T.C.

MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YAPI MALZEMESİ BİLİM DALI

FARKLI KÜR KOŞULLARINDA ÇELİK LİF KATKILI ÇİMENTO ESASLI GROUT HARÇLARIN MEKANİK VE DURABİLİTE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Musa Can KARAKAŞ

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Erkan KANTAR

MANİSA–2021

Musa Can KARAKAŞ	**FARKLI KÜR KOŞULLARINDA ÇELİK LİF KATKILI ÇİMENTO ESASLI GROUT HARÇLARIN MEKANİK VE DURABİLİTE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**	**2021**

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Musa Can KARAKAŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER I

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ V

ŞEKİLLER DİZİNİ.....VI

TABLO DİZİNİ XI

TEŞEKKÜR.....XII

ÖZET.....XIII

ABSTRACT.....XVI

1. GİRİŞ 1

1.2. Tez Konusu ile İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar.....3

2. GENEL BİLGİLER 11

2.1. Grout Harcı.....11

2.1.1. Grout Harçların Kullanıma Hazırlanması ve Karıştırılması 12

2.1.2. Grout Harçların Yerleştirilmesi.....12

2.1.3. Grout Harçların Taze Hal Özellikleri.....13

2.1.3.1. Kıvamlılık 13

2.1.3.2. Viskozite 13

2.1.3.3. Akışkanlık 16

2.1.3.4. Hareket Etme Kabiliyeti.....17

2.1.3.5. Terleme 17

2.1.4. Sertleşmiş Grout Harç Özellikleri.....18

2.1.4.1. Dayanım.....18

2.1.4.2. Kuruma Büzülmesi (Rötre).....19

2.1.4.3. Boyutsal Stabilite 19

2.1.5. Grout Harçların Durabilitesi 22

2.1.6. Grout Harç Uygulamaları.....22
2.2. Kürleme Süreci.....23
2.2.1. Kürleme Yöntemleri 26
2.2.1.1. Sürekli Su Kürü.....27
2.2.1.2. Havuzlama ve Daldırma.....27
2.2.1.3. Su Püskürtme 28
2.2.1.4. Islak Kaplama 29
2.2.1.5. Buhar Kürü.....29
2.2.1.6. Membran Formunda Kür Bileşikleri.....30
2.2.1.7. İçsel Kürleme 33
2.3. Çelik Lifler.....35
2.3.1. Çelik Liflerin Sınıflandırılması.....36
2.3.1.1. Çengel Uçlu Çelik Lifler 36
2.3.1.2. Kıvrımlı Çelik Lifler 36
2.3.1.3. Spiral Çelik Lifler 37
2.3.1.4 Mikro lifler.....37
2.3.2. Çelik Liflerin Performans Özellikleri ve Davranış Etkileri 38
2.3.2.1. Çelik Liflerin Taze Hal Performansına Etkisi.....38
2.3.2.2. Çekme Gerilmeleri Etkisindeki Davranışı 39
2.3.2.3. Basınç Etkisindeki Davranışı 40
2.3.2.4. Bağ Dayanımı 41
2.3.3. Çelik Liflerin Kullanım Alanları.....41
3. DENEYSEL ÇALIŞMA 43
3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler 43
3.1.1. Hazır Grout Harcı 43
3.1.2. Tasarlanmış Grout Harç Malzemeleri 45

3.1.2.1. Agrega 45
3.1.2.2. Çimento 46
3.1.2.3. Kimyasal Katkı 48
3.1.3. Mikro Çelik Lif 49
3.1.4. Su 50
3.1.5. Kür Malzemesi 51
3.1.6. Telis bezi 52
3.2. Yöntemler 53
3.2.1. Deneysel Aşamalar 54
3.2.2. Hazır Grout Harcı Karışım Oranları 57
3.2.3. Tasarlanmış Grout Harç Karışım Oranları 57
3.3. Taze Grout Harç Deneyleri 60
3.3.1. Yayılma Deneyi 60
3.3.2. Terleme Tayini Deneyi 62
3.4. Çimento Esaslı Grout Harçlarına Uygulanan Kür Koşulları 63
3.5. Mekanik Deneyler 64
3.5.1. Eğilme Dayanımı Deneyi 64
3.5.2. Eğilme Sonrası Basınç Dayanımı Deneyi 66
3.6. Durabilite Deneyleri 68
3.6.1. Kimyasal Direnç Deneyi 68
3.6.2. Donma-Çözülme Deneyi 75
3.6.3. Kılcal (Kapiler) Su Emme Deneyi 78
4. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME 81
4.1. Taze Hal Deney Sonuçları 81
4.1.1. Yayılma Deneyi Sonuçları 81
4.1.2. Terleme Tayini Deneyi Sonuçları 83

4.2. Mekanik Deney Sonuçları 84
4.2.1. Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları 84
4.2.2. Eğilme Sonrası Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları 92
4.3. Durabilite Deneyleri Sonuçları 103
4.3.1. Kimyasal Direnç Deneyi Sonuçları 103
4.3.2. Donma-Çözülme Deneyi Sonuçları 120
4.3.3. Kapiler Su Emme Deneyi Sonuçları 135
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 141
KAYNAKLAR 145
EKLER 152
EK A. (Asit Ortamları Öncesi ve Sonrasına Ait Grout Numuneleri) 152
EK B. (50 ve 10 Çevrim Donma-Çözülme Etkisindeki Grout Numuneleri) .152
ÖZGEÇMİŞ 160

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ACI	American Concrete Institute (Amerikan Beton Enstitüsü)
ASTM	American Society for Testing and Materials
b	Kesit genişliği
°C	Santigrat derece
cm	Santimetre
gr	Gram
h	Kesit yüksekliği
k	Kılcal su emme katsayısı
kg	Kilogram
kN	Kilonewton
lt	Litre
m	Metre
M	Kütle
mm	Milimetre
MPa	Megapascal
N	Newton
P	Numuneyi kıran maximum yük
W	Yüzdece ağırlık değişimi
σ	Eğilme dayanımı
τ	Kayma gerilmesi
η	Viskozite
Υ	Kayma hızı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Grout harçların laboratuvar ve saha ortamında karıştırılması 12
Şekil 2.2. Grout harçların yerleştirilmesi 13
Şekil 2.3. İki plaka arasındaki sıvının laminer kayması 14
Şekil 2.4. Akışkanların kayma gerilmesi ve kayma hızı arasındaki ilişki 15
Şekil 2.5. Dereceli silindirde tipik bir terleme tayini işleminin çizimi (ASTM C940) 17
Şekil 2.6. Grout harç uygulamaları 23
Şekil 2.7. Su kürü uygulaması örneği 27
Şekil 2.8. Havuzlama kür yöntemi örneği 28
Şekil 2.9. Su püskürtmesi kürleme örneği 28
Şekil 2.10. Islak kaplama kür uygulamaları 29
Şekil 2.11. Buhar kürü uygulaması 30
Şekil 2.12. Kürleme bileşiği çimento mekanizması 32
Şekil 2.13. Kürleme bileşiği ve uygulamaları 33
Şekil 2.14. Tipik kanca uçlu çelik lif 36
Şekil 2.15. Kıvrımlı uçlu çelik lif 37
Şekil 2.16. Çeşitli boyutlarda çelik ve sentetik lif türleri 38
Şekil 2.17. Çelik lifli kiriş numunelerde eğilme yükü – deplasman eğrisi (üst) ve gerilmesiz ayrık bölgenin şematik hali (alt) 40
Şekil 3.1. 1 BASF MasterFlow928 grout harcı malzemesi (toz malzeme) 43
Şekil 3.2. Agrega 45
Şekil 3.3. Agrega elek analizi deneyi 46
Şekil 3.4. CEMI 42,5 R 48
Şekil 3.5. Kimyasal katkı Chyrso 48
Şekil 3.6. O L 6/16 Dramix mikro çelik lif 49
Şekil 3.7. Su 50
Şekil 3.8. Kür malzemesi Weber A 51
Şekil 3.9. Kür malzemesi uygulaması 52
Şekil 3.10. Telis bezi 52
Şekil 3.11. Grout harçların mekanik özelliklerinin belirlenmesi için deney akış diyagramı 55

Şekil 3.12. Grout harçların durabilite özelliklerinin belirlenmesi için deney akış diyagramları 56
Şekil 3.13. Grout harçların karıştırılması ve mikro çelik lif eklenmesi 58
Şekil 3.14. Standart küp ve prizma kalıplar 59
Şekil 3.15. Grout harç örneklerin kalıplara yerleştirilmesi ve etiketlenmesi (4 farklı kür koşulu için 3'er adet numune örneği) 59
Şekil 3.16. Yayılma tablası deneyi 60
Şekil 3.17. Hazır grout harcın çelik lif dozajına bağlı yayılma değerleri (mm) 61
Şekil 3.18. Tasarlanmış grout harcın çelik lif dozajına bağlı yayılma değerleri (mm) 61
Şekil 3.19. Grout harçların terleme tayini deneyi 62
Şekil 3.20. a) Su kürü (SK) b) Islak kaplama kürü (IK) c) Kür malzemesi uygulaması (KM) d) Hava kurusu kürü (HK) 63
Şekil 3.21. Üç noktalı eğilme deneyi 64
Şekil 3.22. Kesme kuvveti ve moment diyagramları 65
Şekil 3.23. Eğilme sonrası basınç deneyi 66
Şekil 3.24. 5 cm küp ayrıtlı grout numunesinin basınç dayanım deneyi 67
Şekil 3.25. Asit direncin belierlenmesi için yapılan deneyler ve asit ortamı sonrası numune görsellerine ait bazı fotolar 69
Şekil 3.26. Asit ortamı öncesi ve sonralarında bazı grout harçların basınç dayanımı testi 70
Şekil 3.27. İklimlendirme kabini ve D-Ç deneyine tabi tutulan grout numuneleri ... 75
Şekil 3.28. Sıcaklı-Zaman grafiği 76
Şekil 3.29. Kılcal (Kapiler) su emme deney düzeneği ve mikroyapısı 79
Şekil 3.30. a) Grout numuneleri 105 °C etüvde kurutulması b) 28 günlük grout numunelerine uygulanan kılcal su emme deneyi 80
Şekil 4.1. Tüm grout harcı serilerine ait yayılma değerleri (mm)..... 82
Şekil 4.2. Su kürü koşulunda hazır (G1) ve tasarlanmış (G2) grout harçların zamana ve mikro çelik lif dozajına bağlı eğilme dayanımıı değerleri 85
Şekil 4.3. Islak kaplama kürü koşulunda hazır (G1) ve tasarlanmış (G2) grout harçların zamana ve mikro çelik lif dozajına bağlı eğilme dayanımıı değerleri 87
Şekil 4.4. Kür malzemesi uygulamasında hazır (G1) ve tasarlanmış (G2) grout harçların zamana ve mikro çelik lif dozajına bağlı eğilme dayanımıı değerleri 88
Şekil 4.5. Hava kurusu kür koşulunda hazır (G1) ve tasarlanmış (G2) grout harçların zamana ve mikro çelik lif dozajına bağlı eğilme dayanımıı değerleri 90
Şekil 4.6. Eğilme Dayanımı Davranışı Fotoları 91

Şekil 4.7. Su kürü koşulunda hazır (G1) ve tasarlanmış (G2) grout harçların zamana ve mikro çelik lif dozajına bağlı eğilme sonrası dayanımı değerleri 94

Şekil 4.8. Islak kaplama kürü koşulunda hazır (G1) ve tasarlanmış (G2) grout harçların zamana ve mikro çelik lif dozajına bağlı eğilme sonrası basınç dayanımı değerleri 96

Şekil 4.9. Kür malzemesi uygulamasında hazır (G1) ve tasarlanmış (G2) grout harçların zamana ve mikro çelik lif dozajına bağlı eğilme sonrası basınç dayanımı değerleri 98

Şekil 4.10. Hava kurusu kür koşulunda hazır (G1) ve tasarlanmış (G2) grout harçların zamana ve mikro çelik lif dozajına bağlı eğilme sonrası basınç dayanımı değerleri 99

Şekil 4.11. Eğilme sonrası ikiye ayrılan prizma grout numunelerine ve küp numunelere uygulanan basınç dayanımı deneyine ait bazı görseller 103

Şekil 4.12. Su kürü koşulunda %5 HCI asit ortamı etkisinde çelik lif katkısız ve mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri 105

Şekil 4.13. Islak kaplama kürü koşulunda %5 HCI asit ortamı etkisinde çelik lif katkısız ve mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri 105

Şekil 4.14. Kür malzemesi uygulamasında %5 HCI asit ortamı etkisinde çelik lif katkısız ve mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri 105

Şekil 4.15. Hava kurusu kür koşulunda %5 HCI asit ortamı etkisinde çelik lif katkısız ve mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri 105

Şekil 4.16. Su kürü koşulunda %5 HNO_3 asit ortamı etkisinde çelik lif katkısız ve mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri 109

Şekil 4.17. Islak kaplama kürü koşulunda %5 HNO_3 asit ortamı etkisinde çelik lif katkısız ve mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri 109

Şekil 4.18. Kür malzemesi uygulamasında %5 HNO_3 asit ortamı etkisinde çelik lif katkısız ve mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri 109

Şekil 4.19. Hava kurusu kür koşulunda %5 HNO_3 asit ortamı etkisinde çelik lif katkısız ve mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri 109

Şekil 4.20. Su kürü koşulunda %5 H_2SO_4 asit ortamı etkisinde çelik lif katkısız ve mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri..... 112

Şekil 4.21. Islak kaplama kürü koşulunda %5 H_2SO_4 asit ortamı etkisinde çelik lif katkısız ve mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlı ağırlık kaybı yüzdeler 112

Şekil 4.22. Kür malzemesi uygulamasında %5 H_2SO_4 asit ortamı etkisinde çelik lif katkısız ve mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri 112

Şekil 4.23. Hava kurusu kür koşulunda %5 H_2SO_4 asit ortamı etkisinde çelik lif katkısız ve mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri 112

Şekil 4.24. Farklı kür koşullarında HCI asit ortamı etkisinde mikro çelik lif katkılı hazır (G1) ve tasarlanmıış (G2) grout serilerin basınç dayanımı kaybı yüzdeleri ... 115

Şekil 4.25. Farklı kür koşullarında HNO_3 asit ortamı etkisinde mikro çelik lif katkılı hazır (G1) ve tasarlanmış (G2) grout serilerin basınç dayanımı kaybı yüzdeleri ... 117

Şekil 4.26. Farklı kür koşullarında H_2SO_4 asit ortamı etkisinde mikro çelik lif katkılı hazır (G1) ve tasarlanmış G2) grout serilerin basınç dayanımı kaybı yüzdeleri 118

Şekil 4.27. Su kürü koşulunda 50 ve 100 çevrim D-Ç etkisinde grout serilerin çelik dozajına bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri 121

Şekil 4.28. Islak kaplama kürü koşulunda 50 ve 100 çevrim D-Ç etkisinde grout serilerin çelik dozajına bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri 122

Şekil 4.29. Kür malzemesi uygulamasında 50 ve 100 çevrim D-Ç etkisinde grout serilerin çelik dozajına bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri 123

Şekil 4.30. Hava kurusu kür koşulunda 50 ve 100 çevrim D-Ç etkisinde grout serilerin çelik dozajına bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri 124

Şekil 4.31. Su kürü koşulunda 50 ve 100 çevrim D-Ç etkisinde grout serilerin çelik dozajına bağlı eğilme dsyanımı kaybı yüzdeleri 126

Şekil 4.32. Islak kaplama kürü koşulunda 50 ve 100 çevrim D-Ç etkisinde grout serilerin çelik dozajına bağlı eğilme dayanımı kaybı yüzdeleri..... 127

Şekil 4.33. Kür malzemesi uygulamasında 50 ve 100 çevrim D-Ç etkisinde grout serilerin çelik dozajına bağlı eğilme dayanımı kaybı yüzdeleri 128

Şekil 4.34. Hava kurusu kür koşulunda 50 ve 100 çevrim D-Ç etkisinde grout serilerin çelik dozajına bağlı eğilme dayanımı kaybı yüzdeleri 129

Şekil 4.35. Su kürü koşulunda 50 ve 100 çevrim D-Ç etkisinde grout serilerin çelik dozajına bağlı eğilme sonrası basınç dsyanımı kaybı yüzdeleri 131

Şekil 4.36. Islak kaplama kürü koşulunda 50 ve 100 çevrim D-Ç etkisinde grout serilerin çelik dozajına bağlı eğilme sonrası basınç dayanımı kaybı yüzdeleri 132

Şekil 4.37. Kür malzemesi uygulamasında 50 ve 100 çevrim D-Ç etkisinde grout serilerin çelik dozajına bağlı eğilme sonrası basınç dayanımı kaybı yüzdeleri 133

Şekil 4.38. Hava kurusu kür koşulunda 50 ve 100 çevrim D-Ç etkisinde grout serilerin çelik dozajına bağlı eğilme sonrası basınç dayanımı kaybı yüzdeleri 134

Şekil 4.39. Su kürü koşulunda mikro çelik lif kkatkılı grout serilerin zamana bağlı kılcal su emme değerleri 137

Şekil 4.40. Islak kaplama kürü koşulunda mikro çelik lif kkatkılı grout serilerin zamana bağlı kılcal su emme değerleri 138

Şekil 4.41. Kür malzemesi uygulamasında mikro çelik lif kkatkılı grout serilerin zamana bağlı kılcal su emme değerleri 139

Şekil 4.42. Hava kurusu kür koşulunda mikro çelik lif kkatkılı grout serilerin zamana bağlı kılcal su emme değerleri 140

TABLO DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1. Hazır grout harcıözellikleri 44
Tablo 3.2. CEN standart kumu analiz sonuçları 45
Tablo 3.3. CEN standart kumuna ait rutubet yüzdesi 46
Tablo 3.4. Çimentoya ait fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri 47
Tablo 3.5. Kullanılan kimyasal katkının özellikleri 48
Tablo 3.6. Kullanılan mikro çelik lifin bazı özellikleri 49
Tablo 3.7. Deneysel tasarım ve standartlar 54
Tablo 3.8. Hazır grout harcın karışım oranları 57
Tablo 3.9. Tasarlanmış grout harcın karışım oranları 58
Tablo 4.1. Tüm grout harcı serilerine ait yayılma değerleri 82
Tablo 4.2. Tüm grout serilerine ait terleme ve genleşme tayini değerleri 83
Tablo 4.3. Farklı kür koşullarında mikro çelik lif katkılı 1, 7 ve 28 günlük grout serilerin eğilme dayanım değerleri 84
Tablo 4.4. Farklı kür koşullarında mikro çelik lif katkılı 1, 7 ve 28 günlük grout serilerin eğilme sonrası basınç dayanım değerleri 85
Tablo 4.5. Farklı kür koşullarında mikro çelik lif katkılı 28 günlük grout serilerin 50 ve 100 çevrim donma çözülme sonrası eğilme dayanım değerleri 125
Tablo 4.6. Farklı kür koşullarında mikro çelik lif katkılı 28 günlük grout serilerin 50 ve 100 çevrim donma çözülme sonrası eğilme sonrası basınç dayanım değerleri .. 130
Tablo 4.7. Su kürü koşulunda mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlı kılcal su emme katsayıları (kg.m^2/dak.^{0,5})..... 137
Tablo 4.8. Islak kaplama kürü koşulunda mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamanın karekköküne bağlı kılcal su emme katsayıları (kg.m^2 /dak.^{0,5}) 138
Tablo 4.9. Kür malzemesi uygulamasında mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamanın karekköküne bağlı kılcal su emme katsayıları (kg.m^2/dak.^{0,5}) 139
Tablo 4.10. Hava kurusu kür koşulunda mikro çelik lif kkatkılı grout serilerin zamana bağlı kılcal su emme değerleri 140

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarım sırasında bana gerekli doneleri veren, bilgi ve tecrübesi, değerli yorum ve yardımları ile bana yol gösteren, tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Erkan KANTAR'a şükranlarımı sunarım.

Deney çalışmalarım boyunca verdiği değerli teknik bilgiler ve gösterdiği ilgiden dolayı çok değerli arkadaşım Mr. Stefan BENDERS'e, malzeme teminleri için BASF firması adına Sn. Özgün ÖZEREN'e, BEKSA firması adına Sn. Mehmet YERLİKAYA'ya, bu çalışma esnasında benden yardımlarını esirgemeyen Celal Bayar Üniversitesi Yapı Malzemesi Anabilim dalı Arş. Gör. Dilan ÇANKAL' a teşekkür ederim.

Son olarak, yaşamım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan rahmetli babam ve değerli anneme, her anımda yanımda olan çok kıymetli dostum Şeyma YALDIZ'a teşekkürü bir borç bilirim. Bu tez çalışmasını, bugünleri görseydi gururlu olacağını düşündüğüm babama adamaktayım.

Musa Can KARAKAŞ
Manisa, 2021

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Farklı Kür Koşullarında Çelik Lif Katkılı Çimento Esaslı Grout Harçların Mekanik ve Durabilite Özelliklerinin İncelenmesi

Musa Can KARAKAŞ

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Erkan KANTAR

Bu tez, farklı kürleme koşullarında çelik lif ilaveli çimento esaslı grout harçların mekanik ve dayanıklılık özellikleri üzerindeki etkisini araştırmak için tasarlanmış deneysel bir programın sonuçlarını sunmaktadır. Bu çalışmada iki tip grout kullanılmıştır: ilk olarak yapısal uygulamalarda yaygın olarak kullanılan patentli bir grout, ardından geleneksel malzemelerden üretilen alternatif bir grout harç karışımı tasarlanmıştır.

Grout harçları makinelerin taban plakaları, prefabrik yapılarda, prekast köprü tabliyesinde, çift katlı tünel kaplamalarında, açık deniz rüzgar türbilerinde, betonun iyileştirilmesi ve onarılması gibi farklı alanlarda farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Özellikle deniz yapıları, uzun vadeli düşünüldüğünde dayanıklılık özellikleri açısından kimyasal ve çevresel saldırılardan etkilenir. Bunun gibi uygulamalarda, grout malzemelerinin kürlenmesi oldukça önemli bir işlemdir. Hidratasyon reaksiyonunun kürlemeden etkilendiği de bilinmektedir. Çimento esaslı malzemelerin sürekli hidratasyonunu sağlamak ve sonunda dayanım ve dayanıklılık kazanmak için uygun kürleme gerekir.

Kür koşulları incelendiğinde, en iyi dayanım ve dayanıklılık özelliklerini sağlayan ıslak kaplama koşulu olmuştur. Sürekli su kürü, ıslak kaplamadan daha az, kürleme bileşiği koşulundan daha fazladır. Hava kürü koşulu diğerlerinden daha çok olumsuz sonuçlar vermiştir. Kür malzemesi, inşaat endüstrisinde uygun kürlenme eksikliği, belirli alanlarda su eksikliği nedeniyle karşılaşılan birçok sorunun cevabıdır ve su kıtlığının büyük bir sorun olduğu çöl bölgelerinde geleneksel kür

çimento esaslı harçlara bir alternatiftir. Kür malzemesi (bileşiği), kür masraflarını ortadan kaldırdığı için daha ekonomiktir. Sprey uygulaması işçilik maliyetlerini düşürür, alternatif kür sistemlerine olan ihtiyacı ortadan kaldırır.

Taze grout harcın özelliklerini araştırmak için kontrol grout harcı ve mikro çelik lif ilaveleri ile karıştırıldıktan sonra yayılma tablası ve terleme testleri uygulanmıştır. Çelik lifler grout harçların taze hal performansını olumsuz etkilemiştir.

Grout numuneleri yerleştirildikten ve kalıptan çıkarıldıktan sonra test günlerine kadar, dört farklı kür koşuluna maruz bırakılmıştır: Bunlar, sırasıyla, 20 ^{o}C±3'te su küründe (en az %95 bağıl nem); ıslak telis bezi ve polietilen levha ile kaplama; kür malzemesi uygulaması, laboratuvar koşullarında tutulan hava kurusu kür koşullarıdır. Hazır ve tasarlanmış grout harçları kontrol grout harcı olarak hazırlanmış olup, grout harç karışımına sırasıyla %1, %1,5, %2 gibi farklı hacim oranlarında mikro çelik lifler eklenmiştir. Mekanik özelliklerini araştırmak için numunelerin 1, 7, ve 28. kür yaşlarında eğilme dayanımı, eğilme sonrası basınç dayanımını belirlemek için 4*4*16 cm boyutlarında prizma numuneleri hazırlanmıştır. Mikro çelik lif kullanımı genel olarak mekanik özellikleri iyileştirmiştir.

5*5*5 cm boyutlarında küp numuneler de hazırlanmış ve 28 günlük numuneler kimyasal dirençlerini belirlemek için farklı asit ortamlarına daldırılmıştır. Daha sonra grout numunelerin 1, 2, 4 ve 8 haftalık iken kütle değişimi, asit ortamı öncesi ve sonrası nihai basınç dayanımı takip edilmiştir. Prizma grout numunelerine çevresel etkileri incelemek için standartlara göre donma-çözülme testi uygulanmıştır. 28 günlük prizma grout numunelerine kılcal su emme testi uygulanmıştır. Mevcut test sonuçları, mikro çelik lif ilaveli grout harçların üstün dayanıklılık özelliklerine sahip olduğunu doğrulamıştır.

Bu çalışmalarda elde edilen sonuçlarına göre, çelik lif katkı maddelerinin optimum dozajı belirlenerek ve farklı kür koşulları analiz edilerek çimento esaslı grout harçların mekanik ve durabilite özellikleri iyileştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: (grout, kür koşulları, mikro çelik lifler, dayanım, asit direnci, donma-çözülme, kapiler su emme)

2021, 160 Sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

An Investigation Of Mechanical And Durability Properties Of Steel Fiber Reinforced Cement Based Grouts In Different Curing Conditions

Musa Can KARAKAŞ

Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Erkan KANTAR

This thesis presents the results of an experimental program designed to investigate the influence of steel fibre reinforced cement based grouts in different curing conditions on mechanical and durability properties. Two types of grout were used in this study: firstly a proprietary grout commonly used in structural applications, followed by an alternative grout mix produced from conventional materials was designed.

Grout mortars are used for different purposes in different areas such as base plates of machines, prefabricated structures, precast bridge decks, double-deck tunnel linings, offshore wind turbines, concrete improvement and repair. Especially in marine structures are affected by chemical and environmental attacks in aspect of durability properties when long term is considered. Like this applications, curing of grout materials is highly significant process. It is also known that hydration reaction is impacted by curing. In order to continuous hydration of cementitious materials and eventually to gain strength and durabillity needs proper curing. When the curing conditions were examined, it was the wet covering condition that provided the best strength and durability properties. Continuous water curing is less rather than wet covering, more than curing compound condition. Air curing condition gived negative results rather than others. Curing compound is the answer to the many problems faced in construction industries due to lack of proper curing, lack of water

in certain areas and it is an alternative to conventional curing cement based grout in desert regions where scarcity of water is a major problem. Curing compound is more economical because it eliminates the curing charges. Spray application reduces labor costs, eliminates the need for alternative curing systems.

Flow table and bleeding tests had be applied after mixing grout control and with micro steel fibre additions to investigate fresh properties. Steel fibers affected fresh state performance adversely and this negative effect.

After placing and demolding of specimens, they were be exposed four different curing conditions until the ages of test the specimens: These are immersion in water curing at 20 ^{o}C±3, no less than 95% RH; covering with wet burlap and polythene sheet; curing compound apply, keeping under laboratory conditions; respectively. Prepackaged and designed grouts were be prepared as control grout and micro steel fibres were incorporated into the grout mix at different volume fractions, which are 1%, %1,5, 2%, respectively. 4*4*16 cm sized prism specimens were prepared to determine flexural strength, compressive strength after the flexural and modulus of elasticity at the 1st, 7th, 28th curing ages of the specimens to investigate mechanical properties. Micro steel fiber usage generally improved mechanical properties.

5*5*5 cm sized cube specimens were also prepared and in order to determine chemical resistance, the specimens were immersed different acid environments after 28 curing ages of the specimens. After that, mass change of grout cubes were followed at 1, 2, 4, and 8 weeks of age and residual compressive strength before and after acidic environment. The prism grout specimens were applied freze-thaw test according to standarts for examining environmental affects. Prism grout specimens after 28 curing ages were applied capillary water absorption test. The present test results verified that the micro steel fiber reinforced grouts had superior durability characteristics.

According to the results which obtaine in these studies, mechanical and durability properties of cement based grouts were improved by determining optimum dosage of steel fiber additives and by analyzing different curing conditions.

Keywords: (grout, curing conditions, micro steel fibers, strength, acid resistance, freez-thaw, capillary water absorption)

2021, 160 pages

1. GİRİŞ

Grout harcı, makine temellerinin onarımında, çeşitli yapıların onarımında, köprülerin bağlantı ve destek noktasında, kullanılır. Çimento esaslı malzeme olarak, beton yapıların alt kısmı arasındaki boşluğu doldurarak üst yapıyı ve alt yapıyı birleştirerek bir üst parçanın ağırlığını bir alt parçaya dağıtmak için kullanılır [1]. Ayrıca kısa süre içerisinde priz alarak yüksek mukavemet gerektiren, kazıdan önce zeminin kalitesini arttırmak için yer ya da yeraltı derz dolgusu gibi uygulamalarda kullanılır. Bu nedenle, işlenebilirliğin iyileştirilmesi, kurutma büzülme hacminin azaltılması, erken dayanımın geliştirilmesi ve priz süresinin ayarlanması gibi gereksinimlerin karşılanması gerekir [2].

Tamir malzemelerinin maliyeti ve uygunluğu, onarım işlerinde dikkate alınması gereken önemli faktörlerdir. Grout harcı, genellikle yapısal çatlakları onarmak için kullanılan malzemelerden biridir. Grout harcı, enjeksiyon tekniğinin tanıtılmasından bu yana günümüze kadar kullanılmaktadır. Derz dolgu tekniği, 200 yıl önce Fransız bir mühendis olan Charles Berrgny tarafından başlatılan ve Dieppa limanının yapı hasarlarını, kendisi tarafından icat edilen perküsyon pompasını kullanarak derz dolgu yaparak tamir etme fikrine ilham verdi. [3,4]. Daha sonra Marc Isambard Brunel, İngiltere'de Wapping'deki Thames tünelinin ilk inşaatı sırasında 1838'de çimento esaslı grout malzemesi olarak portland çimentosunu kullanmıştır. Daha sonra, geçen yüzyılın başlarında çimento esaslı grout malzemesi yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [4]. Mevcut uygulamalarda, çimento, çimento ve kum, kil ve çimento, cüruf-çimento, reçine alçı-çimento, kil asfaltı, pulverize yakıt külü ve çok sayıda kolloid ve düşük viskoziteli kimyasallar içeren grout harçları kullanılmaktadır. Nonveiller, derz dolguyu, grout malzemelerini çatlaklara, çatlaklara özelliklerini iyileştirmek, deformasyonları azaltmak için enjekte etme prosedürü olarak tanımlar [3].

Çimento esaslı grout harçları, ayrışma olmadan kendi ağırlığı altında sıkışabilen, yerine akması kolay olan ve yüksek doldurma kabiliyetine sahip malzemelerdir. Grout harcının yüksek akışkanlığı, homojen betonla düzgün bir yapı oluşturmak için akış sırasında yüksek yapışma veya ayrışma direncinin başlıca gereksinimidir [5].

Akışkan grout harcı titreşimsiz olarak tamamen kompakt olabileceğinden, bu yüzden akışkan grout harcı uygulaması işçiliği ve makine kullanımını azaltabilir, daha iyi bir sıkıştırma sağlayabilir, sonuç olarak yapısal elemanın kritik kaplama bölgesinin dayanıklılığını arttırır. Tüm grout harç sistemlerinin temel özelliği, derzlenecek boşluğa enjekte edilecek kadar akışkan olması ve sağlamlaştırmasıdır [6].

Çimento esaslı grout harçları çeşitli uygulamada birçok farklı amaç için yaygın olarak kullanılmaktadır.

- Çelik ve prefabrik yapılarda, prefabrik köprü elemanı bağlantılarında, prefabrik elemanların birleşimlerinde,
- Yapısal onarımda
- Derz dolgularında
- Makine ve vinç temellerinde,
- Temel soketlerinde,
- Perde duvarlarda, kolon başlıklarında,
- Çelik kolonların temele montajında
- Demiryolu yatakları,
- Prekast yapı kolonları,
- Beton ankrajları,
- Mesnet plakaları,
- Gaz ve buhar türbinleri,
- Jeneratörler, kompresörler, pres ve torna tezgahları, sondaj makineleri montajında,
- Rögar, menhol kapaklarının yükseltilmesinde,
- Uçak ve helikopter pistlerinin tamirinde,
- Rögar, menhol kapaklarının yükseltilmesinde,
- Her türlü endüstriyel makine yatakları altında,
- Metro, otoyol, baraj gibi mühendislik yapılarında,
- Onarım, tamir ve betonarme perdelerinin kiriş ile birleştiği yerler güçlendirme projelerinde,

Her türlü boşluk, delik ve açıklığın doldurulması gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, hazır grout harç ve tasarlanmış grout harç karışımına farklı oranlarda mikro çelik lifler eklenerek, farklı kür koşulları altındaki dayanım ve dayanıklılık performansı özellikleri değerlendirilecektir. Grout harçları çok farklı uygulamalarda ve ortamlarda farklı amaçlar için kullanılmaktadır (deniz ortamındaki yapılar, açık deniz rüzgar türbinleri, köprü ayakları, yeraltı yapıları, otoyol yapıları, kaya ankrajları, vb.), bu durum ortam şartlarından kaynaklı dayanıklılık performansı bakımından azalmalar meydana getirmektedir. Bunun için kür koşulları incelenerek sıcaklık, nemli ortam, deniz ortamı etkisi gibi şartlar göz önünde bulundurularak en verimli kür uygulamasının gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Ayrıca mikro çelik lifler ile modifiye edilen grout harçların dayanıklılık özelliklerine etkisi için yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır. Farklı kür koşulları ve ortamlarda çelik lif ilaveli grout harçların mekanik ve durabilite özellikleri değerlendirilerek, mikro çelik lif eklenmesiyle bu özelliklerin geliştirilmesi açısından, en iyi performansın hangi kür koşulunda sağlandığı ve böylece en uygun kür ortamının bulunması bakımından bu çalışma önem arz etmektedir.

1.1. Tez Konusu ile İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

Berndt çalışmasında, çimento-kum grout harcının çekme mukavemetini ve dayanıklılığını iyileştirmek için çelik liflerin kullanılabilirliği araştırmıştır. 0.16 mm çapında, 13 mm yuvarlak çelik lifler %0,5 ve %1 lif hacim oranlarına sahip grout harçları, basınç ve yarma çekme mukavemeti testleri, geçirgenlik katsayısı testleri ve ıslak-kuru çevrimlere tabi tutulmuştur. Çelik liflerin kısa ve uzun vadeli çekme mukavemeti için faydalı olduğu bulunmuştur. Geçirgenlik katsayısı lif ilavesinden olumsuz etkilenmemiştir. Mikro çatlamaya karşı direnç ve ıslak-kuru döngülerden sonra geçirgenlikteki artış da çelik lifler tarafından geliştirildiği saptanmıştır [7].

Grimes, çelik lif katkılı grout malzemesinin betorname yığma yapılarında çekme rijitliği davranışı üzerindeki etkisini incelemiştir. Bunun için özellikle, çelik lif içeriğini, çelik lif oranını, çelik lifin en boy oranı ve yükleme tipi gibi değişkenleri araştırmıştır. Deneysel çalışmasını ise Carleton Üniversitesinin yapı laboratuvarında ürettiği ve test ettiği 42 çekme numunesi üzerinde gerçekleştirmiştir. Grout harçlarına %0,4 ve %0,8 oranlarında Dramixx ZP305 çelik lif(30 mm) ve %1.2 oranında Dramix RC65/60BN (60 mm) çelik lif katkısı eklenmiştir. Toplanan

deneysel verilerle lif katkılı betorname yapısal elemanların çekme rijitliği davranışını tanımlayan bir denklem geliştirilmiştir. Deneysel programın sonuçları, harç içerisine çelik lif ilavesinin çatlama sonrası performansa faydalı olabileceğini, çatlak kontrolünü ve betorname yığma yapılarındaki elemanların tokluğunu arttırdığını göstermektedir. Grout harcı matrisi içerisine çelik liflerin eklenmesiyle elde edilen ek performans, betonun rekabetçi bir yapısal malzeme olarak yaşayabilirliği arttırdığı belirtilimiştir [8].

Yang ve Brown çalışmalarında, hızlandırılmış köprü yapımında kaplama dökümü için potansiyel olarak kullanılabilecek çeşitli grout harç malzemelerinin performansını değerlendirmeye odaklanmıştır. Köprü tabliyelerinin rehabilitasyonu için tam derinlikte prekast beton panellerin kullanılması, hızlı kurulum ve her türlü hava koşuluna uygun inşaat uygulamalarına olanak sağlar. ABD genelinde 16 üreticiden 25 adet önceden paketlenmiş ticari grout harç ürünü temin edilmiş ve bu çalışmada değerlendirilmiştir. Çoğu gorut harcı iyi akışkanlık, yeterli erken yaşta ve 28 günlük yüksek basınç dayanımı ve kabul edilebilir bağ dayanımı göstermiştir. Ayrıca, çoğu grout harcı ürünü orta ile düşük geçirgenlik, yüksek donma ve çözülme dayanıklılığı göstermiştir. Deney sonuçlarına göre, sıcaklık değişiminin akışkanlık, priz süresi, basınç dayanımı gelişimi ve bağ kapasitesi üzerinde büyük etkileri olduğu, artan sıcaklığın genellikle taze harcın akışkanlığını düşürdüğü ve yüksek sıcaklık tipik olarak taze harçların prizini hızlandırmış ve harçların basınç dayanımını arttırdığı belirtilmiştir. Tersine, sıcaklıktaki bir artış çoğunlukla bükülme ve eğilme kesme bağ mukavemetini düşürdüğü, ilk olarak yalnızca birkaç ürünün artan bir bağ dayanımı gösterdiği belirtilmiştir. Taze harç içine çelik liflerin eklenmesi çoğunlukla akışkanlığı azalttığı, ancak bazı grout harçların çelik lif ilavesinden sonra akışkanlıkta hiçbir değişiklik göstermediği ve bazı grout harçların biraz daha yüksek bir akışkanlık gösterdiği gözlemlenmiştir. Deney çalışmaları sonucunda, çoğu grout harç ürünü için, çelik lif ilavesinin, özellikle geç yaşlarda basınç dayanımı üzerinde olumlu etkileri olduğu; ancak bazı grout harcı ürünlerin özellikle erken yaşlarda düşük basınç dayanımı gösterdiği saptanmıştır. Yüksek bağ mukavemetine sahip grout harç ürünleri için, % 3 çelik lif eklenmesinin normalde bağ mukavemetinin azalmasına neden olduğu, düşük bağ mukavemetine sahip grout harç ürünleri için ise, çelik lif lavesinin, bağ mukavemetini önemli ölçüde iyileştirme yaptığı belirtilmiştir [9].

Gião ve diğerleri çalışmalarındaki temel amacı, betonarme yapılar için tek eksenli çelik lif takviyeli grout harcı ile betonarme elemanın basınç tarafında küçük kalınlıkta bir mantolama kullanarak bir güçlendirme çözümünü değerlendirmektir. Bu amaçla sürekli ve tek eksenli çelik lif takviyesi ile güçlendirilmiş yüksek performanslı çimento esaslı grout harcı geliştirilmiştir. Malzemenin mekanik özellikleri değerlendirilirken, basınç dayanımının ve statik elastisite modülünün belirlenmesini sağlayan küçük kalınlıktaki boru şeklindeki numunelerde basınç testleri gerçekleştirilmiştir. Malzemenin çekme mukavemeti, kübik numunelerin (DIN 1048-5 standardına göre) yarma testleri kullanılarak elde edilmiştir. Kompozit (23 GPa) ve matrisin (25 GPa) hemen hemen aynı elastise modülü değerlerine, kompozitin basınç dayanımının matrisin basınç dayanımına bağlı olduğu ve matris için yaklaşık 96 MPa, ve tek eksenli çelik lif takviyesi ile güçlendirilmiş yüksek performanslı çimento esaslı grout harcı için ise 66 MPa'la kadar ulaştığı sonucuna varılmıştır. Deney sonuçları göstermiştir ki harç matrisine %3 hacim oranında çelik lif takviyesi çekme dayanımını önemli bir oranda arttırmıştır. Yüksek performanslı lif takviyeli çimento esaslı grout malzemesinin, bazı mekanik özelliklerinin matris olanlara göre azalması, enjeksiyon işlemi nedeniyle Yüksek performanslı çelik lif takviyeli çimento esaslı grout malzemesinin, doğal olarak daha yüksek gözenekliliği ile ilişkilendirilebilir [10].

Farzampour, yaptığı çalışmasında ticari olarak satışa sunulmuş dört tip grout harcını üç farklı sıcaklık ve iki farkı nem koşullarında basınç dayanımı gelişimini, harçların olgunluğunu ve donma-çözülme döngüsünü incelemiştir. Deneyler özellikle düşük sıcaklıklarda dökülen harçların basınç dayanımını ve genel basınç dayanımını değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Sonuçlar kürleme sıcaklığının yaklaşık 15 derece düşürülmesinin nihai mukavemette %20 azalma, bununla birlikte, nem yüzdesinin %50 düşürülmesinin, nihai mukavemette %10 azalmaya neden olduğunu göstermektedir. Daha düşük sıcaklıklarda kürlenen harcın daha yüksek kürleme sıcaklığına sahip harcın ulaşabileceği dayanıma asla ulaşamayacağı; bu nedenle, grout harçlarının mukavemetinde kürleme sıcaklığının oldukça önemli olduğu gözlemlenmiştir. Dayanıklılık faktörünün araştırılması için ise donma-çözülme döngüsünün harçlar üzerindeki etkisi araştırlmış ve sonuçlar düşük nem oranlarına kıyasla daha düşük sıcaklıkların grout harçlarının davranışı üzerinde etkili olabileceğini göstermiştir. Sıcaklığın betonun genel olgunluğuna etkisi de araştırılmış

ve sert sıcaklık koşullarında olgunluk testinin geçerli ve kesin olamayacağı sonucuna varılmıştır. Ayrıca soğuk havada kürlemede daha düşük su-çimento oranlarının kullanılması tavsiye edilmiş ve düşük su-çimento oranının grout harçların durabilite etkisi üzerinde de önemli bir rolü olduğu belirtilmiştir [11].

Vanza ve arkadaşları [12] farklı kür rejimlerine maruz kalan grout harç karışımlarının performansını incelemek için deneysel bir araştırma yapmışlardır. Araştırmada, su/katı madde oranı ve katkı maddelerinin dozajını değiştiren farklı harç karışımları tasarlanmıştır. Farklı şekilde tasarlanan ve farklı kürleme rejimine tabi tutulan çeşitli grout harç karışımlarının mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla basınç dayanımı testi uygulanmıştır, Deneysel çalışmada çimento, uçucu kül, su ve sülfonatlı naftalin üzerinde kahverengi sıvı bazlı katkı maddesi kullanılmıştır. Çimento: uçucu kül oranı 1: 4 olarak alınmış olup, su/katı madde (çimento + uçucu kül) oranı 0,3, 0.35, 0.4, 0.45 ve 0.5 olmak üzere beş farklı grout harcı hazırlanmıştır. Her harç karışımında katkı dozajı çimento ağırlıkça yüzde cinsinden %0.5, %0.75, %1.0, %1.25 olarak alınmıştır. Grout harcı karışımları küpleri test edene kadar hava kürü, sürekli su kürü, küpler kurutma tankından çıkarıldıktan sonra 4 saat havayla kurutma kürü uygulanarak üç farklı kür koşulu altında bekletilmiştir. Harç karışımlarının basınç dayanımı her türlü kürleme koşulunda su/katı madde oranındaki azalma ile arttığı belirlenmiştir. Çalışmada su/katı madde oranı 0,4'ten sonraki oran için basınç dayanımı karma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Grout karışımlarında ortalama basınç dayanımının en iyi hava küründe, diğerlerine göre en az su küründe olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Fang ve He [13] yaptıkları çalışmada kaya ankrajları için homojen düzenlenmiş ultra ince tanecikler içeren yoğunlaştırılmış sistemli çimento esaslı grout malzemesinin karışım oranlarını, su-bağlayıcı oranının, eklenen nanometre silika hacminin, çeşitli kür koşullarının grout harcı davranışı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deneysel çalışmada Portland çimentosu, silis dumanı (sabit 0.2 oranında), quartz tozu (sabit 0.1 oranında), polikarboksilat esaslı su azaltıcı katkı (sabit %1 oranında), genleşme maddesi (sabit %8 oranında), su/bağlayıcı oranı 0.18, 0.20, 0.22 olmak üzere %0 oranında nanometre silika, su-bağlayıcı oranı 0.18, 0.20, 0.22 olmak üzere %1 oranında nanometre silika ve su kullanılarak 6 harç karışımı

hazırlanmıştır. Dayanım ve akışkanlık özelliklerini belirlemek için, standart kür (sıcaklık 20±3 ^{o}C civarında, nem oranı %95'in üstünde), sıcak su kürü (numuneler 48 saat süreyle 80±2 ^{o}C sıcaklıkta bekletilmiş) ve yer altı doğal kürü olmak üzere üç farklı kür koşulu uygulanmış, standartlara uygun testler yapılmıştır. Testler sonucunda kaya ankrajları grout karışımlarında 0.20 su-bağlayıcı oranının hem basınç dayanımı hem de akışkanlık için en uygun oran olduğu saptanmıştır. Yüksek performanslı grout karışımları talep edildiğinde, %1 oranında nanometre silika eklemenin grout malzemesinin mekanik davranışında önemli bir etki olduğu tespit edilmiştir.

Lim ve arkadaşları [14] yaptıkları çalışmada tropik havada çeşitli çeşitli miktarda cüruf yer değiştirmesi ile üretilen çimento esaslı grout harçların %100 Portland çimento bazlı grout harcıyla karşılaştırılarak farklı kür rejimleri altında basınç dayanım gelişimini incelemişlerdir. Araştırma Portland çimentosu esaslı grout harcı ve %30 ile %60 arasında öğütülmüş yüksek fırın cürufun yer değiştirmesiyle oluşan cüruf çimento esaslı akışkan grout harcının basınç dayanımını kapsamaktadır. Kürleşme rejimlerinin basınç dayanımı gelişimine etkisini araştırmak için tüm örnekler üç farklı kür koşulunda kürlenmiştir. Bu üç farklı kür koşulu; su kürü 25 ^{o}C-26 ^{o}C sıcaklığında, hava kürü; ortalama sıcaklık 30 ^{o}C ve bağıl nem oranı %65 ve laboratuvar dışında tropikal iklim kürüdür; sıcaklık 26 ^{o}C (yağışlı) ile 38 ^{o}C aralığında (sıcak), nem %25 (sıcak ve kuru) ile %90 (ıslak) aralığındadır. Araştırmada, cüruflu çimento esaslı harcın tropik havaya dayanabileceğini ve normal beton yapısal tamir işleri için uygun gücü sağladığı kanıtlanmıştır. Test sonuçları, %50 cüruf yer değiştirmesi ile oluşan numunelerin, su kürü koşullarında optimum uzun süreli basınç dayanımı sağladığını göstermiştir. Optimum cüruf ikamesi su kürü rejimi altında uzun süreli çimento esaslı grout karışımlarının dayanımını arttırabildiği sonucuna varmışlardır.

Varga ve arkadaşları [15] çalışmalarında prefabrik köprü elemanı bağlantıları için çimento esaslı grout harçların çatlama, bağ ve dayanıklılık performanslarını ve bu özellikler üzerindeki iç kürün etkisini değerlendirmişlerdir. Deneysel çalışmada ticari olarak uygun büzülme yapmayan çimento esaslı grout harcı, iç kürlemeyi

sağlamak için ince hafif ağırlıktaki agregalar önceden ısıtılmış ve etüvde kurutulmuş şekilde kullanılmıştır. Hazır grout harcı 0.16 su/katı madde oranında iç kürleme dahil edilmeyerek kontrol grout harcı olarak kullanılmış, iç kür dahil edilen harçlarda önceden ıslatılmış ince hafif agregalar karışımın toplam hacminin %19'u, etüvde kurutulmuş ince hafif agregalar karışımın toplam hacminin %25'i olacak şekilde hazırlanmıştır. Taze haldeki grout harçları için yayılma tablası kullanılarak akışkanlık kıvamı, taze yoğunluk kıvam testi, vikat iğnesi kullanılarak priz süresi ölçme testleri yapılmıştır. Mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla basınç dayanımı ve eğilme dayanımı testleri yapılmıştır. Ayrıca grout harçların büzülme performansları boy değişim ölçümü testi yapılarak değerlendirilmiştir. Araştırmada, çatlama, bağ ve dayanıklılık performansındaki gelişmeleri değerlendirmek için çift halka testi, oluşum faktörü kavramları ve mikroyapısal analiz gibi yeni deneysel teknikler kullanılmıştır. Sonuçlar iç kür uygulanmış grout harçların bağ performansını değiştirmezken, çatlama ve dayanıklılık özelliklerini geliştirdiklerini göstermektedir. İç kürlemenin çimentolu harçlara uygulanması köprü yapılarının dayanıklılığını ve bu nedenle sürdürülebilirliğini arttırma stratejisi olarak sunulmaktadır.

Li ve arkadaşları [16], çimento esaslı grout malzemelerinin yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra kalan basınç dayanımı üzerine kapsamlı bir deneysel araştırması yapmışlardır. Araştırmada, farklı sıcaklıkların, ısıtma öncesi ve sonrası kürleme yaşlarının ve su karışım oranlarının malzemenin nihai basınç dayanımı üzerindeki etkilerine odaklanılmıştır. Araştırma, çimento esaslı grout malzemesinin nihai basınç dayanımını ısıtmadan sonra önemli ölçüde azaldığını göstermektedir. Malzemenin nihai basınç dayanımının azalması, artan su karışım oranı ile arttığı saptanmıştır. 550 ^{o}C gibi daha yüksek sıcaklığa maruz kalan numuneler için nihai basınç dayanımı ısıtmadan sonra iyileştirilemeyeceği görülmüştür.

Kampmann ve arkadaşları [17] grout harcı dolgulu köprü ayağı boşlukları bağlantılarını standardizasyon sürecine yardımcı olmak için grout harç dolgulu kazı temel bağlantılarını değerlendirmeyi amaçlamıştır. Akış, nihai hava boşlukları, sertleştirme işlemi sırasındaki sıcaklık gelişimi ve nihai grout harcı mukavemeti

saptanırken, farklı akış boşluklarının (grout harcı boşlukları) yanı sıra değişen grout harç kıvamları ve sıcaklıkları simüle edilerek bilgiler toplanmıştır. Araştırma boyunca taze grout harcı sıcaklığı, malzemenin viskozitesi ve kazık başı ile eğik başlık arasındaki boşluğun kalınlığının grout harcı akış kalitesini ve doldurulabilirliğini önemli ölçüde etkilemediği tespit edilmiştir. Ek olarak, mevcut yapı toleranslarının, sıcak hava koşullarında ağır (yüksek hacim-yüzey oranı) grout harç hacimleri için kritik hidratasyon sıcaklıklarına yol açabileceği kaydedilmiştir.

Lim ve Ha çalışamalarında, açık deniz rüzgar türbinleri için ultra yüksek mukavemetli grout harcı geliştirmiştirlerdir. Bunun için önceden paketlenmiş ticari markalı grout malzemelerinin performans özellikleri karşılaştırmışlar ve dengeli bir grout karışım oranı geliştirmeye odaklanmışlardır. Açık deniz rüzgar türbinleri, rüzgar türbininin alt kısmının deniz suyuna batırılması ve türbinin üst kısmını alt kısma bağlayan geçiş parçasına harç doldurulması dışında, diğer kurulan rüzgar türbinlerine benzer olduğunu ve bu nedenle türbinde kullanılan grout harcı malzemesinin mekanik ve dayanıklılık özelliklerinin, deniz suyunun geçiş parçasına zarar vermemesi açısından önemli olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, elde edilen nihai karışım oranına dayalı olarak, grout harcın mekanik olarak basınç dayanımı, elastise modülünü, eğilme dayanımını, bağ dayanımını, çekme dayanımın amaçlandığı değerlere ulaştığını belirtmişlerdir. Ayrıca geliştirilen harcın yüksek durabilite özellikleri (otojen büzülme, kimyasal direnç, karbonatlaşma direnci, donma ve çözüllme direnci) gösterdiği saptanmıştır. Erken mukavemeti sağlamak için yüksek hızda sertleşen kalsiyum sülfoalüminat katkısının ve susuz alçı kullanımının türbinin uzun vadeli mukavemetine müdahale edeceği tahmin edilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda açık deniz rüzgar türbinleri için hedeflenen ve geliştirilen 100 MPa sınıfında olan ultra yüksek mukavemetli grout harcı nihai karışımı yüksek hızda sertleşen kalsiyum sülfoalüminat katkısı ve susuz alçıtaşı (%25), silis dumanı (%6,5) ve silis kumundan (%40) oluşmaktadır [18].

