DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SENTETİK SELÜLOZ KÖKENLİ KATKILARIN ÇİMENTO ESASLI YAPIŞTIRMA HARCININ FİZİKSEL, MEKANİK VE REOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Ercan BOZKURT

Aralık, 2017
İZMİR

SENTETİK SELÜLOZ KÖKENLİ KATKILARIN ÇİMENTO ESASLI YAPIŞTIRMA HARCININ FİZİKSEL, MEKANİK VE REOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Malzemeleri Programı

Ercan BOZKURT

Aralık, 2017
İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ERCAN BOZKURT, tarafından **DOÇ. DR. BURAK FELEKOĞLU** yönetiminde hazırlanan **"SENTETİK SELÜLOZ KÖKENLİ KATKILARIN ÇİMENTO ESASLI YAPIŞTIRMA HARCININ FİZİKSEL, MEKANİK VE REOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ"** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Burak FELEKOĞLU

Yönetici

Prof. Dr. Selçuk TÜRKEL

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Ali Uğur ÖZTÜRK

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimine başlangıç sürecinden bu güne kadar hiç bir bedensel ve zihinsel emeğini esirgemeyen, gece ve gündüz ayrımı yapmadan değerli deneyimlerini paylaşmaktan çekinmeyen, pozitif bakış açısı ile bana çalışma azmi veren tez danışmanım Doç. Dr. Burak Felekoğlu'na,

Alçakgönüllülüğü ve güler yüzü ile tez sürecinde desteğini her daim hissettiğim Doç. Dr. Kamile Tosun Felekoğlu'na,

Tez süreci boyunca yaptığım çalışmalarımda kendi tezi gibi özenerek destekte bulunan ve hiç bir yardımı esirgemeyen Eren Gödek'e, yapı malzemesi laboratuarındaki çalışmalarımda yardımcı olan Muhammer Keskinateş'e ve Tarık Yıldırım'a,

En zor günlerimde beni hiç yalnız bırakmayan aileme,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ercan BOZKURT

SENTETİK SELÜLOZ KÖKENLİ KATKILARIN ÇİMENTO ESASLI YAPIŞTIRMA HARCININ FİZİKSEL, MEKANİK VE REOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZ

Selüloz kökenli polimerik katkılı yapıştırma harçları, yapılarda sıkça kullanılan malzemelerdir. Bu tür malzemeler, taze halde reolojik özellikler açısından geleneksel çimento esaslı harçlara kıyasla farklılık göstermektedir. Aynı zamanda söz konusu harçların yapıştırılacak malzeme ile aderansının yüksek olması ve belirli mekanik özelliklere sahip olması beklenir.

Bu tez kapsamında bir adet şahit harcın yanında hidroksi-etil selüloz (HES) ve iki farklı kimyasal yapıya sahip metil-hidroksi-etil selüloz (MHES) katkısı kullanılarak dokuz adet katkılı harç hazırlanmıştır. Katkı dozajı çimento ağırlığının %1,00'i, %0,50'si ve %0,25'i olmak üzere 3 farklı oranda kullanılmıştır. Çimento harçlarının öncelikle reolojik davranış açısından karakterizasyonu yapılmış daha sonra taze halde; priz başlangıç ve bitiş süreleri, su tutma kapasiteleri, birim hacim ağırlıkları, yayılma çapları belirlenmiştir. Sertleşmiş halde ise 7 ve 28 günlük eğilme, basınç deneyleri ile beraber 28 günlük aderans (çekme-koparma) deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak, farklı kimyasal kökenlere sahip selüloz türevlerinin çimento harcının reolojik ve mekanik özelliklerinde meydana getirdiği değişiklikler tespit edilmiş, bu katkıların kullanımı halinde elde edilecek avantajlar ve karşılaşılabilecek potansiyel sorunlar değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Selüloz, çimento, harç, viskozite düzenleyici katkı, aderans

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF SYNTHETIC CELLULOSE BASED ADMIXTURES ON THE PHYSICAL, MECHANICAL AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF CEMENT BASED ADHESIVE MORTAR

ABSTRACT

Cellulose based polymeric adhesive mortars are commonly used in constructions. These materials differ in fresh form compared to traditional cement based mortars in terms of rheological properties. At the same time, it is expected that these admixtures have high adherence with the material to be adhered and that they have certain mechanical properties.

In the scope of thesis, nine pieces of mortar were prepared by using hydroxy-ethyl cellulose (HES) and methyl-hydroxy-ethyl cellulose (MHES). The admixture dosage of 1.00%, 0.50% and 0.25% was used in 3 different ratios by the cement weight. Cement mortars are characterized primarily in terms of rheological behavior and then in fresh form; setting time, water retention capacities, unit volume weights and flow diameters were determined. In the hardened state, 28 days of adherence (pull-off) tests in combination with and 7 and 28 days flexural and compression tests were carried out. In conclusion, variations in the rheological and mechanical properties of cellulose derivatives with different chemical origins have been determined and the potential advantages and potential problems by using these admixture have been evaluated.

Keywords: Cellulose, cement, mortar, viscosity modifying admixture, adherence

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU ii
TEŞEKKÜR iii
ÖZ iv
ABSTRACT v
ŞEKİLLER LİSTESİ ix
TABLOLAR LİSTESİ xiii

BÖLÜM BİR - GİRİŞ 1

1.1 Polimerler 1
1.1.1 Selüloz Türevi Polimerler 2
1.2 Polimer Katkılı Yapıştırma Harçlarının Tarihsel Gelişimi 4
1.3 Polimer Katkılı Harçların Sınıflandırılması 6
1.3.1 Polimer Lateks Emülsiyonları 6
1.3.2 Yeniden Dağılabilir Polimer Tozları 8
1.3.3 Sıvı Polimerler 8
1.3.4 Suda Çözünebilir Polimerler 9
1.4 Polimer Katkılı Çimento Esaslı Harçlarının Tasarımı 9
1.4.1 Bileşenlerin Seçimi 11
1.4.1.1 Çimento 11
1.4.1.2 Polimer Katkı 11
1.4.1.3 Agrega 11
1.5 Polimer katkılı harçların fiziksel ve mekanik özellikleri 12
1.5.1 Polimer Katkılarda Hava Sürükleme ve İşlenebilirlik Etkisi 12
1.5.2 Polimer Katkılarda Priz Süresi Etkisi 14
1.5.3 Polimer Katkıların Su Tutma Kapasitesi ve Kıvam Özellikleri 17
1.5.4 Polimer Katkıların Reolojik Özellikleri 18
1.5.5 Polimer Katkılı Harçların Basınç ve Eğilme Dayanımı Üzerindeki Etkileri 22

1.5.6 Polimer Katkılı Harçların Çekme Koparma Dayanımı Üzerindeki Etkileri 25
1.6 Polimer Katkılı Harçların Dayanıklılık Özellikleri 26

BÖLÜM İKİ - DENEYSEL ÇALIŞMALAR 28

2.1 Üretimde Kullanılan Malzemeler 29
2.1.1 Çimento 29
2.1.2 Agrega 29
2.1.3 Su 30
2.1.4 Suda Çözünebilir Polimerler 30
2.2 Harçların Karışım Oranları ve Üretimi 32
2.3 Deney Yöntemleri 33
2.3.1 Taze Hal Deneyleri 33
2.3.1.1 Priz Başlangıç ve Bitiş Süresi Tayini 33
2.3.1.2 Çimento Harcının Ağırlıkça Su Kaybı Oranlarının Belirlenmesi 34
2.3.1.3 Yayılma Çapı ve Birim Hacim Ağırlığının Tespit Edilmesi 34
2.3.1.4 Reolojik Karakterizasyon için Yapılan Çalışmalar 35
2.3.2 Sertleşmiş Hal Deneyleri 39
2.3.2.1 Eğilme ve Basınç Deneyi 39
2.3.2.2 Çekme Koparma Testi 40

BÖLÜM ÜÇ - DENEYSEL ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ 43

3.1 Taze Hal Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi 43
3.1.1 Çimento harcı üzerinde yapılan priz deneyleri 43
3.1.2 Çimento Harçlarının Yayılma Çaplarının Değerlendirilmesi 48
3.1.3 Taze Birim Hacim Ağırlıklarının Tespit Edilmesi 53
3.1.4 Çimento Harcının Ağırlıkça Su Kaybı Oranlarının Değerlendirilmesi 54
3.1.5 Reolojik Karakterizasyon İçin Yapılan Çalışmalar 57
3.2 Sertleşmiş Hal Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi 63
3.2.1 Eğilme ve Basınç Dayanımlarının Değerlendirilmesi 63

3.2.1.1 Basınç Dayanımlarının Değerlendirilmesi 63
3.2.1.2 Eğilme Dayanımlarının Değerlendirilmesi 69
3.2.2 Çekme ve Koparma Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi 73
3.2.2.1 Çekme Koparma Dayanım Sonuçlarının Değerlendirilmesi 73
3.2.2.2 Harçların Aderans Özelliklerinin Değerlendirilmesi 77
3.2.3 Mekanik Özelliklerin Birbiriyle Olan İlişkilerinin Değerlendirilmesi 83
3.2.3.1 Korelasyon İlişkilerinin İncelenmesi 83
3.2.3.2 Standart Sapma ve Değişkenlik Katsayılarının Yorumlanması 85

BÖLÜM DÖRT - SONUÇLAR 89

4.1 Taze Hal Deney Sonuçları 89
4.2 Sertleşmiş Hal Deney Sonuçları 90
4.3 Öneriler ve Genel Değerlendirme 91

KAYNAKLAR 92

EKLER 96

EK 1: Farklı Dozajlarda Kullanılan Hidroksi Etil Selüloz (HES) Katkısının Çimento Harcı Reogramlarına Etkisi ve Herschel Bulkley Model Eğrileri 96

EK 2: Farklı Dozajlarda Kullanılan Düşük Viskoziteli Hidroksi Etil Metil Selüloz (MHES-D) Katkısının Çimento Harcı Reogramlarına Etkisi ve Herschel Bulkley Model Eğrileri 97

EK 3: Farklı Dozajlarda Kullanılan Yüksek Viskoziteli Hidroksi Etil Metil Selüloz (MHES-Y) Katkısının Çimento Harcı Reogramlarına Etkisi ve Herschel Bulkley Model Eğrileri 98

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Selüloz molekülünün kimyasal yapısı 3
Şekil 1.2 Polimerlerin sınıflandırılması 6
Şekil 1.3 Bağlayıcı fazda çimentonun hidratasyonu ve polimer film oluşumu 7
Şekil 1.4 Suda çözünebilir polimerlerin sınıflandırılması..... 9
Şekil 1.5 Uygulama alanlarına göre lateks modifiyeli harçların standart karışım ..... oranları..... 10
Şekil 1.6 PVA katkılı harcın hava içeriğinin belirlenmesi..... 12
Şekil 1.7 Selüloz eteri katkısının farklı dozajlarındaki porosite değişimi 13
Şekil 1.8 Polimerlerin taramalı elektron mikroskobu fotoğrafları 14
Şekil 1.9 PVA katkılı harcın hava içeriğinin belirlenmesi..... 15
Şekil 1.10 Farklı selüloz eterlerinin farklı dozajlarda portlandit oluşturma süresi 16
Şekil 1.11 Selüloz eteri varlığında C-S-H tabakasının gösterimi 17
Şekil 1.12 Polimer katkısının (hidroksi etil-metil selüloz) moleküler ağırlık..... değişiminin kıvam ve su tutma özellikleri üzerindeki etkisi 18
Şekil 1.13 Bingham Modeli 20
Şekil 1.14 Hidroksi etil-metil selüloz katkılı harçların Heschel-Bulkley ..... modellemeleri 21
Şekil 1.15 Polimerlerin moleküler geometrik yapılarının Heschel-Bulkley modeli ile. incelenmesi 22
Şekil 1.16 Suda çözünebilir toz polimerlerin sabit S/Ç oranında (0.50) (H20-P2,..... MH6000 ve MH10001) eğilme ve basınç dayanımına etkileri 23
Şekil 1.17 Yüzdesel artan lateks oranına bağlı basınç ve eğilme dayanım değişimi. 24
Şekil 2.1 Deneysel çalışma şablonu 29
Şekil 2.2 Agrega gradasyon eğrisi 30
Şekil 2.3 Hidroksietil selüloz ve metil hidroksietil kökenli toz polimerlerin taramalı .. elektron mikroskobu fotoğrafları..... 32
Şekil 2.4 Vicat deneyi aparatı 33
Şekil 2.5 Yayılma çapı deneyi 34
Şekil 2.6 Birim hacim ağırlık ölçümü..... 35
Şekil 2.7 Bilyeli reometre sistemi 36

Şekil 2.8 Deneyler sırasında kullanılan makro 37
Şekil 2.9 Akma eğrisinden reolojik parametrelerin okunması..... 38
Şekil 2.10 Eğilme testinin uygulanışı 39
Şekil 2.11 Basınç testinin uygulanışı 39
Şekil 2.12 Çekme koparma deneyi hazırlanış aşaması ve alüminyum piyonların..... yapıştırılması 40
Şekil 2.13 Çekme koparma deneyinde kesit görünümü..... 40
Şekil 2.14 Defelsko Positest çekme-koparma cihazı 41
Şekil 2.15 Engebeli yüzeylerde homojen yük dağılımı sağlayan bilyeli sistem..... 41
Şekil 2.16 Çekme deneyinde kopması olası kesitler..... 42
Şekil 3.1 Suda çözünebilir polimerlerin priz başlangıç ve bitiş süresi üzerindeki etkisi 44
Şekil 3.2 HES katkısının şahit harca kıyasla priz süresi değişimi 44
Şekil 3.3 HES katkısının iğne batış yüksekliğinin zamana bağlı değişimi..... 45
Şekil 3.4 MHES-D katkısının şahit harca kıyasla priz süresi değişimi..... 45
Şekil 3.5 MHES-D katkısının iğne batış yüksekliğinin zamana bağlı değişimi 46
Şekil 3.6 MHES-Y katkısının şahit harca kıyasla priz süresi değişimi..... 47
Şekil 3.7 MHES-Y katkısının iğne batış yüksekliğinin zamana bağlı değişimi 47
Şekil 3.8 Selüloz türevi katkıların yayılma çapı üzerindeki etkileri 49
Şekil 3.9 HES katkısının şahit harca kıyasla yayılma çapı değişimi 49
Şekil 3.10 HES katkısının (%1,00 dozajlı) şahit harca kıyasla yayılma çapı değişimi 50
Şekil 3.11 MHES-D katkısının şahit harca kıyasla yayılma çapı değişimi..... 50
Şekil 3.12 MHES-D katkısının farklı dozajlarda yayılma çapı değişim..... 51
Şekil 3.13 MHES-Y katkısının şahit harca kıyasla yayılma çapı değişimi..... 51
Şekil 3.14 MHES-Y katkısının farklı dozajlarda yayılma çapı değişimi..... 52
Şekil 3.15 Selüloz türevi katkıların taze birim hacim ağırlık üzerindeki etkileri 53
Şekil 3.16 Selüloz türevi katkıların şahit harca kıyasla birim hacim ağırlık ..... değişimleri 54
Şekil 3.17 Selüloz türevi katkıların şahit harca kıyasla su kaybı miktarı değişimleri 55
Şekil 3.18 HES katkısının şahit harca kıyasla su kaybı miktarı değişimleri..... 56

Şekil 3.19 MHES katkısının şahit harca kıyasla su kaybı miktarı değişimleri 56
Şekil 3.20 MHES-Y katkısının şahit harca kıyasla su kaybı miktarı değişimleri 57
Şekil 3.21 Reometre deneylerinden elde edilen eşik kayma gerilmesi ve viskozite..... değerleri 58
Şekil 3.22 HES katkısının şahit harca kıyasla reometre deneylerinden elde edilen eşik kayma gerilmesi ve viskozite değerleri 59
Şekil 3.23 MHES-D katkısının şahit harca kıyasla reometre deneylerinden elde ..... edilen eşik kayma gerilmesi ve viskozite değerleri 60
Şekil 3.24 Karışımların göreceli eşik kayma gerilmesi değişimi ve MHES-Y..... katkısının viskozite değerleri 61
Şekil 3.25 Harçların göreceli nihai viskozite değişimi 63
Şekil 3.26 Selüloz türevi katkılı harçların 28 günlük basınç dayanım değişimleri.... 64
Şekil 3.27 HES katkılı harçların 7 günlük göreceli basınç dayanım değişimleri..... 65
Şekil 3.28 HES katkılı harçların 28 günlük göreceli basınç dayanım değişimleri..... 66
Şekil 3.29 MHES-D katkılı harçların 7 günlük göreceli basınç dayanım değişimleri... 67
Şekil 3.30 MHES-D katkılı harçların 28 günlük göreceli basınç dayanım değişimleri. 67
Şekil 3.31 MHES-Y katkılı harçların 7 günlük göreceli basınç dayanım değişimleri... 68
Şekil 3.32 MHES-Y katkılı harçların 28 günlük göreceli basınç dayanım değişimleri. 69
Şekil 3.33 Selüloz türevi katkılı harçların 7 ve 28 günlük eğilme dayanım değişimleri 70
Şekil 3.34 Selüloz türevi katkılı harçların 7 günlük göreceli eğilme dayanım ..... değişimleri 71
Şekil 3.35 Selüloz türevi katkılı harçların 28 günlük göreceli eğilme dayanım ..... değişimleri 72
Şekil 3.36 Selüloz türevi katkılı harçların 28 günlük göreceli çekme koparma ..... değişimleri 74
Şekil 3.37 HES katkılı harçların göreceli çekme koparma dayanım değişimleri 75

Şekil 3.38 MHES-D katkılı harçların göreceli çekme koparma dayanım değişimleri... 76
Şekil 3.39 MHES-Y katkılı harçların göreceli çekme koparma dayanım değişimleri... 77
Şekil 3.40 Şahit harcın çekme-koparma deneyi sonrası görüntüsü..... 78
Şekil 3.41 HES (%1,00) katkılı harcın çekme-koparma deneyi sonrası görüntüsü ... 78
Şekil 3.42 HES katkılı harçların çekme-koparma deneyi sonrası görüntüleri 79
Şekil 3.43 MHES-D (%1,00) katkılı harcın çekme-koparma deneyi sonrası görüntüsü 80
Şekil 3.44 MHES-D katkılı harçların çekme-koparma deneyi sonrası görüntüleri ... 80
Şekil 3.45 MHES-Y katkılı harçların çekme-koparma deneyi sonrası görüntüleri ... 81
Şekil 3.46 MHES-Y (%0,25) katkılı harcın çekme-koparma deneyi sonrası görüntüsü 81
Şekil 3.47 MHES-Y (%0,50) katkılı harcın çekme-koparma deneyi sonrası görüntüsü 82
Şekil 3.48 MHES-Y (%1,00) katkılı harcın çekme-koparma deneyi sonrası görüntüsü 82
Şekil 3.49 Eğilme ve basınç dayanımları arasındaki ilişki (28 günlük)..... 84
Şekil 3.50 Basınç ve çekme-koparma dayanımları arasındaki ilişki (28 günlük)..... 84
Şekil 3.51 Eğilme ve çekme-koparma dayanımları arasındaki ilişki (28 günlük) 85

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1 Polimerlerin kaynaklarına göre sınıflandırılması 2
Tablo 1.2 Değişken gruba bağlı selüloz türevi isimleri 3
Tablo 2.1 Numune kodlama sistematiği 28
Tablo 2.2 CEM I 42,5 R çimentosunun kimyasal ve fiziksel özellikleri, basınç dayanımları 29
Tablo 2.3 Kullanılan katkıların fiziksel ve kimyasal özellikleri 31
Tablo 3.1 Reometre analizi sonucunda elde edilen değerler 58
Tablo 3.2 Selüloz türevi katkılı harçların 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerleri. 64
Tablo 3.3 Selüloz türevi katkılı harçların 7/28 günlük yüzdesel basınç dayanım oranları 65
Tablo 3.4 Selüloz türevi katkılı harçların 7 ve 28 günlük eğilme dayanım değerleri 69
Tablo 3.5 Selüloz türevi katkılı harçların 7/28 günlük yüzdesel eğilme dayanım oranları 70
Tablo 3.6 Selüloz türevi katkılı harçların 7 ve 28 günlük çekme koparma dayanım değerleri 73
Tablo 3.7 Selüloz türevi katkılı harçların 7 ve 28 günlük eğilme dayanımlarının standart sapma ve değişkenlik katsayı değerleri 86
Tablo 3.8 Selüloz türevi katkılı harçların 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının standart sapma ve değişkenlik katsayı değerleri 87
Tablo 3.9 Selüloz türevi katkılı harçların 7 ve 28 günlük çekme-koparma dayanımlarının standart sapma ve değişkenlik katsayı değerleri 88

BÖLÜM BİR
GİRİŞ

Çimento esaslı yapıştırma harçları; mantolama uygulamalarında, ısı yalıtım levhalarının montajında, seramik ve iç-dış cephe düşey kaplama malzemesi uygulamalarında gün geçtikçe artan oranda kullanım alanı bulmaktadır. Bu tür harçlarda hem taze halde yapışkanlık hem de sertleşmiş halde aderans özelliklerinin elde edilmesi için selüloz kökenli kimyasal katkılardan yararlanılmaktadır. Avrupa'da 100'den fazla çeşit çimento harcı torba üründe çoğunlukla selüloz türevleri kullanılmaktadır (Patural, Govin, Grosseau, Ruot ve Deves, 2011). Söz konusu uygulamada, kullanılacak polimer katkılı yapıştırma harçları ile uygulama yüzeyi arasında; aderans ve boyutsal uyumluluk önemlidir (Özkul ve Taşdemir, 2003). Hedeflenen uyumluluğun sağlanması açısından polimer katkılı yapıştırma harçları, yalın harçlara göre oldukça avantajlı olabilir. Ayrıca verimli ve ekonomik şekilde yapıştırma harcının işlev görebilmesi, tasarım aşamasında mekanik ve reolojik özelliklerin optimizasyonu ile uygun olabilir.

Çimento esaslı yapıştırma harçlarının tasarımında polimer katkı takviyesi ile karışımın taze ve sertleşmiş hal özellikleri iyileştirilebilir. Örneğin; polimer katkı ilavesi ile karışıma taze halde; kıvam iyileşmesi, hava sürüklemesinde azalma, su tutma kapasitesinde artma gibi özellikler kazandırabilir (Barluenga ve Oliveras, 2004). Sertleşmiş halde ise sıradan bir harç yerine, polimer katkılı harçların kullanımı ile eğilme dayanımında oldukça önemli bir artış sağlanabilir (Ohama, 1997).

1.1 Polimerler

Polimerler, çok sayıda aynı ya da farklı atomların kimyasal bağlarla bağlanması sonucu oluşan uzun yüksek molekül ağırlıklı ve uzun zincirli bileşiklerdir (Pişkin, 1987). Polimerin kelime analizi yapıldığı zaman "poly" ve "mer" köklerinden türediği görülmekte yani çoklu parçacık anlamı çıkmaktadır (Pişkin, 1987). Suda ayrışmaya karşı oldukça dayanıklı malzemeler olarak bilinen polimerler pamuk,

selüloz benzeri doğal kaynaklı polimerler olabildiği gibi; fiber, plastik ve birçok yapay malzeme gibi sentetik kaynaklı da olabilir. Doğal ve yapay polimerler arasındaki belirleyici etken ise doğal polimerlerin yapay polimerlerden farklı olarak aynı boyda zincir yapısına sahip oluşudur. Yapay polimerlerin zincir yapısındaki safsızlıklar, doğal polimere göre mekanik olarak üstünlük sağlamasına neden olmuştur. Polimerlerin kaynaklarına göre sınıflandırılmasında doğal, yapay ve yarı sentetik sınıflandırma yapılabilir (Tablo 1.1) (Pişkin, 1987).

Tablo 1.1 Polimerlerin kaynaklarına göre sınıflandırılması (Pişkin, 1987)

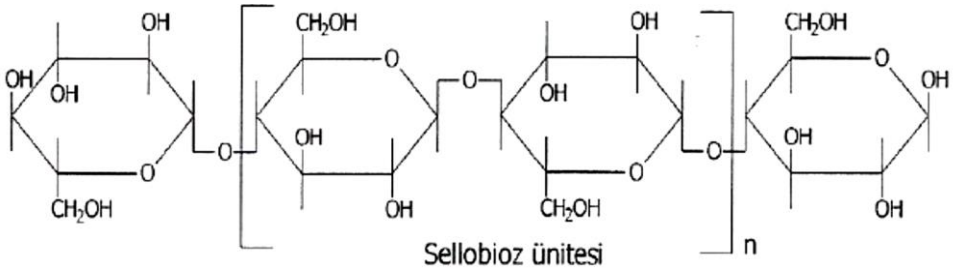
POLİMERLER		
Doğal Polimerler	Yapay Polimerler	Yarı Sentetik Polimerler
Nişasta, Selüloz ve Türevleri, Doğal kauçuk vb.	Polietilen Polipropilen Polistiren Naylon vb.	Rejenere Selüloz ve Türevleri Modifiye Nişasta

Polimerleri moleküler yapılarına göre incelediğimizde zincirlerdeki birimlerine, ana zincirlerindeki kimyasal birleşimlerine, ya da zincirlerdeki dallanma yapısına göre sınıflandırmak mümkündür. Söz konusu polimerlerin moleküler zincirlerindeki monomerler kimyasal işlem sonucu birleşerek uzun zincirler oluştururlar bu işleme de polimerizasyon denir (Beşergil, 2003). Polimerizasyon reaksiyonları sırasında mevcut zincire katılma veya serbest radikal zincirin değişimi ile polimerizasyonlar söz konusu olabilir.

1.1.1 Selüloz Türevi Polimerler

Selüloz molekülleri, ($C_6H_{10}O_5$) formülüne sahip olup anhidroglukoz birimlerinin uç uca eklenmesi ile oluşmuştur ve birbirlerine glukozidik bağlarla bağlıdır. Selüloz moleküllerinin her iki birimden birisi ötekine göre 180^0 dönüş açısı ile bağlanmış ve bunun sonucunda gerilimsiz doğrusal bir yapı ortaya çıkmaktadır (Çetin, 2016) (Şekil 1.1). Selüloz molekülünün polimerizasyon derecesi (DP) ise bu birimlerin sayısına bağlıdır.

Selüloz, lineer polimerik bir yapıya sahip olup her monomer üzerinde üç adet hidroksil grubu bulunmaktadır. Bu hidroksil (OH) grupları başka bir selüloz zincirine bağlanma özelliğine sahiptir. Selüloz molekülünün hidrofil olmasının sebebi de olan bu bağlar hidrojen bağları olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 1.1 Selüloz molekülünün kimyasal yapısı (Çetin, 2016)

Selüloz türevleri, selüloz molekülünün kimyasal değişime uğraması sonucu oluşan ürünlerdir. Selülozun türevlerine dönüşümü sürecinde hidroksil grupları reaksiyona girer. Hidroksil grubunun eterleşme sürecinde değişken radikal grup hidroksil gruba dahil olur ve selüloz eterinin spesifik ismini oluşturmuş olur (Tablo 1.2).

Tablo 1.2 Değişken gruba bağlı selüloz türevi isimleri

Selüloz eteri	**R (Radikal grup)**
Metilselüloz	H, CH_3
Etilselüloz	H, CH_2CH_3
Hidroksietilmetilselüloz	H, CH_3, $[CH_2CH_2O]_nH$
Hidroksipropilselüloz	H, $[CH_2CH(CH_3)O]_nH$
Karboksimetilselüloz	H, CH_2COONa

Hidroksil grubun kimyasal değişime uğraması sonucu oluşan selüloz ve türevleri aslında termoplastik polimerlerdir. Termoplastikler, normal sıcaklıklarda katı olarak bulunan, ısıtıldığında ise yumuşama davranışı gösterip eriyen ve soğutulduğunda ise tekrar katı hale geçerek ilk özelliklerini koruyan plastik maddelerdir (Kaya, 2004).

Termoplastikler yapıştırıcı olarak; katı halde solüsyon veya dispersiyon olarak da kullanılırlar. Solüsyon ya da dispersiyon haldeki yapıştırıcılar sıvı fazın sistemden

ayrılması sonucu, termoplastik madde yapıştırıcı film olarak kalarak yüzeyleri yapıştırır. Katı olan termoplastikler ise eritilip sıvı hale getirilerek soğumaya bırakılır ve bu sayede yapışma işlemi sağlanır. Bu yolla polivinil asetat, polietilen, polivinil alkol ve sentetik selüloz türevleri gibi birçok termoplastik madde yapıştırıcı olarak kullanılmaktadır (Çetin, 2016).

Yapıştırıcıların amacı iki farklı veya aynı maddeyi birleştirmektir. Yapışma olayının işlevsellik göstermesi için birbirine yapışacak iki maddenin de molekülleriyle birleşme eğilimi göstermesi gereklidir. Literatürde teorik olarak yapıştırıcı kullanmadan da cisimleri yapıştırmanın mümkün olduğunu ancak farklı madde atomlarının birleşebilmesi için cisim yüzeyleri arası boşluğun milimetrenin on milyonda birini geçmemesi gerektiğinden bahsetmiştir (Çetin, 2016). Dolayısıyla cisimleri birbirine yapıştırmak için bu boşluğun bir şekilde doldurulması gereklidir. Aslında yapışma mekanizmasının özünde bir taraftan bu boşluğun doldurulması amaçlanırken bir diğer yandan da iki cismin atomlarının ayrı bağlar kurarak yapışma işlemini kuvvetlendirmek amaçlanmıştır.

Yapıştırıcıların yapışkan niteliğinin bu ana prensip dışında, yüzey gözenekliliği, yapıştırıcının molekül ağırlığı ve moleküler yapısı, yapışmanın uygulanma kalitesi de önemli olmaktadır.

1.2 Polimer Katkılı Yapıştırma Harçlarının Tarihsel Gelişimi

Yapıştırıcılar doğal ve sentetik yapıştırıcılar olmak üzere iki grupta sınıflandırılabilir. Doğal yapıştırıcılar sanayi devriminin gerçekleşme sürecine kadar kullanılan tek yapıştırıcı türüdür (Çetin, 2016). Hatta Olgun Neolitik Çağ döneminde, kırılan seramikler doğal reçine ve sakızlar ile yapıştırılmıştır. Ayrıca mumyalama işlemi sırasında ağaç reçineleri kullanıldığından da bahsedilmektedir. 1930'lu yıllarda sentetik yapıştırıcı türleri kimya endüstrisinin gelişimi ile mümkün hale gelmiş; epoksi, akrilonitril gibi sentetik yapıştırıcı türleri ilk olarak ikinci dünya savaşı sırasında askeri amaçlı olarak üretilmiştir (Çetin, 2016).

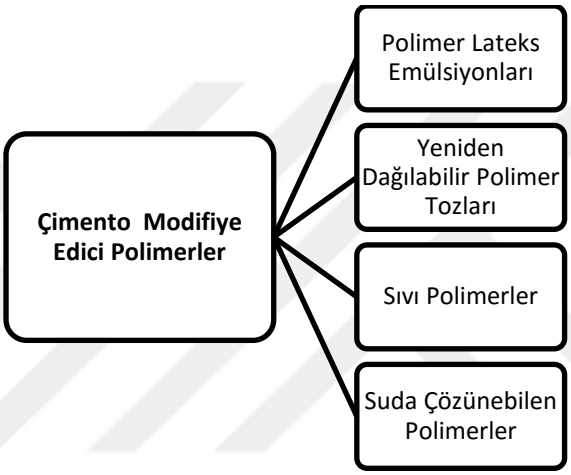
Günümüzde de sentetik yapıştırıcılar birçok alanda olduğu gibi yapı alanında da oldukça yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Beton, çimento harcı ve hamuru en çok kullanılan yapı malzemesi olsa da 170 yıldan fazla süren bir gelişim sürecine sahiptir. Beton, yüksek basınç dayanımına ve uzun süreli dayanıklılık ömrüne sahip olmasına rağmen düşük çekme gerilmesi, kimyasal dayanıksızlık gibi birçok dezavantaja da sahiptir. Bu olumsuzlukları azaltmak için polimer takviyesi ile birçok araştırma yapılmıştır.

Tarihsel gelişimi göz önünde bulundurursak polimer katkılı çimento sisteminin hiç de yeni bir sistem olmadığını görebiliriz. Örneğin, 1923 yılında polimer katkılı bir sistemin ilk patentini Cresson almıştır (Ohama, 1998). Bu patent, doğal kauçuk lateksleri ile kaplama malzemelerine atıfta bulunmaktadır ve patentte, çimento dolgu maddesi olarak kullanılmıştır. Mevcut polimer lateksi modifiye sistemleri konusundaki ilk patenti ise Lefebure tarafından 1924 yılında yayınlanmıştır (Ohama, 1995). Bu patent, karışım orantılı bir yöntemle doğal kauçuk lateksi kullanan bir lateks modifiyeli harç ve beton üretmeyi amaçlayan aynı zamanda da tarihe ışık tutan önemli bir başlangıç noktasıdır.

İlerleyen süreçlerde, 1940 yılında polimer modifiyeli sentetik lateks ve poliakrilik ester lateksleri, 1960 yılında stiren bütadien kauçuk ve poliakrilik ester modifiyeli çimento ve beton tipleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Aynı yılın başlarından itibaren oldukça yaygın olarak kullanılmaya başlayan ve suda çözünebilen polimer tiplerinden en popüleri olan metil selüloz ise çimento modifiyesi amaçlı kullanılmaya başlanmıştır. Polimer içeriği çimentonun ağırlıkça en fazla %1'i oranında kullanılan hidroksietil selüloz, polivinil alkol gibi selüloz türevleri de bu yıllardan itibaren polimer modifiyeli çimento harcı olarak kullanılmıştır (Ohama, 1995). 1970 ve 1980 yıllarından itibaren gelişiminde ivme kazanan polimer modifiyeli çimento harçları, günümüzde de birçok alanda olduğu gibi özellikle yapı sektöründe de oldukça fazla kullanılan baskın bir malzeme haline gelmiştir.

1.3 Polimer Katkılı Harçların Sınıflandırılması

Çimento katkılı harçların modifiye edilmesinde kullanılan bu polimer katkılar Şekil 1.2'de de gösterildiği gibi; yeniden dağılabilir polimer tozları, suda çözünebilen polimerler, sıvı polimerler, polimer lateks emülsiyonları olmak üzere 4 ana grup altında toplanabilir (Ohama, 1997) (Şekil 1.2). Bunlardan suda çözünebilir polimerler, gerek taşınabilirliği gerekse paketlenebilirliği açısından oldukça pratik bir sınıftadır.

