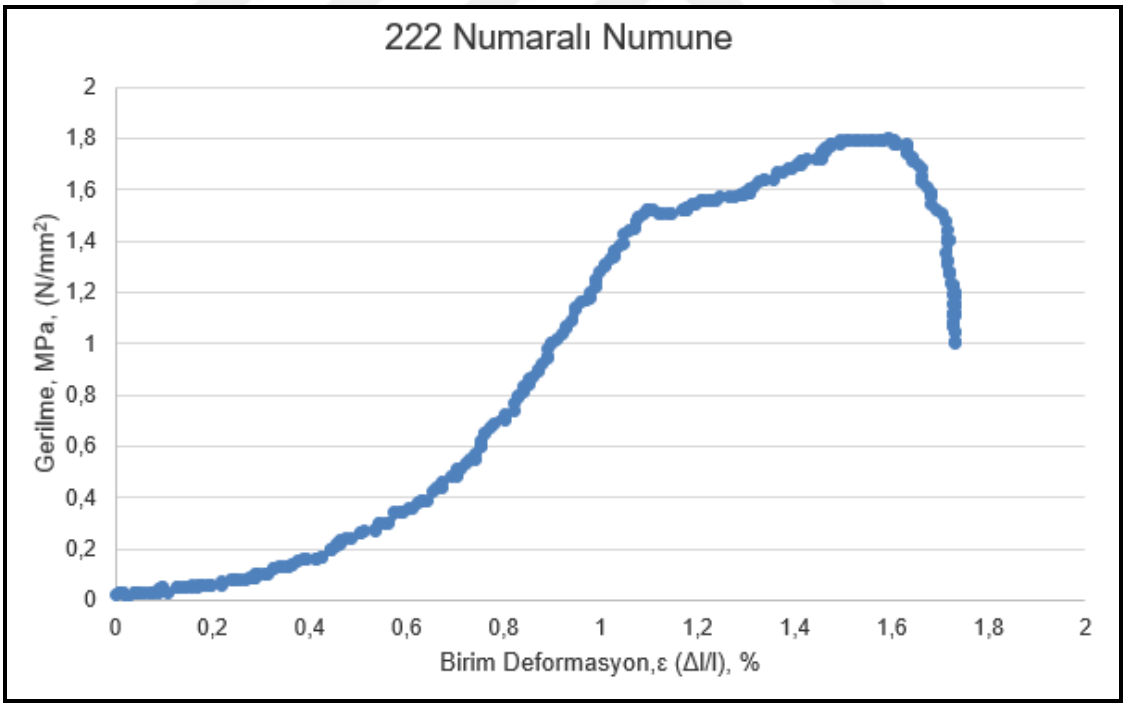
Şekil C.108 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



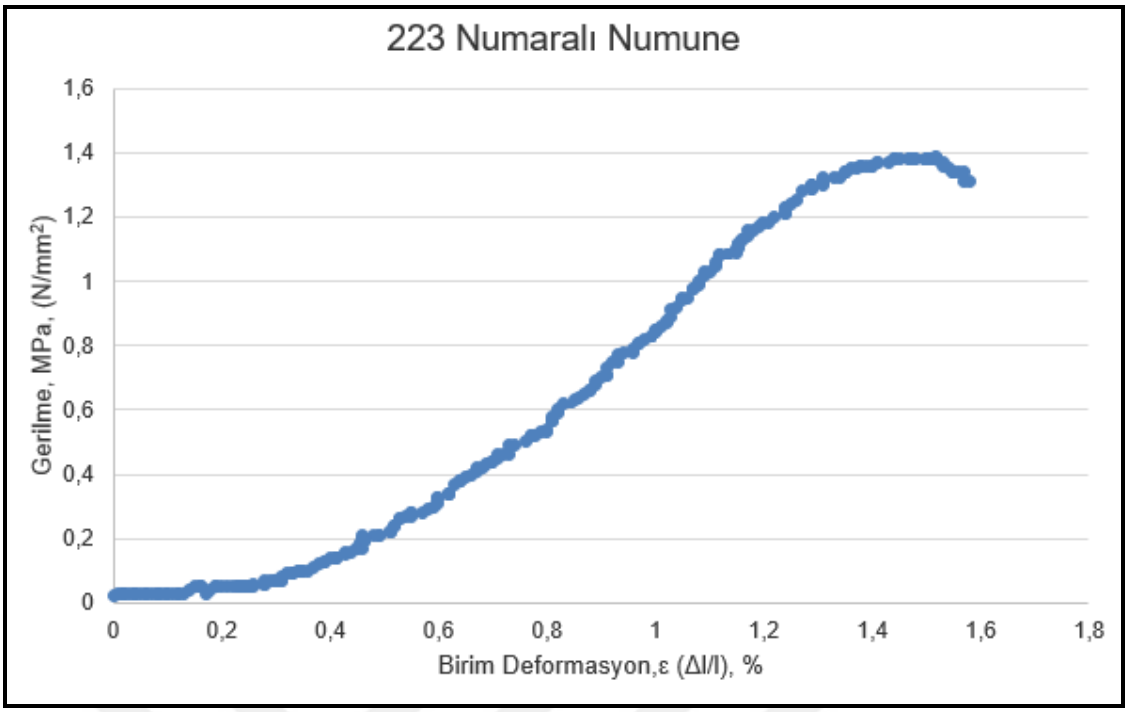
Şekil C.109 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



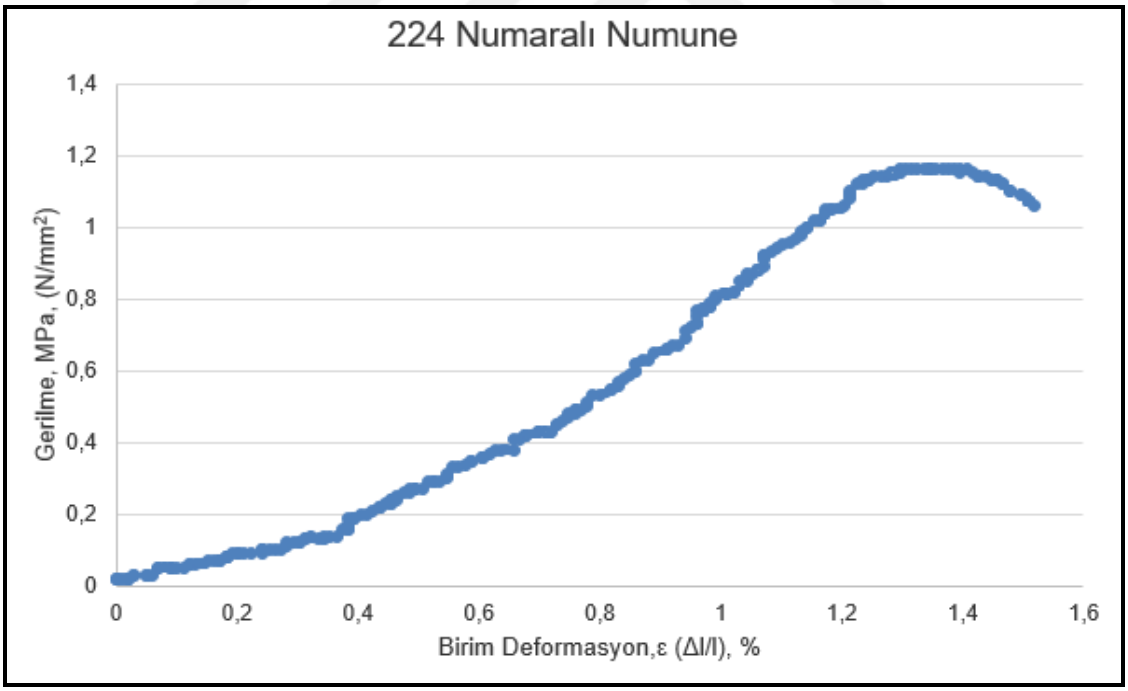
Şekil C.110 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



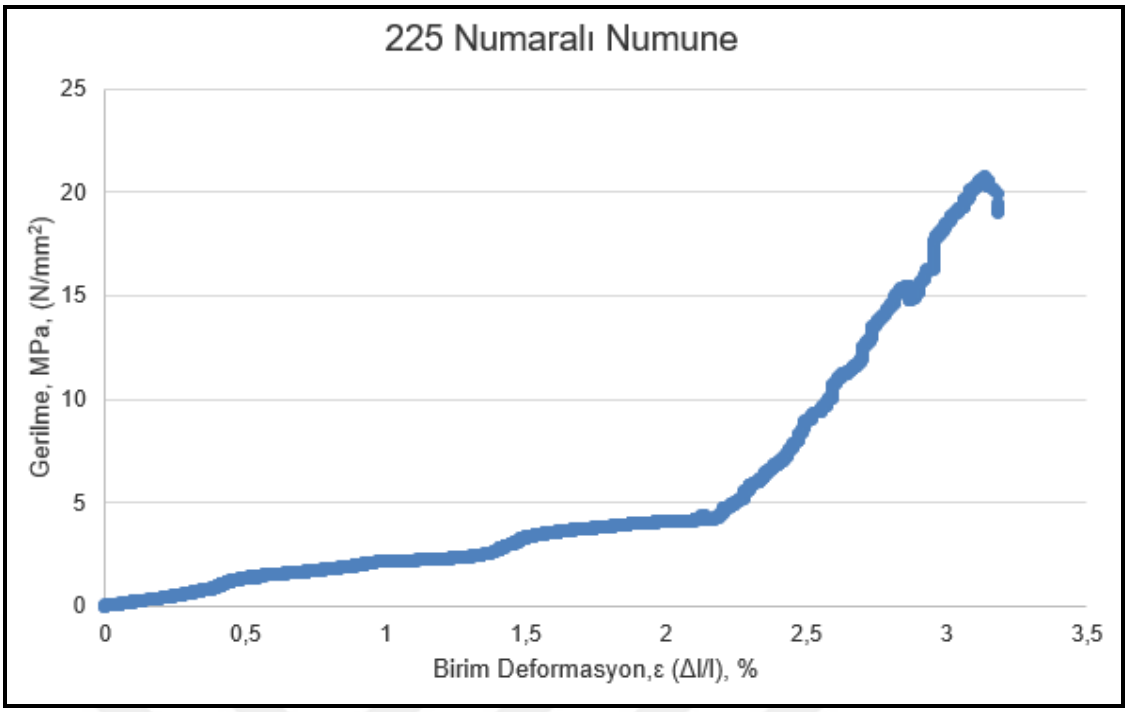
Şekil C.111 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



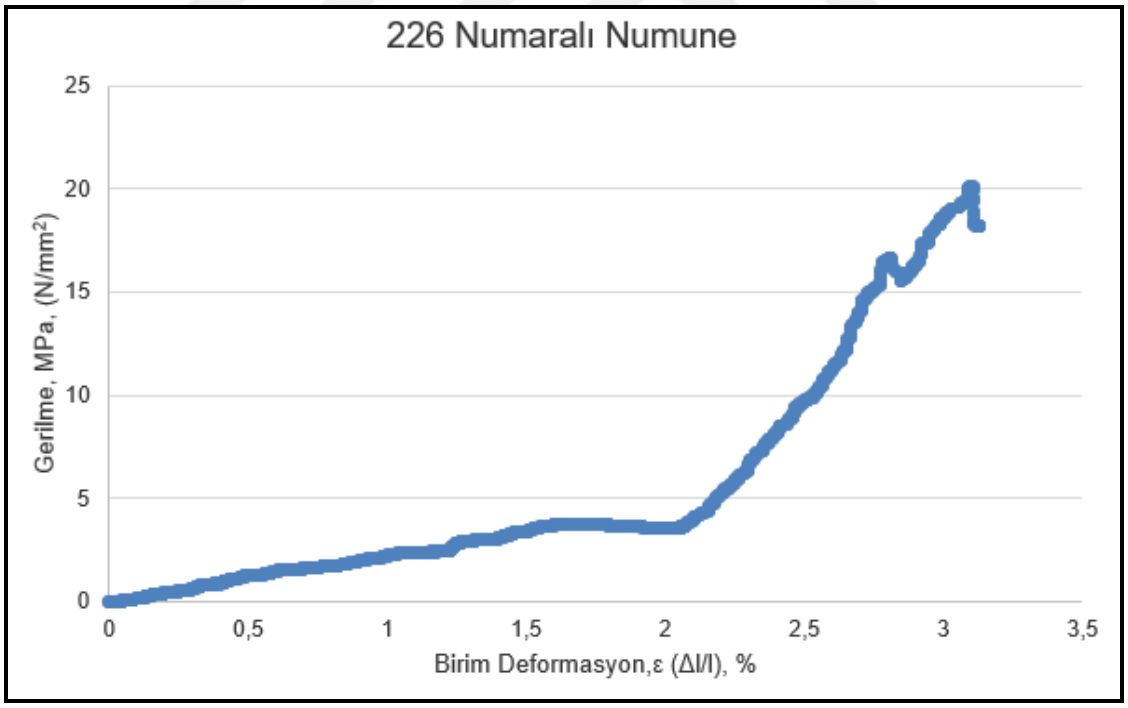
Şekil C.112 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



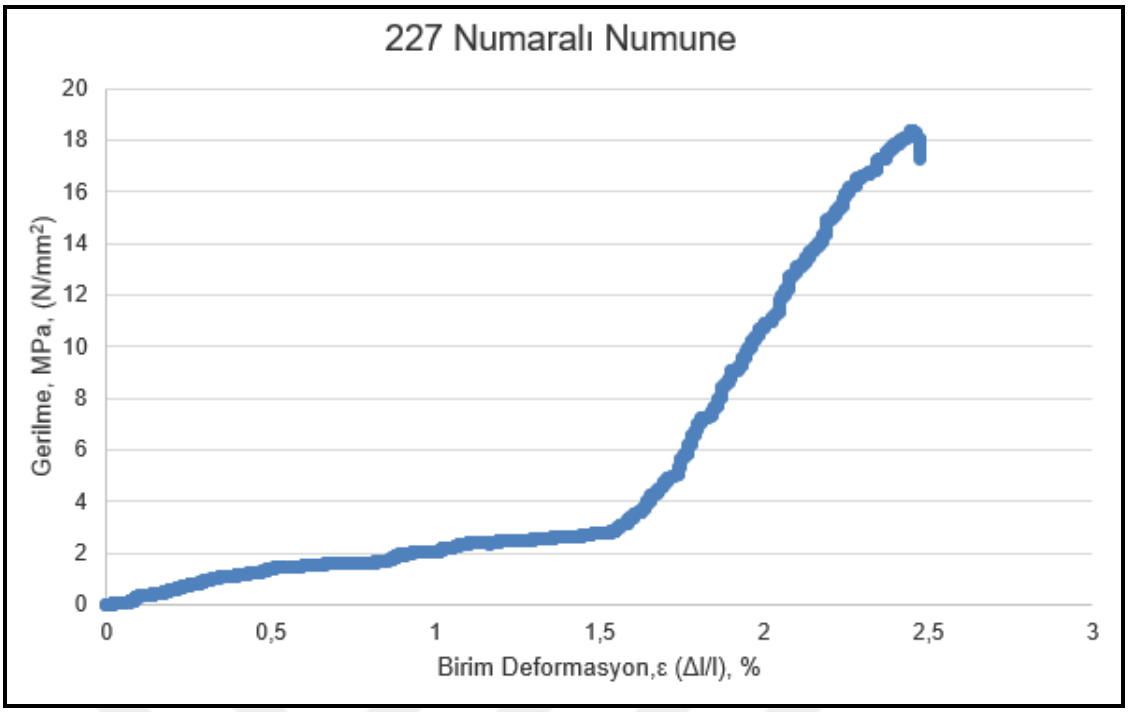
Şekil C.113 s/ç= 1.5 oranındaki Portland Çimentosu karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



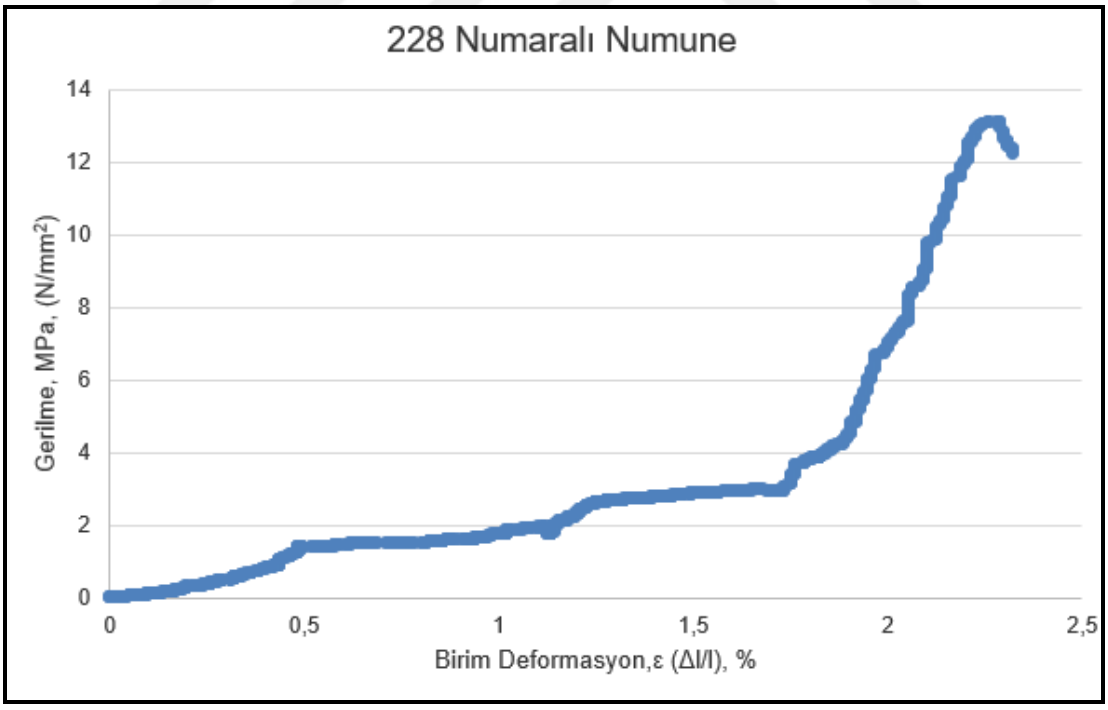
Şekil C.114 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