Heo ve Lee [19] araştırmalarında, çift katlı tünellerin inşası ve güçlendirilmesinde uygulanabilecek çeşitli çimento esaslı grout harçların karakteristik ve dayanıklılık özelliklerini incelemişlerdir. Araştırmada, grout

malzemesi çeşitleri, hızlı priz özelliği olan çimento esaslı grout harcı ve yüksek mukavemet özelliklerine sahip grout harcı olarak ikiye ayrılmıştır. Çimento esaslı grout harçlarına bakıldığında, hızlı priz alma özelliği, priz hızlandırıcı madde olarak sodyum silikat kullanıldığında mükemmel olduğu, ancak hacimdeki değişikliklerden dolayı çok sayıda çatlak bulunduğu ve uzun vadede mukavemette bir azalma gözlemlenmiştir. Mineral bazlı bir priz hızlandırıcı madde (kalsiyum alüminat) kullanıldığında, mukavemette bir artış da dahil olmak üzere mükemmel dayanıklılık gösterildiği ve uzun vadede hacimde ve çatlaklarda önemli bir değişiklik olmadığı saptanmıştır. Grout harçlarında mukavemet ve hacimdeki değişiklikler su-çimento oranı ile bağlantılı olduğu belirtilmiş ve harçların kimyasal direnç ve hacim değişikliği ölçüm sonuçları, yüksek mukavemetli tipin en iyi dayanıklılık performansına sahip olduğunu göstermiştir.

Issa ve arkadaşları [20], çalışmalarında prefabrik beton köprü tabliyelerinde kullanılması için dört tip grout malzemesi performanslarını değerlenmişlerdir. Numuneler dikey kesme, doğrudan gerilim ve eğilme kapasitesi açısından test edilmiştir. Kullanım kolaylığı ve birçok performansı karşılaması açısından Set Grout ticarili markalı grout malzemesininin kullanımı tavsiye edilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda polimer betonun, dayanım, bağ ve kırılma şekli açısından enine derzler için en uygun grout malzemesi olduğu tespit edilmiştir, bunun yanında maliyetli bir uygulama olduğu da belirtilmiştir. Polimer betonu, derzin aşırı gerilime maruz kaldığı veya trafiğin hızlı bir şekilde yeniden başlatılmasının kritik olduğu özel durumlarda uygulanması için tavsiye edilmiştir.

Scott ve diğerleri çalışmalarında, tam derinlikli beton köprü tabliyesinin çıkıntı sisteminin inşasında kiriş ve tam derinlikli prekast paneller arasında tamamen kompozit bir bağlantı sağlamak amacıyla kullanılacak iki tip grout karışımının performansını değerlendirmişlerdir. Öncelikle yapısal uygulamalarda yaygın kullanılan patentli grout karışımını ve sonrasında geleneksel malzemelerden üretilmiş alternatif bir grout karışım dizaynının performans özelliklerini karşılaştırmışlardır. Her grout harç karışımı, harcın genel performansına göre optimum bir karışım tasarımı seçilebilmesi için ayrı ayrı standartlaştırılmış testlere

göre değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalarda, patentli grout harcın, diğer alanlardaki performanstan ödün vermeden çok akışkan bir harç karışım sağladığını, geleneksel grout harç karışım tasarımının da patentli grout harç tasarımına çok benzer performans sonuçları gösterdiği, böylece uygun düşük maliyetli bir seçenek sunduğu gözlemlenmiştir [21].

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Grout Harcı

Grout harcı, beton ve kompozit yapıların rehabilitasyonu için ideal malzemelerdir. Ayrıca, harçlar hem karada hem de denizde tünel açma, zemin stabilizasyonu ve temel teknolojileri için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Grout harçları, genel olarak kullanılan bağlayıcıların türüne göre tanımlanan çimento esaslı ve kimyasal groutlar olmak üzere iki çeşide ayrılır. Kimyasal groutlar, epoksi poliüretan ve polimer esaslı harçlardır. Genellikle çevresel üstünlüğe uyumlu olmasından dolayı çimento esaslı grout harçlar tercih edilir. İnce çimento esaslı grout harçları, daha kaba olan Portland çimento esaslı grout harçlarına göre üstün geçirgenlik, mukavemet özelliklerinden dolayı ve daha düşük maliyetli olmasından dolayı yapısal uygulamalar için en ideal grout harçlarıdır. Bu tip çimentolar, sadece birkaç mikronluk son derece küçük bir partikül boyutuna sahiptir. Bu da daha ince parçacıkların etkileşimi, nihai ürünün özelliklerini etkiler. Bu ultra ince çimentoların çoğu, fiziksel özellikleri bakımından geleneksel Portland çimentoları ile oldukça benzerdir. Kimyasal harçlarla karşılaştırıldığında, ultra ince çimento harçları ekonomik ve verimli bir alternatif sunar. Ultra ince çimento esaslı grout harçlarında, mikrosilika, uçucu kül, metakaolin gibi puzzolanik malzemeler, çimento ile kısmen yer değiştiğinde maliyet avantajı kısmen daha da artabilir. Bununla birlikte, bu puzzolanik malzemelerin dahil edilmeleri çeşitli özellikleri etkileyebilir. Ayrıca, uygun özelliklerin elde edilmesi için bazen yüksek oranda su azaltıcı katkılar gereklidir [22].

2.1.1. Grout Harçların Kullanıma Hazırlanması

Grout harçların hazırlanması için kullanılan ekipman ve yöntemler, harç üzerinde gerçekleştirilen birçok testin sonuçlarını etkileyebilir. Testlerin koşulları, sonuçların saha durumlarına uygulanabilirliğini de etkileyebilir.



Şekil 2.1. Grout harçların laboratuvar ve saha ortamında karıştırılması [23]

Laboratuvar karıştırıcısı ve saha karıştırıcısı, eşdeğer karıştırmayı başaramayabilir. Spesifik bir akış için su içeriği, yığının boyutu kadar karıştırıcı boyutundan dolayı da saha karıştırıcısından laboratuvar karıştırıcısı kullanıldığında farklı olabilir [24].

2.1.2. Grout Harçların Yerleştirilmesi

Grout harcın plastik haldeyken işlenebilirliği, harcın bir taban plakasının altına yerleştirilmesine izin vermeye yeterli olmalıdır. Bu özellik, öncelikle grout harcın kıvamı ve zamanla bu akış özelliklerini akma ve sürdürme yeteneği ile ilgilidir. Örneğin, nispeten sert bir harcın, bir taban plakasının altına yerleştirmeye yardımcı olması için şişleme gerektirebilir, ancak harç uzun bir çalışma süresine sahipse yine de yerleştirilebilir. Öte yandan, akışkan bir harç hızla priz alabilir, ancak tam olarak yerleştirilmesi sadece kısa bir süre gerektirir. Bu harçların her ikisi de kabul edilebilir yerleştirilebilirliğe sahip olabilir [24].



Şekil 2.2. Grout harçların yerleştirilmesi [15]

2.1.3. Grout Harçların Taze Hal Özellikleri

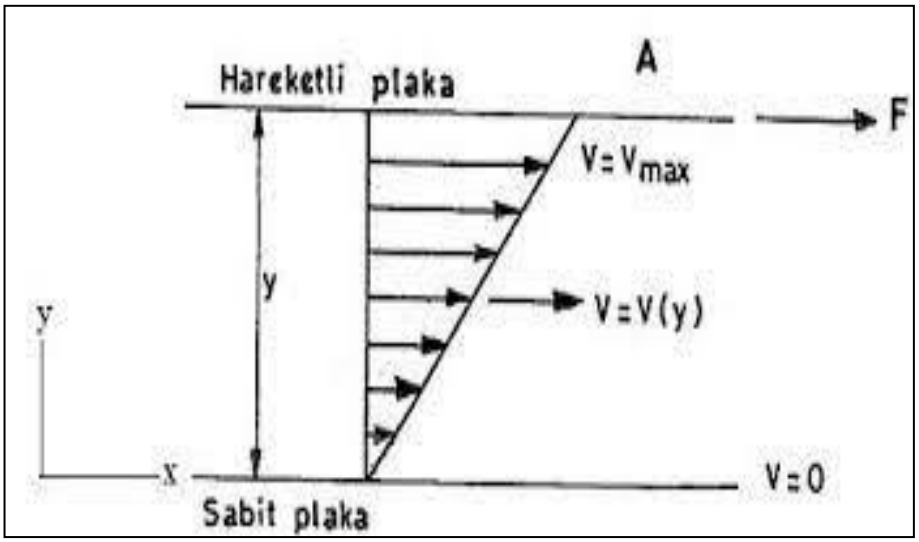
Grout harcın tüm bileşenleri iyice karıştırıldıktan sonra, taze grout harcın akışkan formu alabilmesi için oldukça homojen dağılması gereklidir. Oldukça kompleks bir sistem olan grout harcın taze haldeki özellikleri birçok faktöre bağlıdır. Grout bileşenlerin içinde yer alan farklı agrega, çimento, su, katkı maddeleri, grout harcın işlenebilirlik özelliklerini birçok açıdan etkilemesine yol açar [17].

2.1.3.1. Kıvamlılık

Kıvamlılık grout harcının akma yeteneği olarak bilinir. Grout harcı, uygulamaya ve istenen işlenebilirliğe bağlı olarak suya yakın veya çok ince boya kıvamından neredeyse kalın sert harç veya tiksotropik kıvama kadar değişebilir [25].

2.1.3.2. Viskozite

Viskozite, akışkanın akmaya karşı gösterdiği iç direnç olarak tarif edilir. Grout harcı sıvı formda olduğunda, viskozite önemli bir özelliktir. Grout harcı katı formda olduğunda, maddenin sertliğini gösteren elastik modül ile karakterize edilir. Grout harcı sıvı ve katı form aralığında olduğunda, özelliği viskoelastik ile tarif edilir [25].



Şekil 2.3. İki plaka arasındaki sıvının laminer kayması [26]

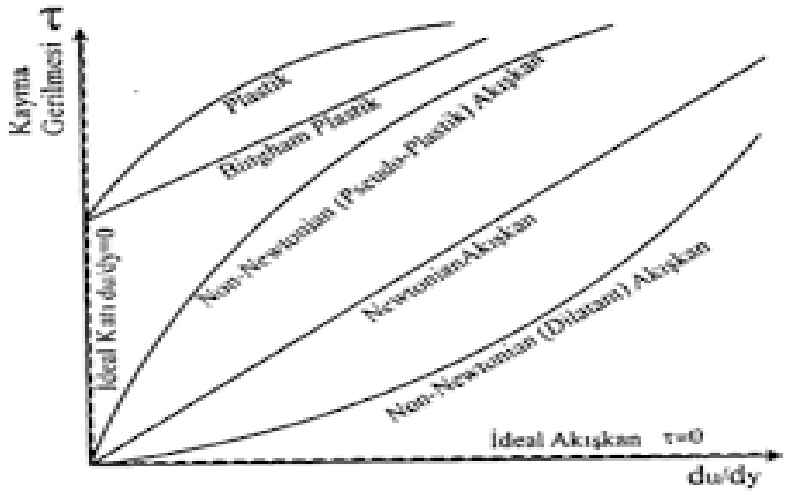
Viskozite, iki paralel tabakanın arasındaki akışkanın laminer kayması dikkate alınarak tanımlanır (Şekil 2.3). Paralel plakalar arasında düzgün akışkan akışı için katmanlar arasındaki kayma gerilimi hız gradyanı ile orantılıdır [27]. Bu durum denklem (1.1) ile ifade edilmiştir:

$$r = \eta\left(\frac{dv}{dx}\right) \tag{1.1}$$

Burda; τ kayma gerilmesi, η vizkozite katsayısı, and dv/dx is hız gradyenti

Akışkanlar, akış davranışlarına göre iki tipe ayrılır. Bunlar Newton ve Newton olmayan akışkanlardır. Su, gerilmenin gerinim oranıyla doğru orantılı olduğu Newton tipi bir sıvıdır. Şekil 2-4, Newton akışkanlarının kesme gerilimi davranışını göstermektedir. Şekil 2-4'teki kesme gerilimi-kayma hızı eğrisinin eğimi, sıvıların viskozitesini temsil eder. Kayma gerilimi (τ) ve kayma hızı (γ) arasındaki tipik bir ilişki Denklem (1.2) ile gösterilmiştir

$$\tau = \eta\gamma \tag{1.2}$$



Şekil 2.4. Akışkanların kayma gerilmesi ve kayma hızı arasındaki ilişki [25]

Newton tipi olmayan bir akışkan ise lineer olmayan bir davranış sergiler. Newtonian olmayan akışkanlar, kayma hızındaki değişikliklere tepki olarak akışkanın viskozitesindeki değişime dayanan davranış tipine göre sınıflandırılır. Üç ana akış davranışı türü şunlardır: Bingham plastik, dilatant ve psödoplastik [28]. Bingham sıvıları statik koşullar altında katı gibi davranır ve akışı indüklemek için Kayma Gerilimi Kayma Hızı Dilatant Newtonian Bingham plastik Sözde plastik "akma gerilimi" olarak da bilinen belirli bir miktarda gerilime ihtiyaç duyar. Bu tip davranış Bingham modelindeki denklem (1.3) ile ifade edilir.

$$\tau = \tau o + \eta\gamma \qquad (1.3)$$

Burda; τ, kayma gerilmesi, τ_0, eşik kayma gerilmesi, η, viskozite ve γ, kayma hızı [28].

Dilatant akışkanlar, Şekil 2-4'te gösterildiği gibi, kayma hızı arttıkça viskozitenin arttığı akışkanlardır. Psödoplastik akışkanlar ise kayma hızının artmasıyla viskozitede azalma gösterirler. Bazı akışkanlar ayrıca sabit kesme hızının etkisi altında zamanla viskozitede değişiklik gösterirler. Newtonian akışkanların viskozitesi zamanla değişmez. Newtonian olmayan akışkanlar ise viskozitede zamanla bir değişiklik gösterir. Bu nedenle bu akışkanların viskozitesine dinamik viskozite denir. Viskozitedeki değişimin doğasına bağlı olarak, akışkanlar iki

kategoriye ayrılır: tiksotropik ve reopektik [27]. Tiksotropik sıvıların viskozitesi, stres uygulandığında zamanla azalır. Reopektik bir sıvının viskozitesi, stres uygulandıkça zamanla artar [28].

Çoğu çimento esaslı grout harçları, akıcı hale getirmek için belirli bir akma gerilimi veya kohezyon büyüklüğü gerektirdiğinden Newton olmayan bir akış davranışı sergiler. Bu çimento esaslı harçlar, kayma gerilimi arttıkça viskoziteleri azaldıkça psödoplastik akışkanlar olarak kategorize edilebilir. Hareketi başlatmak için bir miktar pozitif gerilime ihtiyaç duyduklarından, tiksotropik psödoplastik akışkanlar olarak da kabul edilirler [26].

Bir grout harcın reolojik özellikleri çeşitli faktörlerden etkilendiğinden, akış özelliklerini değerlendirmek için harçların viskozite özelliklerini ölçmek önemlidir. Bu test kapsamlı bir test prosedürü ve pahalı bir kurulum gerektirdiğinden, bu testin sahada yapılması tavsiye edilmez. Bunun yerine, harcın viskozite ve akışkanlık özellikleri arasındaki bir ilişki, gerektiğinde test kuruluşları veya üreticiler tarafından belirlenebilir. Kataria çalışmasında hem viskozite hem de akışkanlık özelliklerini değerlendirmek ve ikisi arasında bir korelasyon olup olmadığını incelemek için testler yapmıştır [26].

2.1.3.3. Akışkanlık

Akışkan madde, stres uygulandığında şeklini değiştiren bir maddedir. Akışkanlar, bölüm 2.2.2'de tartışıldığı gibi akış özelliklerine göre iki tipe ayrılır.

Newtonian akışkanlar, gerilimin gerinim hızıyla doğru orantılı olduğu akışkanlardır. Newton tipi olmayan akışkanlar, gerilme hızına kayma geriliminin doğrusal olmayan davranışını gösterir ve bu tür akışkanları bir kanaldan pompalamak için pozitif bir basıncın gerekli olması nedeniyle daha yüksek viskozitelere sahiptir [25].

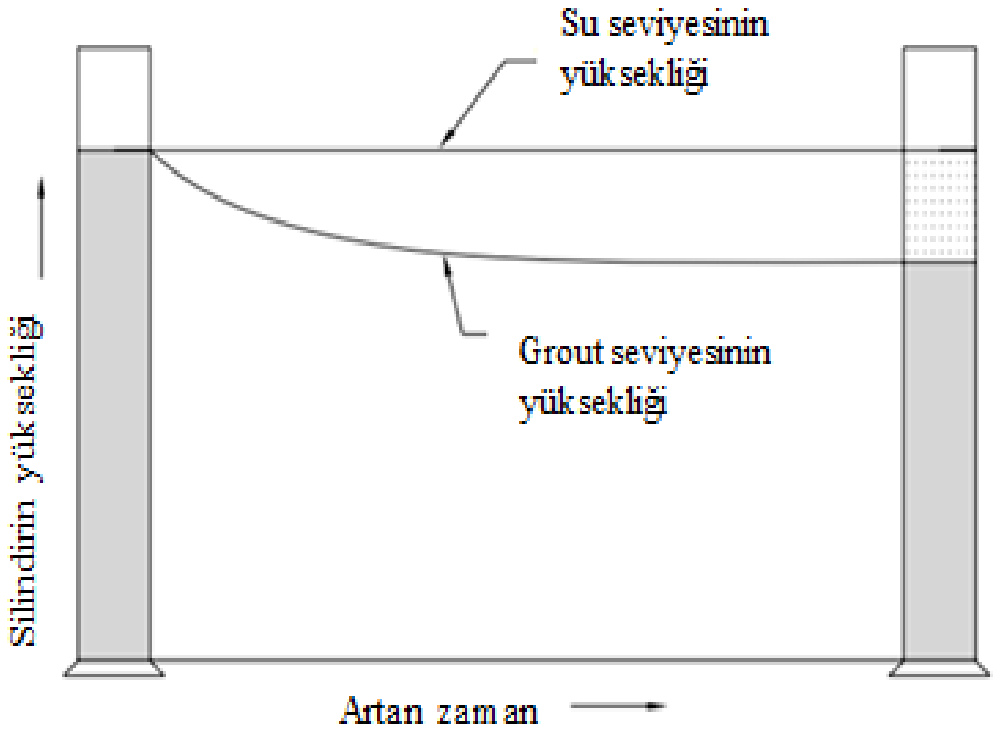
Grout harç akışkanlığı, harç karışımının ne kadar akışkan olduğunun bir ölçüsüdür ve harcın akışkanlığının bir ölçüsüdür. Bir harcın viskozitesi ile ters orantılıdır. Bu harç özelliği, kirişlerin doldurabilirliğini etkilediği için diğer özelliklere kıyasla önemli kabul edilir [29].

2.1.3.4. Hareket Etme Kabiliyeti

Hareket kabiliyeti, malzemenin dağıtım sisteminden geçerek istenilen boşluklara geçme özelliğini gösteren en önemli özelliktir. Bazı kalın ve çökme yapan grout harçları bile daha yüksek hareket kabiliyetine sahip olabilir. En yaygın olarak slump (çökme) testi grout harçlarının işlenebilirliği ve hareket kabiliyeti kontrol etmek için kullanılır [25].

2.1.3.5. Terleme

Grout harç karışımındaki fazla su, üst yüzeye yükselebilir ve bir temiz su tabakası oluşturabilir - bu olaya terleme denir. Sedimantasyon ve konsolidasyon nedeniyle, taze bir harç karışımındaki katı parçacıklar aşağı doğru hareket etme eğilimindeyken, daha hafif fazlar (sıvılar) yukarı doğru hareket etme eğilimindedir. Akan suyun ayrılması, derz kütlesinin toplam hacmini etkiler, öyle ki taze harcın yoğunluğu, sertleşmiş malzemenin yoğunluğundan çok daha yüksektir [17].



Şekil 2.5. Dereceli silindirde tipik bir terleme tayini işleminin çizimi (ASTM C940) [26]

2.1.4. Sertleşmiş Grout Harç Özellikleri

Hidratasyon işlemi boyunca, sıvı grout harç sistemi katı bir kütle halinde sertleşir. Çimento esaslı malzemeler kullanım ömürleri boyunca dayanım kazanmaya devam etseler de 28 günden sonraki dayanım genellikle tam dayanım veya %100 dayanım olarak kabul edilir [17].

2.1.4.1. Dayanım

Kür yaşı, su/çimento oranı, kür koşulları, çimento özellikleri, agrega katkıları ve diğerleri gibi birçok farklı faktörün basınç dayanımını ve dayanım gelişimini etkilediği bilinmektedir. Dökümden sonraki ilk günler ve erken dönemdeki kür koşulları, grout malzemesinin uygun dayanım gelişimi için çok önemlidir. Dış yüzeylerde erken kurumayı önlemek için, çimento esaslı malzemeler, tam hidratasyon sürecini karşılamak ve genellikle çatlamaya yol açan erken büzülmeyi önlemek için neme ihtiyaç duyar [17].

Grout harcın mukavemeti, tüm yükleri temele aktarmak için yeterli olmalıdır. Basınç yükleri öncelikle makinenin ağırlığından kaynaklanır. Bununla birlikte, ankraj cıvatası ön gerilimi ve ekipmanın çalışmasından kaynaklanan statik ve dinamik kuvvetlerden de kaynaklanabilirler. Tipik olarak, 28 günlük hidrolik çimento grout harçlarının basınç dayanımları 5000 ile 8000 psi (35 ve 55 MPa) arasındadır. Hidrolik çimento grout harcın çeliğe yapışma mukavemeti nispeten düşük olduğundan, grout harcı genellikle çekme yüklerini temele aktarmak için kullanılmaz. Çoğu hidrolik çimento grout harçlarının basınç dayanımı, geleneksel betondan daha hızlı gelişir. Hidrolik çimento grout harçlarının kullanıldığı çoğu kurulum için, tasarım mukavemet gereksinimlerine ve harcın mukavemet kazanma özelliklerine bağlı olarak ekipman 2 ila 4 gün içinde hizmete alınabilir. Ancak yüksek rulman yükleri bekleniyorsa daha uzun bekleme süreleri gerekir [24].

2.1.4.2. Kuruma Büzülmesi (Rötresi)

İlk priz alma ve sertleşmeden sonra bile, harç matrisinin su içeriği değişir ve buharlaşma nedeniyle genellikle zamanla azalır. Hidratasyon işleminde tüketilmeyen su kuruduğu için malzeme büzülür. İki (2) tür büzülme mevcuttur; içe doğru büzülme, iç boşlukların kuruması veya yeni hava boşluklarının oluşması sürecidir ve dışa doğru büzülme, dış boyutların küçülmesine yol açan tüm malzemenin büzülmesidir [30]. Grout harcın belirli bir hacmi doldurması gerekiyorsa, büzülme oldukça kritik olabilir. Hacim kaybı, prefabrik elemanlar ve harç malzemesi arasında artan hava boşluklarına yol açar. Piyasada farklı "büzülmeyen harçlar" mevcuttur [17].

Kuruma rötresi genellikle %0.05 mertebesinde iken, harçta oturma rötresi genellikle %1.0 mertebesindedir. Çoğu grout türü için, genleşen çimento esaslı grout harçları sıcaklık, su içeriği ve kür yönteminden etkilenebilir. Genel olarak, makine tabanları için kullanılmak üzere, genleşmeli çimento harçları, oturma büzülmesini yeterince küçük bir değerle sınırlamak için kalınlaştırıcı maddeler gibi başka mekanizmalar kullanır; bunun üstesinden gelmek için gereken etrenjit oluşumunun sertleşmiş harcın bozulmasına neden olmaması gerekir [24].

2.1.4.3. Boyutsal Stabilite

Gaz oluşumunda, bir veya daha fazla gaz oluşturmak için taze grout harcı içindeki bileşenlerle reaksiyona giren çeşitli katkı maddeleri mevcuttur. Gaz oluşumu, grout harcın plastik iken hacminin artmasına neden olur. Genleşme, gaz serbest bırakma kapasitesi tükendiğinde veya harç, genleşmeyi sınırlamak için yeterince sertleştiğinde durur. Kullanılan en yaygın gaz üreten malzeme, hidrojen salan alüminyum tozudur. Uygun katkı maddesi dozajı kullanılırsa, oturma büzülmesine karşı koyacak ve harcın taban plakası ile temas halinde sertleşmesini sağlayacaktır. İstenen genişleme, oturma büzülmesine karşı koymak için gerekenden biraz daha fazladır. Grout harcı düşey olarak sınırlandırıldığından, oturma rötresini aşan genleşme harcı yanal olarak hareket ettirir. Gaz üretmek için alüminyum tozu kullanıldığında, bir partiye eklenen miktar küçüktür. Bu nedenle, karışımda homojen bir dağılım elde etmek için, alüminyum tozunun kuru çimento ile önceden

karıştırılması veya ticari, önceden karıştırılmış bir harç kullanılması gerekebilir. Gaz oluşum hızı, harcın sıcaklığından etkilenir. Harcın toplam genleşmesi sıcaklıktan, karıştırılmış grout harcın çözünür alkali içeriğinden ve grout harcın sertleşme oranından etkilenir. Mukavemeti geliştirirken grout harcın sağladığı kısıtlama, genleşme miktarını sınırlar.

Hava çıkışında, havayı serbest bırakmak için su ile reaksiyona giren çeşitli katkı maddeleri mevcuttur. Serbest bırakılan hava, grout harcın plastikken hacminin artmasına neden olur. Havayı serbest bırakma kapasitesi tükendiğinde veya harç, genleşmeyi sınırlamak için yeterince sertleştiğinde genleşme durur. Kullanılan en yaygın hava salan malzeme ince bir karbondur. Uygun dozaj kullanılırsa, oturma büzülmesine karşı koyacak ve harcın taban plakası ile temas halinde sertleşmesini sağlayacaktır. İstenen genişleme, oturma büzülmesine karşı koymak için gerekenden biraz daha fazladır. Derz dikey olarak sınırlandırıldığından, oturma rötresini aşan genleşme harcı yanal olarak hareket ettirir. Gaz üreten harçların aksine, çok daha yüksek oranda katkı kullanıldığından, ince karbon esaslı harçların karıştırılması için özel yöntemlere gerek yoktur. İnce karbon katkıları, alüminyum tozundan sıcaklığa daha az duyarlıdır ve karışımın kimyasına karşı duyarsızdır.

Metal oksidasyonunda , metal parçacıklarının ve anoksidanın eklenmesi, oturma büzülmesini engellemez, ancak sertleştirilmiş durumda hacimde telafi edici bir artışa neden olacak şekilde tasarlanmıştır. Genleşme, oksidasyon ürünlerinin metal parçacıklardan daha büyük bir hacme sahip olması nedeniyle oluşur. Reaksiyon, suyun eklenmesinden sonra başlar ve sert dikey sınırlama, çimento matrisinin sertleşmesi ve mukavemet gelişimi ve azalan nem ve oksijen kaynağının birleşimi nedeniyle genişleme kademeli olarak durur. Bu mekanizmayı kullanan makine bazlı harçlar genellikle önceden karıştırılır, bu da orantılama hatası olasılığını azaltır. Bu tür orantılama hataları genişleme oranını etkileyebilir. Ayrıca, bu mekanizmayı kullanan derzler yalnızca sert cıvatalı kapatma altında kullanılmalıdır. Açıkta kalan omuzlar gibi sınırlandırılmamış alanlar parçalanacaktır. Bununla birlikte, bu tür bir sınırlama altında tam mukavemet elde edildiğinde, neme maruz kalma ek genleşmeye neden olmaz Ekipman taban plakası, ekipmanın

hizalanmasının bozulmaması için, harcın genleşmesiyle tabana uygulanan kuvvete dayanacak şekilde sert olmalıdır. etkilenir. Bu derzler, türbinler veya kompresörler gibi termal harekete maruz kalan ekipmanların derzlenmesi için kullanılmamalı veya oksitlenmenin aşındırıcı potansiyeli nedeniyle ardgermeli veya öngerilmeli kablolar, çubuklar veya cıvatalarla temas edecek şekilde yerleştirilmemelidir.

Etrenjt oluşumu, harçta genleşen çimentoların kullanılması, plastik ve sertleştirilmiş hallerde genleşen etrenjit oluşumuna neden olacaktır. Düzgün formüle edilirse, ortaya çıkan genleşme büzülmeyi telafi edecek ve dolgu altındaki harçta küçük basınç gerilmelerinin gelişmesine neden olabilir. Standart genleşen çimentolar, döşeme plakalarındaki kuruma büzülmesini telafi etmek için formüle edilmiştir.

Diğer mekanizmalar -Bazı önceden karıştırılmış makine bazlı harçlar, oturma büzülmesini telafi etmek için tescilli mekanizmalara dayanmaktadır. Birkaç önceden karıştırılmış harç, su azaltıcılar, hidrolik çimento kombinasyonları, kalınlaştırıcı maddeler veya her ikisini kullanarak büzülmeyi en aza indirir veya ortadan kaldırır [24].

Çevre sıcaklığı, nem gibi çeşitli fiziksel faktörler ve karbonatlaşma büzülmesi, sülfat atağı ve alkali-agrega reaksiyonları gibi kimyasal faktörler, sertleştirilmiş grout numunelerinin boyutsal stabilitesini etkiler [31].

2.1.5. Grout Harçların Durabilitesi

Mukavemet, çimento esaslı malzemeler için en önemli özelliklerden biri olmakla birlikte, kimyasal direnç ve mekanik olmayan saldırılara tepki, hizmet ömrü düşünüldüğünde daha kritik olabilir. Sülfatlar, deniz suyu, asitler ve alkali-silika reaksiyonları, sonuçta malzemenin fiziksel performansını etkilediği için harç malzemelerine zararlı kimyasal saldırılardır. Ayrıca don ve yanma fiziksel özellikler üzerinde olumsuz etkilerle harç yapısına zarar verme eğiliminde olan termal etkilerdir. Genel olarak, harç malzemesinin dayanıklılığını azaltan için üç (3) ana taşıma mekanizması vardır – geçirgenlik (basınç farkı), difüzyon (konsantrasyon gradyanı altında hareket) ve absorpsiyon (kılcal çekim). Bununla birlikte, büzülmeyen grout harcı malzemesi, harcın dayanıklılığını azaltan çevresel etkilerden kaçınan yüksek düzeyde tam doldurulmuş kaplamalar sağlayabilir [32].

2.1.6.Grout Harç Uygulamaları

a) Ön gerilmeli betona kirişlerin grout harç ile enjeksiyonu gibi yapısal uygulamalar
b) Çeşitli yapı türleri için grout harçlı bağlantılar ve grout harçlı onarımlar
c) Yeraltı suyu kontrolü ve zemin mukavemeti için jeoteknik grout malzemesi uygulamaları
d) Yerleşmenin kontrolü için telafi enjeksiyonu ve döşeme krikosu
e) Tünel inşaatı sırasında kalan boşlukları doldurmak ve böylece kaplama üzerindeki gerilme dağılımını iyileştirmek için
f) Radyoaktif ve toksik atıkların kapsüllenmesi / sabitlenmesi ve kirlilik kontrolünün diğer birçok yönünd
g) Kirletici maddelerin yerinde stabilizasyonu vb.

Bu uygulamalar, yapısal, jeoteknik, kimya ve çevre mühendisliği dahil olmak üzere birçok farklı mühendislik disiplinini içerir. Her çimento esaslı grout harç uygulaması, kendi şartname formunu ve test prosedlerini geliştirme eğiliminde olmuştur [6].



Şekil 2.6. Grout harç uygulamaları [33]

2.2. Kürleme Süreci

Kürleme, çimentonun hidratasyonunu devam ettirmek için kullanılan prosedüre denir. Çimento esaslı malzemelerin içindeki sıcaklık ve nem hareketinden oluşur. Kür, çimentonun sürekli hidratasyonuna izin verir, kürleme durduğunda ise çimento esaslı malzemenin dayanım kazancı da durur. Uygun nem koşulları kritiktir çünkü çimentonun hidratasyonu, kılcal damarlardaki bağıl nem %80'in altına düştüğünde neredeyse durur [34]. Yetersiz su ile hidratasyon ilerlemez ve ortaya çıkan malzeme (beton, çimento esaslı kompozit, vb.) istenilen dayanıma ve geçirimsizliğe sahip olmayabilir. Yakın yüzeyde oluşan sürekli gözenek yapısı, zararlı maddelerin girişine izin verebilir ve çeşitli dayanıklılık problemlerine neden olabilir. Ayrıca çimento esaslı malzemenin erken kuruması nedeniyle malzeme yüzeyinde mikro çatlaklar veya rötre çatlakları gelişir [35].

Çimento esaslı malzeme, çevre etkilerine maruz kaldığında suyun buharlaşması meydana gelir ve nem kaybı başlangıçtaki su çimento oranını düşürür ve bu da çimentonun eksik hidratasyonuna ve dolayısıyla betonun kalitesinin düşmesine neden olur. Rüzgar hızı, bağıl nem, atmosfer sıcaklığı, karışımın su çimento oranı ve karışımda kullanılan çimentonun türü gibi çeşitli faktörler betonun kürünü

etkileyecektir. İlk aşamada buharlaşma plastik rötre çatlamasına, prizin son aşamasında ise kuruma rötresi çatlamasına yol açar. Kür sıcaklığı, mukavemet gelişme oranını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Normal portland çimentosu, yüksek sıcaklıkta, termal olarak uyumsuz iki bileşen, çimento macunu ve agrega arasındaki çatlakların oluşması nedeniyle gücünü kaybeder. Yüksek sıcaklıkta kürlendiğinde, normalde üretilen ve daha düşük sıcaklıkta kürlenen çimento esaslı malzemeden daha yüksek erken dayanım geliştirir, ancak dayanım genellikle 28 gün ve sonraki aşamada düşer [34]. Termal çatlamayı önlemek için beton bölüm boyunca tek tip bir sıcaklık korunmalıdır. Laboratuvar testleri, kuru ortamdaki malzemenin, nemle kürlenen benzer çimento esaslı kompozite kıyasla potansiyel dayanımının yüzde 50'sini kaybedebileceğini göstermektedir. Çimento esaslı malzemelerin kürlenmesi aynı zamanda nemli kürlenme periyodu tarafından da yönetilir, çimento partiküllerinin hidratasyonunun devam edeceği varsayılırsa, nemli kürlenme süresi ne kadar uzun olursa betonun mukavemeti o kadar yüksek olur. Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) Komitesi 301-10 [36], belirtilen basınç dayanımının %70'ine ulaşan betona karşılık gelen minimum kürlenme süresi önermektedir

Kürlemenin, sertleşmiş betonun özellikleri üzerinde güçlü bir etkisi vardır; uygun kürleme, dayanıklılığı, mukavemeti, hacim stabilitesini, aşınma direncini, geçirimsizliği ve donma ve çözülmeye karşı direnci artıracaktır. “Kürleme teknikleri ve kür süresi, kürleme verimliliğini önemli ölçüde etkiler” Çeşitli yerinde kürleme yöntemleri ile çeşitli derecelerde verim elde edilebilir. Çimento esaslı malzmenin kür yönteminin etkinliği, kullanılan malzemeye, yapım yöntemine ve sertleşmiş betonun kullanım amacına bağlıdır [36].

Uygun kürlemenin avantajları şunları içerir; daha az geçirgen, daha fazla su geçirmez malzeme; azaltılmış geçirgenlik, çimento esaslı malzemelerin donmaya, tuz pullaşmasına ve kimyasalların saldırılarına karşı daha dayanıklı olacağı anlamına gelir, hızlı yüzey kurumasının neden olduğu plastik rötre çatlaklarının oluşumunu engeller, yüzey harcı daha yüksek bir dayanıma sahip olacağından, aşınma direncini arttırır. Kürleme, bitirme işleminden hemen sonra başlamalıdır. Çimento esaslı malzeme yüzeyinden hızlı buharlaşmayı önlemek için özellikle sıcak ve/veya kuru havalarda minimum gecikme önemlidir. Çimento esaslı malzemenin kürlenmesinin

faydaları ve kürlemenin yukarıda ayrıntılı olarak anlatıldığı gibi yapılmaması durumunda ortaya çıkabilecek sorunlar önemlidir [37].

Çimento esaslı kompozitlerin (beton, vb.) kürlenmeye başlama zamanı, çimento esaslı malzemelerin nemin buharlaşma hızına bağlıdır. Buharlaşma hızı rüzgardan, güneş ışığından yayılan enerjiden, çimento esaslı malzemelerin sıcaklığından, iklim koşullarından, bağıl nemden etkilenir. Nemin buharlaşması, çimentp esaslı malzemenin yüzeyindeki ve çevreleyen havadaki buhar basıncındaki farktan kaynaklanır. Fark yüksek olduğunda buharlaşma oranı yüksektir. Kür süresi çimento esaslı malzemelerin gerektirdiği özelliklere, kullanım amacına ve ortam koşullarına, yani çevredeki atmosferin sıcaklığına ve bağıl nemine bağlı olabilir. Kürleme çeşitli şekillerde uygulanabilir ve çoğu kürlemenin en uygun yolu saha veya inşaat yöntemi tarafından belirlenir [38]. Hiçbir durumda çimento esaslı malzemelerin hızlı kurumasına izin verilmemelidir. Bu durum 24 saat korunmalıdır. En iyi yöntem malzemeyi ıslak çuvallar altında 24 saat bekletmek ve daha sonra havuzlama veya püskürtme yoluyla suya başlamaktır. Kürlenme süresi farklı yapılara, durumlara, farklı atmosferik koşullara göre değişir; kullanılan çimento türü ve derecesi ve karışım oranı, vb. Genel olarak, sıradan Portland çimentosu kullanılıyorsa, kompozit en az yedi gün süreyle kürlenmelidir. Hızlı sertleşen çimento kullanılırsa süre biraz kısaltılabilir. Düşük ısılı çimento kullanılırsa kürlenme 21 güne kadar uzayabilir. Soğuk hava bölgelerinde küre uzun süre devam edilmelidir [39].

Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) 301 [40] minimum kürlenme süresinin, belirtilen basınç dayanımının %70'ini elde etmek için gereken süre olmasını önerir.

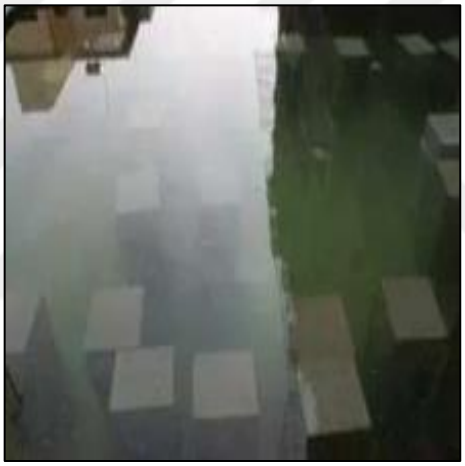
2.2.1. Kürleme Yöntemleri

Su kürü yapısal alanlarda en yaygın olarak kullanılan methodtur. Su kürünün amacı yapısal elemanlarda suyu tutarak çimentonun hidratasyon için gerekli nemi hapsetmektir. ACI 301 [40]. Geleneksel kürleme yöntemleri, amaçlarına hizmet eder ancak çoğu zaman tüm yapısal elemanları kürlemek için önemli miktarda su gerektirir.

Membran oluşturan kürleme bileşiklerinin dayanıklılığı arttırdığı bilinmektedir, ancak bunların basınç dayanımı gelişimi üzerindeki etkileri, kürleme bileşiğinin tipine bağlı olarak değişebilir. Kürleme bileşikleri, hidratasyon reaksiyonunun ilerlemesine ve mukavemet gelişiminin devam etmesine izin veren nem kaybını önlemek için bir zar sağlar. ASTM C309 [41] iki tip kürleme bileşiğine atıfta bulunur, boya içerebilen veya içermeyebilen berrak bileşikler ve beyaz pigmentli bileşikler. Xue et al. [42] akrilik esaslı, parafin esaslı, silikat esaslı veya kompozit esaslı kullanılarak kürlenen çimento esaslı numunelerinin hepsinin daha düşük kuruma büzülmesi ve geçirgenlik gösterdiğini belirtmiştir. Membran oluşturan kürleme bileşikleri ayrıca gelişmiş bir basınç mukavemeti, eğilme mukavemeti ve çatlama direnci ile sonuçlanmıştır. Araştırmacılar, akrilik esaslı kür bileşiklerinin, geliştirilmiş dayanıklılık ve mekanik özellikler açısından çalışmalarına dahil edilen diğer bileşiklerden daha iyi performans gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Ancak Saarthak ve ark. [43], basınç dayanımının kullanılan kürleme bileşiğinin tipine duyarlı olmadığı sonucuna varmıştır. İbrahim ve ark.[44], kür bileşikleri kullanıldığında, çimento esaslı malzemenin dayanıklılığının ve mukavemetinin, tipik su bazlı yöntem kullanılarak kürlenen harç numuneleriyle aynı veya daha iyi olduğu sonucuna varmıştır. Araştırmacılar, kür yönteminin dayanıklılık üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu ancak çimento esaslı malzemenin basınç dayanımı üzerinde sınırlı bir etkiye sahip olduğunu savunmuşlardır. Yaş ve ark. [45], membran oluşturan kür bileşiklerinin, oda sıcaklığında havaya maruz bırakılarak kürlenen çimento esaslı harçtan veya ıslak pamuklu mat çuval altında harçtan %80 ila %90 daha iyi dayanım ve dayanıklılık özelliklerine sahip harç ürettiğini savunmuştur. Aksine, Al-Gahtani [46], ıslak çuval altında kürlenen çimento esaslı harçların 28 günlük basınç dayanımlarının, akrilik bazlı veya su bazlı kür bileşikleri kullanılarak kürlenen çimento esaslı harçlardan daha yüksek olduğunu gözlemlemiştir.

2.2.1.1. Sürekli Su Kürü

Belirli bir süre boyunca sürekli kürlemede, çimento esaslı malzemelerin yüzeyi artık hasara uğramayacağı bir durum arzu edilir. Bu koşullar, sürekli püskürtme veya çimento esaslı malzemelerin ıslak çuvalla kaplanmasıyla elde edilebilir. Bazen en az pratik gibi gözükse de çimento esaslı malzemeleri kürlemek için muhtemelen en iyi yöntem, yerleştirmeden sonraki ilk hafta boyunca yüzeyi sürekli su ile doldurmaktır. Ancak, çimento esaslı malzemelerin ıslatmalar arasında kurursa, bu alternatif ıslanma ve kuruma aslında çimento esaslı malzemeleri zarar verebilir. Suyla kürleme yapılırken püskürtücü en az bir hafta sürekli olarak çalıştırılmalıdır. Eğimli veya dikey yüzeylerde ıslatma hortumları kullanılabilir. Eğer su/çimento oranı düşükse, sürekli ıslak kürleme oldukça arzu edilen bir durumdur [47].



Şekil 2.7. Su kürü uygulaması örneği [47]

2.2.1.2. Havuzlama ve Daldırma

Kaldırımlar ve zeminler gibi düz yüzeylerde beton, göllenerek kürlenebilir. Beton yüzeyin etrafındaki toprak veya kum setleri bir su birikintisini tutabilir. Havuzlama, betondan nem kaybını önlemek için ideal bir yöntemdir; betonda homojen bir sıcaklığın korunmasında da etkilidir. Çatlamaya neden olabilecek termal gerilmeleri önlemek için kür suyunun betondan yaklaşık 11°C (20°F) daha soğuk olmaması gerekir. Bu yöntem, laboratuvarda beton test numunelerinin kürlenmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır [48].

*Havuzlama yöntemi: Büyük döşeme ve yol kaplamaları için uygundur. Levhanın üzerine killi topraktan küçük havuzlar hazırlanır ve su 28 gün boyunca 50

mm derinliğe kadar depolanır. Havuzlamada kullanılan su, iyi veya içilebilir kalitede olmalıdır (su içmeye uygun).

*Daldırma: Prekast elemanlar belirli bir süre kür tankına daldırılır. Suya daldırma, betonun su-çimento oranı düşük olduğunda özellikle önemlidir.



Şekil 2.8. Havuzlama kür yöntemi örneği [47]

2.2.1.3. Su Püskürtme

Bu, kürleme için en basit yöntemdir. Bu yöntemde, kalıp veya çerçeve/kalıp işi çıkarıldıktan sonra, her gün birkaç kez bir hortum veya kova ile çimento esaslı malzeme yüzeye su püskürtülür. Bu yöntem küçük işler için uygundur. Denetimde büyük özen ister ve çimento esaslı malzeme kurur kurumaz su püskürtülmelidir [38].



Şekil 2.9. Su püskürtmesi kürleme örneği [47]

2.2.1.4. Islak Kaplama

Çuval bezi, pamuklu hasır, kilim veya diğer nem tutucu kumaşlar gibi suya doymuş kumaş kaplamalar, kürleme için yaygın olarak kullanılır. Işığı yansıtan, çürümeye ve ateşe dayanıklı, işlenmiş çuval bezi mevcuttur. Çuval bezi gereksinimleri, Jüt veya Kenaf'tan yapılan Çuval Bezleri Şartnamesinde AASHTO M182 [49] ve beyaz çuval bezi-polietilen kaplama için olanlar ASTM C 171'de [50] açıklanmıştır.

Diğer bir kürleme yöntemine su bariyeri yöntemi denir. Kullanılan teknikler, çimento esaslı malzeme yüzeyinin üst üste binen polietilen kaplama ile kaplanmasını içerir. Sıcak havalarda güneş ışınımını yansıtma avantajına sahip olduğu için beyaz örtü tercih edilir.



Şekil 2.10. Islak kaplama kür uygulamaları [47]

2.2.1.5. Buhar Kürü

Buhar kürü, çimento esaslı kompozitte erken dayanım kazanımının önemli olduğu veya soğuk havalarda olduğu gibi hidratasyonu gerçekleştirmek için ek ısının gerekli olduğu durumlarda avantajlıdır. Prekast beton ürünlerde buhar kürü kullanılır. Buhar sayesinde bileşenler homojen olarak ısıtılır ve çok hızlı bir şekilde mukavemet elde edilir [38].

- Düşük basınçlı buhar kürü: Bu yöntemde buhar kürü atmosferik basınçta yapılır ve 28 günlük mukavemetin yaklaşık %70'i 16-24 saatte elde edilebilir. (Büyük prekast beton ünitelerinde for çevrelenmiş fore kazığı uygulamalarında)
- Yüksek basınçlı buhar kürü, otoklav: Bu yöntemde buhar kürü 800KN/m2 olan 8 atmosfer basınçta yapılır. (Küçük imal edilmiş birimlerde)

Hızlı kürleşmenin ana dezavantajı, sıcaklığın hızlı yükselmesinin dayanım kaybına neden olmasıdır. Yüksek basınç uygulaması ile bu zorluk en aza indirilir. Yüksek basınçlı buhar kürü, betona yüksek dayanıklılık sağlar. Tipik bir buharla kürleme çevrimi, buharlama öncesi bir başlangıç gecikmesinden, sıcaklığın arttırılması için bir süre, maksimum sıcaklığın sabit tutulması için bir süre ve sıcaklığın düşürülmesi için bir süreden oluşur. Atmosferik basınçta buharla kürleme genellikle nem ve ısı kayıplarını en aza indirmek için bir muhafaza içinde yapılır [51].



Şekil 2.11. Buhar kürü uygulaması [47]

2.2.1.6. Membran Formunda Kürleme Bileşikleri

Kürleme bileşiği, su kaybını geciktirmek ve pigmentli bileşikler söz konusu olduğunda ısıyı yansıtmak için yeni yerleştirilmiş betonun yüzeyine kaplama olarak uygulanabilen, betonun özelliklerini (istenilen sıcaklık ve uygun nem ortamı) bir şekilde geliştirmesine olanak sağlayan bir sıvıdır. Özellikle sıcak ve soğuk hava koşullarında bir kür malzemesinin uygulanmasıyla ısı ve nem kaybının kontrolü,

çimento esaslı malzemenin kalitesini artırmada yardımcı olur ve projenin erken tamamlanmasına izin verir. Beton uygulaması, bir kürleme bileşiğinin performansının, kür malzemelerinin özellikleri, tek veya çift katmanlı sprey gibi uygulama yöntemleri ve uygulama süresi ile yakından ilişkili olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, farklı kürleme bileşiklerinin etkinliğini ve bunların uygulama teknolojilerini araştırmak için sınırlı araştırma yapılmıştır.

Kürleme bileşikleri türleri:

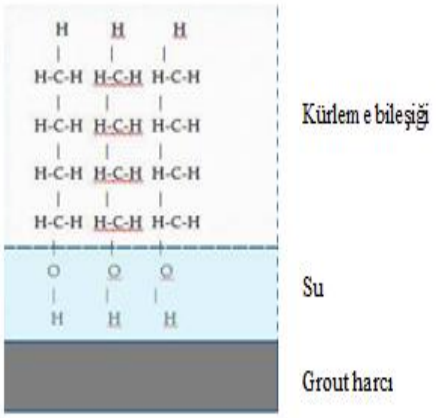
*Sentetik Reçine Esaslı Kürleme Bileşiği: Sentetik reçineler membran oluşturarak çimento esaslı malzemeyi sızdırmaz hale getirir. Sıvama sağlamak istersek membran sıcak su ile yıkanarak çıkartılabilir.

**Akrilik Esaslı Kürleme Bileşiği: Akrilik, akrilik asit polimerlerinden yapılır. Ayrıca çimento esaslı malzemeyi iyi bir şekilde sızdırmaz hale getirir. Sonraki sıvaya yapışma özelliği vardır. Sıvama sağlamak istersek akrilik yüzeyini sıcak su ile yıkamaya gerek yoktur.

**Balmumu Kürleme Bileşiği: Mum bileşimi reçine bileşimi ile benzer özelliklere sahiptir. Balmumu membranı zamanla etkinliğini kaybedecektir.

**Klorlu Kauçuk Kürleme Bileşiği: Klorlu kauçuk tipi kür malzemesi uygulandığında kalın bir tabaka oluşturacaktır. Çimento esaslı malzemeyi sıkıca kapatır ve bulunan çok küçük gözenekleri de doldurur. Ama film daha uzun süre kalamaz. Uzun vadede yıpranır [38].

Hidrofilik bir molekül veya bir molekülün bir kısmı, etkileşime girme eğilimindedir. veya su ile çözülebilir. Saf bir hidrokarbon molekülü, su ile hidrojen bağları oluşturamaz. Hidrojen bağları, bileşik molekülün etrafına bir su "kafesi" inşa edilerek kısmen yeniden yapılandırılır, "kafesi" oluşturan su molekülleri önemli ölçüde kısıtlı hareketliliğe sahiptir [52]



Şekil 2.12. Kürleme bileşiği çimento mekanizması [52]

Kür malzemesi, çimento esaslı harçlarda ıslak iken fırça veya püskürtme ile uygulanır. Kolon ve kirişlerde ise kalıp çıkarıldıktan sonra uygulama yapılır. Yatay yüzeyde, tüm akan suyun tamamen kaybolması üzerine kürleme bileşiği uygulanır. Püskürtme işleminden sonra, sürekli kürlenmeyi sağlamak için su veya başka bir malzeme uygulamasına gerek yoktur. Beton yüzey, yüzey yüklerini taşıyacak yeterli dayanıma ulaşana kadar bozulmamalıdır. Uygulanan film tamamen kurumadan üzerinde yürünmemeli ve filmin kırılmamasına özen gösterilmelidir. Yol ve kaldırımlarda, tekstür işleminden sonra kür malzemesi uygulanır. Beton yüzeyinin kuruması durumunda, kür malzemesi uygulanmadan önce yüzey su ile püskürtülmeli ve iyice ıslatılmalı ve tamamen nemlendirilmelidir. Kür maddesinin bulunduğu kap, kullanımdan önce iyice karıştırılmalıdır. Bileşik, yüzey suyu beton yüzeyinden kaybolur kaybolmaz, bir el veya elektrikli püskürtücü ile yüzeye tek kat halinde püskürtülür. Kuruması yaklaşık 10-15 dakika sürer ve yüzeyde ince bir su geçirmez film oluşturur. Bu kürleme bileşiğinin uygulaması Şekil 2.13 de gösterilmiştir. [48].