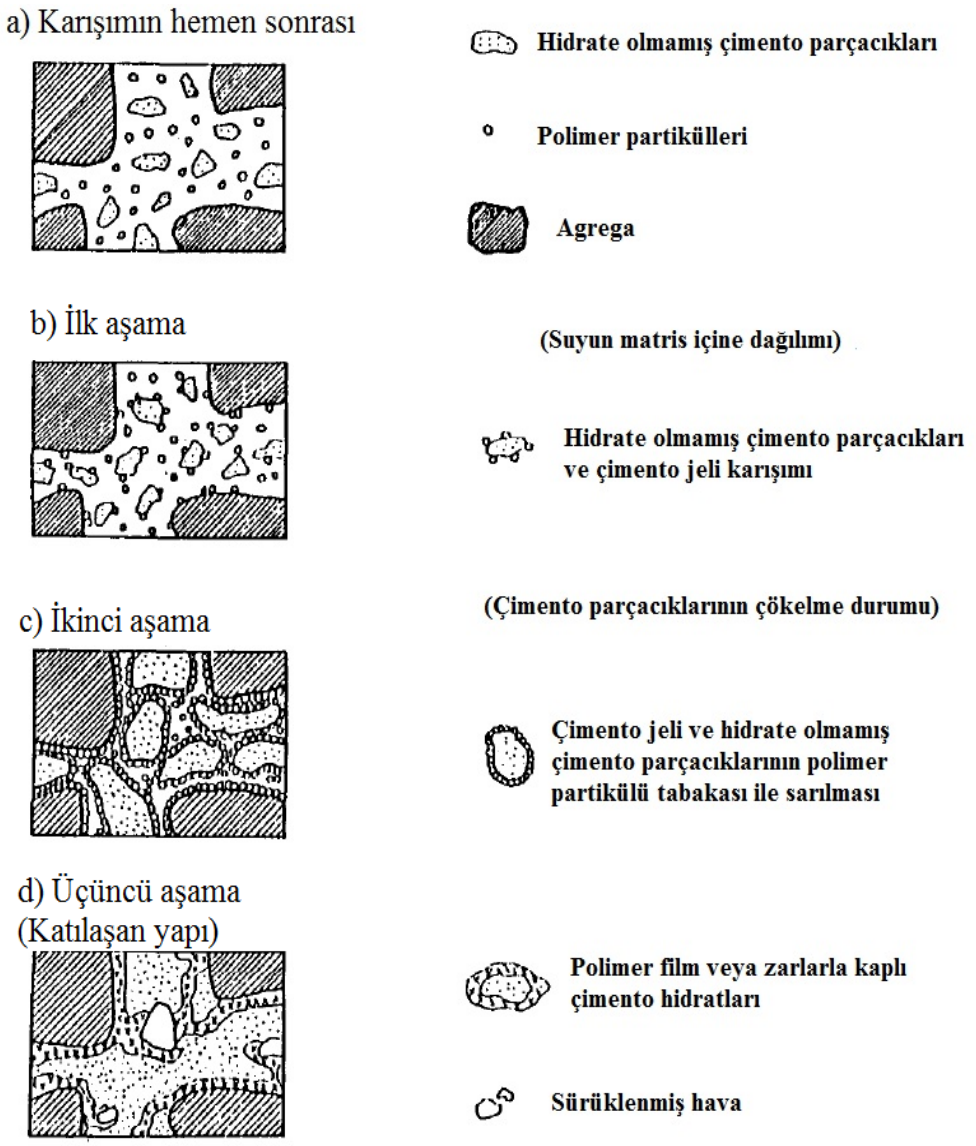


Şekil 1.2 Polimerlerin sınıflandırılması

1.3.1 Polimer Lateks Emülsiyonları

Polimer lateks emülsiyonları, katı haldeki polimer parçacıkların su içindeki emülsiyonudur. Bu polimer katkı, kullanım amacına bağlı olarak uygulanan malzemenin betona aderansını artırarak yapışmayı sağlamak ve bağ kuvvetini artırmanın yanı sıra mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla kullanılır (Özturan, 2003). Lateks polimerlerinin tane çapı 0,05-5 mikron arasında değişir ve katı madde oranı %40-50 mertebelerindedir. Genellikle iki veya daha fazla sayıda monomer ile kopolimer ve terpolimer şeklinde üretilirler (Ohama, 1998). Poliakrilik esterler, polivinil asetat, vinil asetat kopolimeri, stiren bütadiyen kopolimeri bu amaca uygun olarak yaygın olarak kullanılan lateks türlerinin başında gelir. Bu polimer sınıfında da diğer sınıflardaki türlere benzer olarak hava sürükleme gibi yan

etkiler görülebilir. Bu durumun çözümüne yönelik köpük kesici katkı kullanmak söz konusu yan etkilerin azaltılmasında tercih edilmektedir (Kim ve Robertson, 1997). Bir diğer yandan lateks katkılı polimer emülsiyonları, su azaltıcı etkisi sayesinde çimento esaslı malzemelerin mekanik dayanımının geliştirilmesinde önemli rol oynamaktadır (Baradan, Felekoğlu ve Tosun Felekoğlu, 2012). Bu mekanik dayanım gelişimi, polimer film tabakası oluşumu ile 3 aşamalı süreç halinde ortaya çıkmaktadır (Ohama, 1998) (Şekil 1.3).



Şekil 1.3 Bağlayıcı fazda çimentonun hidratasyonu ve polimer film oluşumu (Ohama, 1998)

Çimento hidratasyonu işlemi genellikle polimer filmi oluşum sürecinden önce polimer latekslerinin polimer parçacıklarının kaynaşmasıyla başlar çimento jeli ve hidrate olmamış çimento parçacıklarının polimer partikülü tabakası ile sarılmasıyla devam eder. Tüm bu süreçler sonunda oluşmuş polimer filmleri karışım harcının mekanik dayanımının gelişmesine yardımcı olur.

1.3.2 Yeniden Dağılabilir Polimer Tozları

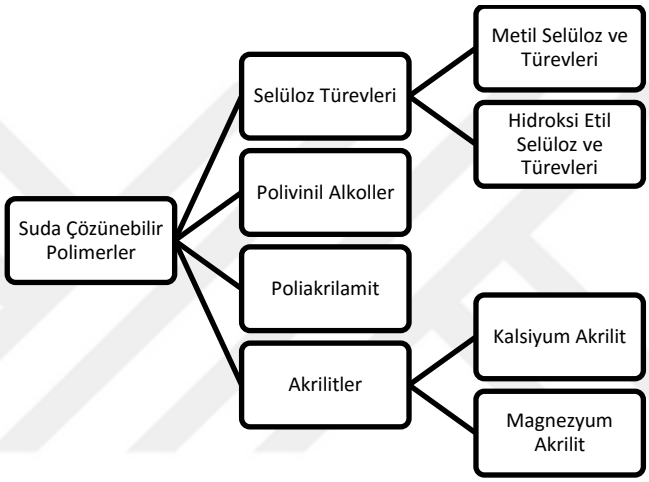
Yeniden dağılabilir polimer tozlarının kimyasal yapısı polimer lateks emilsiyonları ile aynıdır. Polimer tozunun saklanması sırasında olası topaklaşma etkisinin azaltılması amacıyla iki aşamada üretim yöntemi uygulanır. İlk aşamada emülsiyon polimerizasyonu yöntemiyle ve özel püskürtme tekniği ile lateks kurutulur. İkinci aşamada ise kurutulan toz; kil, slika gibi anti bloke organik tozlarla karıştırılır (Baradan ve diğer., 2012). Bu polimer tozlarının boyutları 1-10 mikron tanecik aralığındadır. Üretilen polimerler çimento, su ve kum ile karıştırılınca tekrardan suda dağılacağından "yeniden dağılabilir polimer tozları" olarak adlandırılmışlardır. Etilen-vinil asetat, stiren-akrilik esterleri, poliakrilik esterler çimento esaslı malzemelerin üretiminde en çok sık kullanılan polimer tipleridir. Bu katkıların kullanımı ile diğer polimer modifiyeli katkılarınkine benzer olarak karışım matrisinde film oluşumu ve karışıma yapışkanlık özelliği katma gibi özelliklerin yanı sıra birçok mekanik özellikler de geliştirilebilir (Ohama, 1997).

1.3.3 Sıvı Polimerler

Sıvı polimerler, diğer sınıftaki polimer türleri gibi karışımın özelliklerini geliştirmek amaçlı kullanılsa da ekonomik açıdan polimer lateks veya suda çözünebilir katkılara kıyasla yaygın bir kullanım alanına sahip değildirler. Epoksi reçineleri ve doymamış polyester reçineleri, tepkime hızının artmasına yol açan bir katalizör aracılığıyla karıştırılarak hazırlanır ve taze haldeki çimento harcına eklenir.

1.3.4 Suda Çözünebilir Polimerler

Suda çözünebilir polimerlerin sınıflandırılmasında moleküler yapısı, organik ya da inorganik oluşu, molekül ağırlığı gibi parametreler etkili olmuştur. Suda çözünebilir reçineler olarak da bilinen bu polimerleri doğal, sentetik ve yarı sentetik olmak üzere üç ana gruba ayırmak mümkündür. Aynı zamanda suda çözünebilir polimerler; selüloz türevleri, polivinil alkoller, poliakrilamitler, akrilitler olarak da sınıflandırılabilir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4 Suda çözünebilir polimerlerin sınıflandırılması

1.4 Polimer Katkılı Çimento Esaslı Harçlarının Tasarımı

Polimer katkılı çimento esaslı harçların tasarımları; genellikle işlenebilirlik, mukavemet, esneklik, yapışkanlık, su geçirmezlik (veya sızdırmazlık) ve kimyasal direnç vb. parametrelerin gerekliliklerine bağlı olarak sıradan çimento harcı ve beton ile benzer şekilde yürütülür. Bu parametreler göz önünde bulundurularak, harçların söz konusu kullanım alanına ve ihtiyaca göre verimli şekilde tasarlanması; harç matrisini oluşturan kum, çimento, su gibi bileşenlerin doğru oranda kullanımı ile mümkündür.

Örneğin, lateks modifiye harç ve beton karışımı tasarımı, geleneksel harç ve beton üzerinde çekme ve eğilme mukavemetleri, düktilite, yapışma ve dayanıklılık gibi

parametrelere bağlı olarak tasarlanmalıdır. Bu parametrelerin geliştirilmesi ise polimer/çimento oranlarının değişimi ile mümkün olabilir (Ohama, 1995). Çeşitli uygulamalar için latex modifiye harçlara yönelik standart karışım oranları Şekil 1.5'de gösterilmektedir.

Suda çözünebilir polimerlerin çimento ile modifikasyonu, daha çok yapıştırma harcı olarak kullanımında yaygın olarak karşımıza çıkmaktadır. Söz konusu yapışkanlık sonucu işlenebilirliğin istenen verimde olması için, suda çözünebilir polimer oranının çimento ağırlığının %1 veya daha az oranlarda kullanılması uygun olacaktır (Ohama, 1995)

Uygulama Alanlarına Göre Latex Modifiyeli Harçların Standart Karışım Oranları

Uygulama Alanı	İmalat Alanları		Standart Karışım Oranları (Ağırlıkları Oranında) Çimento	Kum	Lateks	Perdah veya Kaplama Yüzeyi İnceliği
Kaplama Malzemeleri	Ofisler, pasajlar, dükkanlar, ıslak zemin yüzeyleri vb.		1	3	0.2-0.3	5-10
Döşemeler	Merdivenler, kimya tesisleri, demiryolu platformu, yollar, garajlar vb.		1	3	0.3-0.5	10-15
Su yalıtım malzemeleri	Beton çatı güverteleri, harç ve beton blok duvarlar, su deposu, yüzme havuzları vb.		1	2-3	0.3-0.5	5-20
Yapıştırıcılar	Döşeme malzemeleri, duvar malzemeleri, ısı yalıtım vb. malzemelerin beton zeminlere ve duvarlara yapıştırılması uygulamalarında		1	0-3	0.2-0.5	-
	Yeni betonun eski beton ve yeni harçla birleştirilmesi işlemlerinde		1	0-1	0.2' den büyük	-
	Çatlakların onarımında		1	0-3	0.2' den büyük	-
Pas önleyici kaplamalar	Atık su kanalları, kimyasal fabrika zeminleri, aside dayanıklı fayanslar için enjeksiyon uygulamalarında, foseptik tankları, makine fabrikalarının temelleri, kimyasal laboratuarlar için zeminler vb.		1	2-3	0.4-0.6	10-15
Güverte kaplamaları	İç ve dış gemi güvertesi, köprü güvertesi, tren veya oto döşemeleri, köprü ayak güverteleri vb.	Astar yüzeyi	1	2-3	0.9-1.0	1-2
		Orta katman	1	3	0.4-0.6	5-6
		Üst katman	1	3	0.5-0.6	3-4

Şekil 1.5 Uygulama alanlarına göre lateks modifiyeli harçların standart karışım oranları (Ohama, 1995)

1.4.1 Bileşenlerin Seçimi

Polimer katkılı çimento esaslı harçların tasarımında; çimento, agrega, kum ve polimer katkı, karışım matrisini oluşturan ana bileşenlerdir. Söz konusu bileşenler, çeşitli oranlarda kullanılarak harç tasarımında değişkenlik gösterebilir.

1.4.1.1 Çimento

Polimer katkılı çimento esaslı harçların tasarımında, sıradan Portland çimentosu, polimer katkılı modifiye harç ve beton için yaygın olarak kullanılmaktadır. Uygulamalarına göre, yüksek erken dayanımlı Portland çimentosu, ultra yüksek dayanımlı Portland çimentosu, sülfat dirençli Portland çimentosu, beyaz Portland çimentosu, harmanlanmış çimento, yüksek alüminyumlu çimento gibi çimentoları tipleri kullanılabilmektedir (Ohama, 1995).

1.4.1.2 Polimer Katkı

Polimer modifiye harçlar, bir polimer veya monomerin dağınık, toz halinde veya sıvı halde çimento harcına ilavesi ve karıştırılması ile elde edilen karışımlardır. Söz konusu harçlara lateks, suda çözünür polimerler, sıvı reçineler gibi polimerler ve monomerler eklenerek karışım harcı elde edilir (Ohama, 1995). Bu süreçte polimer katkıların çimento harcına sağlayacağı olumlu özellikler veya oluşması muhtemel olumsuz yan etkiler göz önünde bulundurularak tasarım yapılması gerekir. Bu anlamda polimer katkıların harç üzerindeki basınç dayanımı, eğilme dayanımı, yapışma dayanımı, su tutabilme özellikleri, moleküler yapıları, su geçirgenliği gibi etkileri araştırılarak yeterli dozajda kullanılması gereklidir.

1.4.1.3 Agrega

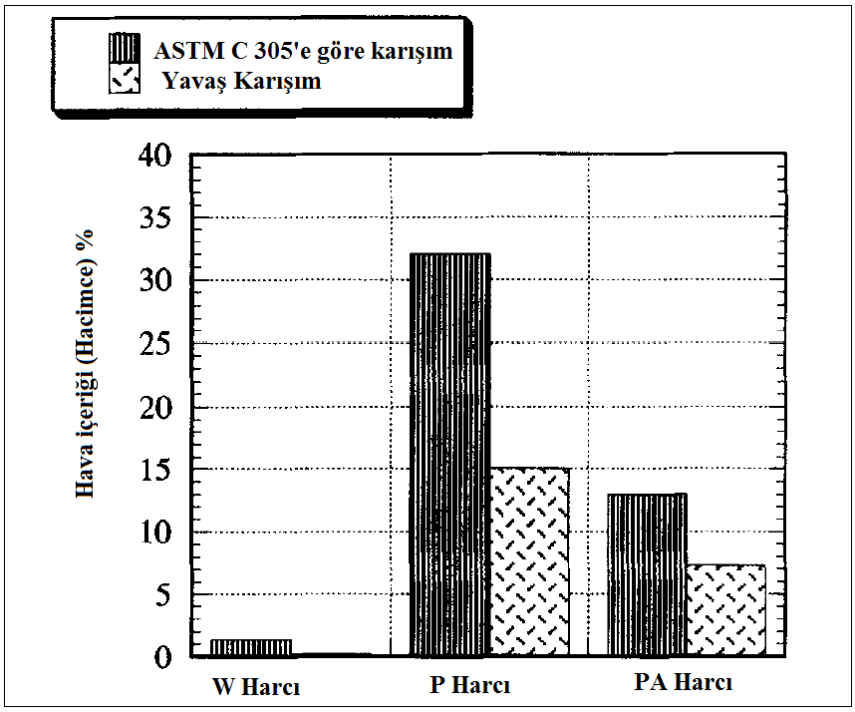
Karışım harcı içinde, birçok agrega tipi kullanılabilir. Nehir kumları ve çakılları, ezilmiş kum ve taşlar, silika kumları ve yapay hafif agregalar gibi ince ve iri agregalar karışım harcının tasarımında kullanılabilir. Agregalar temiz, sağlam ve iyi

yıkanmış olmalı ve uygun bir gradasyona sahip olmalıdır. Agrega seçimi genelde uygulamanın kalınlığına, betonarme örtüye ve takviyenin türü ve yoğunluğuna bağlı olduğundan gradasyon aralığı buna göre belirlenmelidir. Karışım harcı korozyon direnci amacıyla tasarlanıyorsa, silika kumları ve silisli taşlar da kullanılması uygun olacaktır (Ohama, 1995).

1.5 Polimer katkılı harçların fiziksel ve mekanik özellikleri

1.5.1 Polimer Katkılarda Hava Sürükleme ve İşlenebilirlik Etkisi

Polimer katkıların yüksek dozajda kullanımında hava sürükleme gibi yan etkileri görülebilir (Kim ve Robertson, 1996). Polivinil alkolün %2 oranında ilave edildiği çimento karışımında %32 oranlarına varan bir hava içeriği görülmüştür. Yapılan çalışmada katkısız harç (W harcı), %2 polivinil katkılı harç (P harcı) ve köpük kesici kullanılan harç (PA harcı) ile kıyaslama yapılmıştır. Aynı zamanda karıştırmanın hızının da karışım harcı üzerindeki hava içeriği araştırılmıştır (Şekil 1.6).



Şekil 1.6 PVA katkılı harcın hava içeriğinin belirlenmesi (Kim ve Robertson, 1996)

Yapılan araştırma sonucunda katkısız harcın hava içeriği %1-2 oranlarındayken %2 polivinil katkısı ile bu oranın %30 seviyelerinin üstüne çıktığı görülmüştür. %1 oranında köpük kesici katkının (polimere göre) harca eklenmesiyle karışımın hava içeriği düşse de %13 seviyelerinde seyretmiştir. Ancak köpük kesici katkı, yapışma dayanımını azaltacağından kullanım dozajı iyi ayarlanmalıdır (Baradan ve diğer., 2012). Karışımın ASTM C305'ten farklı olarak daha yavaş karıştırılmasıyla hava içeriği %7 seviyelerine kadar gerileyebilmiştir.

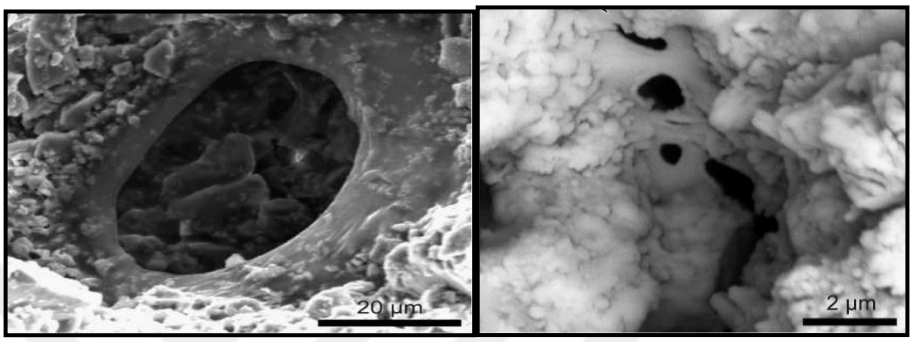
Literatürdeki bir başka çalışmada da selüloz eterinin harç içerisinde kullanımında boşluklu yapının arttığından bahsedilmiştir (Cherop ve diğer., 2017). MC kodlu serilerde metil selüloz eterini, HEMC kodlu seri hidroksi etil-metil selüloz eterini, HPMC kodlu seri ise hidroksi propil-metil selüloz türevini ifade etmektedir. Selüloz eterlerinin, ağırlıkça %0,1 ve %0,5 aralığında değişen oldukça küçük oranlarının çimento hamuruna ilavesiyle 28 gün sonunda genel olarak harcın porozitesini artırdığı görülmektedir (Şekil 1.7).

Çimento Hamurunun Porozite Değişimi

Katkı Tipi	Katkı Oranı % (Ağırlıkça)	Porozite (%)(28 günlük)
Without CEs	-	18
MC01	0.1	19
	0.3	19
	0.5	20
MC02	0.1	19
	0.3	20
	0.5	22
MC03	0.1	18
	0.3	20
	0.5	24
HEMC	0.1	18
	0.3	19
	0.5	21
HPMC	0.1	18
	0.3	22
	0.5	19

Şekil 1.7 Selüloz eteri katkısının farklı dozajlarındaki porozite değişimi (Cherop ve diğer., 2017)

Bir başka çalışmada, karışımın %2'si oranında kullanılan lateks (20µm yakınlaştırmada) ve %3'ü (2µm yakınlaştırmada) oranında kullanılan etilen vinil-asetat kopolimerleri tipi polimerler kullanılarak tasarlanan çimento esaslı seramik yapıştırıcılarının taramalı elektronik mikroskop fotoğrafları incelendiğinde oldukça büyük hava boşlukları net olarak görülebilmektedir (Şekil 1.8) (Jenni, Holzer, Zurbriggen ve Herwegh, 2005).



a) lateks (20µm) b) vinil-asetat kopolimerleri (2µm)

Şekil 1.8 Polimerlerin taramalı elektron mikroskobu fotoğrafları (Jenni ve diğer., 2005)

Polimer katkıların neden olduğu hava sürükleme etkisi ve polimer partiküllerinin kaydırıcı etkisiyle işlenebilirlik artışı açıklanabilir (Baradan ve diğer., 2012). Ancak literatürde işlenebilirliği azaltan polimerik katkılardan da bahsedilmiştir. İşlenebilirliği etkileyen bir diğer faktör de su tutma kapasitesidir. Su tutma kapasitesinin fazla olması harcın viskositesinin yükselmesine ve işlenebilirliğinin azalmasına neden olabilir (Çolak, 2005).

1.5.2 Polimer Katkıalrda Priz Süresi Etkisi

Polimer katkıların harç içine dahil edilmesiyle priz süresinin değişmesine neden olabilmektedir. Polimer katkı olarak kullanılan makromoleküllerin harç formülasyonundaki en büyük dezavantajı çimento hidratasyon gecikmesidir.

Çimento harcının priz süresi, çözünürlük, viskozite, moleküler zincir uzunluğu, polarite ve fonksiyonel gruplar gibi polimerlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre değişebilir (Singh, Mishra, Narang, 2003). Literatürde yapılan bir çalışmada

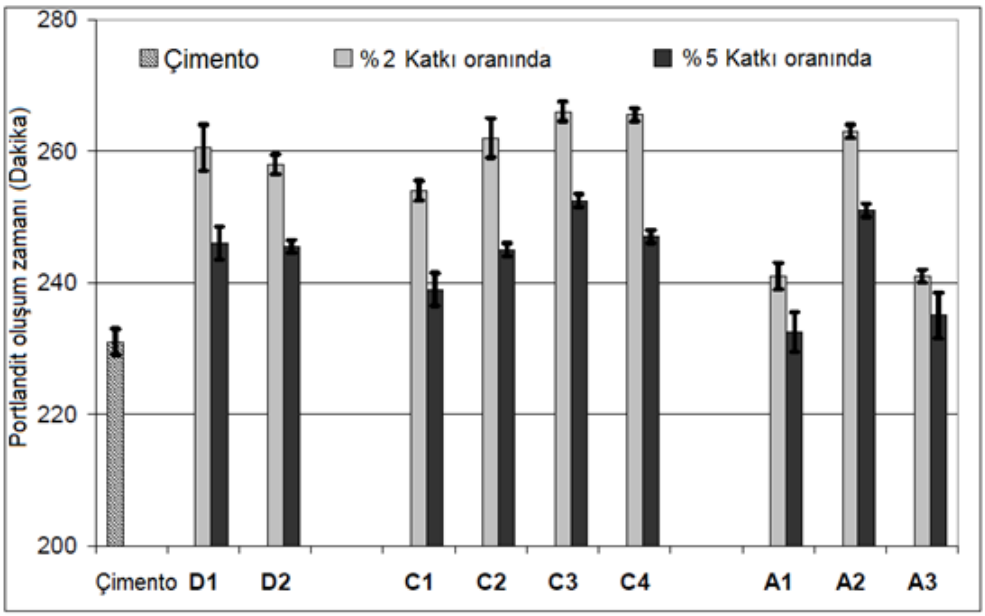
katkısız harçta priz başlangıç ve bitiş zamanı 130 ve 230 dakika iken karışıma artan dozajlarda hidroksi etil selüloz katkısının ilave edilmesiyle priz başlangıç ve bitiş zamanı 647 ve 715 dakikaya kadar çıkmıştır (Şekil 1.9). Organik polimerler üzerinde yapılmış olan başka bir çalışmada ise priz gecikmesinin bir diğer nedeni, hidratasyon gelişim sürecinde, C_3S organik katkı maddesinin kalsiyum hidroksit üzerine adsorbe edilmesiyle C_3S'nin hidratasyonunun yavaşlatılması ile açıklanmıştır (Singh ve diğer., 2003).

Hidroksi etil selüloz katkısının farklı dozajlarda priz alma zamanı üzerindeki etkileri

Katkı Tipi	Katkı Oranı (%)	Priz Zamanı (Dakika)	
		Priz Başlangıcı	Priz Bitişi
HEC	0.0	130	230
	0.05	150	250
	0.1	195	275
	0.25	250	370
	0.5	325	415
	1	360	440
	2	475	550
	4	647	715

Şekil 1.9 PVA katkılı harcın hava içeriğinin belirlenmesi (Singh ve diğer., 2003)

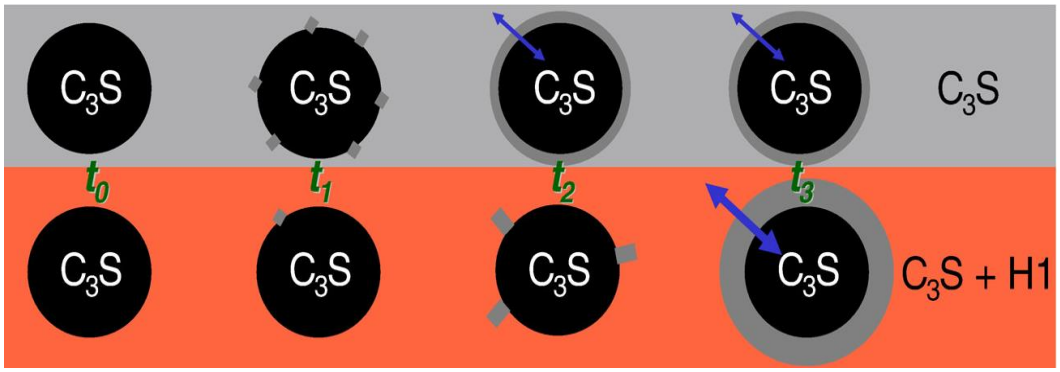
Selüloz katkılarının çimento hidratasyonu üzerinde etkilerinin incelendiği bir çalışmada farklı kimyasal yapıdaki selüloz eterlerinin, hidratasyon sonucu oluşan portlandit (CH) çökelmesine bağlı olarak ve kimyasal yapı farklılığından kaynaklı priz süresinin değişiklik göstereceğinden bahsedilmiştir (Şekil 1.10) (Pourchez, 2006).



Şekil 1.10 Farklı selüloz eterlerinin farklı dozajlarda portlandit oluşturma süresi (Pourchez, 2006)

Şekil 1.7'de C1, C2, C3, C4 kodlu selüloz eterleri hidroksi etil-metil selüloz grubuna; D1, D2, A1, A2, A3 kodlu selüloz eterleri de hidroksi propil-metil selüloz grubunda sınıflandırılmıştır. Yapılan çalışma şunu gösteriyor ki; hidroksi etil-metil selüloz ve hidroksi propil-metil selüloz katkıları çimento harcının portlandit oluşturma zamanını öteleyerek priz süresinin uzamasına neden olmuştur. Farklı türdeki selüloz katkılarının çimento hidratasyonu üzerindeki etkilerini incelendiği bu çalışmada, farklı moleküler yapıdaki selüloz eterlerinin hidratasyon ürünü olan portlandit (CH) çökelmesine bağlı olarak priz süresinin farklılık gösterebileceği anlatılmıştır.

Pourchez (2010) tarafından yapılan bir başka çalışmada priz gecikmenin bir diğer sebebinin selüloz eterlerinin çimento tanecikleri üzerine dağılımı ile bir film tabakası oluşturarak hidratasyon gelişiminin ötelenmesi olarak açıklanmıştır (Şekil 1.11).



Şekil 1.11 Selüloz eteri varlığında C-S-H tabakasının gösterimi (Pourchez, 2010)

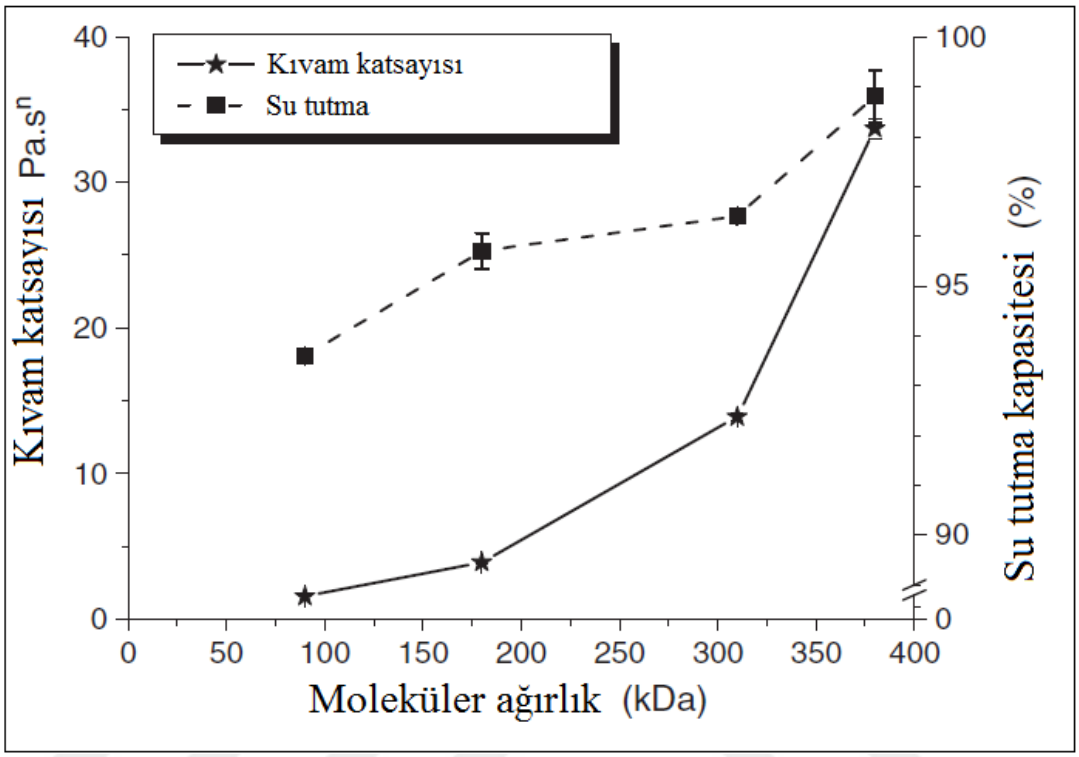
1.5.3 Polimer Katkıların Su Tutma Kapasitesi ve Kıvam Özellikleri

Selüloz eterleri, mükemmel tabakalaşma etkisi ve su tutma kapasitesi sayesinde karışım harçlarında oldukça önemli bir yere sahiptir (Cherop, Kiambi ve Kosgey, 2017). Harç ve betonda yaygın olarak kullanılan organik katkılar arasında polisakaritler de su azaltıcı, anti-yıkama ve su tutma maddesi olarak sınıflandırılabilen polimerlerdir. Su tutma özelliği, emme yoluyla yüzeyin hızlı bir şekilde su kaybını önleyen harç özelliğidir. Bu özellikteki harç sayesinde kanamanın veya "su kaybının" önüne geçilebilir. Kıvam veya viskozite arttırıcı katkı maddeleri olarak da bilinen hidroksi metil selüloz, hidroksi propil selüloz, hidroksi etil-metil selüloz lateks gibi polimerik kökenli su tutucu ajanlar, harcın segregasyonunu azaltan ve işlenebilirliği geliştiren temel katkı maddeleridir (Patural ve diğer., 2011).

Selüloz eterlerinin su tutma mekanızmasını 2 ana olgu sayesinde açıklamak mümkündür. İlki diğer polisakaritlerin gösterdiği reolojik etkinin benzerinin gösterilmesi; ikincisi ise selüloz eterlerinin kendine özgü olabilecek, gözenekli ağın taze halde modifikasyonu, ozmotik basınç veya difuzyon bariyeri oluşturabilen bir selüloz eter filminin varlığıdır. Hidroksi etil-metil selülozun harç mikroyapısında meydana getirdiği değişiklikler üzerine yapılan araştırmada karıştırma işlemi sırasında sıkışan havanın, selüloz eterleriyle stabilize edildiğini belirtilmiştir (Patural ve diğer., 2011).

Yapılan bir çalışmada hidroksi etil-metil selüloz tipi polimer katkının moleküler ağırlığının değişiminin kıvam ve su tutma kapasiteleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır

(Patural ve diğer., 2011). Polimer moleküler ağırlığı arttıkça harç kıvamının da iyileştiği görülmektedir (Şekil 1.12).



Şekil 1.12 Polimer katkısının (hidroksi etil-metil selüloz) moleküler ağırlık değişiminin kıvam ve su tutma özellikleri üzerindeki etkisi (Patural ve diğer., 2011)

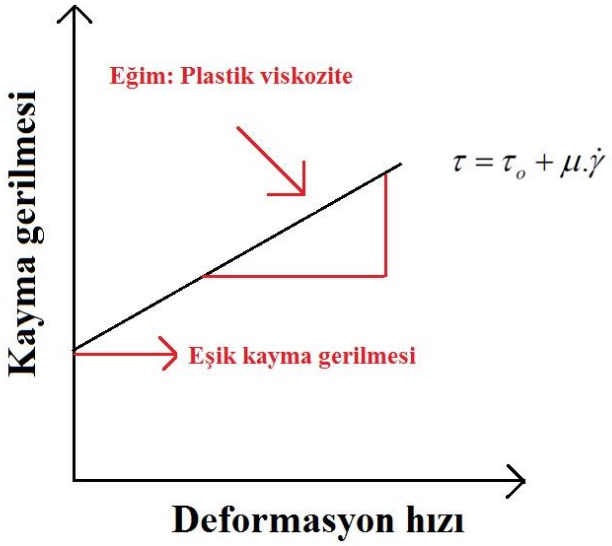
Hidroksi etil-metil selüloz polimer katkı grubu için, harç kıvamı ve su tutma oranının karşılıklı olarak katkı maddesi moleküler kütlesi arttıkça yükseldiği görülmektedir.

1.5.4 Polimer Katkıların Reolojik Özellikleri

İdeal olarak, betonun işlenebilirliği, reolojik özelliklerin karakterizasyonu ile mümkün olabilir. Bu özellikler genelde akma gerilmesi ve plastik viskozite gibi Bingham parametreleri ile tanımlanabilir (Ferraris ve Martys, 2003). Çimento esaslı karışım harçlarının veya hamurlarının reolojik özellikleri, karışımın hidratasyonu ve kimyasal etkileşimleriyle ilgilidir (Patural ve diğer., 2011).