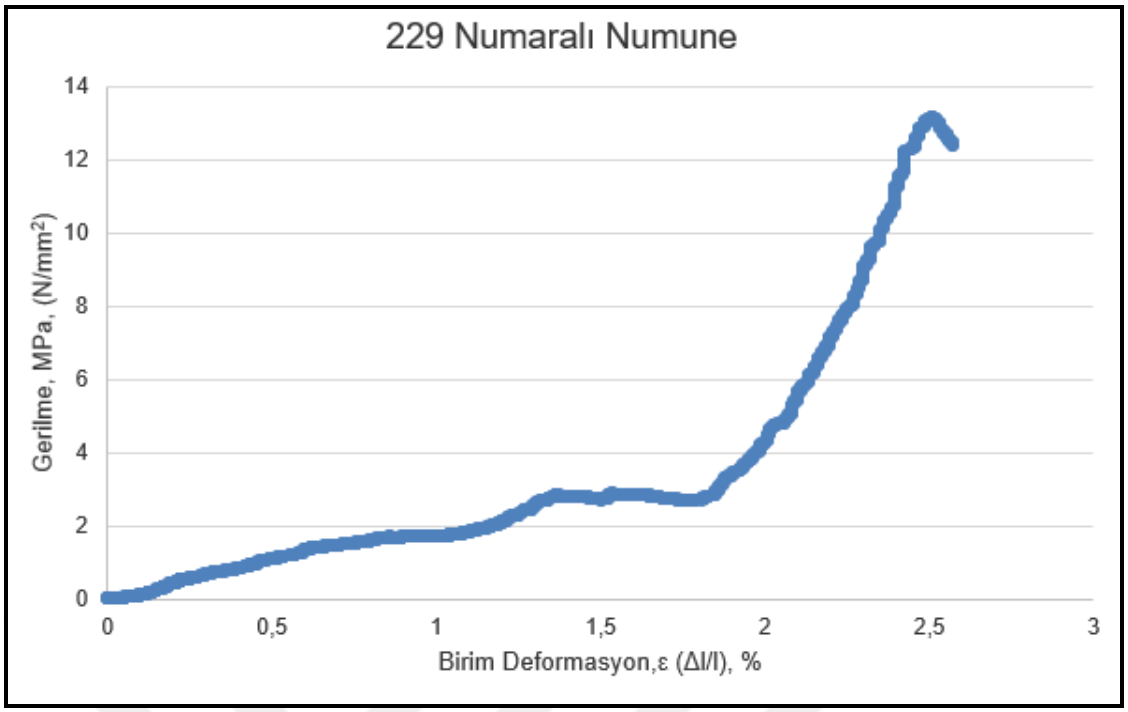
Şekil C.115 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



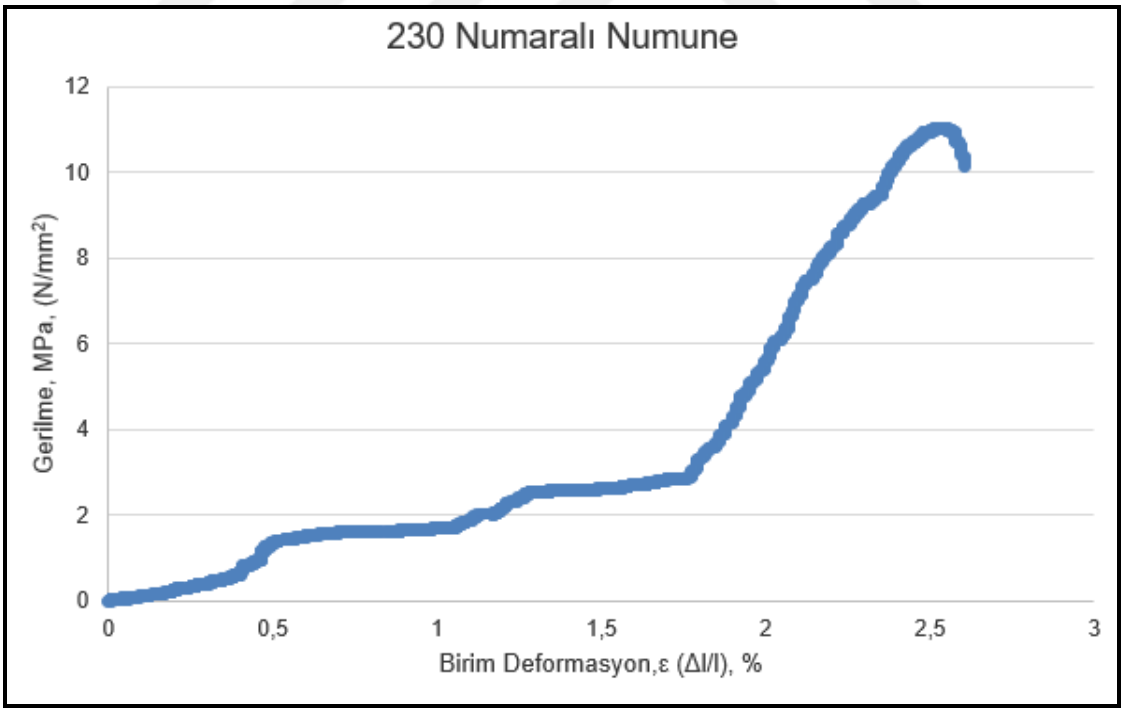
Şekil C.116 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



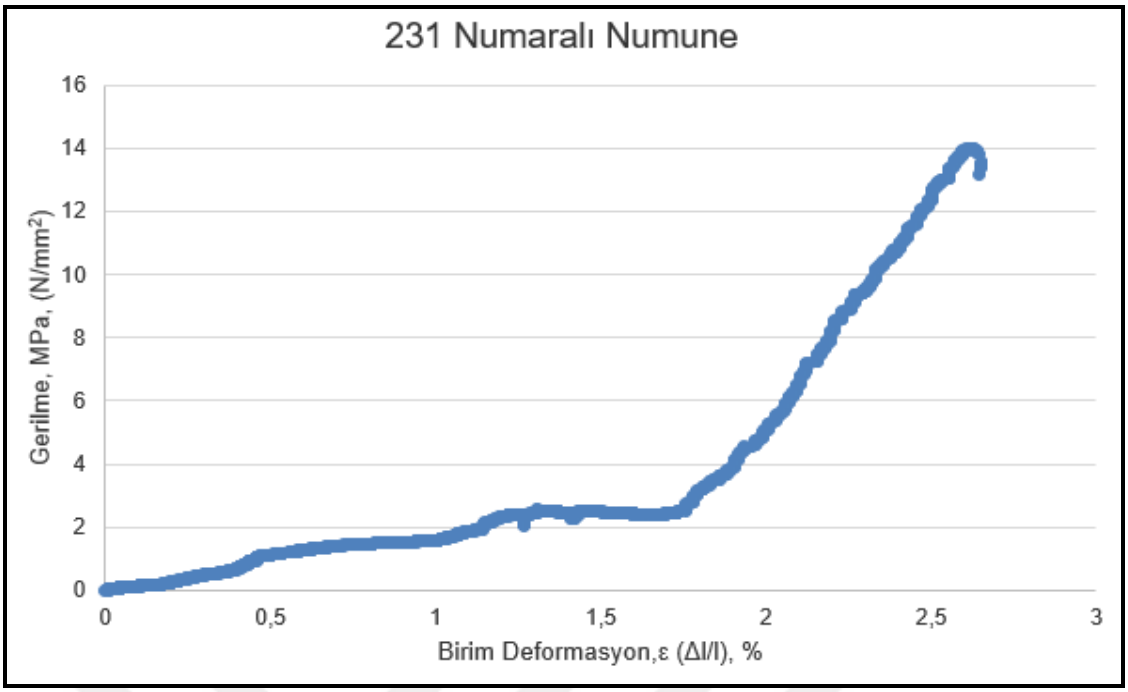
Şekil C.117 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



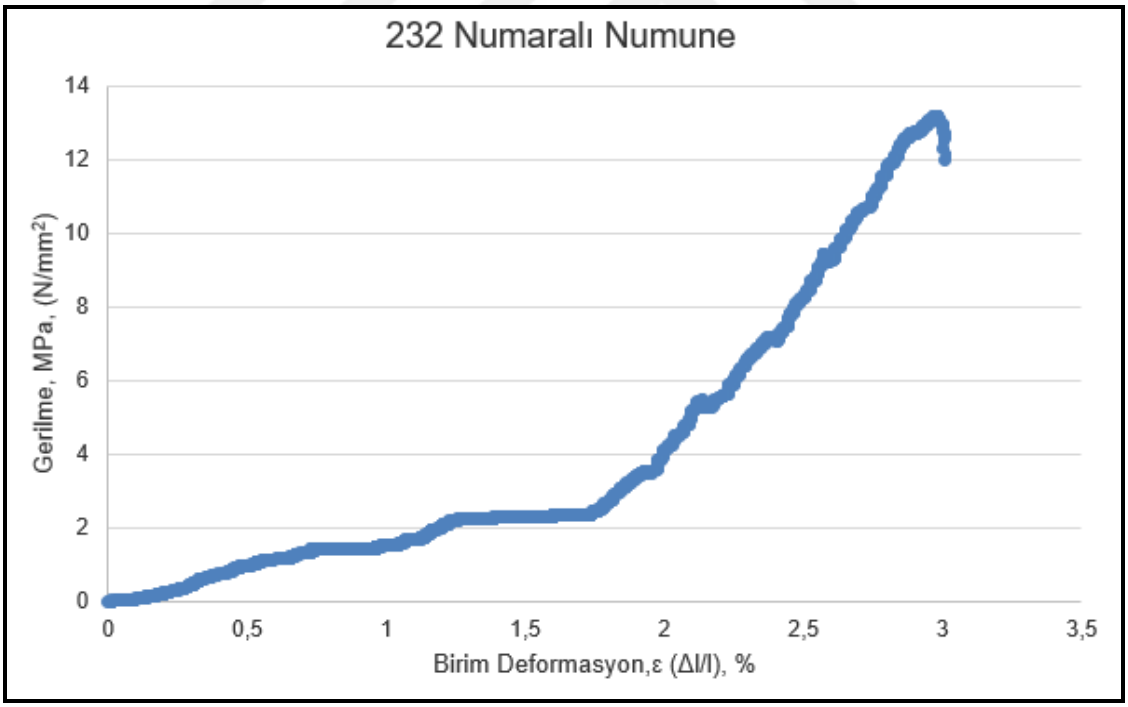
Şekil C.118 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



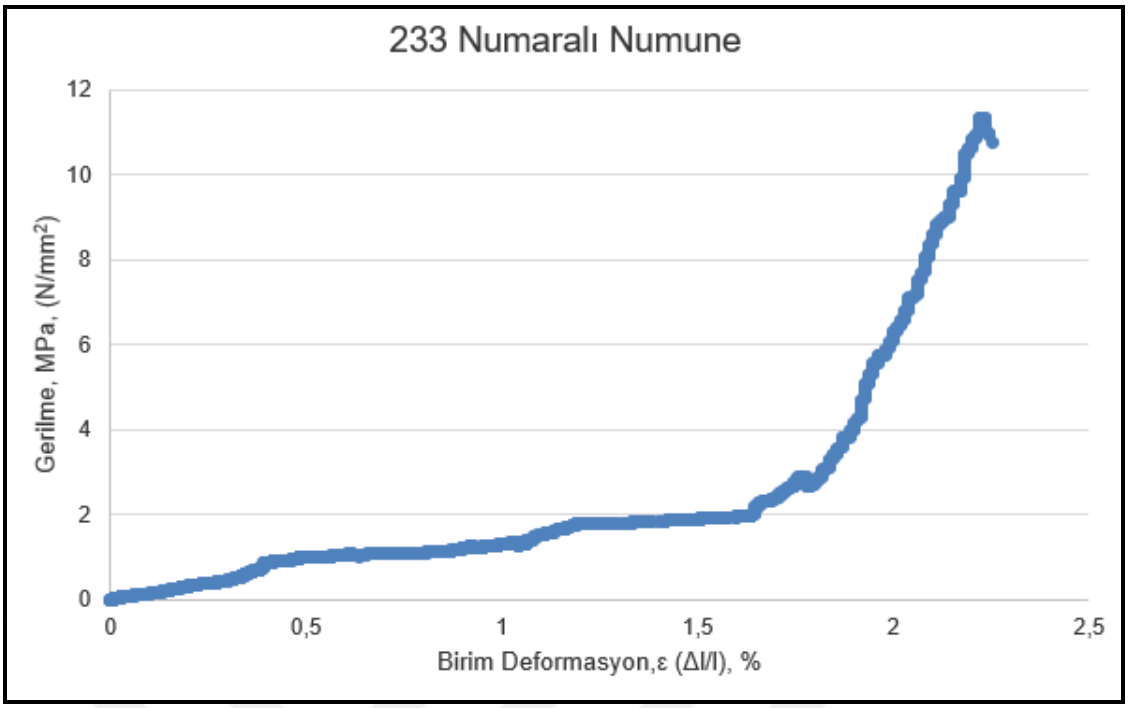
Şekil C.119 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



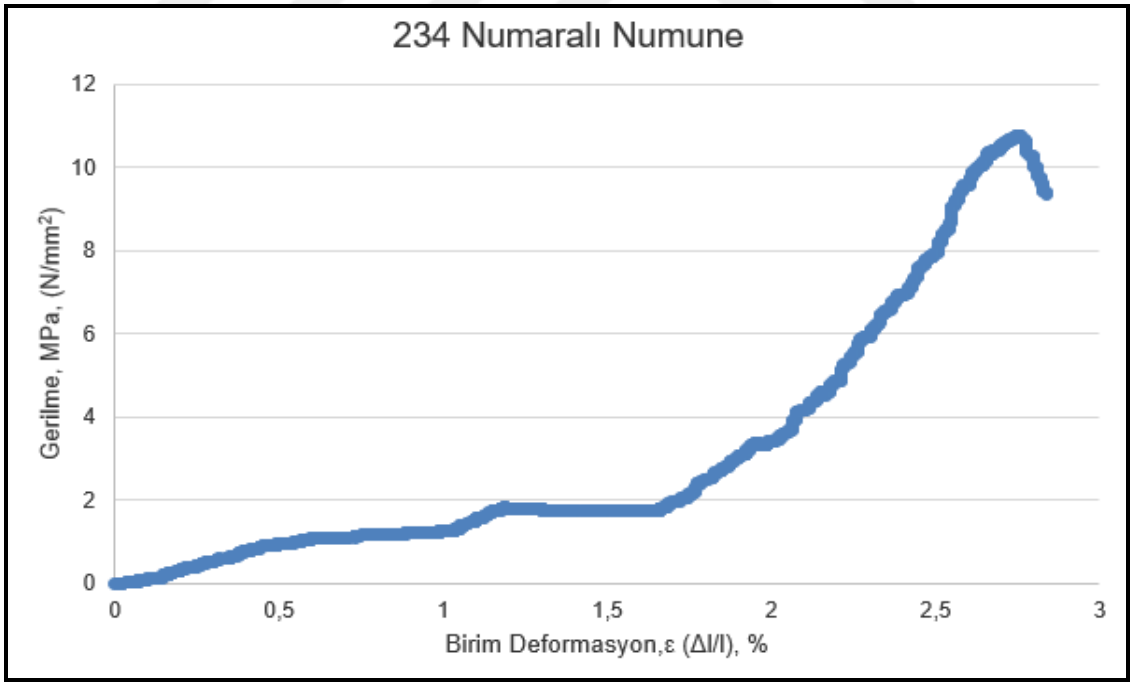
Şekil C.120 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