Şekil 2.13. Kürleme bileşiği ve uygulamaları [47]

2.2.1.7. İçsel Kürleme

ACI-308 [53] standartı, "içsel kürlemenin, karışım suyunun bir parçası olmayan ilave iç suyun mevcudiyeti nedeniyle çimentonun hidratasyonunun gerçekleştiği süreci ifade ettiğini" belirtir. Geleneksel olarak, betonun kürlenmesi, suyun yüzeyden kaybolmaması, yani kürlenmenin 'dışarıdan içeriye' gerçekleşmesi için koşulların yaratılması anlamına gelir. Buna karşılık, 'içsel kürleme', dahili rezervuarlar (doymuş hafif ince agregalar, süper emici polimerler veya doymuş ahşap lifleri şeklinde) aracılığıyla içeriden dışarıya kürlenmeye izin verir. 'içsel kürleme' genellikle 'kendinden kürleme' olarak da anılır [51].

İç kürleme, betonun dışından ziyade betonun içinden nem sağlama yöntemlerini ifade eder. Bu su, taze betonun başlangıç su/çimento oranını etkilememelidir. Önemli miktarda su tutma kabiliyetine sahip hafif (düşük yoğunluklu) ince agrega veya emici polimer partikülleri, kendi kendine kurumaya eğilimli betonlar için ek nem sağlayabilir. Düşük su/çimento oranlarına sahip (yaklaşık 0.30 veya daha az) kompozitler için daha eksiksiz hidratasyon gerektiğinde, 60 kg/m3 ila 180 kg/m3 (100 lb/yd3 ila 300 lb/yd3) doymuş hafif ince agrega hidratasyonu uzatmak için ek nem sağlayabilir, sonuç olarak daha fazla güç ve dayanıklılık artışı olur [54].

Dahili su genellikle, doymuş hafif agregalar (DHA), süper emici polimerler (SEP'ler - bebek bezlerine benziyor), doymuş ağaç lifleri veya doymuş ezilmiş (geri dönen) beton agregaları (CCA) gibi dahili rezervuarlar yoluyla sağlanır. Bir karışımdaki tüm ince agregalar, iç nemli kürlenmeyi en üst düzeye çıkarmak için doymuş hafif ince agrega ile değiştirilebilir. İç nemli küre dış kür yöntemleri eşlik etmelidir. Kürlemedeki herhangi bir ihmal betonun mukavemetini ve dayanıklılığını olumsuz etkileyecektir. Etkili kürleme sonuçları elde etmek için sırasıyla Polietilen-glikol ve Leca, Silika dumanı ve taş yongaları gibi büzülme azaltıcı maddeler ve hafif agregalar kullanılır [55].

Buhar ve sıvı fazlar arasındaki kimyasal potansiyeller (serbest enerji) farkı nedeniyle, açıkta kalan bir yüzeyden nemin sürekli buharlaşması gerçekleşir. Karışıma eklenen polimerler esas olarak su molekülleri ile hidrojen bağları oluşturur ve moleküllerin kimyasal potansiyelini azaltır, bu da buhar basıncını düşürür, böylece yüzeyden buharlaşma oranını azaltır [56].

İçsel kürlemenin mekanizmasını anlamak için, içerdiği suyun aşağıdaki başlıklara bölünmesi gerekir:

- İçsel kürleme için mevcut su hacmi,
- (maddenin absorpsiyon kapasitesi),
- suyun doymuş hafif agregalardan ayrılma yeteneği
- içsel kürleme için gerektiğinde (maddenin desorpsiyon yeteneği) ve
- içsel kürleme suyunun macun içinde daha iyi dağılması için matristeki doymuş hafif agregaların partikül boyutunun, içeriğinin ve dağılımının etkisi [55].

2.3. Çelik Lifler

Çelik lifler günümüz inşaat sektöründe en çok kullanılan liflerdir. Tünel uygulamalarından, köprü döşemelerine kadar bir çok alanda çelik lifler kullanılmaktadır [57]. Çelik lif katkılı betonun veya çimento esaslı harçların kanıtlanmış yapısal faydaları olmasına rağmen, çelik lif katkılı çimento esaslı kompozit kullanımında öncelikle birincil donatı olarak değil, ana donatıyı tamamlamak ve çatlamayı kontrol etmek için kullanıldığı alanlarda uygulanır. Araştırmalar, çelik liflerin çimento esaslı kompozitlerin diyagonal çekme kapasitesini ve ayrıca sismik veya patlama yükleri gibi olağandışı yükler için enerji emme özelliklerini arttırdığını kanıtlamıştır [58]. Bu nedenle çelik lif katkılı çimento esaslı kompozitler yaygın yapı mühendisliği uygulamaları için önemli bir potansiyele sahiptir.

Çimento esaslı malzemeleri güçlendirmek için kullanılan çelik lifler, karıştırma prosedürlerini değiştirmeden taze harç karışımına dahil edilebilecek kadar kısa olmalıdır. Lifler çok uzunsa, ayrık liflerin birbirine bağlanmasıyla toplanma meydana gelebilir ve bu şekilde lif dağılımının genel karışım içinde düzensiz olmasına neden olur. Genellikle çelik liflerin en boy oranı (uzunluğun çapa oranı) yaklaşık 20-100'dür. Lifler genellikle geleneksel karbon çeliğinden yapılır ve çinko gibi başka alaşımlara sahip olabilir. Çimentolu matris, lifleri aşındırıcı bir ortama veya diğer olumsuz çevre koşullarına maruz bırakırsa, çevreleyen malzemenin neden olduğu zararlı etkilere direnmek için liflerin farklı türde bir çelikten yapılması gerekebilir [57].

ASTM A820 [59] tarafından açıklanan dört ana çelik lif türü aşağıdaki gibidir:

- Tip I: Soğuk çekilmiş tel
- Tip II: Kesilmiş sac
- Tip III: Eriyikten ekstrakte edilmiş
- Tip IV: Diğer lifler

2.3.1. Çelik Liflerin Sınıflandırılması

2.3.1.1. Çengel Uçlu Çelik Lifler

Çengel uçlu çelik lifler, yapısal mühendislik alanında araştırmacılar tarafından kullanılan en yaygın çelik lif türüdür (Şekil 2-14). Düz lifler gibi diğer alternatiflere kıyasla önemli ölçüde daha yüksek çekme mukavemetine sahiptirler. Liflerin çimento matrisinden ilk bağlarının ayrılmasından sonra, lifin kancalı uçları, çimento matrisinden çekilebilmeleri için uygulanan yük tarafından deforme edilmelidir. Lifler, karışıma yavaş yavaş eklenirken matriste çözünen birkaç ayrı lifi birbirine bağlayan bir yapıştırıcı ile birlikte gelir. Çelik lifler kendilerini matris içinde rastgele yönlendirir ve eşit olarak dağıtır [8].

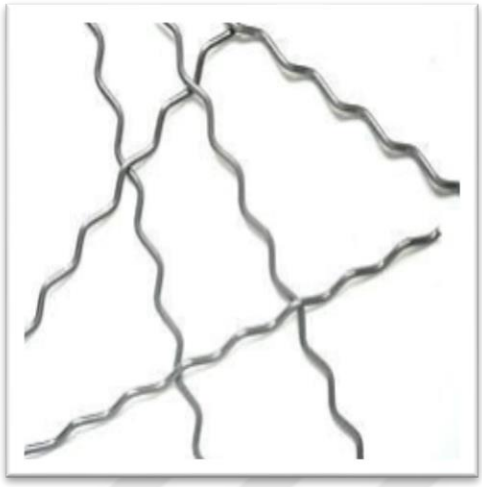


Şekil 2.14. Tipik kancalı uçlu çelik lif [60]

2.3.1.2. Kıvrımlı Çelik Lifler

Çelik liflerin uçlarını kıvırmak, çekme direncini arttırmanın başka bir yoludur. Üretim sürecinde, tek tek lifler kıvrılarak onlara dalgalı bir görünüm kazandırılır ve bu da onlara kancalı uç çelik liflerin kopmaya direnme kabiliyetinin aynısını verir. Lifler, dışarıdan uygulanan yük tarafından elemana verilen enerjiyi dağıtan ilk bağ açma işleminden sonra düzleşmeye zorlanır. Çekme direncini artıran bu lif profiller olmadan, çelik liflerin ürettiği süneklik iyileştirmeleri neredeyse o kadar önemli olmazdı. Şekil 2-15'de tipik kıvrımlı çelik lifleri görülmektedir. Kıvrımlı çelik lifler şu anda "Fiber mesh" markası altında üretilmekte ve modern inşaatta ve araştırmalarda kullanılan en yaygın ikinci çelik lif türüdür. Bununla birlikte, kıvrımlı uçlarla üretilen çelik lif katkılı betonun tokluğu, kancalı uçlu çelik

fiberlerin kullanımı kadar yüksek değildir [61]. Kıvrımlı lifler ayrıca taze bir karışıma dahil edildiğinde biraz daha yüksek nispi işlenebilirlik sergileyebilir.



Şekil 2.15 Kıvrımlı uçlu çelik lif [60]

2.3.1.3. Spiral Çelik Lifler

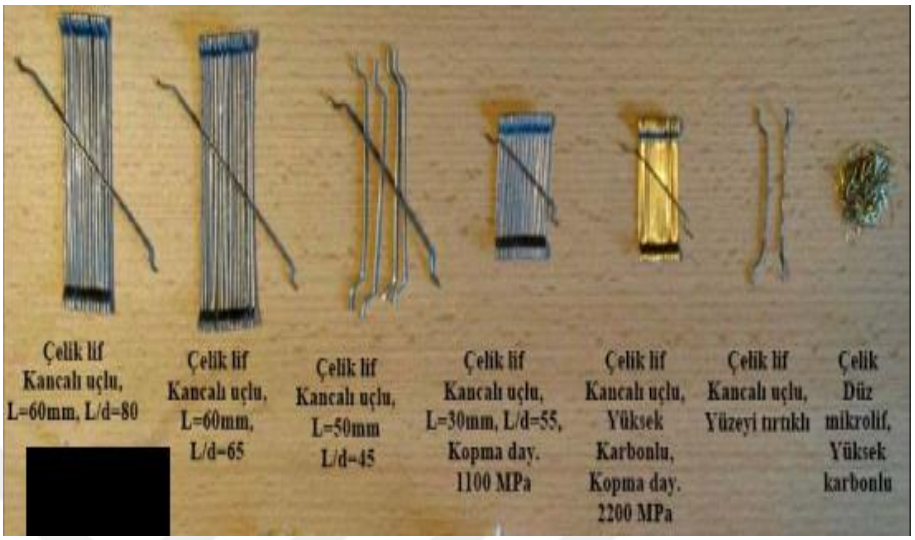
Lif takviyeli beton ve harçlarda kullanım için piyasadaki yeni bir lif türü spiral liflerdir. Spiral veya bükülmüş çelik lifler, sarmal şekilli çelik liflerdir. Şekilleri, diğer çelik lif türlerinde olduğu gibi, artan çekme mukavemeti arzusundan türetilmiştir. İmalat işlemi sırasında, üçgen şekilli çelik tel sarmal bir şekle bükülür ve ayrı lifler halinde kesilir. Bu lifler, üçgen bir prizmanın, aynı çelik hacmine sahip dairesel bir prizmadan daha büyük bir yüzey alanına sahip olacağı gerçeğinden dolayı bağ özelliklerini geliştiren enine kesitte üçgendir [9].

2.3.1.4. Mikro Çelik Lifler

Çimento matrisin de güçlendirmek amacıyla kullanılan ortalama 25 mikron çapında ve yaklaşık 3 mm uzunluğunda boyutlara sahip liflere mikro çelik lif denir.

Banthia [61] çalışmasında lifsiz ve yüksek hacim (%1, %2 ve %3) oranlarında mikro çelik lifli çimento esaslı bir harcı tek eksenli gerilim altında test ettiğinde, sadece biraz malzemenin tokluğu olmadığını, aynı zamanda çok fazla dayanıma ulaştığını görmüştür. Çekme dayanımında önemli gelişmelerin olduğu sonucuna varmıştır. Lifsiz ve mikro çelik lifli harçlar karşılaştırıldığında, mikro çelik lifli harçlarda bu etkiyi çimento matrisi ve lif arasında çok yüksek bağ dayanımına

bağlamıştır. Artan çelifk lif hacmiyle darbeye karşı direncin de arttğını tespit etmiştir.



Şekil 2.16. Çeşitli boyutlarda çelik ve sentetik lif türleri [62]

2.3.2. Çelik Liflerin Çimento Esaslı Harçların Özelliklerine Etkileri

Çelik lifler, inşaat projelerinde çimento esaslı kompozitlerin performansını arttırmasında oldukça etkili olmuştur. Çimento esaslı harçlarda çelik liflerin kullanımı eğilme mukavemeti, tokluk, süneklik, darbe mukavemeti, yorulmaya, çatlamaya karşı direnç gibi mekanik ve durabilite özelliklerini iyileştirmişir [8].

2.3.2.1. Çelik Lifli Çimento Esaslı Harcın Taze Hal Davranışı

Çelik lif ilavesinin çimento esaslı malzemelerin işlenebilirliğini azalttığı bilinmektedir. Bu azalma kompozit içinde yer alan en büyük agrega boyutu düşürülerek, çeşitli mineral katkılar kullanarak giderilebilir [63].

2.3.2.2. Çekme Gerilmeleri Etkisindeki Davranışı

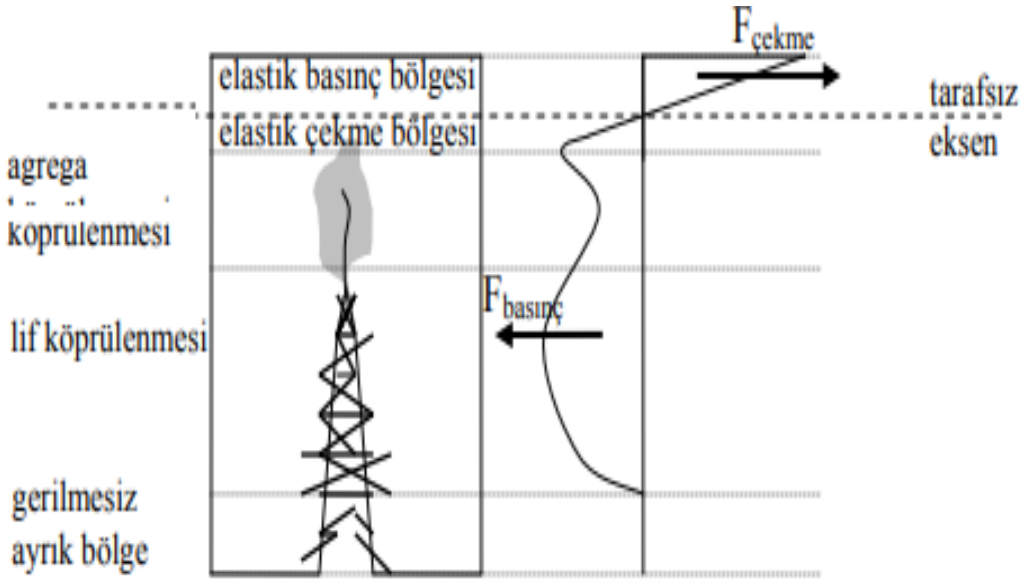
Çelik lif katkılı çimento esaslı harçların mekanik performansı, matrisin, liflerin ve lif-matris ara yüzeyin özelliklerine büyük ölçüde bağlıdır. Başlıca zorluklar, karışımın homojenliğini (liflerin ayrılması olmadan), yüksek lif hacmi için çelik lif katkılı harcın işlenebilirliğini ve lif matrisi arasında yeterli bir bağın

sağlanmasında yatmaktadır. Bu yönler, çimentolu matris mikro yapısının optimizasyonu ve lif seçimi ile kontrol edilebilir [10].

Çelik lif katkılı çimento esaslı kompozitler, çelik liflerin çatlaklar oluştuktan ve çekme gerilimlerini çatlak boyunca ilettikten sonra köprüleyebilmeleri nedeniyle normal harçtan daha fazla kırılma tokluğuna sahip olduğu belirtilmiştir. Tek eksenli çekme mukavemetindeki gelişme, büyük ölçüde çelik lif katkılı harçlarda bulunan liflerin miktarına bağlıdır [64].

Lifsiz harçta; İlk çatlak açılır açılmaz kırılma yaklaşır. Harç elemanı, yükün transferini sağlamak için elemanın iki tarafını birbirine bağlayan hiçbir şey olmadığı için, ilk çatlamadan sonra herhangi bir yük aktaramaz. Lifler düşük bir lif hacmi içeriğinde eklendiğinde, aynı yer değiştirme veya gerinimde daha yüksek miktarda stres oluşturulabileceğinden, yük-deformasyon eğrisi altındaki alan veya numunenin tokluğu artar. Toklukta önemli artışların gözlemlendiği daha yüksek lif hacim fraksiyonlarına kadar değildir. Gerinim εcr'den sonra arttıkça, betonu çatlamak için gerekli olan gerilimden önemli ölçüde daha yüksek bir gerilime ulaşana kadar gerilimin artmaya devam ettiğini görebiliriz.

Bir çelik lif katkılı çimento esaslı kompozit yapısal elemanının genel gerilme davranışı, liflerin çevreleyen matristen çekme davranışı ile doğrudan ilişkilendirilebilir. Birçok farklı faktör, bağ özellikleri ve geometrileri dahil olmak üzere lifin kopmaya karşı direncini etkiler. Yüklemenin ilk aşamalarında, çekme yükleri, lif ve çevreleyen matris arasındaki bir bağ aracılığıyla aktarılır. Elemana daha fazla yük uygulandıktan sonra bağ çözülür ve, lif ile matris arasındaki arayüz boyunca kayar. Kayma fazı sırasında, lifin deforme olmuş şekli ve yüzey özellikleri, kaymayı ve nihayetinde kopmayı azaltmada kritik bir rol oynar [8].



Şekil 2.17. Çelik lifli kiriş numunelerde eğilme yükü – deplasman eğrisi (üst) ve gerilmesiz ayrık bölgenin şematik hali (alt) [63]

2.3.2.3. Basınç Etkisindeki Davranışı

Çimento esaslı kompozitin hem erken yaş hem de sonraki yaş dayanımı çelik liflerin eklenmesiyle iyileştirilir. Kürlemenin ilk aşamalarında harç mukavemetindeki nispi artış maksimuma ulaşır. Bunun nedeni, erken aşamalarda, dayanım oluşturmak için kür ve hidratasyon gerektiğinden harcın çok fazla basınç dayanımı aktaramamasıdır. Bununla birlikte, çelik lifler, çelik döküm sırasında harç kürlendiğindeki ile aynı mukavemete sahip olduğundan, yükü hemen aktarabilir. Sertleştirilmiş durumda çelik, kompozitin toplam basınç dayanımının artmasına katkıda bulunur. Katkıları, harca göre artan elastisite modülünden kaynaklanmaktadır. Çelik liflerin eklenmesinin neden olduğu maksimum basınç dayanımı artışı yaklaşık %30'dur [65].

Çelik lifler beton matrisindeki çatlakları yayabilir. Basma yükleri altında, yanal çatlaklar rastgele yönlendirilmiş çelik lifler tarafından yayılır ve burada dayanım artışı meydana gelir. Çelik lifler, uygulanan yük yönünde çok az güç katar. Uygulanan yük yönündeki tepe basınç dayanımı çelik liflerin eklenmesiyle önemli ölçüde artmasa da, malzemenin tokluğu büyük ölçüde iyileştirilir. Poisson etkisine bağlı olarak dışa doğru yanal genleşmenin çelik lifler tarafından sınırlandırılması

nedeniyle, kompozitin gerilme şekil değiştirme eğrisinin altındaki alan, düz betonunkinden 10 kat daha fazla olabilir. Artan alan, pik yükten sonra lif takviyeli betonun tepkisi çok daha sünek olduğundan, yük yer değiştirme eğrisinin azalan dalından gelir [8].

2.3.2.4. Bağ Dayanımı

Çelik lif katkılı betonun performansı büyük ölçüde lifler ve çimento matrisi arasındaki bağ kuvvetine bağlıdır. Liflerin çimento matrisine mekanik bir desteğe sahip olmasına izin veren uç ayrıntılar olmasına rağmen, performans hala çekmenin başlamasından sonra lifler ve matris arasındaki bağ ve sürtünmeye bağlıdır

Kutzing [66], düz liflerin bağ mukavemetinin matrisin basınç mukavemeti ile ilişkili olduğunu öne sürmüştür. Matrisin basınç dayanımı arttıkça, lifler ve matris arasındaki bağ veya kesme dayanımı da arttı. Araştırma, basınç dayanımı 50 MPa'dan az olan normal dayanımlı beton için, elyaf ve matris arasındaki bağ kesme dayanımının 2.0-3.0 MPa olduğunu göstermiştir.

2.3.3. Çelik Liflerin Kullanım Alanları

Çelik lif katkılı beton, geleneksel çelik takviye ile kombinasyon halinde tek takviye aracı olarak çeşitli yapısal mühendislik uygulamalarında kullanılabilir. Çelik lif katkılı beton, eğilme yükleri gibi yapısal yüklerin aşırı olmadığı, ancak geleneksel donatının yerleştirilmesinin zor veya pratik olmadığı alanlarda bir seçenektir. Prekast beton elemanlar, birçok nedenden dolayı fiber takviyeli betonun istendiği bir alandır. Birincisi, elemanların yapımının bir fabrika tesisinde gerçekleşmesi nedeniyle, üretimin kalite kontrolü çok daha yakından ve etkin bir şekilde izlenebilir.

Ayrıca, çelik lif katkılı betonun yüksek erken mukavemeti, üretimin daha hızlı olabileceği gerçeğinden dolayı prekast uygulamalar için arzu edilir. Çelik liflerin eklenmesi, çekme çatlağı oluşumu eğilimini azaltır ve bu nedenle çelik lif katkılı beton, artan dayanıklılığın gerekli olduğu yapısal uygulamalarda kullanım için etkilidir. Çelik lif katkılı beton kullanımı ile donatının korozyonu daha az olasıdır ve

bir yapının uzatılmış hizmet ömrü nedeniyle maliyet tasarrufu muazzamdır. Çelik liflerin bir malzemenin kesme mukavemetini artırabileceği de kanıtlanmıştır.

ACI 318 şu anda, betonarmede gereken minimum etriye yerine tasarımda çelik liflerin kullanılmasına izin veriyor.

Çelik lik katkılı çimento esaslı malzmenin diğer birçok kullanımı şu anda inşaat piyasasındadır, örneğin:

• Endüstriyel zemin plakaları (artırılmış darbe dayanımı)

• Temeller (dinamik yükler altında iyileştirilmiş performans)

• Beton borular (daha iyi erken yaş mukavemeti, artan yırtılma direnci, takviye işi gerektirmez)

• Yamaçların ve bankaların stabilizasyonu

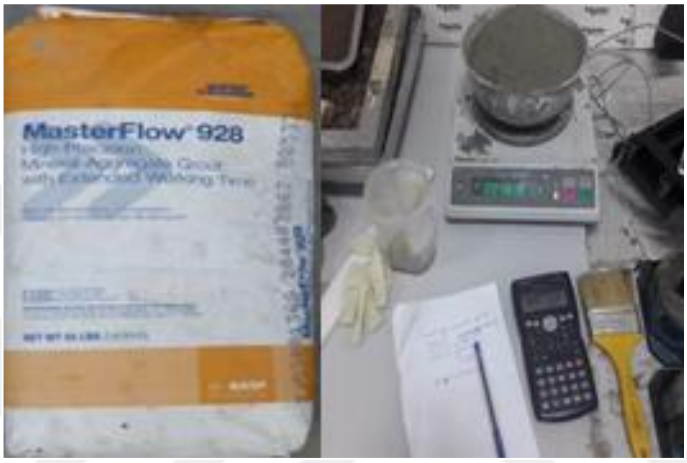
• Onarım ve güçlendirme çalışmaları [8].

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

3.1.1. Hazır Grout Harcı

Bu araştırma projesi için, BASF firmasından temin edilen "BASF Masterflow 928" ticari kodlu hazır grout harcı malzemesi kullanılmıştır. Suyla karıştırılarak kullanıma hazır hale getirilen grout harcı 25 kg torbalar halinde piyasaya sunulmaktadır. Malzemenin özellikleri Tablo 3.1.'de görülmektedir.



Şekil 3.1. BASF Hazır grout harcı grout harcı malzemesi (toz malzeme)

Tablo 3.1. BASF Masterflow928 Grout Malzemesi Özellikleri

Malzemenin Yapısı	Mineral Dolgular ve Polimer Takviyeli Özel Çimento İçerir.
Renk	Gri
Basınç Dayanımı (TS EN 196) 1 gün 7 gün 28 gün	>30 N/mm^2 >50 N/mm^2 >60 N/mm^2
Eğilme Dayanımı (TS EN 196 (28 gün)	>8,0 N/mm^2
Yapışma Dayanımı (TS EN 1542) (28 gün) Betona Çeliğe	>2,0 N/mm^2 >2,0 N/mm^2
Elastisite Modülü (TS EN 13412) (28 gün)	>20000 N/mm^2
Kapiler Su Absorbsiyonu (TS EN 13057)	<0.5 kg.m^2.saat^{0,5}
Uygulama Kalınlığı	Min. 10 mm Maks. 80 mm
Uygulanacak Zeminin Sıcaklığı	+50C +300C
Servis Sıcaklığı	-200C +4000C
Kullanma Süresi (+200C)	45 dak.
Tam Kürlenme Süresi (+200C)	28 gün

3.1.2. Tasarlanmış Grout Harç Malzemeleri

3.1.2.1. Agrega

Bu çalışmada mekanik özellikler ile durabilite deneylerinde TS EN 196-1 [67] standardına uygun standart kum kullanılmıştır. Agreganın elek analizi sonuçları Tablo 3.2'de ve bu agregalara ilişkin diğer veriler Tablo 3.3'de verilmiştir. Deney görseli şekil 3.3'de gözükmektedir.



Şekil 3.2. Agrega

Tablo 3.2. CEN standart kumu analiz sonuçları

Tane Büyüklüğü Dağılımı	Standart	Analiz Sonuçları
Kare göz açıklığı (mm)	Kümülatif Elekte Kalan (%)	
2,00	0,00	0,00
1,60	7±5	6,99
1,00	33±5	33,91
0,50	67±5	64,72
0,16	87±5	86,05
0,08	99+1	99,24

Tablo 3.3. CEN standart kumuna ait rutubet yüzdesi

	Standart	Analiz Sonuçları
Rutubet (%)	0,20	0,07



Şekil 3.3. Agrega elek analiz deneyi

3.1.2.2. Çimento

Grout harçların hazırlanması aşamasında Çanakkele Akçansa A.Ş. firması tarafından üretilen TS EN 197-1 [68] standardına uygun CEM I 42,5 R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentoya ait fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4. Çimentoya ait fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler

Çimento Tipi	CEM I 42,5 R				
Özellik	Birim	Deney Metodu	Uygunluk Kriteri (TS EN 197-1)		Değer
Çözünmeyen Kalıntı	%	TS EN 196-2	% ≤ %5		0,10
Klorür Muhtevası (Cl^-)	%	TS EN 196-2	≤ %0,1		0,01
Sülfat Miktarı (SO_3)	%	TS EN 196-2	≤ %4,0		2,82
Kızdırma Kaybı	%	TS EN 196-2	≤ %5,0		3,63
Priz Başlama Süresi	dk	TS EN 196-3	≥ 60		155
Priz Bitiş Süresi	dk	TS EN 196-3	-		230
Özgül Yüzey (Blaine)		TS EN 196-3			3640
Hacim Genleşmesi	mm	TS EN 196-3	≥ 10		0,5
Erken Dayanım (2 gün)	N/mm^2	TS EN 196-1	≥ 20	-	27,60
Standart Dayanım (28 gün)	N/mm^2	TS EN 196-1	≥ 42,5	≤ %62,5	50,40
Kimyasal Kompozisyon	C_3S	C_2S	C_3A		C_4AF
Miktarı (%)	69,58	9,20	6,74		10,74



Şekil 3.4. CEMI 42,5 R

3.1.2.3. Kimyasal Katkı

Bu çalışmada, tek tip kimsyasal katkı olarak polikarboksil esaslı süper akışkanlaştırıcı Chryso Optima 280 kullanılmıştır. Bu kimyasal katkıya ait özellikler Tablo 3.5'de sunulmaktadır.



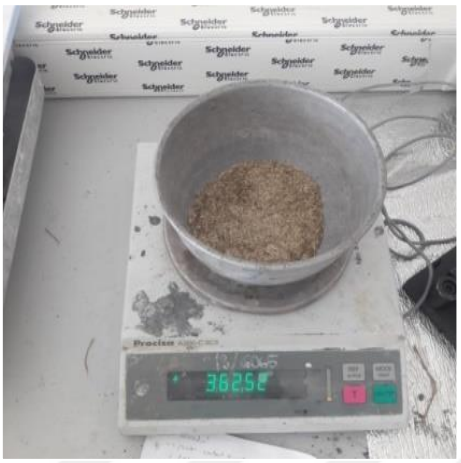
Şekil 3.5. Kimyasal katkı Chryso

Tablo 3.5. Kullanılan kimyasal katkının özellikleri

Yapısı	Sıvı
Renk	Koyu turuncu
Yoğunluk	1.10±0.020
pH	5+2,5
Cl^- iyonları	EN 934 ve BS 5075 standartına göre yok

3.1.3. Mikro Çelik Lif

Bu çalışmada, Beksa A.Ş.'den temin edilen OL 6/16 ticari kodlu düz tip mikro lifler kullanılmıştır. Bu liflerin bazı özellikleri Tablo 3.6'da sunulmuştur.



Şekil 3.6. O L6/16 Dramix mikro çelik lif

Tablo 3.6. Kullanılan mikro çelik lifin bazı özellikleri

	Lif boyu (I), mm	Lif çapı(d), mm	Narinlik (I/d)	Çekme dayanımı, MPa	Özgül ağırlık (t/m^3)
OL 6/16	6	0,16	37,5	2000	7,17

3.1.4. Su

Kaliteli grout harcı karışımları için kullanılan su temiz ve kirleticilerden arındırılmış olmalıdır. Tüm harç karışımları için laboratuvar musluklarından temiz musluk suyu (şehir şebekesi) kullanılmıştır. BASF Hazır grout harcı tescilli bir ürün olduğundan, su/bağlayıcı oranı bilinmediğinden sıvı kıvamlı bir sıvı için belirli miktarda karışım teknik bilgi föyünde beriltildiği gibi 25 kg toz malzeme için 4 litre su şeklinde ile sağlamıştır. Uygun su miktarı, bir ölçek yardımıyla temiz karıştırma kovasına boşaltılmıştır. MasterFlow 928, yavaş yavaş ilave edilerek 400-600 devirli bir karıştırıcı ile 3-4 dakika, homojen ve topaksız bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmıştır. Yaklaşık 4 dakika dinlendirilip tekrar 30 saniye karıştırıldıktan sonra malzeme kullanıma hazır hale gelmiştir.



Şekil 3.7. Su

3.1.5. Kür Malzemesi

Bu çalışmada kür malzemesi (bileşiği) olarak, Weber kür a malzemesi temin edilmiştir. Akrilik reçine esaslı kür malzemesi çabuk aşınmayı ve karışım suyunun buharlaşmasını önler. Çimento esaslı malzemelerin yüzeyinde buhar bloke edici koruyucu tabaka oluşturarak çatlama risklerini en aza indirir. Bu geçirimsiz film tabaka, aşırı su buharlaşmasını önleyerek daha verimli çimento hidratasyonuna izin verir, böylece büzülmeyi azaltır ve çimento esaslı malzemelerin mukavemetini ve dayanıklılığını arttırır. Membran bir kez oluşturulduktan sonra, doğal hava koşulları nedeniyle parçalanıp aşınıncaya kadar malzeme yüzeyinde kalacaktır. Bu tür çimento esaslı malzeme yüzeylere ilave bir işlem uygulanması gerektiğinde, kürlendikten sonra kalan membranın tel fırça veya diğer mekanik yollarla çıkarılması gerekebilir. Ek yüzey kaplamalarının uygulanacağı durumlarda, iç döşeme plakalarında kür membranlarının kullanımından genellikle kaçınılmalıdır. Kür malzemesi şekil 3.8'de ve laboratuvar koşullarında grout harcına uygulaması şekil 3.9'da gözükmektedir.



Şekil 3.8. Weber kür a



Şekil 3.9. Kür malzemesi uygulaması

3.1.6. Telis Bezi

Bu çalışmada ıslak kaplama kürü için kullanılan telis bezi ve polietilen poşet kaplaması şekil 3.10'da gözükmektedir. Grout harçların yüzeylerin üzerine sarılarak veya serilerek yapılacak kürleme işleminde grout harcın ıslak kalma süresini maximuma çıkarması amaçlanmaktadır.



Şekil 3.10. Telis bezi

3.2. Yöntemler

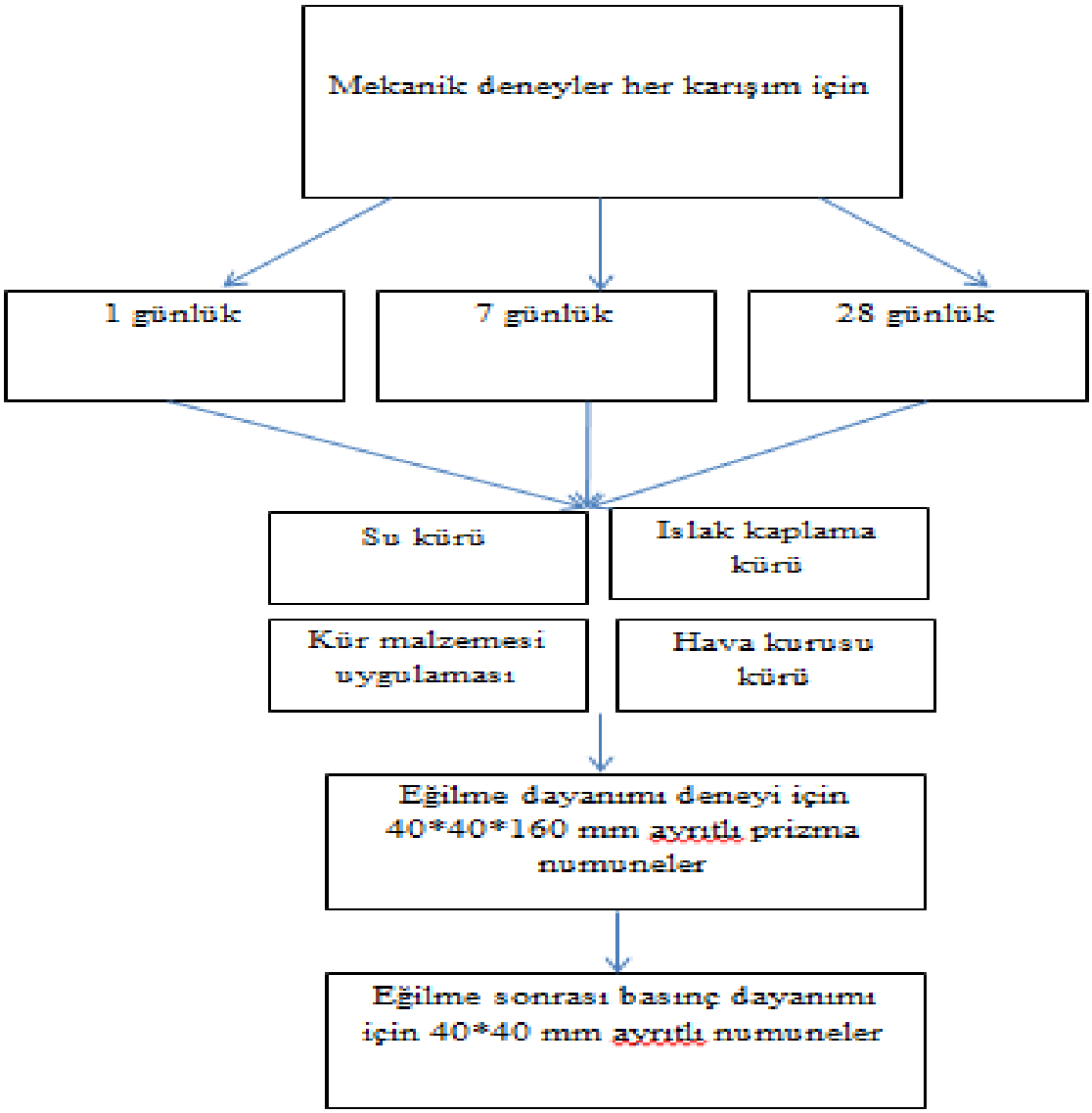
Deneysel çalışma 2 aşamadan oluşmaktadır. 1. Aşamada, hazır grout harcı dökümü gerçekleşmiş ve hacimce %1, %1,5 ve %2 oranlarında OL 6/16 mikro çelik lif ilavesi katılmıştır. 2. aşamada ise tasarlanmış bir grout harcın karışım dizaynında, su/çimento oranı sabit tutulmuştur. Bu grout harçlarına da %1, %1,5 ve %2 oranlarında OL 6/16 mikro çelik lif eklenmiştir. Taze hal özelliklerini belirlemek için yayılma tablası deneyi, terleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra kalıptan çıkarılan grout harcı numuneleri; sürekli su küründe (SK), telis bezi ile ıslak kaplanarak (IK), grout harcın tüm yüzeylerine kür malzemesi (bileşiği) uygulanarak (KM), laboratuvar koşullarında bekletilerek, hava kurusu kürü (HK), 4 farklı kür koşulunda test günlerine kadar bekletilmiştir. Mekanik özelliklerini belirlemek için 1, 7 ve 28 günlerde olmak üzere 4*4*16 cm ayrıtlı prizma numunelerde eğilme ve bu prizmalardan ikiye ayrılan numunelerde de eğilme sonrası basınç deneyi gerçekleştirilmiştir. Durabilite özellikleri için 5*5*5 cm ayrıtlı küp numuneler hidroklorik (HCI), nitrik asit (HNO_3), sülfürik asit (H_2SO_4) ortamlarında bekletilip, 1, 2, 4 ve 8 haftalık ağırlık kayıpları takip edilmiştir. Ayrıca küp numunelere asit ortamı öncesi ve sonrası basınç dayanım testi uygulanmıştır. Donma-çözülme deneyinde kullanılmak üzere 4 farklı kür koşulu için 4*4*16 cm ayrıtlı prizma numuneler hazırlanmış ve iklimlendirme kabinine konularak 50 ve 100 çevrimlerde ağırlık değişimi, eğilme dayanımı değişimi ve eğilme sonrası basınç dayanımı değişimi testleri uygulanmıştır. Bir diğer durabilite özelliği kılcal (kapiler) su emme tayinleri değerlendirebilmek için ise yine 4 farklı kür koşulu için 4*4*16 cm ayrıtlı prizma grout harcı numuneleri hazırlanak, deney düzeneği kurulmuştur.

Tablo 3.7. Deneysel tasarım ve standartlar

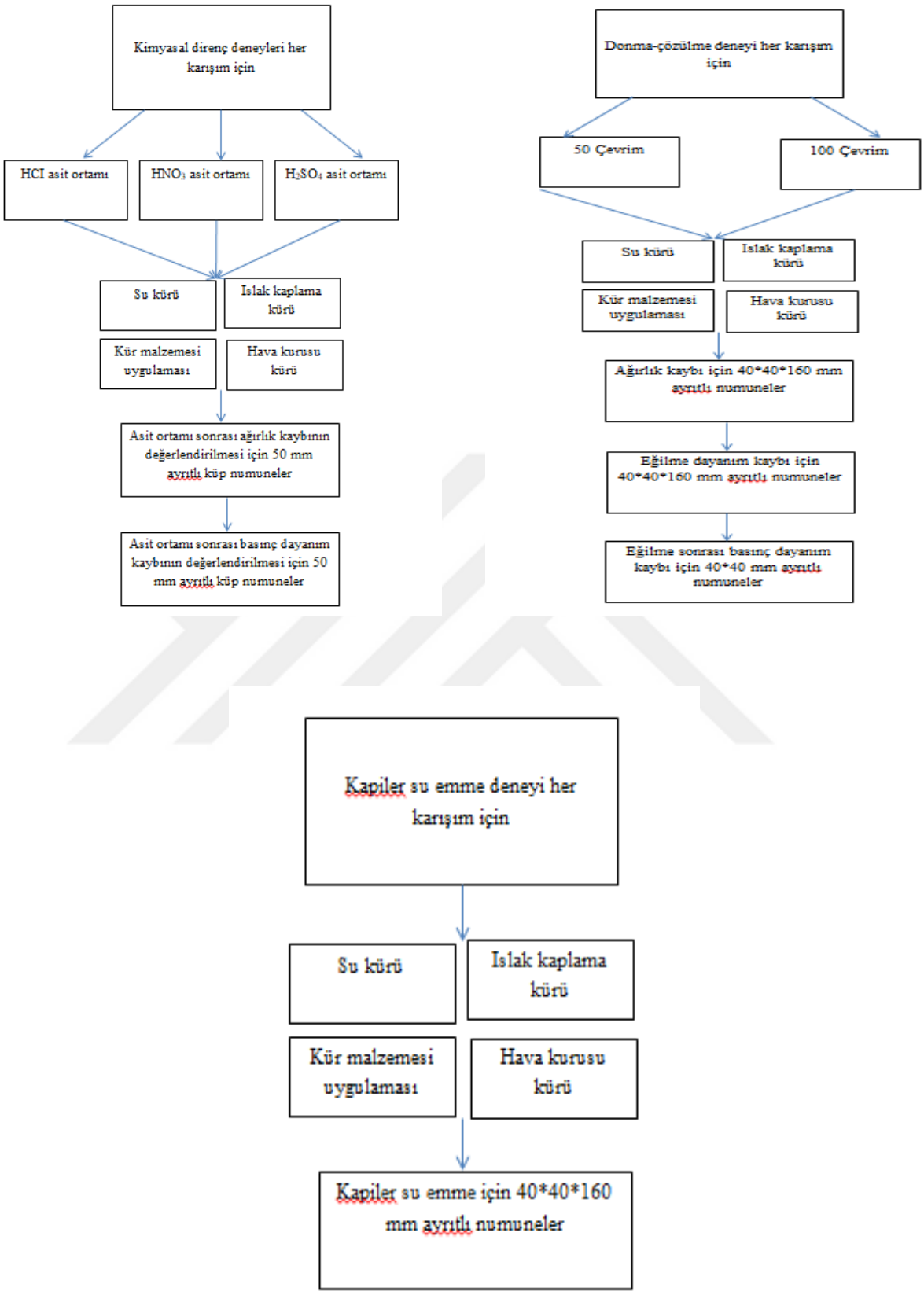
Testler	**Standartlar**	**Tanım**	**Numune sayıları**
Yayılma Tablası Deneyi	ASTM C1437 [69]	Taze grout karakterlerinin testi	-
Grout Harçların Terlemesi Deneyi	ASTM C 940 [70]	Taze grout karakterlerinin testi	-
Eğilme Dayanımı	TS EN 196-1 [67]	1, 7, 28 günlerinde eğilme dayanımı	Karışım başına 3 numune
Eğilme Sonrası Basınç Dayanımı	TS EN 196-1 [67]	1, 7, 28 günlerinde eğilme sonrası basınç dayanımı	Karışım başına 3 numune
Kimyasal Direnç	ASTM C 267,579 [71]	HCL, HNO3, H2SO4 asit ortamları	Karışım başına 3 numune
Donma-Çözülme Direnci	ASTM C666 [72]	50, 100 çevrimleri	Karışım başına 3 numune
Kapiler Su Emme Absarbosyonu	ASTM C 1585 [73]	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 120 dk.	Karışım başına 3 numune

3.2.1. Deneysel Aşamalar

Hazır grout harcı ve tasarlanmış grout harç malzemeleri için; su kürü, ıslak kaplama kürü, kür malzemesi uygulaması ve hava kurusu kürü koşulunda olmak üzere çelik lif katkısız, %1, %1,5 ve %2 çelik lif katkılı grout harcı serileri hazırlanmıştır. Hazır grout harcı "G1", tasarlanmış grout harcı "G2" olarak adlandırılmıştır ve bunlar çelik lif katrkısz grout harçlarını ifade etmektedir. G1 %1, G1 %1,5, G1 %2, G2 %1, G2%1,5, G2 %2. G1 ve G2 yanındaki yüzde ifadeleri OL 6/16 mikro çelik katkısını ve hacimce oranı ifade etmektedir. Mekanik ve durabilite testleri için deneysel akış diyagramları şekil 3.11 ve 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Grout harçların mekanik özelliklerin belirlenmesi için deney akış diyagramı



Şekil 3.12. Grout harçların durabilite özelliklerin belirlenmesi için deney akış diyagramları

3.2.2. Hazır Grout Harcı Karışım Oranları

Hazır grout harcı grout harcında, karışım oranı teorik bir değere dayalı olarak 25 kg toz grout malzemesi için 0.16'lık bir su-malzeme oranı ile başlatılmıştır. Farklı oranlarda çelik lif katkısı ile hazırlanan harç örneklerinin karışım miktarları Tablo 3.8.'de verilmiştir. Hazırlanan çimento harcı serileri TS EN 196-1'e göre hazırlanan 4x4x16 cm boyutlarındaki prizma numunelerden oluşmaktadır. Bu amaçla kullanılacak olan prizma geometrili metal kalıp Şekil 3.14.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.8. Hazır grout harcın karışım oranları

Hazır Grout Numuneleri	Toz malzeme (kg)	Su (kg)	Su/toz malzeme	Çelik lif oranı	Karışım Yoğunluğu (kg/litre)	Karıştırma dakikası
G1 (katkısız)	25	4	0,16	%0	~2,20	3-4 dak.
G1 %1,0				%1		
G1 %1,5				%1,5		
G1 %2,0				%2		

3.2.3. Tasarlanmış Grout Harcı Karışım Oranları

Tasarlanmış grout harcın karışım dizaynı deneme-yanılmayolu ile elde edilmiştir. Bu grout harcına ait karışıma ait oranlar Tablo 3.9'da görülmektedir. Karışım dizaynı mutlak hacim hesabına göre yapılmıştır. Grout harçlarına su/çimento oranı sabit tutularak hacimce %1, %1,5 ve %2 oranlarında mikro çelik lif eklenmiştir. Su/çimento oranı 0,40'dır. Çelik lif dozajına göre agregaedan azalma yapılmıştır. Ayrıca karışımda çelik liflerin grout harcın akışkanlığı azalttığı görüldüğü için polikarboksil esaslı süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı da kullanılmıştır**.**

Tablo 3.9. Tasarlanmış grout harcın karışım oranları

Bileşenler (kg/m^3)	**G2 Referans**	**G2 %1**	**G2 %1,5**	**G2 %2**
Çimento (Akçansa CEM1 42.5 R)	587,70			
Su	235,08			
0-5 mm doğal kum	1391,09	1362,79	1349,54	1345,80
Süperakışkanlaştırıcı (Chryso)	%0,38	%0,45	%0,45	%0,50
Mikro çelik lif (0L 6/16)	0,00	71,70	107,55	143,40
Su/çimento (hacimce)	0,40			
Teorik hava yüzdesi (%)	%5			

Dizaynı yapılmış olan grout harç örneklerinin malzeme ölçümleri elektronik tartı ile yapılmış ve malzemeler otomatik karıştırıcıya konularak harçlar hazırlanmıştır. Otomatik karıştırıcının standart karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra elde edilen harç, döküm işlemi sırasında zorluk yaşanmaması için önceden kalıp yağı ile yağlanmış prizma kalıplara yerleştirilmiştir.



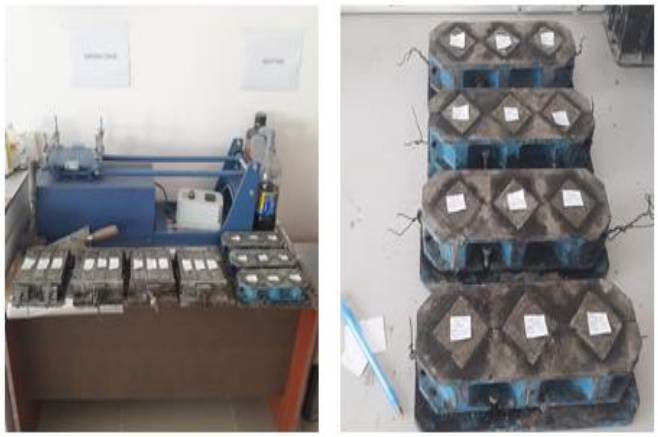
Şekil 3.13. Grout harcın karıştırılması ve mikro çelik lif eklenmesi

Elde edilen harç her kalıp bölümüne ayrı ayrı doldurulmuştur. İki tabaka halinde yerleştirilen grout harç örneği daire kesitli çubuk ile her tabakada en az 25 defa şişlenmiştir**.** Şişleme aşamasında ilk tabakanın sıkıştırılmasında, çubuğun numune kalıbının tabanına hızla çarpmaması ve diğer tabakanın sıkıştırılması

esnasında da alt tabakaya girmemesine dikkat edilmiştir. Numune kalıplarının doldurulmasının ardından kalıp üst yüzeyinin üzerinde kalan fazla harç çelik mala yardımıyla temizlenmiştir.



Şekil 3. 14. Standart küp ve prizma kalıplar



Şekil 3.15. Grout harç örneklerin kalıplara yerleştirilmesi ve etiketlenmesi (4 farklı kür koşulu için 3'er adet numune örneği)

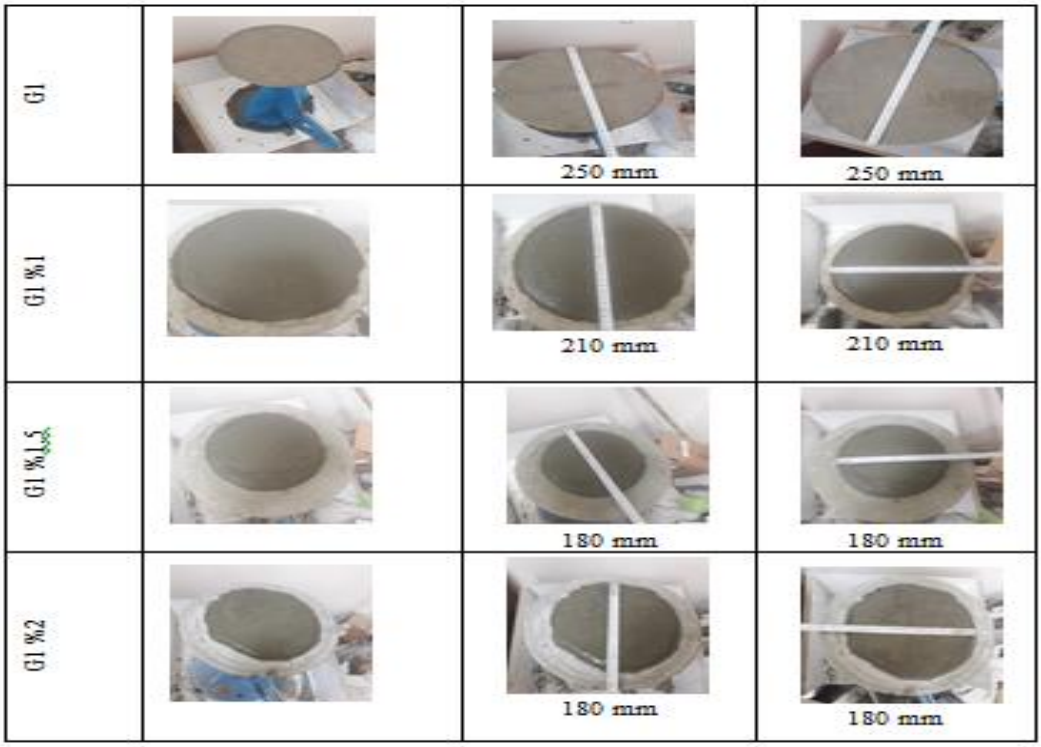
3.3. Taze Grout Harç Deneyleri

3.3.1. Yayılma Deneyi

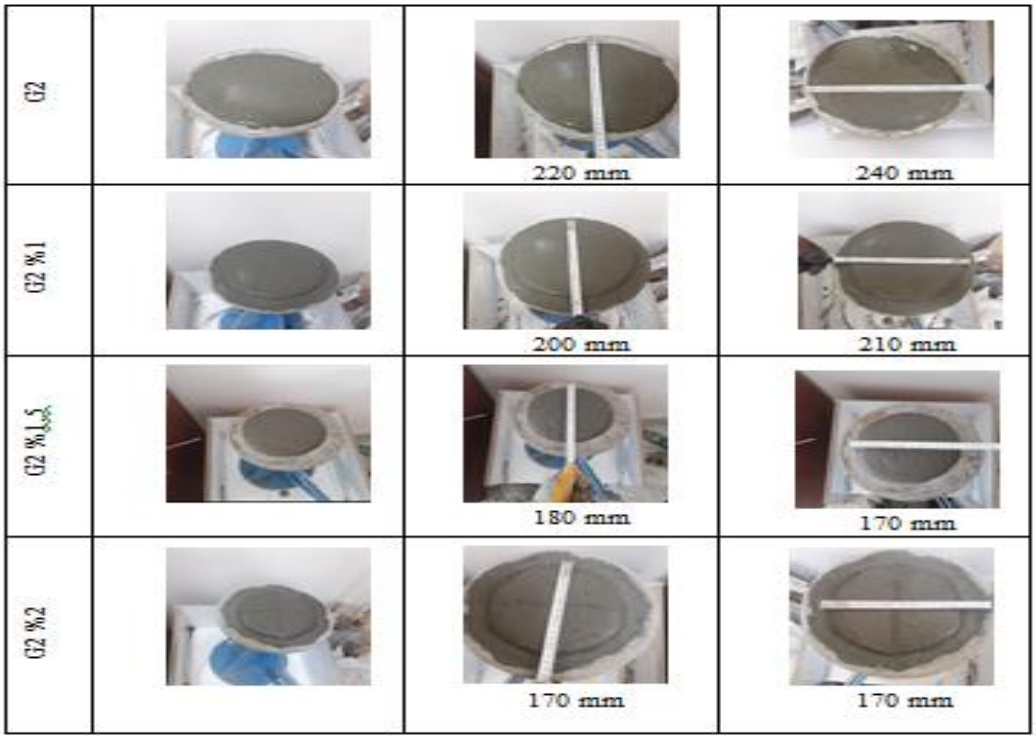
Bu çalışmada, çimento esaslı grout harç malzemelerinin akışkanlığını değerlendirmek için ASTM C1437 standartına uygun yapılmıştır. Test, harçların yayılma alanını ölçmek için ASTM modelde tanımlanan 254 mm çaplı tabla ile taban çapı 100 mm, üst yüz çapı 70 mm ve yükseklik 50 mm olan kesik koni şekilli kalıp pirinçten imal edilen bir mini çökme konisi kullanılmıştır. Dökümden önce, akış konisi nemlendirilip ve emici olmayan pürüzsüz bir taban üzerine yerleştirilirmiştir. Taze grout harcı daha sonra dolana kadar konin içine dökülmüştür. Hava sıkışmasını önlemek ve düzgün doldurmayı sağlamak için hafif sıkıştırma uygulanmıştır. Koninin tepesi, bir cetvelin testere hareketiyle aynı hizada tamamlanmıştır. Koninin etrafındaki alan temizlendikten sonra koni kaldırılarak taze harç akmaya ve yayılmaya başlamıştır. Grout harcı yayılması durduktan sonra, yayılma çapı iki dik yönde ölçülmüş ve veri analizi için ortalama değer kullanılmıştır.