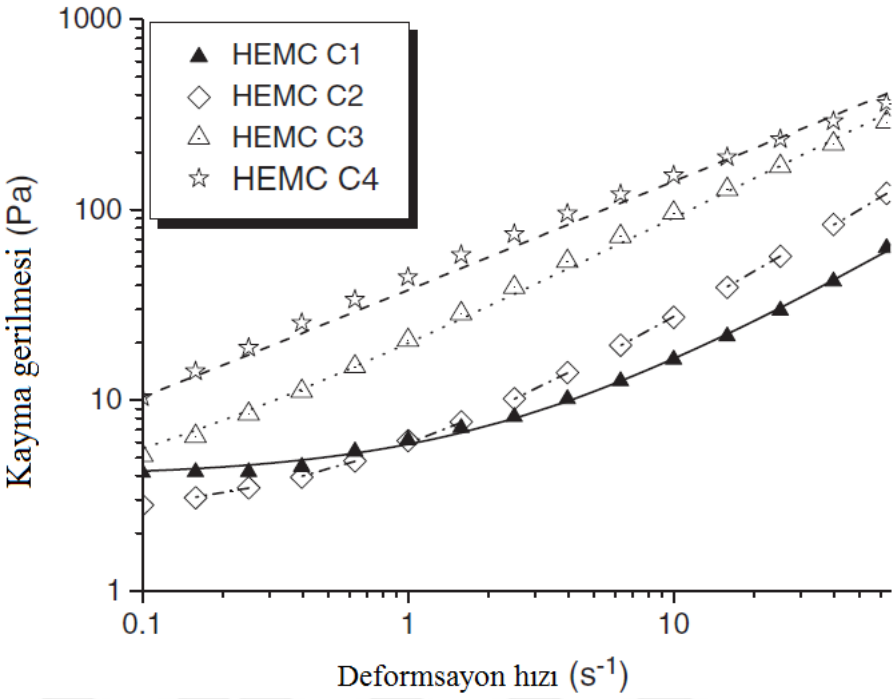
Plastik viskozite kavramını daha iyi anlayabilmek için plastik viskozite yerine göreceli plastik viskozite kavramı irdelenebilir. Göreceli plastik viskozite tüm süspansiyonun plastik viskozitesinin, ortamının plastik viskozitesine oranı olarak düşünülebilir. Örneğin betonda iç ortam matrisi harç iken, harçta iç ortam matrisi hamur olarak düşünülebilir. Süspansiyon ise iri agrega ve kumdan oluşmaktadır. Bu durumda göreceli viskozite betonun plastik viskozitesinin harcın plastik viskozitesine oranlanması ile bulunabilir. Bu durumda matrisin plastik viskozitesini belirlemek için kullanılan harcın, beton içindeki harç ile aynı kompozisyona sahip olduğu kabul edilir. Göreceli plastik viskozite parçacıkların yoğunluğunun ve şekillerinin bir fonksiyonudur (Ferraris ve Martys, 2003). Bu düşünce ile çeşitli modellemeler yapılarak reolojik davranış ve karakterizasyon konusunda yorumlar yapılabilir.

Reolojik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan döner reometrelerin çoğu, malzemenin kontrollü bir hızda karıştırıldığı ve elde edilen torkun ölçülmesi ilkesine dayanmaktadır. Newtonian sıvılarda viskozite, gerilme ve kesilme oranı arasındaki oran olarak tanımlanır. Beton ve harçlar genellikle Bingham sıvıları olarak kabul edilir (Ferraris ve Martys, 2003). Bu tip sıvılar belli kayma gerilmesi değerine kadar akışa geçmez. Elastik katı gibi davranırlar. Kayma gerilmesi belli bir eşik değerine ulaştıktan sonra akış başlar. Plastik akış doğrusu orijinden geçmez, y eksenini kestiği nokta eşik kayma gerilmesi (τ_o) ve doğrunun eğimi plastik viskozite (μ) olarak adlandırılır (Şekil 1.13). Eşik kayma gerilmesinden sonra Newtonyen sıvı davranışı gözlenir.



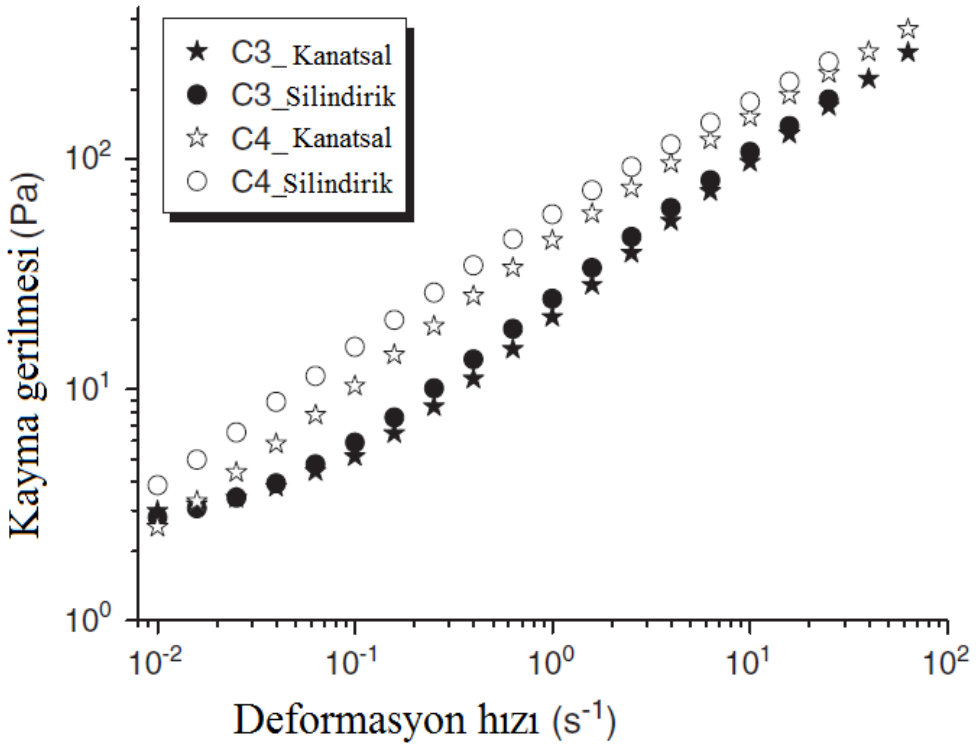
Şekil 1.13 Bingham Modeli

Patural (2011) tarafından hidroksi etil-metil selüloz türevi polimerlerin, reolojik davranışlarının belirlenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada; kayma gerilmesinin deformasyon hızına bağlı olarak değişimini reolojik açıdan incelemiştir. Bu araştırma sonucunda akış özelliklerinin hem malzeme bileşimi hem de deneysel koşullara bağlı olduğu sonucuna varmışlardır. Bazı çimento hamurları ve bazı harçların Bingham'ın kanununun doğrusal fonksiyonunu takip etmediği sonucuna varılmış ve sonuç olarak, akış eğrilerine uyacak gelişmiş bir model, Herschel ve Bulkley tarafından geliştirildiği belirtilmiş ve bu doğrultuda polimer katkı maddelerini birbiriyle kıyaslamak için, C1, C2, C3 ve C4 tipi dört çeşit hidroksi etil-metil selüloz türevi ile Herschel-Bulkley modellemeleri çizilmiştir (Şekil 1.14). Yapılan modelleme sonucunda C1 ve C2 tipi polimer katkılı harçların dilatant davranış sergilediği, yani deformasyon hızına bağlı olarak kayma sertleşmesi davranışı gösterdiği görülmüştür. C3 ve C4 tipi katkıların Bingham'ın doğrusal fonksiyonuna benzer davranış gösterdiği görülmüştür.



Şekil 1.14 Hidroksi etil-metil selüloz katkılı harçların Heschel-Bulkley modellemeleri (Patural ve diğer., 2011)

Bu çalışmanın devamında polimer katkıların moleküler geometrik şekillerinin reolojik davranış açısından nasıl bir değişim gösterdiği araştırılmıştır. Silindirik ve kanatsal geometrili polimer katkıların deformasyon hızı ve kayma gerilmesi davranışlarının değişimine bağlı Herchel-Bulkley modellemeleri yapılmıştır (Şekil 1.15). Yapılan modellemeler sonucu her iki geometride de elde edilen reogramların çok benzer olduğu görülmüş, silindirik geometrisinin kanatlı geometriye göre az da olsa daha psödoplastik davranış gösterdiği, yani deformasyon hızına bağlı kayma yumuşaması eğiliminde olduğu görülmüştür.



Şekil 1.15 Polimerlerin moleküler geometrik yapılarının Heschel-Bulkley modeli ile incelenmesi (Patural ve diğer., 2011)

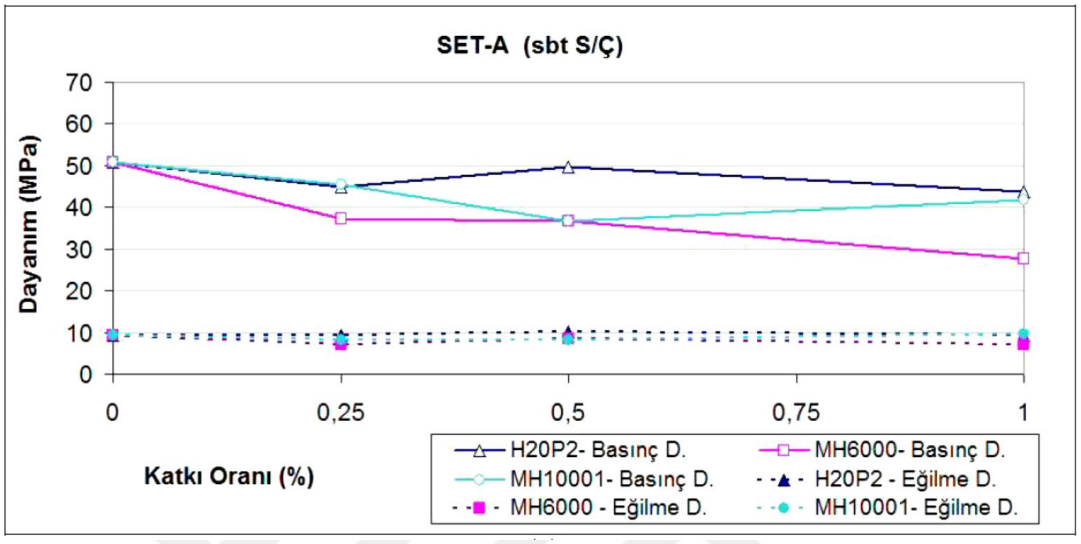
1.5.5 Polimer Katkılı Harçların Basınç ve Eğilme Dayanımı Üzerindeki Etkileri

Polimer katkılar, çimento harçlarının basınç dayanımını genellikle etkilememiş ya da hava sürükleme etkisiyle bir miktar düşürmüştür (Çolak, 2005). Yapılan bir çalışmada da çimento harcının basınç dayanımının selüloz eteri konsantrasyonu artışına bağlı olarak azaldığını iddia edilmiştir (Cherop ve diğer., 2017).

Literatürde yapılan bir başka çalışmada polimer katkıların, çimento hamuru üzerindeki mekanik etkileri araştırılmıştır. Yapılan bu çalışmada, sabit su/çimento oranında (0,50), hidroksi etil-selüloz (H20-P2) ve hidroksi etil-metil (MH-10001, MH-6000) tipi suda çözünebilir toz polimerin, çimento hamuru üzerindeki basınç ve eğilme dayanımları araştırılmıştır (Baradan ve diğer., 2012).

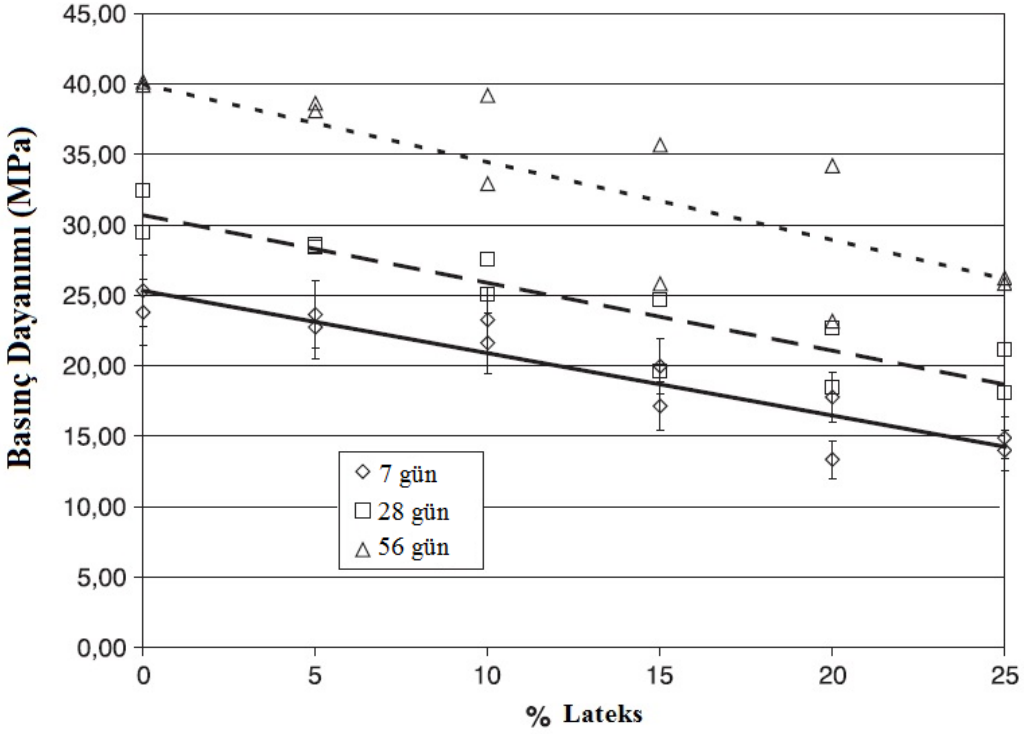
Suda çözünebilir polimerlerin kullanım dozajına göre basınç dayanımı üzerinde genel olarak dayanımı azaltıcı sonuçlar elde edilse de eğilme dayanımı üzerindeki etkisi çok belirgin olmamıştır (Şekil 1.16). Katkısız harçta 51 MPa olan basınç

dayanımının %1,00 katkı dozajında basınç dayanımını en az etkileyen katkıların H20P2 ve MH10001 olduğu görülmektedir. Eğilme dayanım değerlerinin ise 8-10 Mpa aralığında değiştiği görülmektedir.

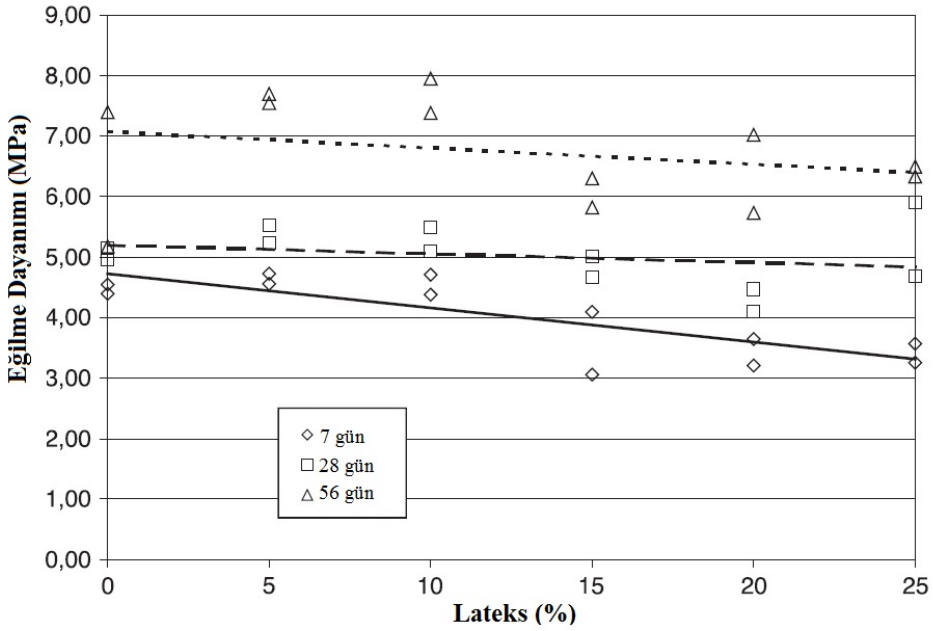


Şekil 1.16 Suda çözünebilir toz polimerlerin sabit S/Ç oranında (0.50) (H20-P2, MH6000 ve MH10001) eğilme ve basınç dayanımına etkileri (Baradan ve diğer., 2012)

Lateks modifiyeli çimento harçlarının mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada sabit su/çimento (0,55) oranındaki çimento harcının ağırlıkça %5 ve %25 artan dozaj aralığına bağlı olarak azalan basınç dayanımları elde edilmiştir (Şekil 1.17a). Artan yaşa bağlı artan basınç dayanımı görülse de lateks dozajına bağlı olarak azalan basınç dayanımı davranışı görülmüştür. Eğilme dayanımlarında ise artan dozaja bağlı küçük çaplı azalışlar olsa da genel olarak büyük değişimler görülmemiştir (Şekil 1.17b) (Barluenga ve Oliveras, 2004). Bir başka çalışmada ise stiren-akrilik ester ve stiren-bütadien kauçuğun birlikte kullanımının eğilme dayanımına olumlu etkisi tespit edilmiştir (Zhong ve Chen, 2002).



a) Basınç Dayanımı



b) Eğilme Dayanımı

Şekil 1.17 Yüzdesel artan lateks oranına bağlı basınç ve eğilme dayanım değişimi (Barluenga ve Oliveras, 2004)

1.5.6 Polimer Katkılı Harçların Çekme Koparma Dayanımı Üzerindeki Etkisi

Polimer katkıların polimer/çimento oranına bağlı olarak olumlu etkileri vardır (Ohama, 1998). Polimer katkılardan selüloz eterleri, taze malzeme işlenebilirliğini geliştirmesinin yanında alt tabakaya yapışmayı da arttırır. Bu nedenle sertleştirilmiş malzemenin mekanik mukavemetinin artması da sağlanmış olur (Cherop ve diğer., 2017). Yeniden dağılabilir polimer tozları ise taze harç reolojisini geliştirir, ancak esas olarak sertleştirilmiş harca esneklik ve gerilme mukavemeti sağlarlar (Jenni, ve diğer., 2005).

Literatürde yapılan bir başka çalışmada farklı polimer katkıların beton hamuru üzerindeki çekme-koparma etkiler araştırılmıştır. Suda çözünebilir polimer (MH10001), yeniden dağılabilir (Vinnapas) ve iki adet lateks (Acronal ve Lipaton) polimer katkılarının katkısız harca kıyasla çimento hamurunun çekme koparma dayanımları üzerindeki etkileri ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Yapılan deneylerde, uygulama yüzeyinin pürüzlü oluşu, kuru veya nemli oluşu, uygulama yüzeyinin dayanım sınıfı ve uygulanan kimyasalların etkileri farklı sonuçların çıkmasındaki önemli parametreler olmuştur.

Yapılan bu çalışmalar sonucunda uygulama yüzeyinin dayanım sınıfı yükseldikçe, yapışma mukavemetinin arttığı görülmüş ve kopmanın uygulama yüzeyinden olması durumunda katkı maddesinin etkililik düzeyinin faydasının olmadığı belirtilmiştir. Hamurların 7 günlük ve 6 aylık dayanım değerleri kıyaslandığında lateks kökenli polimerlerin ve suda çözünebilir MH10001 katkısının kontrol harcına kıyasla yapışma mukavemeti sağlamada daha etkili olduğu görülmüştür. Bunlara ek olarak nemli uygulama yüzeyine sahip betonlara uygulanan tamir harçlarının yapışma mukavemeti sağlamada daha etkili olduğu, uygulama yüzeyinin pürüzlü olması durumunda ise ilerleyen yaşlarda pürüzsüz betona uygulanmış harçlardan elde edilen performansın daha iyi olduğu belirtilmiştir. (Baradan ve diğer., 2012).

1.6 Polimer Katkılı Harçların Dayanıklılık Özellikleri

Literatürde yapılan çoğu araştırmada, tamir harçlarının uzun vadeli kalıcılık performansları üzerine sıklıkla vurgular yapılmıştır. Yapılan bir çalışmada vinil asetat ve stiren akrilik polimerlerinin 10 yıllık eğilme dayanım özellikleri araştırılmış ve üretilen harçların dayanımlarında herhangi bir fark görülmemiştir (Schulze ve Killerman, 2001).

Bazı polimer katkılarının film tabakası oluşturma etkisi sayesinde çimento harcının iç matrisi geçirimsiz hale gelir ve uzun vadede harcın mekanik ve fiziksel özellikleri geliştirilebilir (Xiong, Chen, Li ve L. Chen, 2001). Polimer katkılarının birçoğunun sülfat ataklarına ve klor iyonu etkilerine karşı dirençli olduğu da birçok araştırmada bahsedilmiştir. Yapılan başka bir araştırmada, %2,5 oranında klor ve %5 oranında sülfat ilave edilen polimer katkılı çimento harçlarının 62 ve 90 günlük basınç dayanımları incelenmiş, dayanım stabilitelerini korudukları görülmüştür (Çolak, 2005). Ayrıca polimer katkı kullanımı ile klor iyonlarının harç içerisine penetrasyonunun engellenebilmesiyle beraber karbonatlaşma engellenerek olası korozyon riski de azaltılabilir (Ohama, 1998). Fakat literatürde yapılan başka çalışmalarda da polimer katkılarının dayanıklılığı olumsuz etkilediği belirtilmiştir (Cherop, 2017). Bundan dolayı, polimer katkı türü, moleküler yapısı ve birçok değişken özelliklerine göre, polimer katkılar farklı davranışlar sergileyebildiklerinden tüm polimerlerin dayanıklılığı azalttığı ya da arttırdığı yönünde genel geçer bir kanıya varmak mümkün değildir.

Aynı zamanda polimer katkıların büzülme davranışları da eklendikleri karışım üzerinde önemli yere sahiptir. Büzülme, hacmin genel olarak azalmasına neden olan betonun üç boyutlu bir deformasyonu olarak tanımlanabilir. (Weyers, Cousins, Wollman ve Sprinkel, 2002). Polimer katkılar sayesinde harçların ya da hamurlarının kuruma büzülmesi davranışları azaltılabilir (Weyers ve diğer., 2002). Polimer katkılarının çimento harcı üzerinde gösterdikleri yüksek su tutma kapasitesi performansları ile harcın erken yaşlarda oluşması muhtemel segregasyon, kanama ve plastik rötre davranışlarının yanında kuruma rötresi sorunları da azaltılabilir (Kim,

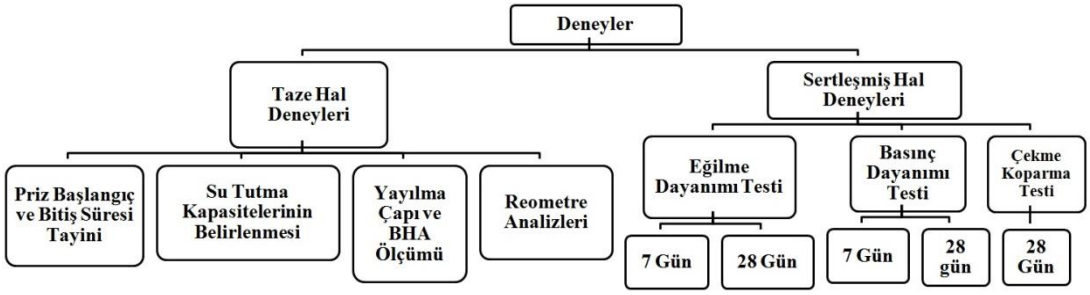
Robertson ve Naaman, 1999). Bu sorunların azaltılması aşamasında çimento harcının uygulandığı yüzeyin termal genleşme katsayısı ve elastisite modülünün uyumluluğu önemlidir (Chiu ve Case, 1991). Bu açıdan uygulaması yapılacak beton veya uygulama yüzeyine benzer elastisite modülüne sahip harçlar tercih edilmelidir.

BÖLÜM İKİ
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar kapsamında, CEM I 42,5 R tipi Portland çimentosu, boyutları 0-4 mm arasında değişen kireçtaşı agregası ve su sırasıyla ağırlıkça 1:2:0,70 oranlarında karıştırılarak bir şahit harç hazırlanmıştır. Söz konusu şahit harç içerisine çimento ağırlığının %0,25'i, %0,50'si ve %1,00'i oranında Hidroksietilselüloz (HES) ve iki farklı MHES-D ve MHES-Y tipi Metil hidroksietil selüloz (MHES) katkısı ilave edilerek dokuz farklı katkılı çimento harcı üretilmiştir. Üretilen harçların taze ve sertleşmiş hal özelliklerini incelemek için her bir sentetik selüloz türevi içeren modifiye harç için üçer adet olmak üzere toplamda şahit harç ile beraber 10 adet çimento harcı üretilmiştir. Agrega oranı düşük tutularak, çimento hamurunda selüloz türevi katkıların etkisinin daha net gösterilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca su/çimento oranı yüksek tutularak, selüloz kökenli katkıların su tutma farklılıklarının işlenebilirlik üzerindeki etkisinin araştırılması planlanmıştır. Numunelerin kodlama sistematiği Tablo 2.1'de verilmiştir. Hidroksietil katkısı HES, metil katkılı selüloz türevine göre düşük viskoziteli olduğu düşünülen katkı MHES-D, metil katkılı yüksek viskoziteli selüloz türevi olduğu düşünülen katkı da MHES-Y olarak adlandırılmıştır. Çimento harçlarının taze halde priz başlangıç ve bitiş süreleri, yayılma çapı ölçümleri, su tutma kapasiteleri, birim hacim ağırlıkları (BHA) belirlenmiş ve çimento harcının kullanımına uygun bir reometre yardımıyla reolojik analizler gerçekleştirilmiştir. Sertleşmiş halde ise 7 ve 28 günlük eğilme, basınç deneyleri ve 28 günlük aderans (çekme-koparma) deneyleri yapılmıştır (Şekil 2.1).

Tablo 2.1 Numune kodlama sistematiği

Karşım	Katkı Oranı (Çimentonun Ağırlıkça Yüzdesi)		
Şahit Harç	%0	%0	%0
HES	%0,25	%0,50	%1,00
MHES-D	%0,25	%0,50	%1,00
MHES-Y	%0,25	%0,50	%1,00



Şekil 2.1 Deneysel çalışma şablonu

2.1 Üretimde Kullanılan Malzemeler

2.1.1 Çimento

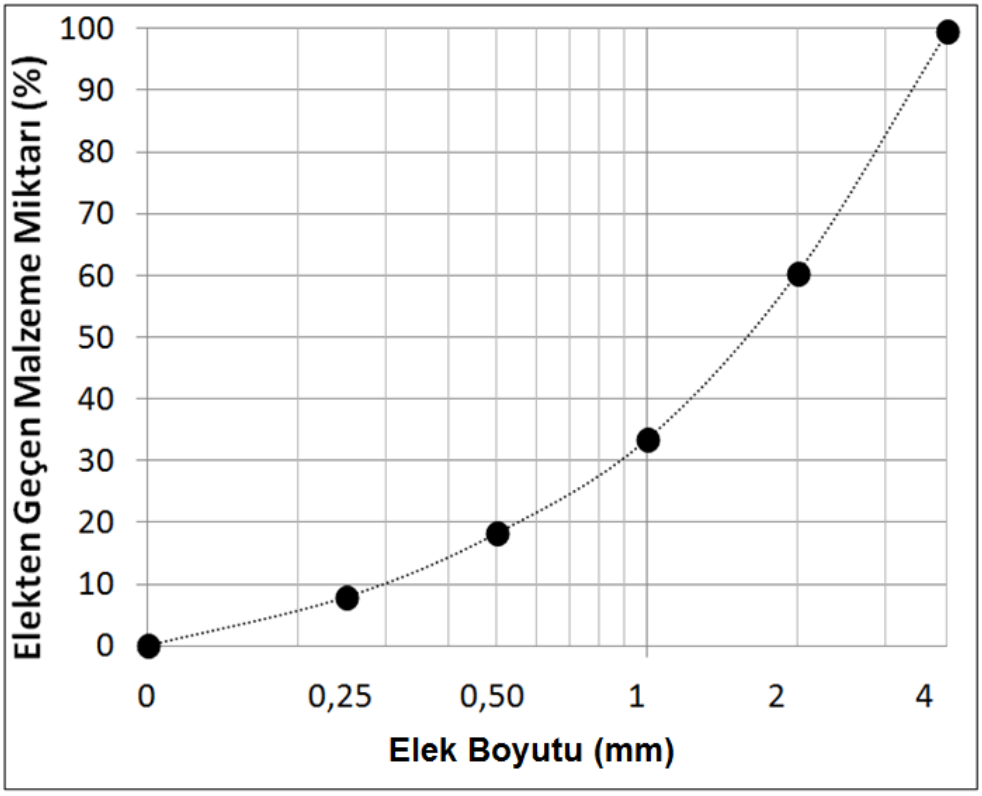
Tez kapsamında hazırlanan harçlarda, CEM I 42,5 R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun üretici firma tarafından beyan edilen kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2 CEM I 42,5 R çimentosunun kimyasal ve fiziksel özellikleri, basınç dayanımları

Kimyasal Analiz	**Basit Oksit Oranları (%)**	**Basınç Dayanımı (MPa)**	
SiO_2	18,46	**2 günlük (MPa)**	28,5
Al_2O_3	4,18	**7 günlük (MPa)**	43,0
Fe_2O_3	3,17	**28 günlük (MPa)**	54,3
CaO	64,28	**Fiziksel Özellikler**	
MgO	1,27	**Özgül ağırlık**	3,10
Na_2O	0,50	**Özgül Yüzey (m^2/kg)**	305
K_2O	0,84	**0,090 mm elek üstü (%)**	1,5
SO_3	3,14	**0,045 mm elek üstü (%)**	23,1
Klor	0,006	**Hacim sabitliği (mm)**	0,5
Serbest CaO	1,80	**Vicat suyu (%)**	28

2.1.2 Agrega

Deneysel çalışmalarda boyutları 0-4 mm arasında değişen kireçtaşı agregası kullanılmıştır. Agregaların kuru yüzeyi doygun özgül ağırlığı 2,67 gr/cm^3 değerindedir. Agrega ile ilgili elek analizi değerleri Şekil 2.2'de agrega gradasyon grafiğinde gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Agrega gradasyon eğrisi

2.1.3 Su

İçilebilir nitelikteki şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

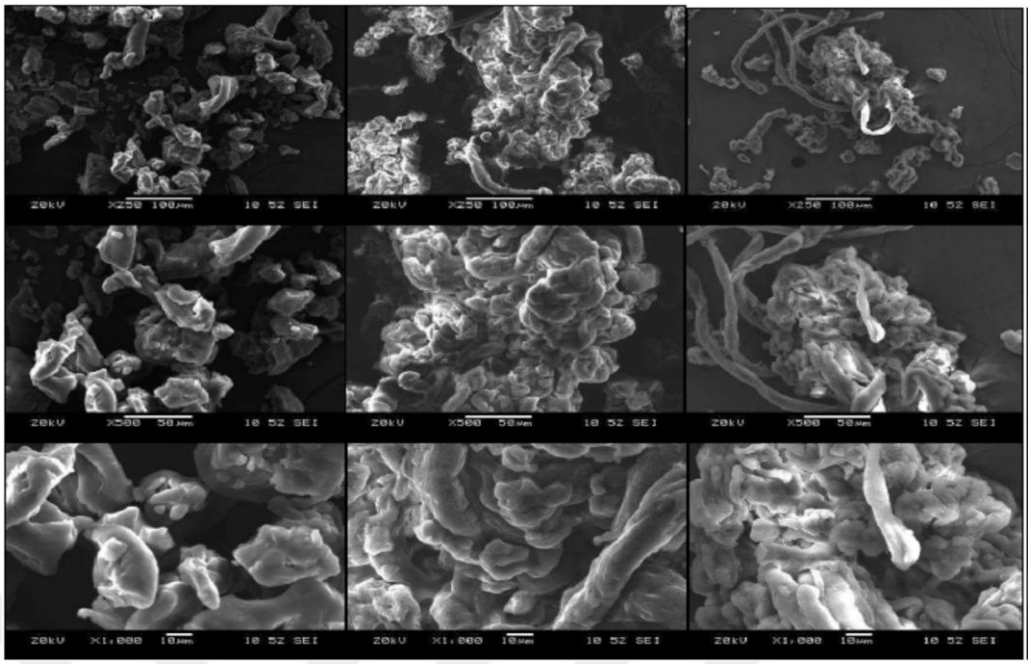
2.1.4 Suda Çözünebilir Polimerler

Deneysel çalışmalar kapsamında 3 tip selüloz eteri türevi kullanılmıştır. Katkıların üreticisi Alman ShinEtsu Tylose GmbH & Co. firmasıdır. Toz formda olan bu katkılardan hidroksietil selüloz (HES) ve MHES-D ve MHES-Y ise metil hidroksietil selüloz (MHES) kökenlidir. Üretici firma tarafından beyan edilen fiziksel özellikleri Tablo 2.3'de sunulmuştur. Ayrıca polimerlerin 250, 500 ve 1000 kat büyütmede çekilen taramalı elektron mikroskobu fotoğrafları Şekil 2.3'de verilmiştir. Hidroksi etil-selüloz katkısının hidrofob yapıda olduğu üretici tarafından beyan edilmiştir.

Tablo 2.3 Kullanılan katkıların fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal katkı türü	HES	MHES-D	MHES-Y
Kimyasal köken	Hidroksietil selüloz (HES)	Metil hidroksietil selüloz (MHES-D)	Metil hidroksietil selüloz (MHES-Y)
Aktif madde içeriği	-	En az %91,5	En az %92,5
Nem	En fazla %6	En fazla %7	En fazla %6
Kül içeriği (Na_2SO_4)	En fazla %5	-	-
NaCl içeriği	-	En fazla %1,5	En fazla %1,5
Tane boyutu <180µm	En az %95	En az %85	-
Tane boyutu <125µm	-	-	En az %90
Tane boyutu <100µm	En az %40	En az %25	En az %70
Viskozite Brookfield 20^{o}C, 20 rpm, (%1,9'luk çözelti)	40-80 mPas (sp.1*)	5500-8000 mPas (sp.4*)	8000-13000 mPas (sp.5*)

* Viskozite ölçümü için kullanılan ölçüm ucu (spindle) türü



HES MHES-D MHES Y

Şekil 2.3 Hidroksietil selüloz ve metil hidroksietil kökenli toz polimerlerin taramalı elektron mikroskobu fotoğrafları

2.2 Harçların Karışım Oranları ve Üretimi

Tüm karışımlarda su/çimento/agrega oranı 0,70/1/2 sabit tutulmuştur ve çimentonun ağırlıkça %0,25, %0,50, %1,00 oranlarında selüloz türevi katkı ilavesi yapılmıştır.

Karışımlar laboratuvar tipi bir Hobart mikser kullanılarak hazırlanmıştır. İlk olarak kuru karışım 1 dk karıştırılmış, ardından toz haldeki polimer kuru karışıma eklenerek karıştırma işlemine 1 dk daha devam edilmiştir. Ardından karışıma su eklenerek 3 dk daha karıştırma işlemi uygulanmıştır. Karışımların taze haldeki birim hacim ağırlıkları 1 lt hacimli bir beher yardımıyla ölçülmüştür. Taze ve sertleşmiş hal deneyleri için gerekli numuneler alınarak her bir karışım için aynı işlem tekrarlanmıştır.

2.3 Deney Yöntemleri

2.3.1 Taze Hal Deneyleri

2.3.1.1 Priz Başlangıç ve Bitiş Süresi Tayini

Taze hal deneylerinde hazırlanan karışımların öncelikle harç priz süresi deneylerinde ASTM C191'e (2017) göre uygun bir Vicat iğnesi kullanılmıştır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Vicat deneyi aparatı (Kişisel arşiv, 2017)

Söz konusu deneyler çimento harcında gerçekleştirildiği için standart yöntem modifiye edilerek şu şekilde gerçekleştirilmiştir: Hazırlanan çimento harçları 38-39 mm yüksekliğindeki Vicat kalıplarına yerleştirilmiş ve laboratuvar koşullarında ($20^oC \pm 3^o$) iğne batış derinlikleri zamana bağlı olarak takip edilmiştir. Taze harçlarda priz başlangıcı iğnenin taban seviyesinden 1 mm kadar batmamaya başladığı zamana kadar geçen süre, priz bitişi de yüzeye 1 mm'den az battığı zamana kadar geçen süre olarak kabul edilmiştir.