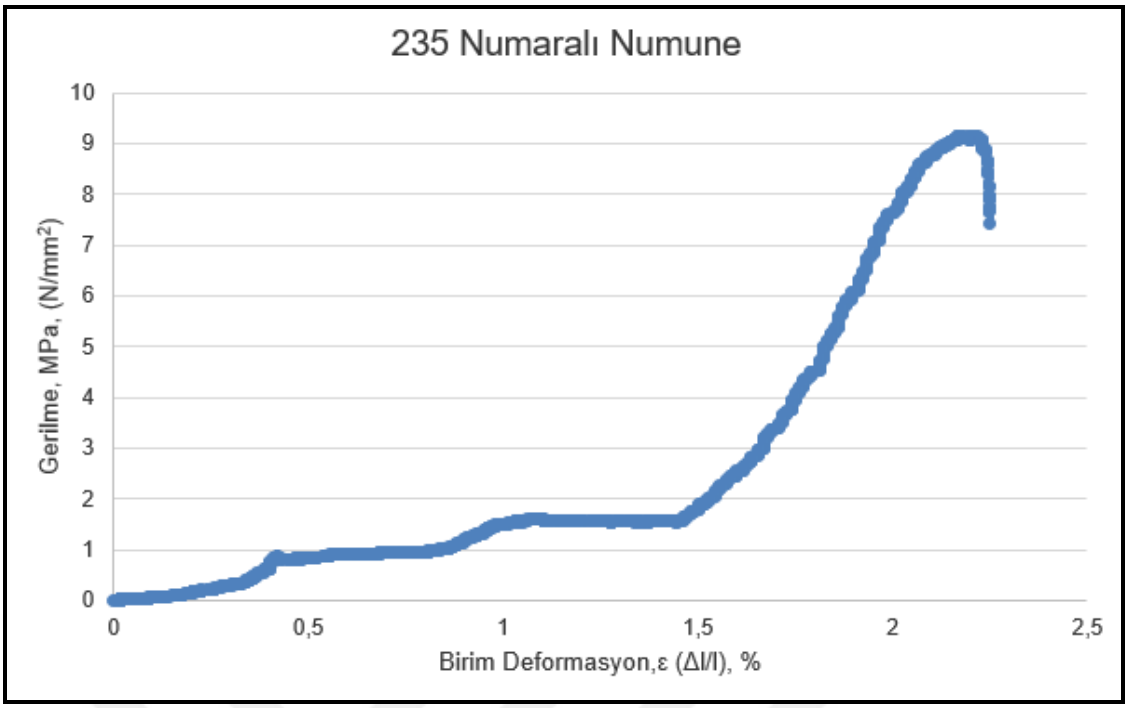
Şekil C.121 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



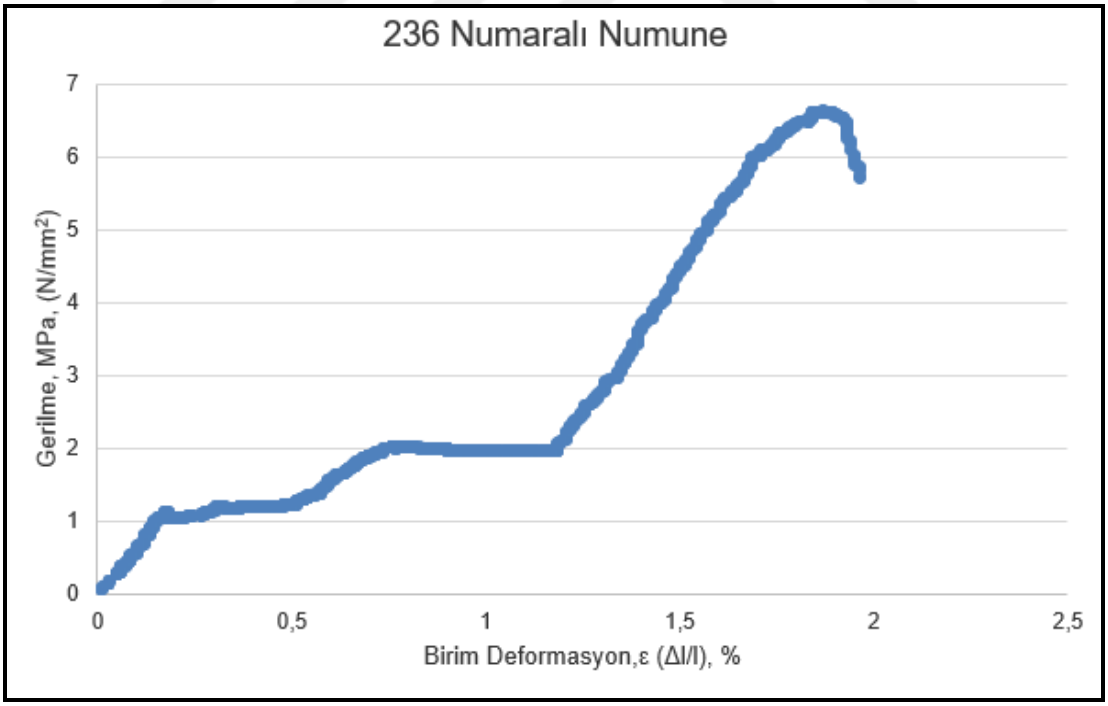
Şekil C.122 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



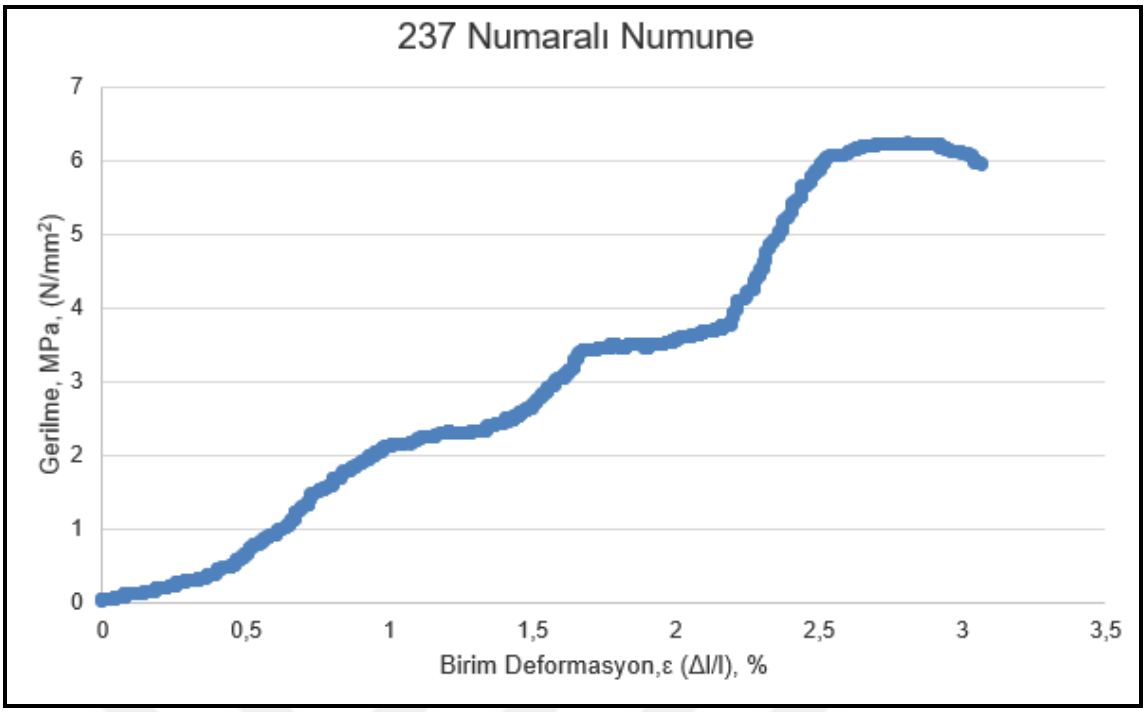
Şekil C.123 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



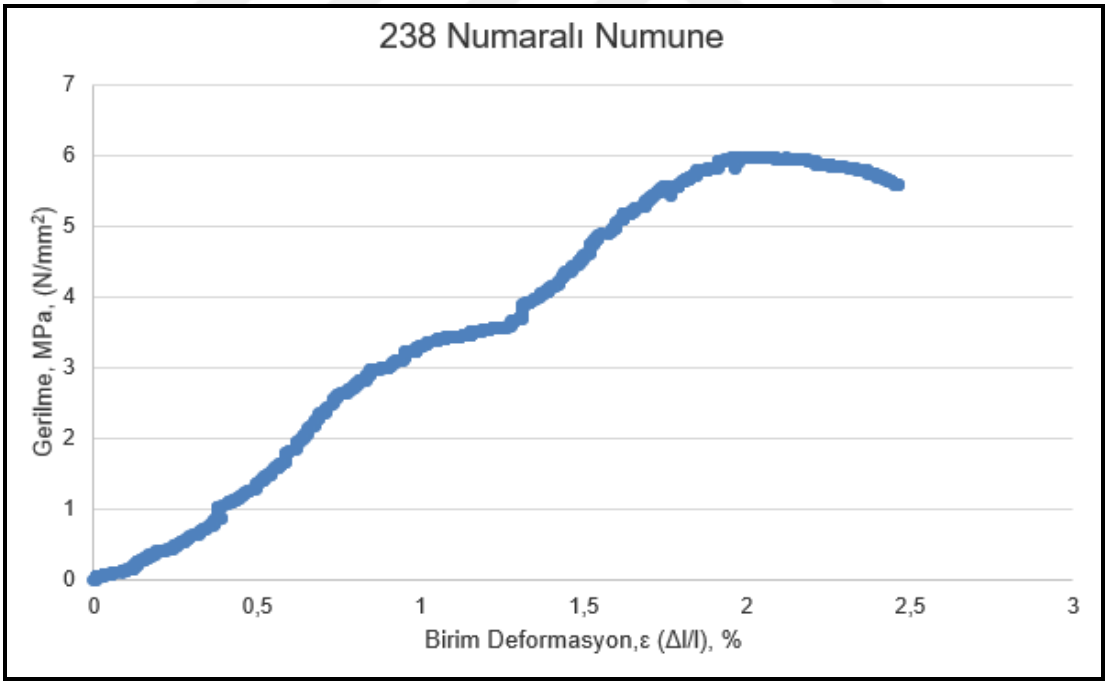
Şekil C.124 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



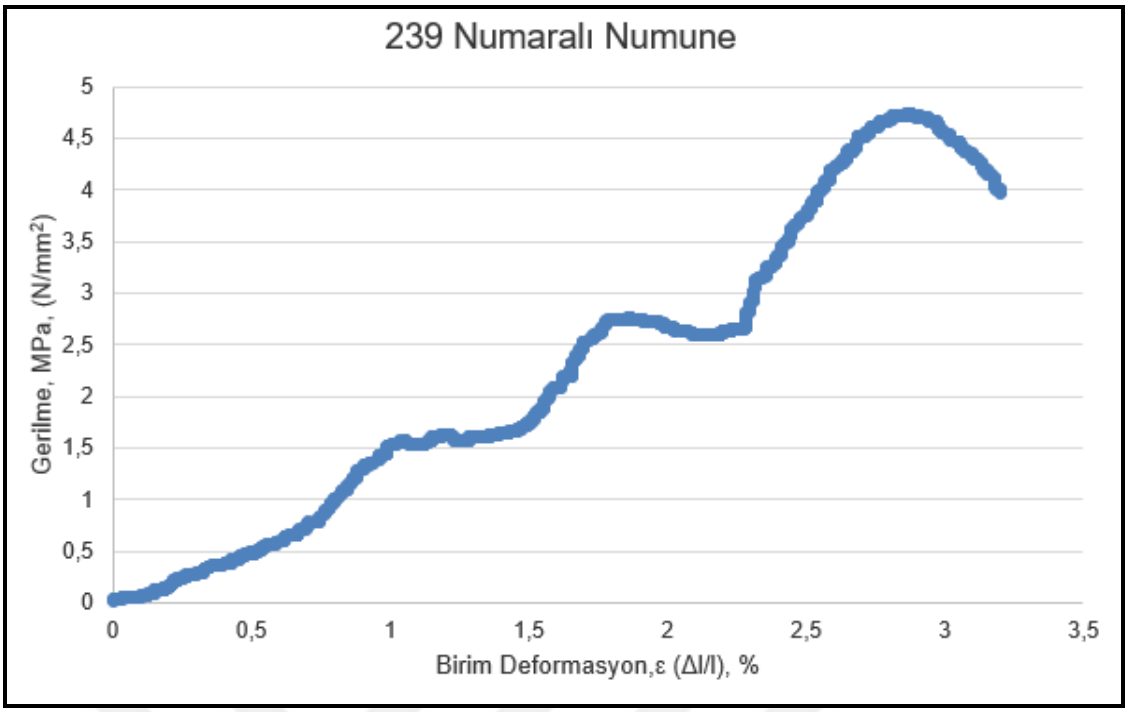
Şekil C.125 s/ç= 1 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



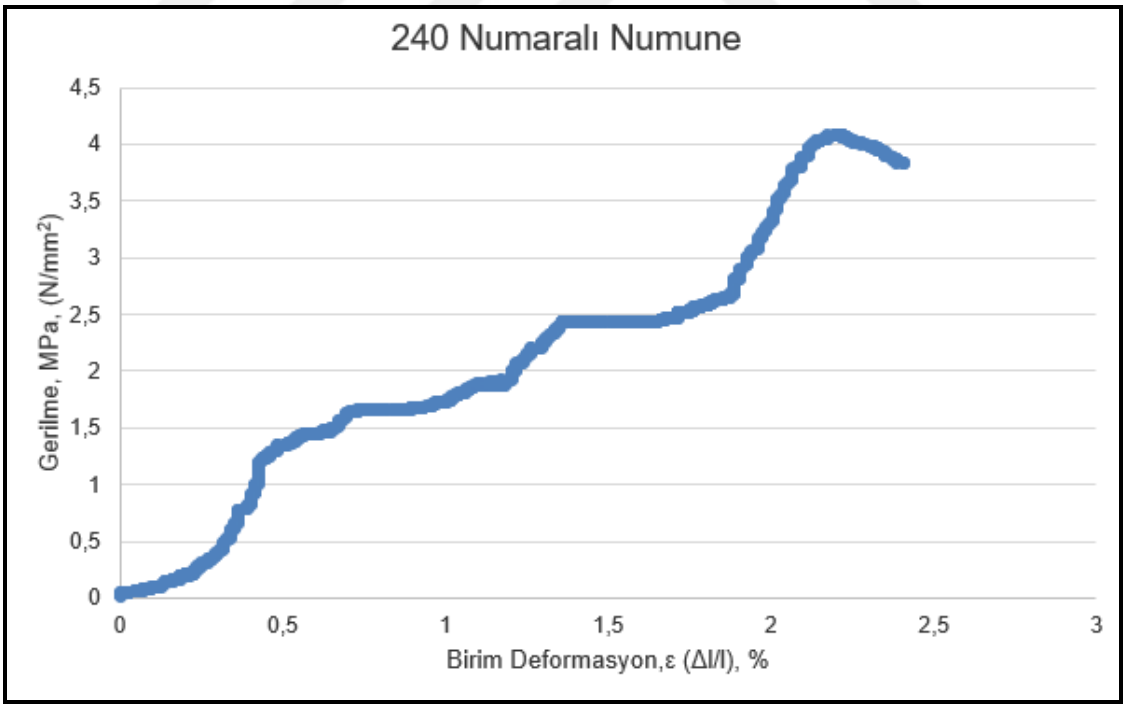
Şekil C.126 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



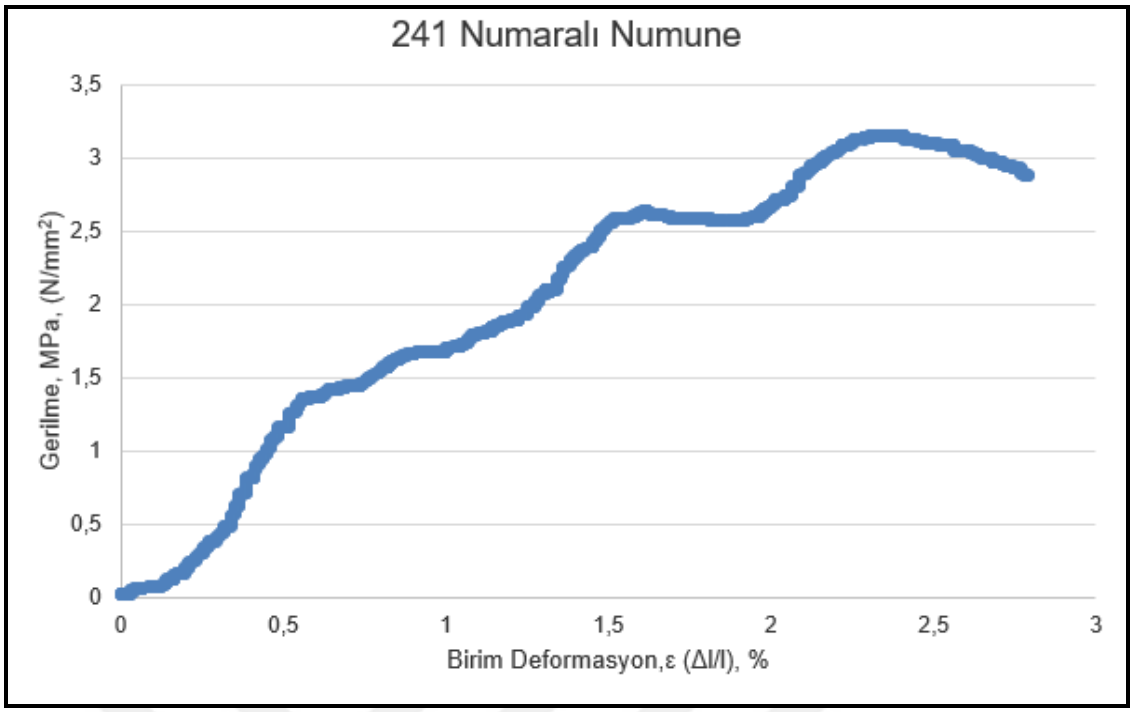
Şekil C.127 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