Şekil 3.16. Yayılma tablası deneyi



Şekil 3.17. Hazır grout harcın çelik lif dozajına bağlı yayılma değerleri (mm)



Şekil 3.18. Tasarlanmış grout harcın çelik lif dozajına bağlı yayılma değerleri (mm)

3.3.2. Terleme Tayini Deneyi

Normal atmosferik koşullar altında ASTM C940 standartına göre grout harçların terlemesi ve genleşmesi değerlendirilmiştir. Karıştırıldıktan hemen sonra, taze grout harcı, en üst harç seviyesi yaklaşık 800 ml işaretine ulaşana kadar 1000 ml'lik dereceli bir silindire konulmuştur. Numunenin ilk hacmi kaydedilmiştir ve nem kaybını önlemek için silindirin üstü kapatılmıştır. Daha sonra silindir ve numune, titreşimsiz düzleştirilmiş bir masaya yerleştirilmiştir. İlk okuma yapıldıktan sonra ilk 1 saat 15 dakika ara ile ve 3 saat 60 dakika ara ile grout harcı ve varsa sızma suyu seviyesi izlenmiştir.



Şekil 3.19. Grout harçların terleme tayini deneyi

3.4. Çimento Esaslı Grout Harçlarına Uygulanan Kür Koşulları

Bu çalışmada kür koşullarını değerlendirirken 4 farklı kür koşulu seçilmiştir. Dökülen numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkarıldıktan sonra test günlerine kadar su küründe, telis beziyle kaplanarak ıslak kaplama küründe, kür malzemesi uygulanarak ve laboratuvar koşullarında bekletilerek hava küründe olmak üzere kürleme teknikleri uygulanmıştır.



a) Su kürü (SK)



b) Islak kaplama kürü (IK)



c) Kür malzemesi uygulaması (KM)



d) Hava kurusu kürü (HK)

Şekil 3.20. a) Su kürü (SK) **b)** Islak kaplama kürü (IK) **c)** Kür malzemesi uygulaması (KM) **d)** Hava kurusu kürü (HK)

3.5. Mekanik Deneyler

3.5.1. Eğilme Dayanımı Deneyi

TS EN 196-1'e göre hazırlanan 4x4x16 cm boyutlu prizma örnekler eğilme ve eğilme sonrası basınç deneyi yapılmak üzere kullanılacaktır. Basınç dayanım değerlerinin tespiti amacıyla kullanılacak deney presi yüksekliği ayarlanabilir bir üst başlık ile oynar ve hareketli alt başlıktan oluşmaktadır.

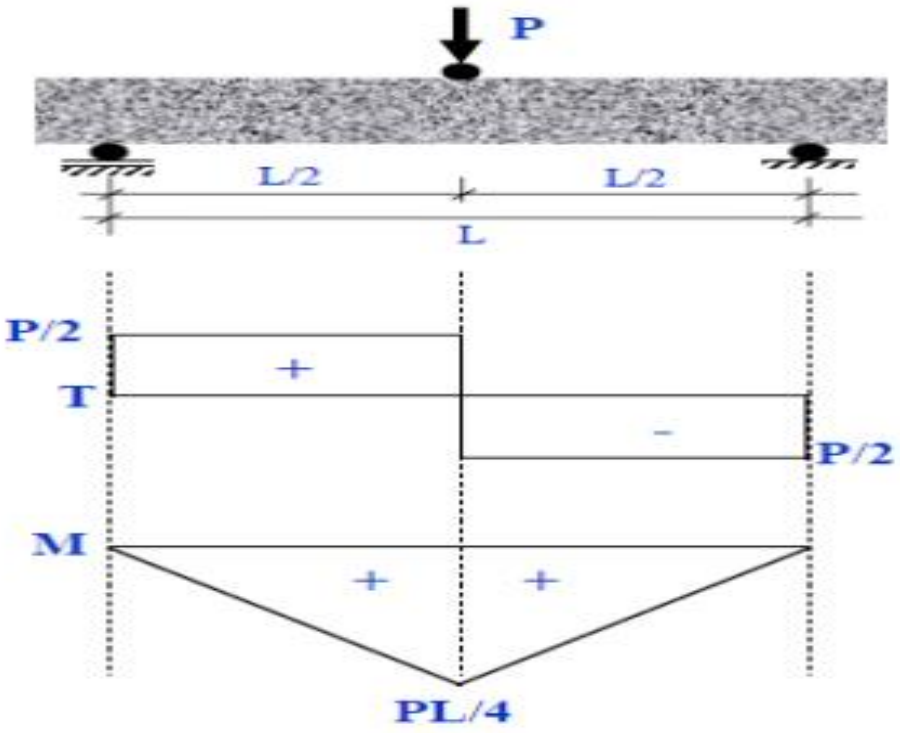
TS EN 196-1 standardına göre kullanılacak olan prizma kalıplar numunelerin aynı anda hazırlanabilmesi için en kesiti 40 mm x 40 mm ve uzunluğu 160 mm olan üç yatay bölümden oluşmaktadır. Kalıp et kalınlığı 10 mm olan çelik levhadan yapılmalıdır. Ayrıca her kalıba ait çelikten imal edilmiş kalıp tabanı bulunmalıdır. Kalıp birleştirildiğinde, parçalar birbirine ve kalıp tabanına sağlam şekilde tutturulmuş, şekil değişikliğine ve sızıntıya uğramayacak şekilde olmalıdır.

4x4x16 cm ayrıtlı prizma örnekler kullanılarak üç nokta eğilme deneyi yapılmıştır.



Şekil 3.21. Üç noktalı eğilme deneyi

Bitirme işleminden sonra grout harç numuneleri farklı kür koşullarında deney günlerine kadar bekletilmek üzere 1, 7 ve 28 kür günlerinde eğilme dayanımı testi gerçekleştirilmiştir. Her kür koşulu ve her yaş numune için üç numune kullanılmış ve sonuçların değerlendirilmesinde bu üç numunenin ortalama değeri alınmıştır. Şekil 3.21'de üç nokta eğilme deneyi görülmektedir



Şekil 3.22. Kesme kuvveti ve moment diyagramları

Üç nokta eğilme deneyi sonucu meydana gelen kesit kesme kuvveti ve moment diyagramları Şekil 3.22'de gösterilmiştir.

3 nokta eğilme deneyi L=10 cm açıklıkta uygulanmış ve ardından kırılma yükü okunduktan sonra eğilme dayanımı denklem 3.1'den hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{M}{W} = P * \frac{\frac{L}{4}}{(b*h^2)/6} \quad (3.1)$$

Burada;

σ : Eğilme dayanımı (kN/cm ^{2}),

M : Maksimum moment,

W : Mukavemet momenti,

P : Kırılma yükü (kN),

b : Kesit genişliği,

h : Kesit yüksekliği

3.5.2. Eğilme Sonrası Basınç Dayanımı Deneyi

Grout harcın basınç dayanımı gelişimi, TS EN 196-1 standardına göre üç nokta eğilme deneyi sonrası iki parçaya ayrılan yarım prizmalar üzerinde eğilme sonrası basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Eğilme sonrası basınç dayanımı deneyini gerçekleştirebilmek amacıyla Şekil 3.23'de görülen sert metalden bir aparat içine yerleştirilen yarım prizma örnekler 40x40 mm²'lik alanda tek eksenli basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.23. Eğilme sonrası basınç deneyi

$$\sigma = P/A \qquad (3.2).$$

Burada;

σ : Basınç dayanımı (kN/cm 2),

P : Numuneyi kıran maksimum yük (kN)

A : Kesit alanı (cm 2)

Ayrıca, harçların kimyasal direncinin tespit edilmesi için 5 mm ayrıtlı kübik kalıplar kullanılmıştır. Karıştırıldıktan sonra taze harç 5 mm ayrıtlı kübik kalıplara dökülmüştür. Akışkanlığı düşük olan harçlar için kalıp iki katmanla doldurulmuş ve her katman ayrı şişlenmiştir. Grout harcı doldurulduktan sonra numune yüzeyi mala ile bitirme işlemi uygulanmıştır. Bitirme işleminden sonra numune farklı kür koşullarında deney günlerine kadar bekletilmek üzere 1, 7 ve 28 kür günlerinde basınç dayanımı testi gerçekleştirilmiştir. Her kür koşulu ve her yaş numune için üç numune kullanılmış ve sonuçların değerlendirilmesinde bu üç numunenin ortalama değeri alınmıştır.



Şekil 3.24. 5 cm küp ayrıtlı grout numunesinin basınç dayanım deneyi

3.6. Durabilite Deneyleri

3.6.1. Kimyasal Direnç Deneyi

Grout harçların kimyasal direnç deneyi için, ASTM C 267, 579 standartlarına göre 5 mm ayrıtlı küp numuneler kullanılmıştır. 24 saat sonra kalıptan çıkarıldıktan numuneler, 28 gün boyunca kendi kür koşullarında bekletilmiştir. Bu kür koşulları daha önce bahsedildiği gibi 20±2 ℃ sıcaklıkta su kürü, telis bezi ve polietilen poşetle kaplanan ıslak kaplama kürü, kür malzemesi uygulaması, laboratuvar koşullarında bekletilen hava kürüdür. 28 gün başlangıç kür koşullarından sonra, asit direncini ölçmek için grout numune örnekleri %5 HCI (hidroklorik asit), %5 $HN0_3$ (nitrik asit) ve %5 H_2SO_4 (sülfürik asit) çözeltilerine konulmuştur ve kütle değişim hızı 1, 2, 4 ve 8 haftalık iken takip edilip, ölçülmüştür. Kütle değişim oranı denklem (3.3) kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca 28 ve 56 günlük iken basınç dayanım değişimi de takip edilmiştir. Basınç değişim oranı denklem (3.4) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\%W=\frac{WO-Wn}{W0} \tag{3.3}$$

Burada;

%W = Yüzdece ağırlık değişim oranı

W_0 = Asit çözeltisine konulmadan önce nununenin ilk ağırlıkları

Wn = Asit çözeltilerine konuldaktan sonra n. gündeki ağırlıkları

$$\%\sigma = \frac{\sigma 0-\sigma n}{\sigma 0} \tag{3.4}$$

Burada;

% σ = Yüzdece basınç dayanımı değişim oranı

σ_0 = Asit çözeltisine konulmadan önce numunelerin basınç dayanımları

σ_n = Asit çözeltesine konulduktan sonra n. gündeki basınç dayanımları



Şekil 3.25 Asit direncin belirlenmesi için yapılan deneyler ve asit ortamı sonrası numune görsellerine ait bazı fotolar



Şekil 3.26. Asit ortamları öncesi ve sonralarında bazı grout harçların basınç dayanımı testi

Genel olarak, çimento esaslı malzemenin asit saldırılarına karşı minimum (neredeyse hiç) dirence sahip olmadığı kabul edilmiştir. Bazı zayıf asitler ara sıra maruz kalırsa tolere edilebilirken, çimento esaslı malzemelerin pH değeri 3 veya daha düşük olan herhangi bir çözeltiye karşı koyamadığı bilinmektedir [74].

Çoğu durumda, asit saldırısının mekanizması, sadece çözünür veya çözünmez kalsiyum tuzunun oluşumu ve amorf hidrojellerden oluşan aşınmış bir tabaka değildir. Aslında bazı başka fiziksel ve/veya fiziko-kimyasal süreçler söz konusudur. Asidin portlandit ile reaksiyonunun, çözünmeyen veya daha az çözünür bir kalsiyum tuzu oluşumuyla sonuçlanması durumunda, kalsiyum tuzunun kristalleşmesinin neden olduğu fiziksel saldırı, toplam bozulma sürecini değiştirebilir. Tuz kristalizasyonunun kendisi tarafından fiziksel saldırıya bağlı bozulmanın önemi, Yang ve arkadaşları tarafından yakın zamanda yayınlanan bir makalede tartışılmaktadır. Tuz kristalizasyonunun neden olduğu fiziksel hasar, sonunda mekanik arızaya, yani parçalanmaya yol açan mikro çatlaklar şeklinde kendini gösterir [75]. Saldırı mekanizması, özellikle matris alternatif ıslatma ve kurutma döngülerinin etkisi altındayken yoğunlaşır [76]. Ancak çimento matrisi sürekli olarak asidik çözeltiye daldırılırsa, tuz kristalleşmesinin neden olduğu genleşme daha azdır ve hatta bazı durumlarda şüphelidir.

Hidroklorik asidin harç ile reaksiyonu için ana kimyasal denklem aşağıdaki gibidir.

$$Ca(OH)2 + 2HCl \longrightarrow CaCl2 + 2H2O$$

$$xCaO \cdot ySiO2 \cdot nH2O + 2xHCl \longrightarrow xCa2+ + 2xCl- + ySi(OH)4 + (x + n - 2y)H2O$$

Yukarıdaki reaksiyon formülünden görülebileceği gibi, HCl çözeltisinin güçlü asit etkisinden dolayı, çok sayıda kalsiyum hidroksit nötralize edilir ve yüksek çözünürlüğe sahip bir kalsiyum klorür kütlesi üretilir, bu da hidratlı kalsiyum silikatın içinde ayrışmasına neden olur.

Bu şekilde harç gözenek yapısının jeli önemli ölçüde zarar görmekte, harç numunelerinin gözenekliliğinin artmasına ve etkili taşıma alanının azalmasına neden

olarak harç numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin bozulmasına neden olmaktadır. Deneyin gözlemlenmesi ve test sonuçlarının analizi ile, hidroklorik asit ve harç arasındaki etkileşimin çok fazlı bir fizikokimyasal süreç olarak kabul edilebileceği bilinmektedir. Hidroklorik asit korozyonuna maruz kalan harç numunesi için proses dışarıdan içeriye doğru üç aşamaya ayrılabilir [77,78] :

1. Asidik ortam, harcın gözeneklerine veya kılcal damarlarına yayılır. Gözenekli harç yüzeyindeki ıslak filmde kimyasal reaksiyon daha hızlı gerçekleşirse, ortam tamamen emilir ve numune ortamı emip doyana kadar harç numunesinin içine nüfuz etmez, bu da numunenin aşınmış alanının gözenekliliğinde önemli bir artışa neden olur. Bu durumda, harcın hidroklorik asit tarafından aşındırılması işleminin difüzyon etkisi tarafından kontrol edildiği kabul edilebilir.
2. Asidik ortam, harcı oluşturan çeşitli mineral bileşimlerle reaksiyona girer. Asidik ortamın harca nüfuz etme hızı, asidik ortamın harç tarafından emilme hızından daha hızlıysa, daha sonra asidik ortamın tamamı aşınmış bölgede değil, daha geniş bir reaksiyon bölgesi oluşturmak için numunenin iç kısmında tüketilir. Bu durumda, harcın hidroklorik asit tarafından aşındırılması işleminin kimyasal kinetik etki tarafından kontrol edildiği kabul edilebilir.
3. Korozyon süresinin artmasıyla reaksiyon ürünleri yavaş yavaş çökelir veya çözülür.

Hidroklorik asit ile hidratlı çimento fazları arasındaki reaksiyonun ürünleri olarak oluşan kimyasalların bazıları çözünür tuzlar iken, çoğunlukla suda çok çözünür olan kalsiyum klorür CaCl2 (dihidrat) ile H2O, daha sonra süzülen ve aşınmış tabakada kalan amorf hidrojeller (demir hidroksit) ile birlikte bazı çözünmeyen tuzlar oluşur. Bu kimyasal reaksiyonlar Denklemler (4.1)-(4.3)'te gösterilmiştir.

$2HCI+Ca(OH)_2 \longrightarrow$

$CaCI_2.2H_2O$ (hidrat kalsiyum klorür); (4.1)

$H_2SO_4+Ca(OH)_2 \longrightarrow$

$CaSO_4.2H_2O$(alçıtaşı); (4.2)

$$3CaSO_4 + 3CaO.Al_2O_3.6H_2O + 25H_2O \longrightarrow$$

$$3CaO\ .Al_2O_3.3CaSO4.31H_2O \text{ (etrenjit)} \quad (4.3)$$

Chandra [79], Portland çimentosu (PC) ile yapılan harç prizmaları üzerindeki hacimce %15 HCl'nin etkisini inceleyen, hasarlı prizmaların enine kesitini üç ana bölgeye ayırmıştır; hasarsız bölge, hidroksit karışım bölgesi veya kahverengi halka ve saldırıya uğramış bölge. Hidroksit karışım bölgesi ile, koyu kahverengi bir halka olarak görülen çözünmemiş tuzların oluşturduğu bir tabakaya atıfta bulunmuştur.

Nitrik asit (HNO3), doğası gereği son derece agresif olan başka bir güçlü aşındırıcı asittir. Nitrik asit, patlayıcı, suni gübre ve benzeri ürünler üreten kimya tesislerinde oluşur. Nitrik asit, sülfürik asit kadar güçlü olmasa da, kısa süreli maruziyette çimento esaslı malzeme üzerindeki etkisi daha yıkıcıdır. Nitrik asit çimento esaslı malzemenin CH ile reaksiyona girer ve yüksek oranda çözünür bir kalsiyum nitrat tuzu üretir. Bu tuz, çimento hamuru yapısını zayıflatır ve çimento esaslı malzemenin mukavemetini azaltır [80].

Nitrik asit saldırısı, yüksek oranda çözünür kalsiyum nitratın sızması nedeniyle aşınmış tabakanın büzülmesi için tipik bir asidik korozyondur. Pavlík ve Unčík [81], sırasıyla yaklaşık 300 günlük bir süre boyunca nitrik ve asetik asit çözeltilerine maruz kalan bir w/c = 0.5 olan OPC macunu için aşınmış tabakanın uzunluğu başına yaklaşık %13 ve %7 büzülme değerleri bildirmiştir. Korozyona uğramış tabakanın bu tür hacim daralmaları, özellikle nitrik asit durumunda, aşınmış tabaka boyunca görsel olarak gözlemlenebilir çatlakların oluşmasına neden olabilir. Bu çatlakların varlığında asit ve korozyon ürünlerinin korozyon cephesine ve korozyon cephesinden taşınma hızı artar ve bu da bozulma sürecini hızlandırır.

Sülfürik asit (H2SO4), asit ve sülfat atağının birleşiminden dolayı çimento esaslı malzemeye etki eden en zararlı asitlerden biridir. Beton kanalizasyon borularının sülfürik asit saldırısı nedeniyle bozulması tüm dünyada küresel bir

sorundur. Ayrıca, endüstriyel atıklar genellikle büyük miktarda sülfürik asit içerir. Bu nedenle endüstriyel alanlardaki beton yapılar sülfürik asit saldırısına maruz kalmaktadır. Sülfürik asit, betondaki çimentonun hidratasyon ürünü olan kalsiyum hidroksit (CH) ile reaksiyona girerek alçıtaşı oluşturur. Betonda alçı oluşumu hacim artışına neden olur. Alçıtaşı ayrıca, etrenjit üretmek için kalsiyum alüminat hidrat (C3A) ile reaksiyona girer. Etrenjitin hacmi, ilk bileşiklerden neredeyse yedi kat daha fazladır. Etrenjit, betonda çatlak oluşumuna yol açan iç basınca neden olur [82]. Sonuç olarak, aşınmış beton mekanik mukavemetini kaybeder ve bu da daha fazla çatlamaya, kabarmaya katkıda bulunur ve sonunda tamamen yıkıma yol açar.

Bir başka deneysel çalışmada, Israel ve diğerleri [80], sülfürik asit saldırısının yüzeylere yakın bölgelerde yoğun alçıtaşı oluşumuna neden olduğunu ve sonuçta taze yüzeyin çatlamasına ve açığa çıkmasına neden olan parçalayıcı mekanik gerilimlere neden olma eğiliminde olduğunu bildirmiştir. Sülfürik asit durumunda, zayıf penetrasyonu nedeniyle, çimento matrisinin kimyasal değişikliklerinin yüzeylere yakın bölgelerle sınırlı olduğu sonucuna varmışlardır. Çimento esaslı malzemelere sülfürik asit saldırısında yer alan kimyasal reaksiyonlar denklem (4.4)-(4-6)'daki gibi verilebilir.

$$Ca(OH)_2 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H2O \quad (4.4)$$

$$3CaO \cdot 2\ SiO2 \cdot 3H_2O + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O + Si(OH)_4 \quad (4.5)$$

$$3CaSO_4 + 3\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O + 26\ H_2O \rightarrow 3\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3\ CaSO \cdot 32H_2O \quad (4.6)$$

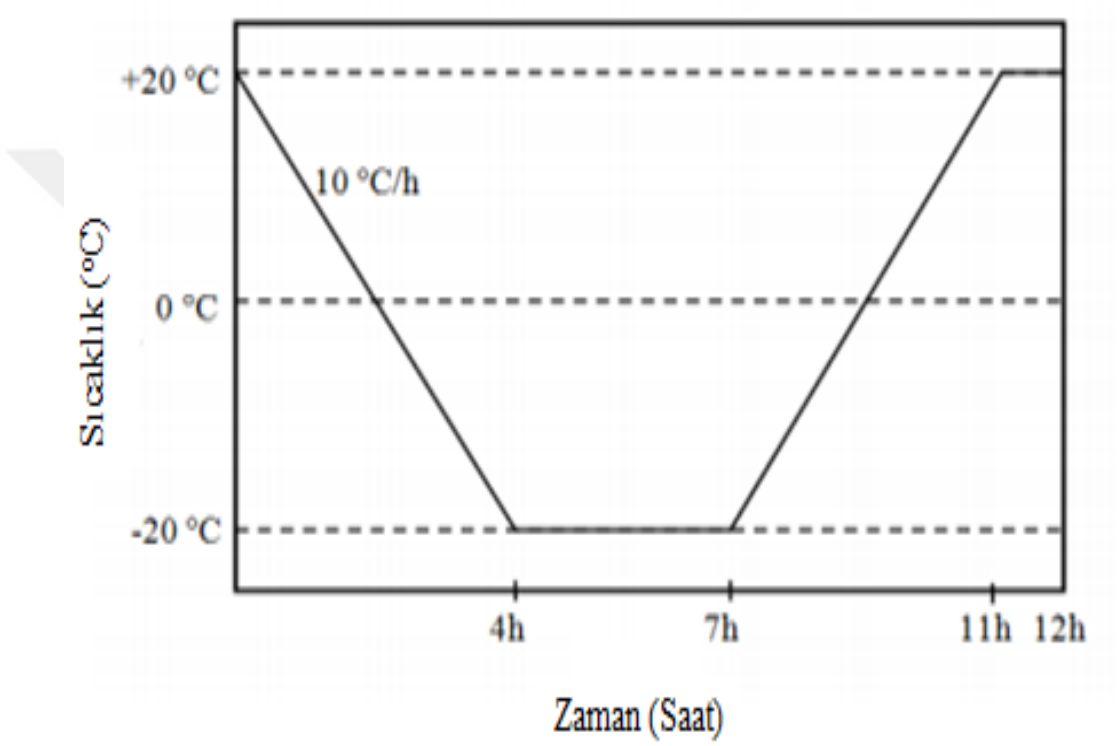
3.6.2. Donma-Çözülme Deneyi

28 günlük 4x4x16 cm ayrıtlı prizma örnekler ASTM C666 standartıına göre donma-çözülme deneyine tabi tutulmuştur. Böylelikle numunelerde kullanılmış olan çelik lif katkısının ısıl direnci, çevresel faktörlere karşı etkinliği, aşırı sıcaklık değişimlerinin olduğu bölgelerde grout malzemesine kazandırabileceği avantajlar görülebilmiştir. Deney için kullanılan iklimlendirme kabini ve içine yerleştirilen numuneler aşağıda Şekil 3.26'da gösterilmiştir.



Şekil 3.27. İklimlendirme kabini ve D-Ç deneyine tabi tutulan grout numuneleri

Bu kapsamda deney örnekleri, birikimli dağılım fonksiyonuna göre donma çözülme testine sokulmuştur. Şekil 3.27.'de gösterildiği şekliyle, -20°C'de donma, +20°C'de çözülme deneyine maruz bırakılmıştır. Testin 1 devir olarak belirlenmiş kısmı, standardına uygun olarak +20°C'de başlatılmış, sıcaklık saatte 10°C azaltılarak 4 saatte -20°C'ye ulaşmıştır. Numuneler, 3 saat -20°C'de tutulduktan sonra tekrar +20°C'ye 4 saatte ulaşmıştır. Son olarak numuneler 1 saat +20°C'de tutularak 1 devir tamamlanmıştır.



Şekil 3.28. Sıcaklık- Zaman grafiği [71]

Grout numuneleri daha sonra numune iklimlendirme kabinden çıkarılmıştır ve yüzeydeki serbest suyun tamamen boşalmasını sağlamak için bir desteğe oturtulmuştur. Çatlama veya ciddi bozulma olup olmadığını not etmek için numune üzerinde görsel inceleme yapılmıştır. Bu çalışmada, 4 farklı kür koşulu için çelik lif katkısız, %1, %1,5 ve %2 oranlarında mikro çelik katkılı hazır grout harcı (G1) ve tasarlanmış (G2) grout harç örneklerin 28 günlük, 50 ve 100 çevrim donma-çözülme etkisinde de ağırlık değişimi, eğilme dayanımı değişimi ve eğilme sonrası basınç dayanımı değişimi yüzdeleri denklem (3.5), (3.6) ve (3.7)'ye göre hesaplanmıştır.

$$\%W=\frac{W0-Wn}{W0} \quad (3.5)$$

Burada;

%W = Yüzdece ağırlık değişim oranı

W_0 =28 günlük grout h nununelerin ağırlıkları

Wn = Donma-çözülmesi etkisin sonrası grout numunelerin n. çevrimdeki (50 ve 100) ağırlıkları

$$\%\sigma_e=\sigma e = \frac{\sigma 0-\sigma n}{\sigma 0} \quad (3.6)$$

Burada;

% σ_e = Yüzdece eğilme dayanımı değişim oranı

σ_0 = 28 günlük grout numunelerin eğilme dayanımları

σ_n = Donma-çözülmesi etkisin sonrası grout numunelerin n. çevrimdeki (50 ve 100) eğilme dayanımları

$$\%\sigma=\sigma = \frac{\sigma 0-\sigma n}{\sigma 0} \quad (3.7)$$

Burada;

% σ = Yüzdece eğilme sonrası basınç dayanımı değişim oranı

σ_0 = 28 güünlük grout numunelerin eğilme sonrası basınç dayanımları

σ_n = Donma-çözülmesi etkisin sonrası grout numunelerin n. çevrimdeki (50 ve 100) eğilme sonrası basınç dayanımları

3.6.3. Kılcal (Kapiler) Su Emme Deneyi

Yapı elemanının bünyesindeki belirli çaptaki boşluklar içerisinde suyun yerçekimine karşı yükselmesine kılcallık denir. Tabanında suyla temas eden malzeme kılcallık yoluyla bünyesine su alacaktır. Bu nedenle malzemenin ağırlığı da zamana bağlı olarak artacaktır. Malzeme bu olay sırasında belirli aralıklarla tartılarak o malzemenin kılcallık katsayısını bulmak için gereken veriler elde edilir. Kılcallık katsayısının birimi cm/dak veya cm/sn 'dir [69]. Bu çalışmada, 4x4x16cm ebatlarınnda üretilen, 4 farklı kür koşulu için çelik lif katkısız, %1, %1,5 ve %2 oranlarında mikro çelik katkılı hazır grout harcı (G1) ve tasarlanmış (G2) grout harç örneklerin 28 günlük kapiler su emme deneyleri ASTM C 1585'e göre yapılmıştır. Grout numuneleri önce sıcaklığın 105 °C civarında tutulduğu etüvde 24 saat kurutulduktan sonra numuneler yerleştirilerek oda sıcaklığında soğutularak sabit ağırlığa getirilmiştir. Deney sürecinde; örnekler kuru olarak tartıldıktan sonra sadece alt yüzeyleri suyla temas edecek şekilde, diğer yüzeyleri su geçirimsiz malzemeyle, parafinle kaplanarak su içindeki 5-10 mm yükseliğinde yerleştirilmiştir. Distile suyun kullanıldığı deneyde buharlaşma sonucunda su seviyesinin azalması ara ara takviye yapılarak engellenmiştir. Kronometre yardımıyla zaman tutularak, örnekler belirli aralıklarla (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 120. dakikalarda) 0,01 g hassasiyetindeki dijital terazide tartılarak birim alanda emilen su miktarı belirlenmiştir. Deney sonucunda elde edilen veriler kullanılarak, denklem (3.8) formülle yapılan hesapların sonucunda sertleşmiş grout numunelerin kılcallık katsayıları bulunmuştur [83].

Bu test yöntemi, numunenin sadece bir yüzeyi suya maruz kaldığında zamanın bir fonksiyonu olarak suyun absorpsiyonundan kaynaklanan bir numunenin kütlesindeki artışı ölçerek hidrolik çimento betonu tarafından suyun absorpsiyon (emme) oranını belirlemek için kullanılır.

Kılcallık katsayısı denklem (3.8)'e göre hesaplanmıştır:

$$k=(m_i-m_d)/A*(t^{0,5})(kg/m^2.dak.^{0,5}) \quad (3.8)$$

Bu bağıntıda;

k= kılcallık katsayısı ($kg/m^2.dak.^{0,5}$)

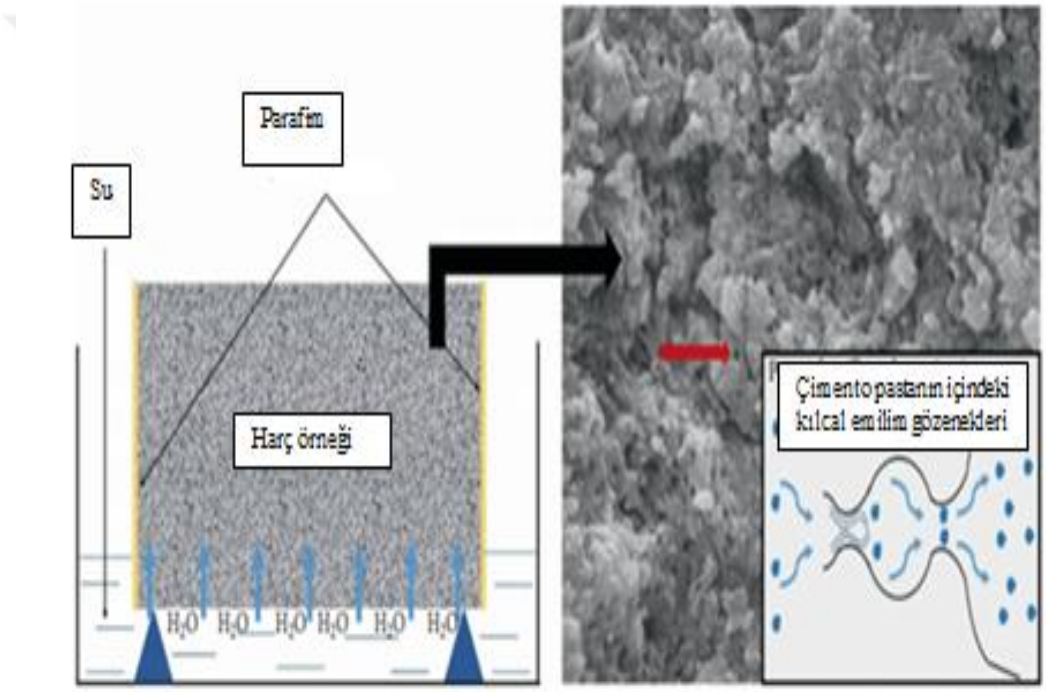
m_d: Kuru deney numunesinin kütlesi, kg,

m_i: Deney numunesinin belli zaman aralıklarındaki su emmiş kütlesi, kg,

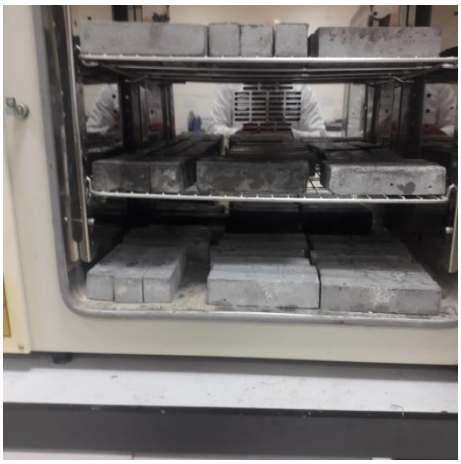
A: Suya batırılmış yüzeyin alanı, m^2,

t: Deney başlangıcından itibaren ardışık kütlelerinin ölçüldüğü süreler, dak.

Su emme katsayısı, belirli bir zamandaki kılcallık etkisinin hızını ifade eder. Aw'nin zamanın karekköküne bağlı eğimi matematiksel olarak kılcallık katsayısını tanımlar tanımlanır.



Şekil 3.29. Kılcal (Kapiler su emme) deney düzeneği ve mikroyapısı [84]



a)



b)

Şekil 3.30. a) Grout numuneleri 105 °C etüvde kurutulması
b) 28 günlük grout numunelerine uygulanan kılcal su emme deneyi

4. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

4.1. Taze Hal Deney Sonuçları

4.1.1. Yayılma Deneyi Sonuçları

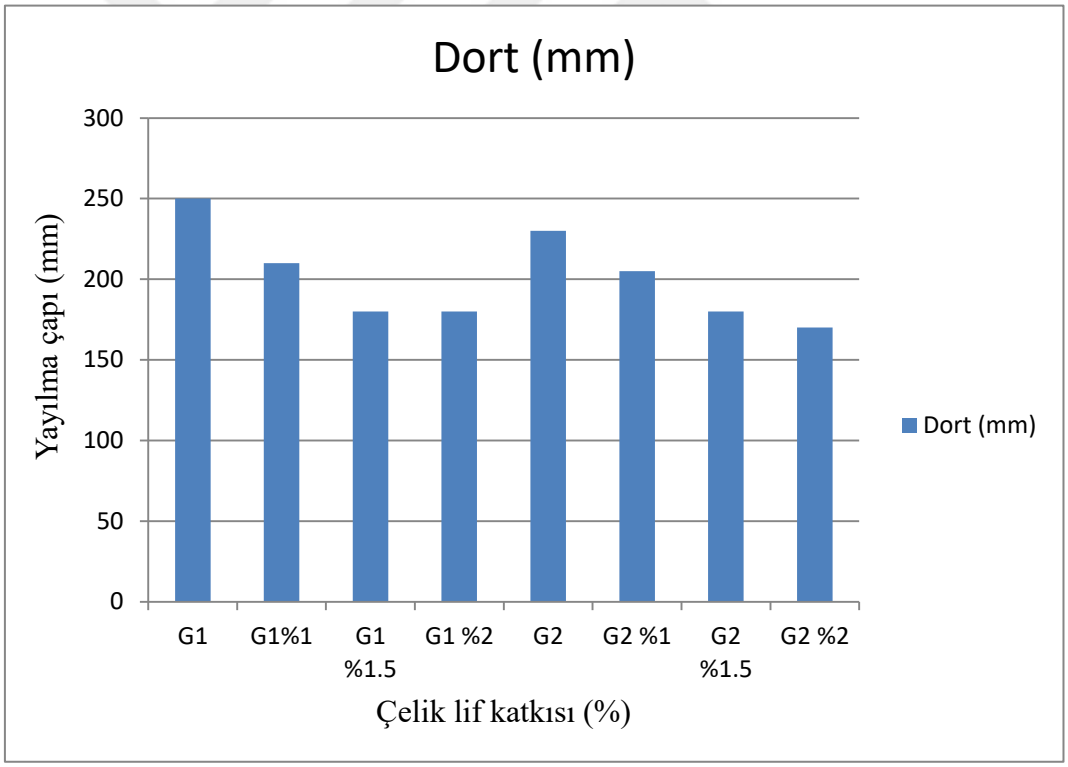
Başarılı bir grout harcı karışımı karıştırılması kolay olmalı ve boşluğu doldurmak için yeterli başlangıç akışkanlığına sahip olmalıdır. Yayılma deneyi sonuçları çimento esaslı malzemelerin işlenebilirliğine; karışımın su içeriği, karışım oranları, sıcaklık, çimento karakteristikleri ve ilave edilen katkıların tür ve miktarı gibi birçok faktör etki eder.

Bu çalışmada, yayılma deneyi olarak, çimento esaslı harçların mini slump yayılmaları çelik lif ilavesinden önce ve sonra ölçülmüştür. Sonuçlar Tablo 4'1'de özetlenmiştir. Mikro çelik lif ilavesiz hazır grout harcında yayılma değerinin 250 mm olduğu ve oldukça akışkan bir özellik sergilediği görülmüştür. Hazır grout harcına (G1) hacimce %1 oranında OL 6/16 mikro çelik lif ilavesinin yayılma değerinin 40 mm azaltarak 210 mm olduğu, mikro çelik lif ilavesinin grout harcında hacimce %1,5 ve %2 oranında olduğunda ise yayılma değerlerin her iki hacim oranında 180 mm olduğu ve mikro çelik liflerin akışkanlığı düşürdüğü görülmektedir. Tasarlanmış çelik lif katkısız grout harçların mini slump yayılma değerinin 230 mm olduğu, patentli BASF Hazır grout harcı grout harcına göre 20 mm azalma olduğu görülmektedir. Aynı şekilde hazır grout harcında olduğu gibi %1, %1,5, %2 mikro çelik lif ilavesi tasarlanmış grout harcın yayılma değerlerinde bir azalma meydana gelmiştir.

Mikro çelik liflerin eklenmesinin, harç ürünlerinin yayılımını büyük ölçüde etkilediği görülebilir. Hacme göre çelik elyaf ilavesi, yayılmasını ortalama olarak 3 ile 4 cm azaltmıştır. Sonuç olarak, yayılımındaki azalma, çelik lif ilavesinin grout harçların boşluk doldurma kapasitesinde olumsuz bir rol oynadığını ortaya koymuştur. Bu, çelik liflerin grout harcına eklenmesinin işlenebilirlik kaybına neden olacağı sonucuna varılabilir. Ana sebep, çelik liflerin liflerin birbirine karışması nedeniyle taze harcın stabilitesini arttırması ve böylece taze karışımın serbest deformasyonunu azaltmasıdır [9].

Tablo 4.1. Tüm grout harcı serilerine ait yayılma değerleri

Grout Numuneleri	D1 (mm)	D2 (mm)	D_{ort} (mm)
G1	250	250	250
G1 %1,0	210	210	210
G1 %1.5	180	180	180
G1 %2,0	180	180	180
G2	220	240	230
G2 %1,0	200	210	205
G2 %1.5	180	180	180
G2 %2,0	170	170	170



Şekil 4.1. Tüm grout harcı serilerine ait yayılma değerleri (mm)

4.1.2. Terleme Tayini Deneyi Sonuçları

Grout harç ürünlerinin dökümden sonraki 3 saat içinde herhangi bir terleme olmadığı görülmüştür. Aşırı terleme, yetersiz agrega gradasyonuna veya karışımda ince tane olmamasına bağlanabilir. Terleme, hidrolik çimento esaslı malzemelerin normal bir olgusudur. Katı parçacıkların oturması ve suyun eş zamanlı olarak yukarı doğru göç etmesi sonucu taze yerleştirilmiş çimentolu malzemelerin yüzeyinde su birikmesini tanımlar. Hafif terleme mutlaka kapak dökümü üzerinde olumsuz etkilere yol açmaz, ancak plastik büzülme çatlağını kontrol etmeye yardımcı olur. Ancak aşırı terleme, perdahlamada gecikme, yüzey tabakasının mukavemet ve dayanıklılığında azalma gibi bazı performans sorunlarına yol açabilir. Özellikle su yüzeye çıktıkça buharlaşma meydana gelecek ve yüzeyin oturmasına veya formasyona neden olacaktır [9].

Tablo 4.2. Tüm grout serilerine ait terleme ve genleşme tayini değerleri

Grout numuneleri	Taze grout harcın (3 saatte) terlemesi (%)	Taze grout harcın (3 saatte) genleşmesi (%)
Hazır grout harcı (G1)	0	1,25
Tasarlanmış grout harcı (G2)	0	0

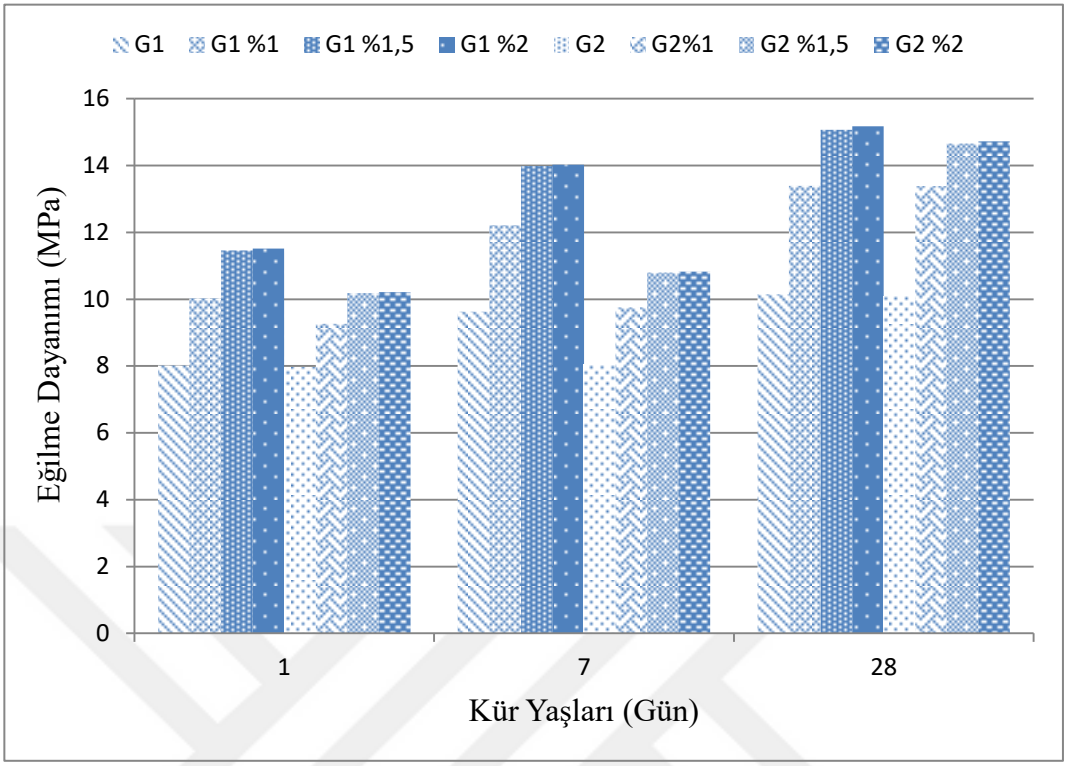
4.2. Mekanik Deney Sonuçlar

4.2.1. Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları

Hazır grout harcı (G1) ve tasarlanmış grout harçlarına (G2) mikro çelik liflerin dahil edilmesi, artan eğilme dayanımı ile sonuçlanmıştır. Su kürü, ıslak kaplama kürü, kür malzemesi uygulaması ve hava kurusu kürü gibi farklı kür rejimleri uygulanan grout harçları 1, 7 ve 28 günlük eğilme dayanım değerleri saptanmıştır. Tablo 4.3'de tüm grout serileri ve kür koşulları için eğilme dayanımı değerleri özetlenmiştir. Değerler elde edilirken prizma numunelerin (3 grout prizma numunesi) ortalaması alınmıştır. Elde edilen dayanım değerleri ve dayanım değerlerinin zamana ve çelik lif katkısı dozajına bağlı değişimleri 4 farklı kür koşulu için ayrı grafikler halinde verilmiştir. (Şekil 4.2-4.5)

Tablo 4.3. Farklı kür koşullarında mikro çelik lif katkılı 1, 7 ve 28 günlük grout serilerin eğilme dayanım değerleri

Kür koşulları	Su Kürü (SK)			Islak Kaplama (IK)			Kür Malzemesi (KM)			Hava Kurusu Kürü (HK)		
Grout adı	MPa											
	1. Gün	7. Gün	28. Gün	1. Gün	7. Gün	28. Gün	1. Gün	7. Gün	28. Gün	1. Gün	7. Gün	28. Gün
G1	8,01	9,62	10,14	8,22	9,69	11,23	7,25	9,19	10,08	6,32	7,40	8,18
G1 %1,0	10,02	12,21	13,39	10,41	12,29	14,85	9,02	11,62	12,75	7,52	9,06	10,24
G1 %1,5	11,45	13,98	15,06	11,51	14,09	16,64	9,61	12,19	13,56	7,69	9,14	10,79
G1 %2,0	11,51	14,02	15,17	11,55	14,14	16,97	10,54	12,57	13,67	7,72	9,17	10, 98
G2	7,94	8,05	10,07	8,02	9,43	11,11	7,16	9,01	10,11	5,73	5,90	8,06
G2%1,0	9,26	9,75	13,38	9,63	12,10	14,28	8,63	11,02	12,37	6,16	6,94	10,08
G2 %1,5	10,18	10,79	14,65	11,02	13,03	15,52	8,79	11,15	12,66	6,91	7,22	10,17
G2 %2,0	10,21	10,82	14.72	11,14	13,16	15,74	8,81	11,19	12,71	6,98	7,29	10,24



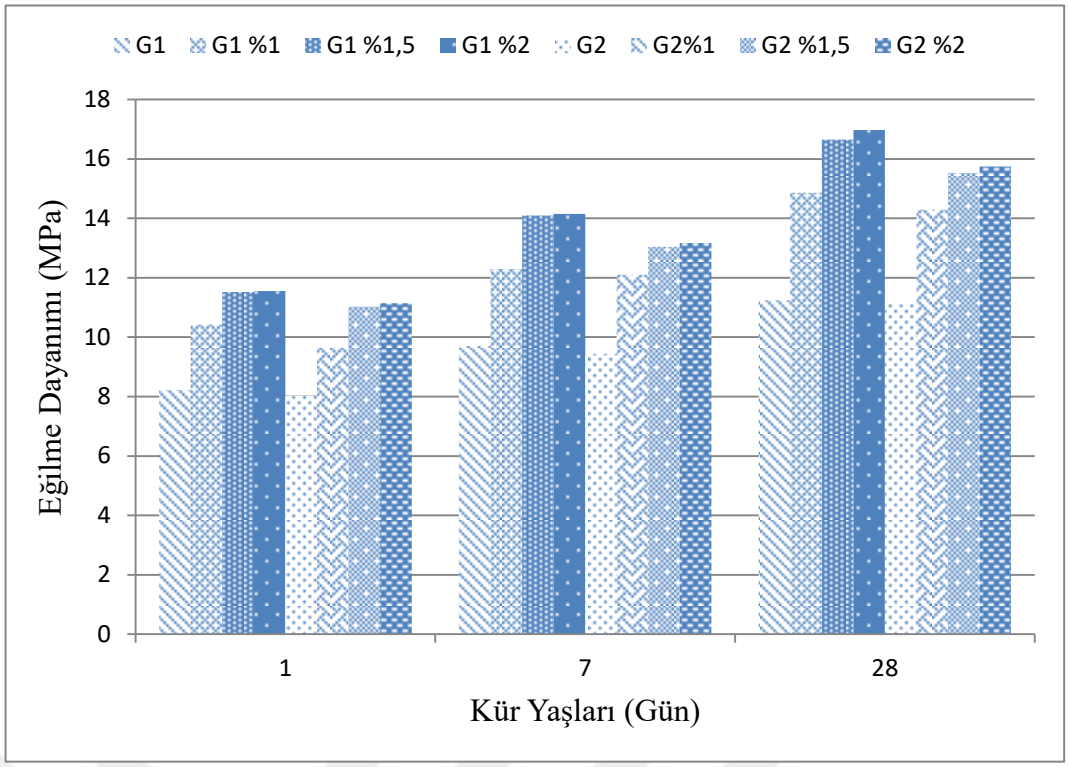
Şekil 4.2. Su kürü koşulunda hazır (G1) ve tasarlanmış (G2) grout harçların zamana ve mikro çelik lif dozajına bağlı eğilme dayanımıı değerleri

Su kürü koşulunda hazır grout harcına (G1) hacimce %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilavesi 1 günlük eğilme dayanımlarında sırasıyla %25,09, %42,95 ve %43,69 oranlarında, 7 günlük eğilme dayanım değerlerinde sırasıyla, %26,92, %45,32 ve %45,74 oralarında, 28 günlük eğilme dayanım değerlerinde ise sırasıyla %32,05, %48,52 ve %49,61 oranlarında artan eğilim göstermiştir. Su kürü koşulunda en fazla gelişim gösteren eğilme dayanımın %49,61 oranında artışla 28 günlük hacimce %2 mikro çelik lif katkılı (G1%2) grout harcı olduğu görülmektedir.

Ayrıca su kürü koşulunda tasarlanmış grout harcına (G2) %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilavesi 1 günlük eğilme dayanımı değerlerinde sırasıyla %16,62, %28,21 ve %28,59 oranlarında artış olduğu tespit edilmiştir, 7 günlük eğilme dayanımı değerlerinde sırasıyla %21,12, %34,03, %34,41, 28 günlük eğilme dayanımı değerlerinde ise sırasıyla %32,86 %45,48 ve %46,18 oranlarında artış göstermiştir. Tasarlanmış grout harcında (G2) en fazla eğilme dayanımı gelişimi

gösteren seri %46,18 oranında artışla, 28. kür yaşında hacimce %2 mikro çelik lif katkılı grout harcı (G2 %2) olmuştur.

Şekil 4.2'de görüldüğü üzere su kürü koşulunda hazır grout harcı (G1) serisine %1 mikro çelik lif ilavesi 1 günlük eğilme dayanım değerlerinde, 7 ve 28 günlük eğilme dayanım değerlerine göre daha az gelişim göstermiştir. Hazır grout harcına (G1) %1 mikro çelik lif ilavesi, grout harcına göre eğilme dayanım değerlerini önemli ölçüde arttırmıştır. Mikro çelik lif hacmi %1,5 ve %2 oranlarında olduğunda ise yine 28 günlük eğilme dayanım gelişimi 1 ve 7 günlük eğilme dayanıma göre daha fazladır. Su kürü koşulunda %1,5 ve %2 mikro çelik lif katkılı grout harcı numuneleri 1, 7. kür yaşlarında yaklaşık aynı eğilme dayanımı performansı sergilemişlerdir, %2 mikro çelik lif katkılı grout harcı numuneleri 28. kür yaşında ise çok az eğilme dayanımı artışı sergilemişlerdir. Bunun yanında tasarlanmış grout harçlarına (G2) mikro çelik lif ilavesi hazır grout harç (G1) ile aynı eğilimi göstermiş ancak G1 grout harcı serisine göre daha düşük dayanım değerleri elde edilmiştir. Su kürü koşulunda tasarlanmış grout harcına %1, %1,5 ve %2 oranlarında mikro çelik lif ilavesi, artan eğilme dayanımları ile sonuçlanmıştır.