2.3.1.2 Çimento Harcının Ağırlıkça Su Kaybı Oranlarının Belirlenmesi

Deney öncesinde, harçla doldurulmuş Vicat kalıbı tartılarak ağırlığı belirlenmiştir ($W_{Vicat,başlangıç}$). Deney süresince, her Vicat ölçümü sırasında Vicat kalıbı tekrar tartılarak ağırlığı belirlenmiştir ($W_{Vicatson}$). Elde edilen ağırlıklar kullanılarak, yüzeyden gerçekleşen su kaybının miktarı hesaplanmış ve karışımların su tutma seviyeleri deneysel olarak belirlenmiştir. Bu veriler yardımıyla harçların zamana bağlı su tutma kapasitesi değişimleri grafikler halinde sunulmuştur. Deneye her harç prizini tamamlayana kadar devam edilmiştir, son değer ($W_{Vicatson}$) kullanılarak Denklem 2.1'deki hesaplamalar yapılmıştır.

$$\%Su\ kaybı = (\frac{\text{Wvicatson}-\text{Wvicatbaşlangıç}}{\text{Wvicatbaşlangıç}})\text{x}100 \quad (2.1)$$

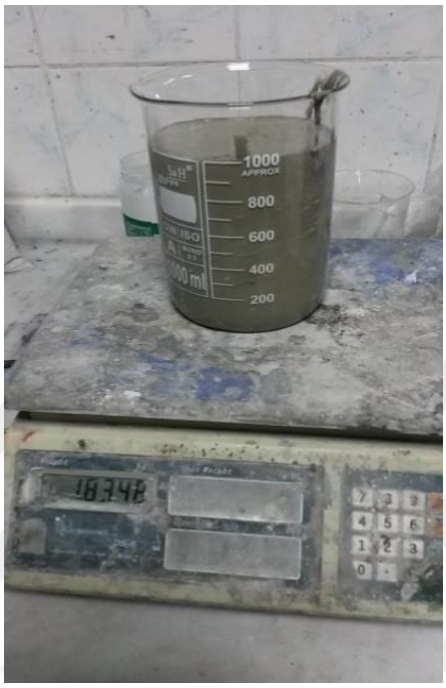
2.3.1.3 Yayılma Çapı ve Birim Hacim Ağırlığının Tespit Edilmesi

Yayılma deneyleri ASTM C 230 (2017) standardına uygun bir akma tablası üzerinde 3 saniyede 5 kez sarsma sonrası yayılma çapı ölçülerek gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Yayılma çapı deneyi (örn. MHES-Y) (Kişisel arşiv, 2017)

Birim hacim ağırlık tayini için ise çimento harcı 1000 ml. hacimli bir kap içerisinde iki kademe halinde sıkıştırılarak doldurulduktan sonra tartımı gerçekleştirilmiştir. Ölçülen net numune ağırlığı kabın hacmine bölünerek taze hal birim hacim ağırlığı hesaplanmıştır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Birim hacim ağırlık ölçümü (Kişisel arşiv, 2017)

2.3.1.4 Reolojik Karakterizasyon için Yapılan Çalışmalar

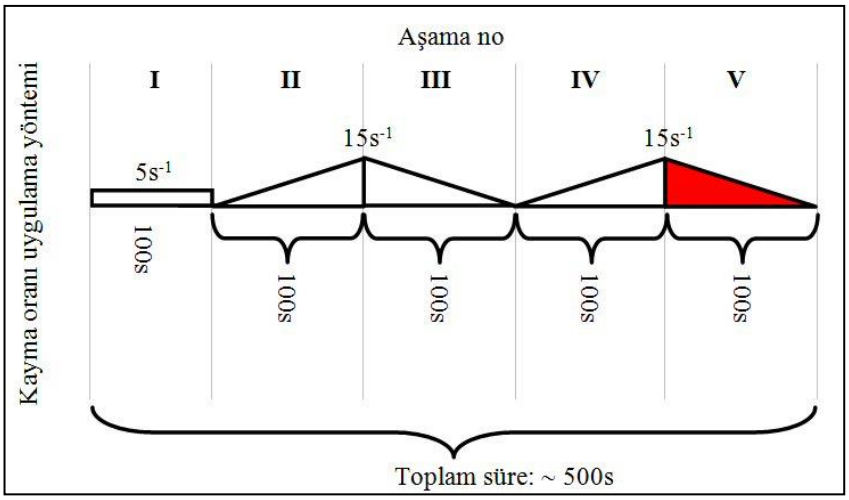
Reolojik ölçümler için sistematik dökümler sırasında hazırlanan karışımlardan 400 cm^3 hacimli örnekler alınmıştır. Karışım hazırlandıktan hemen sonra bilyeli bir reometre (Anton Paar Physica MCR51 BMS) (Şekil 2.7a) yardımıyla karışımların akma eğrileri elde edilmiştir. Reometre bilye çapı 8mm olup, dış merkezli bir kol aracılığıyla numune içerisinde döndürülerek istenilen deformasyon hızlarında döndürülmüş ve gerekli anlık moment değerleri reometre tarafından ölçülmüştür (Şekil 2.7b).



a) Genel görünüş b) Reometre karışım kabı ve numune

Şekil 2.7 Bilyeli Reometre sistemi

Kayma gerilmesi – kayma oranı eğrileri Rheoplus programında yazılan 5 aşamalı kayma oranı makrosu kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 2.8). İlk aşamada bilyenin çimento harcı içinde $5s^{-1}$ sabit deformasyon hızında dönmesi için gerekli kayma gerilmesi değeri 100 saniye boyunca saniyede 1 veri alınarak kaydedilmiştir. İkinci aşamada deformasyon hızı 0'dan $15s^{-1}$'e çıkarılarak çıkış akma eğrisi elde edilmiştir. Bu aşamada 100 saniyede 20 veri kaydedilmiştir. Üçüncü aşama ise ikinci aşamanın tersine deformasyon hızı $15s^{-1}$'den 0'a inecek şekilde 5 saniyede bir veri alınarak gerçekleşmiştir. Dört ve beşinci aşamalarda da iki ve üçüncü döngülerin tekrarı gerçekleşmiştir. Kayma gerilmesi-deformasyon hızı ile deformasyon hızı-viskozite eğrilerinin elde edilmesinde kararlı rejime ulaşılan son aşamadaki (Şekil 2.8, V. aşama) veriler kullanılmıştır.



Şekil 2.8 Deneyler sırasında kullanılan makro

Bu sayede bilyenin dönüş hızı sunulan makro ile değiştirilirken, Schatzmann dönüşümleriyle moment kayma gerilmesine, dönme hızı da kayma oranına çevrilmektedir (Schatzmann, Fischer ve Bezzola, 2003).

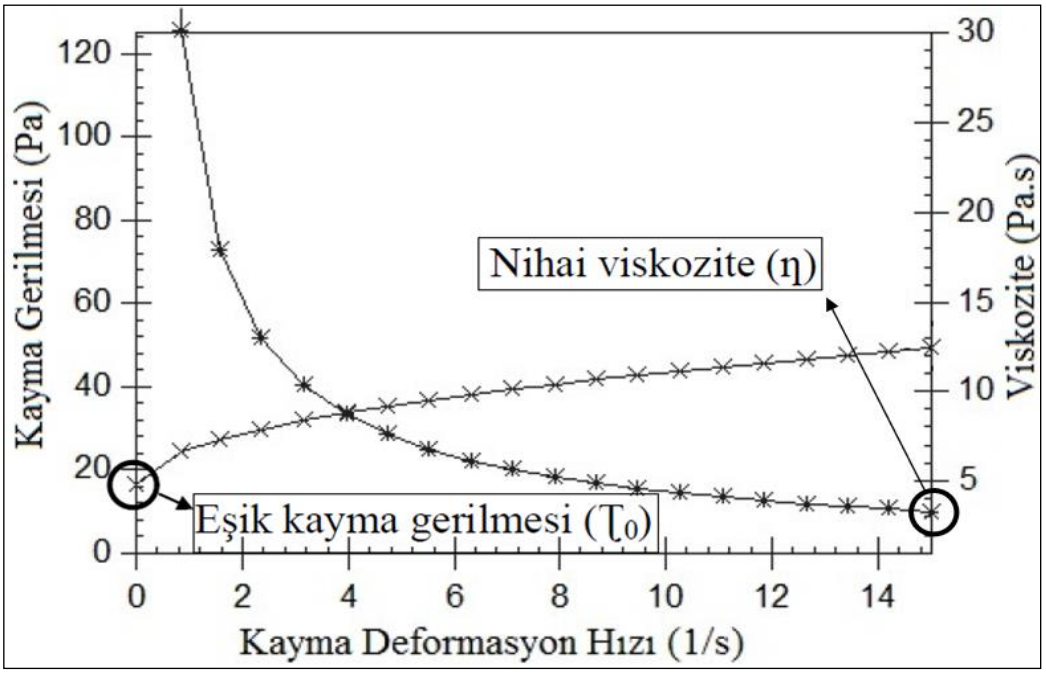
Eşik kayma gerilmesi (τ_o) malzemenin akmaya başlaması için uygulanması gereken en düşük gerilmedir. Bu değer kayma gerilmesi-deformasyon hızı eğrisinin (akma eğrisi) y eksenini kestiği noktadır (Şekil 2.9). Viskozite (μ) ise, akışkanın akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır ve kayma gerilmesinin deformasyon hızına oranını ifade eder. Viskozite newtonian sıvılarda sabit bir değer alabileceği gibi newtonian olmayan sıvılarda kayma hızına bağlı olarak değişen değerler de alabilir. Çimento hamurlarının eşik kayma gerilmeleri (τ_o) ve nihai viskoziteleri ($\mu_{15s^{-1}}$) elde edilen eğrilerden Şekil 2.9'da gösterildiği gibi okunmuştur. Deneysel çalışmalarda viskozite $15s^{-1}$ deformasyon hızından sonra yaklaşık sabit bir değere ulaştığı için, bu değer kıyaslamalarda nihai viskozite olarak adlandırılarak kullanılmıştır.

Deney sırasında iniş ve çıkışlı akma eğrileri kullanılarak Herschel Bulkley (HB) analizi yapılmıştır. Bu analiz belirli bir eşik kayma gerilmesine sahip olan ve aynı zamanda viskozite değeri uygulanan deformasyon hızına göre değişen malzemelerin modellenmesinde kullanılan bir yöntemdir (Schatzmann, 2003). Bu yöntemde kayma

gerilmesinin deformasyon hızı ile değişimi matematiksel bir denklemde ifade edilmiştir (Denklem 2.2).

$$\tau = \tau_0 + b.\dot{\gamma}^p \tag{2.2}$$

Burada, τ_0, b ve p katsayıları her bir karışımın veri kümesi kullanılarak belirlenmektedir. Bu analiz ile elde edilen akma eğrileri, karışımlar sabit deformasyon hızında belli bir kararlı konuma ulaştıktan (yumuşatıldıktan) sonra elde edildiğinden elde edilecek eşik kayma gerilmesi "dinamik eşik kayma gerilmesi" olarak adlandırılmıştır (Baradan ve diğer., 2012). Bunun yanında karışımların $15s^{-1}$ deformasyon hızındaki nihai viskozite değerleri ise viskozite, deformasyon hızı grafiği ile belirlenmiştir (Şekil 2.9).

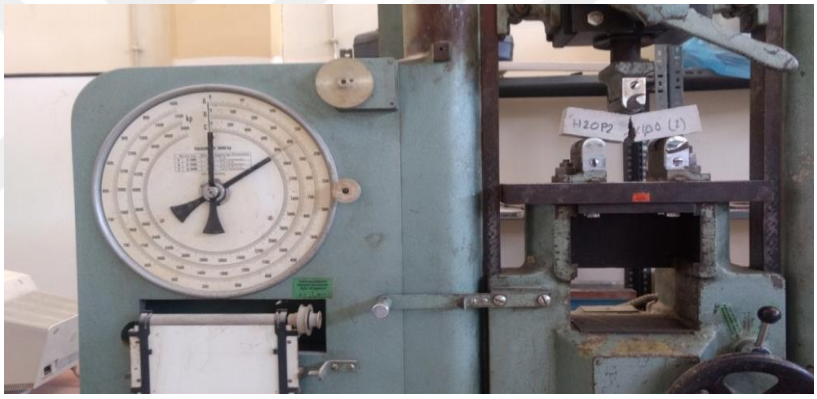


Şekil 2.9 Akma eğrisinden reolojik parametrelerin okunması (örn: Şahit harç)

2.3.2 Sertleşmiş Hal Deneyleri

2.3.2.1 Eğilme ve Basınç Deneyi

Harçların mekanik performanslarının değerlendirilmesi amacıyla her bir karışımdan 3 adet 40x40x160 mm'lik numuneler kalıba alınmıştır. Alınan numuneler 7 ve 28 gün suda kür edilerek karışımların 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları 3 noktalı eğilme yüklemesi altında belirlenmiştir. Eğilme deneyi TS-EN 12390-5 (2010) deney standardına uygun ve 5mm/dk sabit yükleme hızı altında yapılmıştır. (Şekil 2.10) Daha sonra ikiye ayrılan numuneler kullanılarak basınç deneyleri TS-EN 12390-3 (2010) standardına uygun ve 244,73 kg/s sabit yükleme altında yapılmıştır gerçekleştirilmiştir. (Şekil 2.11)



Şekil 2.10 Eğilme testinin uygulanışı (Kişisel arşiv, 2017)



Şekil 2.11 Basınç testinin uygulanışı (Kişisel arşiv, 2017)

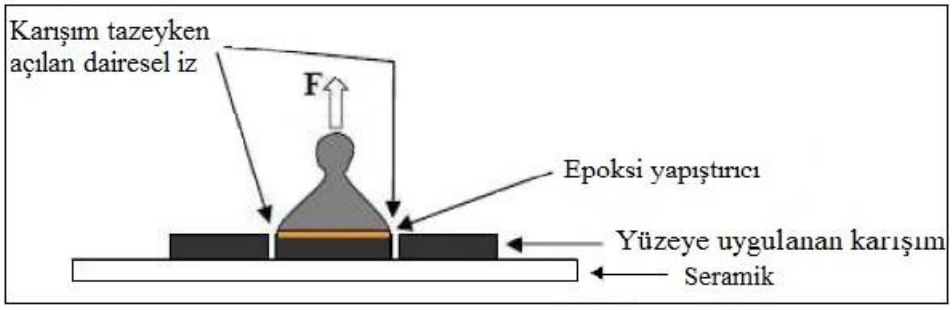
2.3.2.2 Çekme Koparma Testi

Karışımların yapışma mukavemetlerinin belirlenmesi amacıyla 33x33 cm^2 lik fayansların sırsız arka yüzlerine 30x30x1,5 cm boyutlarında çelik çerçeveler kullanılarak plaka şeklinde numuneler hazırlanmıştır. Ayrıca karışım hazırlanırken olası sıvı akışını önlemek amacıyla çelik çerçevelerin dört köşesi de sıkıldıktan sonra çerçeve dış yüzeyleri silikon yardımıyla su geçirmez hale getirilmiştir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 Çekme koparma deneyi hazırlanış aşaması ve alüminyum piyonların yapıştırılması (Kişisel arşiv, 2017)

Hazırlanan numuneler üzerine harçlar priz almaya başladıktan sonra henüz taze halde iken 50 mm çapında dairesel izler açılmış (Şekil 2.13) ve numuneler 27 gün su küründe bekletilmiştir.



Şekil 2.13 Çekme koparma deneyinde kesit görünümü

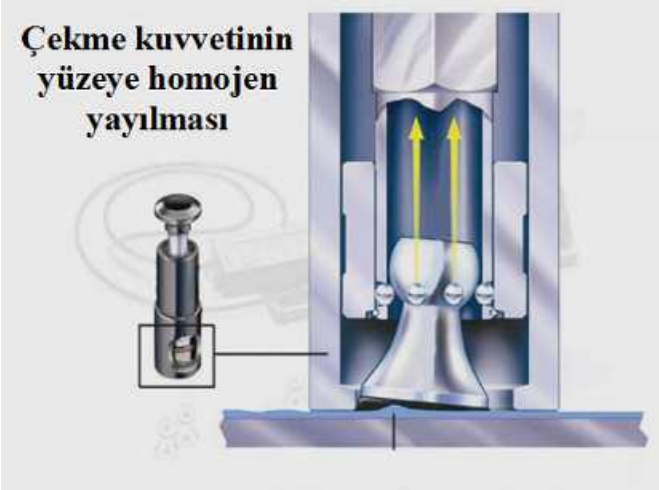
Kürden çıkarılan numuneler 1 gün kurumaya bırakılmış, ardından açılan dairesel izler üzerine 50 mm çaplı alüminyum piyonlar iki bileşenli bir epoksi yardımıyla (epoksi kür süresi 20°C sıcaklıkta bir gün) yapıştırılmıştır.

Karışımların yapışma mukavemetleri ASTM D4541- Tip V baz alınarak Defelsko Positest Çekme-Koparma cihazı kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 2.14).



Şekil 2.14 Defelsko Positest çekme-koparma cihazı (ASTM D4541-Tip V)

Defelsko-Positest cihazı düzgün olmayan yüzeylerde bile çekme kuvvetini homojen ve eşit yaymayı sağlayıcı bir mafsallı bilyeli başlığa sahiptir (Şekil 2.15)

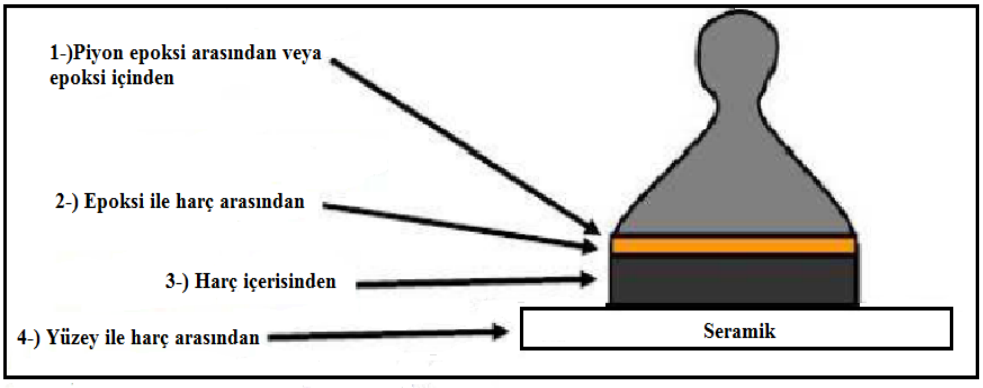


Şekil 2.15 Engebeli yüzeylerde homojen yük dağılımı sağlayan bilyeli sistem (Deflesko Positest)

Çekme koparma testleri sabit çekme gerilmesi hızıyla gerçekleştirilmiştir. Bilyelerin çekme-koparma cihazına tam olarak oturması için 0,1-0,2 MPa kadar

yavaş bir önyükleme gerçekleştirilmiş ardından çekme gerilmesi uygulama hızı yaklaşık 0,75 MPa/s olacak şekilde deneyler gerçekleştirilmiştir.

Çekme koparma deneyi sonrasında kopma yüzeyleri incelenerek kopma davranışı adezif, kohezif veya karma şeklinde adlandırılabilir)(Şekil 2.16). (Baradan ve diğer., 2012



Şekil 2.16 Çekme deneyinde kopması olası kesitler

Adezif kopma, çimento harcının yüzeyden hiç bir parça sökmeden ayrılmasıdır. Çimento harcı ile yüze arasındaki aderansın ve yapışma mukavetinin zayıf olduğunu gösterir. Kohezif kopma; çimento harcının beton yüzeyden belirli bir kesit kadar parça koparark ayrılmasıdır. Bu durum yapışma mukavemeti ve aderans açısından oldukça olumludur. Adezif ve kohezif kopma birlikte karma olarak meydana gelmiş ise kopmanın ardından çimento harcının kesitinin %70'inde yüzeye yapışık olarak kalmışsa bu kopma %70 kohezif kopma olarak adlandırılabilir (Delucci ve Cerisola, 2005). Kopma, yüzey ile çimento harcı arasındaki kesit dışında hangi kesitten olursa olsun, eldeki değer çimento harcının minimum çekme koparma dayanımı olarak kabul edilebilir. Çimento harcı ile yüzey arasındaki bağ sağlamlığı bu durumu destekler niteliktedir (Baradan ve diğer., 2012)

Deneysel çalışmalar kapsamında harcın yapışma yüzeyi ise betondan farklı olarak bir seramiktir. Burada belirleyici olan kopmanın yüzeyden veya harcının kendi iç yüzeyinden olup olmadığı veya alüminyum piyonun harç yüzeyinden kopup kopmadığıdır.

BÖLÜM ÜÇ
DENEYSEL ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

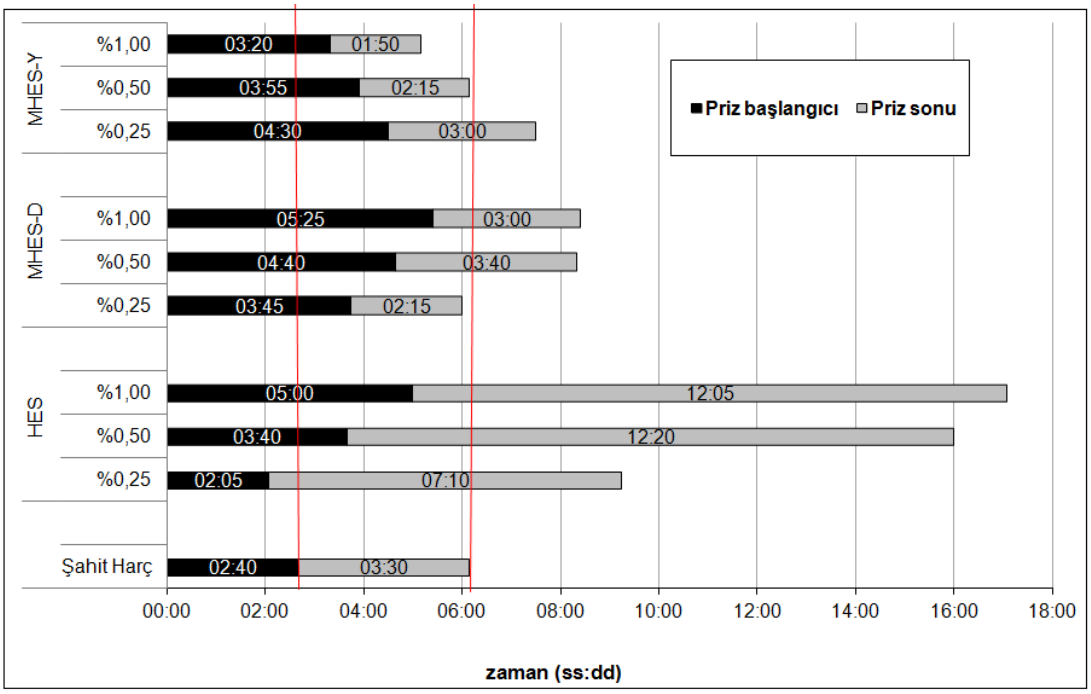
Deneyler taze hal ve sertleşmiş hal deney sonuçları olmak üzere iki başlıkta incelenmiştir.

3.1 Taze Hal Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

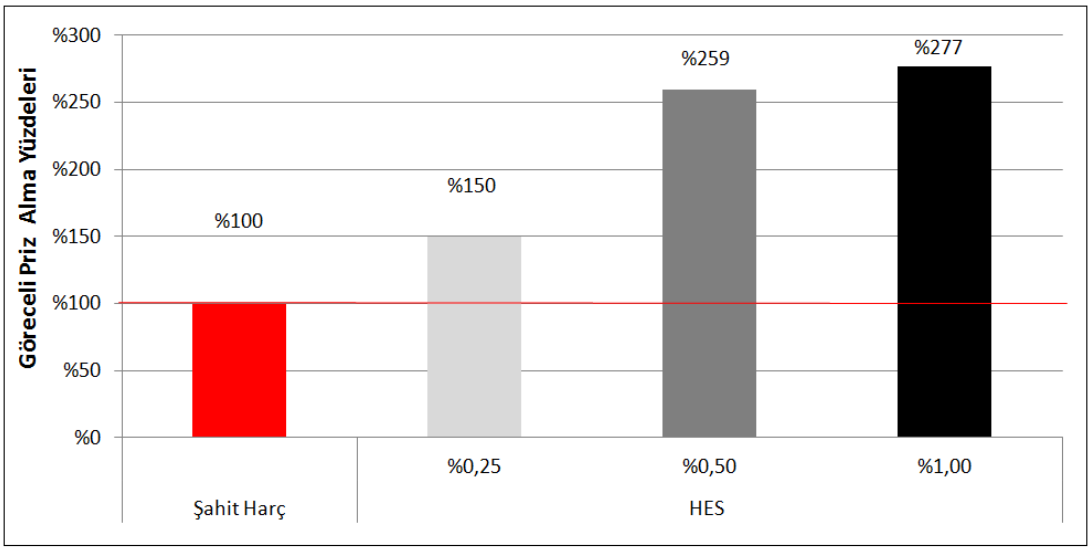
3.1.1 Çimento harcı üzerinde yapılan priz deneyleri

Yapılan deneylerde suda çözünebilen polimer katkılı harçların, katkısız harca göre priz başlangıç ve bitiş süreleri incelenmiştir. Şahit harcın prizi 2 saat 40 dakikada başlamış ve 6 saat 10 dakikada tamamlanmıştır. Bu durumda vicat iğnesi tabana kadar inmiş olup hamurun iğne batış derinliği 38 mm'dir. Şekil 3.1'de suda çözünebilen hidroksietil selüloz (HES) ve metil hidroksietil selüloz polimerlerinin %0,25, %0,50, %1,00 kullanım oranlarında priz başlangıç ve bitiş süreleri gösterilmiştir. MHES-Y katkısı haricindeki katkılar genel olarak priz sürelerini dozaj artışına bağlı olarak uzatmıştır. HES katkısı 17 saat 5 dakikada katılaşmasını tamamlayarak priz süresini en çok uzatan katkı olmuştur. MHES-Y katkısı ise HES katkısının tersine, katkı dozajı artışına bağlı olarak priz süresini kısaltmıştır.

HES katkısının %0,25 oranında kullanımında, prize başlama süresi şahit harca göre 35 dakika erken olsa da diğer katkıların her üç oranında, prize başlama süresini şahit harca kıyasla artırmıştır. HES katkısının priz bitiş süresi; şahit harca kıyasla %0,50 katkı dozajında kullanıldığında %159, %1,00 dozajında kullanıldığında ise %177 artmıştır. Katkılarının şahit harca göre priz sürelerinin yüzdesel değişimi Şekil 3.2'de verilmiş olup göreceli priz alma yüzdeleri olarak adlandırılmıştır.

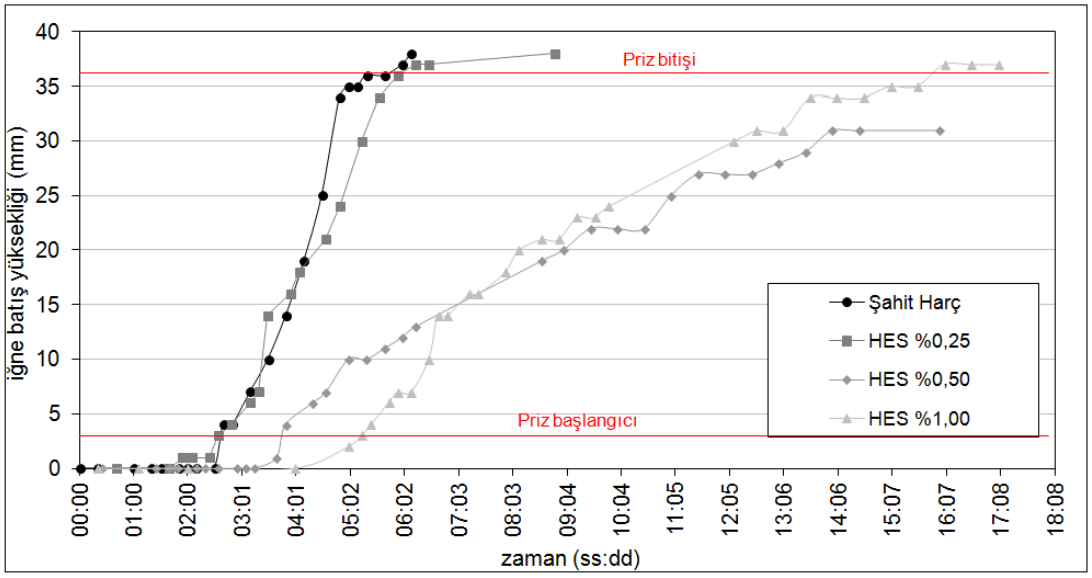


Şekil 3.1 Suda çözünebilir polimerlerin priz başlangıç ve bitiş süresi üzerindeki etkisi



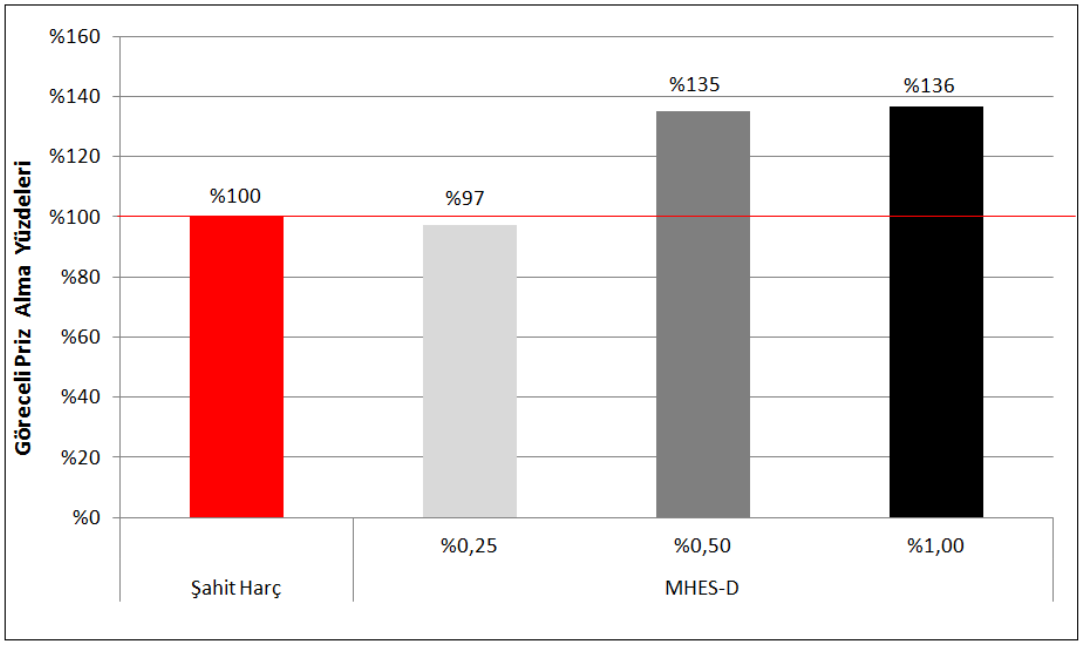
Şekil 3.2 HES katkısının şahit harca kıyasla priz süresi değişimi

HES katkısının, priz başlangıç ve bitiş zamanı göz önünde bulundurularak çizilen grafiğinde, dozaj artışına bağlı olarak vicat iğnesi batış yüksekliğinin zamana bağlı değişiminin şahit harca oranla daha eğimli olduğu görülmüştür. Bu da uzun vadede katlaşmanın gerçekleştiğinin ve aynı zamanda hidratasyon gelişiminin yavaş seyrettiğinin bir göstergesidir (Şekil 3.3).



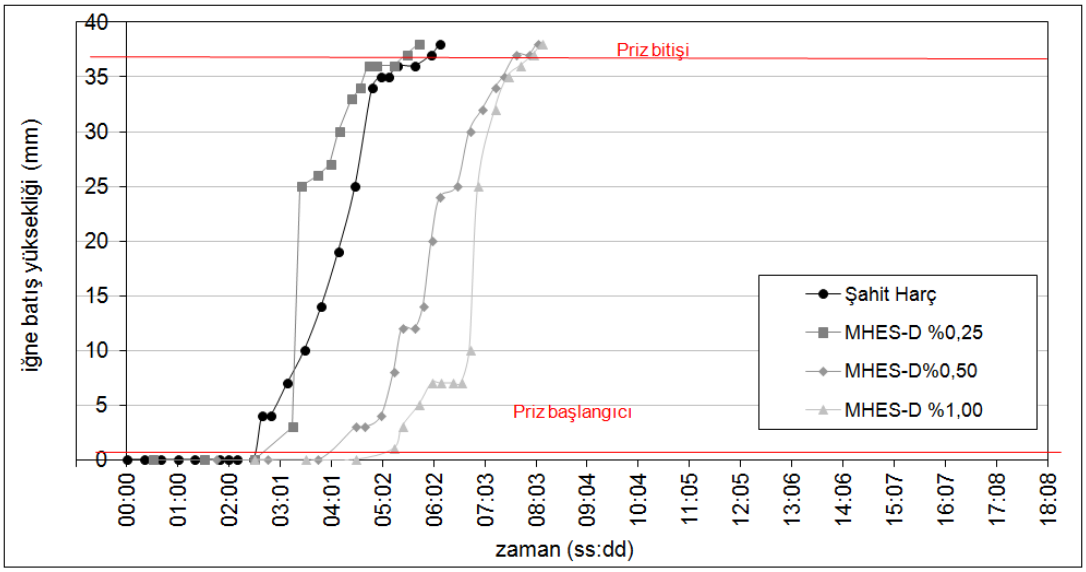
Şekil 3.3 HES katkısının iğne batış yüksekliğinin zamana bağlı değişimi

MHES-D katkısının prize başlama süresi şahit harca kıyasla tüm dozajlarda artmıştır. Priz bitiş süresinin ise %0,25 dozlu katkılı karışımda şahit harca kıyasla %3 oranında azaldığı görülmüştür. %0,5 ve %1 dozajlında ise priz bitiş süresi şahit harca göre %35-36 oranında artmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 MHES-D katkısının şahit harca kıyasla priz süresi değişimi

MHES-D katkısının iğne batış yüksekliğinin zamana bağlı değişimi incelendiğinde her üç dozajda da priz başlangıç zamanının ötelendiğinin, priz başlangıcından sonra ise iğne batış derinliğinin genel olarak şahit harca benzer bir şekilde azaldığı görülmüştür. Bu da prizin başlangıcının gecikse de bu süreçten sonra priz alma (tamamlama) davranışının zamana bağlı olarak benzer olduğunu göstermiştir (Şekil 3.5).