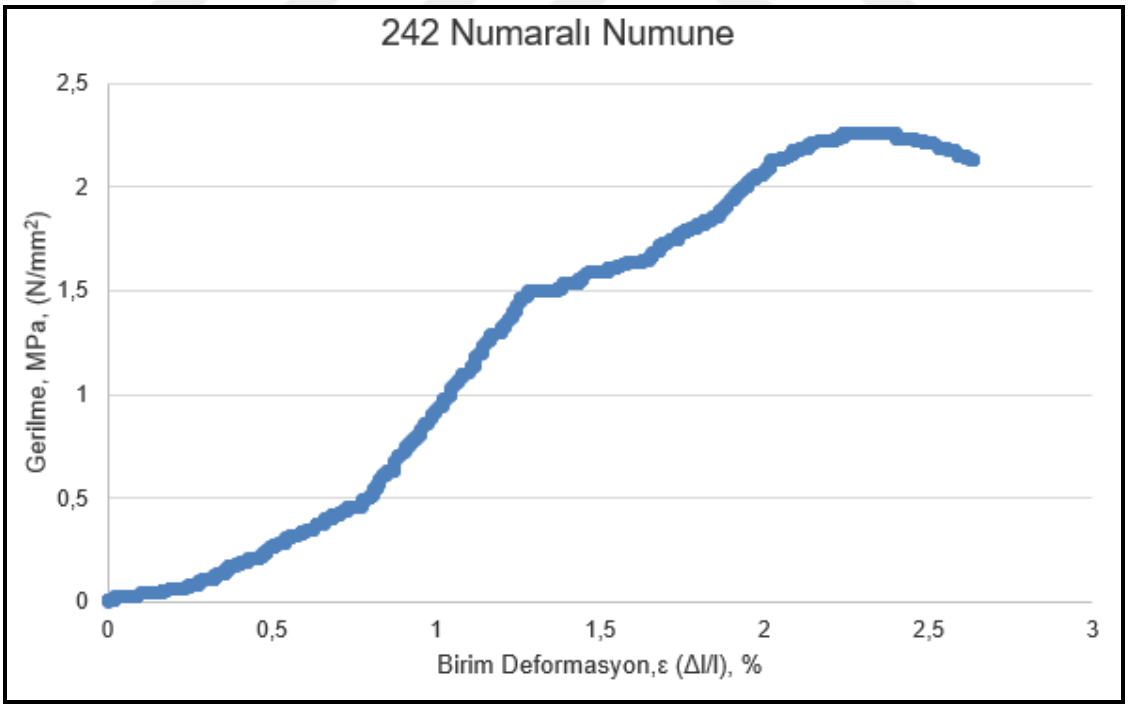
Şekil C.128 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



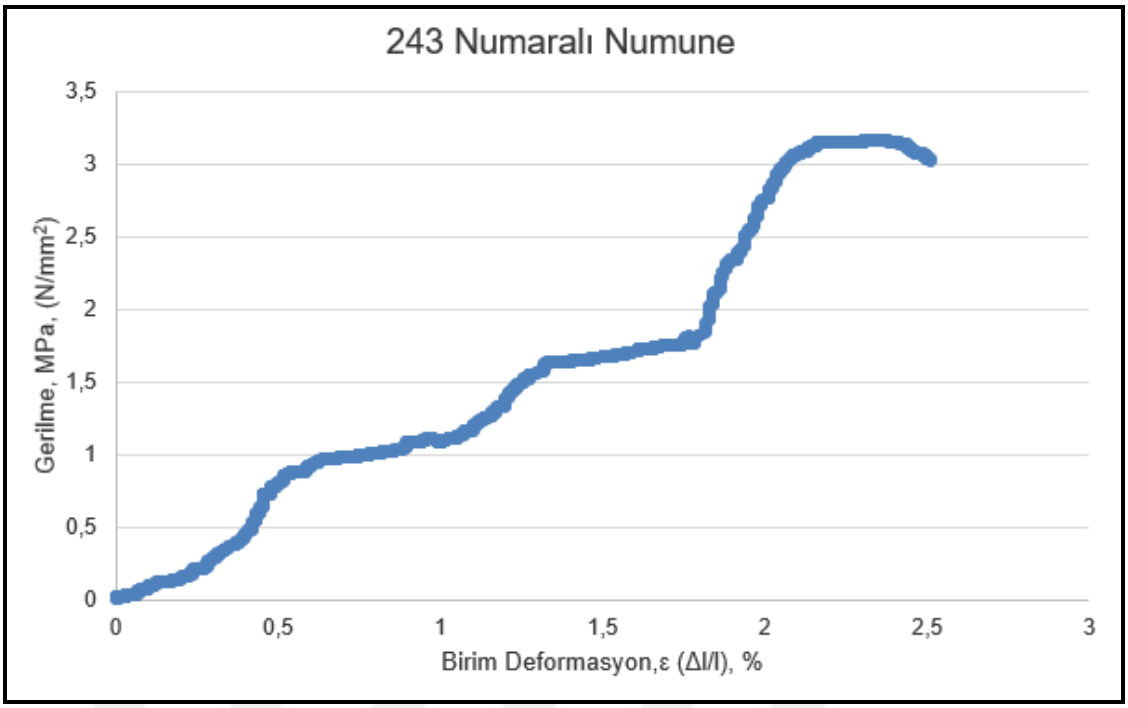
Şekil C.129 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



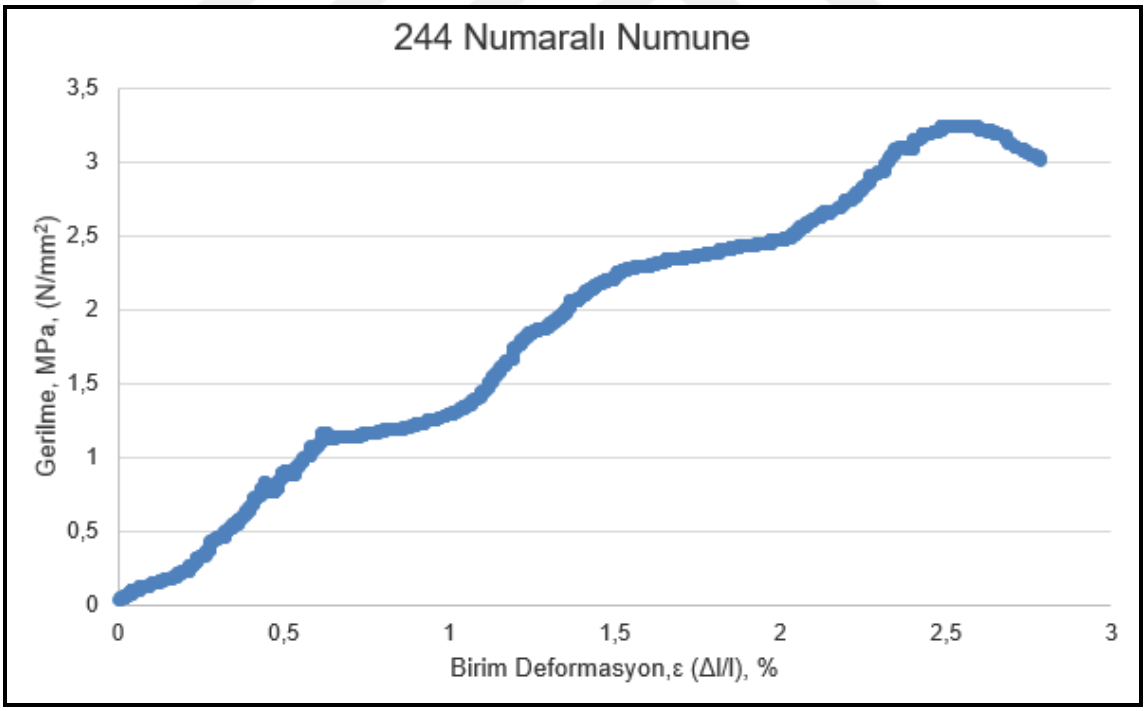
Şekil C.130 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



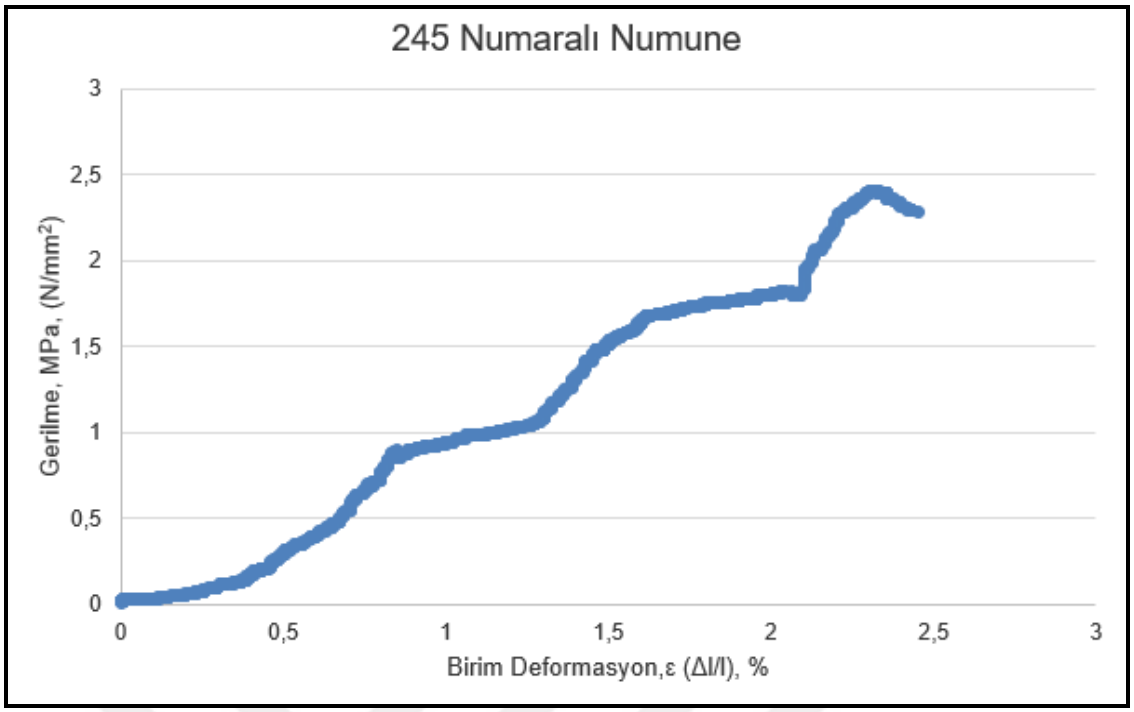
Şekil C.131 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 30 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



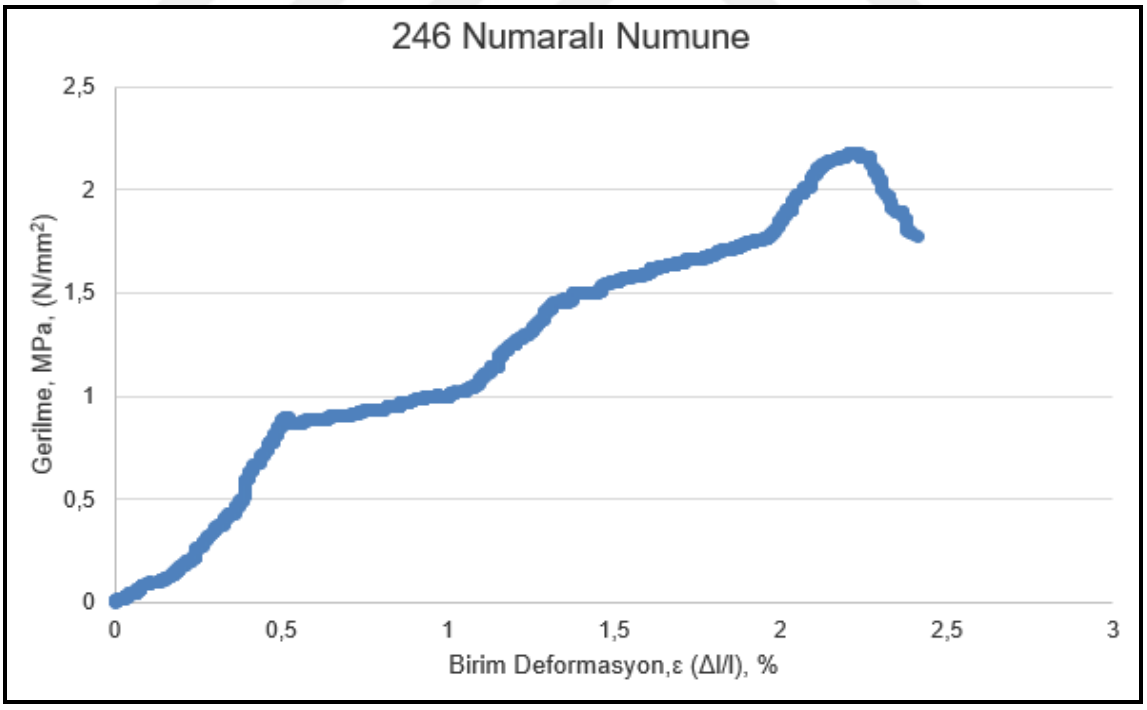
Şekil C.132 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



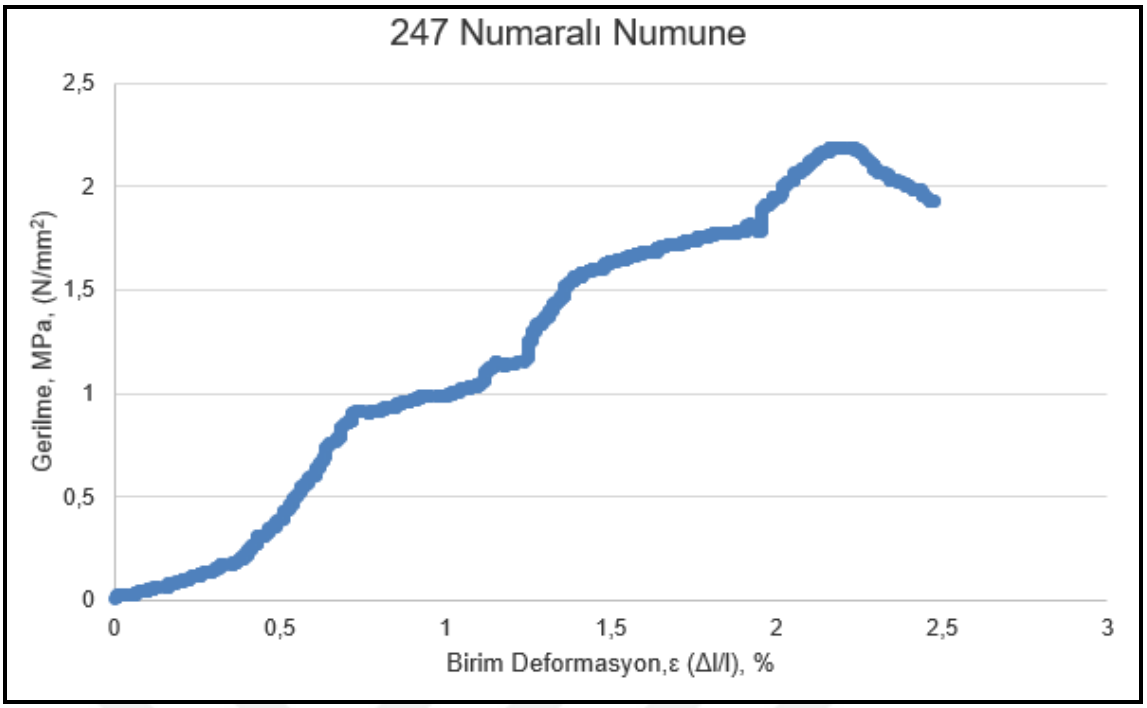
Şekil C.133 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin oda sıcaklığında bekletilen ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



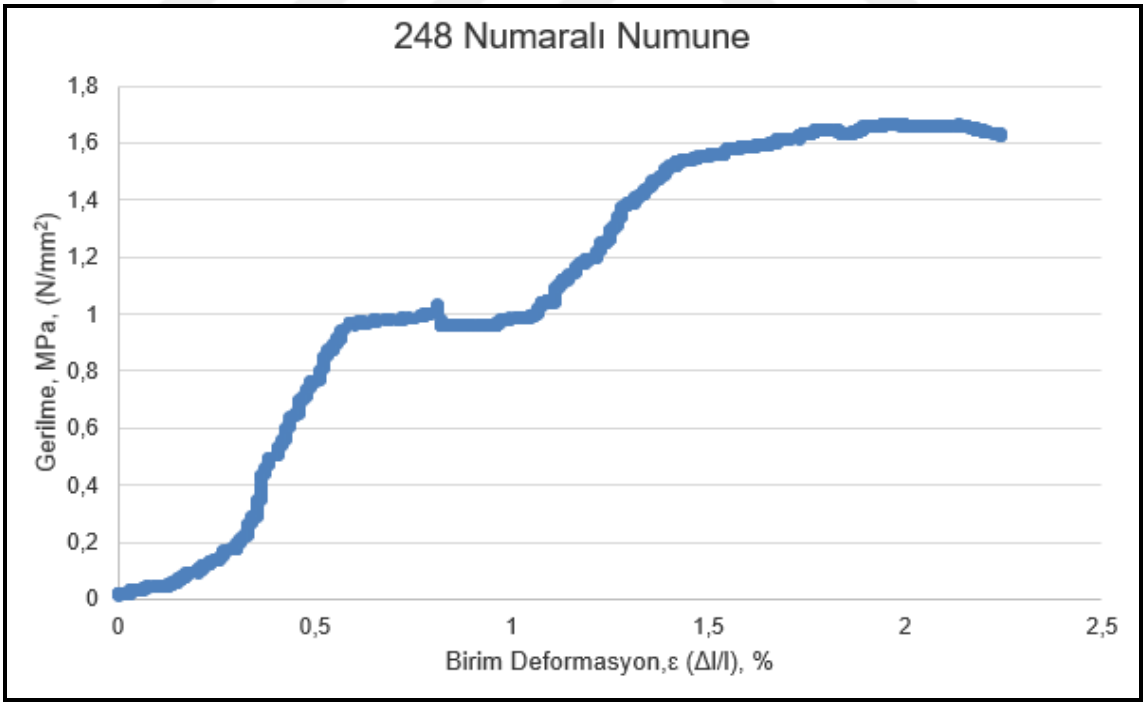
Şekil C.134 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