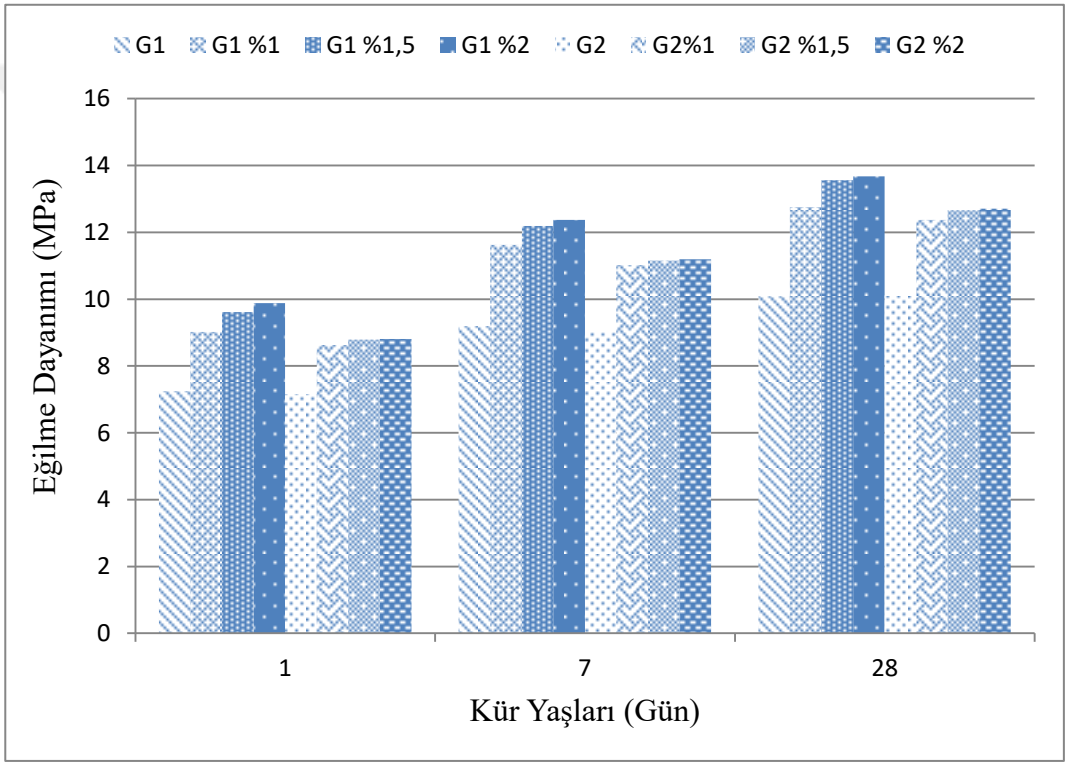


Şekil 4.3. Islak kaplama kürü koşulunda hazır (G1) ve tasarlanmış (G2) grout harçların zamana ve mikro çelik lif dozajına bağlı eğilme dayanımıı değerleri

Islak kaplama kürü koşulunda hazır grout harcına (G1) %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilavesiyle 1 günlük eğilme dayanımlarında sırasıyla %26,64, %40,02, %40,51 oranlarında artış olmuştur. 7 günlük eğilme dayanımı sırasıyla %26,83, %45,41 ve %45,92, 28 günlük eğilme dayanımı değerlerinde ise sırasıyla %32,23, %48,17 ve %51,11 oranlarında artış gerçekleşmiştir. Islak kaplama kürü koşulunda en fazla gelişim gösteren eğilme dayanımının %451,11 oranında artışla 28 günlük hacimce %2 mikro çelik lif katkılı (G1%2) grout harcı olduğu görülmektedir. (Şekil 4.3)

Tasarlanmış grout harcına ıslak kaplama kür koşulunda %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilavesi 1 günlük eğilme dayanımı değerlerinde sırasıyla %20,22, %37,57 ve %39,08 oranlarında artış olduğu, 7 günlük eğilme dayanımı değerlerinde sırasıyla %28,31, %38,18, %39,55 oranlarında artış olduğu, 28 günlük eğilme dayanımı değerlerinde ise sırasıyla %28,53, %39,69 ve %41,67 oranlarında artış olduğu tespit edilmiştir. Tasarlanmış (G2) grout harcında ıslak kaplama küğrü koşulunda en fazla eğilme dayanımı gelişimi gösteren seri %46,18 oranında artışla, 28. günde hacimce %2 mikro çelik lif katkılı grout harcı (G2 %2) olmuştur.

Islak kaplama kürü koşulunda ise diğer kür koşullarına göre en iyi eğilme dayanım değerleri elde edilmiştir. Hazır grout harcı (G1) serisine %1 mikro çelik lif ilavesinin 1 ve 7 günlük eğilme dayanım değerleri, 28 günlük eğilme dayanım değerlerine göre daha az gelişim göstermektedir. (Şekil 4.3). Su kürü koşulunda olduğu gibi, ıslak kaplama kür koşulunda tüm serilere eklenen %1,5 ve %2 oranlarında mikro çelik lif katkısı 1 ve 7. kür yaşlarında yaklaşık aynı eğilme dayanım değerleri elde edilmiştir. Tasarlanmış grout harçların (G2) eğilme dayanım değerlerinin hazır grout harçlarına göre (G1) daha düşük olduğu, ancak mikro çelik lif etkisiyle eğilme dayanım gelişiminin arttığı gözlemlenmektedir.



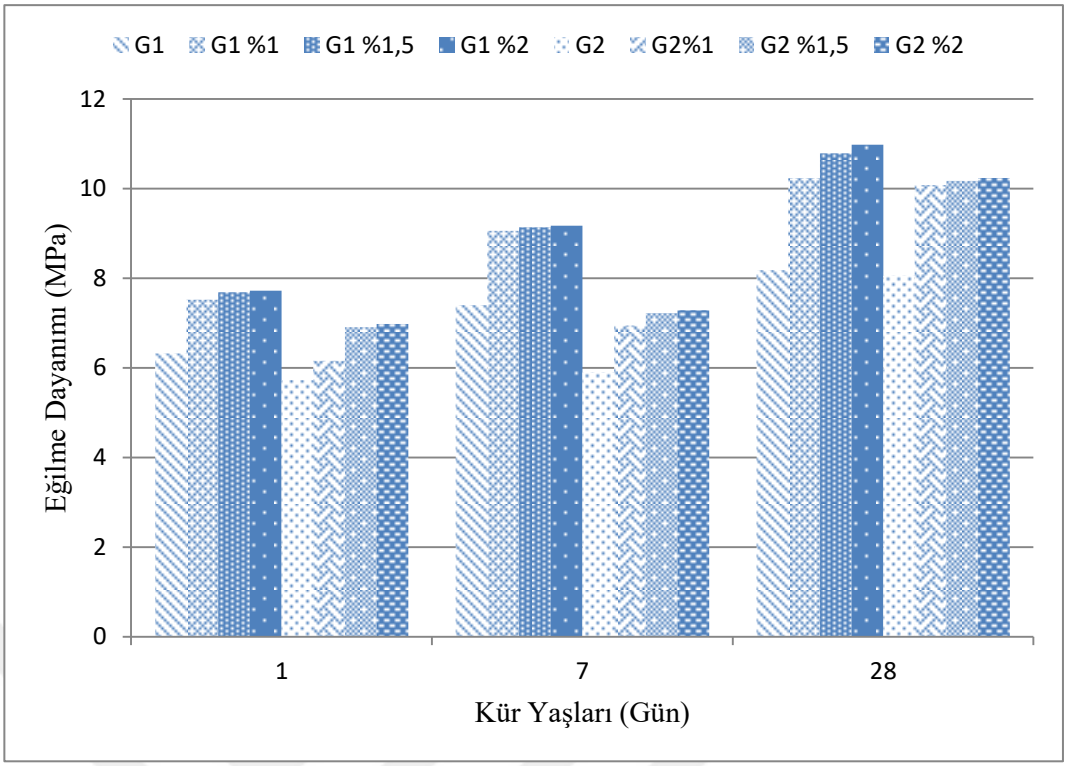
Şekil 4.4. Kür malzemesi uygulamasında hazır (G1) ve tasarlanmış (G2) grout harçların zamana ve mikro çelik lif dozajına bağlı eğilme dayanımıı değerleri

Kür malzemesi uygulamasında hazır grout harcı serilerine %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilavesi 1 günlük eğilme dayanımı değerlerinde sırasıyla %24,41 %32,55 ve %36,28, 7 günlük eğilme dayanımı değerlerinde sırasıyla %26,44, %32,64 ve %34,60, 28 günlük eğilme dayanımında ise %26,48, %34,52 ve %35,61 oranlarında artan bir eğilim göstermişlerdir. Kür malzemesi uygulamasında 28.

günde hazır grout harcına eklenen hacimce %2 mikro çelik lif katkısı (G1 %2) %35,61 oranında artışla en fazla eğilme dayanımı gelişimi gösteren seri olmuştur.

Ek olarak, kür malzemesi uygulamasında tasarlanmış grout harcına (G2) %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilavesi 1 günlük eğilme dayanımı değerlerinde sırasıyla %20,53, %22,76 ve %23,04 oranlarında artış olduğu, 7 günlük eğilme dayanımı değerlerinde sırasıyla %22,31, %23,75, %24,79 oranlarında artış olduğu, 28 günlük eğilme dayanımı değerlerinde ise sırasıyla %22,35, %25,22 ve %25,71 oranlarında artış olduğu tespit edilmiştir. Kür malzemesi uygulamasında 28. günde tasarlanmış grout harcına eklenen hacimce %2 mikro çelik lif katkısı (G2%2) %25,71 oranında artışla en fazla eğilme dayanımı gelişimi gösteren seri olmuştur.

Şekil 4.4'de görüldüğü üzere hazır grout harcı (G1) grout harcı ve tasarlanmış grout harcı serilerinin 1 günlük eğilme dayanım gelişimi, 7 ve 28 günlük eğilme dayanım gelişimine göre daha azdır. Kür malzemesi uygulanan grout harcı serileri incelendiğinde su kürü koşulundan daha düşük, hava kürü koşulundan daha yüksek eğilme dayanım değerleri olduğu saptanmıştır. Kür malzemesi uygulaması kürü koşulunda hazır grout harcı (G1) ve tasarlanmış grout harcına (G2) %1, %1,5 ve %2 oranlarında mikro çelik lif ilavesi, artan eğilme dayanımları ile sonuçlanmıştır.



Şekil 4.5. Hava kurusu kürü koşulunda hazır G1) ve tasarlanmış (G2) grout harçların zamana ve mikro çelik lif dozajına bağlı eğilme dayanımıı değerleri

Hava kurusu kür koşulunda hazır grout harcı (G1) serilerine %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilavesi 1 günlük eğilme dayanımı değerlerinde sırasıyla %18,98 %21,67 ve %22,15; 7 günlük eğilme dayanımı değerlerinde sırasıyla %22,43, %23,51 ve %23,92; 28 günlük eğilme dayanımında ise %25,18, %31,91 ve %34,23 oranlarında artan bir eğilim göstermişlerdir. Hava kürü koşulunda en fazla eğilme dayanımı gelişimi gösteren seri %34,23 oranında artışla, 28 günlük hacimce %2 oranında mikro çelik lif katkılı (G1 %2) grout harcı olmuştur.

Ayrıca hava kurusu kür koşulunda tasarlanmış grout harcına %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilavesi 1 günlük eğilme dayanımı değerlerinde sırasıyla %7,50, %20,59 ve %21,82 oranlarında artış olduğu, 7 günlük eğilme dayanımı değerlerinde sırasıyla %17,63, %22,37 %23,56 oranlarında artış olduğu, 28 günlük eğilme dayanımı değerlerinde ise sırasıyla %25,06, %26,18 ve %27,05 oranlarında artış olduğu tespit edilmiştir. Hava kurusu kür koşulunda tasarlanmış grout harcında (G2) en fazla eğilme dayanımı gelişimi gösteren seri %27,05 oranında artışla, 28 günlük hacimce %2 mikro çelik lif katkılı grout harcı (G2 %2) olmuştur. (Şekil 4.5)

Laboratuvar ortam koşullarında bekletilen, herhangi bir işlem uygulanmayan hava küründe bekletilen grout harcı serilerinde diğer kür koşullarına göre en düşük eğilme dayanım değerleri elde edilmiştir. Hazır grout harcı (G1) grout harcı ve tasarlanmış (G2) grout harcı serilerinde 1 ve 7. günlerindeki eğilme dayanımı 28. gündeki eğilme dayanımına göre diğer kür koşullarında olduğu gibi daha az gelişim göstermiştir. Diğer kür koşullarına göre değerlerin düşük olmasının nedeni çimentonun hidratosyon reaksiyonunu, su eksikliğinden dolayı tamamlayamaması olarak yorumlanabilir. Hazır grout harcı (G1) ve tasarlanmış grout harcı (G2) serilerinde %1, %1,5 ve %2 oranlarında mikro çelik lif ilavesi 1, 7 ve 28. günlerde eğilme dayanımlarını bir miktar arttırmıştır.



Şekil 4.6. a) Çelik lif katkısız numunenin eğilme davranışı **b)** Mikro çelik lif katkılı numunenin eğilme davranışı

Deney sonucunda hazır grout harcın (G1) erken yaşta (1 günlük) eğilme dayanım değerinin en fazla ıslak kaplama (IK) küründe 8,22 MPa, sonra sırasıyla devamlı su küründe (SK) 8,01 MPA, kür malzemesi uygulamasında 7,25 MPa ve en az değerin hava kürü uygulamasında 6,32 MPa olduğu saptanmıştır. Hazır grout harcı (G1) serisinin 7 günlük eğilme dayanımı değerleri sırasıyla, devamlı su küründe (SK), ıslak kaplama (IK) küründe, kür malzemesi uygulamasında (KM), hava kurusu küründe (HK); 9,62 MPa, 9,69 MPa, 9,19 MPa, 7,40 MPa olduğu Tablo 4.3'de görülmektedir. Hazır grout harcı (G1) grout harcı serisinin 28 günlük eğilme

dayanımı değerlerinin sırasıyla su küründe (SK), ıslak kaplama (IK) küründe, kür mazlemesi uygulamasında (KM) ve hava kurusu kür koşulunda, 10,14 MPa, 11,23 MPa, 10,08 MPa, 8,18 MPa olduğu belirlenmiştir. Eğilme dayanım testi sonuçları doğrultusunda hazır grout harcına (G1) %1 mikro çelik lif ilavesinin erken ve geç yaşta eğilme dayanım değerlerini önemli ölçüde arttırdığı sonucuna varılmıştır. Artan mikro çelik lif ilavesiyle (%1,5 oranında) yine eğilme dayanımı arttığı, %2 oranındaki mikro çelik katkısının ise %1,5 mikro çelik lif katkısı ile hemen hemen aynı artan eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir.

Tasarlanmış grout harcın (G2) eğilme dayanımı değerlendirildiğinde ise çelik lif katkısız grout harçların 1 günlük eğilme dayanım değerleri sırasıyla su küründe, ıslak kaplama küründe, kür malzemesi uygulamasında, hava kurusu küründe; 7,94 MPa, 8,02 MPa, 7,16 MPa ve 5,73 MPa olduğu görülmektedir. 7 günlük eğilme dayanım değerleri sırasıyla su küründe, ıslak kaplama küründe, kür malzemesi uygulamasında, hava kurusu küründe; 8,05 MPa, 9,43 MPa, 7,51 MPa ve 5,90 MPa olduğu saptanmıştır. 28 günlük eğilme dayanım değerleri sırasıyla su küründe, ıslak kaplama küründe, kür malzemesi uygulamasında, hava kurusu küründe; 10,07 MPa, 11,11 MPa, 10,11 MPa ve 8,06 MPa olduğu belirlenmiştir. Tasarlanmış grout harcına %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilavesi, hazır grout (G1) harcında olduğu gibi artan eğilme dayanımı değerleri ile sonuçlanmıştır.

Sonuç olarak, çelik liflerin eğilme dayanımlarını arttırmaları ile birlikte kırılma davranışı üzerindeki etkileri de oldukça belirgindir. Bu açıdan sünek göçme davranışının istendiği yapılarda az da olsa çelik lif kullanmak çimento esaslı malzemenin kırılma sonrası davranışı açısından çok etkilidir. Çelik liflerin kullanılması geleneksel harçların çelik lif kullanımı sırasında çıkarttığı yerleştirme sorunlarına dolayısıyla makro boşluk sorunlarına çözüm niteliğindedir. Ayrıca bu boşluksuz yapının liflerin etkinliğini arttırması beklenebilir.

4.2.2. Eğilme Sonrası Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

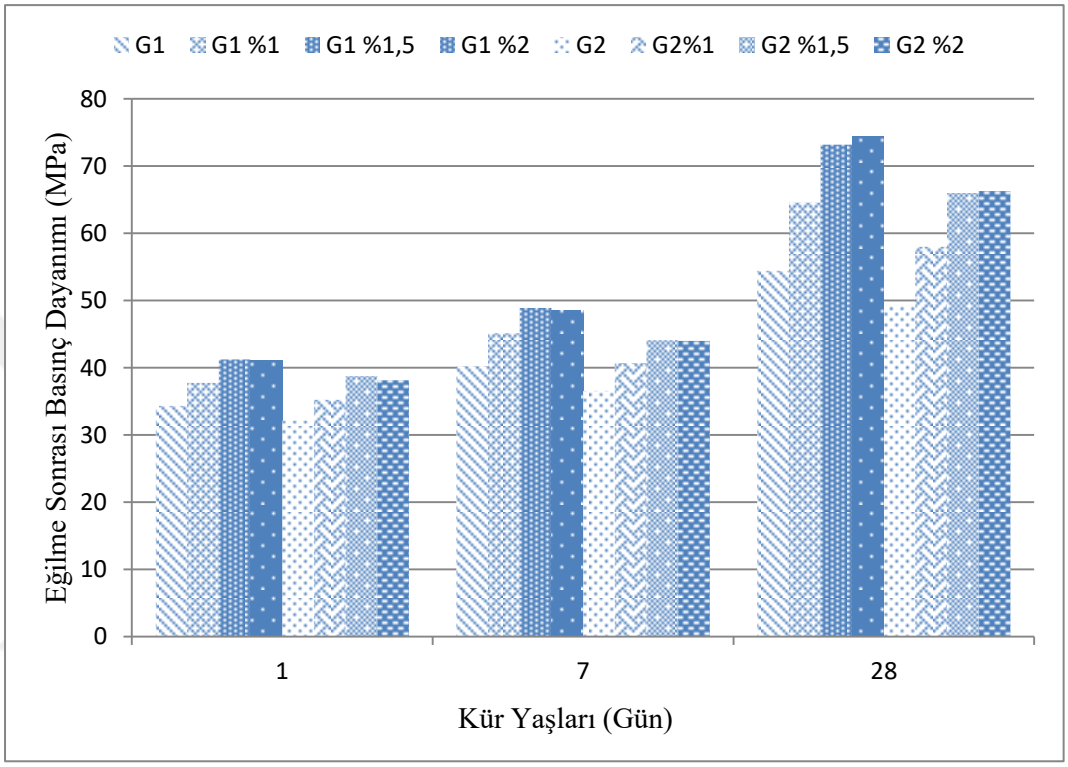
Başarılı bir grout harcı, performans gösterdiği alanda yüksek erken dayanım kazancının yanı sıra yeterli uzun vadeli dayanıma sahip olmalıdır. Lifsiz, hacimce %1, %1,5 ve %2 oranlarında mikro çelik lif katkılı hazır grout harcı (G1) ile

tasarlanmış (G2) grout harçların eğilme sonrası basınç dayanım değerleri Tablo 4.4'de özetlenmiştir. Üç noktalı eğilme dayanımı testi sonrası prizma numunelerden ikiye ayrılan parçalar üzerinde eğilme sonrası basınç dayanımı testi gerçekleşmiştir. Değerler elde edilirken üç grout numunesinin eğilme sonrası basınç dayanım değerlerinin ortalaması alınmıştır. Tablo 4.4'de görüldüğü üzere en fazla eğilme sonrası basınç dayanım değerleri kür koşulu açısından değerlendirildiğinde ıslak kaplama (IK) küründe olduğu görülmektedir.

Tablo 4.4. Farklı kür koşullarında mikro çelik lif katkılı 1, 7 ve 28 günlük grout serilerin eğilme sonrası basınç dayanım değerleri

Eğilme Sonrası Basınç Dayanımı	Su Kürü (SK)			Islak Kaplama (IK)			Kür Malzemesi (KM)			Hava Kurusu Kürü (HK)		
	MPa											
Grout adı	1. Gün	7. Gün	28. Gün	1. Gün	7. Gün	28. Gün	1. Gün	7. Gün	28. Gün	1. Gün	7. Gün	28. Gün
G1	34,35	40,25	54,45	35,62	41,33	56,71	30,04	40,77	49,50	26,93	35,07	41,09
G1 %1,0	37,78	45,13	64,56	39,40	46,97	67,34	32,84	44,95	57,11	29,11	39,13	46,59
G1 %1,5	41,24	48,89	73,19	44,88	52,72	76,46	35,77	48,77	60,59	31,52	41,10	50,21
G1 %2,0	41,08	48,53	74,45	44,31	52,04	81,10	35,21	48,04	61,72	31,03	41,02	51,09
G2	32,16	36,56	49,25	33,06	40,25	50,23	30,10	36,51	48,52	25,51	33,74	40,02
G2%1,0	35,23	40,72	58,03	36,16	44,88	60,89	32,09	40,91	55,91	27,44	37,18	44,81
G2 %1,5	38,77	44,12	66,01	41,44	50,71	67,36	33,77	41,99	59,34	28,55	38,76	48,05
G2 %2,0	38,16	44,01	66,27	41,00	50,01	68,21	34,26	41,03	60,46	28,11	37,89	49,24

Eğilme sonrası basınç dayanım değerleri su küründe (SK) ise, ıslak kaplama (IK) küründeki değerlerden bir miktar az olmakla birlikte, her iki kür koşulunda değerlerin birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Kür malzemesi (KM) uygulamasında su küründen daha az değerler elde edilmiştir. Eğilme sonrası basınç dayanımı değerlerinin en az hava kurusu kür koşulunda olduğu saptanmıştır.



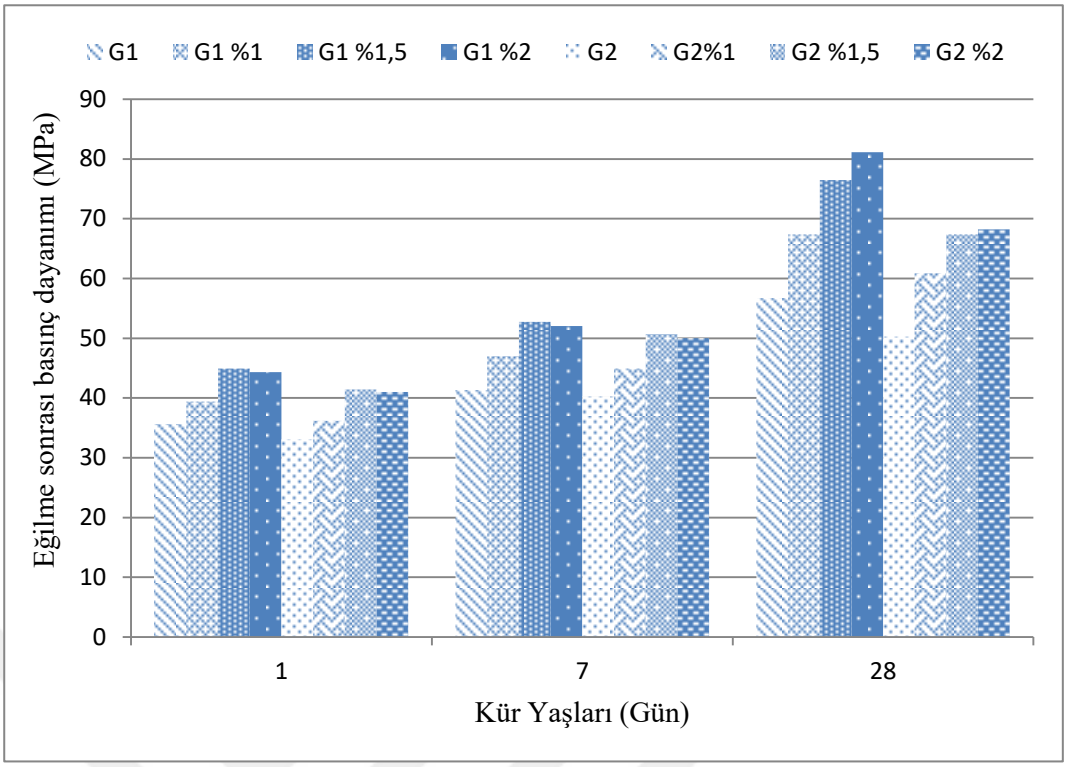
Şekil 4.7. Su kürü koşulunda hazır (G1) ve tasarlanmış (G2) grout harçların zamana ve mikro çelik lif dozajına bağlı eğilme sonrası basınç dayanımıı değerleri

Çelik lif katkısız karışıma hazır grout harcın (G1) eğilme sonrası basınç dayanım değerleri su kürü koşulunda (SK) erken yaşta (1 günlük) 34,35 MPa, 7 günlük 40,25 MPa ve 28 günlük iken 54,45 MPa'dır; ıslak kaplama kür koşulunda (IK), 1, 7 ve 28. günlerde sırasıyla 35,62 MPa, 41,33 ve 56,71 MPa değerleri elde edilmiştir. Kür malzemesi (KM) uygulamasında, 1, 7 ve 28. günlerde sırasıyla 30,04 MPa, 40,77 MPa ve 49,50 MPa; hava kurusu kür (HK) koşulunda ise 1, 7 ve 28. günlerde sırasıyla 26,93 MPa, 35,07 ve 41,09 MPa değerleri elde edilmiştir.

Tasarlanmış (G2) grout harç serisinin eğilme sonrası basınç dayanımı değerlerinin, hazır grout harcı (G1) serisine göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Çelik lif katkısız tasarlanmış grout harcın (G2) eğilme sonrası basınç dayanımı değerleri; su kürü koşulunda 1, 7 ve 28. günlerde sırasıyla 32,16 MPa, 36,56 MPa ve 49,25 MPa; ıslak kaplama kürü koşulunda 1, 7 ve 28. günlerde sırasıyla 33,06 MPa, 40,25 MPa ve 50,23 MPa; kür malzemesi uygulamasında 1, 7 ve 28 günlerde sırasıyla 30,10 MPa, 36,51 MPa ve 48,52 MPa; hava kürü koşulunda 1, 7 ve 28. günlerde sırasıyla 25,51 MPa, 33,74 MPa ve 40,02 MPa'dir.

Su kürü koşulunda hazır grout harcına (G1) hacimce %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilavesi 1 günlük eğilme sonrası basınç dayanımlarında sırasıyla %9,99, %20,06 ve %19,59 oranlarında; 7 günlük eğilme sonrası basınç dayanım değerlerinde sırasıyla, %12,12, %21,47 ve %20,57 oralarında; 28 günlük eğilme sonrası basınç dayanım değerlerinde ise sırasıyla %18,57, %34,42 ve %36,73 oranlarında artan eğilim göstermiştir. Su kürü koşulunda 1 ve 7 günlük ike eğilme sonrası basınç dayanımında en fazla gelişim gösteren hazır grout harçların hacimce %1,5 mikro çelik katkılı seriler olduğıu (G1 %1,5), 28 günlük iken ise hacimce %2 mikro çelik lif katkılı (G1 %2) grout harcı serileri olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca su kürü koşulunda tasarlanmış grout harcına (G2) %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilavesi 1 günlük eğilme sonrası basınç dayanımı değerlerinde sırasıyla %9,55, %20,55 ve %18,66 oranlarında artış olduğu tespit edilmiştir. Su küründe geleneksel grout harcına hacimce %1, %1,5 ve %2 oranlarında mikro çelik lif ilavesiyle 7 günlük eğilme sonrası basınç dayanımı değerlerinde sırasıyla %11,38 %20,68, %20,38, 28 günlük eğilme sonrası basınç dayanımı değerlerinde ise sırasıyla %17,83, %34,03 ve %34,56 oranlarında artış göstermiştir. Su kürü koşulunda geleneksel grout harcında, aynı hazır grout harcı (G1) serisinde olduğu gibi en fazla eğilme sonrası basınç dayanımıı gelişimi gösteren grout harçların 1 ve 7 günlük iken hacimce %1,5 mikro çelik lif katkılı (G2 %1,5); 28 günlük iken ise hacimce %2 mikro çelik lif katkılı (G2 %2) grout harcı nunumelerinde olduğu tespit edilmiştir.



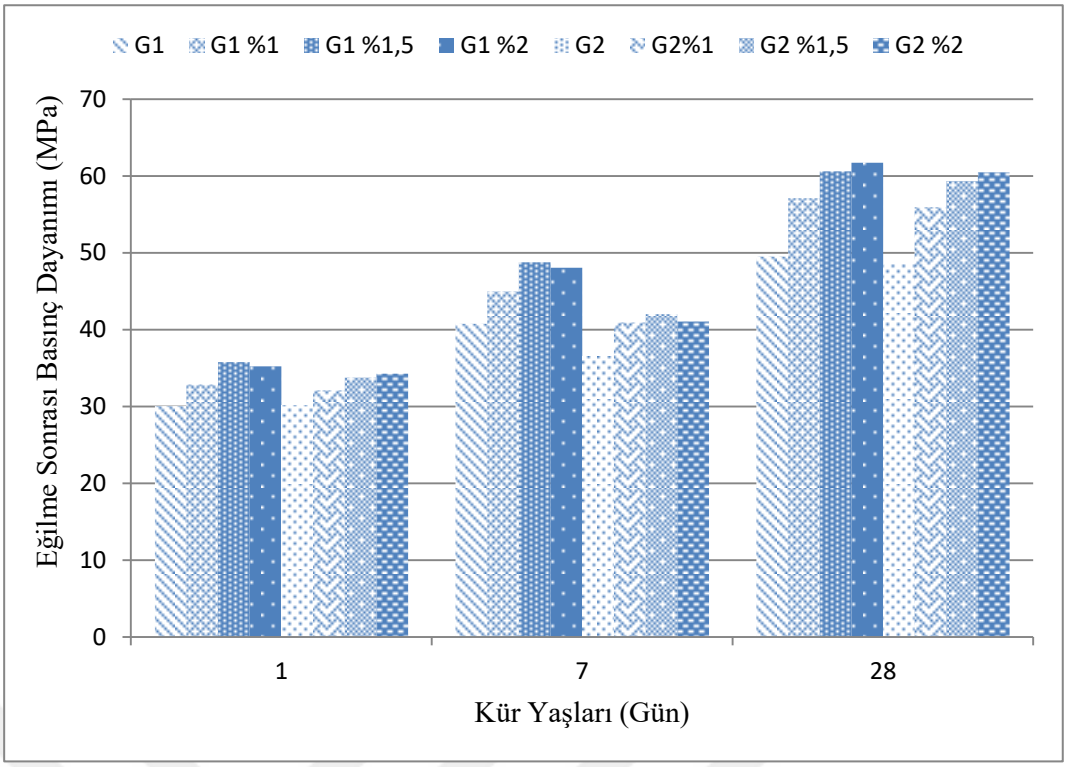
Şekil 4.8. Islak kaplama kürü koşulunda hazır G1) ve tasarlanmış (G2) grout harçların zamana ve mikro çelik lif dozajına bağlı eğilme sonrası basınç dayanımıı değerleri

Islak kaplama kürü koşulunda ise diğer kür koşullarına göre en iyi eğilme sonrası basınç dayanım değerleri elde edilmiştir. Hazır grout harcı (G1) serisine %1 mikro çelik lif ilavesinin 1 ve 7 günlük eğilme sonrası basınç dayanım değerleri, 28 günlük eğilme sonrası basınç dayanım değerlerine göre daha az gelişim göstermektedir. (Şekil 4.8). Su kürü koşulunda olduğu gibi, ıslak kaplama kür koşulunda tüm serilere eklenen %1,5 ve %2 oranlarında mikro çelik lif katkısı 1 ve 7. kür yaşlarında yaklaşık aynı eğilme sonrası basınç dayanım değerleri elde edilmiştir. Tasarlanmış grout harcının eğilme sonrası basınç dayanım değerlerinin hazır grout harcına göre daha düşük olduğu, ancak mikro çelik lif etkisiyle eğilme sonrası basınç dayanım gelişiminin arttığı gözlemlenmektedir.

Islak kaplama kürü koşulunda karışıma hazır grout harcına (G1) %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilavesiyle 1 günlük eğilme sonrası basınç dayanımlarında sırasıyla %10,61, %26,00, %24,40 oranlarında artışı olmuştur. Islak kaplama kür koşulunda %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilavesi 7 günlük eğilme sonrası basınç dayanımı değerlerinde sırasıyla %13,65, %27,56 ve %25,91; 28 günlük eğilme sonrası basınç

dayanımı değerlerinde ise sırasıyla %18,74, %34,83 ve %43,01 oranlarında artış gerçekleşmiştir. Islak kaplama kür koşulunda hazır grout harcın (G1) 1 ve 7 günlük iken eğilme sonrası basınç dayanımında en fazla gelişim gösteren grout harçların hacimce %1,5 mikro çelik katkılı (G1 %1,5) seriler olduğıu, 28 günlük iken ise hacimce %2 mikro çelik lif katkılı (G2 %2) grout harcı serileri olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca ıslak kaplama kürü koşulunda tasarlanmış grout harcına (G2) %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilavesi 1 günlük eğilme sonrası dayanımı değerlerinde sırasıyla %9,38, %25,35 ve %24,02 oranlarında artış olduğu; 7 günlük eğilme sonrası basınç dayanımı değerlerinde sırasıyla %11,50, %25,99, %24,25 oranlarında artış olduğu; 28 günlük eğilme sonrası basınç dayanımı değerlerinde ise sırasıyla %21,22 %34,10 ve %35,80 oranlarında artış olduğu tespit edilmiştir. Islak kaplama kür koşulunda tasarlanmış grout harçların (G2) aynı hazır grout harcı (G1) serisinde olduğu gibi en fazla eğilme sonrası basınç dayanımıı gelişimi gösteren grout harçların 1 ve 7 günlük iken hacimce %1,5 mikro çelik lif katkılı (G2 %1,5); 28 günlük iken ise hacimce %2 mikro çelik lif katkılı (G2 %2) grout harcı nunumelerinde olduğu tespit edilmiştir.



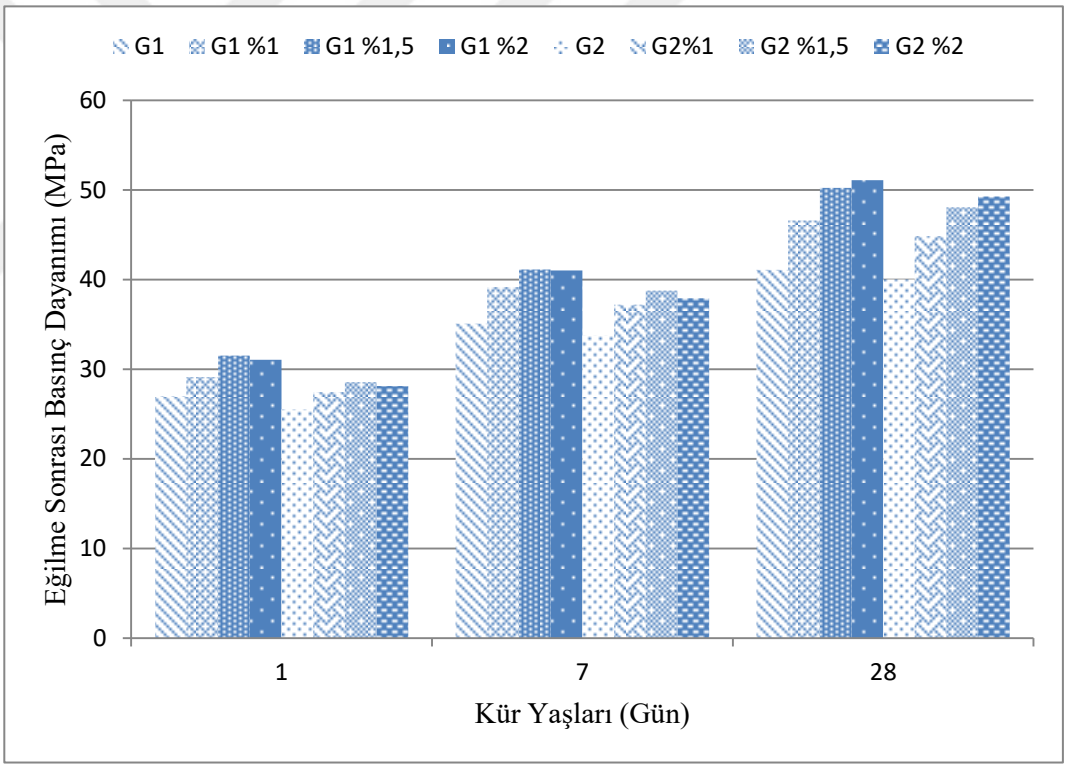
Şekil 4.9. Kür malzemesi uygulamasında hazır (G1) ve tasarlanmış (G2) grout harçların zamana ve mikro çelik lif dozajına bağlı eğilme sonrası basınç dayanımıı değerleri

Kür malzemesi uygulamasında karışıma hazır grout harcı (G1) grout harcı serilerine %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilavesi 1 günlük eğilme sonrası basınç dayanımı değerlerinde sırasıyla %9,32, %12,19 ve %13,82. 7 günlük eğilme sonrası basınç dayanımı değerlerinde sırasıyla %10,25, %19,62 ve %17,83, 28 günlük eğilme sonrası basınç dayanımında ise %15,37, %22,40 ve %24,69 oranlarında artan bir eğilim göstermişlerdir. Kür malzemesi uygulamasında hazır grout harçların (G1) 1 ve 7 günlük iken eğilme sonrası basınç dayanımında en fazla gelişim gösteren serinin, hacimce %1,5 mikro çelik lif katkılı (G1 %1,5) olduğıu, 28 günlük iken ise hacimce %2 mikro çelik lif katkılı (G1 %2) grout harcı serisi olduğu tespit edilmiştir.

Bunun yanında kür malzemesi uygulamasında tasarlanmış grout harcına (G2) %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilavesi 1 günlük eğilme sonrası basınç dayanımı değerlerinde sırasıyla %6,61, %12,19 ve %13,82 oranlarında artış olduğu, 7 günlük eğilme sonrası basınç dayanımı değerlerinde sırasıyla %12,05, %15,01, %12,38 oranlarında artış olduğu, 28 günlük eğilme sonrası basınç dayanımı değerlerinde ise sırasıyla %15,23, %22,30 ve %24,61 oranlarında artış olduğu tespit edilmiştir. Kür malzemesi uygulumasında tasarlanmış grout harçların eğilme sonrası basınç dayanımında en fazla gelişim gösteren serinin 1 ve 7 günlük iken hacimce %1,5

mikro çelik lif katkılı (G2 %1,5); 28 günlük iken ise hacimce %2 mikro çelik lif katkılı (G2 %2) grout harcı nunumelerinde olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 4.9'da görüldüğü üzere hazır grout harcı (G1) ve tasarlanmış (G2) grout harcı serilerinin 1 günlük eğilme sonrası basınç dayanım gelişimi 7 ve 28 günlük eğilme dayanım gelişimine göre daha azdır. Kür malzemesi uygulanan grout harcı serileri incelendiğinde su kürü koşulundan daha düşük, hava kurusu kür koşulundan daha yüksek eğilme sonrası basınç dayanım değerleri olduğu saptanmıştır. Kür malzemesi uygulamasında hazır grout harcı (G1) tasarlanmış grout harcına %1, %1,5 ve %2 oranlarında mikro çelik lif ilavesi, artan eğilme sonrası basınç dayanımları ile sonuçlanmıştır.



Şekil 4.10. Hava kurusu kür koşulunda hazır (G1) ve tasarlanmış (G2) grout Harçların zamana ve mikro çelik lif dozajına bağlı eğilme sonrası basınç dayanımıı değerleri

Hava kurusu küründe önceden hazır grout harcı serilerine %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilavesi 1 günlük eğilme sonrası basınç dayanımı değerlerinde sırasıyla %8,10 %17,04 ve %15,22, 7 günlük eğilme sonrası basınç dayanımı değerlerinde sırasıyla %11,58, %17,19 ve %16,97, 28 günlük eğilme sonrası basınç dayanımında ise %13,39, %22,20, %24,34 oranlarında artan bir eğilim göstermişlerdir. Hava kurusu kür koşulunda 1 ve 7 günlük iken eğilme sonrası basınç dayanımında en fazla gelişim gösteren hazır grout harçların (G1) hacimce %1,5 mikro çelik katkılı (G1 %1,5) seriler olduğıu, 28 günlük iken ise hacimce %2 mikro çelik lif katkılı (G1 %2) grout harcı serileri olduğu tespit edilmiştir.

Bunun yanında hava kurusu küründe tasarlanmış grout harcına (G2) olarak %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilavesi 1 günlük eğilme sonrası basınç dayanımı değerlerinde sırasıyla %5,61, %11,92 ve %10,19 oranlarında artış olduğu, 7 günlük eğilme sonrası basınç dayanımı değerlerinde sırasıyla %10,20, %14,88, %12,30 oranlarında artış olduğu, 28 günlük eğilme sonrası dayanımı değerlerinde ise sırasıyla %11,97, %20,06 ve %23,04 oranlarında artış olduğu tespit edilmiştir. Hava kurusu kür koşulunda en fazla eğilme sonrası basınç dayanımıı gelişimi gösteren tasarlanmış grout harçların 1 ve 7 günlük iken hacimce %1,5 mikro çelik lif katkılı (G2 %1,5); 28 günlük iken ise hacimce %2 mikro çelik lif katkılı (G2 %2) grout harcı nunumelerinde olduğu tespit edilmiştir.

Laboratuvar koşullarında bekletilen, herhangi bir işlem uygulanmayan hava küründe bekletilen grout harcı serilerinde diğer kür koşullarına göre en düşük eğilme dayanım değerleri elde edilmiştir.(Şekil 4.10). Hava kurusu kür koşulunda, hazır grout harcı ve tasarlanmış grout harcı serilerinde 1 ve 7. günlerindeki eğilme dayanımı 28. gündeki eğilme dayanımına göre diğer kür koşullarında olduğu gibi daha az gelişim göstermiştir. Diğer kür koşullarına göre değerlerin düşük olmasının nedeni çimentonun hidratosyon reaksiyonunu, su eksikliğinden dolayı tamamlayamaması olarak yorumlanabilir. Hazır grout harcı ve tasarlanmış grout harcı serilerinde %1, %1,5 ve %2 oranlarında mikro çelik lif ilavesi 1, 7 ve 28. günlerde eğilme dayanımlarını bir miktar arttırmıştır. Tüm grout serileri içinde %2

mikro çelik lif katkılı hazır grout harcı hava kürü koşulunda, 28. günde en fazla eğilme dayanımı gelişimi gösteren seri olmuştur.

Tüm kür koşulları ve çelik lif dozajları değerlendirildiğinde hacimce %1 ve %1,5 mikro çelik lif katkısı, lifsiz hazır grout harcı (G1) grout harcı ve tasarlanmış (G2) grout harcına göre eğilme sonrası basınç dayanım değerlerinde artış sergilemişlerdir. %2 mikro çelik lif katkılı grout harcı numunlerinde ise eğilme sonrası basınç dayanımı 28. günde çok az bir şekilde artmaya devam etmiş ancak erken yaşta (1 ve 7 günlük) %1,5 mikro çelik lif katkılı numunelere göre belli oranlarda azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Hazır grout harcı (G1) serisinin eğilme sonrası basınç dayanımı değerlendirildiğinde, tüm kür koşulları içinde erken yaşta (1 günlük) en fazla eğilme sonrası basınç dayanımı gelişimi gösteren seri %26 oranında artışla ıslak kaplama kürü koşulunda %1,5 mikro çelik lif katkılı (G1 %1,5) grout harcı serisi; en az dayanım gösteren seri ise %8,10 oranında artışla hava kürü koşulunda %1 mikro çelik lif katkılı (G1%1) grout harcı serisi olmuştur. 7 günlük iken en fazla eğilme sonrası basınç dayanımı gelişimi gösteren seri %27,56 oranında artışla yine ıslak kaplama kürü koşulunda %1,5 mikro çelik lif katkılı (G1 %1,5) grout harcı; en az dayanım gösteren seri ise %11,58 oranında artışla yine hava kurusu kür koşulunda %1 mikro çelik lif katkılı (G1%1) grout harcı serisi olmuştur. Geç yaşta (28 günlük) en fazla eğilme sonrası basınç dayanımı gelişimi gösteren seri %43,01 oranında artışla ıslak kaplama kürü koşulunda bu sefer %2 mikro çelik lif katkılı (G1 %2) grout harcı serisi; en az dayanım gösteren seri ise %13,39 oranında artışla hava kürü koşulunda %1 mikro çelik lif katkılı (G1%1) grout harcı serisi olmuştur.

Tasarlanmış grout harcı (G2) serisinin eğilme sonrası basınç dayanımı değerlendirildiğinde, tüm kür koşulları içinde erken yaşta (1 günlük) en fazla eğilme sonrası basınç dayanımı gelişimi gösteren seri %25,35 artışla ıslak kaplama kürü koşulunda %1,5 mikro çelik lif katkılı (G2 %1,5) grout harcı serisi; en az dayanım gösteren seri ise %5,61 artışla hava kurusu kür koşulunda %1 mikro çelik lif katkılı (G2%1) grout harcı serisi olmuştur. 7 günlük iken en fazla eğilmes sonrası basınç

dayanımı gelişimi gösteren seri %25,99 artışla ıslak kaplama kürü koşulunda %1,5 mikro çelik lif katkılı (G2 %1,5) grout harcı; en az dayanım gösteren seri ise %10,20 artışla hava kürü koşulunda %1 mikro çelik lif katkılı (G2%1) grout harcı serisi olmuştur. Geç yaşta (28 günlük) en fazla eğilme sonrası basınç dayanımı gelişimi gösteren seri %35,80 oranında artışla ıslak kaplama kürü koşulunda %2 mikro çelik lif katkılı (G1 %2) grout harcı serisi; en az dayanım gösteren seri ise %11,97 oranında artışla hava kurusu kür koşulunda %1 mikro çelik lif katkılı (G2%1) grout harcı serisi olmuştur.

Basınç dayanımındaki artış, çelik liflerin matris üzerindeki toklaştırma etkilerine bağlanabilir. Artan yük altında, yerel gerilme mukavemeti aştığında matriste çatlak başlar. Çelik lif katkısız çimento esaslı grout harcında, bu çatlak yayılır ve malzemenin hemen kırılmasına neden olur. Bununla birlikte, çelik liflerin varlığı çatlağı köprüler ve yapıştırma yoluyla matrise ek bir yük aktarır.

Sonuç olarak, çelik liflerin basınç dayanımı üzerindeki diğer bir etkisi, akışkanlıktaki değişim ile ilişkili olabilir ve bu da taze grout harcın kendiliğinden sıkışmasını etkiler. Çelik lif, numune hazırlama sırasında taze grout harcın kendiliğinden sıkışmasını kolaylaştırmaya yardımcı olduysa, faydalı etki meydana gelebilir; aksi takdirde olumsuz bir sonuç ortaya çıkar.



Şekil 4.11. Eğilme sonrası ikiye ayrılan prizma grout numunelerine ve küp numunelere uygulanan basınç dayanımı davranışına ait bazı görseller

4.3. Durabilite Deney Sonuçları

4.3.1. Kimyasal Direnç Deneyi Sonuçları

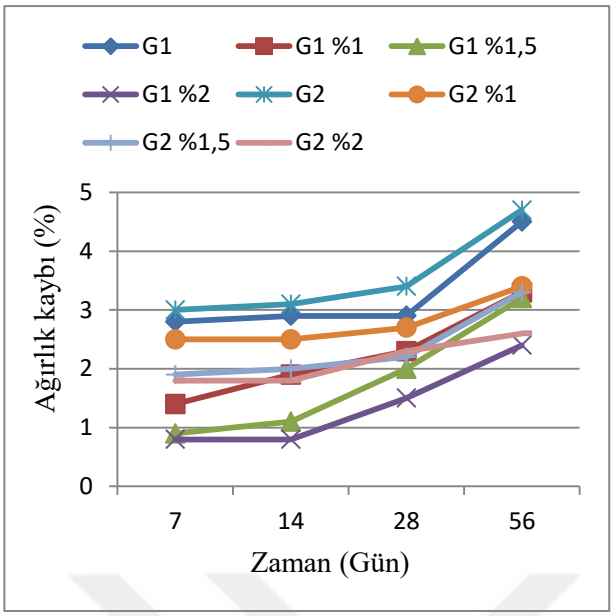
Malzemenin kimyasal direnci, asitlerin konsantrasyonundan ve doğasından, aşağıda verilen en agresif sırayla, az ya da çok etkilenir:

$HCI < HNO_3 < H_2SO_4$

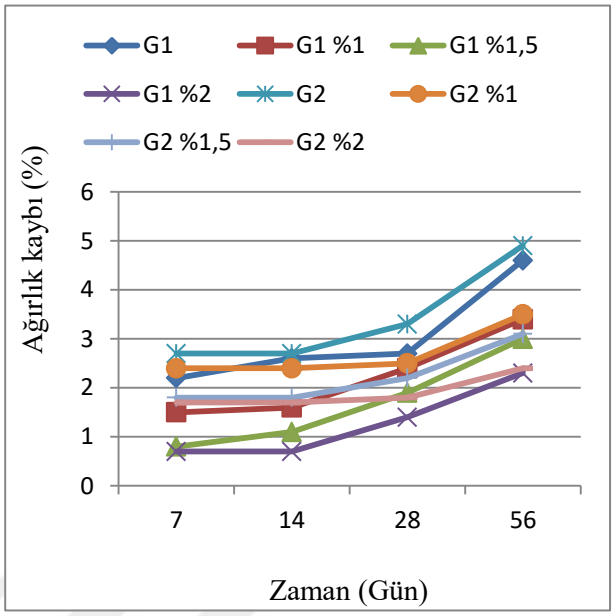
Asit solüsyonları, çimento hamuruna saldırır ve macunu daha az yapışkan hale getiren kalsiyum klorür (CaCL) ve kalsiyum sülfat oluşturur. Numuneler dış görünüş olarak incelendiğinde tüm numunelerde önemli ölçüde hasar ve deformasyon olduğu görülmektedir. Asit çözeltisine daldırılan numunelerin köşesinde önemli ölçüde erozyon meydana gelir. Gerçekten de, harçlar asit çözeltisinin dibine doğru çökerek kütle kaybına neden olur. HCl çözeltisine batırılmış harçlar için zamanla ağırlık kaybı yüzdesi, HN03 ve H2SO4'e batırılmış numunelerden çok daha düşüktür. Tüm numunelerin aynı ağırlık kaybına uğradığı gözlemlenmiştir. Asit bileşeninin neden olduğu bozunma, asit daldırma başlangıcında meydana gelmiştir (0-7 gün). Ancak 14 gün sonra, numunelerin

içindeki hidrasyon reaksiyonları nedeniyle alkali bileşenler numunelerin yüzeylerine yükselerek asit solüsyonun pH'ını arttı. 14 günlük asit ortamından sonra, numunelerin içindeki hidrasyon reaksiyonları düştüğü için asit çözeltilerin pH'ı sabit kalmıştır. Bu nedenle, numunelerin yüzeylerinin alkalinitesi düştüğünden, bu da aside direnci azaltarak kütle azalma oranını arttırdı.

