

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİMER KATKILI TAMİR HARÇLARININ
SÜLFAT ETKİLERİNE DAYANIKLILIĞI

Faruk EREN

Temmuz, 2016
İZMİR

POLİMER KATKILI TAMİR HARÇLARININ SÜLFAT ETKİLERİNE DAYANIKLILIĞI

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Malzemesi Programı

Faruk EREN

Temmuz, 2016

İZMİR

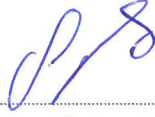
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

FARUK EREN tarafından DOÇ. DR. BURAK FELEKOĞLU yönetiminde hazırlanan “POLİMER KATKILI TAMİR HARÇLARININ SÜLFAT ETKİLERİNE DAYANIKLILIĞI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



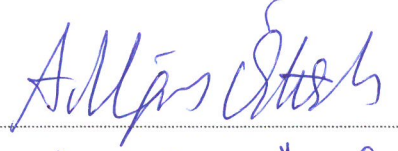
Doç. Dr. Burak FELEKOĞLU

Yönetici



Prof. Dr. Selçuk TÜRKEL

Jüri Üyesi



Doç. Dr. A. Uğur ÖZTÜRK

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

2008 – 2012 yılları arasında gerçekleştirilen Tübitak 108M062 nolu projeden elde edilen sonuçlar, bu tez çalışmasının çıkış noktasını oluşturmuştur. Tezin deneysel çalışmaları, Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Biriminin desteği ile 2015.KB.FEN.014 numaralı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Proje süresi boyunca tez çalışmamı desteklemelerinden ötürü Dokuz Eylül Üniversitesi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Tez aşamasında değerli bilgileri ve tecrübelerini bana aktaran, bu süre boyunca bana yol göstererek tez çalışmasının gelişiminde büyük katkı sağlayan ve çalışma ile ilgili çıkan sorunların çözümünde her zaman bana yardımcı olan tez danışmanım ve Bilimsel Araştırma Projesi yürütücüsü Sayın Doç. Dr. Burak Felekoğlu' na, deneysel çalışmaların yürütülmesi esnasındaki yardım ve katkılarından dolayı Sayın Doç. Dr. Kamile Tosun Felekoğlu'na, Bilimsel Araştırma Projesi sürecinde verdiği desteklerden dolayı Araş. Gör. Muhammer Keskinates'e ve Eren Gödek'e çok teşekkür ederim.

Son olarak, tüm yaşamım boyunca maddi ve manevi her konuda bana destek olan aileme çok teşekkür ederim.

Faruk EREN

POLİMER KATKILI TAMİR HARÇLARININ SÜLFAT ETKİLERİNE DAYANIKLILIĞI

ÖZ

Bu tez kapsamında polimer katkılı çimento harcı ve beton üretimine yönelik olarak daha önce yapılan çalışmalar incelenmiş ve literatür bölümünde özetlenmiştir. Deneysel çalışmalar kısmında, öncelikle 2008-2012 yılları arasında tamamlanan bir TÜBİTAK 108M062 projesi kapsamında üretilen polimer katkılı tamir harçlarının taze hal performansları ve mekanik özellikleri sunulmuştur. Söz konusu harçlar farklı oran ve türlerde polimer katkıları içermektedir. Polimer katkısı dozajı polimer türüne göre yüzde 0,25 ile yüzde 30 arasında değişmektedir. Polimer katkılarının seçiminde uygulamada sıkça kullanılan türler olmasına dikkat edilerek bir adet suda çözünebilir toz polimer (MH 10001), iki adet suda yeniden dağılabilir toz polimer (Vinnapas 7220, Vinnapas 8034) ve iki adet lateks emülsiyonu (Lipaton, Acronal S400) seçilmiştir. Bu tez kapsamında her polimer katkısı için sabit suyun çimentoya oranı (A grubu, suyun çimentoya oranı 0,50) ve sabit kıvam (B grubu, 130 mm yayılma çapı) koşullarında üretilen harç örnekleri üzerinde, uzun vadeli (7 yıllık) kılcal su emme, karbonatlaşma testleri gerçekleştirilmiş ve boşluk boyut dağılımı analizleri yapılmıştır. Ayrıca seçilen harç örneklerinin litrede 50 gramlık sodyum sülfat çözeltisinde 2,5 yıllık boy değişimi davranışları takip edilmiştir. Yukarıda özetlenen çalışmalara ek olarak 2015.KB.FEN.014 Nolu DEÜ Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında aynı harç karışımlarından yeni örnekler hazırlanıp sülfat çözeltisine henüz 1 haftalıkken yerleştirilip 3 aylık boy değişimi ölçümleri yapılmış olup, erken yaşta numunelerden boşluk boyut dağılımı için de numune alınmıştır. Elde edilen grafikler değerlendirilerek polimer katkılarının çimento harcının geçirimsizlik özelliklerine, boşluk yapısına ve sülfat direncine etkileri kıyaslanmıştır.