Şekil C.135 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 50 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



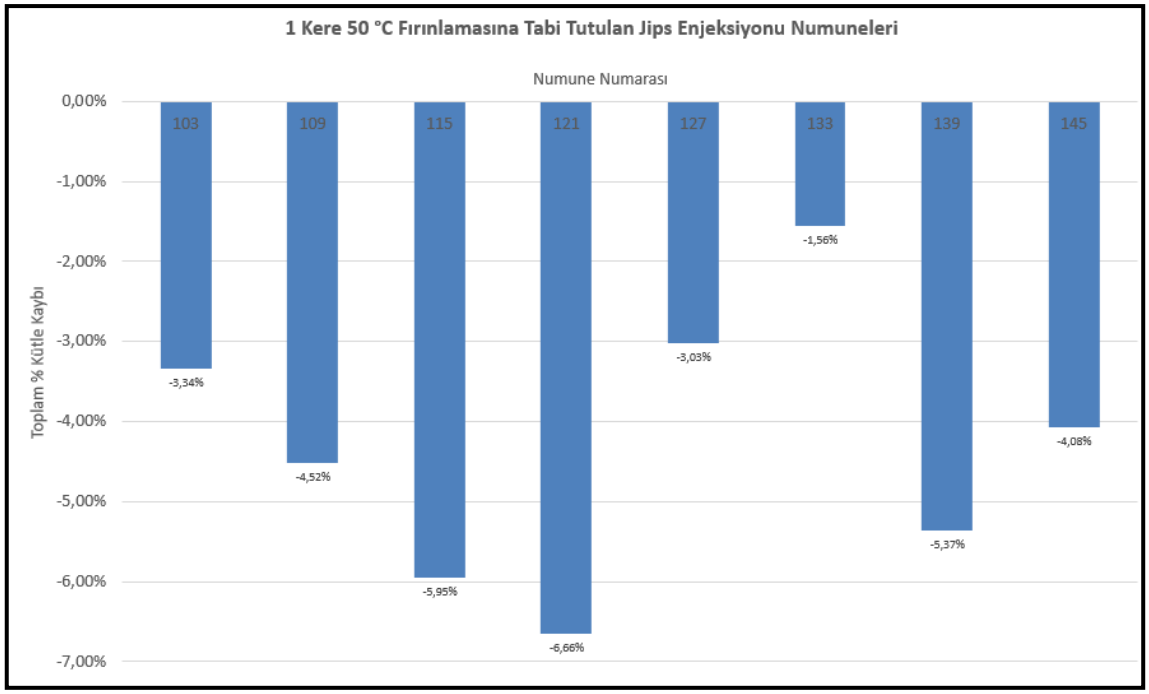
Şekil C.136 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 1 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği



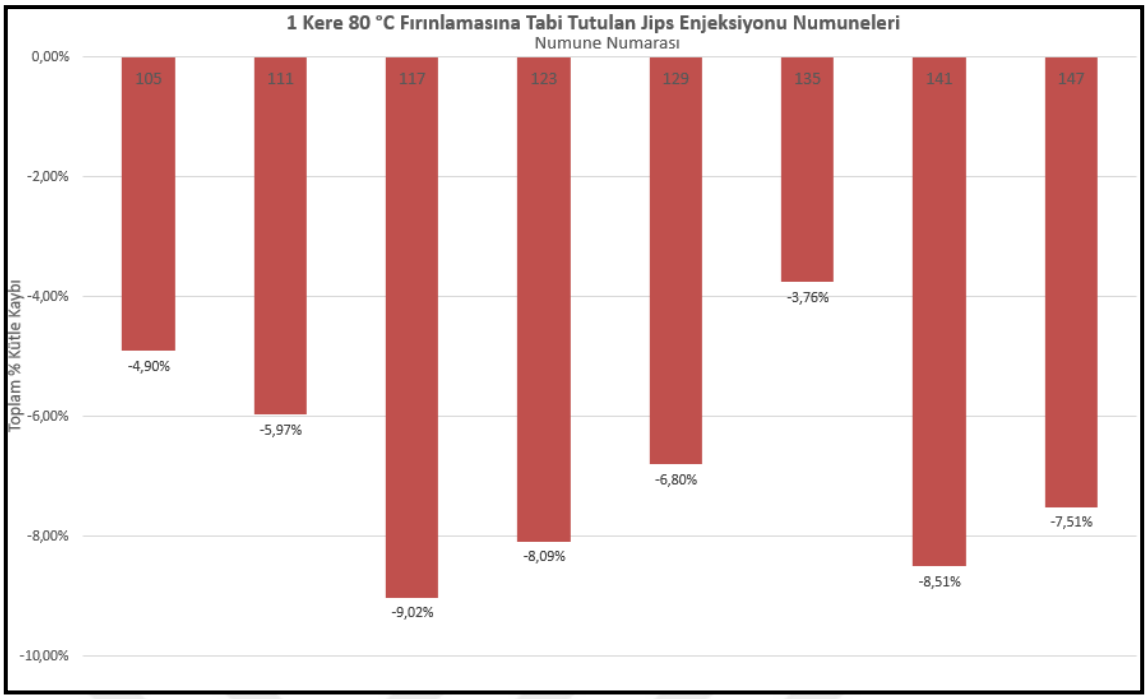
Şekil C.137 s/ç= 1.5 oranındaki MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısıyla hazırlanan ve rölatif sıkılığı % 70 olan Jips-Kum numunesinin 80 °C'de 3 kere fırınlanması ve 28 günün sonunda oluşan gerilme-birim deformasyon grafiği

D

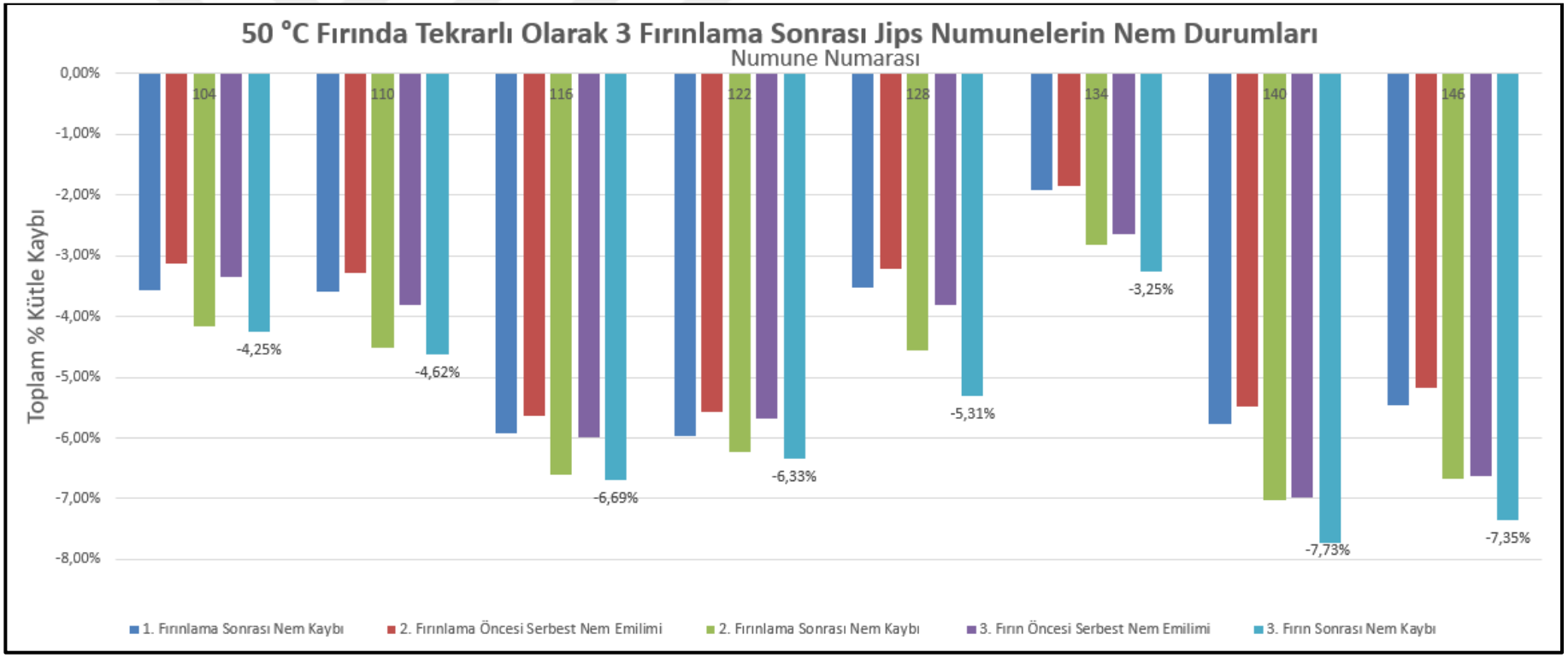
JİPS VE JİPS-KUM NUMUNELERİNE AİT KÜTLE DEĞİŞİMİ VE DAYANIM KARŞILAŞTIRMA GRAFİKLERİ



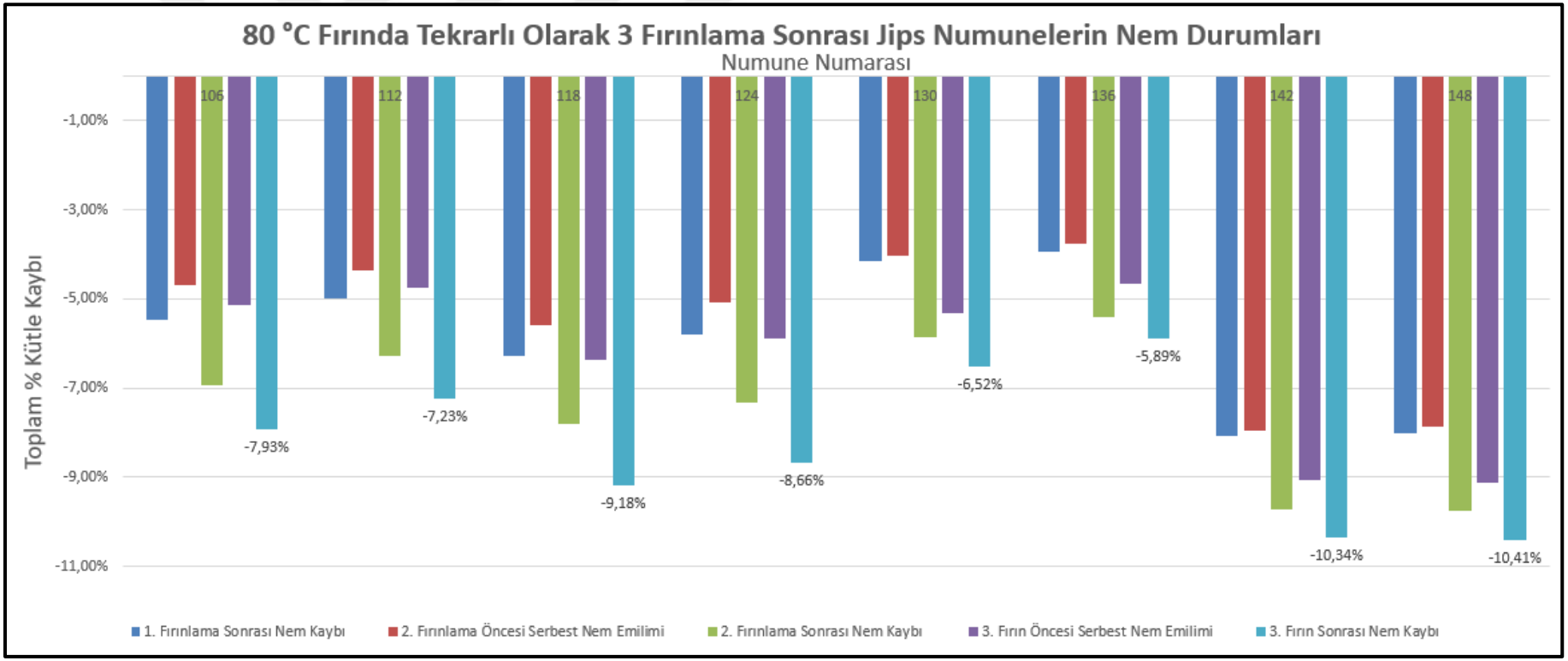
Şekil D.1 Karışımı katkısı sonrası 7 günlük dayanımını alan farklı rölatif sıkılıkta, farklı çimentolar ve farklı s/ç oranı ile hazırlanmış Jips numunelerin 50°C'de 1 kere fırınlanması sonrası kütle kaybı grafiği



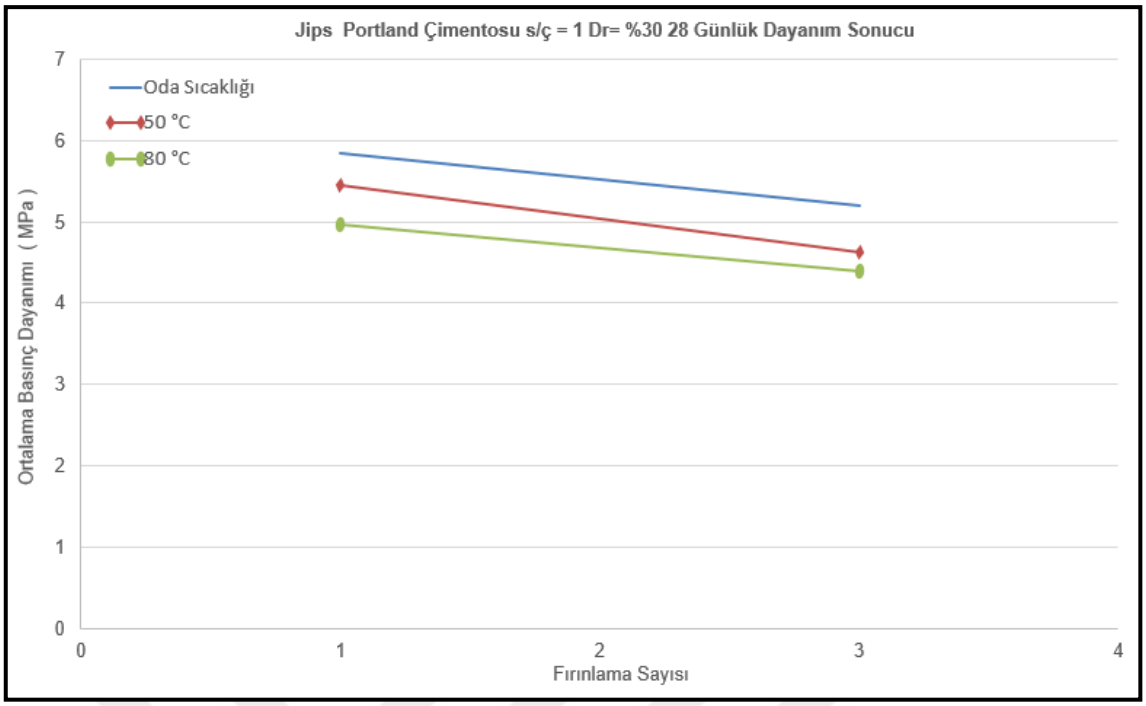
Şekil D.2 Karışımı katkısı sonrası 7 günlük dayanımını alan farklı rölatif sıkılıkta, farklı çimentolar ve farklı s/ç oranı ile hazırlanmış Jips numunelerin 80°C'de 1 kere fırınlanması sonrası kütle kaybı grafiğ



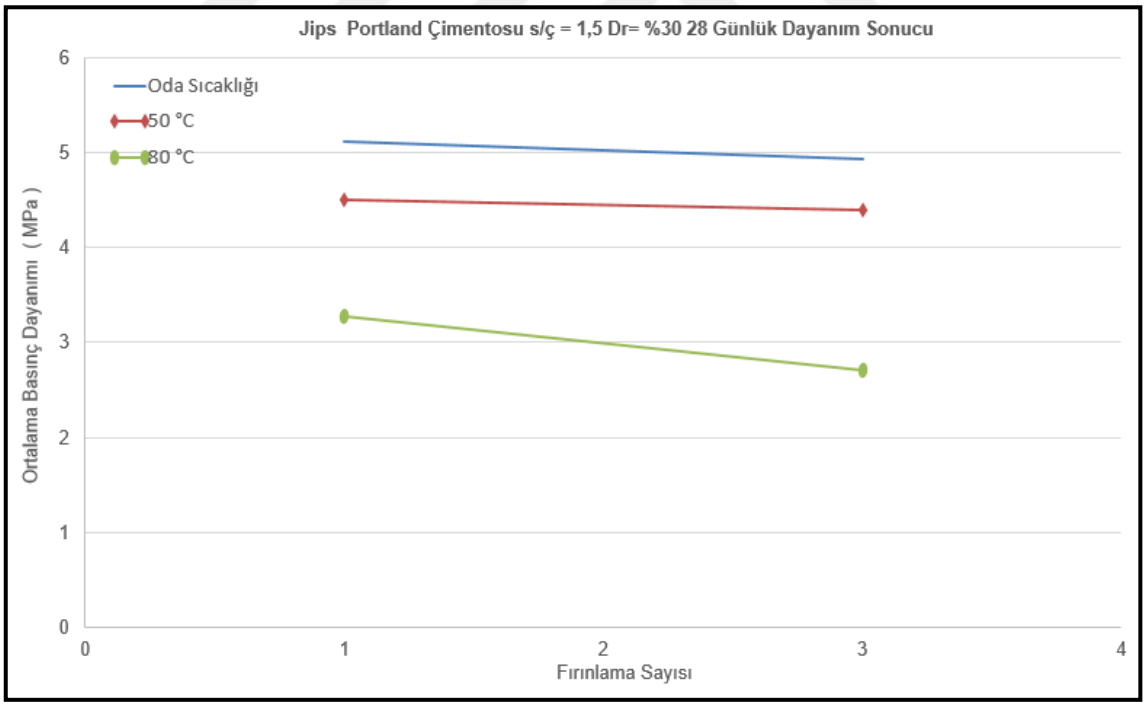
Şekil D.3 Karışımı katkısı yapılmış Jips numunelerine 50 °C'de yapılan 3 fırınlama sonrası toplam kütle değişimi grafiği