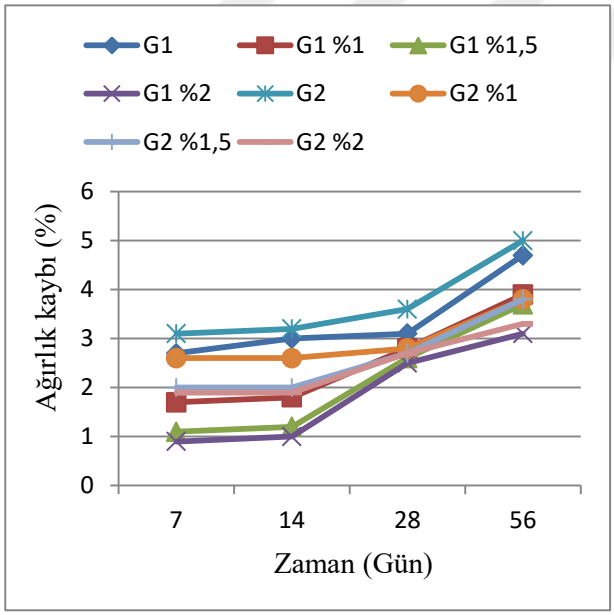
Lif katkısız hazır grout harcı (G1) ve tasarlanmış (G2) grout harçları ile hacimce %1, %1,5, %2 mikro çelik lif katkılı hazır grout harcı (G1) ve tasarlanmış grout harçların (G2) su kürü, ıslak kaplama kürü, kür malzemesi uygulması ve hava kurusu kürü olmak üzere tüm kür koşulları için asit saldırısına karşı direnç sonuçları, karışım başına üç test örneğinden elde edilen ortalama ağırlık kaybı değerlerine dayanmaktadır. Tüm kür koşulları ve grout harcı serileri için 28 gün sonunda grout harcı numunelerin asit çözeltisine konulmadan önce ağırlıkları 0 ± 1 gr hassas terazide tartılmış ve %5 HCI (hidroklorik asit), %5 HNO_3 (nitrik asit), %5 H_2SO_4 (sülfirik asit) solüsyonlarına bırakıldıktan sonra 7. günde, 14. günde, 28. günde ve 56. günde olmak üzere ağırlık değişim oranları ASTM C 267 standartına göre takip edilip, hesaplanmıştır. Ayrıca ph'ların sabit olması açısından asit çözeltileri her hafta yenilenmiştir. Kür koşulları ve çelik lif dozajına göre ağırlık değişim oranları HCI, HNO_3, H_2SO_4 asit ortamları için ayrı grafikler halinde Şekil 4.12-4.23'de görülmektedir. Ek olarak asit çözeltisine daldırılmandan önce ve asit çözeltisine daldırıldıktan 56 gün sonrası için her kür koşulunda 3 adet küp numunenin ortalaması alınarak tüm grout harcı serilerin basınç dayanımları elde edilmiştir, ASTM C 579 standartına göre basınç dayanım kaybı hesaplanmıştır. Basınç dayanım kaybı oranları HCI, HNO_3, H_2SO_4 asit ortamlarında her kür koşulu için ayrı grafikler halinde şekil 4.24-4.26'da görülmektedir



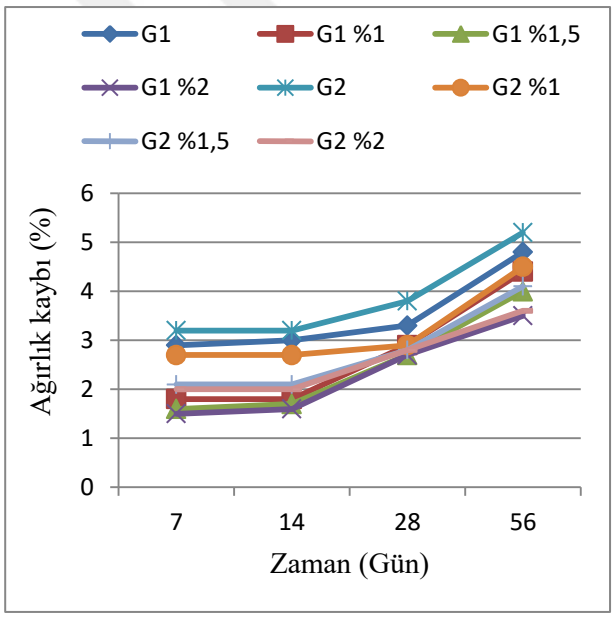
Şekil 4.12. Su kürü koşulunda %5 HCI asit ortamı etkisinde çelik lif katkısız ve mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri



Şekil 4.13. Islak kaplama kürü koşulu %5 HCI asit ortamı etkisinde çelik lif katkısız ve mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri



Şekil 4.14. Kür malzemesi uygulamasında %5 HCI asit ortamı etkisinde çelik lif katkısız ve mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri



Şekil 4.15. Hava kurusu kür koşulunda %5 HCI asit ortamı etkisinde çelik lif katkısız ve mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri

Mikro çelik lif katkısz hazır grout harcı (G1) numuneleri hava kurusu kür koşulunda %5 HCI asit ortamı etkisine maruz kaldıktan 7 gün sonra %2,9, 14 gün sonra %3, 28 gün sonunda %3,3 ve 56 gün sonunda %4,8 ağırlık kaybı yüzdesiyle en fazla kayıp gerçekleşmiştir. Hava kurusu kür koşulunda artan çelik lif hacmi ile bu oranlar zamana bağlı olarak 7 gün sonunda %1,8-1,5; 14 gün sonunda %1,8-%1,6; 28 gün sonunda %2,9-%2,7 ve 56 gün sonunda %4,4-%3,5 arasında değişerek ağırlık kaybında azalma meydana gelmektedir. Islak kaplama kür koşulunda ise çelik lif katkısız hazır grout harç numuneleri %5 HCI asit ortamına bırakıldıktan 7, 14, 28 ve 56 gün sonra ağırlık kaybı değişim oranları sırasıyla %2,2, %2,6, %2,7 ve %4,6'dır. Islak kaplama kürü koşulunda ise artan çelik lif hacimyle bu oranlar zamana bağlı olarak 7 gün sonunda %1,5-%0,7; 14 gün sonunda %1,6-%0,7; 28 gün sonunda %2,4-%1,4 ve 56 gün sonunda %3,4-%2,3 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Böylece en az ağırlık kaybı değişiminin ıslak kaplama kür koşulunda olduğu görülmektedir. Su kürü koşulunda, çelik lif katkısz hazır grout harç (G1) numuneleri %5 HCI asit ortamına bırakıldıktan 7, 14, 28 ve 56 gün sonra ağırlık kaybı değişim oranları %2,8, %2,9, %2,9 ve %4,5'dir. Su kürü koşulunda artan çelik lif hacimyle bu oranlar zamana bağlı olarak 7 gün sonunda %1,4%-%0,8; 14 gün sonunda %1,9-%0,8; 28 gün sonunda %2,3-%1,5 ve 56 gün sonunda %3,3-%2,4 arasında değişerek ağırlık kaybında azalmalar olduğu görülmektedir. Kür malzemesi uygulamasında çelik lif katkısız hazır grout harcı (G1) grout harcı numuneleri %5 HCI asit ortamına bırakıldıktan 7, 14, 28 ve 56 gün sonra ağırlık kaybı değişim oranları sırasıyla %2,7, %3, %3,1 ve %4,7'dir. Kür malzemesi uygulamasında artan çelik lif hacimyle bu oranlar zamana bağlı olarak 7 gün sonunda %1,7-%0,9; 14 gün sonunda %1,8-%1,0; 28 gün sonunda %2,8-%2,5 ve 56 gün sonunda %3,9-%3,1 arasında değişerek ağırlık kaybında azalmalar olduğu görülmektedir. (Şekil 4.1-4.4)

Tasarlanmış grout harç (G2) numunelerinde hazır grout harçlarında (G1) olduğu gibi en fazla ağırlık kaybı hava kurusu kür koşulunda gerçekleşmiştir. Çelik lif katkısz tasarlanmış grout harcı numuneleri %5 HCI asit ortamı etkisine maruz kaldıktan 7 ve 14 gün sonra %3,2, 28 gün sonunda %3,8 ve 56 gün sonunda %5,2 oranıyla en fazla ağırlık kaybı hava küründe gerçekleşmiştir. Hava kürü koşulunda artan çelik lif hacmi ile bu oranlar zamana bağlı olarak 7 ve 14 gün sonunda %2,7-

%2,0; 28 gün sonunda %2,9-%2,8 ve 56 gün sonunda %4,5-%3,6 arasında değişerek ağırlık kaybında azalmalar meydana gelmektedir.

Islak kaplama kür koşulunda ise çelik lif katkısız tasarlanmış grout harç (G2) numuneleri %5 HCI asit ortamına bırakıldıktan 7, 14, 28 ve 56 gün sonra ağırlık kaybı değişim oranları sırasıyla %2,7, %2,7, %3,3 ve %4,9'dur. Islak kaplama kürü koşulunda ise artan çelik lif hacimyle bu oranlar zamana bağlı olarak 7 ve 14 gün sonunda %2,4-%1,7; 28 gün sonunda %3,3-%1,8 ve 56 gün sonunda %4,9-%2,4 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Yine hazır grout harcında olduğu gibi en az ağırlık kaybı değişiminin tasarlanmış grout harcında da ıslak kaplama kür koşulunda olduğu görülmektedir. Su kürü koşulunda, çelik lif katkısız tasarlanmış grout harç numuneleri %5 HCI asit ortamına bırakıldıktan 7, 14, 28 ve 56 gün sonra ağırlık kaybı değişim oranları %3,0, %3,1, %3,4 ve %4,7'dir. Su kürü koşulunda artan çelik lif hacimyle bu oranlar zamana bağlı olarak 7 gün sonunda %2,5-%1,8; 14 gün sonunda %2,5-%1,8; 28 gün sonunda %2,7-%2,3 ve 56 gün sonunda %3,4-%2,6 arasında değişerek ağırlık kaybında azalmalar olduğu görülmektedir. Kür malzemesi uygulamasında çelik lif katkısz tasarlanmış grout harç numuneleri %5 HCI asit ortamına bırakıldıktan 7, 14, 28 ve 56 gün sonra ağırlık kaybı değişim oranları sırasıyla %3,1, %3,2 %3,6 ve %5,0'dir. Kür malzemesi uygulamasında artan çelik lif hacimyle bu oranlar zamana bağlı olarak 7 gün sonunda %2,6-%1,9; 14 gün sonunda %2,6-%1,9; 28 gün sonunda %2,8-%2,7 ve 56 gün sonunda %3,8-%3,3 arasında değişerek ağırlık kaybında azalmalar olduğu görülmektedir. (Şekil 4.1-4.4)

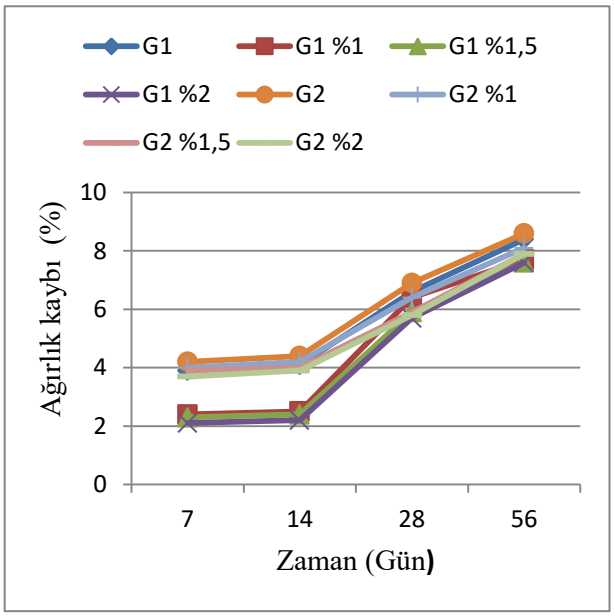
Yukarıda görüldüğü üzere tüm kür koşullarında hazır grout harcında (G1) hacimce %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilavesi %5 HCI asidine karşı direnci arrtırdığı gözlemlenmektedir. Lifsiz hazır grout harcı, hacimce %1, %1 ve %2 oranlarında artan çelik lif hacim ile grout harçlarının ağırlık kaybı değerlerinin azaldığı, 7 ve 14 gün sonunda hemen hemen aynı ağırlık kayıpları olduğu, zamanla ağırlık kaybı değişiminin arttığı (28 ve 56 gün sonunda) tespit edilmiştir. Tüm kür koşullarında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif katkılı hazır grout harcı (G1) numunelerinin ağırlık kaybının, lifsiz hazır grout harç (G1) numunelerine göre zamana bağlı olarak önemli azalmaların olduğu görülmektedir.

Tasarlanmış grout harç (G2) numunelerinin tüm kür koşulları incelenip, kimyasal dirençlik özellikleri değerlendirildiğinde ise, mikro çelik lif katkısız tasarlanmış grout harçların ağırlık kaybı yüzdelerinin %5 HCI asit ortamına bırakıldıktan sonra zamana bağlı olarak 7, 14, 28 ve 56 gün sonunda arttığı görülmektedir. Bu ağırlık kaybı yüzdelerin, hazır grout harcına göre arttığı gözlenmiştir. Bunun yanında %1, %1,5, %2 artan çelik lif hacmiyle, tasarlanmış grout harç numunelerin (G2) ağırlık kayıplarının azaldığı deney sonuçları doğrultusunda tespit edilmiştir.

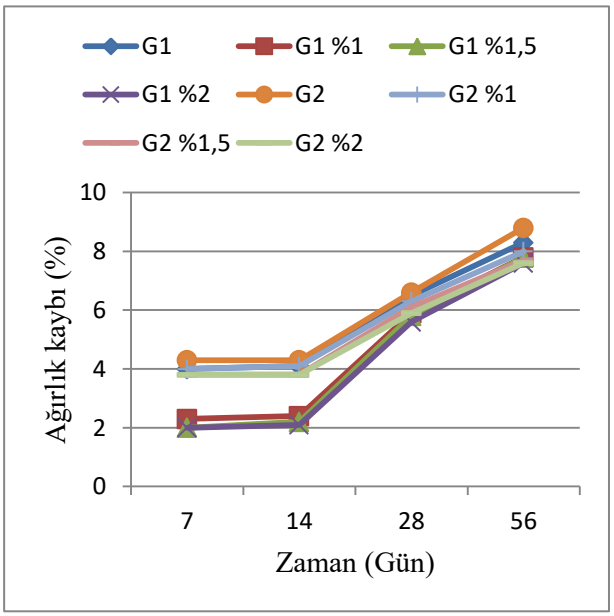
%5 HCI asit ortamının zamana bağlı etkisi tüm kür koşulları ve iki ayrı özellikteki grout harcı incelendiğinde, en fazla ağırlık kaybının hava kurusu küründe, en az ağırlık kaybının ise ıslak kaplama küründe olduğu gözlemlenmektedir. Ağırlık kayıpları;

ıslak kaplama kürü < su kürü < kür malzemesi< hava kurusu kürü sıralamasında olacak şeklinde HCI asit ortamından etkilendiği deneyler sonucunda gözlemlenmiştir.

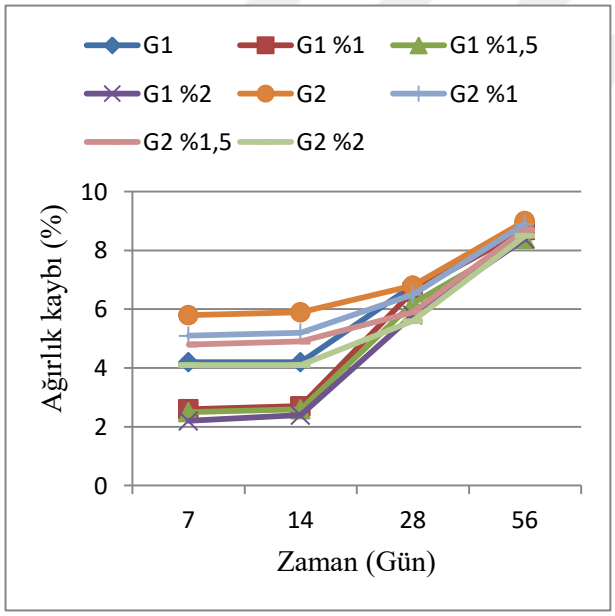
Mikro çelik lif ilavesiyle hem hazır grout harcında (G1) hem de tasarlanmış (G2) grout harcında 7, 14, 28 ve 56 gün sonunda ağırlık kaybı değişimlerinde önemli ölçüde azalmalar meydana gelmektedir. %2 mikro çelik lif ilaveli G1 ve G2 gorut harçlarında en az ağırlık kaybı gerçekleşirken, bu sıralamayı %1,5 mikro çelik lif ilaveli, %1 mikro çelik lif ilaveli grout harçları takip etmiştir ve en fazla ağırlık kaybı lifsiz grout harçlarnda olmuştur.



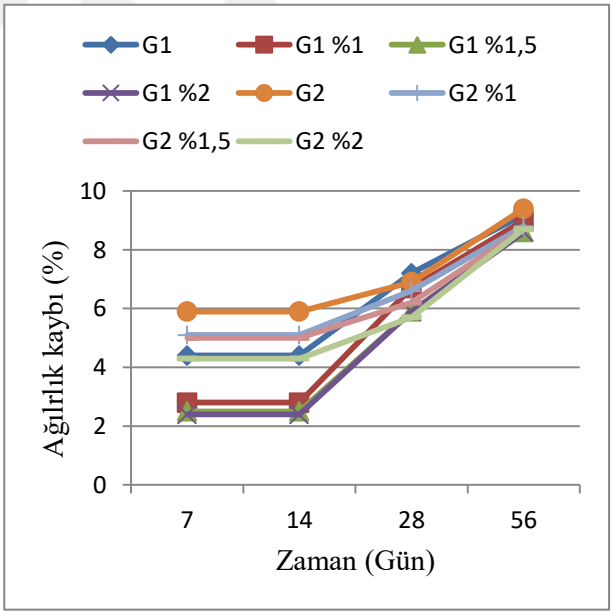
Şekil 4.16. Su kürü koşulunda %5 HNO_3 asit ortamı etkisinde mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri



Şekil 4.17. Islak kaplama kürü koşulunda %5 HNO_3 asit ortamı etkisinde mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri



Şekil 4.18. Kür malzemesi uygulamasında %5 HNO_3 asit ortamı etkisinde mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri



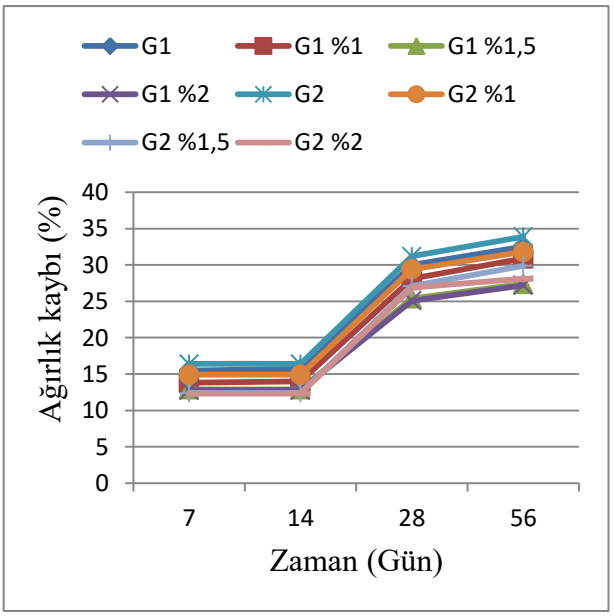
Şekil 4.19. Hava kurusu kürü koşulunda %5 HNO_3 asit ortamı etkisinde mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlıağırlık kaybı yüzdeleri

Mikro çelik lif katkısız hazır grout harç (G1) numuneleri hava kurusu kür koşulunda %5 HNO_3 asit ortamı etkisine maruz kaldıktan 7 ve 14 gün sonra %4,4, 28 gün sonunda %7,2 ve 56 gün sonunda %9,2 ağırlık kaybı yüzdesiyle en fazla kayıp gerçekleşmiştir. Hava kurusu kür koşulunda artan çelik lif hacmi ile bu oranlar zamana bağlı olarak 7 gün sonunda %2,8-2,4; 14 gün sonunda %2,8-%2,4; 28 gün sonunda %6,7-%5,9 ve 56 gün sonunda %9,0-%8,6 arasında değişlik göstererek ağırlık kaybında azalma meydana gelmektedir. Islak kaplama kür koşulunda ise çelik lif katkısız hazır grout harç (G1) numuneleri %5 HNO_3 asit ortamına bırakıldıktan 7, 14, 28 ve 56 gün sonra ağırlık kaybı değişim oranları sırasıyla %4,0 %4,1, %6,5 ve %8,3'tür. Islak kaplama kürü koşulunda ise artan çelik lif hacimyle bu oranlar zamana bağlı olarak 7 gün sonunda %2,3-%2,0; 14 gün sonunda %2,4-%2,1; 28 gün sonunda %5,9-%5,6 ve 56 gün sonunda %7,8-%7,6 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Böylece en az ağırlık kaybı değişiminin ıslak kaplama kür koşulunda olduğu görülmektedir. Su kürü koşulunda, çelik lif katkısz hazır grout harç (G1) numuneleri %5 HNO_3 asit ortamına bırakıldıktan 7, 14, 28 ve 56 gün sonra ağırlık kaybı değişim oranları %3,9, %4,1, %6,6 ve %8,4'dür. Su kürü koşulunda artan çelik lif hacmiyle bu oranlar zamana bağlı olarak 7 gün sonunda %2,4-%2,1; 14 gün sonunda %2,5-%2,2; 28 gün sonunda %6,4-%5,7 ve 56 gün sonunda %7,7-%7,6 arasında değişerek ağırlık kaybında azalmalar olduğu görülmektedir. Kür malzemesi uygulamasında da çelik lif katkısz hazır grout harç (G1) numuneleri %5 HNO_3 asit ortamına bırakıldıktan 7 ve 14 günün sonunda %4,2, 28 ve 56 gün sonra ağırlık kaybı değişim oranları sırasıyla %6,8 ve %8,8'dir. Kür malzemesi uygulamasında artan çelik lif hacimyle bu oranlar zamana bağlı olarak 7 gün sonunda %2,6-%2,2; 14 gün sonunda %2,7-%2,4; 28 gün sonunda %6,6-%5,8 ve 56 gün sonunda %8,7-%8,4 arasında değişerek ağırlık kaybında azalmalar olduğu görülmektedir. (Şekil 4.5-4.8)

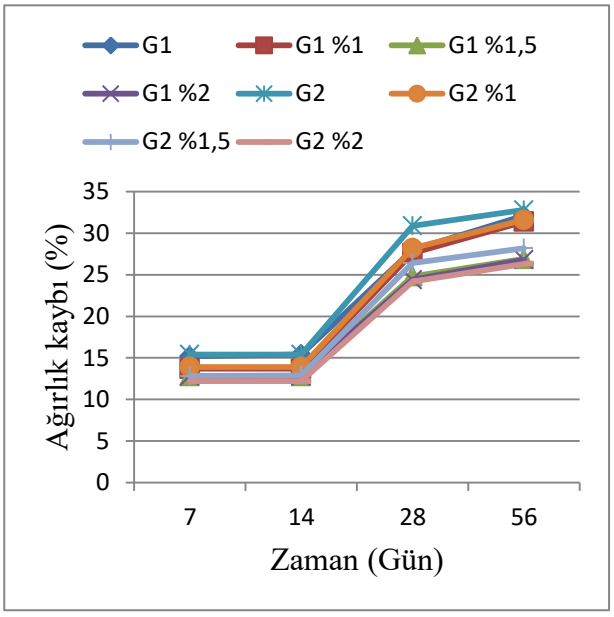
Tasarlanmış grout harcı numunelerinde (G2), hazır grout harç (G1) numunelerinde olduğu gibi %5 HNO_3 asit ortamı etkisinde en fazla ağırlık kaybı hava kürü koşulunda gerçekleşmiştir. Çelik lif katkısz tasarlanmış grout harç (G2) numuneleri %5 HNO_3 asit ortamı etkisine maruz kaldıktan 7 ve 14 gün sonra %5,9, 28 gün sonunda %6,9 ve 56 gün sonunda %9,4 oranıyla en fazla ağırlık kaybı hava kurusu küründe gerçekleşmiştir. Hava kurusu kür koşulunda artan çelik lif hacmi ile bu oranlar zamana bağlı olarak 7 ve 14 gün sonunda %5,1-%4,3; 28 gün sonunda

%6,6-%5,7 ve 56 gün sonunda %8,8-%8,7 arasında değişerek ağırlık kaybında azalmalar meydana gelmektedir. Islak kaplama kür koşulunda ise çelik lif katkısız tasarlanmış grout harç (G2) numuneleri %5 HNO_3 asit ortamına bırakıldıktan 7 ve 14 günün sonunda %4,3 28 ve 56 gün sonra ağırlık kaybı değişim oranları sırasıyla %6,6, %8,8'dir. Islak kaplama kürü koşulunda ise artan çelik lif hacimyle bu oranlar zamana bağlı olarak 7 gün sonunda %4,0-%3,8; 14 gün sonunda %4,1-%3,8; 28 gün sonunda %6,3-%5,9 ve 56 gün sonunda %8,0-%7,6 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Su kürü koşulunda, çelik lif katkısız tasarlanmış grout harç (G2) numuneleri %5 HNO_3 asit ortamına bırakıldıktan 7, 14, 28 ve 56 gün sonra ağırlık kaybı değişim oranları %4,2 %4,4, %6,9 ve %8,6'dır. Su kürü koşulunda artan çelik lif hacimyle bu oranlar zamana bağlı olarak 7 gün sonunda %4,0-%3,7; 14 gün sonunda %4,2-%3,9; 28 gün sonunda %6,4-%5,8 ve 56 gün sonunda %8,1-%7,9 arasında değişerek ağırlık kaybında azalmalar olduğu görülmektedir. Kür malzemesi uygulamasında çelik lif katkısz tasarlanmış grout harç (G2) numuneleri %5 HNO_3 asit ortamına bırakıldıktan 7, 14, 28 ve 56 gün sonra ağırlık kaybı değişim oranları sırasıyla %5,8, %5,9 %6,8 ve %9,0'dir. Kür malzemesi uygulamasında artan çelik lif hacimyle bu oranlar zamana bağlı olarak 7 gün sonunda %5,1-%4,1; 14 gün sonunda %5,2-%4,1; 28 gün sonunda %6,5-%5,6 ve 56 gün sonunda %8,9-%8,5 arasında değişerek ağırlık kaybında azalmalar olduğu görülmektedir. (Şekil 4.5-4.8)

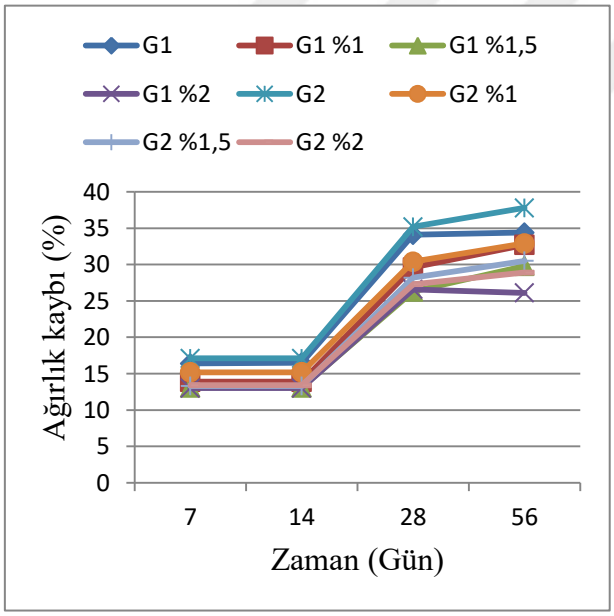
%5 HNO_3 asit ortamının zamana bağlı etkisi tüm kür koşulları ve iki ayrı özellikteki grout harcı incelendiğinde, en fazla ağırlık kaybının hava kurusu küründe, en az ağırlık kaybının ise ıslak kaplama küründe olduğu gözlemlenmektedir.



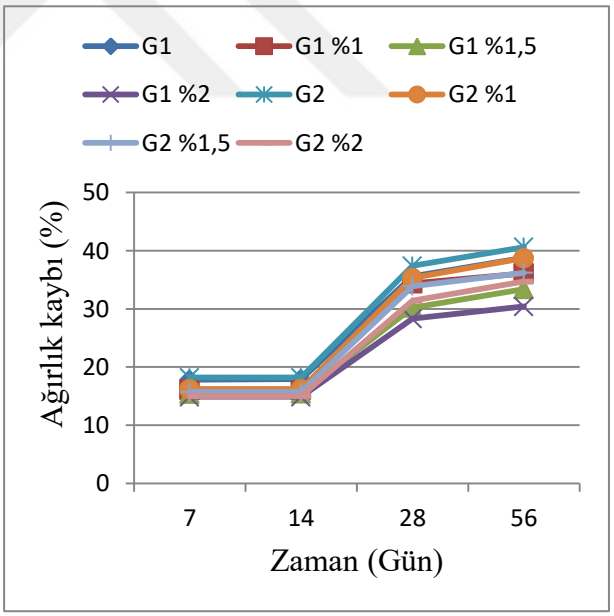
Şekil 4.20. Su kürü koşulunda %5 H_2SO_4 asit ortamı etkisinde mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri



Şekil 4.21. Islak kaplama kürü koşulunda %5 H_2SO_4 asit ortamı etkisinde mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri



Şekil 4.22. Kür malzemesi uygulamasında %5 H_2SO_4 asit ortamı etkisinde mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri



Şekil 4.23. Hava kurusu kürü koşulunda %5 H_2SO_4 asit ortamı etkisinde mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri

Mikro çelik lif katkısız hazır grout harç (G1) numuneleri hava kurusu kür koşulunda %5 H_2SO_4 asit ortamı etkisine maruz kaldıktan 7 gün sonunda %17,8, 14 gün sonunda %17,9, 28 gün sonunda %35,6 ve 56 gün sonunda %38,8 ağırlık kaybı oranıyla en fazla kayıp gerçekleşmiştir. Hava kurusu kür koşulunda artan çelik lif hacmi ile bu oranlar zamana bağlı olarak 7 gün sonunda %16,1-14,9; 14 gün sonunda %16,1-%14,9; 28 gün sonunda %34,4-%28,3 ve 56 gün sonunda %36,1-%30,4 arasında değişerek ağırlık kaybında azalmalar meydana gelmektedir. Islak kaplama kür koşulunda ise çelik lif katkısız hazır grout harç (G1) numuneleri %5 H_2SO_4 asit ortamına bırakıldıktan 7, 14, 28 ve 56 gün sonra ağırlık kaybı değişim oranları sırasıyla %15,2, %15,4, %28,0 ve %32,1'dir. Islak kaplama kürü koşulunda ise artan çelik lif hacimyle bu oranlar zamana bağlı olarak 7 ve 14 gün sonunda %13,7-%12,8; 28 gün sonunda %27,6-%24,4 ve 56 gün sonunda %31,4-%26,8 arasında değiştiği görülmüştür. Su kürü koşulunda, çelik lif katkısz hazır grout harç (G1) numuneleri %5 H_2SO_4 asit ortamına bırakıldıktan 7, 14, 28 ve 56 gün sonra ağırlık kaybı değişim oranları %15,5, %15,7, %30,0 ve %32,5'tur. Su kürü koşulunda artan çelik lif hacimyle bu oranlar zamana bağlı olarak 7 gün sonunda %13,8-%12,8; 14 gün sonunda %14,0-%12,8; 28 gün sonunda %28,1-%25,1 ve 56 gün sonunda %30,9-%27,2 arasında değişerek ağırlık kaybında azalmalar olduğu görülmektedir. Kür malzemesi uygulamasında da çelik lif katkısz hazır grout harç (G1) numuneleri %5 H_2SO_4 asit ortamına bırakıldıktan 7, 14, 28 ve 56 gün sonra ağırlık kaybı değişim oranları sırasıyla %16,4, %16,5, %34,1 ve %34,4'tür. Kür malzemesi uygulamasında artan çelik lif hacimyle bu oranlar zamana bağlı olarak 7 ve 14 gün sonunda %13,9-%13,0; 28 gün sonunda %29,6-%26,6 ve 56 gün sonunda %32,7-%26,1 arasında değişerek ağırlık kaybında azalmalar olduğu görülmektedir. (Şekil 4.20-4.23)

Tasarlanmış grout harç (G2) numunelerinde hazır grout harç (G1) numunelerinde olduğu gibi en fazla ağırlık kaybı hava kurusu kür koşulunda gerçekleşmiştir. Çelik lif katkısz tasarlanmış grout harç numuneleri %5 H_2SO_4 asit ortamı etkisine maruz kaldıktan 7 ve 14 gün sonra %18,2, 28 gün sonunda %37,4 ve 56 gün sonunda %40,6 oranıyla en fazla ağırlık kaybı hava küründe gerçekleşmiştir. Hava kurusu kür koşulunda artan çelik lif hacmi ile bu oranlar zamana bağlı olarak 7 ve 14 gün sonunda %16,2-%15; 28 gün sonunda %35,3-%31,4 ve 56 gün sonunda %38,7-%34,7 arasında değişerek ağırlık kaybında azalmalar meydana gelmektedir.

Islak kaplama kür koşulunda ise çelik lif katkısız tasarlanmış grout harç (G2) numuneleri %5 H_2SO_4 asit ortamına bırakıldıktan 7 ve 14 gün sonunda %15,4, 28 ve 56 gün sonra ağırlık kaybı değişim oranları sırasıyla %30,9, %32,8'dir. Islak kaplama kürü koşulunda ise artan çelik lif hacimyle bu oranlar zamana bağlı olarak 7 ve 14 gün sonunda %13,9-12,2; 28 gün sonunda %28,2-%24,2 ve 56 gün sonunda %31,6-%26,3 arasında değişmektedir. Su kürü koşulunda, çelik lif katkısız tasarlanmış grout harç (G2) numuneleri %5 H_2SO_4 asit ortamına bırakıldıktan 7 ve 14 gün sonunda ağırlık kaybı değişim oranları %16,4, 28 gün sonunda %31,2 ve 56 gün sonunda %33,9'dur. Su kürü koşulunda artan çelik lif hacimyle bu oranlar zamana bağlı olarak 7 ve 14 gün sonunda %14,9-%12,3; 28 gün sonunda %29,4-%26,9; 56 gün sonunda %31,8-%28,1 arasında değişerek ağırlık kaybında azalmalar olduğu görülmektedir. Kür malzemesi uygulamasında çelik lif katkısz tasarlanmış grout harç (G2) numuneleri %5 H_2SO_4 asit ortamına bırakıldıktan 7 ve 14 gün sonunda ağırlık kaybı değişim oranları %17,1, 28 gün sonunda %35,2 ve 56 gün sonunda %37,8'dir. Kür malzemesi uygulamasında artan çelik lif hacimyle bu oranlar zamana bağlı olarak 7 ve 14 gün sonunda %15,2-%13,4; 28 gün sonunda %30,4-%27,3 ve 56 gün sonunda %32,9-%28,9 arasında değişerek ağırlık kaybında azalmalar olduğu görülmektedir. (Şekil 4.20-4.23)

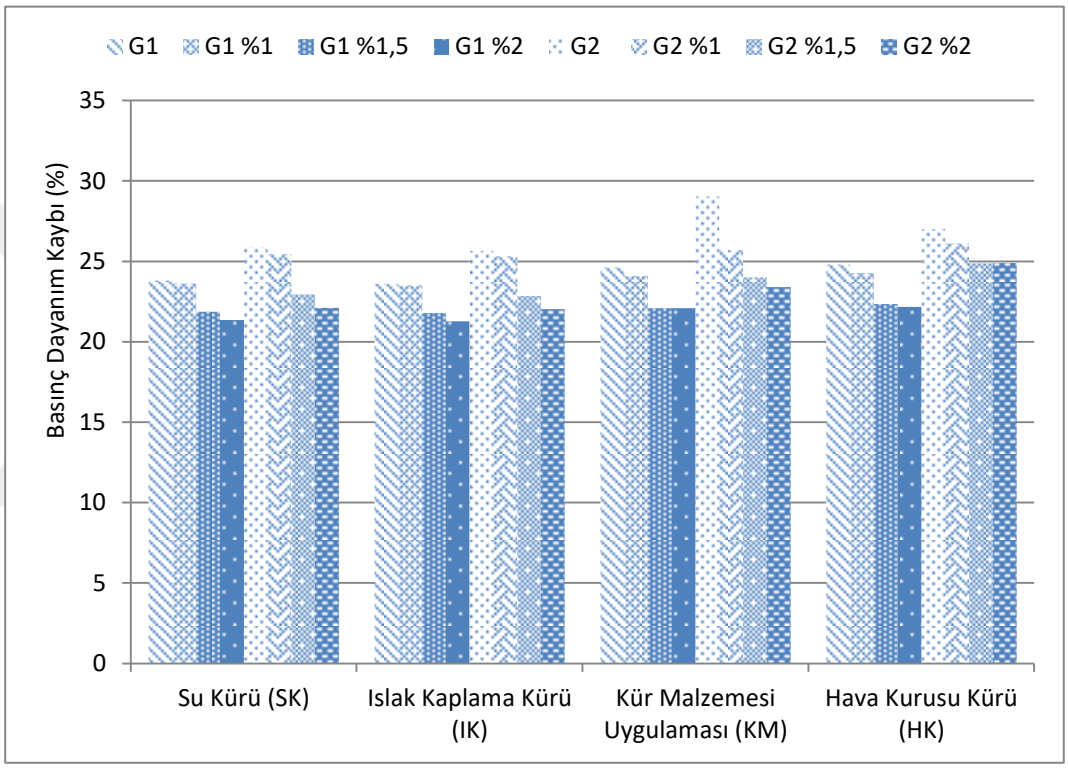
%5 H_2SO_4 asit ortamının zamana bağlı etkisi tüm kür koşulları ve iki ayrı özellikteki grout harcı incelendiğinde, en fazla ağırlık kaybının hava kurusu küründe, en az ağırlık kaybının ise ıslak kaplama küründe olduğu gözlemlenmektedir.

Tüm asit ortamları incelendiğinde en agresif asit ortamının $HCI<HNO_3<H_2SO_4$ sıralamasında olduğu,

Kür koşulları incelediğinde, ağırlık kaybının en azdan fazlaya doğru ıslak kaplama kürü < su kürü < kür malzemesi uygulaması < hava kurusu kürü sıralamada olduğu,

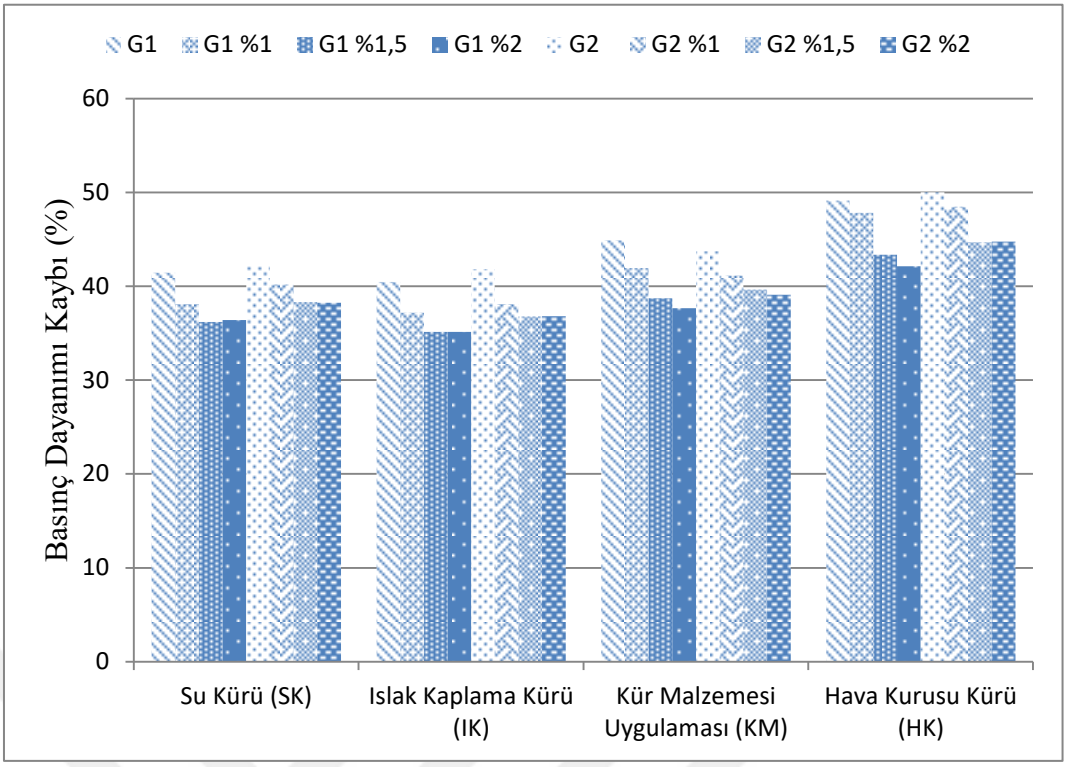
%1<%1,5<%2 oranlarında artan çelik lif hacmiyle ağırlık kaybı oranın azaldığı sonucuna varılmıştır.

Tüm kür koşulları için mikro çelik lif katkısız ve %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif katkılı karışıma 28 günlük hazır grout harç (G1) ve tasarlanmış grout harç (G2) küp numunelerin asit ortamlarına bırakıldıktan önce ve 56 gün sonra ortalama basınç dayanım test edilmiş ve böylece basınç dayanım kaybı hesaplanmıştır. HCI asit etkisinde basınç dayanım kaybı ise şekil 4.24'de, HNO_3 asit etkisinde basınç dayanım kaybı şekil 4.25'de, H_2SO_4 asit etkisinde basınç dayanım kaybı şekil 4.26'da görülmektedir.



Şekil 4.24. Farklı kür koşullarında HCI asit ortamı etkisinde mikro çelik lif katkılı hazır (G1) ve tasarlanmış (G2) grout harçların basınç dayanımı kaybı yüzdeleri

HCI asit ortamı etkisinde su kürü koşulunda çelik lif katkısız hazır grout harcın (G1) basınç dayanım kaybının %23,79, hacimce %1, %1,5, %2 mikro çelik lif katkılı hazır grout harç (G1) numunelerin basınç dayanım kaybının sırasıyla %23,62, %21,86, %21,34 olduğu belirlenmiştir. Islak kaplama kür koşulunda ise çelik lif katkısız hazır grout harcın basınç dayanım kaybı %23,59, hacimce %1, %1,5, %2 mikro çelik lif katkılı hazır grout harçların basınç dayanım kaybının sırasıyla %23,50, %21,78 ve %21,28'dir. Kür malzemesi uygulamasında basınç dayanım kaybı oranları çelik lif katkısız hazır grout harcı numunelerinde %24,62, hacimce %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif katkılı numunelerde sırasıyla %24,10, %22,09 ve %22,08'dir. Hava kurusu kür uygulamasında çelik lif katkısız hazır grout harcın (G1) basınç dayanım kaybı oranları %24,79, hacimce %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif katkılı hazır grout harcın basınç dayanım kayıpları sırasıyla %24,28, %22,34 ve %22,16'dır. HCI asit ortamı etkisinde su kürü koşulunda çelik lif katkısız tasarlanmış grout harç (G2) numunelerin basınç dayanım kaybı %25,89, hacimce %1, %1,5, %2 mikro çelik lif katkılı tasarlanmış grout harç numunelerin basınç dayanım kaybı sırasıyla %25,45, %22,94, %22,10'dur. Islak kaplama kür koşulunda ise çelik lif katkısız tasarlanmış grout harç numunelerin basınç dayanım kaybı %25,65, hacimce %1, %1,5, %2 mikro çelik lif katkılı tasarlanmış grout harç numunelerin basınç dayanım kaybın sırasıyla %25,31, %22,85 ve %21,02'dir. Kür malzemesi uygulamasında çelik lif katkısız tasarlanmış grout harç numunelerin basınç dayanım kaybı %29,04, hacimce %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif katkılı numunelerde sırasıyla %25,68, %23,99 ve %23,39'dur. Hava kurusu kür uygulamasında çelik lif katkısız tasarlanmış grout harç numunelerin basınç dayanım kaybı %27,00, hacimce %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif katkılı tasarlanmış grout harç numunelerin basınç dayanım kayıpları sırasıyla %26,11, %24,87 ve %24,90'dır.

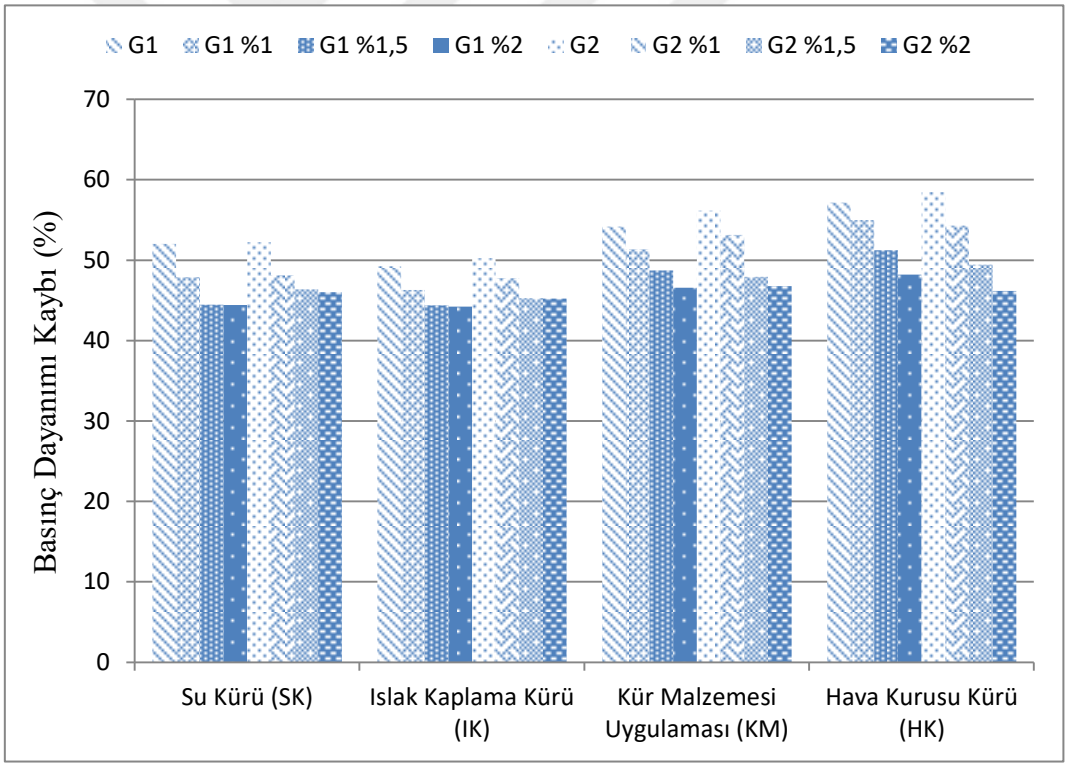


Şekil 4.25. Farklı kür koşullarında HNO_3 asit ortamı etkisinde mikro çelik lif katkılı hazır (G1) ve tasarlanmış (G2) grout harçların basınç dayanımı kaybı yüzdeleri

HNO_3 asit ortamı etkisinde su kürü koşulunda çelik lif katkısız hazır grout harcın (G1) basınç dayanım kaybının %41,44, hacimce %1, %1,5, %2 mikro çelik lif katkılı hazır grout harç numunelerin basınç dayanım kaybının sırasıyla %38,11, %36,2, %36,40 olduğu belirlenmiştir. Islak kaplama kür koşulunda ise çelik lif katkısız hazır grout harcın (G1) basınç dayanım kaybı %40,46, hacimce %1, %1,5, %2 mikro çelik lif katkılı hazır grout harç numunelerin basınç dayanım kaybı sırasıyla %37,17, %35,14 ve %35,12'dir. Kür malzemesi uygulamasında basınç dayanım kaybı oranları çelik lif katkısız hazır grout harcın (G1) %44,89, hacimce %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif katkılı hazır grout harç numunelerinde sırasıyla %41,93, %38,70 ve %37,66'dır. Hava kurusu kürü uygulamasında çelik lif katkısız hazır grout harcın basınç dayanım kaybı %49,12, hacimce %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif hazır grout harç numunelerin basınç dayanım kayıpları sırasıyla %47,83, %43,35 ve %42,14'dür

HNO_3 asit ortamı etkisinde su kürü koşulunda çelik lif katkısız tasarlanmış grout harcın (G2) basınç dayanım kaybının %42,14, hacimce %1, %1,5, %2 mikro

çelik lif katkılı tasarlanmış grout harç numunelerin basınç dayanım kaybı sırasıyla %40,19, %38,29, %38,24'tür. Islak kaplama kür koşulunda ise bu oranlar çelik lif katkısız tasarlanmış grout harcında basınç dayanım kaybı %41,82, hacimce %1, %1,5, %2 mikro çelik lif katkılı tasarlanmış grout harç numunelerin basınç dayanım kaybı sırasıyla %38,10, %36,77 ve %36,82'dir. Kür malzemesi uygulamasında basınç dayanım kaybı oranları çelik lif katkısız tasarlanmış grout harcı (G2) numunesinde %43,74, hacimce %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif katkılı tasarlanmış grout harç numunelerinde sırasıyla %41,14, %39,64 ve %39,09'dur. Hava kurusu kürü koşuluna çelik lif katkısız tasarlanmış (G2) grout harcın basınç dayanım kaybı %50,00, hacimce %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif katkılı tasarlanmış grout harçların basınç dayanım kayıpları sırasıyla %48,49, %44,70 ve %44,75'dir.



Şekil 4.26. Farklı kür koşullarında H_2SO_4 asit ortamı etkisinde mikro çelik lif katkılı hazır (G1) ve tasarlanmış (G2) grout harçların basınç dayanımı kaybı yüzdeleri

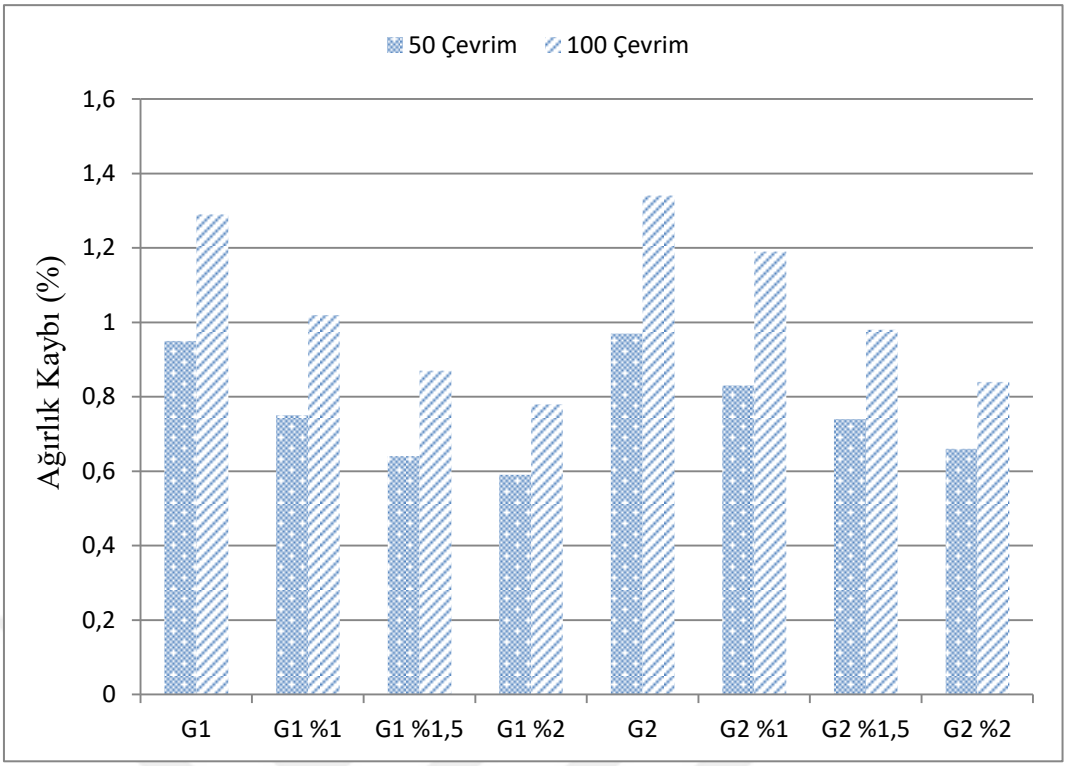
H_2SO_4 asit ortamı etkisinde su kürü koşulunda çelik lif katkısız hazır grout harcın basınç dayanım kaybı %52,00, hacimce %1, %1,5, %2 mikro çelik lif katkılı hazır grout harç (G1) numunelerin basınç dayanım kaybının sırasıyla %47,86, %44,46, %44,42 olduğu belirlenmiştir. Islak kaplama kür koşulunda ise çelik lif katkısız hazır grout harcın basınç dayanım kaybı %49,22, hacimce %1, %1,5, %2 mikro çelik lif katkılı hazır grout harç (G1) numunelerin basınç dayanım kaybı sırasıyla %46,28, %44,39 ve %44,23'tür. Kür malzemesi uygulamasında basınç dayanım kaybı oranları çelik lif katkısız hazır grout harç (G1) numunesinde %54,17, hacimce %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif katkılı numunelerde sırasıyla %51,32, %48,73 ve %46,55'dir. Hava kurusu kürü uygulamasında çelik lif katkısız hazır grout harcın basınç dayanım kaybı %57,17, hacimce %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif katkılı hazır grout harç numunelerin basınç dayanım kayıpları sırasıyla %54,97, %51,23 ve %48,20'dir.