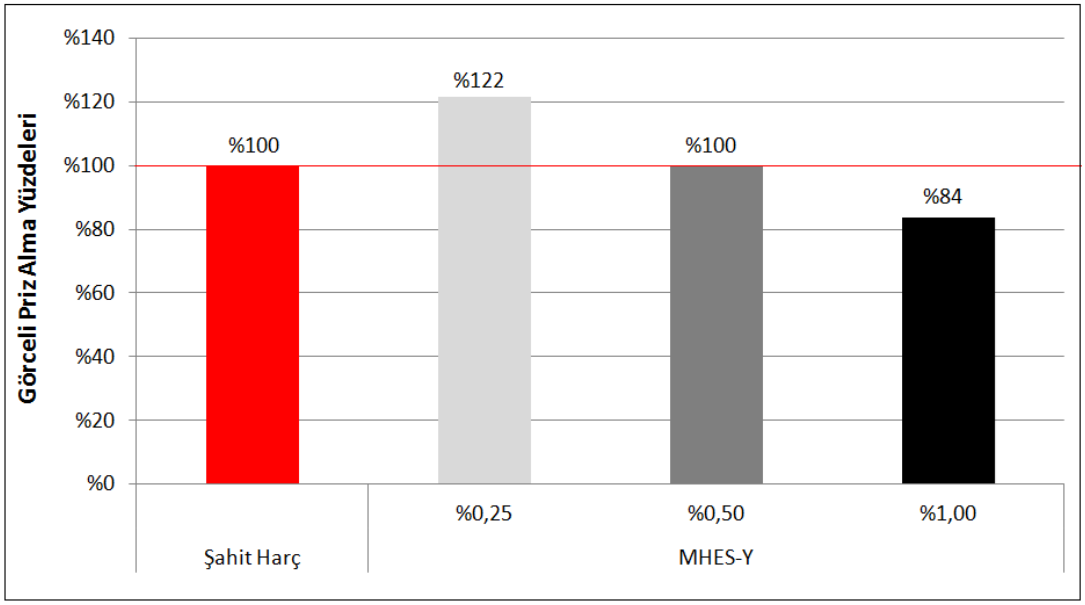


Şekil 3.5 MHES-D katkısının iğne batış yüksekliğinin zamana bağlı değişimi

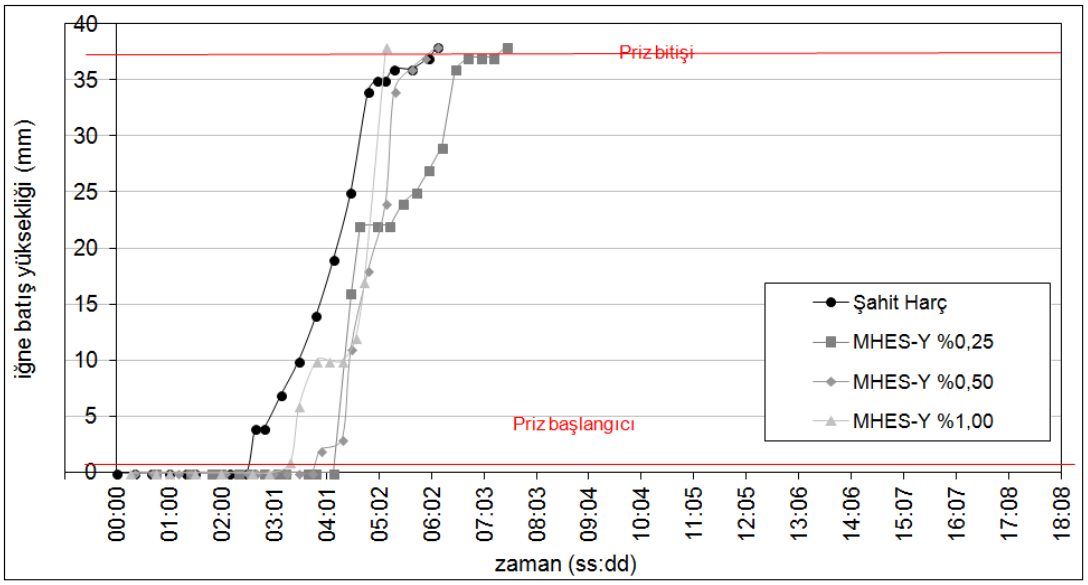
MHES-Y katkısı da MHES-D katkısına benzer şekilde priz başlama süresini şahit harca oranla tüm dozajlarda artırmıştır. Priz bitiş süresi ise %0,25 katkılı dozajda şahit harca göre %22 oranında artarken, %0,50 katkı dozajında şahit hara göre bir değişiklik göstermemiştir. Buna karşılık, MHES-Y katkısı %1,00 dozajında şahit harca kıyasla %16 oranında erken priz alınmasına yol açmıştır (Şekil 3.6).

MHES-Y katkısının zamana bağlı iğne batış yüksekliği davranışı incelendiğinde 40 dakika ile 1 saat 50 dakika aralığında değişen priz başlangıcı ötelenmesi olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.7). Ayrıca %0,50 ve %1,00 katkılı harçlarda priz başlangıç ile bitişi arasındaki periyodun kısaldığı ve eğim değişiminin şahit harca kıyasla arttığı belirlenmiştir. Bu iki harcın aksine %0,25 katkılı harç ise priz başlangıç ve bitiş süreleri arasında şahit harca paralel davranış sergilemekle beraber priz bitiş

süresini bir miktar ötelemiştir. Bu da hidratasyonun ötelenmesinin diğer iki katklı harca göre daha fazla olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.6 MHES-Y katkısının şahit harca kıyasla priz süresi değişimi



Şekil 3.7 MHES-Y katkısının iğne batış yüksekliğinin zamana bağlı değişimi

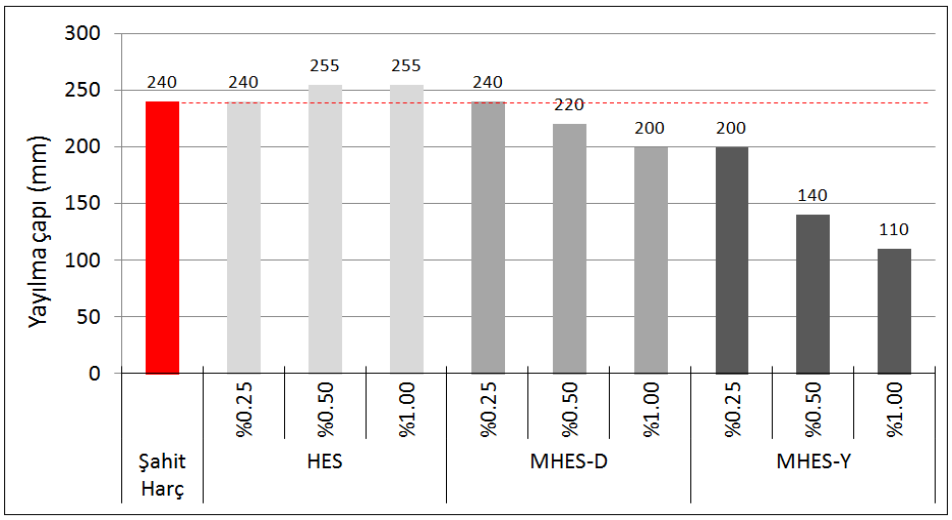
HES, MHES-D ve MHES-Y katkılarının aynı su: çimento: agrega oranlarında aynı koşullarda, priz süresi açısından farklı karakteristikte olmaları; katkıların moleküler yapısına, moleküler ağırlığına veya hidratasyon gelişimini engelleyen ya

da öteleyen bir nedene bağlı olabileceği fikrini oluşturmaktadır. Pourchez'in (2005) farklı türdeki selüloz katkılarının çimento hidratasyonu üzerindeki etkilerini incelediği bir çalışmada da bu fikri destekler niteliktedir. Bu çalışmada farklı moleküler yapıdaki selüloz eterlerinin hidratasyon ürünü olan portlandit (CH) çökelmesine bağlı olarak priz süresinin uzayabileceği belirtilmiştir.

Tez kapsamında yapılan çalışmalarda MHES-Y katkısının priz süresi açısından şahit harca benzer bir davranış göstermesi ve hatta %1,00 katkı oranında priz süresinde %16 oranında azalması yukarıda belirtilen görüşlerle tezatlık oluşturmaktadır. Bu durumun oluşmasındaki nedenin ise selüloz eterinin radikal grubundaki değişimin moleküler yapı üzerindeki etkisiyle açıklamak mümkün olabilir. Cherop (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, tez kapsamındaki deneysel sonuçlara paralel olarak selüloz eterinin değişken grubuna metoksil grubunun katılmasıyla priz gecikmesinin engellenebileceği göstermiştir. Bir diğer deyişle metoksil grubu içeriği azaldıkça priz gecikme miktarının artacağı rapor edilmiştir.

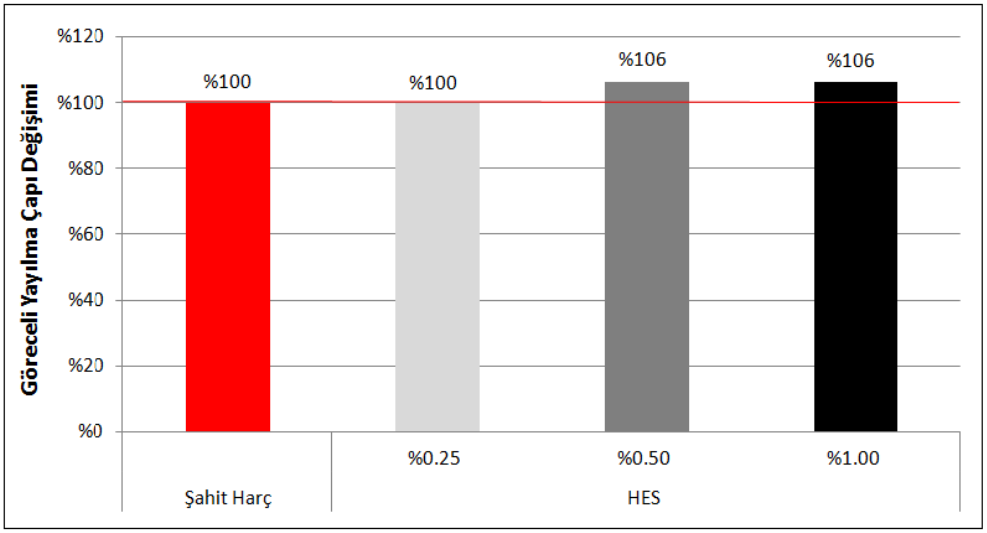
3.1.2 Çimento Harçlarının Yayılma Çaplarının Değerlendirilmesi

Suda çözünebilir polimerlerin %0,25, %0,50 ve %1,00 katkı dozajlarında kullanımlarına bağlı çimento harcının yayılma çaplarına etkileri Şekil 3.7'de görülmektedir. HES katkılı harç yükselen dozajlarda az da olsa yayılma çapını artırmıştır. Metil katkılı selüloz türevi harçlarda ise HES katkısının aksine, artan katkı dozajı ile ters orantılı olacak şekilde yayılma çapında azalış gözlemlenmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Selüloz türevi katkıların yayılma çapı üzerindeki etkileri

HES katkısı, çimento harcına %0,25 oranında ilave edildiğinde yayılma çapında herhangi bir değişim meydana getirmemiştir. %0,50 ve %1,00 katkı dozajlarında ise şahit harca göre %6 oranında bir yayılma çapı artışı meydana getirmiştir (Şekil 3.9). Özellikle %1,00 oranında harç şahit harca kıyasla daha akışkan bir davranış göstererek yayılma tablasının dışına taşmıştır (Şekil 3.10). Şekil 3.10 deneyin yapılışının ilk dakikalarını göstermektedir.



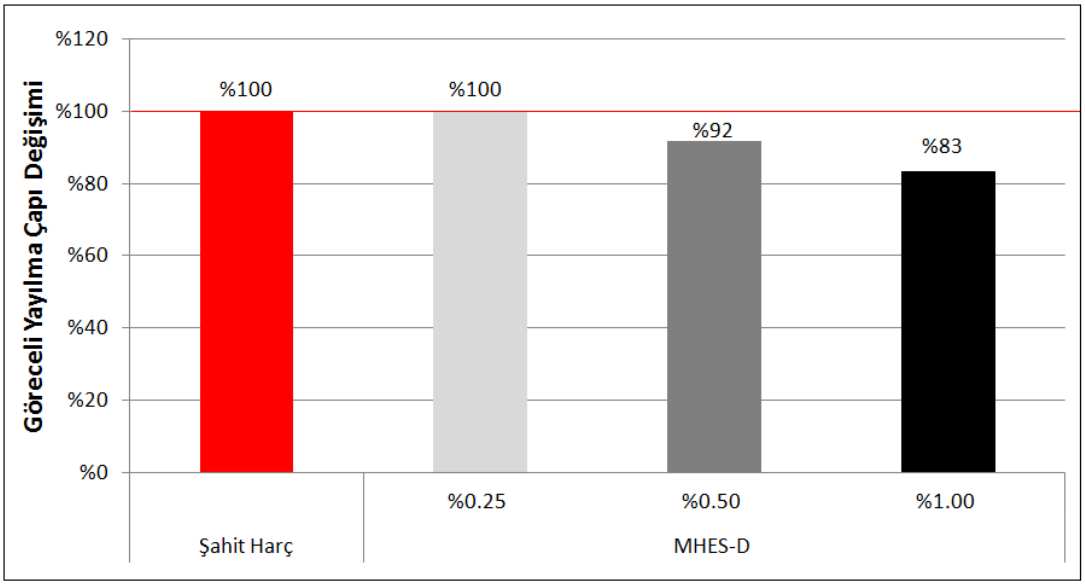
Şekil 3.9 HES katkısının şahit harca kıyasla yayılma çapı değişimi



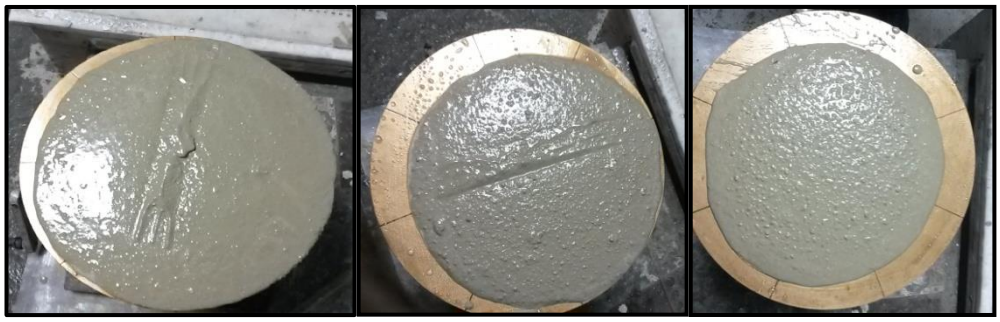
Şahit harç HES katkısı (%1,00)

Şekil 3.10 HES katkısının (%1,00 dozajlı) şahit harca kıyasla yayılma çapı değişimi (Kişisel arşiv, 2017)

MHES-D katkısı da HES katkısına benzer şekilde, %0,25 katkı dozajında harç yayılma çapı üzerinde herhangi bir değişim meydana getirmemiştir. Fakat artan dozajlarda (%0,50 ve %1,00) çimento harçlarında sırasıyla %8 ve %17 oranında bir yayılma çapı azalışı görülmüştür (Şekil 3.11). Bu durum aynı zamanda fotoğraflarla da gösterilmiştir (Şekil 3.12).



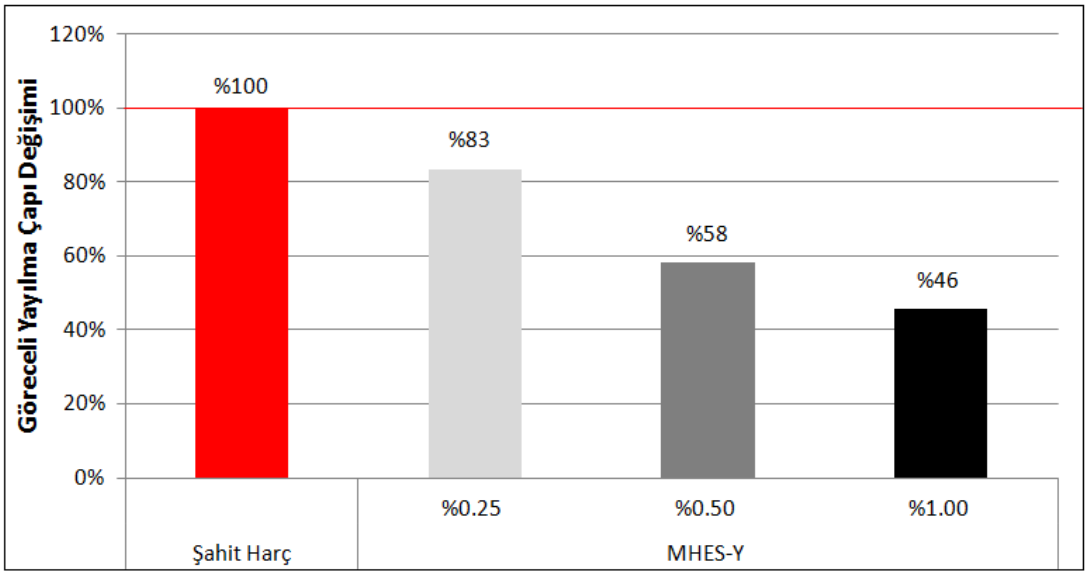
Şekil 3.11 MHES-D katkısının şahit harca kıyasla yayılma çapı değişimi



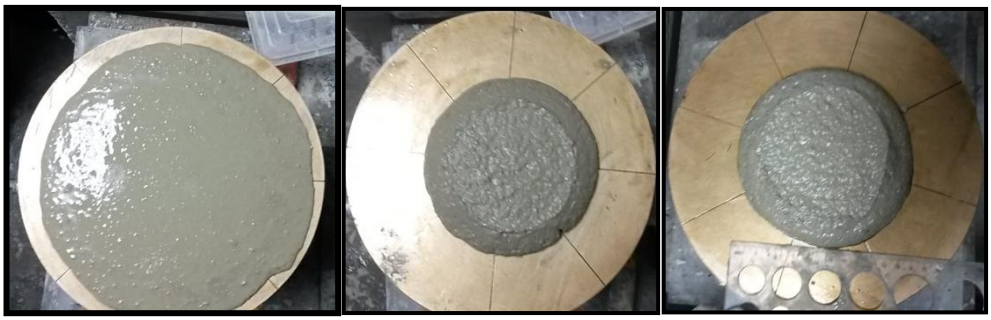
%0,25 %0,50 %1,00

Şekil 3.12 MHES-D katkısının farklı dozajlarda yayılma çapı değişimi (Kişisel arşiv, 2017)

MHES-Y katkısı ise, yayılma çapı üzerindeki etkilerinin çimento harcında en belirgin şekilde gözlemlenebildiği selüloz eteri katkısı olmuştur. Artan dozaja bağlı olarak yayılma çapı üzerinde çok keskin bir azalış ivmesi gözlemlenmiştir. %0,25 katkılı harçta %17 civarında bir azalış gözlemlenirken, %0,50 katkılı harçta %42, %1,00 katkılı harçta ise %54 civarında bir azalma kaydedilmiştir (Şekil 3.13). Bu durum çekilen fotoğraflarla da gösterilmiştir. (Şekil 3.14).



Şekil 3.13 MHES-Y katkısının şahit harca kıyasla yayılma çapı değişimi



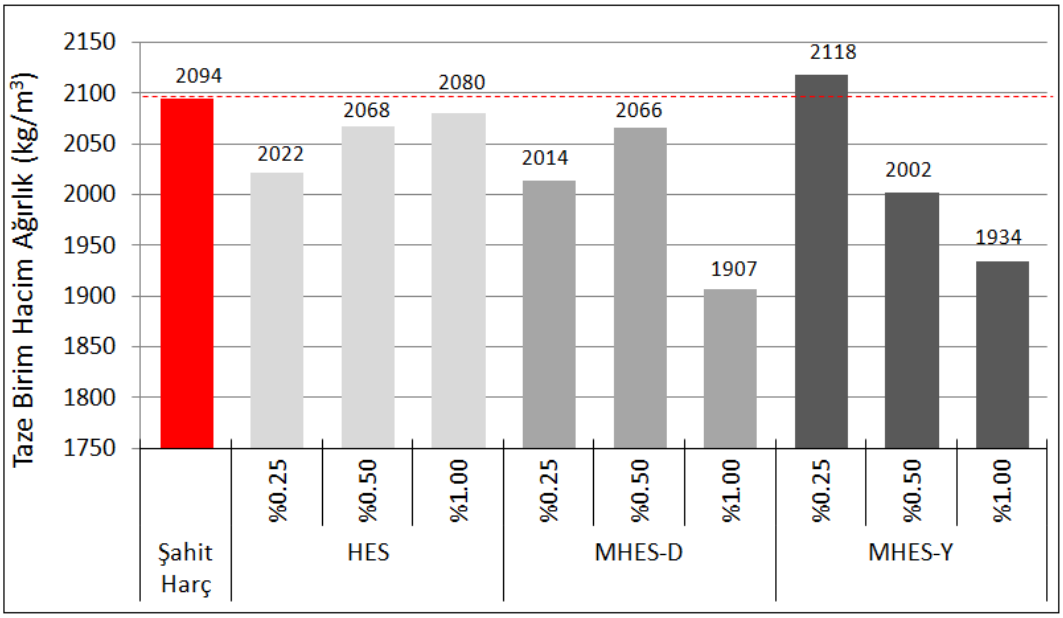
%0,25 %0,50 %1,00

Şekil 3.14 MHES-Y katkısının farklı dozajlarda yayılma çapı değişimi (Kişisel arşiv, 2017)

Selüloz türevlerinin işlenebilirlik performansları, yayılma çapları açısından değerlendirildiğinde, farklı dozajlarda farklı davranışlar sergilediği görülmektedir. Örneğin HES katkılı harcın, artan dozajlarda aşırı akışkan olduğu ve yayılma tablasının dışına taştığı gözlemlenmiştir. Bu durum, HES katkısının karışım harcına hava sürükleme yoluyla ve kısa polimer zincirlerinin kaydırıcı vazifesi görmesi yoluyla işlenebilirlik özelliği kazandırdığını düşündürmektedir. Ohama (1997), tarafından da belirtildiği gibi polimer katkılar genel olarak işlenebilirlik açısından karışıma olumlu katkılar yaparlar. Ayrıca yapılan bu çalışmalarda polimer taneciklerin hava sürükleme özelliği ve kaydırıcı etkilerinin işlenebilirliği artırdığından da bahsedilmektedir. Ancak MHES-D katkısının ve özellikle de MHES-Y katkısının yukarıda bahsedilenlerin tam aksine bir davranış sergilemesi de bu durumun tek bir parametre ile açıklanamayacağını, selüloz eterindeki moleküler farklılıkların çimento harcının farklı davranışlar sergilemesine neden olduğunu göstermektedir. Göreceli olarak uzun polimer zincirlere sahip MHES grubu katkılar işlenebilirliği olumsuz etkilemiştir. Hatta MHES-Y katkısının %1,00 dozajlı kullanımında bu azalma şahit harca kıyasla %54 gibi oldukça yüksek bir orana çıkmıştır. Bu durum da HES katkısının aksine MHES katkılarının, su tutucu özelliği ve işlenebilirliği azaltıcı özellikte olduğunu göstermektedir. Buradaki mekanizmanın, uzun zincirlerle azalan kaydırıcılık etkisi ve baskınlaşan su tutma, üç boyutlu ağ oluşturma etkileri olduğu düşünülmektedir.

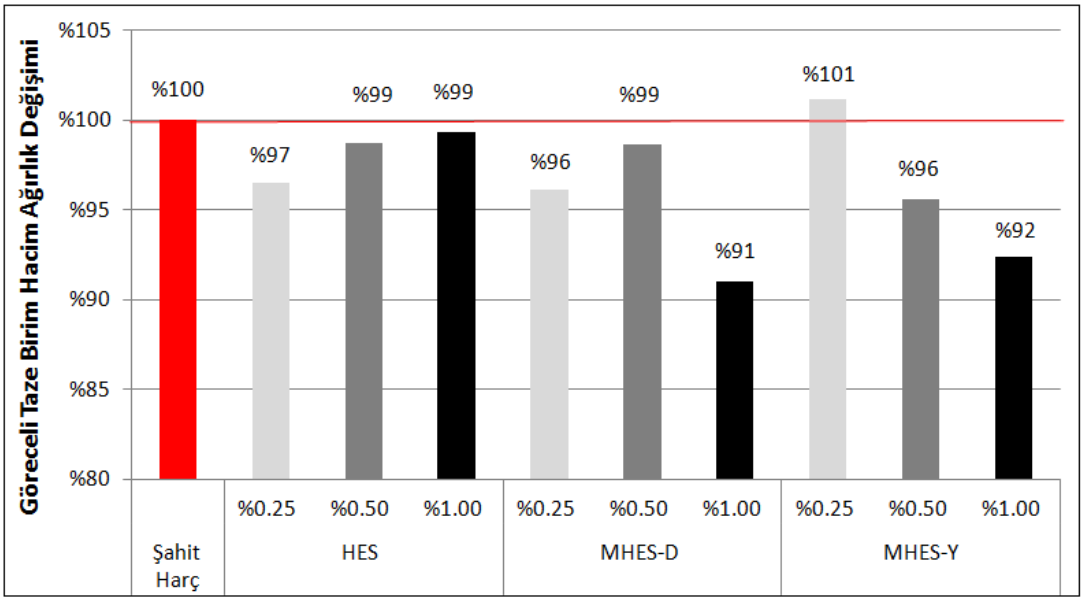
3.1.3 Taze Birim Hacim Ağırlıklarının Tespit Edilmesi

Taze birim hacim ağırlıkların tespitine yönelik yapılan çalışmalar kapsamında yapılan deneylerde, selüloz türevi katkıların genel olarak şahit harca kıyasla, katkılı harçların taze birim hacim ağırlıklarını azaltıcı etki gösterdiklerini söylemek mümkündür (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 Selüloz türevi katkıların taze birim hacim ağırlık üzerindeki etkileri

Selüloz türevi katkıların şahit harca kıyasla yüzdesel taze birim hacim ağırlık değişimleri incelendiğinde; HES katkısının çimento harcının taze birim hacim ağırlığını (%1-3 aralığında) düşürdüğü tespit edilmiştir (Şekil 3.16). Bu oran, artan katkı dozajına bağlı olarak azalmıştır. Ortaya çıkan durum, katkının harç içerisine az da olsa hava sürüklediğini düşündürmektedir. Aynı zamanda yayılma çapı ölçüm deney sonuçlarında da benzer sonuçlar elde edilen HES katkılı harcın, artan dozaja bağlı olarak yayılma tablasının dışına taşmasının bir nedeni de taze birim hacim ağırlığın azalması olabilir. Ohama (1997), polimer katkılarının harca işlenebilirlik ve hava sürükleme gibi özellikler kazandırdığını rapor etmiştir ve bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar ile örtüşmektedir.

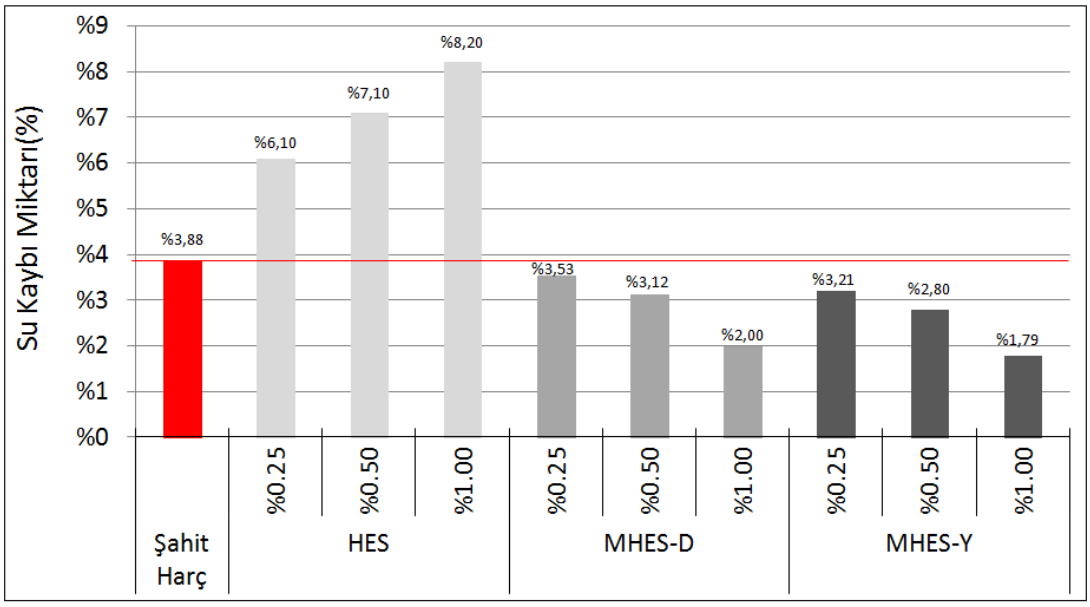


Şekil 3.16 Selüloz türevi katkıların şahit harca kıyasla birim hacim ağırlık değişimleri

Hava sürüklemeye bağlı olarak ortaya çıkan en belirgin sonuç %1,00 katkı dozajlı MHES-D ve MHES-Y katkılarında gözlemlenmiştir. Bu harçların birim hacim ağırlıklarında, yaklaşık olarak %8-9 gibi bir düşüş (Şekil 3.16) gözlemlenmiştir ki bu oran 1 metreküplük karışımın ağırlığında 160-190 kg. civarında bir azalmaya denk gelmektedir. Bu sonuçlar; metil kökenli selüloz türevi katkıların hidroksi etil selüloza göre daha fazla hava sürüklediğini göstermektedir. Bu duruma ek olarak bir diğer nedenin de sıkışık hava boşluklarından kaynaklandığı söylenebilir.

3.1.4 Çimento Harcının Ağırlıkça Su Kaybı Oranlarının Değerlendirilmesi

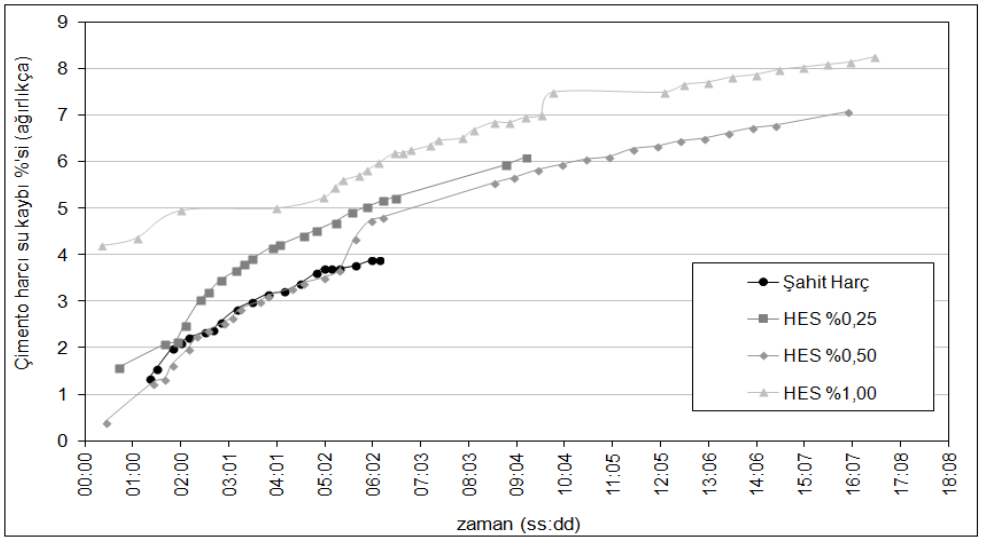
Selüloz eteri katkılı harçların su tutma davranışları, yapılan deneysel çalışmalarda incelenmiştir. Söz konusu harçların su tutma miktarları, şahit harca göre kıyaslanmıştır (Şekil 3.17).



Şekil 3.17 Selüloz türevi katkıların şahit harca kıyasla su kaybı miktarı değişimleri

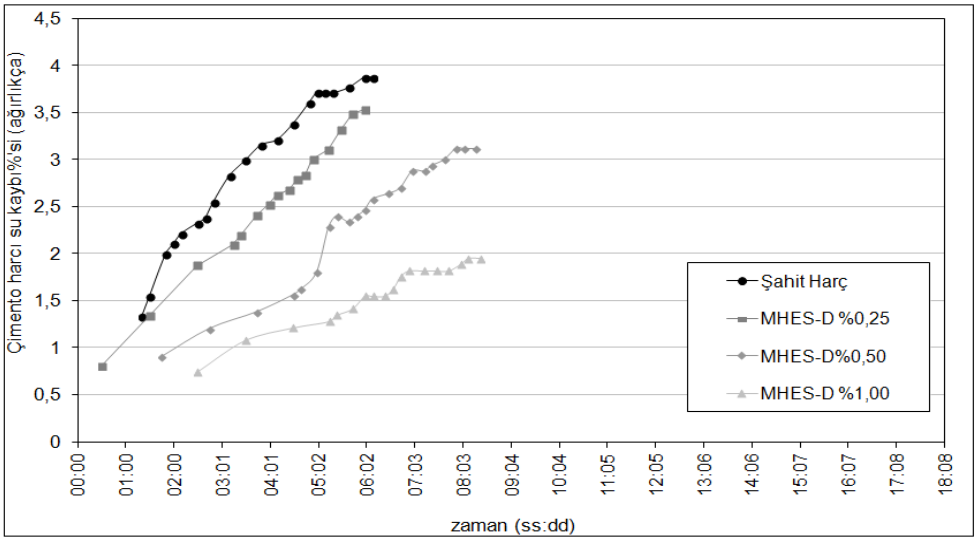
Serilerin su tutma performansları değerlendirildiğinde, tüm karışımlar içinde su tutma yeteneği en az olan karışımların HES serisi olduğu tespit edilmiştir. Bu durum kullanılan HES katkısının su itici özelliği olduğunu gösteren dolaylı bir sonuç olarak değerlendirilebilir. MHES-D ve MHES-Y katkılarında ise HES katkısının tersine su tutma davranışı açısından olumlu sonuçlar gözlemlenmiştir. Hem MHES-D hem de MHES-Y katkısının şahit harca kıyasla su tutma kapasitelerinin yüksek olduğu görülmüştür.

HES katkısının su itici özellik göstermesi nedeniyle, harçlardaki su tutma miktarı şahit harca göre daha azdır (Şekil 3.18). HES katkısının su tutma performansı incelendiğinde; artan dozaja bağlı olarak harç bünyesinden uzaklaşan su miktarının arttığı görülmüştür. Şahit harcın su kaybı miktarı %3,88 iken, harca eklenen HES katkılı harçlarda ise su kaybı miktarı %8,20 oranlarına kadar yükselmiştir. Bu çalışmalara paralel olarak priz alma davranışlarının değerlendirildiği deneysel çalışmalar da göz önüne alınırsa, HES katkılı harcın su tutma kapasitesindeki düşüş sonucu, hidratasyonun gelişimini sağlayacak yeterli suyun çimento taneleri ile temasının hidrofob yapı nedeniyle engellenmesi, priz süresinin gecikmesinin bir diğer nedeni olarak da değerlendirilebilir.



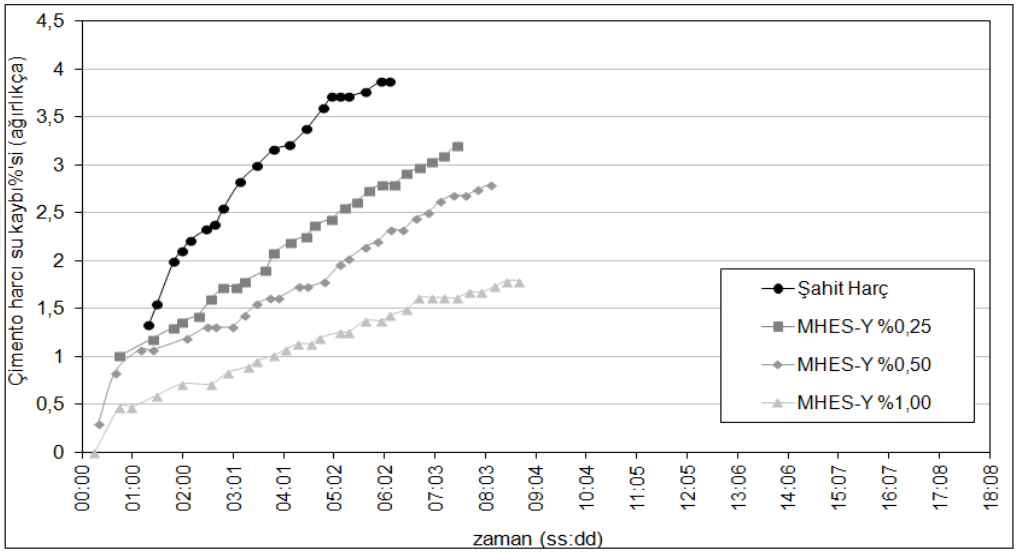
Şekil 3.18 HES katkısının şahit harca kıyasla su kaybı miktarı değişimleri

MHES-D ve MHES-Y katkıları ise HES katkısının tam aksine artan dozajda harcın bünyesinden su kaybını önemli derecede azaltmıştır. MHES-D katkısı incelendiğinde, su kaybı miktarları artan dozaja bağlı olarak sırasıyla %3,53, %3,12 ve %2,00 seviyelerinde olduğu görülmüştür. MHES-D katkısının harç içerisindeki su kaybı yüzdelerine de bakıldığında, MHES-D katkısının belirgin bir şekilde su kaybının azaldığı görülmüştür (Şekil 3.19).