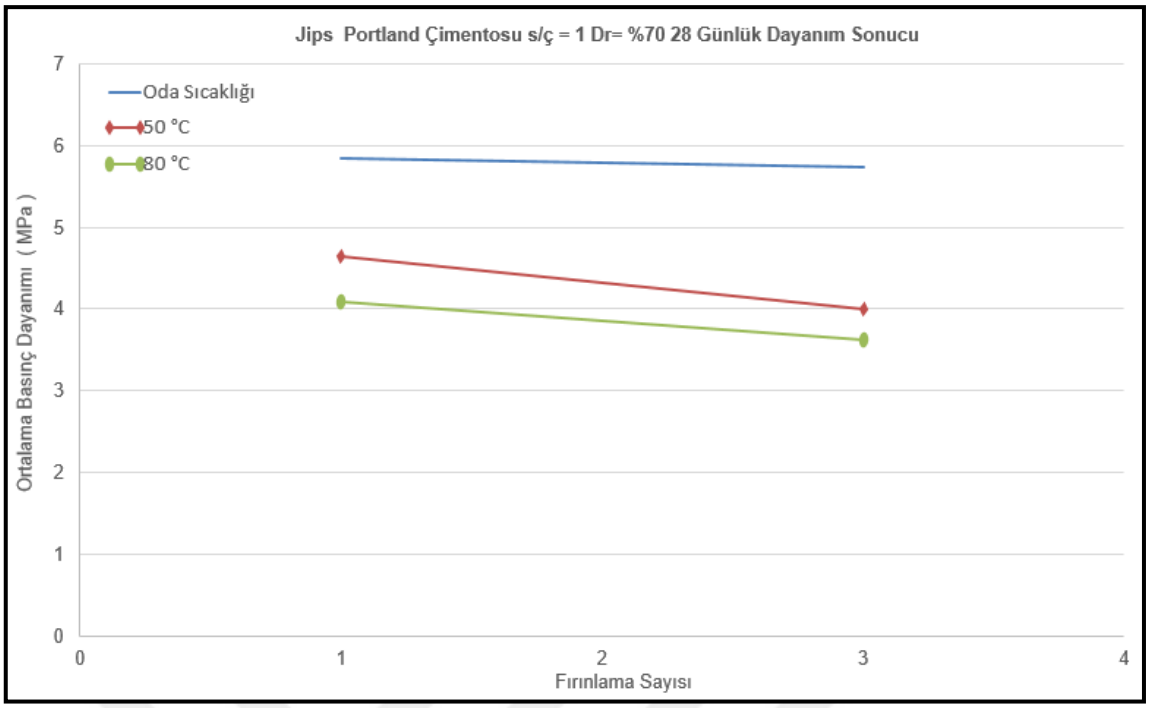
Şekil D.4 Karışımı katkısı yapılmış Jips numunelerine 80 °C'de yapılan 3 fırınlama sonrası toplam kütle değişimi grafiği



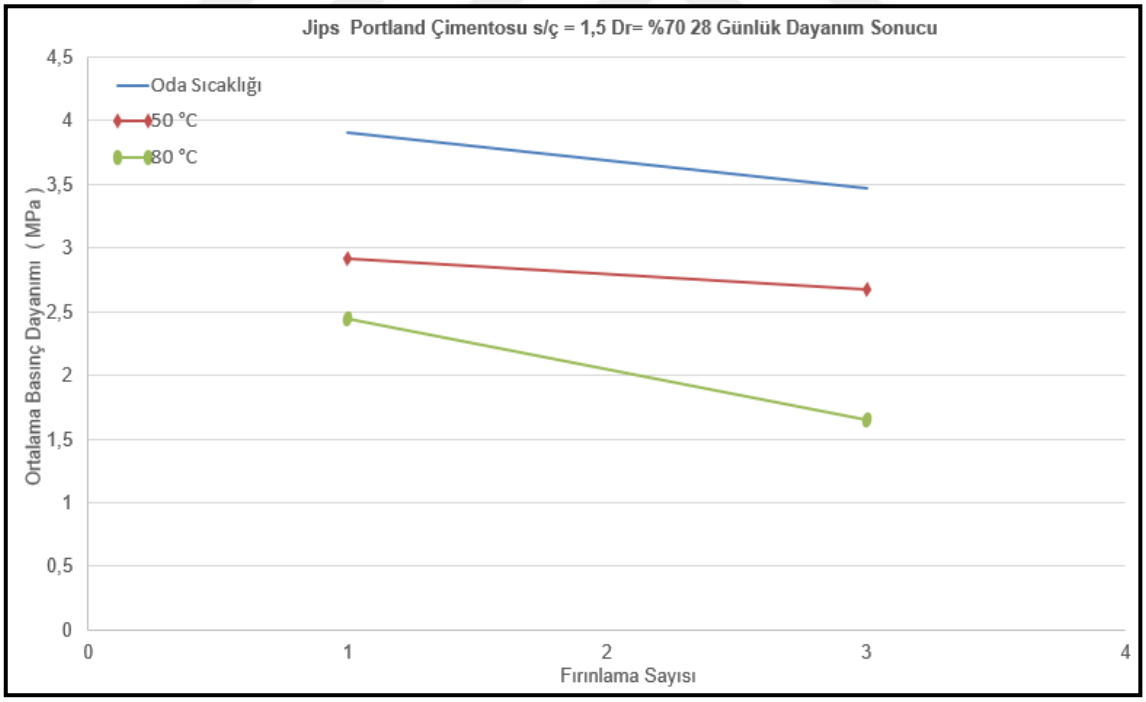
Şekil D.5 % 30 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips numunelerine s/ç=1 olan Portland Çimento karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği



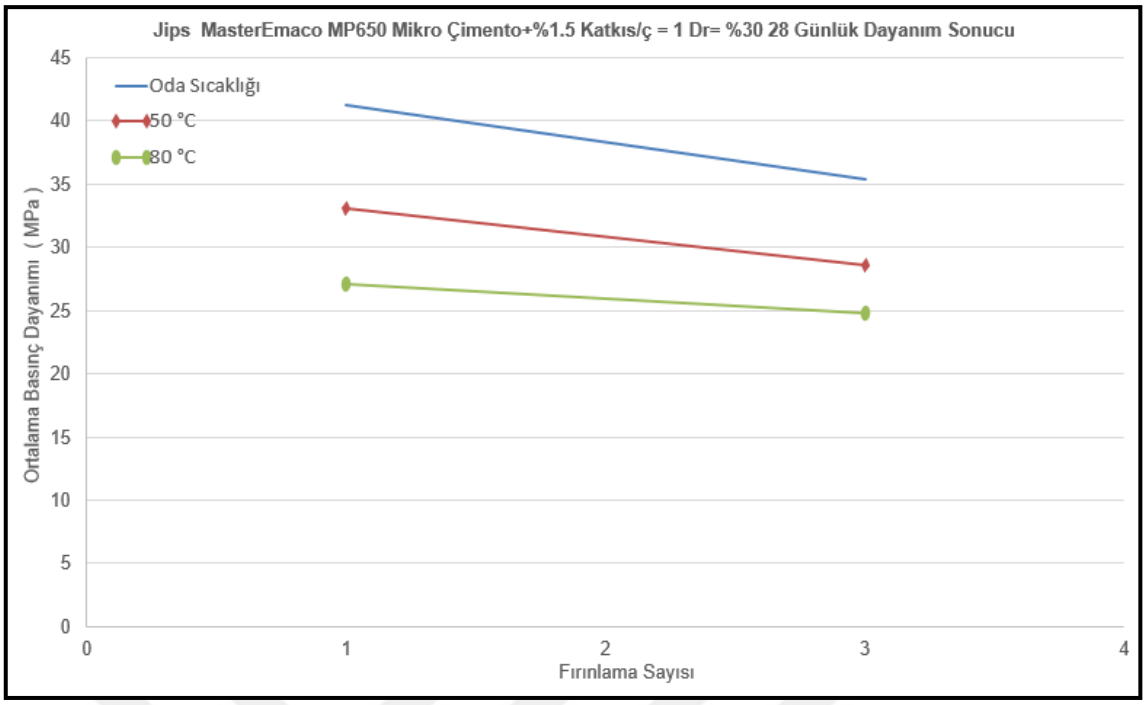
Şekil D.6 % 30 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips numunelerine s/ç=1,5 olan Portland Çimento karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği



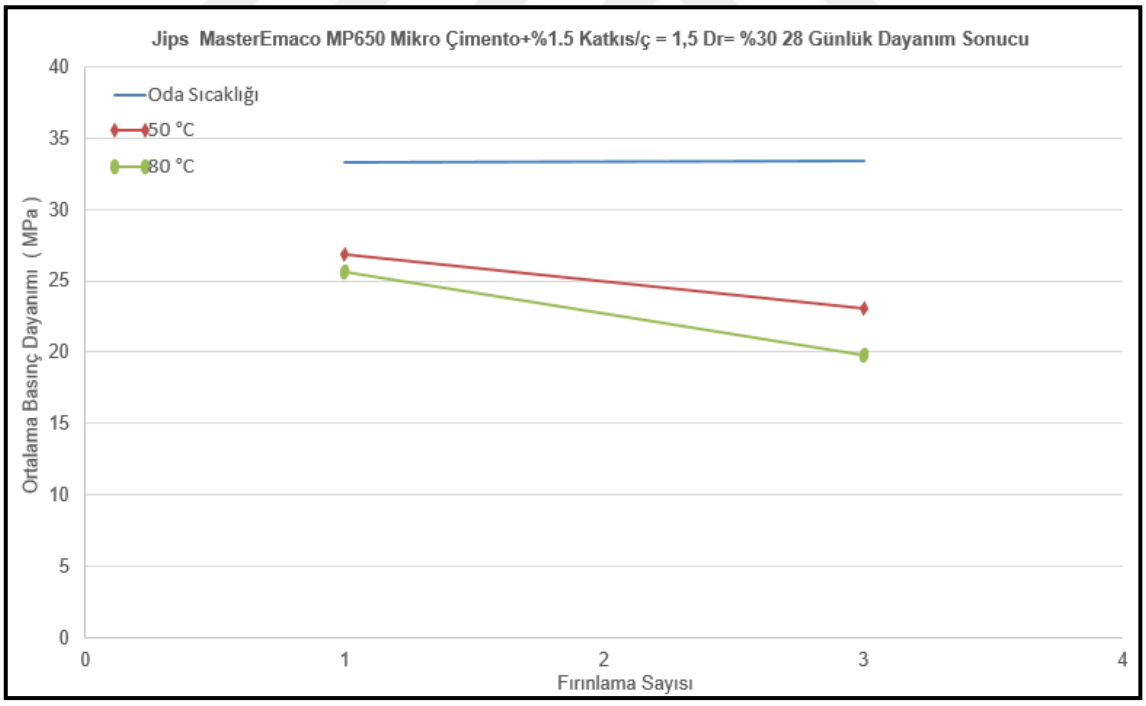
Şekil D.7 % 70 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips numunelerine s/ç=1 olan Portland Çimento karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği



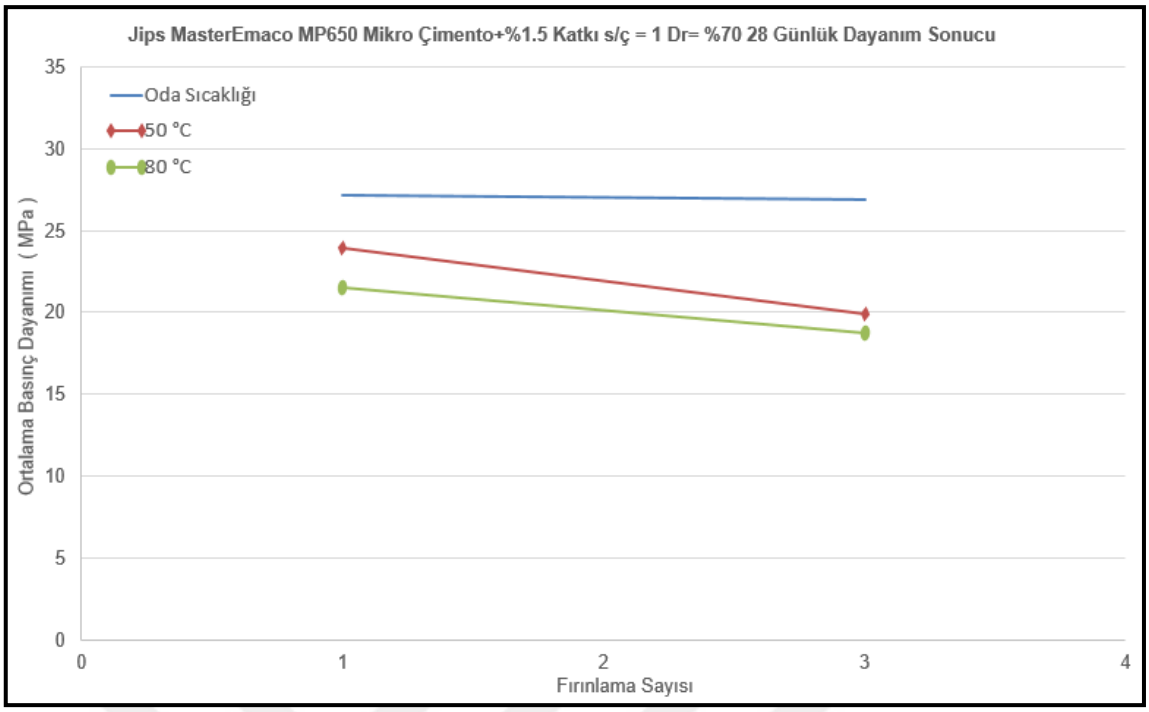
Şekil D.8 % 70 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips numunelerine s/ç=1,5 olan Portland Çimento karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği



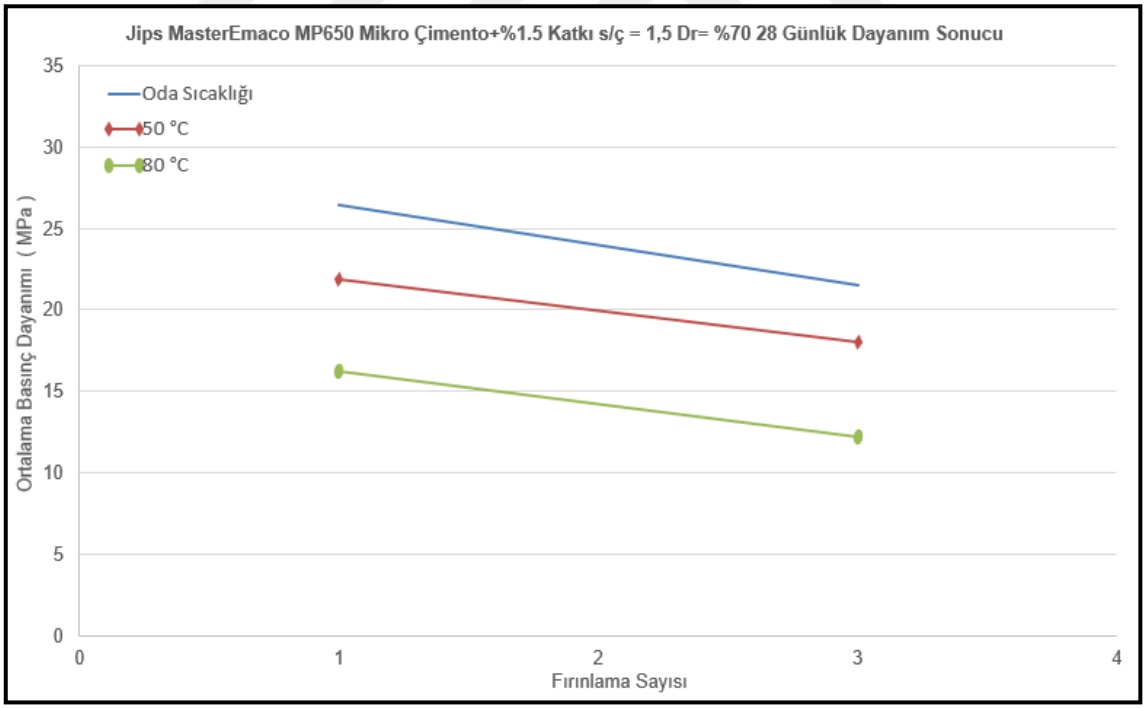
Şekil D.9 % 30 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips numunelerine s/ç=1 olan MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği



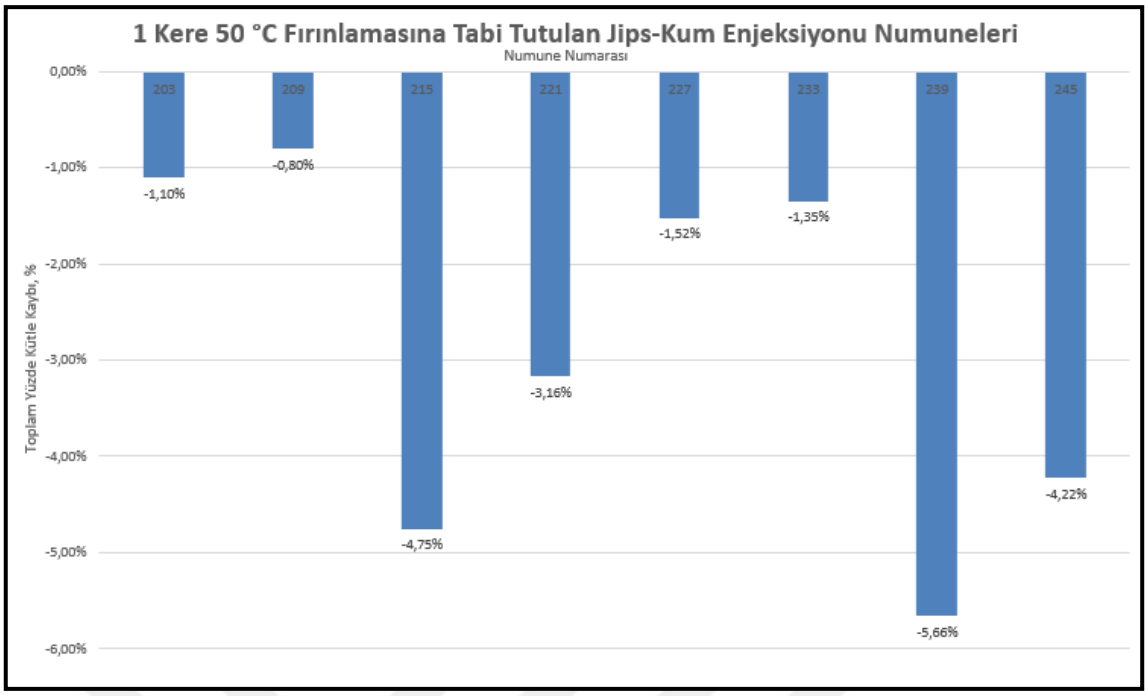
Şekil D.10 % 30 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips numunelerine s/ç=1,5 olan MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği



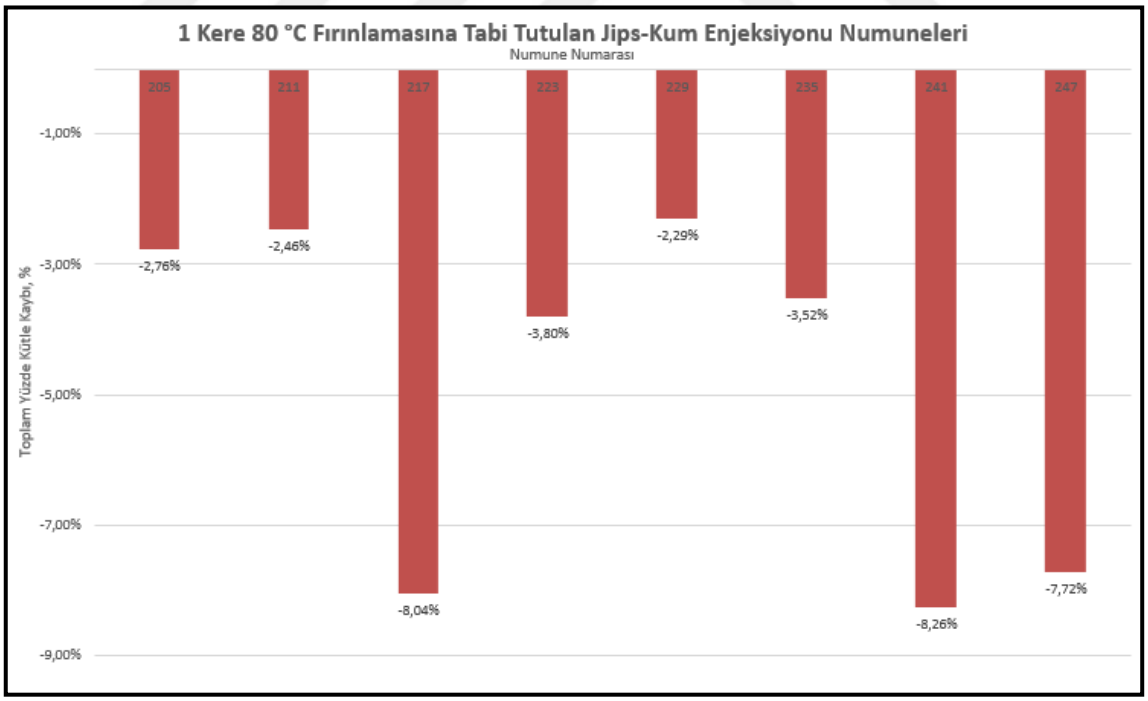
Şekil D.11 % 70 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips numunelerine s/ç=1 olan MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği



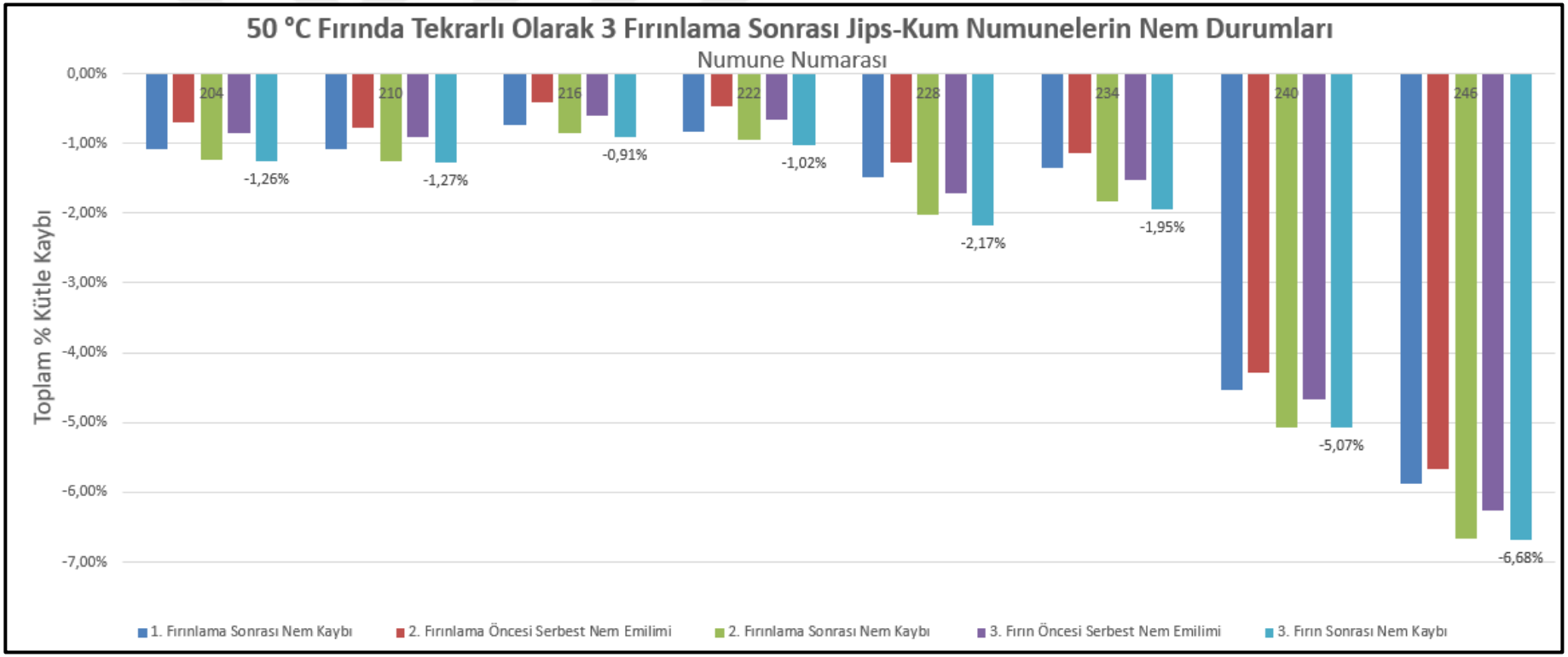
Şekil D.12 % 30 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips numunelerine s/ç=1,5 olan MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği



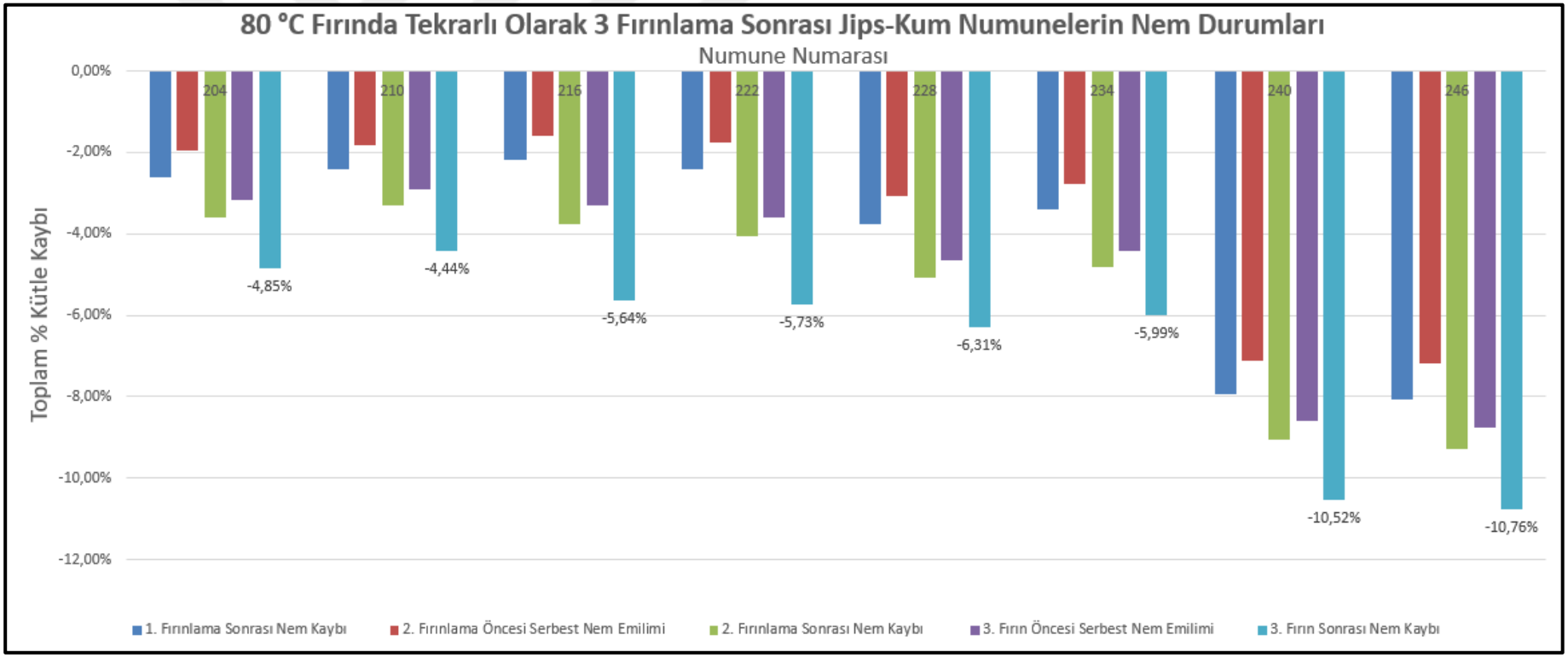
Şekil D.13 Karışımı katkısı sonrası 7 günlük dayanımını alan farklı rölatif sıkılıkta, farklı çimentolar ve farklı s/ç oranı ile hazırlanmış Jips-Kum numunelerin 50°C'de 1 kere fırınlanması sonrası kütle kaybı grafiği



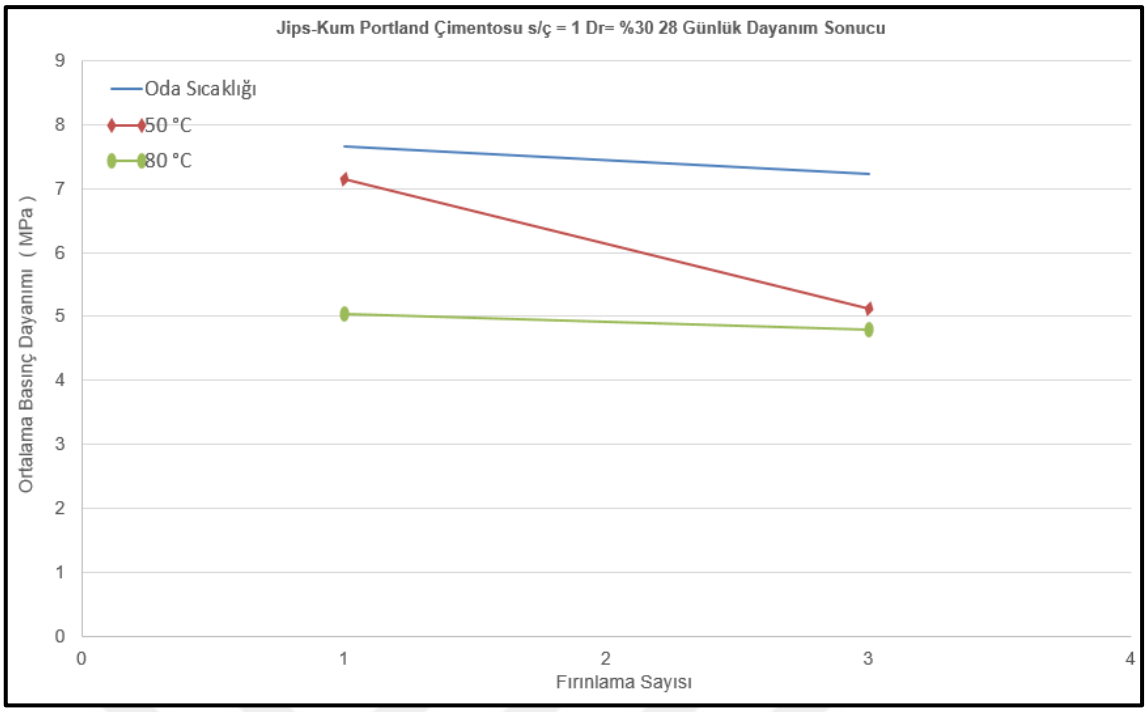
Şekil D.14 Karışımı katkısı sonrası 7 günlük dayanımını alan farklı rölatif sıkılıkta, farklı çimentolar ve farklı s/ç oranı ile hazırlanmış Jips-Kum numunelerin 80°C'de 1 kere fırınlanması sonrası kütle kaybı grafiği



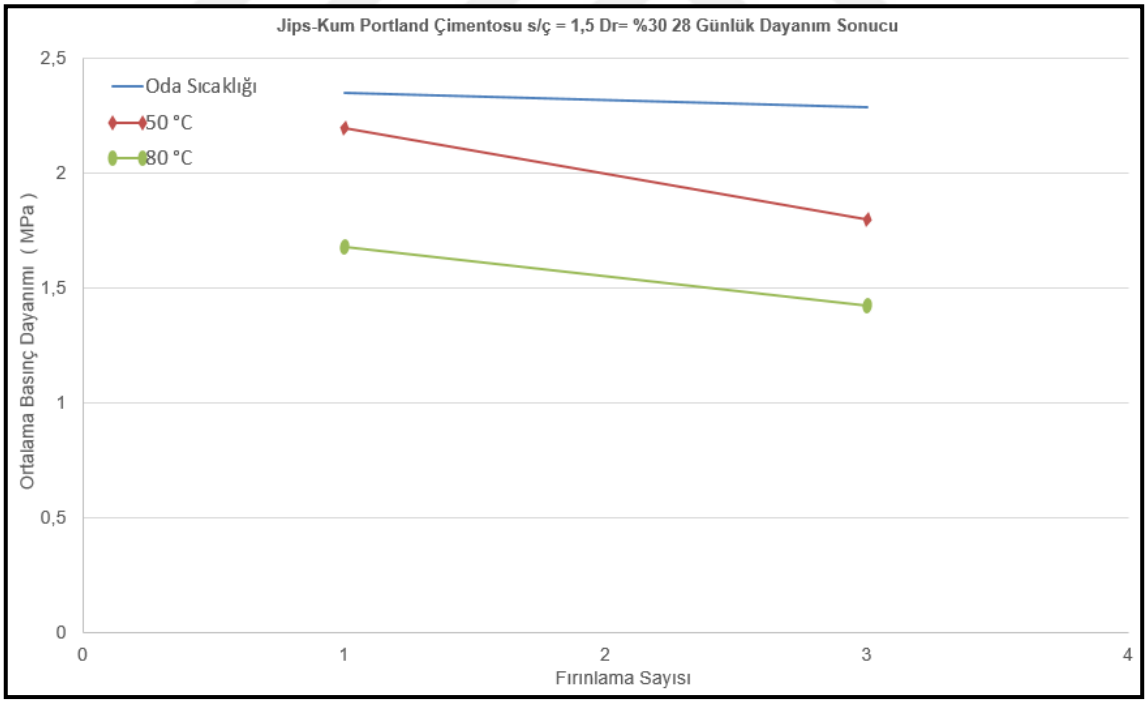
Şekil D.15 Karışımı katkısı yapılmış Jips-Kum numunelerine 50 °C'de yapılan 3 fırınlama sonrası toplam kütle değişimi grafiği