H_2SO_4 asit ortamı etkisinde su kürü koşulunda çelik lif katkısız tasarlanmış grout harcın (G2) basınç dayanım kaybının %52,20, hacimce %1, %1,5, %2 mikro çelik lif katkılı katkısız tasarlanmış grout harç numunelerin basınç dayanım kaybı sırasıyla %48,12, %46,35, %46,01'dir. Islak kaplama kür koşulunda ise bu oranlar çelik lif katkısız tasarlanmış grout harcın basınç dayanım kaybı %50,21, hacimce %1, %1,5, %2 mikro çelik lif katkılı tasarlanmış grout harç numunelerin basınç dayanım kaybı sırasıyla %47,75, %45,23 ve %45,20'dir. Kür malzemesi uygulamasında basınç dayanım kaybı oranları çelik lif katkısız tasarlanmış (G2) grout harç numunesinde %56,16, hacimce %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif katkılı numunelerde sırasıyla %53,12, %47,92 ve %46,77'dir. Hava kurusu kürü uygulamasında çelik lif katkısız tasarlanmış grout harç numunesinin basınç dayanım kaybı %58,47, hacimce %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif katkılı tasarlanmış grout harçların basınç dayanım kayıpları sırasıyla %54,29, %49,42 ve %46,16'dır.

HCI asit ortamı etkisinde hazır grout harç (G1) ve tasarlanmış grout harç (G2) numunelerinde basınç dayanım kaybının en az olduğu seriler, tüm kür koşullarında hacimce %2 mikro çelik lif katkılı numuneler olduğu saptanmıştır. En fazla basınç dayanım kaybı ise çelik lif katkısız grout harcı numunelerinde gerçekleşmiştir. Kür koşulları incelendiğinde tıpkı ağırlık kaybı değişiminde olduğu gibi en fazla basınç dayanım kaybı hava kurusu küründe en az basınç dayanım kaybı ise ıslak kaplama küründe gerçekleşmiştir. Su küründe basınç dayanım kaybı ıslak kür ile hemen hemen aynı olmakla birlikte, bir miktar azaldığı, kür malzemesi uygulamasında ise daha fazla basınç dayanım kaybı olduğu saptanmıştır. Basınç dayanım kaybı oranlarının HNO_3 ve H_2SO_4 asit ortamları etkisinde HCI asit ortamındakiyle aynı değişim eğilimi gösterdiği, ancak kayıp oranlarının arttığı deney sonuçlarına göre belirlenmiştir. Böylece en agresif asit ortamının H_2SO_4, daha az agresif HNO_3 asit ortamı olduğu, en az agresif asit ortamın ise HCl asit ortamı olduğu sonucuna varılmıştır.

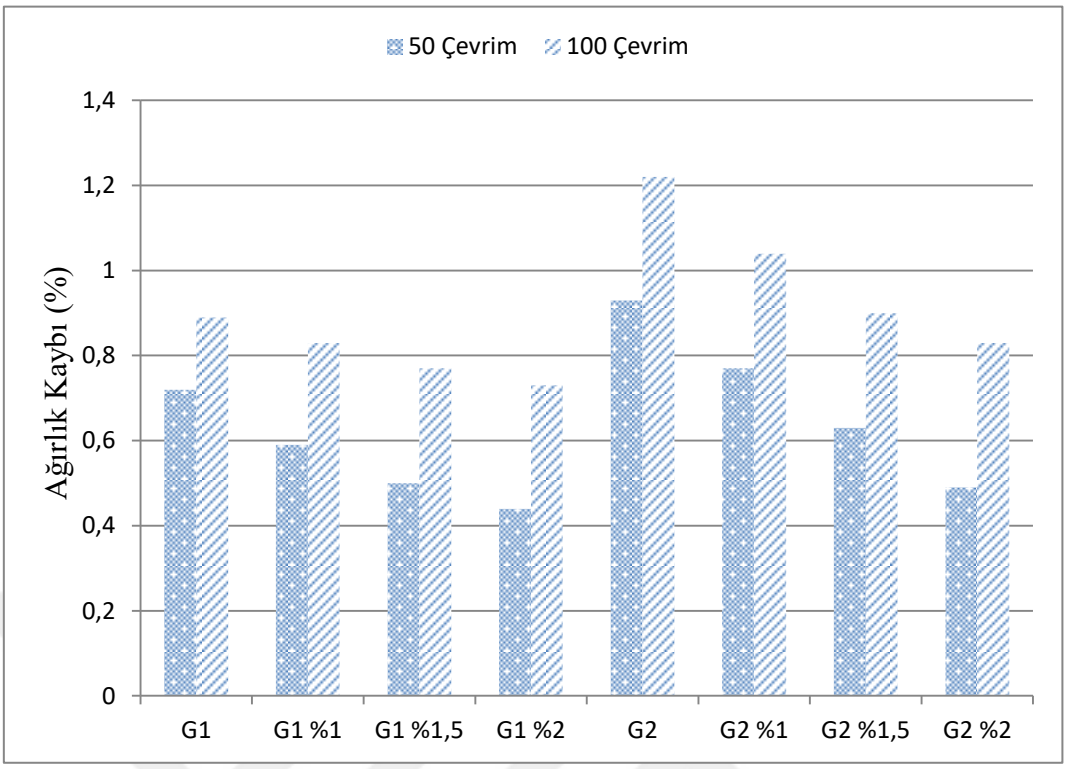
4.3.2. Donma-Çözülme Deneyi Sonuçları

Lifsiz, %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif katkılı hazır grout harcı (G1) ve tasarlanmış grout harçların (G2) döngüsel donma ve çözülmeye karşı direnci incelenmiş, sode özetlenmiştir. Donma-çözülme direnci değerlendirilken 50 ve 10 çevrim sonrası her kür koşulu için ağırlık kaybı (Şekil 4.27-4.30), eğilme dayanım kaybı (Şekil 4.31-4.34) ve eğilme sonrası basınç dayanım kaybı (Şekil 4.35-4.38) hesaplanmıştır.



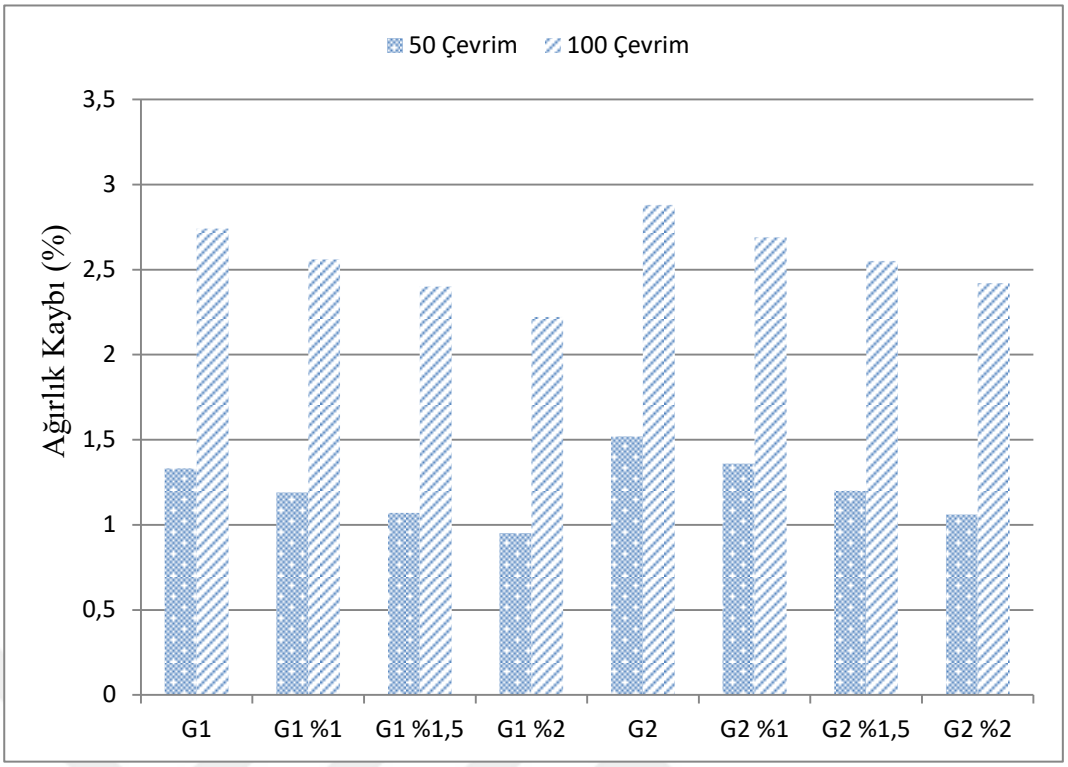
Şekil 4.27. Su kürü koşulunda 50 ve 100 çevrim D-Ç etkisinde grout serilerin çelik dozajına bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri

Su kürü koşulunda çelik lif katkısız hazır grout harcın (G1) 50 çevrim sonra ağırlık kaybı %0,99, 100 çevrim sonra ağırlık kaybı %1,29 olmuştur. 50 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli hazır grout harç numunelerin ağırlık kaybı sırasıyla %0,75, %0,64 ve %0,59'dur. 100 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli hazır grout harç numunelerin ağırlık kaybı sırasıyla %1,02, %0,87, %0,78'dir. Artan çelik lif hacmiyle ağırlık kayıplarının azaldığı görülmektedir. Tasarlanmış grout harcın (G2) 50 çevrim sonra ağırlık kaybı %0,97, 100 çevrim sonra %1,34 olduğu görülmektedir. 50 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli tasarlanmış grout harcın ağırlık kaybı yüzdeleri sırasıyla %0,83, %0,74 ve %0,66'dır. 100 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli tasarlanmış grout harcın ağırlık kaybı yüzdeleri sırasıyla %1,19, %0,98, %0,84'dür. (Şekil 4.27). Artan çelik lif hacmiyle ağırlık kayıplarının azaldığı görülmektedir



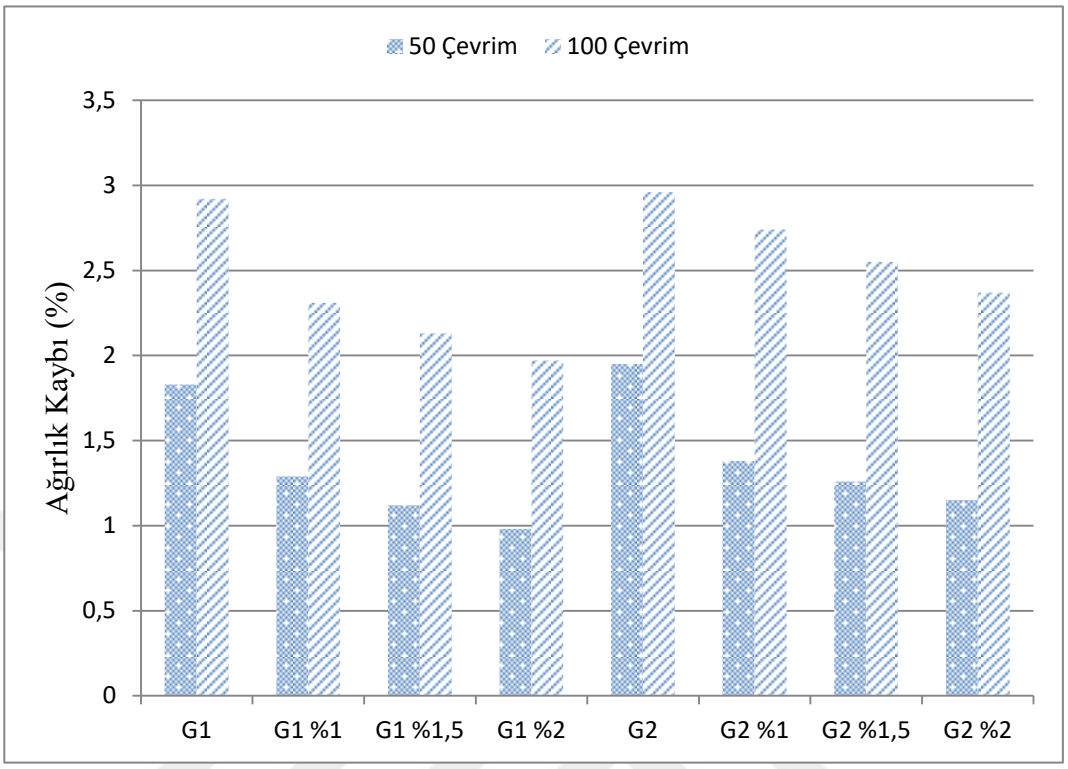
Şekil 4.28. Islak kaplama kürü koşulunda 50 ve 100 çevrim D-Ç etkisinde grout serilerin çelik dozajına bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri

Islak kaplama kürü koşulunda çelik lif katkısız hazır grout harcın (G1) 50 çevrim sonra ağırlık kaybı %0,72, 100 çevrim sonra ağırlık kaybı %0,89 olmuştur. 50 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli hazır grout harç numunelerin ağırlık kaybı sırasıyla %0,59, %0,50 ve %0,44'tür. 100 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli hazır grout harç numunelerin ağırlık kaybı sırasıyla %0,83, %0,77, %0,73'dür. Tasarlanmış grout harcın (G2) 50 çevrim sonra ağırlık kaybı %0,93, 100 çevrim sonra %1,22 olduğu Şekil 4.28'de görülmektedir. 50 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli tasarlanmış grout harcın ağırlık kaybı yüzdeleri sırasıyla %0,77, %0,63 ve %0,49dur. 100 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli tasalarnmış grout harcın ağırlık kaybı yüzdeleri sırasıyla %1,04, %0,90, %0,83'tür. Artan çelik lif hacmiyle ağırlık kayıplarının azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.29. Kür malzemesi uygulamasında 50 ve 100 çevrim D-Ç etkisinde grout serilerin çelik dozajına bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri

Kür malzemesi uygulamasında çelik lif katkısız hazır grout harcın (G1) 50 çevrim sonra ağırlık kaybı %1,33, 100 çevrim sonra ağırlık kaybı %2,74 olduğu şekil 4.29'da görülmektedir. 50 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli hazır grout harç numunelerin ağırlık kaybı sırasıyla %1,19, %1,07 ve %0,99'dur. 100 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli hazır grout harç numunelerin ağırlık kaybı sırasıyla %2,56, %2,40, %2,22'dir. Tasarlanmış grout harcın (G2) 50 çevrim sonra ağırlık kaybı %1,52, 100 çevrim sonra %2,88 olduğu görülmektedir. 50 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli tasarlanmış grout harcın ağırlık kaybı yüzdeleri sırasıyla %1,36, %1,20 ve %1,06'dır. 100 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli tasarlanmış grout harcın ağırlık kaybı yüzdeleri sırasıyla %2,69, %2,55, %2,42'dir. Artan çelik lif hacmiyle ağırlık kayıplarının azaldığı görülmektedir. (Şekil 4.29)



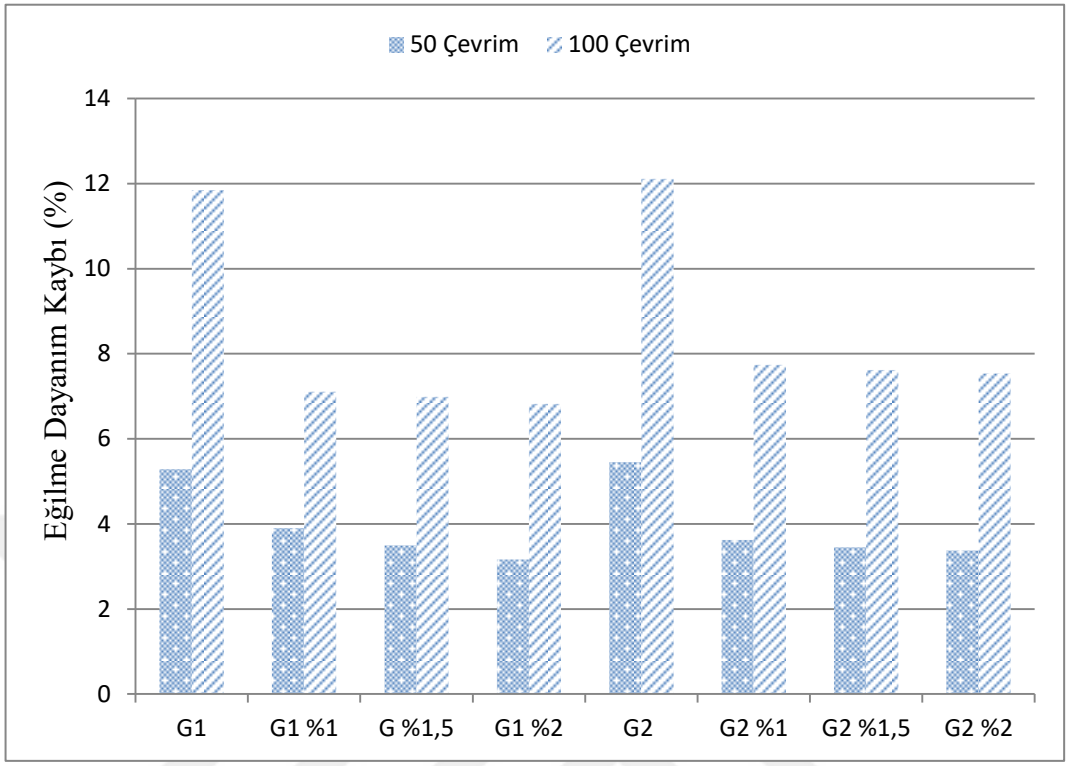
Şekil 4.30. Hava kurusu kürü koşulunda 50 ve 100 çevrim D-Ç etkisinde grout serilerin çelik dozajına bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri

Hava kurusu kür koşulunda çelik lif katkısız hazır grout harcın (G1) 50 çevrim sonra ağırlık kaybı %1,83, 100 çevrim sonra ağırlık kaybı %2,92 olduğu şekil 4.34'de görülmektedir. 50 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli hazır grout harç numunelerin ağırlık kaybı sırasıyla %1,29, %1,12 ve %0,98'dir. 100 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli hazır grout harç numunelerin ağırlık kaybı sırasıyla %2,31, %2,13, %1,97'dir. Tasarlanmış grout harcın (G2) 50 çevrim sonra ağırlık kaybı %1,95, 100 çevrim sonra %2,96 olduğu şekil 4.33'de görülmektedir. 50 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli tasarlanmış grout harcın ağırlık kaybı yüzdeleri sırasıyla %1,38, %1,26 ve %1,15'dir. 100 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli tasarlanmış grout harcın ağırlık kaybı yüzdeleri sırasıyla %2,74, %2,55, %2,37'dir. Artan çelik lif hacmiyle ağırlık kayıplarının azaldığı görülmektedir.

28 günlük grout numunelerine uygulanan 50 ve 100 çevrim donma-çözülme sonrası eğilme dayanım değerleri Tablo 4.5'de özetlenmektedir

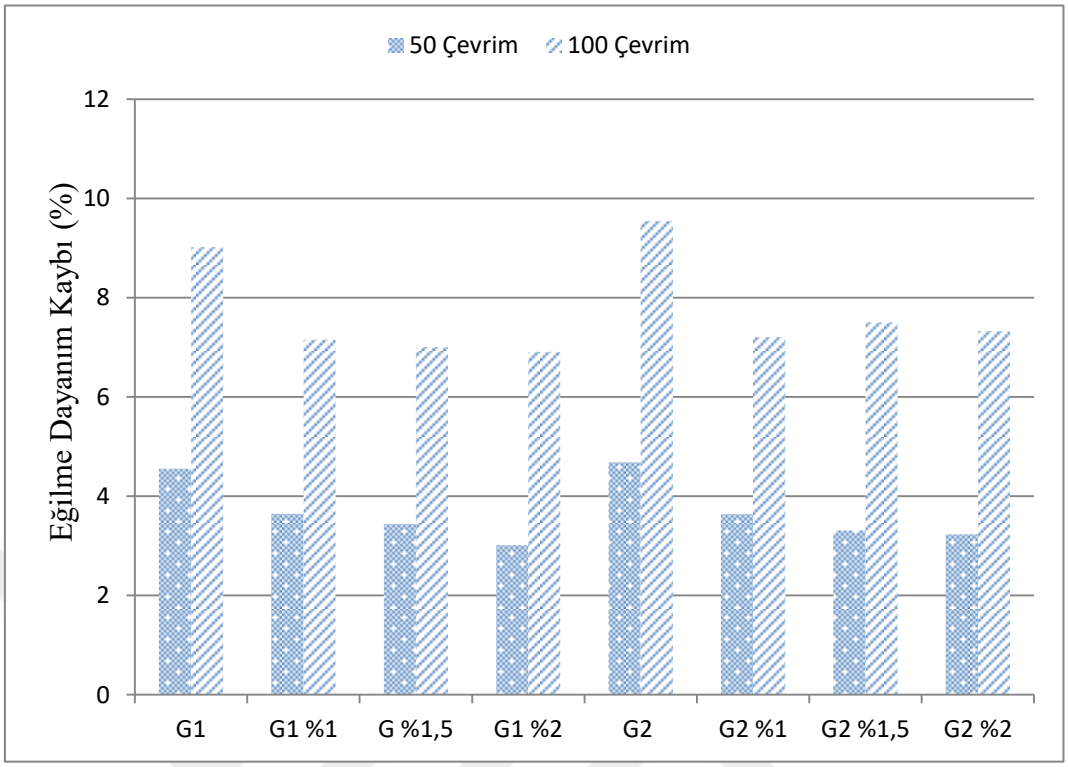
Tablo 4.5. Farklı kür koşullarında mikro çelik lif katkılı 28 günlük grout serilerin 50 ve 100 çevrim donma-çözülme sonrası eğilme dayanım değerleri

Kür koşulları	Su Kürü (SK)			Islak Kaplama (IK)			Kür Malzemesi (KM)			Hava Kurusu Kürü (HK)		
Grout adı	MPa											
	28 Günlük	50 ÇEvrim	100 Çevrim	28 Günlük	50 ÇEvrim	100 Çevrim	28 Günlük	50 ÇEvrim	100 Çevrim	28 Günlük	50 ÇEvrim	100 Çevrim
G1	10,21	9,67	9,00	11,42	10,90	10,39	10,25	9,60	9,02	8,51	7,95	7,45
G1 %1,0	13,08	12,57	12,15	14,25	13,73	13,23	11,29	10,61	9,95	9,10	8,53	8,00
G1 %1,5	14,02	13,53	13,04	15,70	15,16	14,60	12,89	12,13	11,58	10,25	9,64	9,10
G1 %2	14,22	13,77	13,25	15,92	15,44	14,82	12,74	12,05	11,47	10,79	10,19	9,70
G2	9,91	9,37	8,71	11,10	10,58	10,04	9,80	9,16	8,54	8,24	7,67	7,20
G2%1,0	12,14	11,70	11,20	13,74	13,24	12,75	10,97	10,31	9,63	9,02	8,44	7,91
G2 %1,5	13,91	13,43	12,85	14,79	14,30	13,68	11,17	10,51	9,99	9,90	9,30	8,73
G2 %2,0	13,93	13,46	12,88	15,14	14,65	14,03	11,89	11,23	10,58	10,34	9,74	9,19



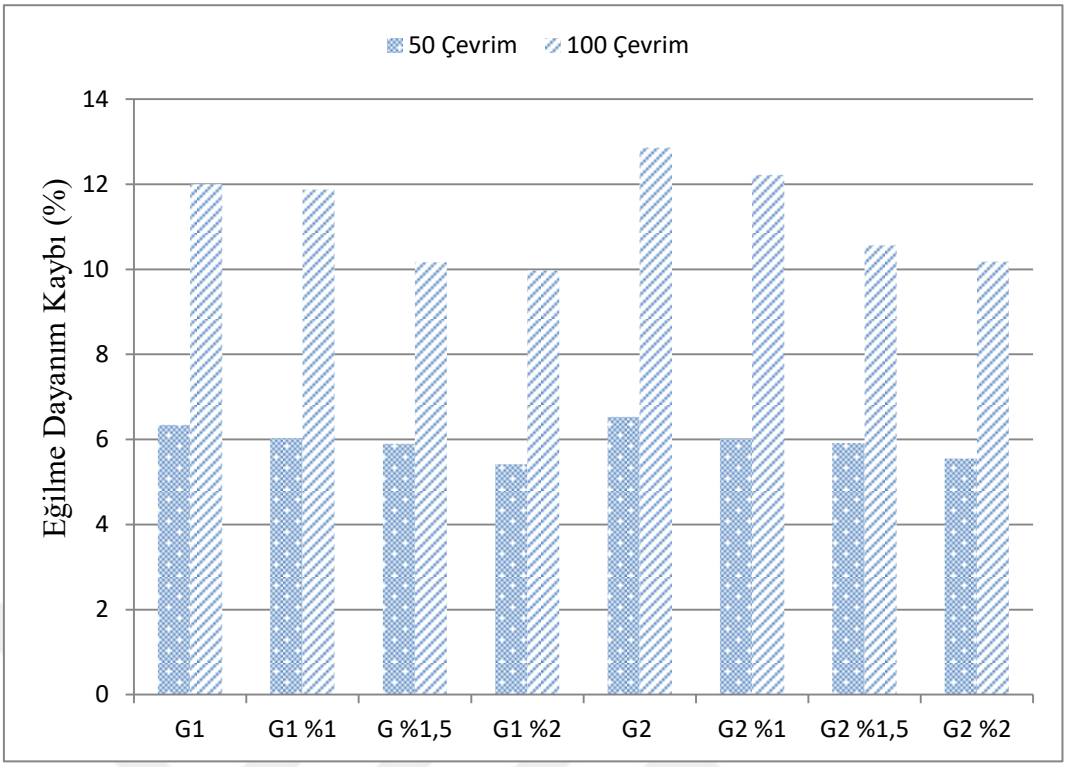
Şekil 4.31. Su kürü koşulunda 50 ve 100 çevrim D-Ç etkisinde grout serilerin çelik dozajına bağlı eğilme dayanım kaybı yüzdeleri

Su kürü koşulunda çelik lif katkısız hazır grout harcın (G1) 50 çevrim sonrası eğilme dayanım kaybı %5,29, 100 çevrim sonra eğilme dayanım kaybı %11,85 olduğu şekil 4.32'de görülmektedir. 50 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli Hazır grout harcı numunelerin eğilme dayanım kaybı sırasıyla %3,90, %3,50 ve %3,16'dır. 100 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli Hazır grout harç numunelerin eğilme dayanım kaybı sırasıyla %7,11, %6,99 %6,82'dir. Tasarlanmış grout harcın (G2) 50 çevrim sonra eğilme dayanım kaybı %5,45, 100 çevrim sonra %12,11 olduğu görülmektedir. 50 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli tasarlanmış grout harcın eğilme dayanım kaybı yüzdeleri sırasıyla %3,62, %3,45 ve %3,37'dir. 100 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli tasarlanmış grout harcın eğilme dayanım kaybı yüzdeleri sırasıyla %7,74, %7,62, %7,54'dir. Artan çelik lif hacmiyle eğilme dayanım kayıpların azaldığı görülmektedir.



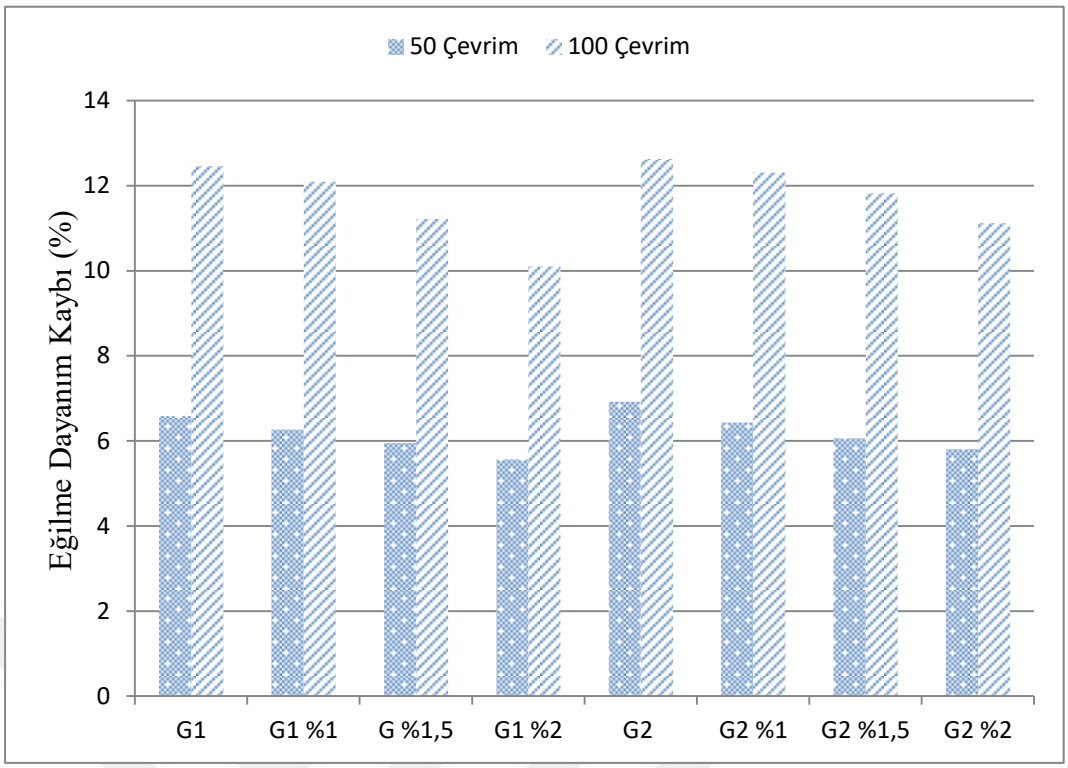
Şekil 4.32. Islak kaplama kürü koşulunda 50 ve 100 çevrim D-Ç etkisinde grout serilerin çelik dozajına bağlı eğilme dayanım kaybı yüzdeleri

Islak kaplama kürü koşulunda çelik lif katkısız hazır grout harcın (G1) 50 çevrim sonran ağırlık kaybı %4,55, 100 çevrim sonra eğilme dayanım kaybı %9,02 olmuştur. 50 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli hazır grout numunelerin eğilme dayanım kaybı sırasıyla %3,65, %3,44 ve %3,02'dir. 100 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli hazır grout harcı numunelerin eğilme dayanım kaybı sırasıyla %7,16, %7,01, %6,91'dir. Tasarlanmış grout harcın (G2) 50 çevrim sonra eğilme dayanım kaybı %4,68, 100 çevrim sonra %9,55 olduğu görülmektedir. 50 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli tasarlanmış grout harcın eğilme dayanım kaybı yüzdeleri sırasıyla %3,64, %3,31 ve %3,24'tür. 100 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli tasarlanmış (G2) grout harcın eğilme dayanım kaybı yüzdeleri sırasıyla %7,21, %7,51, %7,33'dür. Artan çelik lif hacmiyle eğilme dayanım kayıpların azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.33. Kür malzemesi uygulamasında 50 ve 100 çevrim D-Ç etkisinde grout serilerin çelik dozajına bağlı eğilme dayanım kaybı yüzdeleri

Kür malzemesi uygulamasında çelik lif katkısız hazır grout harcın (G1) 50 çevrim sonran eğilme dayanım kaybı %6,34, 100 çevrim sonra eğilme dayanım kaybı %12,00 olmuştur. 50 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli hazır grout harcı numunelerin eğilme dayanım kaybı sırasıyla %6,02, %5,90 ve %5,42'dir. 100 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli hazır grout harcı numunelerin eğilme dayanım kaybı sırasıyla %11,87, %10,16, %9,97'dir. Tasarlanmış grout harcın (G2) 50 çevrim sonra eğilme dayanım kaybı %6,53, 100 çevrim sonra %12,86 olduğu görülmektedir. 50 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli tasarlanmış grout harcın eğilme dayanım kaybı yüzdeleri sırasıyla %6,02, %5,91 ve %5,55'tir. 100 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli tasarlanmış grout harcın eğilme dayanım kaybı yüzdeleri sırasıyla %12,22, %10,56, %10,18'dir. Artan çelik lif hacmiyle eğilme dayanım kayıpların azaldığı görülmektedir.



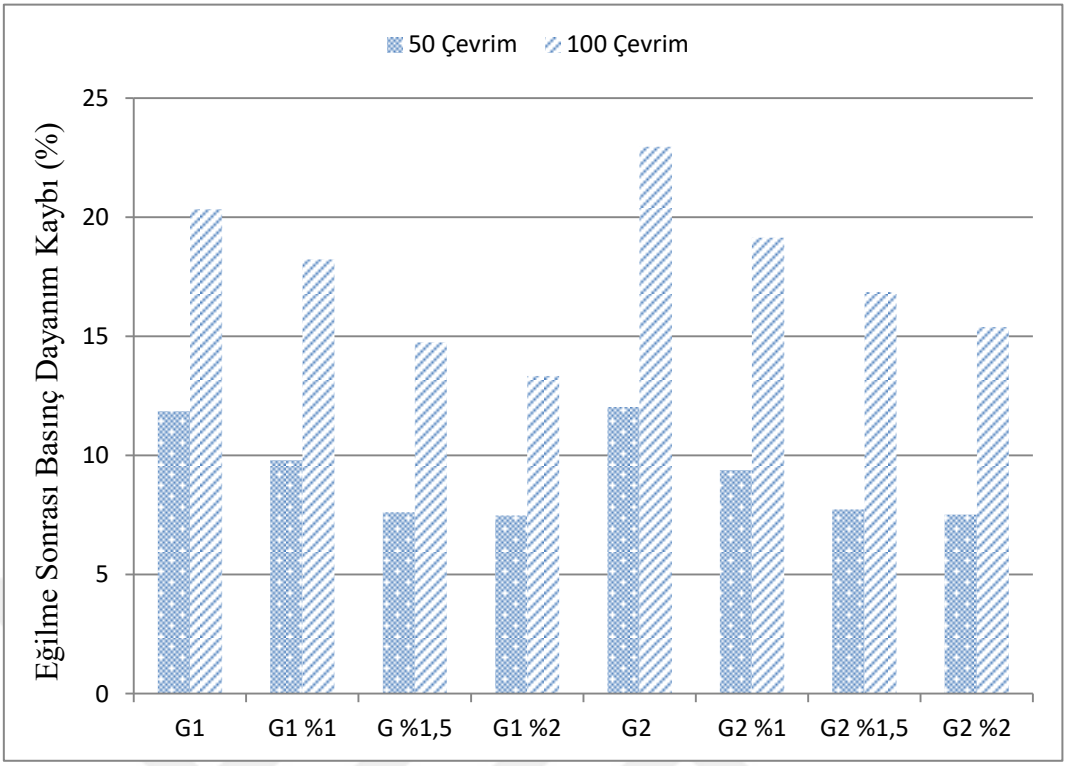
Şekil 4.34. Hava kurusu kür koşulunda 50 ve 100 çevrim D-Ç etkisinde grout serilerin çelik dozajına bağlı eğilme dayanım kaybı yüzdeleri

Hava kurusu kür koşulunda çelik lif katkısız hazır grout harcın (G1) 50 çevrim sonra eğilme dayanım kaybı %6,58, 100 çevrim sonra ağırlık kaybı %12,46 olmuştur. 50 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli Hazır grout harcı numunelerin eğilme dayanım kaybı sırasıyla %6,26, %5,95 ve %5,56'dır. 100 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli hazır grout harcı numunelerin eğilme dayanım kaybı sırasıyla %12,09, %11,22, %10,10'dur. Tasarlanmış grout harcın (G2) 50 çevrim sonra eğilme dayanım kaybı %6,92, 100 çevrim sonra %12,62 olduğu görülmektedir. 50 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli tasarlanmış grout harçların eğilme dayanım kaybı yüzdeleri sırasıyla %6,43, %6,06 ve %5,80'dir. 100 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli tasarlanmış grout harcın eğilme dayanım kaybı yüzdeleri sırasıyla %12,31, %11,82, %11,12'dir. Artan çelik lif hacmiyle eğilme dayanım kayıpların azaldığı görülmektedir.

28 günlük grout numunelerine uygulanan 50 ve 100 çevrim donma-çözülme sonrası eğilme sonrası basınç dayanım değerleri Tablo 4.6'da özetlenmektedir.

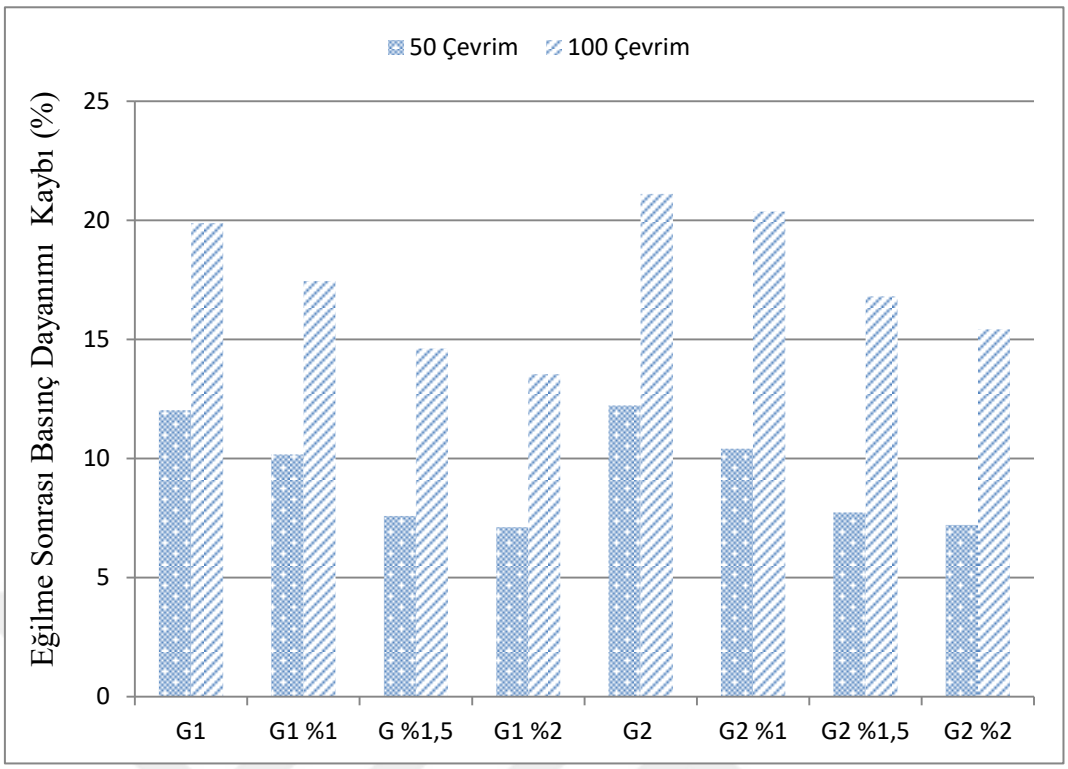
Tablo 4.6. Farklı kür koşullarında mikro çelik lif katkılı 28 günlük grout serilerin 50 ve 100 çevrim donma-çözülme sonrası eğilme sonrası basınç dayanım değerleri

Kür koşulları	Su Kürü (SK)			Islak Kaplama (IK)			Kür Malzemesi (KM)			Hava Kurusu Kürü (HK)		
Grout adı	MPa											
	28 Günlük	50 ÇEvrim	100 Çevrim	28 Günlük	50 ÇEvrim	100 Çevrim	28 Günlük	50 ÇEvrim	100 Çevrim	28 Günlük	50 ÇEvrim	100 Çevrim
G1	52,13	45,94	41,52	56,68	49,87	45,41	49,55	43,08	36,47	48,63	42,06	35,34
G1 %1,0	59,70	53,84	48,81	66,10	59,38	54,57	53,20	47,09	40,27	51,20	45,03	38,45
G1 %1,5	68,20	63,00	58,13	69,10	63,86	59,00	56,35	51,95	44,39	54,57	48,99	43,64
G1 %2	69,11	63,93	59,88	70,88	65,84	61,28	59,29	54,78	50,15	57,19	51,49	48,19
G2	47,14	41,46	36,31	51,41	45,13	40,56	46,10	39,88	33,51	44,33	37,39	31,82
G2%1,0	59,34	53,76	47,97	59,13	52,98	47,09	54,77	48,73	41,04	50,21	43,56	37,65
G2 %1,5	66,20	61,07	55,03	61,22	56,49	50,93	58,28	53,53	46,01	54,66	48,59	42,95
G2 %2,0	67,14	62,08	56,80	59,29	55,02	50,15	60,11	55,38	50,70	56,10	49,95	47,12



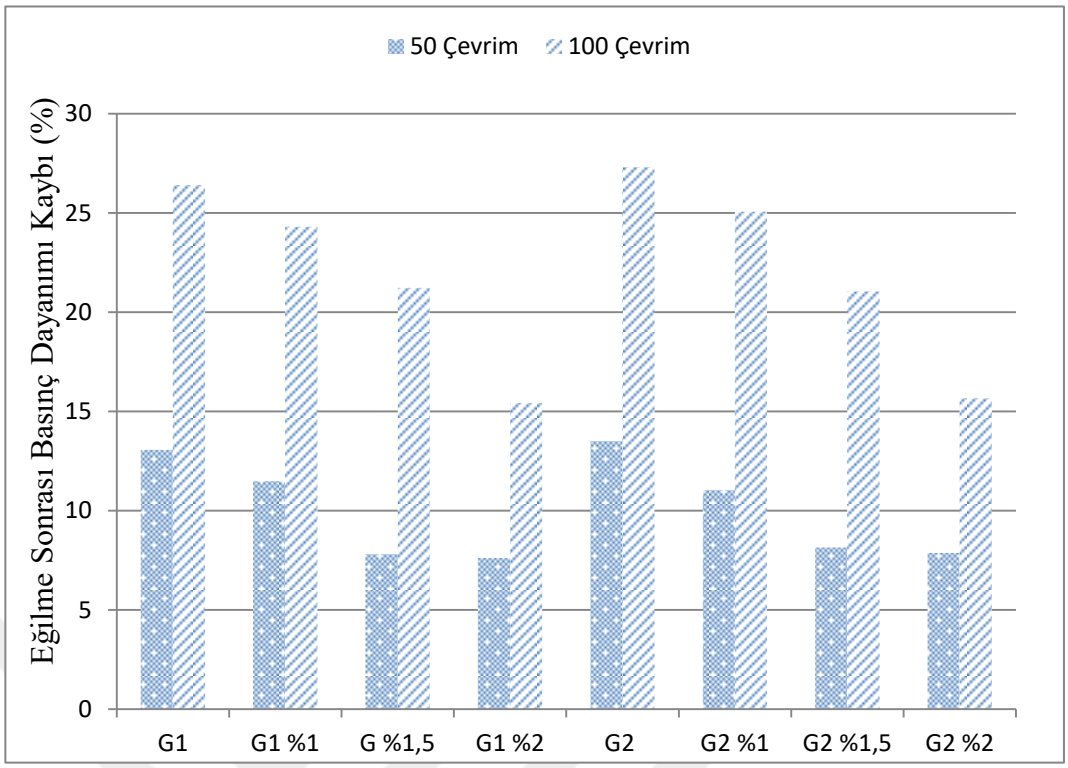
Şekil 4.35. Su kürü koşulunda 50 ve 100 çevrim D-Ç etkisinde grout serilerin çelik dozajına bağlı eğilme sonrası basınç dayanım kaybı yüzdeleri

Su kürü koşulunda çelik lif katkısız hazır grout harcın (G1) 50 çevrim sonra eğilme sonrası basınç dayanım kaybı %11,87, 100 çevrim sonra %20,35 olmuştur. 50 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli hazır grout harcı numunelerin eğilme sonrası basınç dayanım kaybı sırasıyla %9,82, %7,62 ve %7,50'dir. 100 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli harcı grout harcı numunelerin eğilmes sonrası basınç dayanım kaybı sırasıyla %20,35, %18,24, %14,77'dir. Tasarlanmış grout harcın (G2) 50 çevrim sonra eğilme sonrası basınç dayanım kaybı %12,05, 100 çevrim sonra %22,97 olduğu şekil 4.35'degörülmektedir. 50 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli tasarlanmış grout harcın (G2) eğilme sonrası basınç dayanım kaybı yüzdeleri sırasıyla %9,40, %7,75 ve %7,54'dür. 100 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli tasarlanmış grout harcın eğilme sonrası basınç dayanım kaybı yüzdeleri sırasıyla %19,16, %16,87, %15,40'dır. Artan çelik lif hacmiyle eğilme sonrası basınç dayanım kayıpların azaldığı görülmektedir.



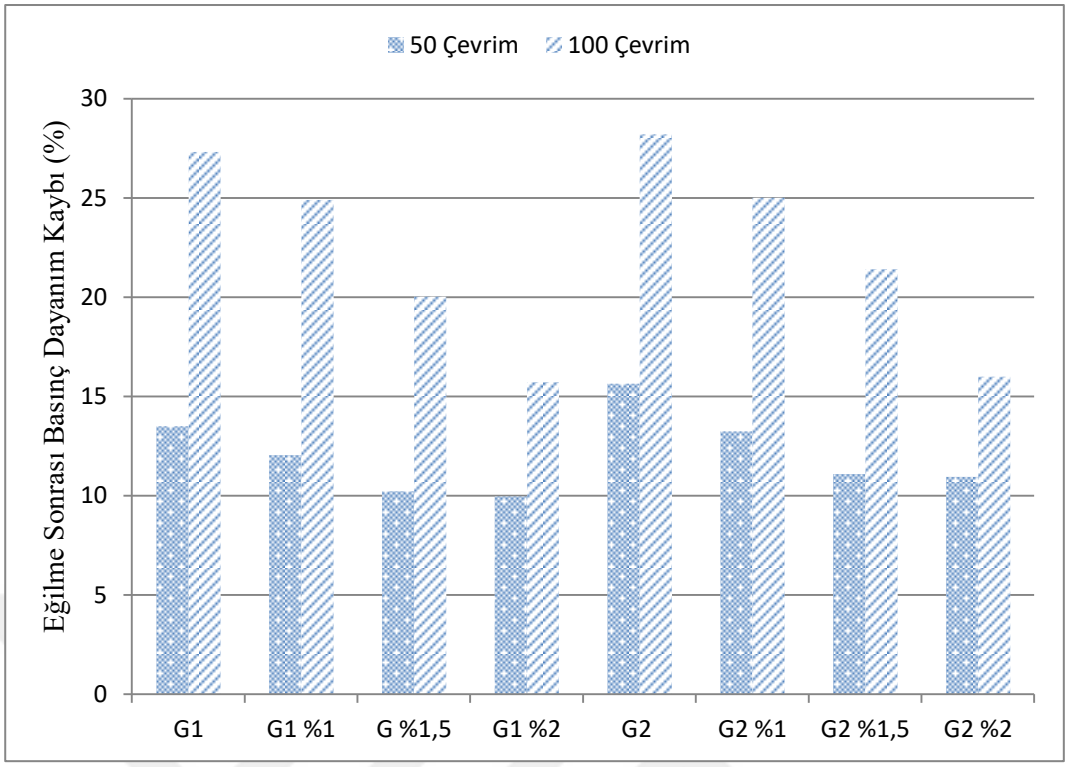
Şekil 4.36. Islak kaplama kürü koşulunda 50 ve 100 çevrim D-Ç etkisinde grout serilerin çelik dozajına bağlı eğilme sonrası basınç dayanım kaybı yüzdeleri

Islak kaplama kürü koşulunda çelik lif katkısız hazır grout harcın (G1) 50 çevrim sonra eğilme sonrası basınç dayanımı kaybı %12,01, 100 çevrim sonra %19,88 olmuştur. 50 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli hazır grout harcı numunelerin eğilme sonrası basınç dayanımı kaybı sırasıyla %10,17, %7,58 ve %7,11'dir. 100 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli hazır grout harcı numunelerin eğilme sonrası basınç dayanımı kaybı sırasıyla %17,44, %14,62, %13,54'dir. Tasarlanmış grout harcın (G2) 50 çevrim sonra eğilme sonrası basınç dayanım kaybı %12,22, 100 çevrim sonra %21,10 olduğu şekil 4.36'da görülmektedir. 50 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli tasarlanmış grout harcın (G2) eğilme sonrası basınç dayanımı kaybı yüzdeleri sırasıyla %10,40, %7,73 ve %7,20'dir. 100 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli tasarlanmış grout harcın eğilme sonrası basınç dayanımı kaybı yüzdeleri sırasıyla %20,36, %16,81, %15,42'dir. Artan çelik lif hacmiyle eğilme sonrası basınç dayanımı kayıpların azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.37. Kür malzemesi uygulasmasında 50 ve 100 çevrim D-Ç etkisinde grout serilerin çelik lif dozajına bağlı eğilme sonrası basınç dayanım kaybı yüzdeleri

Kür malzemesi uygulamasında çelik lif katkısız hazır grout harcın (G1) 50 çevrim sonra eğilme sonrası basınç dayanımı kaybı %13,06, 100 çevrim sonra %26,40 olmuştur. 50 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli hazır grout harcı numunelerin eğilme sonrası basınç dayanımı kaybı sırasıyla %11,48, %7,81 ve %7,61'dir. 100 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli Hazır grout harcı numunelerin eğilme sonrası basınç dayanımı kaybı sırasıyla %24,30, %21,22, %15,42'dir. Tasarlanmış grout harcın (G2) 50 çevrim sonra eğilme sonrası basınç dayanımı kaybı %13,49, 100 çevrim sonra %27,31 olduğu şekil 4.20'degörülmektedir. 50 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli tasarlanmış grout harcın (G2) eğilme sonrası basınç dayanımı kaybı yüzdeleri sırasıyla %11,03, %8,15 ve %7,87'dir. 100 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli tasarlanmış grout harcın (G2) eğilme sonrası basınç dayanımı kaybı yüzdeleri sırasıyla %25,07, %21,05, %15,65'dir. Artan çelik lif hacmiyle eğilme sonrası basınç dayanımı kayıpların azaldığı görülmektedir (Şekil 4.37).



Şekil 4.38. Hava kurusu kürü koşulunda 50 ve 100 çevrim D-Ç etkisinde grout serilerin çelik lif dozajına bağlı eğilme sonrası basınç dayanım kaybı yüzdeleri

Hava kurusu küründe çelik lif katkısız hazır grout harcın (G1) 50 çevrim sonra eğilme sonrası basınç dayanımı kaybı %13,51, 100 çevrim sonra %27,33 olmuştur. 50 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli hazır grout harcı numunelerin eğilme sonrası basınç dayanımı kaybı sırasıyla %12,04, %10,23 ve %9,97'dir. 100 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli hazır grout harcı numunelerin eğilme sonrası basınç dayanımı kaybı sırasıyla %24,90, %20,03, %15,74'dir. Tasarlanmış grout harcın (G2) 50 çevrim sonra eğilme sonrası basınç dayanımı kaybı %15,66, 100 çevrim sonra %28,22 olduğu şekil 4.38'degörülmektedir. 50 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli tasarlanmış grout harcın (G2) eğilme sonrası basınç dayanımı kaybı yüzdeleri sırasıyla %13,24, %11,11 ve %10,96'dır. 100 çevrim sonrasında %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilaveli tasarlanmış (G2) grout harcın eğilme sonrası basınç dayanımı kaybı yüzdeleri sırasıyla %25,01, %21,42, %16,01'dir. Artan çelik lif hacmiyle eğilme sonrası basınç dayanımı kayıpların azaldığı görülmektedir.

Sonuç olarak donma-çözülme deneylerin görsel inceleme sonucunda 50 ve 100 çevrrimde kayıpların olduğu, çelik lif ilaveleriyle bu kayıpların azaldığı görülmüştür.