Şekil 3.19 MHES katkısının şahit harca kıyasla su kaybı miktarı değişimleri

MHES-Y katkısı da MHES-D katkısına paralel olarak su tutma performansı açısından benzer davranış göstermiştir. MHES-Y katkısının su kaybı miktarlarının, artan dozaja bağlı olarak %3,21, %2,80 ve %1,79 oranlarında olduğu gözlemlenmiştir. MHES-Y katkılı çimento harçlarının da MHES-D katkısına benzer şekilde dozaj artışının, harçtaki su kaybını oldukça belirgin bir şekilde azalttığı görülebilmektedir. (Şekil 3.20).



Şekil 3.20 MHES-Y katkısının şahit harca kıyasla su kaybı miktarı değişimleri

Harçların yayılma çaplarının incelendiği deneysel sonuçları da beraber ele alırsak, harçların ayrışma dirençlerinin artmasının, MHES-D ve MHES-Y katkılı harçlarda suyun polimer ağı sayesinde harç bünyesinde iyi hapsedildiğinin bir göstergesi olarak da yorumlanabilir.

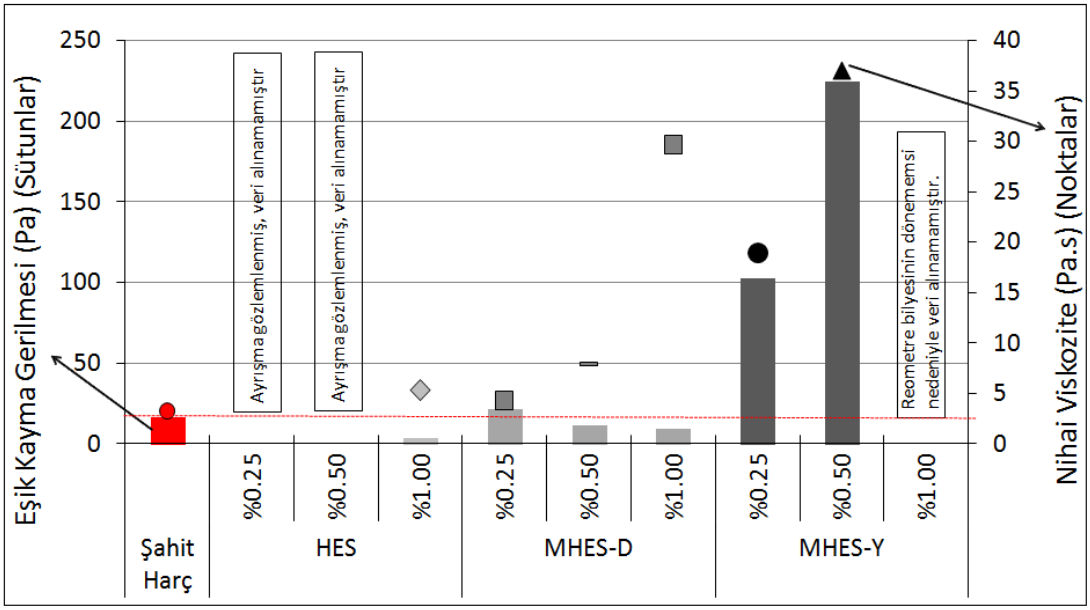
3.1.5 Reolojik Karakterizasyon İçin Yapılan Çalışmalar

Deneysel çalışmalar kapsamında, reolojik karakterizasyonun belirlenmesi amacıyla, reometre analizleri sonucunda kayma gerilmesi- zaman grafikleri ve viskozite-zaman grafikleri elde edilmiştir. Deney verilerinin Herschel-Bulkley modeli ile modellenmesi sonucu elde edilen eşik kayma gerilmesi, nihai viskozite değerleri ve katsayılar Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Reometre analizi sonucunda elde edilen değerler

Numuneler	Kullanım Yüzdesi	τ_0 (Pa)	η(Pa.s)	b	p
Şahit		16,76	3,28	9,21	0,47
HES	%0,25	Ayrışma gözlemlenmiştir, veri alınamamıştır			
HES	%0,50	Ayrışma gözlemlenmiştir, veri alınamamıştır			
HES	%1,00	3,50	5,30	16,85	0,56
MHES-D	%0,25	21,80	4,31	10,36	0,52
MHES-D	%0,50	11,62	7,89	25,63	0,53
MHES-D	%1,00	9,46	29,67	101,38	0,54
MHES-Y	%0,25	102,63	18,91	27,54	0,69
MHES-Y	%0,50	224,69	37,03	85,89	0,47
MHES-Y	%1,00	Aşırı yapışkanlık gözlemlenmiştir, veri alınamamıştır			

Harçların reometre deneylerinden elde edilen eşik kayma gerilmesi ve nihai viskozite değerleri Şekil 3.21'de sırasıyla sütun ve nokta grafikler şeklinde reolojik açıdan gösterilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda HES, MHES-D ve MHES-Y katkılarının çok farklı davranışlar gösterdiği görülmüştür.



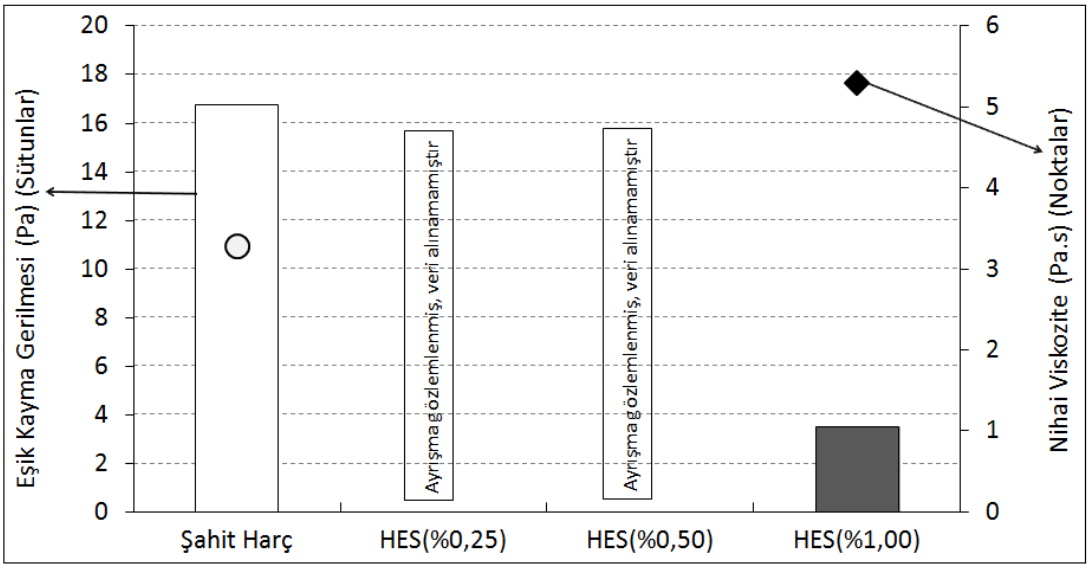
Şekil 3.21 Reometre deneylerinden elde edilen eşik kayma gerilmesi ve viskozite değerleri

HES katkılı karışımda şahit harca kıyasla, göreceli olarak yakın bir nihai viskozite değeri sağlanırken, MHES-D ve MHES-Y katkılarında viskozite değeri oldukça yüksek değerlere ulaşmıştır. Ayrıca bu oran MHES-Y katkısının %0,5 dozajlı

karışımında, şahit harca kıyasla %1029 seviyelerine kadar çıkabilmiş ve hatta MHES-Y katkılı harcın %1,00 dozajında ise aşırı yapışkanlıktan kaynaklı reometre bilyesi dönememiş ve sağlıklı veri alınamamıştır.

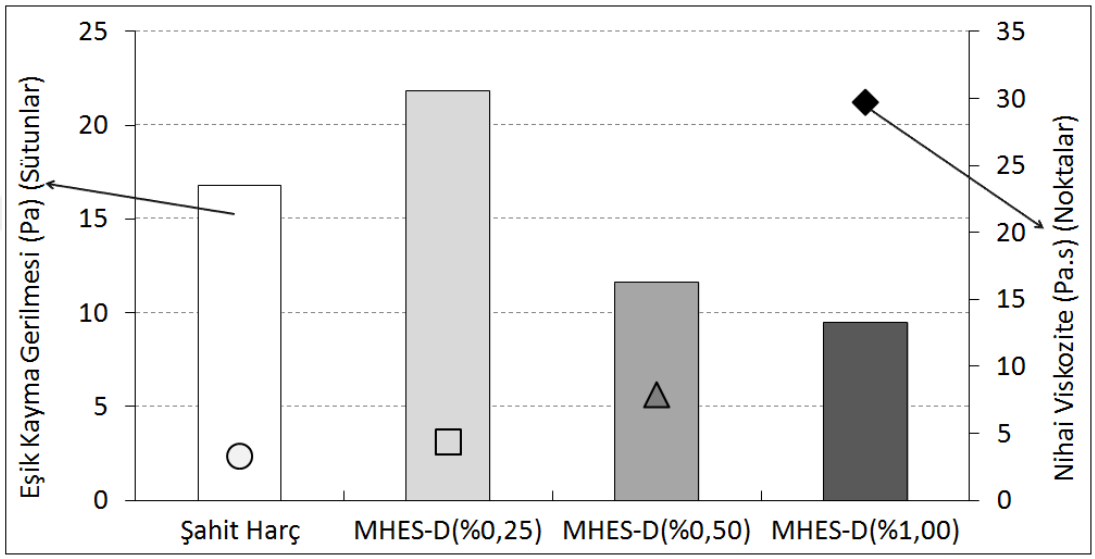
Katkılı harçların, şahit harca kıyasla göreceli eşik kayma gerilmeleri değerlendirildiğinde ise, HES katkılı harç %1,00 katkı oranında eşik kayma gerilmesini düşürse de şahit harca yakın bir değerde kalmıştır. MHES-D katkısı ise %0,25 katkı dozajında harcın eşik kayma gerilmesini artırırken, MHES-Y katkısında ise bu oran şahit harca kıyasla %1241 gibi oldukça belirgin seviyelere çıkmıştır (Şekil 3.24a).

HES katkısının %0,25 ve %0,50 katkı dozajlı karışımlarında, reometre beheri içerisinde harcın çökeldiği ve ayrıştığı gözlemlenmiş olmasından kaynaklı veri alınamamıştır. %1,00 katkı dozajlı karışımda ise şahit harca kıyasla artan nihai viskozite değeri söz konusu iken belirgin şekilde azalmış bir eşik kayma gerilmesi gözlemlenmektedir (Şekil 3.22). En yüksek dozajda taze harcın stabil kalması, harcın polimer ağının oluşması için yeterli dozaja sahip olmasına bağlanabilir.



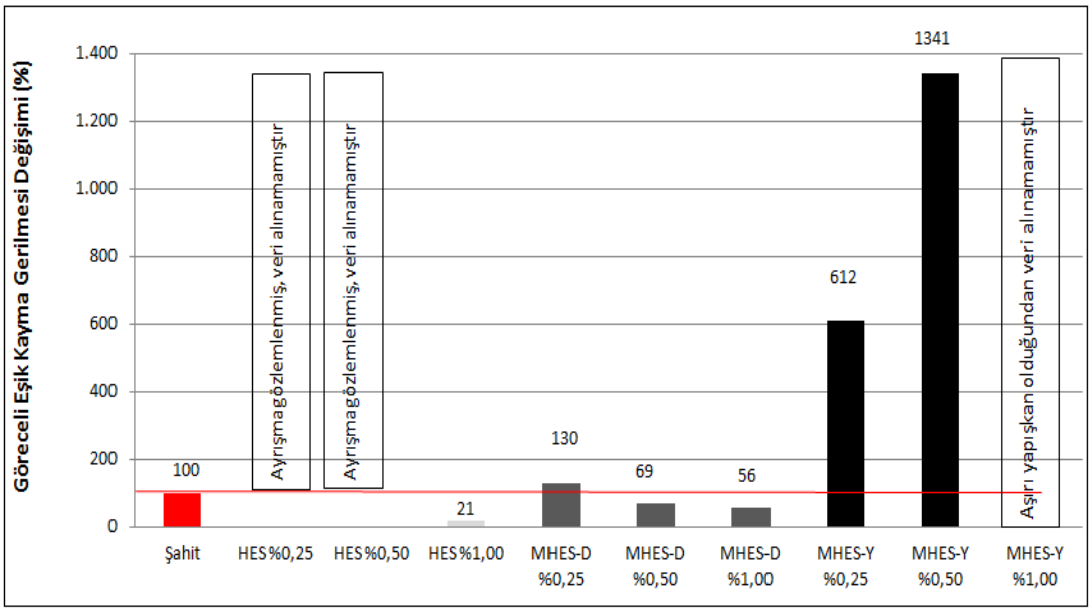
Şekil 3.22 HES katkısının şahit harca kıyasla reometre deneylerinden elde edilen eşik kayma gerilmesi ve viskozite değerleri

MHES-D katkılı harçlarda ise %0,50 katkı dozajına kadar nihai viskozite değerinde çok büyük bir değişim söz konusu değilken %1,00 katkı dozajlı harçta şahit harca kıyasla %805 oranında bir artış görülmüştür (Şekil 3.23). Eşik kayma gerilmelerinde ise %0,25 katkılı harçta %30 civarında bir artış gözlemlense de %0,50 katkılı harçta %31 oranında azalış gözlemlenmiştir. Hatta %1,00 katkı dozajlı harçta buz azalış oranı %44 seviyelerine çıkmıştır (Şekil 3.23).

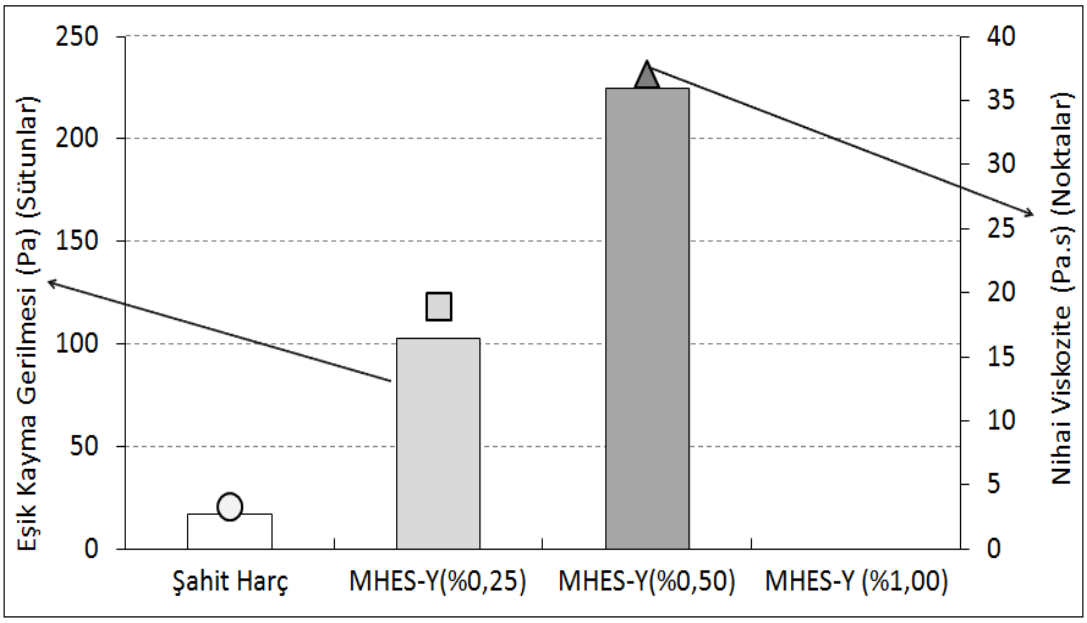


Şekil 3.23 MHES-D katkısının şahit harca kıyasla reometre deneylerinden elde edilen eşik kayma gerilmesi ve viskozite değerleri

MHES-Y katkılı harçta ise hem nihai viskozite değerleri hem de eşik kayma gerilmesi değerlerinde, artan katkı dozajıyla doğru orantılı olacak şekilde oldukça belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Nihai viskozite değeri %0,25 katkılı harçta şahit harca göre %477 civarında bir atış var iken %0,50 katkılı harçta bu oran %1029 seviyelerine kadar çıkmıştır, %1,00 katkılı harçta da aşırı yapışkanlıktan kaynaklı veri alınamamıştır (Şekil 3.24a). Eşik kayma gerilmeleri ise %0,25 katkılı harçta şahit harca göre %512; %0,50 katkılı harçta %1241 oranında bir atış gözlemlenmiştir (Şekil 3.24b).



a) Karışımların göreceli eşik kayma gerilmesi değişimi



b) MHES-Y katkısının şahit harca kıyasla reometre deneylerinden elde edilen eşik kayma gerilmesi ve viskozite değerleri

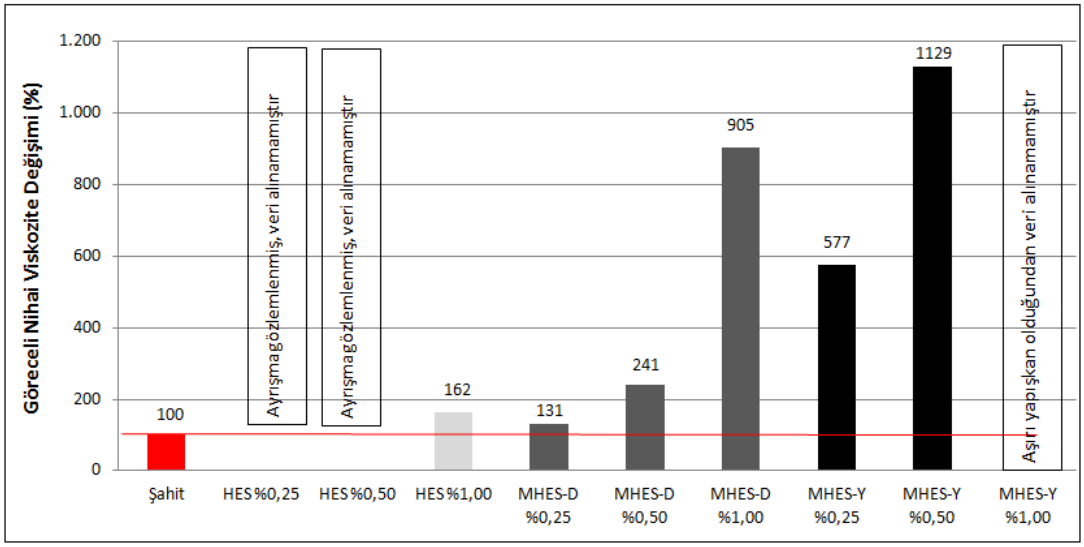
Şekil 3.24 Karışımların göreceli eşik kayma gerilmesi değişimi ve MHES-Y katkısının viskozite değerleri

Yapılan çalışmaların devamında harçların Herschel-Bulkley (HB) analizleri ile akma eğrileri elde edilmiştir. Bu eğriler şahit harçla beraber; HES, MHES-D ve MHES-Y katkıları için farklı dozajlarda sırasıyla Ek-1, Ek-2 ve Ek-3'te sunulmuştur.

HES katkısı için tez kapsamında planlanmayan yüksek dozajlar da test edilmiş ancak değerlendirilmelerde dikkate alınmamıştır.

Yapılan analizler sonucunda eşik kayma gerilmeleri ve nihai viskozite değerleri her üç katkıda da farklılık gösterdiğinden grafik aralıkları kıyaslama yapabilmek için farklı ölçeklerde çizilmiştir. Akma eğrilerinde, katkı içermeyen şahit harca göre katkılı harçlarda dozaja bağlı olarak yükselme gözlemlenmiştir. Aynı zamanda dozaj artışına bağlı olarak akma eğrilerinin genel olarak daha yüksek kayma gerilmelerinden başlayarak sonlandığı görülmüştür. Bu durum MHES-Y katkılı harcın yüksek dozajlarında daha da belirgin hale gelmiştir ve hatta %1,00 dozaj oranında kullanılan harçta reometrenin maksimum tork değeri aşıldığından akma eğrisi elde edilememiştir. Çünkü bilye karışım içinde hareket edemeyerek çok düşük deformasyon hızlarına çıkabilmiştir (Ek-3).

Suda çözünebilir polimer katkılı harçların verilerinin Herschel Bulkley modellemesi sonucu elde edilen viskozite-deformasyon hızı eğrileri incelendiğinde dikey ölçek logaritmik olup başlangıç viskoziteleri modelleme dışında tutulmuştur. Tüm eğrilerde deformasyon hızı artışı ile azalan viskozite davranışı gözlemlenmiştir. Artan deformasyon hızı ile viskozitesi azalan çimento harçları "pseudoplastik" olarak adlandırılabilir. Akma eğrileri incelendiğinde harçlar; yüksek deformasyon hızında akışkan, düşük deformasyon hızlarında ise kohezif kıvamda oldukları söylenebilir. Katkıların davranışları incelendiğinde her üç katkının da tüm dozajlarda şahit harca kıyasla viskoziteyi arttırdıkları görülmüştür (Şekil 3.25).



Şekil 3.25 Harçların göreceli nihai viskozite değişimi

3.2 Sertleşmiş Hal Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

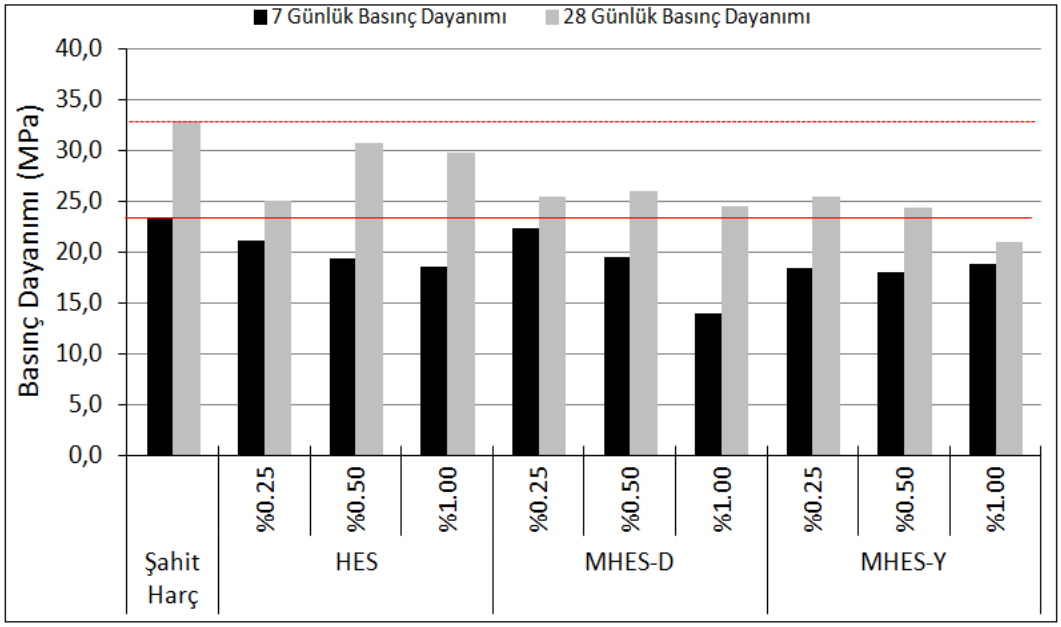
3.2.1 Eğilme ve Basınç Dayanımlarının Değerlendirilmesi

3.2.1.1 Basınç Dayanımlarının Değerlendirilmesi

Suda çözünebilir selüloz türevi polimerlerin basınç dayanımları üzerindeki etkileri incelendiğinde, her üç katkı türünün, tüm dozajlarında şahit harca kıyasla 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarını düşürdüğü görülmüştür (Tablo 3.2). HES katkısının basınç dayanımı üzerindeki olumsuz etkisi, metil grubu selüloz eterlerine göre daha düşük olmuştur (Şekil 3.26). Metil hidroksietil selüloz kökenli katkıların (MHES-D ve MHES-Y) hava sürükleyici özelliği, dayanım kayıplarının önemli bir nedeni olarak düşünülebilir. Bu katkıların harcın işlenebilirliğini düşürmesi sonucu, harç içinde oluşturduğu sıkışık hava boşlukları da dayanım düşüşünün bir diğer nedeni olarak düşünülebilir.

Tablo 3.2 Selüloz türevi katkılı harçların 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerleri

Katkı Türü	Dozaj	7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)
Şahit Harç	-	23,41	32,98
HES	%0,25	21,18	25,12
	%0,50	19,34	30,82
	%1,00	18,60	29,74
MHES-D	%0,25	22,41	25,48
	%0,50	19,55	26,06
	%1,00	13,89	24,57
MHES-Y	%0,25	18,41	25,47
	%0,50	18,07	24,45
	%1,00	18,89	20,99



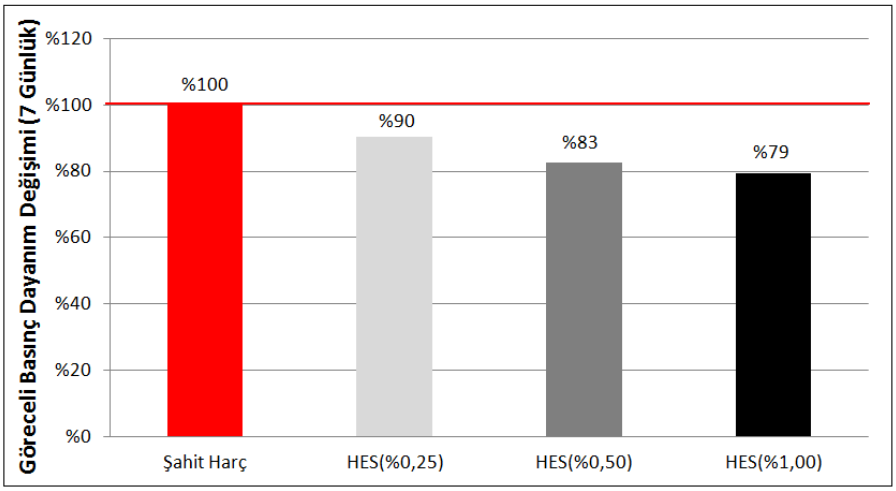
Şekil 3.26 Selüloz türevi katkılı harçların 28 günlük basınç dayanım değişimleri

Tablo 3.3 Selüloz türevi katkılı harçların 7/28 günlük yüzdesel basınç dayanım oranları

	Şahit	HES			MHES-D			MHES-Y		
Dozaj	-	%0,25	%0,50	%1,00	%0,25	%0,50	%1,00	%0,25	%0,50	%1,00
7/28 Gün Dayanım Oranı %	71	84	63	63	88	75	57	72	74	90

HES katkısının 7 günlük göreceli basınç dayanımı değerlendirildiğinde katkının %0,25 dozajında %10 civarında bir dayanım azalışı görülürken, %0,50 dozajda %17 ve %1,00 katkı dozajında %21 oranında bir azalış görülmüştür (Şekil 3.27).

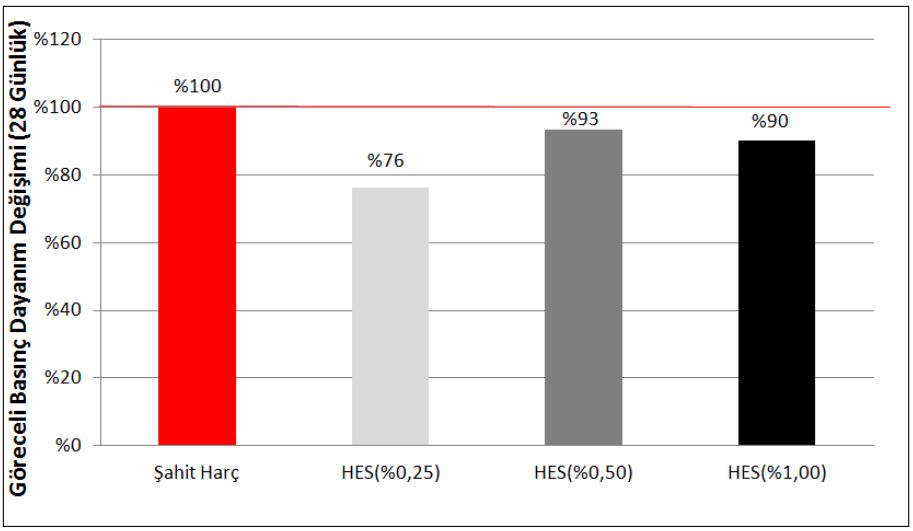
Tablo 3.3 üzerinde de şahit harcın ve selüloz türevi katkılı harçların 7 günlük ve 28 günlük ortalama basınç dayanımları birbirlerine oranlanarak göreceli dayanım gelişimleri yüzdesel olarak gösterilmiştir. Buradaki yüzdesel değişimleri, bizlere bir anlamda erken dayanım gelişimleri hakkında bilgi vermektedir. Şahit harcın göreceli dayanımı %71 olurken MHES-Y katkısının tüm dozajlarında bu yüzdenin üzerine çıkıldığı görülmüştür. HES katkısı %0,25 dozajında, MHES-D katkısı da %0,25 ve %0,50 dozajlarında bu oranın üstüne çıkabilmiştir.



Şekil 3.27 HES katkılı harçların 7 günlük göreceli basınç dayanım değişimleri

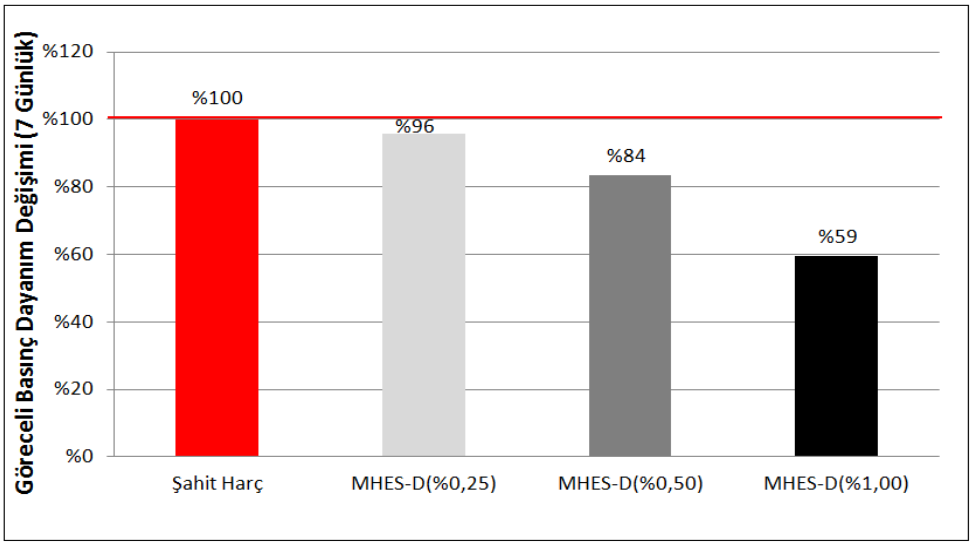
HES katkısının 28 günlük basınç dayanım sonuçları incelendiğinde diğer katkılar gibi genel anlamda her üç dozajda da basınç dayanımını düşürse de bu düşüş metil

katkılı harçlara göre çok daha az olmuştur. %0,25 katkı dozajında %24 civarında bir dayanım azalışı söz konusu iken %0,50 dozajda %7 ve %1,00 katkı dozajında %10 oranında bir azalış görülmüştür (Şekil 3.28). Katkı dozajı artışına paralel bir azalış ya da artışın görülmemesinin nedeni deneysel çalışmalar sırasında harcın kalıba yerleşimi sırasında oluşması muhtemel heterojen hava kabarcığı dağılımına bağlanabilir.



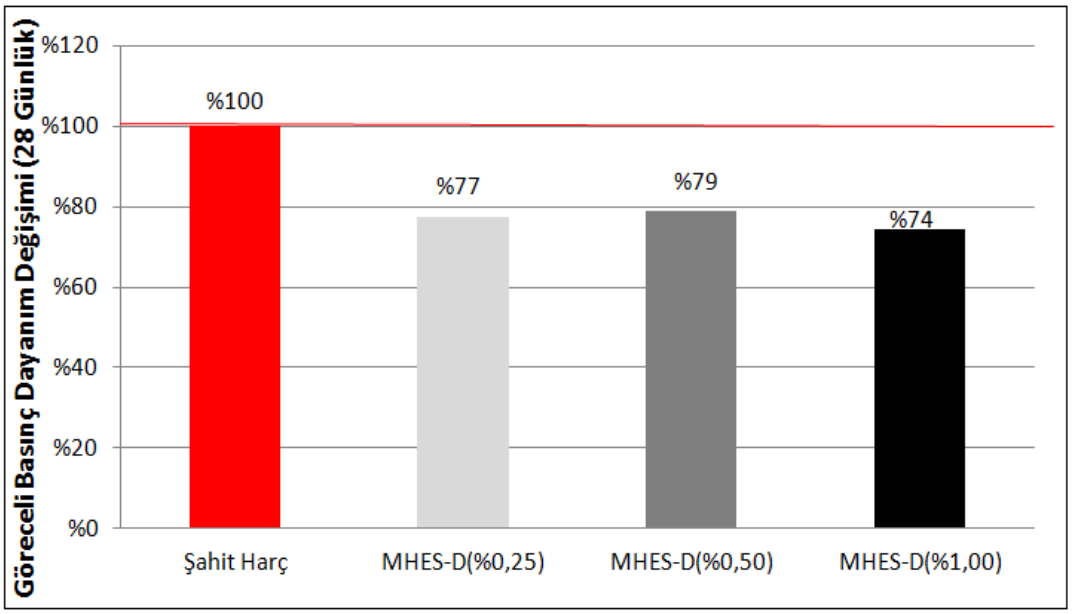
Şekil 3.28 HES katkılı harçların 28 günlük göreceli basınç dayanım değişimleri

MHES-D katkılı harçların 7 günlük basınç değişimleri incelendiğinde HES katkısındaki gibi artan dozaja bağlı dayanım düşüşü görülmüştür (Şekil 3.29). Fakat bu dayanım düşüşü HES katkısına göre özellikle artan dozaja bağlı olarak oldukça belirgin hale gelmiştir. MHES-D katkısının basınç dayanımı üzerinde %0,25 dozajında %4, %0,50 dozajında %16 oranında bir azalış görülürken %1,00 dozajında %31 gibi ciddi bir azalış görülmüştür. Bu azalışta, metil katkısının hava sürükleme özelliği etkili olmuş olabilir.



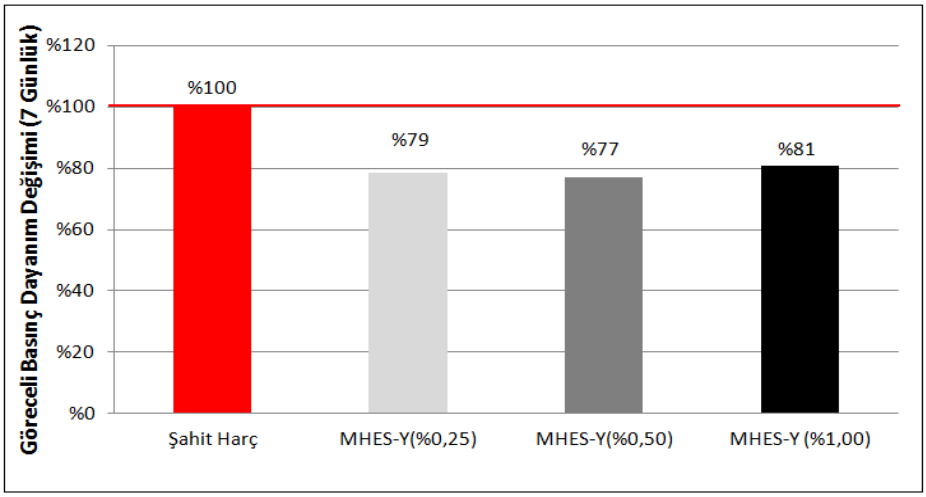
Şekil 3.29 MHES-D katkılı harçların 7 günlük göreceli basınç dayanım değişimleri

MHES-D katkısının 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde ise MHES-D katkısı harcın basınç dayanımını düşürse de artan dozaja bağlı olarak büyük değişimler göstermemiştir. MHES-D katkısı, harçta %0,25, %0,50 ve %1,00 dozajlarında sırasıyla %23, %21 ve %26 oranlarında basınç dayanım düşüşlerine neden olmuştur (Şekil 3.30).