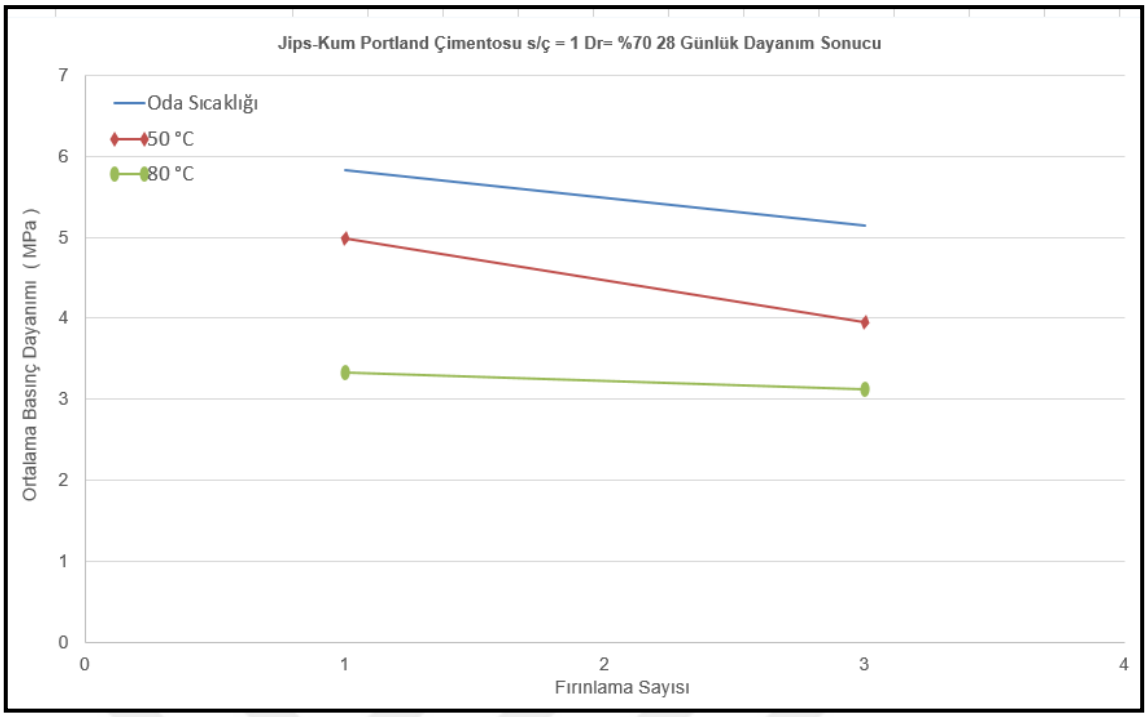
Şekil D.16 Karışımı katkısı yapılmış Jips-Kum numunelerine 80 °C'de yapılan 3 fırınlama sonrası toplam kütle değişimi grafiği



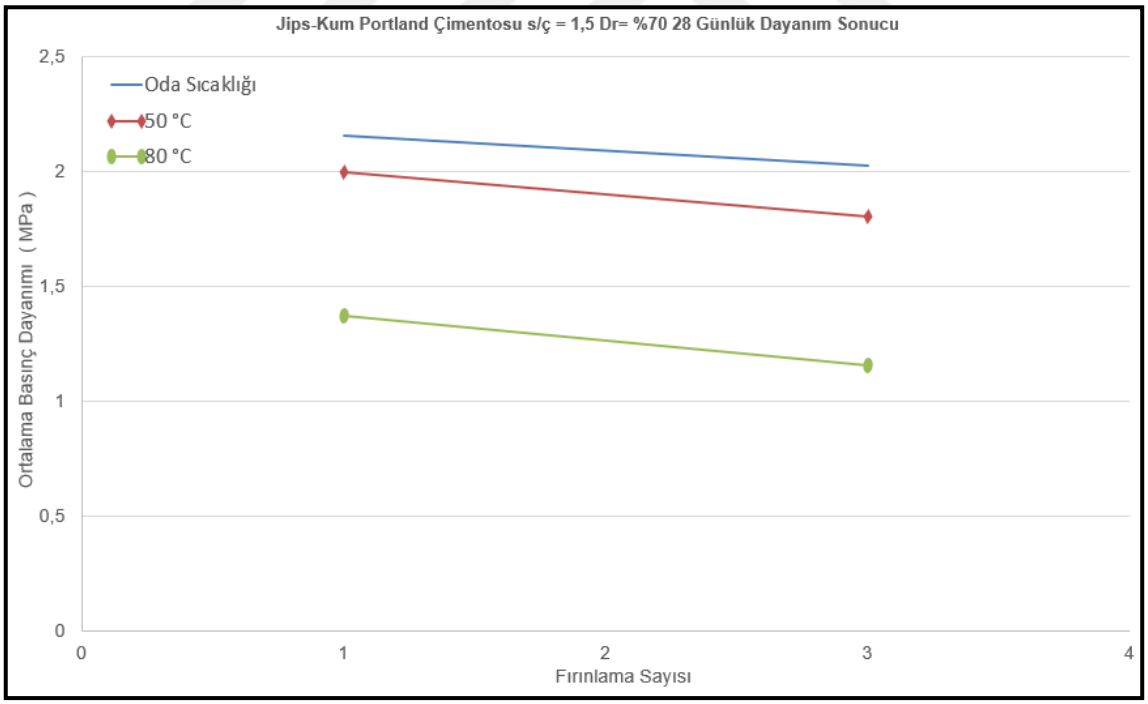
Şekil D.17 % 30 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips-Kum numunelerine s/ç=1 olan Portland Çimento karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği



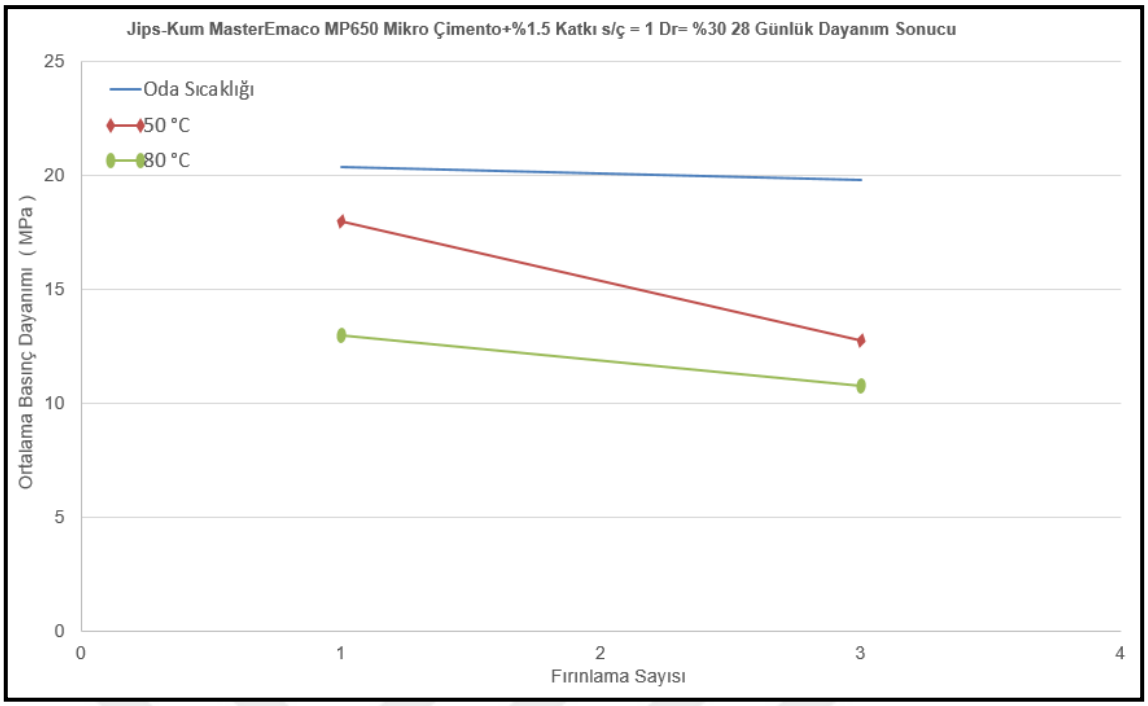
Şekil D.18 % 30 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips-Kum numunelerine s/ç=1,5 olan Portland Çimento karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği



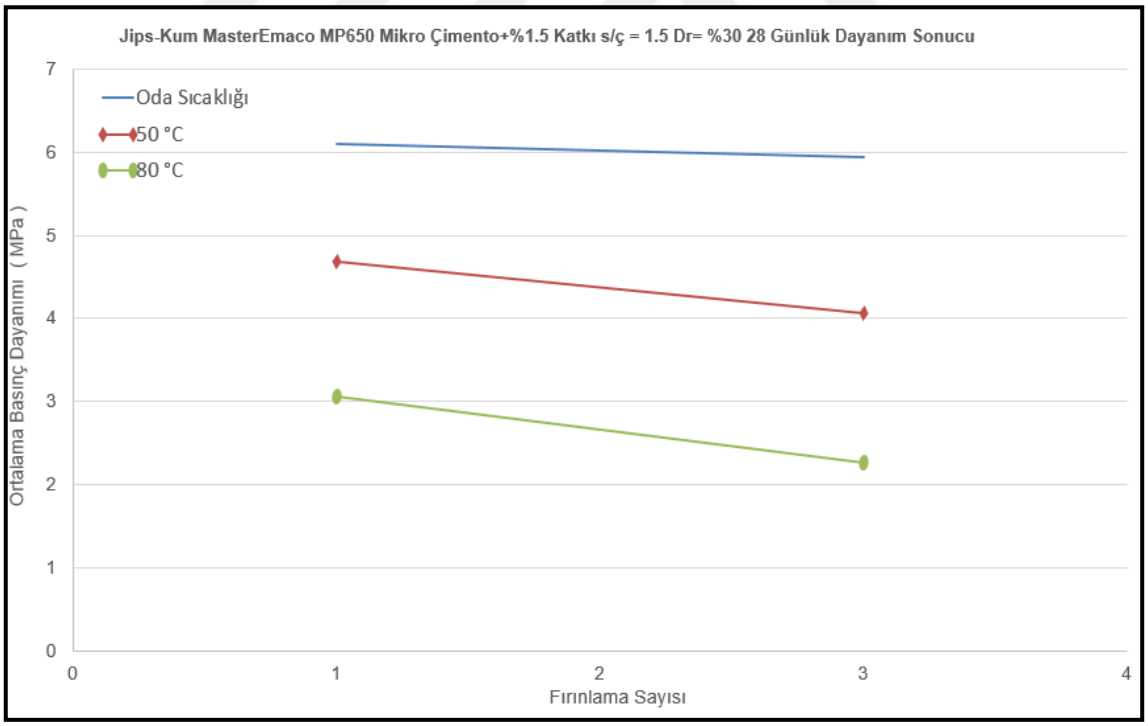
Şekil D.19 % 70 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips-Kum numunelerine s/ç=1 olan Portland Çimento karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği



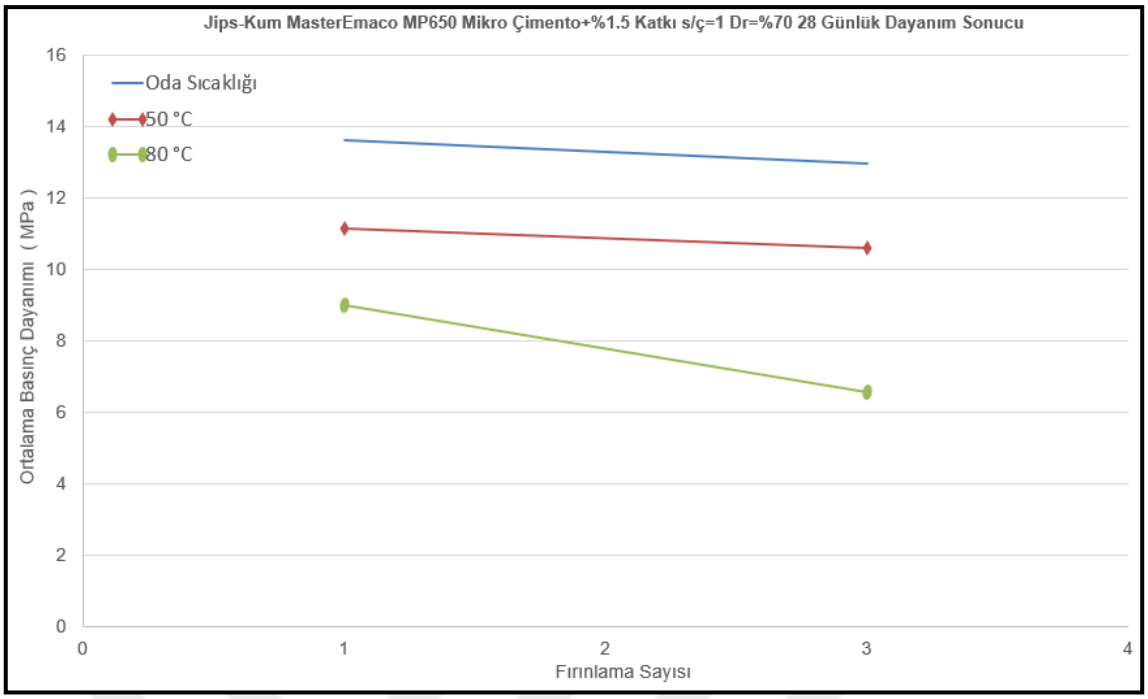
Şekil D.20 % 70 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips-Kum numunelerine s/ç=1,5 olan Portland Çimento karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği



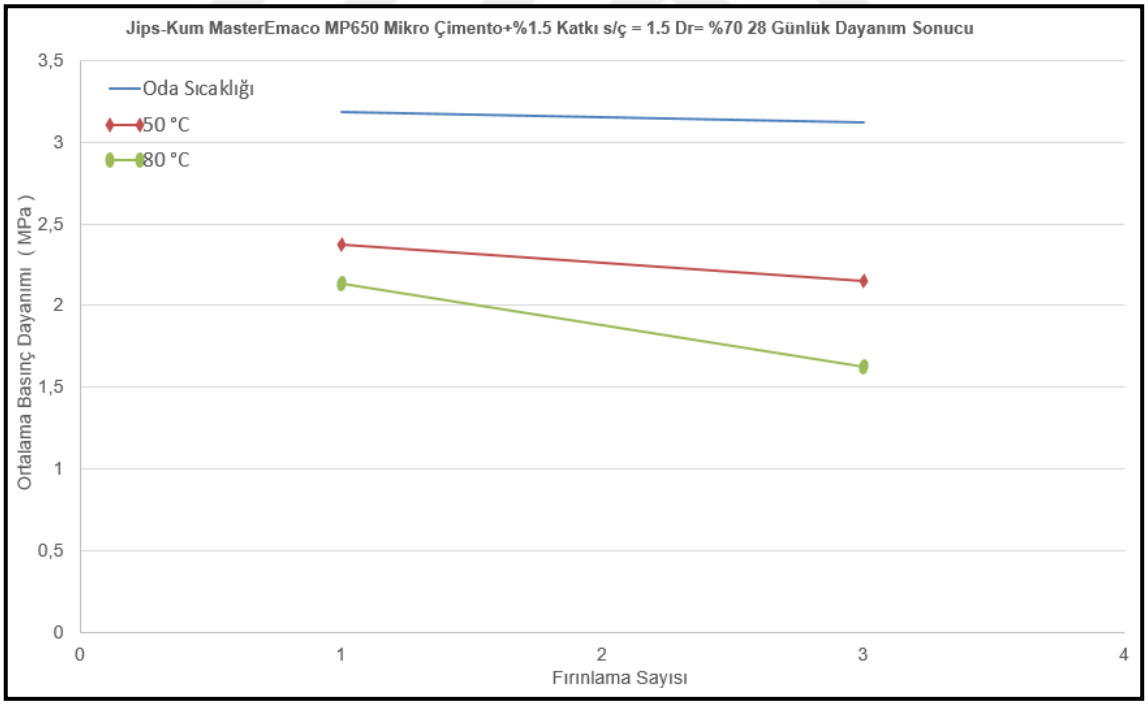
Şekil D.21 % 30 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips-Kum numunelerine s/ç=1 olan MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği



Şekil D.22 % 30 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips-Kum numunelerine s/ç=1,5 olan MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği



Şekil D.23 % 70 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips-Kum numunelerine s/ç=1 olan MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği



Şekil D.24 % 70 rölatif sıkılıkta sıkıştırılmış Jips-Kum numunelerine s/ç=1,5 olan MasterEmaco MP650 Mikro Çimento + % 1.5 Katkı karışımı katkısı sonucu farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin 28 günlük dayanım grafiği

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Şişman A.E, Özçoban M.Ş., " Sıkıştırılmış Dolgularda Enjeksiyon Yöntemiyle Zemin İyileştirmesi" 3. Başkent Ulusal Disiplinler Arası Bilimsel Çalışmalar Kongresi, 14-15 Mart 2021, Ankara