Anahtar kelimeler: Tamir harcı, polimer katkısı, lateks, boy değişimi, su emme

SULFATE RESISTANCE OF POLYMER MODIFIED REPAIR MORTARS

ABSTRACT

In this thesis, previous studies about polymer-modified cementitious mortar and production of concrete were examined and summarized in the literature section. At experimental studies section, first of all, fresh state performance and mechanical properties of the repair mortars were presented which have been prepared under the TÜBİTAK 108M062 project between 2008-2012. These mortars include additives and type of polymers at different ratios. Polymer additive dosage varies between 0.25 percent and 30 percent depending on the polymer type. A water-soluble polymer powder (MH10001), two water re-dispersible polymer powder (Vinnapas 7220, Vinnapas 8034) and two latex emulsion (Lipaton, Acronal S400) were selected by taking the commonly used types of application into account. In this thesis, long-term (7 years) capillary absorption, carbonation tests and the pore size distribution (PSD) analysis were conducted for each polymer additive mortar samples which has constant W/C ratio (Group A, W/C=0.50) and constant consistency (Group B, 130 mm spread flow diameter. Also the length change behaviors of selected mortar samples in 50 g/lit sodium sulphate solution were monitored for 2.5 years. In addition to the studies summarized above, new samples which prepared from the same mortar mix, has been immersed into sulfate solution when it was 1 week old, and taken 4 monthly length change measurements were performed for 3 months also another sample was taken for the pore size distribution of the mortar samples. The result in graphics evaluated and the effect of polymer additives on the permeability properties, pore structure and sulfate resistance of cement mortars were compared.

Keywords: Repair mortar, polymer additives, latex, length change, water absorption

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xi
BÖLÜM BİR- GİRİŞ.....	1
BÖLÜM İKİ - GENEL BİLGİLER.....	2
BÖLÜM ÜÇ - POLİMER İLE MODİFİYE EDİLMİŞ HARÇ VE BETONLAR	5
3.1 Polimer Katkılı Harçlarda Kullanılan Polimer Çeşitleri	7
3.1.1 Lateksler	7
3.1.1.1 Polivinil Asetat (PVAC)	8
3.1.1.2 Vinil Asetat Kopolimerleri (VAC).....	9
3.1.1.3 Akrilik Ester ve Kopolimeri (PAE ve S-A)	9
3.1.1.4 Stiren-Bütadiyen Kopolimerleri (S-B).....	9
3.1.2 Yeniden Dağılabilir Tozlar	9
3.1.3 Suda Çözünebilir Polimerler	10
3.1.4 Sıvı Polimerler	11
3.2 Polimerlerin Taze Tamir Harcı Özelliklerine Etkileri	11
3.3 Polimerlerin Tamir Harcı Mekanik Özelliklerine Etkileri	12
3.4 Polimerlerin Tamir Harcının Boyutsal Stabilitesine ve Yapışma Mukavemetine Etkileri.....	15
3.5 Polimerlerin Tamir Harcı Dayanıklılık Üzerine Etkileri	17