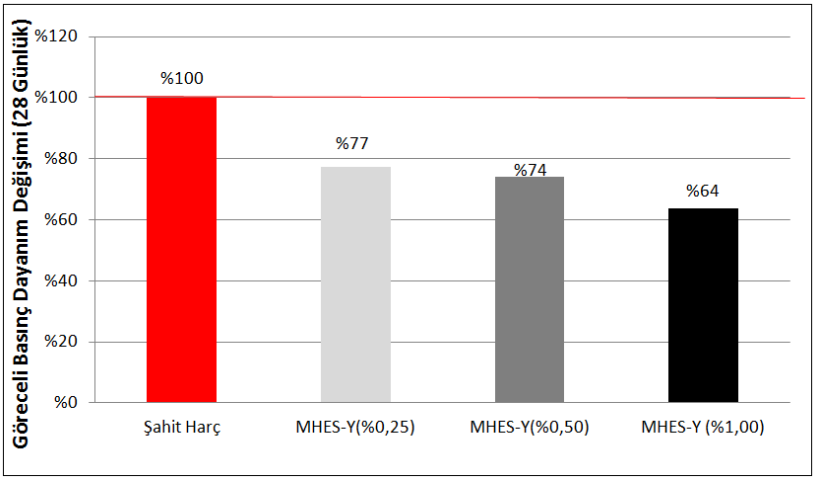
Şekil 3.30 MHES-D katkılı harçların 28 günlük göreceli basınç dayanım değişimleri

MHES-Y katkılı harçların 7 günlük basınç dayanım değişimleri incelendiğinde katkının %0,25 dozajında basınç dayanımını %21, %0,50 dozajında %23 ve %1,00 dozajında ise %19 oranında azalttığı görülmüştür. Her üç dozajdaki MHES-Y katkılı harçlar şahit harca göre basınç dayanımını düşürmüş ve benzer azalışlar meydana getirmiştir (Şekil 3.31).



Şekil 3.31 MHES-Y katkılı harçların 7 günlük göreceli basınç dayanım değişimleri

MHES-Y katkısı 28 günlük basınç dayanımlarında ise %0,25 ve %0,50 dozajlarında MHES-D katkısıyla benzer şekilde dayanım düşüşlerine sebep olmuştur. %1,00 katkı dozajında ise harçtaki dayanım düşüşü %36 gibi oldukça yüksek seviyelere kadar çıkmıştır (Şekil 3.32). Bu aşırı düşüş, MHES-Y katkısındaki işlenebilirlik kaybının oldukça fazla olması ve moleküler yapı gereği sürüklenen hava içeriğinin artış eğiliminde olması ile açıklanabilir. Aynı şekilde bir başka çalışmada da polimer katkı ilavesiyle basınç dayanımında azalma gözlendiğinden bahsedilmiştir (Baradan ve diğer., 2012). Bu görüş deneysel çalışmalarla da paralellik göstermektedir.



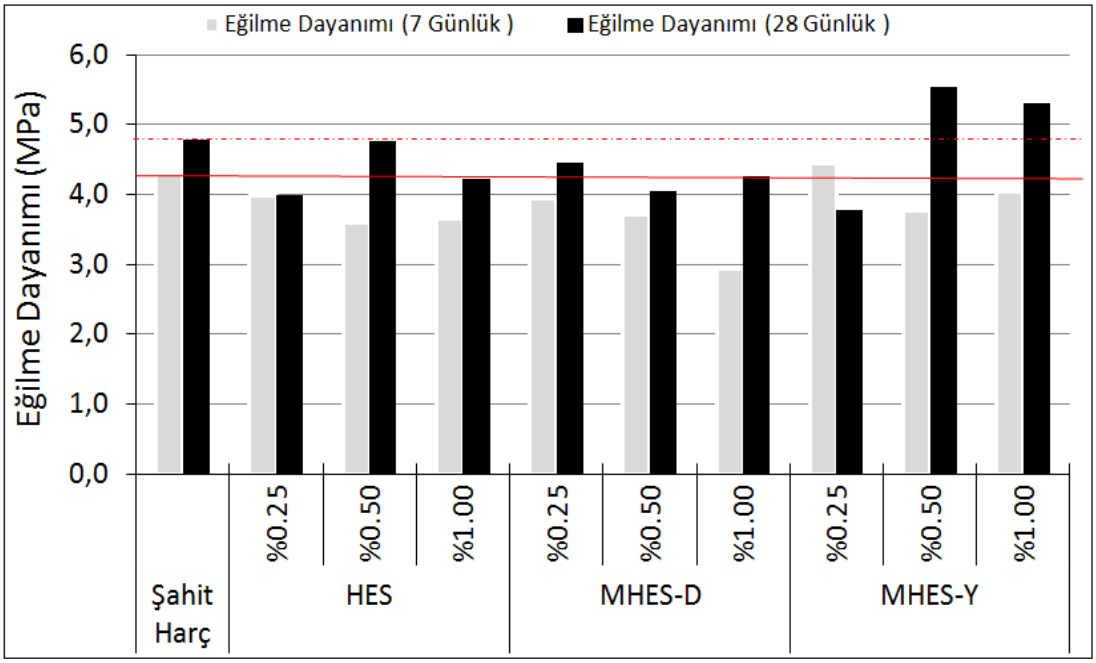
Şekil 3.32 MHES-Y katkılı harçların 28 günlük göreceli basınç dayanım değişimleri

3.2.1.2 Eğilme Dayanımlarının Değerlendirilmesi

Eğilme dayanımlarının 7 ve 28 günlük değişimlerini gözlemlemek amacıyla yapılan deneysel çalışmalarda, katkı türü ve dozajı değişimiyle karışım harcı üzerinde belirgin artış ve azalışların olmadığı görülmüştür (Şekil 3.33). Genel olarak eğilme dayanımı 0,5 MPa artış ve 1 MPa eksiliş aralığında değişmiştir (Tablo 3.4).

Tablo 3.4 Selüloz türevi katkılı harçların 7 ve 28 günlük eğilme dayanım değerleri

Katkı Türü	Dozaj	7 Günlük Eğilme Dayanımı (MPa)	28 Günlük Eğilme Dayanımı (MPa)
Şahit Harç	-	4,30	4,78
HES	%0,25	3,98	3,98
	%0,50	3,60	4,77
	%1,00	3,66	4,22
MHES-D	%0,25	3,94	4,45
	%0,50	3,72	4,05
	%1,00	2,93	4,27
MHES-Y	%0,25	4,45	3,78
	%0,50	3,76	5,55
	%1,00	4,04	5,30



Şekil 3.33 Selüloz türevi katkılı harçların 7 ve 28 günlük eğilme dayanım değişimleri

Tablo 3.5 Selüloz türevi katkılı harçların 7/28 günlük yüzdesel eğilme dayanım oranları

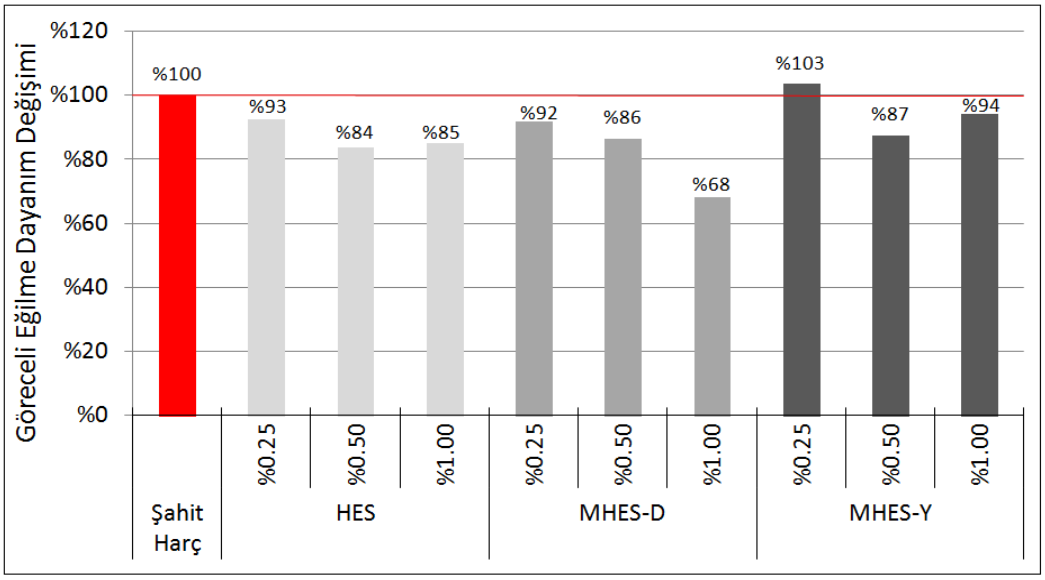
	Şahit Harç	HES			MHES-D			MHES-Y		
Dozaj	-	% 0,25	% 0,50	% 1,00	% 0,25	% 0,50	% 1,00	% 0,25	% 0,50	% 1,00
7/28 Gün Dayanım Oranı %	90	100	75	87	88	92	69	118	68	76

Selüloz eteri katkılı çimento harçlarının şahit harca kıyasla 7 günlük eğilme dayanım değişimleri incelendiğinde, katkıların genel olarak çimento harcının eğilme dayanımını düşürücü etki gösterdiği söylenebilir (Şekil 3.34).

Tablo 3.5'de ise şahit harcın ve selüloz türevi katkılı harçların 7 günlük eğilme dayanımlarının 28 günlük ortalama eğilme dayanımlarına bölünmesi ile göreceli dayanım değişimi yüzdesel olarak gösterilmiştir. Şahit harcın göreceli dayanımı %90 iken HES katkısının %0,25, MHES-D katkısının %0,50 ve MHES-Y katkısının %0,25 dozajlarında bu oranın üstüne çıkılmıştır. Buradan eğilme dayanımının erken kazanıldığı yorumu yapılabilir fakat MHES-Y katkısının 7 günlük eğilme

dayanımının 28 günden daha yüksek çıkmasından kaynaklı bu değer dikkate alınmamıştır.

HES katkılı harçlarda dozaj artışına bağlı dayanım düşüşü gözlenmiş ve MHES-D katkılı harçlarda da aynı durum gözlenirken %1,00 dozajlı karışımda bu düşüş %22 seviyelerine kadar çıkmıştır.



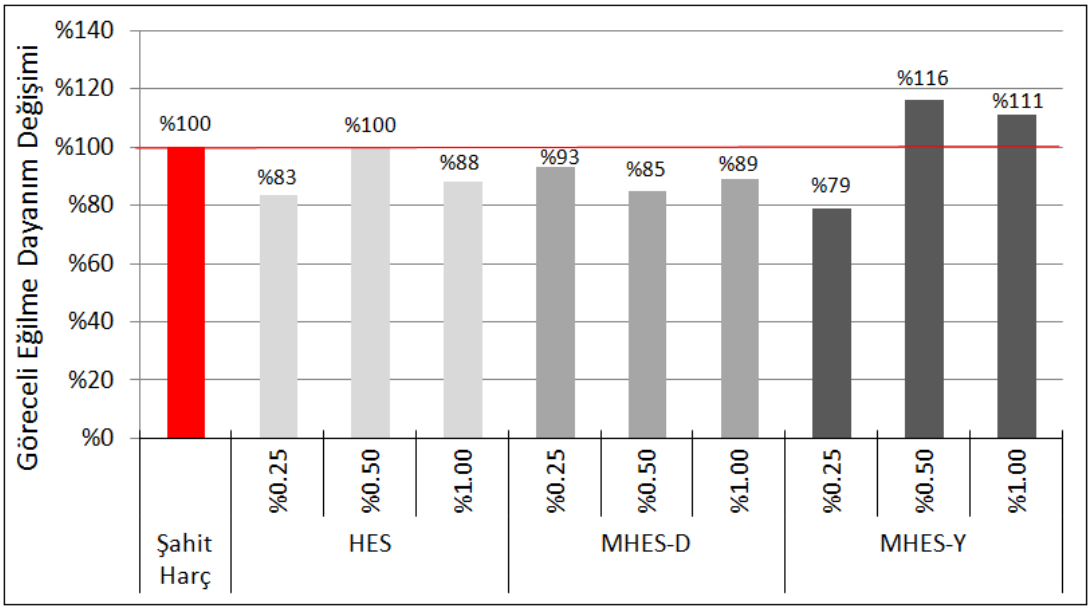
Şekil 3.34 Selüloz türevi katkılı harçların 7 günlük göreceli eğilme dayanım değişimleri

HES katkısının 28 günlük eğilme dayanımları incelendiğinde; %0,25 dozajlı karışımda %17, %1,00 dozajlı karışımda %12 oranında eğilme dayanımı azalması görülürken %0,50 katkı dozajda herhangi bir değişim gözlenmemiştir (Şekil 3.35). Bu farklılığın oluşmasında, polimerlerin homojen bir şekilde çözünmeyerek karışım içinde dağılması etkili olmuş olabilir.

MHES-D katkısında da HES katkısına benzer şekilde 28 günlük eğilme dayanımları incelendiğinde, eğilme dayanımı üzerinde artan dozaja bağlı olmayan bir dalgalanma söz konusudur. MHES-D katkısının kullanımıyla karışım harcının eğilme dayanımında %10-15 seviyelerinde bir azalış gözlemlenmiştir (Şekil 3.35).

MHES-Y katkısının 28 günlük eğilme dayanımları incelendiğinde; %0,25 katkı dozajlı kullanımda %21 oranında bir azalış olsa da %0,50 katkı dozajında bunun tam

aksine %16 oranında bir artış gözlemlenmiştir. %1,00 katkı dozajında ise bu oran %11 artış ile devam etmiştir (Şekil 3.35). Katkı dozajı artışından bağımsız eğilme dayanımındaki dalgalanma, 28 günlük eğilme dayanımlarında HES ve MHES-D katkılarında olduğu gibi MHES-Y katkısında da görülmüştür. Fakat MHES-Y katkısının %0,50 ve %1,00 katkı dozajlarındaki eğilme dayanımı artışı; daha ince toz tanecik yapısının karışım içerisine homojen dağılımı ile beraber metil hidroksietil selüloz kökenli katkının matris içerisinde ağ yapısı oluşturmasıyla mümkün olmuş olabilir.



Şekil 3.35 Selüloz türevi katkılı harçların 28 günlük göreceli eğilme dayanım değişimleri

Literatürde daha önce yapılan çalışmalarda da selüloz türevi polimer katkı kullanımı ile üç boyutlu ağsı yapı sayesinde eğilme dayanımının geliştirilebileceği anlatılmıştır (Baradan ve diğer., 2012). Deneysel sonuç verilerine de bakıldığında, MHES-Y katkısının karşım harcı içerisinde ağ yapısı oluşturup çatlak gelişiminin engellenerek eğilme dayanımı üzerinde olumlu etki yapmış olabileceği fikrini desteklemektedir.

3.2.2 Çekme ve Koparma Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

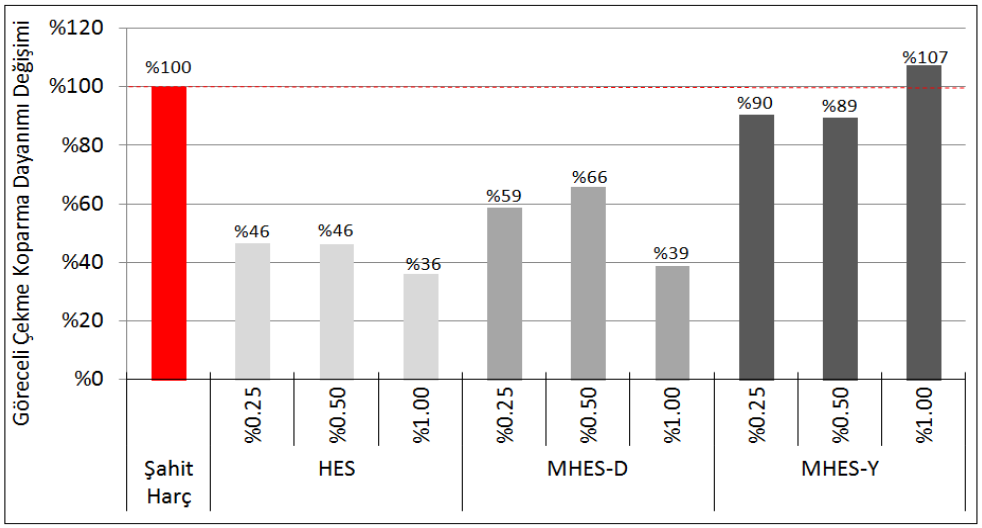
3.2.2.1 Çekme Koparma Dayanım Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çekme ve koparma dayanımlarının belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda, kullanılan selüloz eterlerinin harç üzerindeki 28 günlük çekme koparma performansları belirlenmiştir. Deney sonuçlarında elde edilen verilerin ortalamaları Tablo 3.6'da gösterilmiştir.

Tablo 3.6 Selüloz türevi katkılı harçların 28 günlük çekme koparma dayanım değerleri

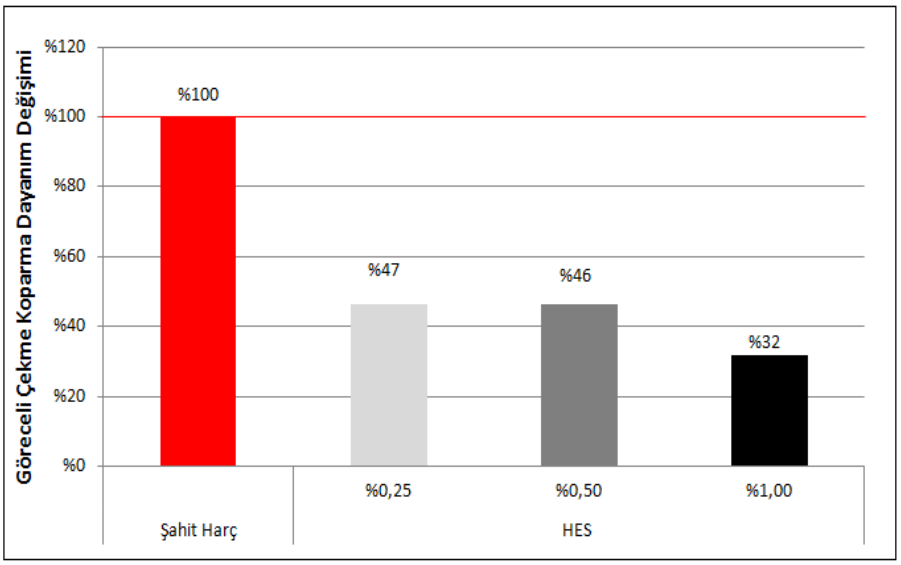
Katkı Türü	Dozaj	28 Günlük Çekme Koparma Dayanımı (MPa)
Şahit Harç	-	1,88
HES	%0,25	0,87
	%0,50	0,87
	%1,00	0,68
MHES-D	%0,25	1,11
	%0,50	1,23
	%1,00	0,73
MHES-Y	%0,25	1,70
	%0,50	1,68
	%1,00	2,02

Deney sonuçlarına göre MHES-Y katkısının %1,00 dozajı hariç, tüm katkı karışımları harcın çekme koparma dayanımlarını düşürücü etki yapmıştır (Şekil 3.36). Bu düşürücü etki, HES katkısında üste seviyelere çıkarken MHES-Y katkısında şahit harca yakın çekme koparma dayanımları gözlemlenmiştir. MHES-D katkılı harçta ise her iki katkının arasında optimum çekme koparma dayanımları gözlemlense de genel olarak çekme koparma dayanımlarını düşürücü yönde davranış görülmüştür.



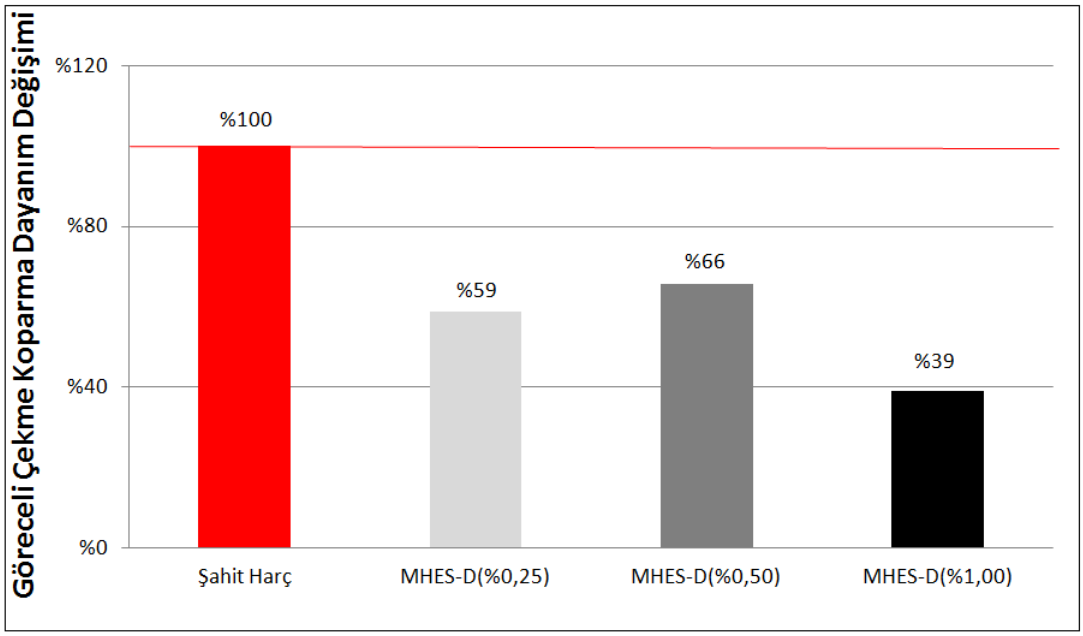
Şekil 3.36 Selüloz türevi katkılı harçların 28 günlük göreceli çekme koparma değişimleri

HES katkılı harçlar şahit harca göre çekme koparma dayanımını en çok düşüren harç tipi olmuştur. %0,25 ve %0,50 katkılı harçlarda çekme koparma dayanımında %53-%54 seviyelerinde bir azalma görülürken %1,00 katkı dozajlı harçta çekme koparma dayanımındaki düşüş %68 gibi oldukça belirgin seviyelere çıkmıştır (Şekil 3.37). HES katkısının harç üzerinde kullanımının çekme koparma mukavemetinde olumsuz etkileri olduğunu görmekteyiz. Bu durumun oluşmasında HES katkısının moleküler yapısının (uzun moleküler zincirli yapıda olmamasının), çekme koparma dayanımı açısından olumsuz etkiye yol açtığı düşünülmektedir. Ayrıca HES katkısının hidrofob yapısının da çekme koparma dayanımı düşüşünde rol oynadığı söylenebilir.



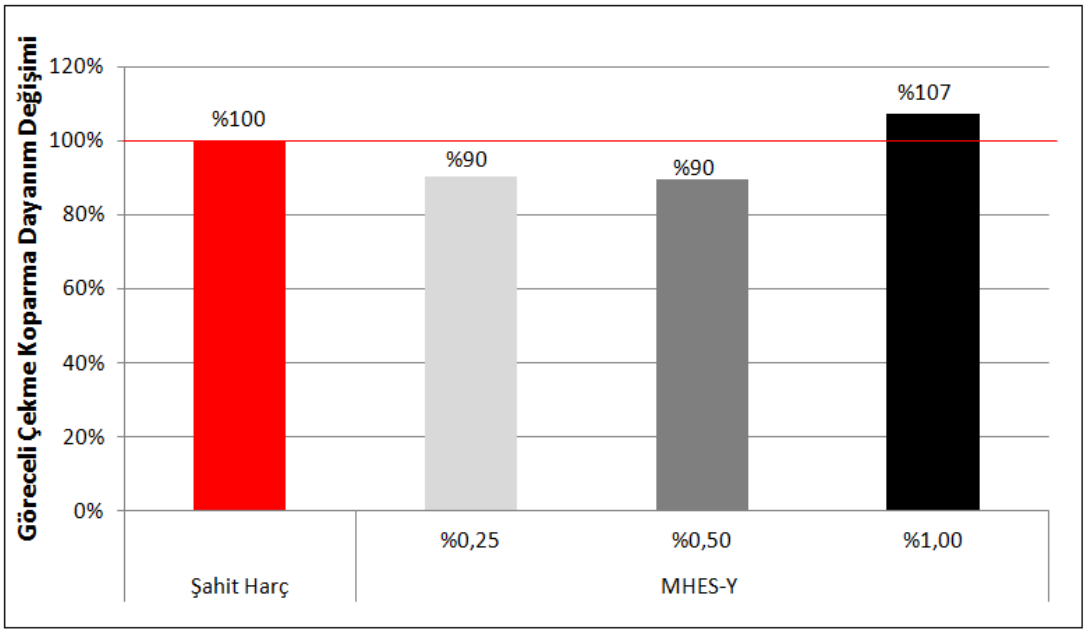
Şekil 3.37 HES katkılı harçların göreceli çekme koparma dayanım değişimleri

MHES-D katkısı, %0,25 katkı dozajında kullanıldığında harçta %41 oranında çekme koparma dayanımında azalış meydana getirmiştir. %0,50 dozajlı kullanımda ise %34 civarında bir azalış gözlemlenirken bu oran %1,00 dozajlı kullanımda %61 seviyelerine kadar çıkabilmiştir (Şekil 3.38). Çekme koparma dayanımında dozaj artışıyla doğru orantılı bir azalış ya da artış gözlemlenmemiştir. Fakat artan dozaja bağlı olarak özellikle %1,00 dozajındaki kullanımdaki düşüşte metil katkılı selüloz türevlerinin hava sürükleme yan etkisine bağlı olarak harç içerisinde oluşması muhtemel hava kabarcıklarının yüzeye tutunmadaki olumsuz yan etkisi ile açıklamak mümkündür.



Şekil 3.38 MHES-D katkılı harçların göreceli çekme koparma dayanım değişimleri

MHES-Y katkısı ise HES ve MHES-D katkısına kıyasla çekme koparma dayanımında ilk iki dozajda en az azalışa neden olan katkı olarak karşımıza çıkmaktadır. Her iki dozajlı kullanımda da %10 civarında çekme koparma dayanımında düşüş gözlemlense de %1,00 dozajlı kullanımda harcın çekme koparma dayanımında %7 civarında bir artışa ulaşılabilmiştir (Şekil 3.39). Bu durum, MHES-Y katkısının, çekme koparma dayanımı ve yüzeye iyi tutunabilme özellikleri açısından olumlu katkısını göstermektedir. Bu durumun oluşmasında, MHES-Y katkısının uzun zincirli moleküler yapısı sayesinde, ağsı bir yapı oluşturarak uygulanan harcın yüzeye aderansını olumlu etkilemiştir.



Şekil 3.39 MHES-Y katkılı harçların göreceli çekme koparma dayanım değişimleri

3.2.2.2 Harçların Aderans Özelliklerinin Değerlendirilmesi

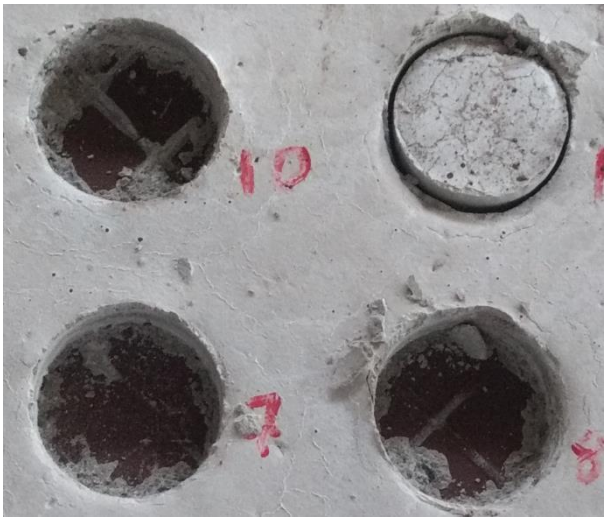
Çekme koparma dayanımı açısından sayısal olarak yorumlanan selüloz katkılı harçların aderans özelliklerinin daha ayrıntılı değerlendirilebilmesi için, çekme koparma deneyinden sonraki görüntüleri ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Şahit harç ve üç farklı dozajdaki HES, MHES-D ve MHES-Y katkılı karışımların kopma yüzeyleri incelenip, kıyaslama ve değerlendirme yapılmıştır.

Şahit harcın çekme koparma deneyi sonrası davranışı incelendiğinde yarı-kohezif bir kopma davranışı gösterdiği söylenebilir. Şeklin yakınlaştırılmış görüntüsü incelendiğinde harcın bir kısmının seramik yüzeyinden sıyrılarak koptuğu, bir kısmının da harcın kendi iç bölgesinden koptuğu görülmektedir (Şekil 3.40). Bu durum harcın aderans açısından karma davranış sergilediğinin bir göstergesi olarak düşünülebilir (Delucchi ve Cerisola, 2005).



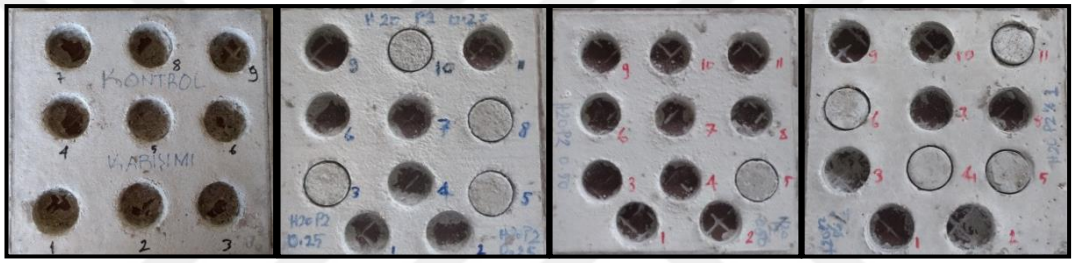
Şekil 3.40 Şahit harcın çekme-koparma deneyi sonrası görüntüsü (Kişisel arşiv, 2017)

HES katkısının çekme-koparma davranışına bakıldığında, çekme koparma dayanımlarının artan katkı dozajıyla azaldığının ve özellikle %1,00 katkı dozajlı harçta %68'lik çekme koparma dayanımı kaybını da göz önünde bulundurursak, kopmanın genel olarak seramik yüzeyinden sıyrılarak kopma şeklinde olduğu gözlemlenmektedir ki bu da adezif kopmanın bir göstergesidir (Şekil 3.41). Bazı kopmalarda piyonun epoksi yapıştırıcılı yüzeyden ayrıldığı gözlemlense bunda yapıştırıcının yüzeye yeterince yayılamamasının ya da harcın taze halde iz açılımı sırasındaki yüzeysel oturmaların etkili olduğu söylenebilir.



Şekil 3.41 HES (%1,00) katkılı harcın çekme-koparma deneyi sonrası görüntüsü (Kişisel arşiv, 2017)

HES katkısının her üç katkı dozajlı kullanımında, çekme koparma dayanımı düşüşlerine paralel olarak deney sonrası görüntülere bakıldığında kopmanın adezif olduğu görülmektedir ki istenen bir durum değildir ve harcın seramik yüzeye aderansının zayıflığının göstergesi olabilir (Şekil 3.42). HES katkısının moleküler yapısı incelendiğinde, molekül boyutunun metil katkılı selüloz türevlerine göre daha büyük olduğu ve yakınlaştırılmış taramalı elektron mikroskobu görüntüleri incelendiğinde de ağsı yapı oluşturma eğiliminin daha düşük olduğu görülmektedir. Söz konusu özellikler göz önüne alındığında, HES katkılı harçların seramik yüzeyinden adezif şekilde kopmasında moleküler ve hidrofob yapının önemli etkenlerden biri olduğu görülmektedir.

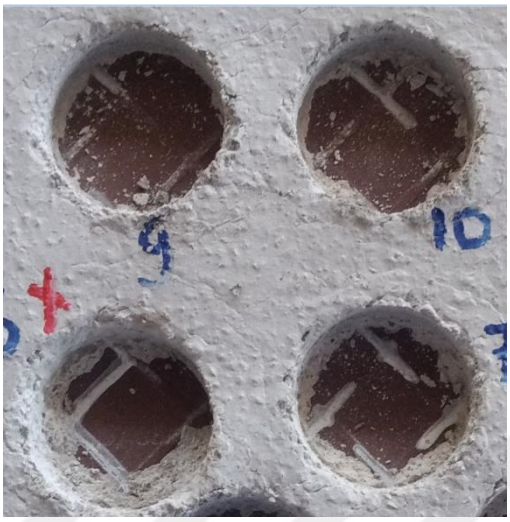


Şekil 3.42 HES katkılı harçların çekme-koparma deneyi sonrası görüntüleri (Kişisel arşiv, 2017)

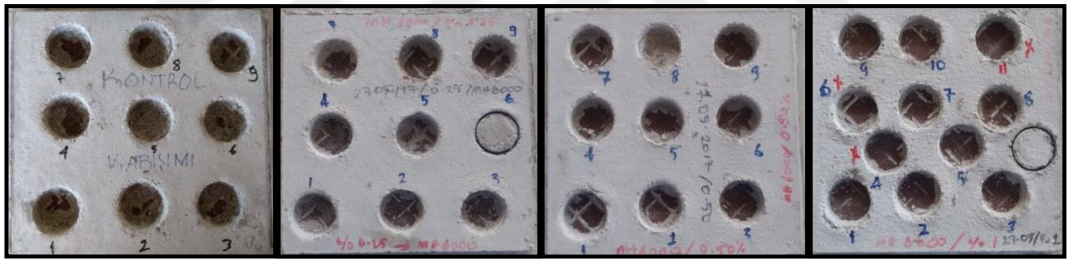
MHES-D katkısında da HES katkısına benzer şekilde kopmanın seramik yüzeyinden olduğu görülmektedir. Artan dozaja bağlı olarak en yüksek dayanım kaybının %1,00 katkılı harçta olduğu hatırlanacak olursa, deney sonrası görüntülerde de çekme koparma dayanım kaybına paralel olarak, kopmanın yüzeyden sıyrılarak kopma şeklinde olduğu net olarak görülebilmektedir. (Şekil 3.43).

MHES-D katkısının her üç dozajlı karışımında da çekme koparma dayanımı kaybı görülebilmektedir ve bu durum çekilen fotoğraflarla da paralellik göstermektedir (Şekil 3.44). MHES-D katkısının moleküler yapısı incelendiğinde HES katkısına göre daha ince toz yapıda ve uzun moleküler zincir yapısına sahip olduğu görülmektedir. Fakat bu zincirli yapı, karışım harcına HES katkısına kıyasla olumlu etki yapsa da, hava sürüklemenin rol oynadığı dayanım düşüşüne engel olamamıştır. Literatürde yapılan çalışmalarda selüloz eterlerinin değişken grubuna, metil grubunun dahil olmasıyla yeni yapının hava sürükleyici özelliklere sahip olduğu

hatırlanacak olursa, söz konusu dayanım düşüşünde ve kopmanın adezif şekilde yüzeyden gerçekleşmesinde bu durumun etkisinin büyük olduğu söylenebilir.



Şekil 3.43 MHES-D (%1,00) katkılı harcın çekme-koparma deneyi sonrası görüntüsü (Kişisel arşiv, 2017)



ŞAHİT HARÇ **MHES-D %0,25** **MHES-D %0,50** **MHES-D %1,00**

Şekil 3.44 MHES-D katkılı harçların çekme-koparma deneyi sonrası görüntüleri (Kişisel arşiv, 2017)

MHES-Y katkısının kopma davranışı incelendiğinde ise HES ve MHES-D katkılarının aksine kohezif kopma davranışının etkin olduğu görülmektedir (Şekil 3.45). Bu kohezif davranış %0,25 katkı dozajından %1,00 katkı dozajına doğru oldukça açık şekilde belirginleşmektedir.