4.3.3. Kılcal (Kapiler) Su Emme Deneyi Sonuçları

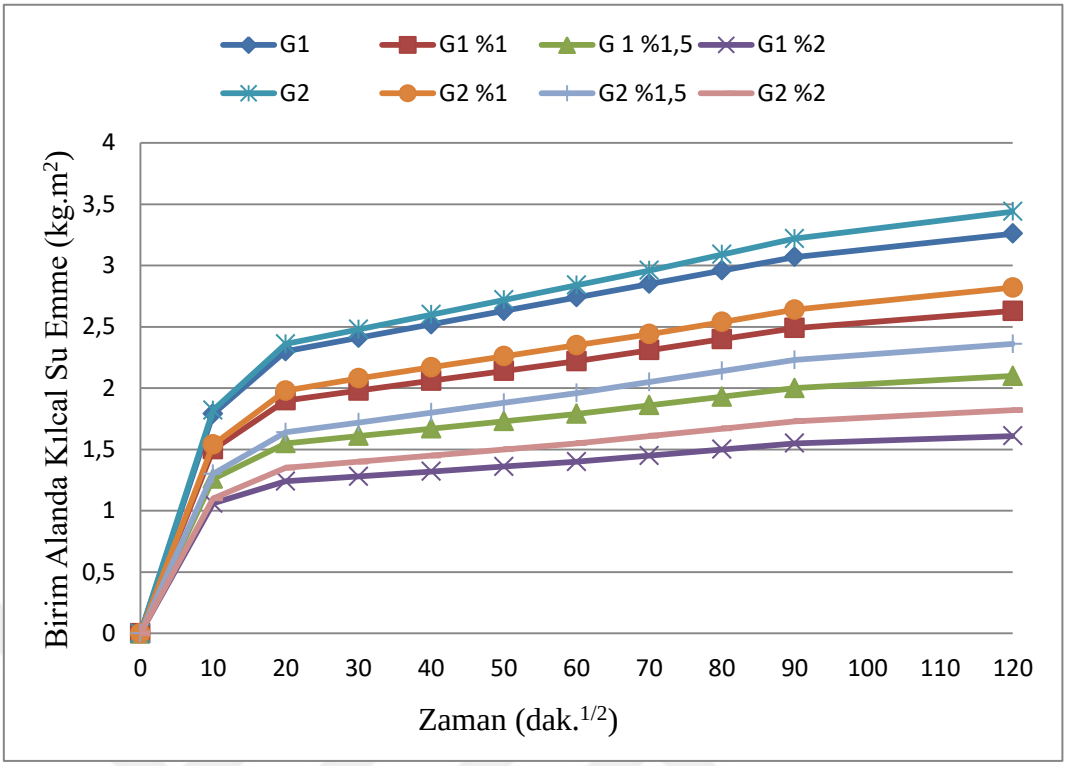
Çimento esaslı harçlarda, ara yüzey bölgesi oldukça zayıftır ve oldukça gözeneklidir (suyun yükselmesi ve sıkışması nedeniyle). Çimento esaslı harçlarda çelik liflerin su hareketlerine direnç gösterdiği ve dolayısıyla geçirgenliğin azalmasına etki ettiği bilinmektedir.

Çelik lif katkısz ve %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif katkılı hazır grout harcı (G1) grout harcın ve tasarlanmış (G2) grout harcın zamana bağlı kılcal su emme miktarları olarak Şekil 4.39-4.42'de özetlenmiştir. Ayrıca grafiklerden elde edilen eğimlerle zamanın karekköküne bağlı kılcal su emme katsayıları hesaplanmıştır ve Tablo 4.12-4.15'de bu değerler özetlenmiştir. Buna göre 120. dakikada su kürü koşulunda hazır grout harcın lifsiz ve %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif katkılı numunelerde kılcal su emme katsayıları sırasıyla 0,30 $kg.m^2/dak.^{0,5}$, 0,24 $kg.m^2/dak.^{0,5}$, 0,19 $kg.m^2/dak.^{0,5}$ ve 0,15 $kg.m^2/dak.^{0,5}$'dir. Islak kaplama kür koşulunda çelik lif katkısız, %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif katkılı hazır grout harcın (G1) kılcal su emme katsayıları sırasıyla 0,29 $kg.m^2/dak.^{0,5}$, 0,24 $kg.m^2/dak.^{0,5}$, 0,18 $kg.m^2/dak.^{0,5}$ ve 0,14 $kg.m^2/dak.^{0,5}$'dir. Kür malzemesi uygulamasında ise çelik lif katkısız, %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif katkılı hazır grout harcın kılcal su emme katsayıları sırasıyla 0,32 $kg.m^2/dak.^{0,5}$, 0,26 $kg.m^2/dak.^{0,5}$, 0,21 $kg.m^2/dak.^{0,5}$ ve 0,17 $kg.m^2/dak.^{0,5}$'dir. Hava kurusu kürü koşulunda çelik lif katkısız, %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif katkılı hazır grout harcın (G1) kılcal su emme katsayıları sırasıyla 0,33 $kg.m^2/dak.^{0,5}$, 0,27 $kg.m^2/dak.^{0,5}$, 0,22 $kg.m^2/dak.^{0,5}$ ve 0,17 $kg.m^2/dak.^{0,5}$'dir. Görüldüğü üzere artan çelik lif hacmiyle kılcal su emme katsayıları da azalmaktadır. Bu da çelik lif katkıların kılcal su emme açısından güçlü bir durabilite özelliği sağladığını gösterir. Kür koşulları açısından da değerlendirildiğinde ise ıslak kaplama kürün de en az kılcal su emme katsayısı tespit edilmiştir. Su kürü koşulunun kılcal su emme katsayıları ıslak kaplama kürün yakın olmakla birlikte bir miktar fazladır. Kür

malzemesi ise su kürü koşulundan daha fazla kılcal su emme miktarlarına sahiptir. Bunu hava kurusu kürü koşulu takip etmektedir.

Ayrıca 120. dakikada su kürü koşulunda tasarlanmış grout harcın (G2) çelik lif katkısız, %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif katkılı numunelerde kılcal su emme katsayıları sırasıyla 0,31 $kg.m^2/dak.^{0,5}$, 0,26 $kg.m^2/dak.^{0,5}$, 0,22 $kg.m^2/dak.^{0,5}$ ve 0,17 $kg.m^2/dak.^{0,5}$'dir. Islak kaplama kür koşulunda çelik lif katkısız, %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif katkılı tasarlanmış grout harcın (G2) kılcal su emme katsayıları sırasıyla 0,30 $kg.m^2/dak.^{0,5}$, 0,24 $kg.m^2/dak.^{0,5}$, 0,19 $kg.m^2/dak.^{0,5}$ ve 0,15 $kg.m^2/dak.^{0,5}$'dir. Kür malzemesi uygulamasında ise çelik lif katkısız, %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif katkılı tasarlanmış grout harcın (G2) kılcal su emme katsayıları sırasıyla 0,33 $kg.m^2/dak.^{0,5}$, 0,28 $kg.m^2/dak.^{0,5}$, 0,23 $kg.m^2/dak.^{0,5}$ ve 0,20 $kg.m^2/dak.^{0,5}$'dir. Hava kurusu kürü koşulunda çelik lif katkısız, %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif katkılı tasarlanmış grout harcın kılcal su emme katsayıları sırasıyla 0,34 $kg.m^2/dak.^{0,5}$, 0,29 $kg.m^2/dak.^{0,5}$, 0,24 $kg.m^2/dak.^{0,5}$ ve 0,21 $kg.m^2/dak.^{0,5}$'dir. Tasarlanmış grout harcı (G2) grout artan çelik lif oranıyla birlikte kılcal su emmenin azalması açısından hazır grout harcı (G1) ile aynı etkiyi göstermiştir. Ancak, tasarlanmış (G2) grout harcın kılcal su emme katsayı değerleri, hazır grout harca göre bir miktar fazla çıkmıştır.

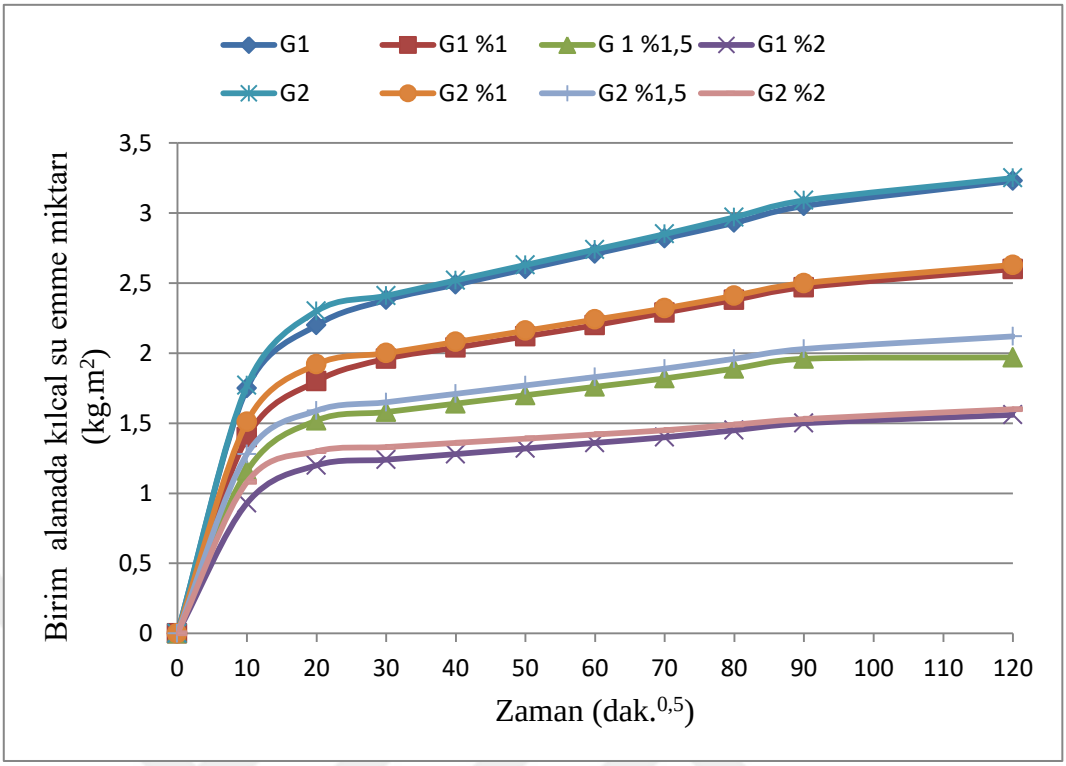
Kılcal su emme deneyi sonucunda mikro çelik lif katkısının grout harcın geçirimsizliğini arttırdığı sonucuna varılabilir. Bu da su etkisine oldukça maruz kalan yapısal veya yapısal olmayan grout harç uygulamalarında servis ömrü açısından güçlü bir özellik sağlar.



Şekil 4.39. Su kürü koşulunda mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlı kılcal su emme değerleri

Tablo 4.7. Su kürü koşulunda mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlı kılcal su emme katsayıları ($kg.m^2/dak.^{0,5}$)

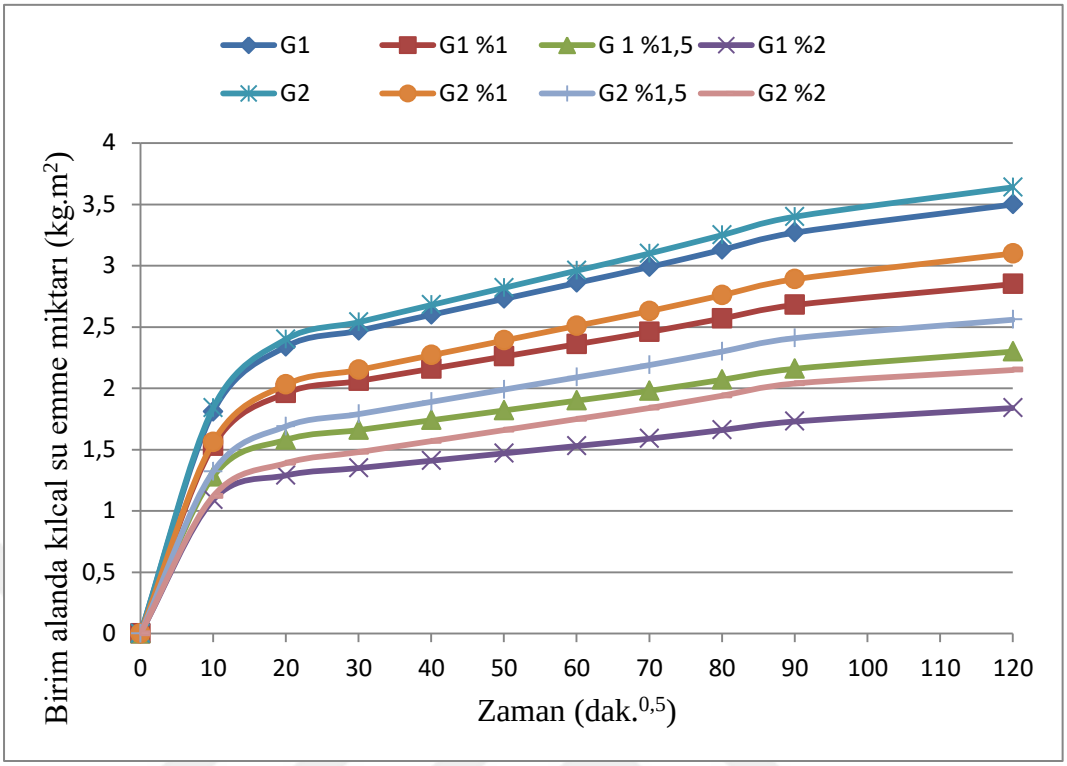
Zaman ($dak.^{0,5}$)	G1	G1 %1	G 1 %1,5	G1 %2	G2	G2 %1	G2 %1,5	G2 %2
10	0,57	0,47	0,40	0,34	0,58	0,49	0,41	0,35
20	0,51	0,42	0,35	0,28	0,53	0,44	0,37	0,30
30	0,44	0,36	0,29	0,23	0,45	0,38	0,31	0,26
40	0,40	0,33	0,26	0,21	0,41	0,34	0,28	0,23
50	0,37	0,30	0,24	0,19	0,38	0,32	0,27	0,21
60	0,35	0,29	0,23	0,18	0,37	0,30	0,25	0,20
70	0,34	0,28	0,22	0,17	0,35	0,29	0,25	0,19
80	0,33	0,27	0,22	0,17	0,35	0,28	0,24	0,19
90	0,32	0,26	0,21	0,16	0,34	0,28	0,24	0,18
120	0,30	0,24	0,19	0,15	0,31	0,26	0,22	0,17



Şekil 4.40. Islak kaplama kürü koşulunda mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlı kılcal su emme değerleri

Tablo 4.8. Islak kaplama kürü koşulunda mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamanaın karekköüne bağlı kılcal su emme katsayıları (kg.m^2/dak.^{0,5})

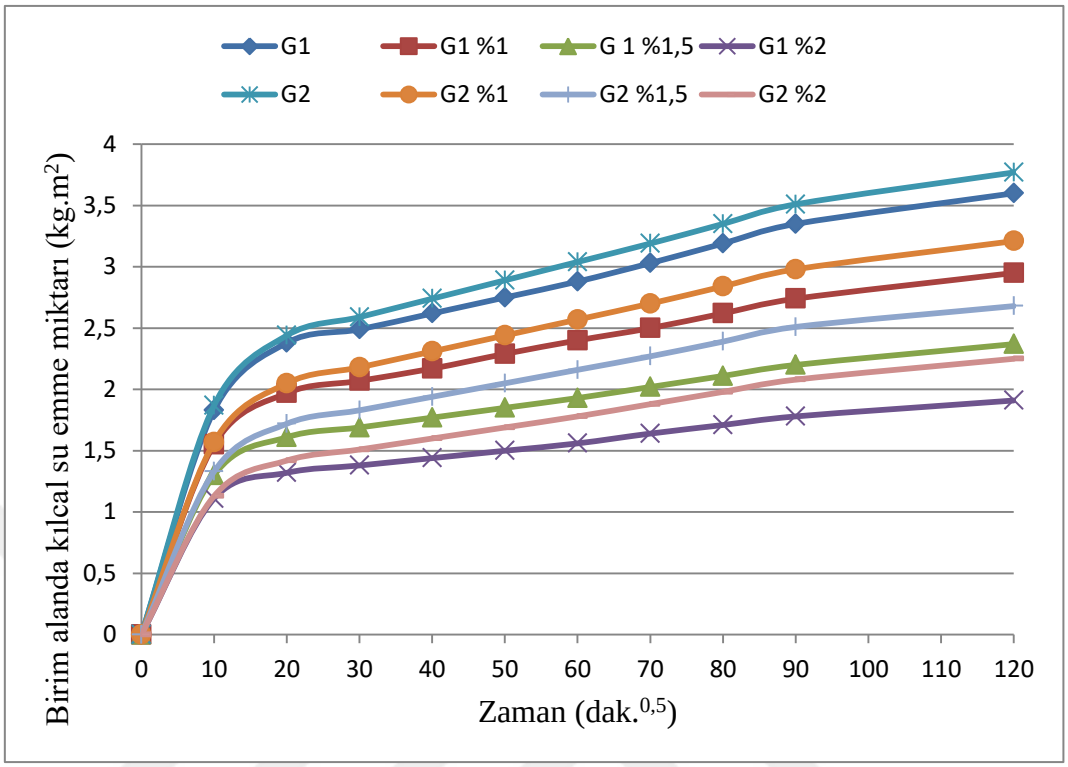
Zaman (dak.^{0,5})	G1	G1 %1	G 1 %1,5	G1 %2	G2	G2 %1	G2 %1,5	G2 %2
10	0,55	0,44	0,37	0,29	0,56	0,48	0,40	0,34
20	0,49	0,40	0,34	0,27	0,51	0,43	0,36	0,29
30	0,43	0,36	0,29	0,23	0,44	0,37	0,30	0,24
40	0,39	0,32	0,26	0,20	0,40	0,33	0,27	0,22
50	0,37	0,30	0,24	0,19	0,37	0,31	0,25	0,20
60	0,35	0,28	0,23	0,18	0,35	0,29	0,24	0,18
70	0,34	0,27	0,22	0,17	0,34	0,28	0,23	0,17
80	0,33	0,27	0,21	0,16	0,33	0,27	0,22	0,17
90	0,32	0,26	0,21	0,16	0,33	0,26	0,21	0,16
120	0,29	0,24	0,18	0,14	0,30	0,24	0,19	0,15



Şekil 4.41. Kür malzemesi uygulamasında mikro çelik lif kkatkılı grout serilerin zamana bağlı kılcal su emme değerleri

Tablo 4.9. Kür malzemesi uygulamasında mikro çelik lif kkatkılı grout serilerin zamanın karekökune bağlı kılcal su emme katsayıları (kg.m^2/dak.^{0,5})

Zaman (dak.^{0,5})	G1	G1 %1	G 1 %1,5	G1 %2	G2	G2 %1	G2 %1,5	G2 %2
10	0,57	0,48	0,40	0,34	0,58	0,49	0,42	0,35
20	0,52	0,44	0,35	0,29	0,54	0,45	0,38	0,31
30	0,45	0,38	0,30	0,25	0,46	0,39	0,33	0,27
40	0,41	0,34	0,28	0,22	0,42	0,36	0,30	0,25
50	0,39	0,32	0,26	0,21	0,40	0,34	0,28	0,23
60	0,37	0,30	0,25	0,20	0,38	0,32	0,27	0,23
70	0,36	0,29	0,24	0,19	0,37	0,31	0,26	0,22
80	0,35	0,29	0,23	0,19	0,36	0,31	0,26	0,22
90	0,34	0,28	0,23	0,18	0,36	0,30	0,25	0,22
120	0,32	0,26	0,21	0,17	0,33	0,28	0,23	0,20



Şekil 4.42. Hava kurusu kürü koşulunda mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamana bağlı kılcal su emme değerleri

Tablo 4.10. Hava kurusu kürü koşulunda mikro çelik lif katkılı grout serilerin zamanın karekökune bağlı kılcal su emme katsayıları (kg.m^2/dak.^{0,5})

Zaman (dak.^{0,5})	G1	G1 %1	G 1 %1,5	G1 %2	G2	G2 %1	G2 %1,5	G2 %2
10	0,58	0,49	0,41	0,35	0,59	0,50	0,42	0,36
20	0,53	0,44	0,36	0,30	0,55	0,46	0,38	0,32
30	0,45	0,38	0,31	0,25	0,47	0,40	0,33	0,28
40	0,41	0,34	0,28	0,23	0,43	0,37	0,31	0,25
50	0,39	0,32	0,26	0,21	0,41	0,35	0,29	0,24
60	0,37	0,31	0,25	0,20	0,39	0,33	0,28	0,23
70	0,36	0,30	0,24	0,20	0,38	0,32	0,27	0,22
80	0,36	0,29	0,24	0,19	0,37	0,32	0,27	0,22
90	0,35	0,29	0,23	0,19	0,37	0,31	0,26	0,22
120	0,33	0,27	0,22	0,17	0,34	0,29	0,24	0,21

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında hazır grout harcı, tasarlanmış grout harcı olmak üzere iki tip grout harcına farklı oranlarda mikro çelik lif ilave edilerek farklı kür koşullarında mekanik ve durabilite özellikleri karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışma iki aşamadan oluşmaktadır.

Deneysel çalışmanın ilk aşamasında mikro çelik lif katkısız, hacimce %1, %1,5 ve %2 oranlarında mikro çelik lif katkılı hazır grout harcına farklı kür koşulları uygulanarak taze ve sertleşmiş harç özellikleri, kimyasal dirençleri, donma-çözülme dirençleri, kılcal (kapiler) su emme absorbisyonları araştırılmıştır. Grout harçlarına su kürü, ıslak kaplama kürü, kür malzemesi uygulaması ve laboratuvar ortamında bekletilerek hava kurusu kürü olmak üzere 4 farklı kür koşulu uygulanmıştır. 2. Aşamada ise tasarlanmış grout harçları 0,40 su/çimento oranında hazırlanmış, yine referans numunesi olarak mikro çelik lif katkısız grout harcı üretilmiş ve hacimce %1, %1,5 ve %2 oranlarında mikro çelik lif ilave edilerek farklı kür koşullarında aynı deney prosedürleri uygulanmıştır. Ve deneyler sonucunda veriler birbirleriyle karşılaştırılarak incelenmiştir.

Buna göre; hazır grout harcı ve tasarlanmış grout harcına mikro çelik lif eklenmesi yayılma değerlerini düşürmüştür. Bu da grout harçlarında işlenebilirlik kaybına yol açtığını göstermektedir. Tasarlanmış grout harcı için bu sorun süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılarak giderilebilir. Hazır grout harcı içeriği gereği oldukça akışkan bir malzemedir.

Taze haldeki grout harç ürünlerinin dökümden sonraki 3 saat içinde terleme tayini değerlendirildiğinde hazır grout ve tasarlanmış grout harcında herhangi bir terleme olmadığı, hazır grout harcında %1,25 oranında genleşme olduğu görülmüştür.

Hazır grout harçlarına 1,7 ve 28 günlerinde uygulanan üç noktalı eğilme deneyi sonucunda, kür koşulları açısından bakıldığında grout harcın erken ve geç yaşlarında en fazla eğilme dayanımının ıslak kaplama küründe olduğu, bunu takiben su küründe olduğu saptanmıştır. Hava kurusu kürü koşulunda grout harcı numuneleri en olumsuz sonuçları göstermektedir. Kür malzemesi uygulamasında ise eğilme dayanımlarının hava küründen bir miktar daha fazla olduğu ancak su küründen düşük olduğu görülmüştür. Artan çelik lif ilavesi hazır grout harcın eğilme dayanımı gelişiminde oldukça önemli bir artış sergilemiştir. Ancak %2 lik mikro çelik lif ilavesinde çok önemli bir artış olmadığı tespit edilmiştir. Lifsiz numunelere göre çelik lifli numunelerin kırılma davranışında değişiklik olduğu ve gevrek kırılmadan sünek bir davranışa doğru gittiği gözlemlenmiştir. Mikro çelik lifler köprüleme olayı sonucunda kırılma davranışını etkilemiştir. Farklı kür koşulları uygulanan tasarlanmış grout harcına %1, %1,5 ve %2 mikro çelik lif ilavesi eğilme dayanımında ve kırılma davranışında aynı etkileri göstermiştir ancak hazır grout harcına göre değerler düşük çıkmıştır.

1, 7 ve 28 günlük grout numunelerin eğilme sonrası basınç dayanımını ıslak kaplama kür koşulunda en iyi gelişimi göstermiştir. Su kürü koşulunda basınç dayanımı gelişimi ıslak kaplama kürüne yakın olduğu, kür malzemesi uygulamasının daha düşük, hava kürü koşulunda ise en olumsuz olduğu sonucuna varılmıştır. Mikro çelik liflerin özellikle ilerleyen yaşlarda basınç dayanımlarını arttırdığı görülmektedir. Grout numuneleri nihai basınç dayanımları düşünüldüğünde mikro çelik lif katkılı numunelerin daha iyi performans sergilediği söylenebilir. %1 ve %1,5 mikro çelik lif katkısı grout harçlarında lifsiz grout harçlarına göre 1, 7 ve 28 günlük grout numuneleri artan bir eğilim gösterirken; %2 mikro çelik lif katkılı grout numuneleri %1,5 mikro çelik lif katkılı grout numunelerine göre erken yaşlarda (1 ve 7 günlük iken) daha düşük basınç dayanımı elde edilmiştir. Hazır grout harçların eğilme sonrası basınç dayanımı tasarlanmış grout harçlarınkine göre daha yüksektir.

Durabilite performanslarına bakıldığında mikro çelik lif katkısı oldukça önem arz eden gelişimler göstermiştir. Grout numunelerin kimyasal dirençlerin tespiti için %5 HCL, %5 HNO_3, %5 H_2SO_4 solüsyonlu asit ortamlarında bekletilen grout

numunelerin 7, 14, 28 ve 56 günlerinde ağırlık kaybına, asit ortamları öncesi ve sonrası basınç dayanım kaybına bakıldığında, artan çelik lif katkısıyla ağırlık ve basınç dayanım kayıplarında azalma olduğu görülmektedir. Bu da kimyasal ortamlara maruz kalan grout harçlarında mikro çelik lif kullanımının güçlü bir direnç gösterdiğini belirtir. Hazır grout harcı, tasarlanmış grout harcına göre daha güçlü bir kimyasal direnç göstermiştir. En fazla ağırlık ve basınç dayanımı kaybı hava küründe, en az ıslak kaplama küründe olmuştur. Su kürü koşulunda kayıplar ıslak kaplamaya göre bir miktar fazlayken artan zamana bağlı olarak değerler birbirine yaklaşmıştır, kür malzemesi uygulamasında ise su kürüne göre daha az ağırlık ve basınç dayanım kaybı gerçekleşmiştir. En agresif asit ortamı sülfürik asit (H_2SO_4), sülfürik asitten daha az agresif nitrik asit (HNO_3) en az agresif ortam ise hidroklorik (HCL) asit ortamı olduğu belirlenmiştir.

50 ve 100 çevrim donma-çözülme etkisindeki grout numunelerinde artan çelik lif oranıyla, ağırlık kaybı, eğilme dayanımı kaybı ve eğilme sonrası basınç dayanım kaybında azalmalar görüldüğü tespit edilmiştir. Hazır grout harcı tasarlanmış grout harcına göre daha güçlü bir donma-çözülme direnci göstermiştir. En fazla ağırlık ve basınç dayanımı kaybı hava küründe, en az ıslak kaplama küründe olmuştur. Su kürü koşulunda gerçekleşen kayıplar kür malzemesi uygulamasında yaşanan kayıplar su kürüne göre daha az iken, ıslak kaplama kürüne göre daha fazladır.

Grout numunelerinde zamana bağlı kılcal su emmeleri değerlendirildiğinde, artan mikro çelik lif katkısı ile zamana bağlı olarak kılcal su emme değerlerinde azalmalar görülmektedir. Bu mikro çelik liflerin çimento esaslı grout harçlarında boşluklu yapıyı azaltıp, geçirimsizliği arttırarak, dayanılılık performansı açısından güçlü bir özellik gösterdiğini belirtir. Hazır grout harcı tasarlanmış grout harcına göre daha düşük kılcal su emme katsayılarına sahiptir, yani kılcal su emmeye karşı daha dirençlidir. Zamana bağlı olarak en az geçirimliliğe sahip grout numuneleri ıslak kaplama küründe, en fazla geçirimliliğe sahip grout numuneleri hava kurusu kürü koşulundadır. Su kürü koşulunda ise grout numunelerin kılcal su emme miktarları ıslak kaplama kürüne yakın olmakla birlikte daha fazla geçirimli yapıya

sahiptir. Kür malzemesi uygulaması su kürü koşulundan sonra daha fazla geçirimli yapıya sahiptir.

Deneyler soncunda görülmüştür ki çimento esaslı grout harçların mekanik ve durabilite performans özellikleri iyi ıslak kaplama küründe sağlanmıştır. Bazı özelliklerde normal su kürüne yakın veriler elde edilmiştir. Kür malzemesi (bileşiği) uygulamasında her ne kadar su kürüne göre performans özellikleri düşük kaldıysa da kür malzemesi uygulanan çimento esaslı grout harçlarında, kürlenme eksikliği, belirli alanlarda su eksikliği nedeniyle inşaat endüstrisinde alternatif bir kür yöntemi olarak uygulanabileceği sonucuna varılmıştır.

%1, %1,5 ve %2 oranlarında mikro çelik lif katkısının çimento esaslı grout harçların eğilme dayanımı ve özellikle ilerleyen yaşlarda da basınç dayanımı arttırdığı tespit edilmiştir. Mikro çelik lifler lifsiz grout numunelerine göre durabilite performansı açısından oldukça iyileştirici özellikler göstermiştir.

Yapılan çalışmalar göz önüne alındığında, çelik lif katkısının çimento harçlarının mekanik ve durabilite özelliklerini iyileştirme eğilimine sahiptirler. Tasarlanmış grout harcın daha uygun maliyetli olduğu ancak hazır grout harcına göre daha düşük sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Daha sonraki çalışmalarda hazır grout harç karışımlarına yakın grout harçları çeşitli mineral katkılar eklenerek tasarlanabilir. Böylece hem üretim maliyetinin düşürülmesine hem de grout harcın özelliklerinin geliştirilmesine olanak sağlanabilir. Hazır grout harcına yakın karışımlar farklı tip çimentolar kullanılarak hazırlanarak performans özellikleri değerlendirilebilir. Farklı kür koşulları uygulanan grout harçlarında, kür koşulu arttırılabilir. Çelik liflerin grout harçların mikro yapı etkisinde klorür geçirgenliği incelenerek, içyapı-dayanılılık bağıntısı kurularak, dayanıklılık özelliklerin daha ayrıntılı biçimde araştırılması önerilebilir.

KAYNAKLAR

[1] Park S.K. CO-friendly, high- durability, non-shrinkage grout for PC. Kor. Concr. instit. Kor 19, 2007, 623-630.

[2] Kim, Y., Chua, Y.S., Seo, S.K., Kim, J.J. The non-shrinkage grout to use ground fly ash as admixture. Journal of Ceramic Processing Research. 2018, 19(6), 509-513.

[3] Nonveiller, E. Grouting Theory and Practice. Amsterdam, Elsevier, 1989, 260 s.

[4] Bowen R. Grouting In Engineering Practice. 2nd Edition. London, Apply Science Pub, 1981, 285 s.

[5] Bartos, P.J.M., Marrs D.L., Creland. D.J. Production Methods and Workability of Concrete, Proceeding of The International RILEM Conference. London, 1996, 223-225.

[6] Newman, J., Choo, B.S. Advanced Concrete Technology. Processes Butterworth, Heinemann. Elsevier, 2003, 12/1-12/45.

[7] Berndt, M.L. Strength and permeability of steel fibre reinforced grouts. Constr. Build. Mater. 2010, DOİ:10.1016/J.CONBUİLDMAT.2010.02.011.

[8] Grimes, J.D. The Effect of Steel Fibre-Reinforced Grout on the Tension Stiffening Behaviour of Reinforced Concrete Masonry, Department of Civil & Environmental Engineering Carleton University, 2014, 357 s. (Doktora tezi)

[9] Brown, H.J., Performance Evaluation Of Grout Materıals For, School of Concrete and Construction Management Middle Tennessee State University 1301 East Main Street, Murfreesboro, TN 37132, 2017, 165s.

[10] Gião, R., Lúcio, V., Chastre, C. and Brás, A. Ufrg – Unidirectional Fibre Reinforced Grout As Strengthening Material for Reinforced Concrete. BEFIB2012 – Fibre reinforced concrete. 2012, 1-12.

[11] Farzampour, A. Temperature and humidity effects on behavior of grouts. Adv. Concr. Constr. 2017, DOİ: 10.12989/ACC.2017.5.6.659.

[12] Vanza, M.G., Modi, P.I., Chaudhari, P.A. Parametric study of grout mix design using admixture. International Journal of Engineering Research and Applications. 2013, 3(3), 794-797.

[13] Fang, Z., Shao-hua, H. High-performance grouts for rock anchor. Key Engineering Materials. 2012, 517, 946-951.

[14] Lim, S.K., Zakaria, F., Hussin, M.W., Hamid, Z., Abd., Muhamad, R. Effect of slag content to cement grout on the compressive strength development in tropical weather environment. Proceedings of the 6th Asia-Pacific Structural Engineering and Construction Conference (APSEC). 2006, 74-83.

[15] Varga, D.L., Spragg, I, .Muñoz, R.P., Helsel, J.F., Graybeal, B.A. Cracking, bond, and durability performance of internally cured cementitious grouts for prefabricated bridge element connections. Sustainability, 2018, DOI:10.3390/su10113881.

[16] Li, Q., Liu, L., Huang, Z., Yuan, G. Residual compressive strength of cement-based grouting material with early ages after fire. Constr. Build. Mater. 2017, 138, 316-325.

[17] Kampmann, R., Roddenberry, M. Rheology Limits For Grout Materials Used For Precast Bent Cap Pile Pockets İn Hot Weather. FAMU-FSU College of Engineering Department of Civil and Environmental Engineering 2525 Pottsdamer Street Tallahassee, FL 32310, 2017, 108s.

[18] Lim, M.K, Ha, S.S. Ultra-high-strength grout for filling steel pipes in offshore wind turbines. Int. J. Appl. Eng. Res. 2017, 12(23), 13064–13076.

[19] Heo, H.S., Lee, B.J. Study on durability of grouting materials for reinforcement in a double-deck tunnel, Int. J. Eng. Technol. 2018, 10(4), 294–299.

[20] Issa, M.A., Ribeiro do Valle, C.L., Islam, S., Issa, M. Abdalla, H. Performance of transverse joint grout materials in bridge deck systems. PCI Journal. 2003, 48(4), 92-103.

[21] Scoot, R.M., Mander, T.J., Trejo, D., Mander, J.B., Head, M.H. High performance grout materials and applications for full-depth precast overhang bridge deck panels. Transportation Research Board 89th Annual Meeting. 2010, 14 s.

[22] Shamsuddoha, M., Hüsken, G., Schmidt, W., Kühne, H.C., and Baeßler, M. Workability and mechanical properties of ultrafine cement based grout for structural rehabilitation, A parametric study on the partial replacement with SCMs. MATEC Web Conf. 2018, doi: 10.1051/matecconf/201819907006.

[23] Ferguson, T., Material Mix Design for Masonry Grouting, https: // masonrymagazine.com/blog/category/articles/ September 2015

[24] ACI 352.IR-99, Reports, such as “Grouting between Foundations for the Support of Equipment and Machinery” (ACI 351.1R-99)

[25]“PracticalHandbookofGrouting”WileyPublication,&http://www.avantigrout.com /component/zoo/item/comparison-of-chemical-grout-properties, 2013.

[26] Kataria, S. Assessment Of Grouts For Constructability And Durability Of Post-Teniıoned Bridge. Graduate Studies of Texas A&M University, Texas, 2008, 151 s. (Yüksek lisans tezi).

[27] Ritchie, A. G. B. The rheology of cement grout. Cement and Lime Manufacture.1965, 38(1), 9-17.

[28] Ferraris, C. F. Measurement of the rheological properties of high performance concrete: State of the Art Report. Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology. 1999, 104(5), 461-478.

[29] Ganz, H.R, Vildaer, S., Grouting of Post - Tensioning Tendons. Report Series 5, VSL International Ltd., Lyssach/ Switzerland, 2002, 46 s.

[30] Lea, F. M. The Chemistry of Cement and Concrete, Chapter 10 The Setting and Hardening of Portland Cement, (2rd Edition). Chemical Pubishing Company INC, London., 1970, 727 s.

[31] Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W. Design and Control of Concrete Mixtures, EB001, 14th edition, Portland Cement Association, Skokie, IL, 2002, 358 s.

[32] Domone, P., Jefferis, S., Structural Grouts, Chapter 3 Hardened properties of Portland cement grouts, (1rd Edition). Blackie Academic & Professional, an imprint of Chapman & Hall, Glasgow, 1994, 227 s.

[33] A Professional’s Guide to Grouting and Concrete Repair for: Architects Contractors Engineers Specifiers Owners Five Star Products Inc. 750 Commerce Drive Fairfield CT 0682, 2012, 117 s.

[34] Neville, A.M. Properties of Concrete, Fourth and Final Edition. John Wiley and Sons, Inc. New York USA, 1996, 801 s.

[35] Fauzi M. The Study on the Physical Properties of Surface Layer Concrete Under the Influence of Medium Temperature Environments. Kyushu University, Japan, 1995, (Doktora Tezi).

[36] ACI Committee 305R-99 “Hot Weather Concreting”, Reported by ACI Committee 305.

[37] ACI Committee 301-10 “Specification for Structural Concrete”

[38] Chikmagalur, A.I.T, External self-curing of concrete, University of Rwanda, Deparment of Civil Engineering, 2010, 44 s.

[39] Sundharam, R, Priya, M., Ranjitha, S., Elakkiya, R.T. Self-curing of concrete. International Conference on Current Research in Engineering Science and Technology. 2016, 11 s.

[40] ACI 301-16. Specifications for Structural Concrete; ACI Committee 301: Farmington Hills, MI, USA, 2016.

[41] ASTM International. ASTM C309/Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2011.

[42] Xue, B., Pei, J., Sheng, Y., Li, R. Effect of curing compounds on the properties and microstructure of cement concretes. Constr. Build. Mater. 2015, 101, 410-416.

[43] Surana, S., Pillai, R., Santhanam, M. Performance evaluation of curing compunds using durability parameters. Constr. Build. Mater. 2017, 148, 538–547.

[44] Ibrahim, M., Shameem, M., Al-mehthel, M., Maslehuddin, M. Effect of curing methods on strength and durability of concrete under hot weather conditions. Cem. Concr. Compos. 2013, 41,60–69.

[45] Nahata, Y., Kholia, N., Tank, T.G. Effect of Curing Methods on Efficiency of Curing of Cement Mortar. Int. Conf. Chem. Biol. Environ. Eng. 2014, 9, 222–229.

[46] Al-Gahtani, A.S. Effect of curing methods on the properties of plain and blended cement concretes. Constr. Build. Mater. 2010, 24, 308–314.

[47] Claver, N. Comparatıve Study On External Self Curing Concrete And Conventional Curing Concrete Using Different Binding Materıals (Opc And Ppc), Department Of Civil Engineering National Institute of Technology Karnatakasurathkal, Mangalore-5, 2019, 139 s. (Yüksek Lisans Tezi).

[48] Raghavendra, N.S. External self-curing of concrete. Esc Report, 2010, 51 s.

[49] AASHTOM 182 Standard Specification for Burlap Cloth Made from Jute or Kenaf and Cotton Mats STANDARD by American Association of State and Highway Transportation Officials, 2005.

[50] ASTM C 171 Standard Specification for Sheet Materials for Curing Concrete.

[51] Pitroda, J.R. Introducing the Self-Curing Concrete in Construction. Industry, Engineering Research & Technology (IJERT), 2014, 3(3), 1286-1289.

[52] Ravikumar., Self compacted / self-curing / kiln ash concrete., Design and Manufacturing Technologies, 2015, 5(1), 25-30.

[53] ACI 308 2001 Edition, 2001standard Practice For Curing Concrete.

[54] Lohar, R. Deokar, M., Kale, A. A study on internal curing of self compacting concrete using admixture PEG (400) & superplasticizers, 02Days,5th International Conference on Recent Trends in Engineering,Science &Management, 2016. 1222.

[55] Yadav. N. Internal curing: curing concrete ınside out. International Journal of Science. 2013, 268-271.

[56] Kumar, M.V.J, Srikanth, M., V., Rao, K.J. Strength characteristics of self-curing concrete. International Journal of Research in Engineering and Technology. 2012, 1(1), 51-55.

[57] ACI Committee 544, State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete. American Concrete Institute, 2002.

[58] Narayanan, R., Darwish, I. Use of steel fibers as shear reinforcement. ACI Structural Journal, 1987, 216-227.

[59] ASTM A820 Standard Specification for Steel Fibers for Fiber-Reinforced Concrete.

[60] https://www.steelfiber.org.

[61] Banthia, N., & Sappakittipakorn, Toughness Enhancement in Steel Fiber Reinforced Concrete through fibre Hybridization., Cement and Concrete Research, 2007, 1366- 1372.

[62] Yardımcı, M. Y. Çelik Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik, Mekanik, Kırılma Parametrelerinin Araştırılması ve Optimum Tasarımı. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 2007, 404 s. (Doktora Tezi).

[63] Yalçınkaya, Ç. Mineral Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Lifli Betonun Mekanik, Durabilite Ve Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 2009, 270 s. (Yüksek Lisans Tezi).

[64] Fantilli, A. Multiple cracking and strain hardening in uniaxial tension. Cement and Concrete Research, 2009, 39, 1217-1229.

[65] Minelli, F. Plain And Fiber Reinforced Concrete Beams Under Shear Loading: Structural Behavıor and Desıgn. Aspects, University of Brescia, Italy, 2005, 429 s. (Doktora Tezi).

[66] Kützing, L. Trafahigkeitsermittlung stahlfaserverstarkter Betone. University of Leipzig, Stuttgart, Germany, 2000 (Doktora Tezi).

[67] TS EN 196-1. Çimento Deney Metotları-Bölüm1: Dayanım Tayini. Türk standartları enstitüsü, TSE, 2002.

[68] TS EN 197-1 Çimento Standardı.

[69] ASTM C1437 – 07, "Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar.

[70] ASTM C940 Standard Test Method for Expansion and Bleeding of Freshly Mixed Grouts for Preplaced-Aggregate Concrete in the Laboratory.

[71] ASTM C267 - 20 Standard Test Methods for Chemical Resistance of Mortars, Grouts, and Monolithic Surfacings and Polymer Concretes/ASTM C 579, Standard Test Methods for Compressive Strength of Chemical-Resistant Mortars, Grouts, Monolithic Surfacings, and Polymer Concretes.

[72] ASTM C 666 Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing.

[73] ASTM C 1585-20 Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes.

[74] Shi, C., Stegemann, J.A. Acid corrosion resistance of different cementing materials. Cem. Concr. Res. 2000, 30, 803–808.

[75] Yang Q., Wu X., and Huang S., Proc. Int. Cong. Chem. Cement 10th, Gothenburg, Sweden, 1997, 5 s.

[76] Israel D., Macphee D.E., Lachowski, E.E. Acid attack on pore-reduced cements, Journal of Material Science. 1997, 32, 4109-4116.

[77] Guo, X.H., Zhu, B.L., Wu, H.N. Corrosion mechanism of hydrochloric acid on concrete," Concrete, 1991, 3(4), 8-10.

[78] Guo, X.H. Discussion on durability of concrete under acid medium, Concrete. 1992, 4(1), 35–38.

[79] Chandra, S. Hydrochloric acid attack on cement mortar — An analytical study. Cement and Concrete Research. 1988, 18(2), 193-203.

[80] Barbhujya S., Kumala, D. Behaviour of a Sustainable Concrete in Acidic Environment. 2017, DOİ.ORG/10.3390/SU9091556.

[81] Pavlík A., Unčík S. The rate of corrosion of hardened cement pastes and mortars with additive of silica fume in acids. Cement and Concrete Research. 1997, 27(11), 1731-1745.

[82] De Belie N., De Coster V., Nieuwenburg D.V. Use of fly as hor silica füme to increase the resistance of concrete to feed acids. Mag. Conc. Res. 1997, 49(181), 337-344.

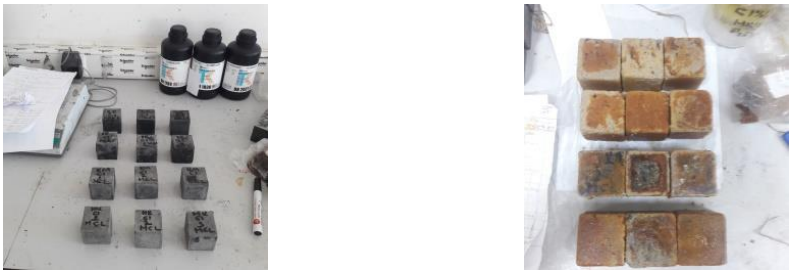
[83] Toydemir, N., Tanaçan ,L., Gürdal, E. Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 2000, 380 s.

[84] Gao, Q., Ma, Z., Xiao, J., Li, F. Effects of imposed damage on the capillary water absorption of recycled aggregate concrete. Advances in Materials Science and Engineering, 2018, DOİ.ORG/10.1155/2018/2890931.

EKLER

EK A. Asit ortamı ve öncesine ait grout numuneleri

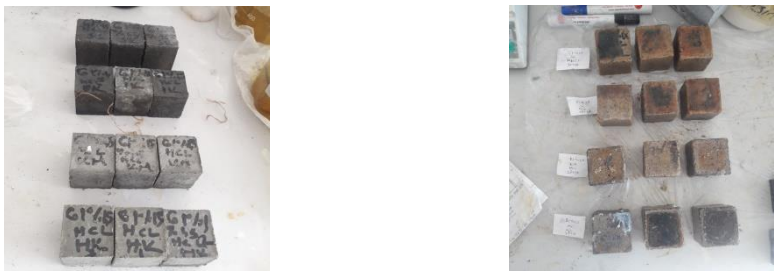
EK B. 50 ve 10 çdvrim donma-çözülme etkisine ait grout numuneleri



Şekil EK A1. HCI asit ortamı öncesi ve sonrası hazır G1 grout küp numuneleri



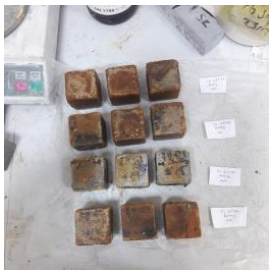
Şekil EK A2. HCI asit ortamı öncesi ve sonrası hazır G1 %1 grout küp numuneleri



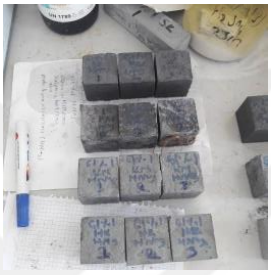
Şekil EK A3. HCI asit ortamı öncesi ve sonrası hszır G1 %1,5 grout küp numuneleri



Şekil EK A4. HCI asit ortamı öncesi ve sonrası hazır G1 %2 grout küp numuneleri

Şekil EK A5. HNO_3 asit ortamı öncesi ve sonrası hazır G1 grout küp numuneleri




Şekil EK A6. HNO_3 asit ortamı öncesi ve sonrası hazır G1 %1 grout küp numuneleri




Şekil EK A7. HNO_3 asit ortamı öncesi ve sonrası hazır G1 %1,5 grout küp numuneleri




Şekil EK A8. Şekil A6. HNO_3 asit ortamı öncesi ve sonrası hazır G1 %2grout küp numuneleri




Şekil EK A9. H_2SO_4 asit ortamı öncesi ve sonrası hazır G1 grout küp numuneleri




Şekil EK A10. H_2SO_4 asit ortamı öncesi ve sonrası hazır G1 %1 grout küp numuneleri




Şekil EK A11. H_2SO_4 asit ortamı öncesi ve sonrası hazır G1 %1,5 grout küp numuneleri




Şekil EK A12. H_2SO_4 asit ortamı öncesi ve sonrası hazır G1 %2 grout küp numuneleri




Şekil EK A13. HCI asit ortamı öncesi ve sonrası tasarlanmış G2 grout küp numuneleri




Şekil EK A14. HCI asit ortamı öncesi ve sonrası tasarlanmış G2 %1 grout küp numuneleri




Şekil EK A15. HCI asit ortamı öncesi ve sonrası tasarlanmış G2 %1,5 grout küp numuneleri




Şekil EK A16. HCI asit ortamı öncesi ve sonrası tasarlanmış G2 %2 grout küp numuneleri




Şekil EK A17. G1 HNO3 asit öncesi ve asit sonrası tasarlanmış G2 grout küp numuneleri




Şekil EK A18. HNO_3 asit ortamı öncesi ve sonrası tasarlanmış G2%1 grout küp numuneleri




Şekil EK A19. HNO_3 asit ortamı öncesi ve sonrası tasarlanmış G2 %1,5 grout küp numuneleri




Şekil EK A20. G1 %2 HNO3 asit öncesi ve asit sonrası tasarlanmış G2 %2 küp numuneler



Şekil EK A21. H_2SO_4 asit ortamı öncesi ve sonrası tasarlanmış G2 grout küp numuneleri



Şekil EK A22. H_2SO_4 asit ortamı öncesi ve sonrası tasarlanmış G2 %1 grout küp numuneleri



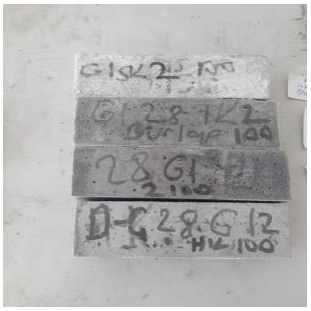
Şekil EK A23. H_2SO_4 asit ortamı öncesi ve sonrası tasarlanmış G1 %1,5 grout küp numuneleri



Şekil EK A24. H_2SO_4 asit ortamı öncesi ve sonrası tasarlanmış G2 %2 grout küp numuneleri



Şekil EK B.1. 50 Çevrim D-Ç etkisinde hazır G1 grout numuneleri



Şekil EK B.2. 100 Çevrim D-Ç etkisinde hazır G1 grout numuneleri



Şekil EK B.3. 50 Çevrim D-Ç etkisinde hazır G1 %1grout numuneleri



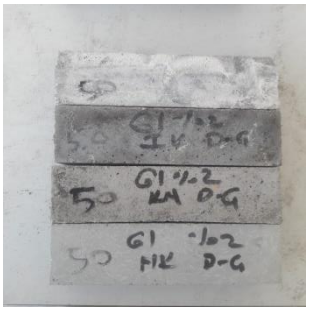
Şekil EK B.4. 100 Çevrim D-Ç etkisinde hazır G1 %1 grout numuneleri



Şekil EK B.5. 50 Çevrim D-Ç etkisinde hazır G1 %1,5 grout numuneleri



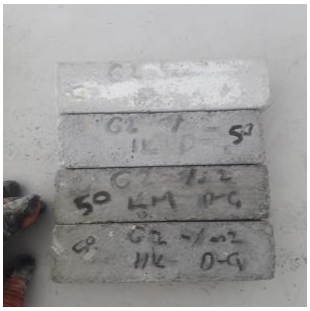
Şekil EK B.6. 100 Çevrim D-Ç etkisinde hazır G1 %1,5 grout numuneleri



Şekil EK B.7 50 Çevrim D-Ç etkisinde hazır G1 %2 grout numuneleri



Şekil EK B.8. 100 Çevrim D-Ç etkisinde hazır G1 %2 grout numuneleri



Şekil EK B.9. 50 Çevrim D-Ç etkisinde tasarlanmış G2 grout numuneleri



Şekil EK B.10. 100 Çevrim D-Ç etkisinde tasarlanmış G2 grout numuneleri



Şekil EK B.11. 50 Çevrim D-Ç etkisinde tasarlanmış G2 %1 grout numuneleri



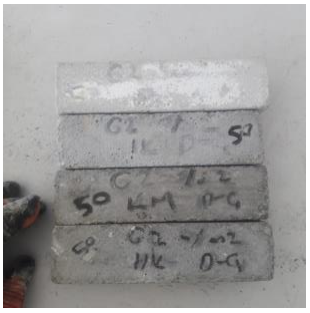
Şekil EK B.12. 100 Çevrim D-Ç etkisinde taaarlanmış G2 %1 grout numuneleri



Şekil EK B.13. 50 Çevrim D-Ç etkisinde tasarlanmış G2 %1,5 grout numuneleri



Şekil EK B.14. 100 Çevrim D-Ç etkisinde tasarlanmış G2 %1,5 grout numuneleri



Şekil EK B.15. 50 Çevrim D-Ç etkisinde tasarlanmış G2 %2 grout numuneleri



Şekil EK B.16. 100 Çevrim D-Ç etkisinde tasarlanmış G2%2 grout numuneleri

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Musa Can KARAKAŞ

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta :

Eğitim Durumu

Lise : Mehmet Akif Ersoy Lisesi, 2011

Lisans : Anadolu Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği (İngilizce), 2018

Mesleki Deneyim :Manisa Karayolları 23. Şube Şefliği Yüklenici Firma (Özdemireller Hafriyat Nak. Ve Tic. San. A.Ş)-Şantiye Şefi, 2021-Halen.