ŞAHİT HARÇ **MHES-Y %0,25** **MHES-Y %0,50** **MHES-Y %1,00**

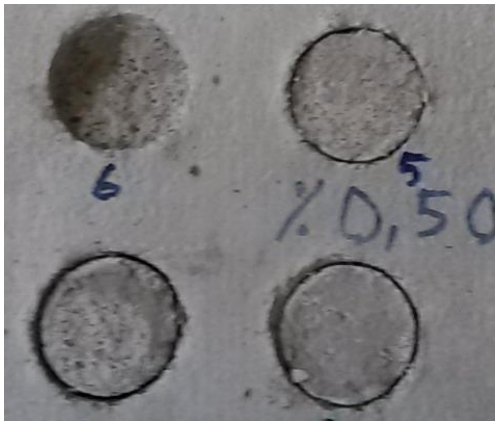
Şekil 3.45 MHES-Y katkılı harçların çekme-koparma deneyi sonrası görüntüleri (Kişisel arşiv, 2017)

MHES-Y katkısının %0,25 katkı dozajlı kullanımında şahit harca benzer şekilde karma bir kopma davranışı görülmektedir. (Şekil 3.46). Bu davranış yarı kohezif bir davranış olarak görülmektedir. MHES-Y katkısının %0,25 dozajlı kullanımında her ne kadar çekme koparma dayanımında düşüş gözlemlense de HES ve MHES-D katkılarında göre oldukça yüksek çekme koparma dayanımı sağladığı açıktır.



Şekil 3.46 MHES-Y (%0,25) katkılı harcın çekme-koparma deneyi sonrası görüntüsü (Kişisel arşiv, 2017)

MHES-Y katkısının %0,50 katkı dozajlı kullanımı harcın çekme koparma dayanımını %10 oranında düşürse de kopma davranışının tamamen kohezif olarak gerçekleştiği açık bir şekilde söylenebilir (Şekil 3.47).



Şekil 3.47 MHES-Y (%0,50) katkılı harcın çekme-koparma deneyi sonrası görüntüsü (Kişisel arşiv, 2017)

MHES-Y katkısının %1,00 dozajlı kullanımında %7 oranında çekme koparma dayanım artışı olduğu dikkate alındığında, deney sonrası çekilen fotoğraflarda da aderansın kohezif kopma yüzeyi nedeniyle yükseldiği söylenebilir (Şekil 3.48). Kopmanın harç içerisinden gerçekleşmesi nedeniyle elde edilen sonucun, aslında yapıştırma harcının en küçük çekme koparma dayanımı olduğu kabul edilebilir (Baradan ve diğer., 2012). Yapıştırma harcı ile seramik yüzey arasındaki tutunmanın fazla olması bu görüş ile uyuşmaktadır ve ara yüzeydeki bağın yüksekliğini göstermiştir.



Şekil 3.48 MHES-Y (%1,00) katkılı harcın çekme-koparma deneyi sonrası görüntüsü (Kişisel arşiv, 2017)

MHES-Y katkısının %1,00 dozajlı kullanımının çekme koparma dayanımını artırmasında, oldukça ince yapıdaki toz formun karışım içerisine homojen dağılması

ve katkının uzun zincirli moleküler yapısının ağsı bir yapıya bürünerek aderans üzerinde olumlu katkı yapması etkili olmuş olabilir.

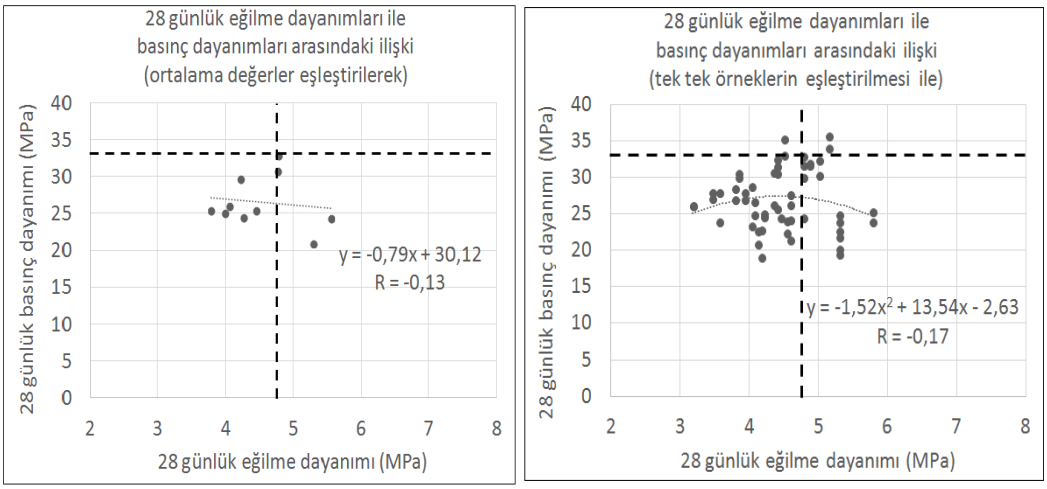
3.2.3 Mekanik Özelliklerin Birbiriyle Olan İlişkilerinin Değerlendirilmesi

3.2.3.1 Korelasyon İlişkilerinin İncelenmesi

Klasik çimento harcında basınç, eğilme ve çekme koparma dayanımı açısından uyumluluk söz konusudur. Basınç dayanımı arttıkça tüm diğer dayanımlar da artma eğilimindedir. Bu açıdan polimer takviyeli çimento harçlarının deneysel uyumluluk performansları araştırılmıştır.

Selüloz türevi katkılı çimento harçlarının basınç dayanımları, eğilme dayanımları ve çekme koparma dayanımları gibi mekanik özelliklerinin birbirleriyle olan ilişkileri değerlendirilmiştir. 28 günlük eğilme dayanımları ile basınç dayanımları arasındaki ilişki hem ortalama değerler eşleştirilerek hem de tüm deney verileri kullanılarak Şekil 3.49'da gösterilmiştir. Bu ilişkiler için kullanılan veriler 3 adet eğilme, 6 adet basınç, 9 adet çekme koparma numunelerinden elde edilmiştir. 28 günlük eğilme dayanımları ile çekme koparma dayanımları arasındaki ilişki Şekil 3.50'de, basınç dayanımları ile çekme koparma dayanımları arasındaki ilişki ise Şekil 3.51'de incelenmiştir.

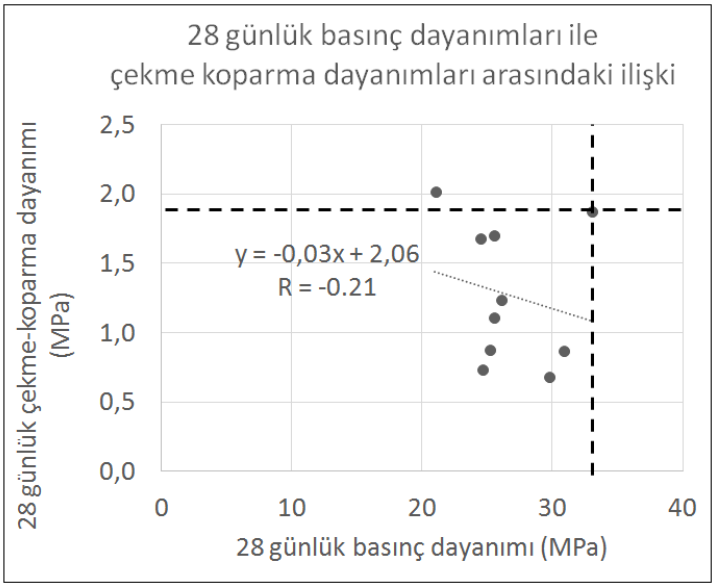
Şekil 3.49'da basınç dayanımı ve eğilme dayanımı arasında negatif korelasyon olduğu görülmüştür. Bu da basınç dayanımının artış ya da azalışına bağlı olarak eğilme dayanımında benzer artış ya da eksilişlerin olmadığını göstermektedir. Ortalama değerler eşleştirilerek yapılan korelasyonda, korelasyon katsayısı -0,13; tüm örneklerin eşleştirilmesi ile elde edilen korelasyon katsayısı ise -0,17'dir. Burada eksi değerli korelasyon katsayısının çıkması, basınç ve eğilme dayanımının birbirleriyle paralel olarak değişmediğini göstermektedir. Bu durumun meydana gelmesinde, selüloz eteri katkılarının ağsı yapı oluşturması ve hava sürükleme olayı farklı baskınlık derecelerinde basınç ve eğilme dayanımı üzerinde etkili olmuştur.



a) Ortalama değerler eşleştirilerek b) Tüm örnekler eşleştirilerek

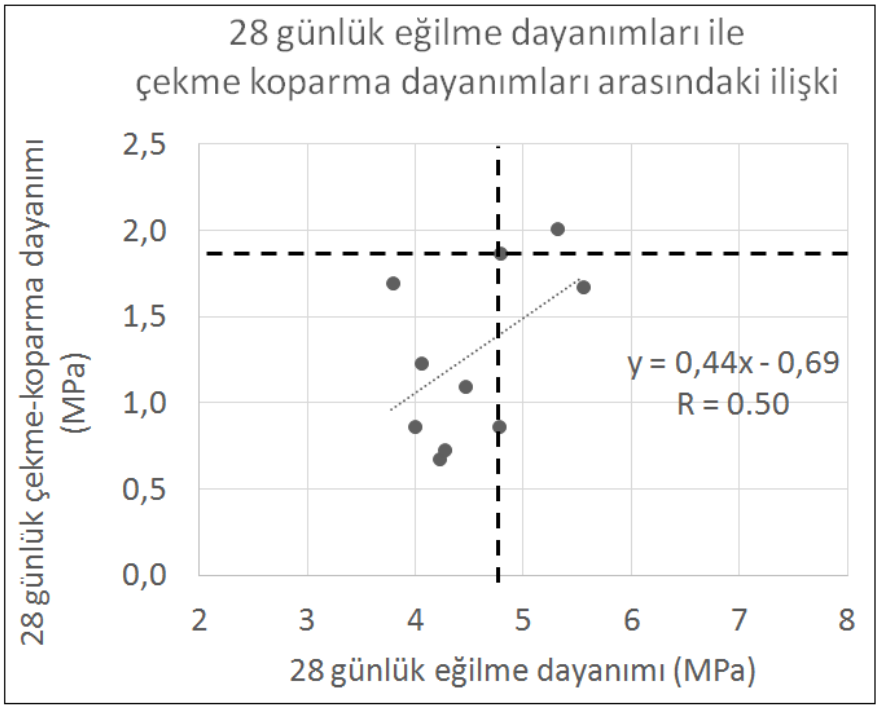
Şekil 3.49 Eğilme ve basınç dayanımları arasındaki ilişki (28 günlük)

Şekil 3.50'de basınç dayanımı ve çekme-koparma dayanımları arasındaki ilişki incelendiğinde; basınç ve eğilme dayanımındaki ilişkinin benzeri bir ilişki olduğu görülmektedir. Korelasyon değerinin -0,21 olması basınç dayanımı ve çekme-koparma dayanımı arasında sistematik bir ilişki olmadığını ortaya koymuştur.



Şekil 3.50 Basınç ve çekme-koparma dayanımları arasındaki ilişki (28 günlük)

Şekil 3.51'de eğilme ve çekme-koparma dayanımları arasındaki korelasyon incelendiğinde; Her iki dayanım arasında pozitif korelasyon olduğu ve korelasyon katsayı değerinin 0,50 olduğu görülmüştür. Her ne kadar eğilme ve çekme-koparma dayanımları arasında pozitif korelasyon olsa da, 0,50 korelasyon değeri çok da yüksek değildir.



Şekil 3.51 Eğilme ve çekme-koparma dayanımları arasındaki ilişki (28 günlük)

3.2.3.2 Standart Sapma ve Değişkenlik Katsayılarının Yorumlanması

Yapılan her bir deneysel çalışmanın kendi içinde tutarlılığını ve deneyi gerçekleştirilen numunelerden alınan sonuçların değişkenliğinin kıyaslanabilmesi amacıyla standart sapma oranları ve değişkenlik katsayıları hesaplanmıştır. Eğilme dayanımı, basınç dayanımı ve çekme-koparma deney verileri kullanılarak elde edilen standart sapma değerlerinin, ortalama değerlere bölünerek elde edilen değişkenlik katsayısı değerleri tablolar halinde sunulmuştur (Tablo 3.7, Tablo 3.8 ve Tablo 3.9)

7 günlük eğilme dayanımları incelendiğinde standart sapma değerlerinin 0,20 Mpa ve 0,81 Mpa aralığında değiştiği görülmektedir. Değişkenlik katsayısı ise %5,2 ve %20,4 aralığında değişmektedir. 28 günlük eğilme dayanımında ise değişkenlik katsayısı %19 seviyelerine kadar çıkmıştır.

Tablo 3.7 Selüloz türevi katkılı harçların 7 ve 28 günlük eğilme dayanımlarının standart sapma ve değişkenlik katsayı değerleri

		7 Günlük Eğilme Dayanımı		28 Günlük Eğilme Dayanımı	
Katkı Türü	Dozaj	Standart Sapma (MPa)	Değişkenlik Katsayısı (%)	Standart Sapma (MPa)	Değişkenlik Katsayısı (%)
Şahit Harç	-	0,66	15,2	0,38	7,8
HES	%0,25	0,81	20,4	0,17	4,2
	%0,50	0,43	12,0	0,26	5,4
	%1,00	0,34	9,3	0,57	13,5
MHES-D	%0,25	0,21	5,4	0,13	3,0
	%0,50	0,59	15,8	0,56	13,9
	%1,00	0,16	5,5	0,12	2,9
MHES-Y	%0,25	0,69	15,4	0,73	19,3
	%0,50	0,20	5,2	0,34	6,2
	%1,00	0,37	9,1	-	-

7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının değişkenlik katsayıları incelendiğinde %1,00 dozajlı HES katkısı haricinde değişkenliğin bir kaç istisna dışında çoğunlukla %10 seviyelerini geçmediği görülmektedir. Bu durum basınç dayanımı açısından daha homojen bir davranış olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.8 Selüloz türevi katkılı harçların 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının standart sapma ve değişkenlik katsayı değerleri

		7 Günlük Basınç Dayanımı		28 Günlük Basınç Dayanımı	
Katkı Türü	Dozaj	Standart Sapma (MPa)	Değişkenlik Katsayısı (%)	Standart Sapma (MPa)	Değişkenlik Katsayısı (%)
Şahit Harç	-	2,33	10,0	1,56	4,7
HES	%0,25	1,21	5,7	3,33	13,2
	%0,50	1,38	7,1	3,69	12,0
	%1,00	2,99	16,1	2,02	6,8
MHES-D	%0,25	0,81	3,6	3,15	12,4
	%0,50	0,64	3,3	1,39	5,4
	%1,00	1,02	7,4	3,75	15,3
MHES-Y	%0,25	0,37	2,0	2,47	9,7
	%0,50	0,39	2,2	0,69	2,8
	%1,00	1,31	6,9	1,45	6,9

28 Günlük çekme-koparma dayanımları incelendiğinde değişkenlik katsayısının diğer mekanik özelliklere kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum da numunelerin kendi içinde daha heterojen olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.9 Selüloz türevi katkılı harçların 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının standart sapma ve değişkenlik katsayı değerleri

28 Günlük Çekme-Koparma Dayanımı			
Katkı Türü	Dozaj	Standart Sapma (MPa)	Değişkenlik Katsayısı (%)
Şahit Harç	-	0,45	23,8
HES	%0,25	0,31	35,5
	%0,50	0,40	46,3
	%1,00	0,28	41,5
MHES-D	%0,25	0,30	27,3
	%0,50	0,38	30,6
	%1,00	0,22	29,9
MHES-Y	%0,25	0,30	17,4
	%0,50	0,36	21,6
	%1,00	0,34	17,0

BÖLÜM DÖRT
SONUÇLAR

Elde edilen deneysel veriler değerlendirildiğinde, selüloz kökenli polimerik katkıların çimento harcının taze ve sertleşmiş hal özellikleri üzerinde değişken etkileri olduğu görülmüştür.

4.1 Taze Hal Deney Sonuçları

1) Taze halde hidroksi etil selüloz katkısının çimento harcına ilavesiyle, 17 saati aşkın belirgin bir priz geciktirme etkisi ortaya çıkarken, metil kökenli katkıların ilavesi ile harcın priz geciktirme özelliği 1 saat kadar azalabilmiştir.

2)Yayılma çapları incelendiğinde de hidroksi etil selüloz katkısının yayılma çapı üzerinde şahit harca kıyasla %6 civarında artış göstermesinin aksine metil kökenli katkı ilavesiyle yayılma çaplarında %54 oranına varan belirgin azalışlar görülmüştür.

3) Selüloz türevi katkılar harçların birim hacim ağırlıklarını genel olarak düşürmüştür. Bu düşüş hidroksi etil selüloz katkılı harçlarda %1-3 oranlarında seyrederken, metil katkılı harçlarda şahit harca göre %9 seviyelerine kadar çıkmıştır. Bu durumun oluşmasında selüloz türevi katkıların moleküler yapıları etkili olmuş ve hava sürükleme sonucu birim hacim ağırlıklarında düşüş gözlemlenmiştir.

4) Katkıların harca dahil olmasıyla hidroksi etil katkı ilavesinin harç bünyesinden şahit harca kıyasla %4 oranlarını bulan su kaybı artışları gözlenirken, metil katkılı harçların su kaybı miktarları şahit harca kıyasla %2 civarında azalmıştır. Bu durum metil katkılı selüloz terlerinin harcın su tutma kapasitelerini artırdığını göstermektedir.

5) Reolojik özellikler incelendiğinde; hidroksi etil selüloz türevi katkının, harcın eşik kayma gerilmesini %80 oranlarına kadar azalttığı görülmüştür. Hidroksi etil metil selüloz türevi katkı ilavesiyle bu durumun tam aksine, oldukça belirgin bir

şekilde şahit harca kıyasla %1241 seviyelerine kadar çıktığı görülmüştür. Katkı ilavesi genel anlamda şahit harca kıyasla nihai viskozite değerlerini artırmıştır. Bu artışta hidroksi etil metil selüloz katkılı harçta %1029 seviyelerine kadar çıkan viskozite değişimi görülmüştür. Hem eşik kayma gerilmesi hem de nihai viskozite değerleri beraber değerlendirildiğinde hidroksi etil metil selüloz katkısının harcın reometrik parametrelerinde önemli artışlar meydana getirdiği tespit edilmiştir. Hidroksi etil metil selüloz kullanımında nihai viskozite ve eşik kayma gerilmelerinde meydana gelen %1000'i aşan oranlardaki artışlar, taze halde yapışkanlığın geliştiği fikrini oluşturmaktadır.

6) Yapılan Herschel-Bulkley modellemeleri sonucu selüloz eterlerinin her üç serisinde elde edilen reogramların davranış açısından benzer olduğu görülmüş, hidroksi etil selüloz ve metil hidroksi etil selüloz katkılı harçların, şahit harca benzer şekilde psödoplastik davranış gösterdiği, yani deformasyon hızına bağlı kayma yumuşaması eğiliminde olduğu görülmüştür.

4.2 Sertleşmiş Hal Deney Sonuçları

1) Selüloz türevi katkıların sertleşmiş hal özellikleri incelendiğinde, tüm katkı türleri harcın basınç dayanımının düşmesine neden olmuştur. Hidroksi etil selüloz türevlerinin metil hidroksi etil selüloz türevlerine göre katkılı harçlarda şahit harca kıyasla %36 oranlarına kadar çıkan basınç dayanım düşüşlerinin fazla olmasında, sıkışık hava boşluklarının etkisi olduğu düşünülmektedir. Hidroksi etil katkılı harçlardaki basınç dayanımı düşüşünde ise katkının moleküler yapısı sonucu sürüklenmiş hava içeriğinin etkisi olduğu söylenebilir.

2) Eğilme dayanımı açısından selüloz türevlerinin harç üzerindeki performanslarına bakıldığında genel olarak eğilme dayanımını azaltıcı etki gösterdiği görülmüştür. Metil hidroksi etil selüloz türevi (yüksek viskoziteli) katkılı harçların artan %0,50 ve %1,00 dozajlarında ise eğilme dayanımında artış görülmüştür. Bu durumun oluşmasında metil kökenli katkıların uzun zincirli moleküler yapıları sonucu, harç içerisinde ağsı bir tabaka oluşturmasının etkili olduğu düşünülmektedir.

3) Hidroksi etil selüloz katkılı harçlar şahit harca kıyasla genel olarak çekme koparma dayanımını olumsuz etkilemiş, Hidroksi etil selüloz katkısının %1,00 dozajında çekme koparma dayanımı %64 oranında azaltmıştır. Metil hidroksi etil selüloz türevi (yüksek viskoziteli) katkısının %1,00 oranında şahit harca kıyasla %7 civarında bir artış görülmüştür. Bu durumun oluşmasında metil katkısının üç boyutlu ağsı yapı oluşturma özelliğinin dozaj artışıyla belirginleştiği söylenebilir. Ayrıca metil katkılı yüksek viskoziteli selüloz türevi kullanıldığında şahit harçta gözlenen adezif kopma davranışının, kohezif kopmaya doğru kaydığı tespit edilmiştir.

4) Elde edilen sonuçlar istatistiksel açıdan değerlendirildiğinde, selüloz türevi katkıların şahit harca ilavesinin mekanik özelliklerde bazı değişikliklere neden olduğu saptanmıştır. Ancak örneklerin kendi içindeki değişkenliğine belirgin bir etkisi olmamıştır.

5) Basınç dayanımı ve eğilme dayanımı standart harçta paralel bir artış ya da azalış gösterirken, harca selüloz türevi ilavesiyle bu davranışın ortadan kaybolduğu, basınç, eğilme ve çekme koparma dayanımlarının aynı oranda değişmediği ikili korelasyon analizi sonuçlarından görülmüştür.

4.3 Öneriler ve Genel Değerlendirme

Selüloz türevi katkıların harçların taze hal ve mekanik özellikleri üzerinde dayanımı azaltıcı sonuçlar elde edilmiştir. Bu durumun oluşmasında sürüklenmiş hava içeriğinin önemli bir yer tuttuğu düşünüldüğünde olası bu yan etkiler köpük kesici katkı kullanımıyla azaltılabilir. Ayrıca hidratasyon gelişim performansının daha ayrıntılı incelenebilmesi için iletkenlik ölçümlerinden yararlanılabilir.

KAYNAKLAR

ASTM Designation D4541-95e1, Standard Test Method for Pull-off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers, West Conshohocken, PA, 1996.

Baradan, B., Felekoğlu, B. ve Tosun, K. (2012). Betonarme Yapıların Onarımında Kullanılan Tamir Harçlarının Tasarımında Ve Kalite Kontrolünde Reolojik Ve Mekanik Özelliklerin Optimizasyonu, Proje No: 108M246-Sonuç Raporu, 83-86.

Barluenga, G., ve Hernández-Olivares, F. (2004). SBR latex modified mortar rheology and mechanical behaviour. *Cement and Concrete Research*, *34*(3), 527-535.

Beşergil, B., (2003), *Polimer Kimyası* (2. Baskı), Ankara: Gazi Kitabevi.

Cherop, P. T., Kiambi, S. L., ve Kosgey, E. K. (2017). Effect of Non-Ionic Cellulose Ethers on Properties of White Portland Cement. *International Journal of Applied Engineering Research*, *12*(10), 2502-2508.

Chiu, C. C., ve Case, E. D. (1991). Elastic modulus determination of coating layers as applied to layered ceramic composites. *Materials Science and Engineering: A*, *132*, 39-47.

Çetin, C. (2015). *Koruma alanında kullanılan yapıştırıcılar*. 24 Mayıs 2015, https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/1850/mod_resource/content/1/Ders%204.pdf

Çolak, A. (2005). Properties of plain and latex modified Portland cement pastes and concretes with and without superplasticizer. *Cement and Concrete Research*, *35*(8), 1510-1521.

Delucchi, M., ve Cerisola, G. (2005). Influence of thickness on mechanical properties and crack-bridging ability of coatings for concrete. *Progress in organic coatings*, *54*(4), 305-309.

Ferraris, C. F., ve Martys, N. S. (2003). Relating fresh concrete viscosity measurements from different rheometers. *Journal of research of the National Institute of Standards and Technology*, *108*(3), 229.

Jenni, A., Holzer, L., Zurbriggen, R., ve Herwegh, M. (2005). Influence of polymers on microstructure and adhesive strength of cementitious tile adhesive mortars. *Cement and concrete research*, *35*(1), 35-50

Kaya, F., (2004), *Ana Hatları ile Yaptıştırıcılar* (1.Baskı), İstanbul: Birsen Yayınevi.

Kim, J. H., Robertson, R. E., ve Naaman, A. E. (1999). Structure and properties of poly (vinyl alcohol)-modified mortar and concrete. *Cement and Concrete Research*, *29*(3), 407-415.

Kim, J. H., ve Robertson, R. E. (1997). Prevention of air void formation in polymer-modified cement mortar by pre-wetting. *Cement and Concrete Research*, *27*(2), 171-176.

Ohama, Y. (1995). *Handbook of polymer-modified concrete and mortars: properties and process technology*. William Andrew.

Ohama, Y. (1997). Recent progress in concrete-polymer composites. *Advanced Cement Based Materials*, *5*(2), 31-40.

Ohama, Y. (1998). Polymer-based admixtures. *Cement and concrete composites*, *20*(2-3), 189-212.

Özkul, H. ve Taşdemir, A. (2003) Onarım harçlarının temel özellikleri. *Türkiye Mühendislik Haberleri, 426*, 142-146.

Özturan, T. (2003) Betonarme yapıların restorasyonu ve onarım, güçlendirme malzemeleri. *Türkiye Mühendislik Haberleri, 426*, 147-150.

Patural, L., Govin, A., Grosseau, P., Ruot, B., ve Deves, O. (2009, June). Effect of cellulose ethers on water retention in freshly-mixed mortars. In 11th International Conference of the European Ceramic Society (959-961). 978-83-60958-54-4.

Patural, L., Marchal, P., Govin, A., Grosseau, P., Ruot, B., ve Deves, O. (2011). Cellulose ethers influence on water retention and consistency in cement-based mortars. *Cement and Concrete Research, 41*(1), 46-55.

Pişkin, E., (1987), Polimer Teknolojisine Giriş, İnkilap Kitabevi Yayın Sanayi ve Tic., 108-113.

Pourchez, J., Peschard, A., Grosseau, P., Guyonnet, R., Guilhot, B., ve Vallée, F. (2006). HPMC and HEMC influence on cement hydration. *Cement and Concrete Research*, *36*(2), 288-294.

Pourchez, J., Grosseau, P., ve Ruot, B. (2010). Changes in C_3S hydration in the presence of cellulose ethers. *Cement and Concrete Research*, *40*(2), 179-188.

Schatzmann, M., Fischer, P., ve Bezzola, G. R. (2003). Rheological behavior of fine and large particle suspensions. *Journal of Hydraulic Engineering*, *129*(10), 796-803.

Schulze, J., ve Killermann, O. (2001). Long-term performance of redispersible powders in mortars. *Cement and Concrete Research*, *31*(3), 357-362.

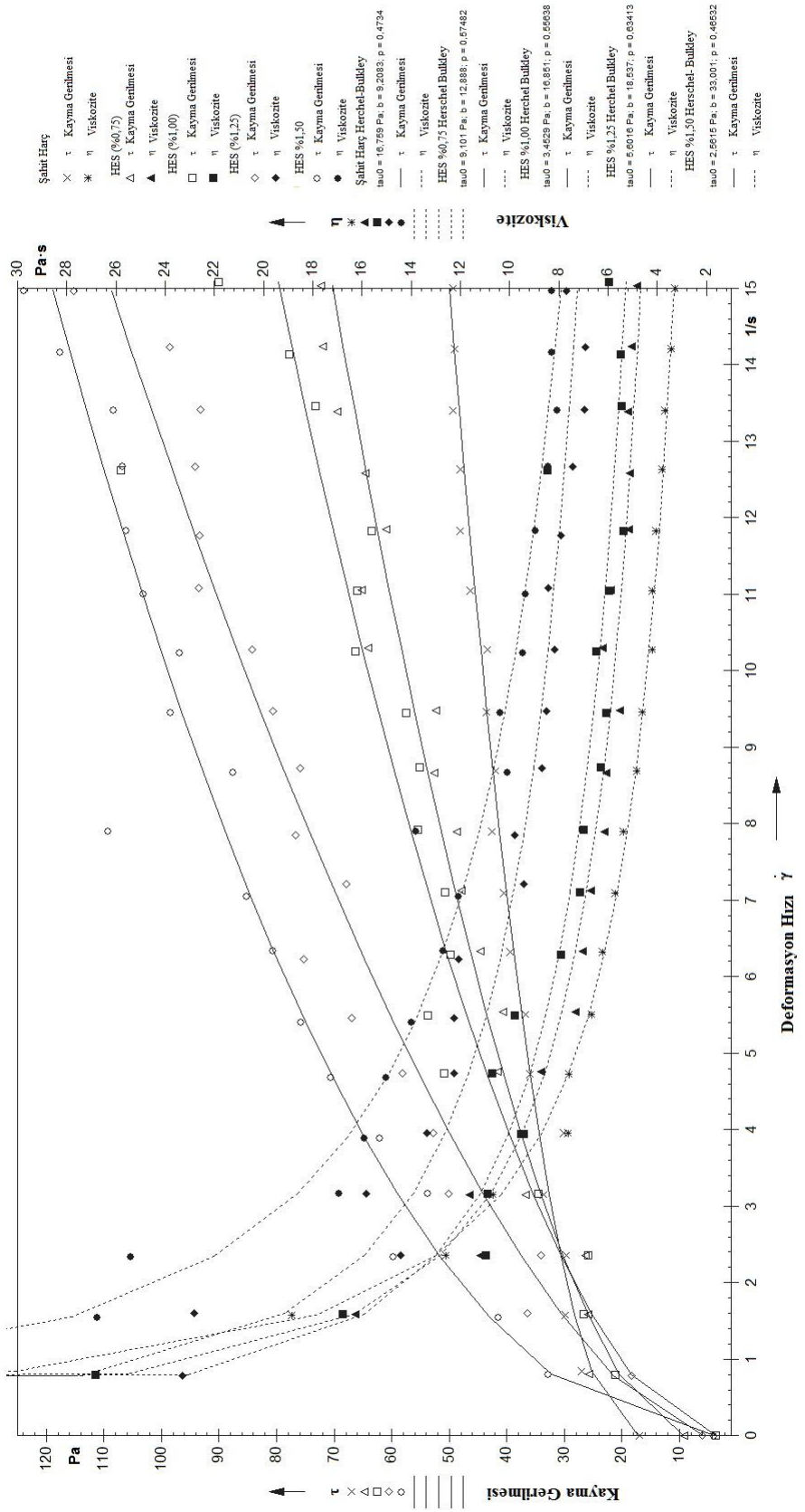
Singh, N. K., Mishra, P. C., Singh, V. K., ve Narang, K. K. (2003). Effects of hydroxyethyl cellulose and oxalic acid on the properties of cement. *Cement and Concrete Research*, *33*(9), 1319-1329

Weyers, R.E., Buchanan, P.M., Mokarem, D.W., Sprinkel M.M., Shrinkage of Latex-Modified and Microsilica Concrete Overlays, TRB 2003 Annual Meeting CD-ROM, 24, (2002).

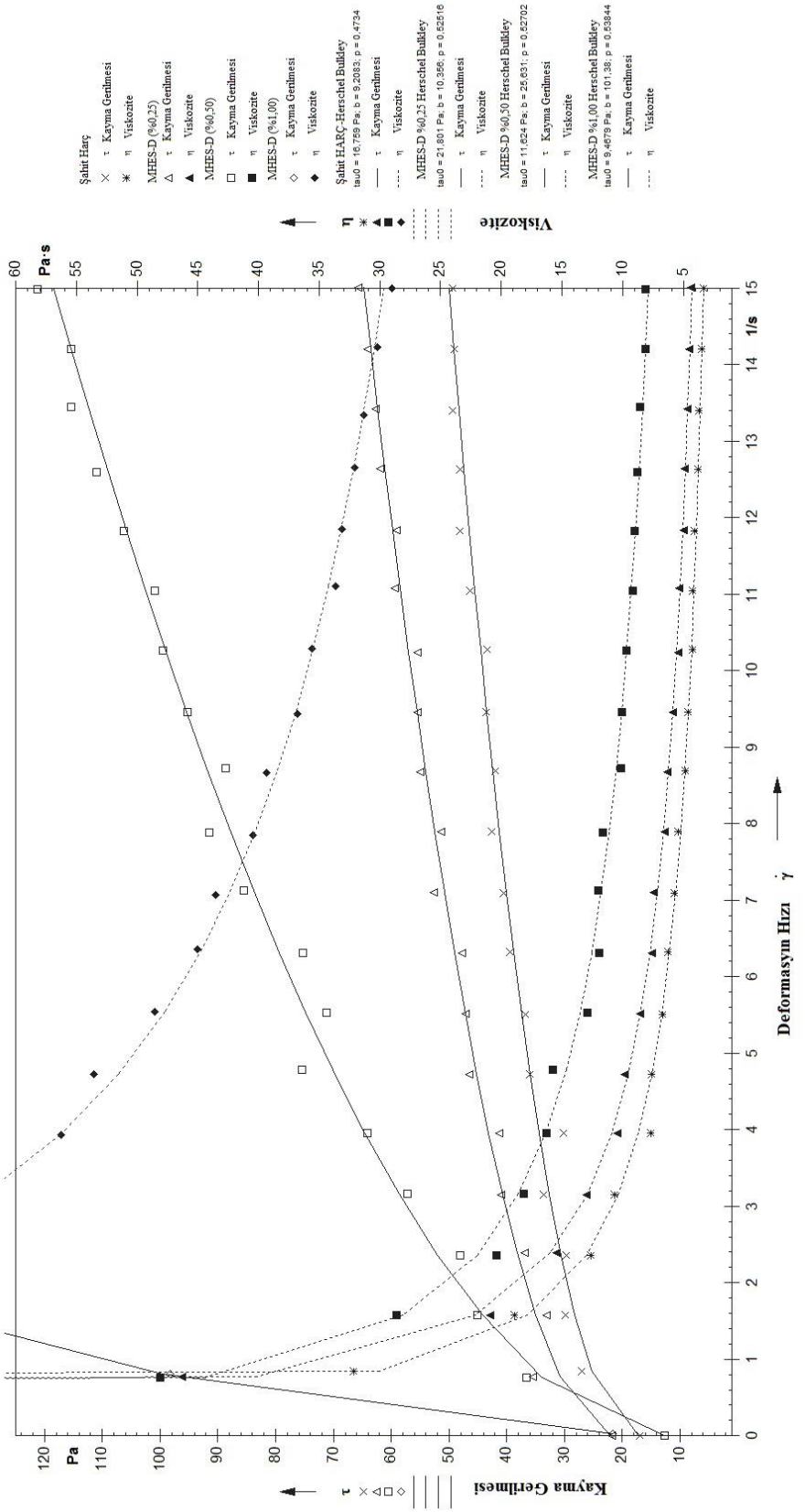
Xiong, G., Chen, X., Li, G., ve Chen, L. (2001). Sulphuric acid resistance of soluble soda glass–polyvinyl acetate latex–modified cement mortar. *Cement and concrete research*, *31*(1), 83-86.

Zhong, S., ve Chen, Z. (2002). Properties of latex blends and its modified cement mortars. *Cement and Concrete Research*, *32*(10), 1515-1524.

EK-1: Farklı Dozajlarda Kullanılan Hidroksi Etil Selüloz (HES) Katkısının Çimento Harcı Reogramlarına Etkisi ve Herschel Bulkley Model Eğrileri



EK-2: Farklı Dozajlarda Kullanılan Düşük Viskoziteli Hidroksi Etil Metil Selüloz (MHES-D) Katkısının Çimento Harcı Reogramlarına Etkisi ve Herschel Bulkley Model Eğrileri



EK-3: Farklı Dozajlarda Kullanılan Yüksek Viskoziteli Hidroksi Etil Metil Selüloz (MHES-Y) Katkısının Çimento Harcı Reogramlarına Etkisi ve Herschel Bulkley Model Eğrileri