BÖLÜM DÖRT - PMC UYGULAMA ALANLARI VE TASARIMI 20

BÖLÜM BEŞ - SÜLFAT ETKİSİ 24

5.1 Sülfat Saldırısı Karşısında Betonda Yer Alan Reaksiyonlar	26
5.2 Suda ve Toprakta Yer Alan Sülfat Konsantrasyonunun Sülfat Saldırısının Hızına Etkisi.....	28
5.3 Sülfat Saldırısını Azaltıcı Önlemler	29
5.3.1 Betonun Geçirimsiz Olmasının Etkisi.....	30
5.3.2 Kimyasal Kompozisyon	30
5.4 Sülfata Dayanıklılık Deneyleri.....	31

BÖLÜM ALTI – DENEYSEL ÇALIŞMALAR..... 34

6.1 Amaç	34
6.2 Kapsam.....	34
6.3 Kullanılan Malzemeler.....	36
6.3.1 Çimento	36
6.3.2 Kum.....	37
6.3.3 Su	37
6.3.4 Sodyum Sülfat.....	37
6.3.5 Polimer Katkıları	37
6.3.5.1 Suda Çözünebilir Polimerler (1 Adet).....	37
6.3.5.2 Yeniden Dağılabilir Toz Formdaki Polimerler (2 Adet).....	39
6.3.5.3 Polimer Lateks Emülsiyonları (2 Adet)	41
6.4 Karışım Oranları.....	42
6.5 Polimer Katkıların Tanınmasına Yapılan DeneySEL Çalışmalar	43
6.5.1 Çimento Harçlarının Yayılma, Taze Birim Hacim Ağırlık (BHA) Deneyleri ve Eğilme-Basınç Dayanımları	44
6.5.2 Kılcal Su Emme Deneyi.....	46
6.5.3 Karbonatlaşma Deneyi	47
6.5.4 Civa Porozimetre Deneyi	47

6.5.5 Sülfat Çözeltisindeki Genleşme / Büzülme Hareketleri.....	49
BÖLÜM YEDİ – BULGULAR VE TARTIŞILMASI.....	50
7.1 Polimer Katkılı Harçların Yayılma, Taze Birim Hacim Ağırlık (BHA) ve Teorik Hava İçeriği ile İlgili Bulgular	50
7.1.1 Suda Çözünebilir Polimerlerin Etkisi	50
7.1.2 Suda Yeniden Dağılabilir Toz Formdaki Polimerlerin Etkisi.....	52
7.1.3 Latekslerin Etkisi	53
7.2 Çimento Harcı Eğilme ve Basınç Dayanımı ile İlgili Bulgular	57
7.3 Kılcal Su Emme Deneyi ile İlgili Bulgular	61
7.4 Karbonatlaşma Derinliği Ölçümleri.....	69
7.5 Civa Porozimetre Deneyi	72
7.6 Sülfat Etkisi.....	81
BÖLÜM SEKİZ – DENEYSEL SONUÇLAR	86
8.1 Çimento Harcı Deneylerinden Elde Edilen Sonuçlar.....	86
8.2 Basınç ve Eğilme Deneylerinden Elde Edilen Sonuçlar	87
8.3 Kılcal Su Emme Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar	89
8.4 Karbonatlaşma Derinliği Ölçümlerinden Elde Edilen Sonuçlar	91
8.5 Civa Porozimetre Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar	92
8.6 Sülfat Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar	95
BÖLÜM DOKUZ –SONUÇ VE ÖNERİLER.....	97
KAYNAKLAR	99

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Polimer ve monomerlerin şematik gösterimi	6
Şekil 3.2 Polimer latekslerin sınıflandırılması	6
Şekil 3.3 Polimer film tabakasının oluşum aşamaları	14
Şekil 3.4 Polimer modifiyeli harçlarda polimer köprülerin kurulmasının elektron mikroskobu görüntüsü.....	18
Şekil 5.1 Sülfatlı bir zeminin genel görünüşü Çiğli-İzmir	24
Şekil 5.2 Çimento harçlarının %5'lik Na ₂ SO ₄ çözeltisindeki boy değişimi	32
Şekil 6.1 Toz polimerlerin taramalı elektron mikroskobu fotoğraflar	38
Şekil 6.2 Toz formdaki vinil grubu kopolimer ve terpolimerlerin taramalı elektron mikroskobu fotoğrafları	40
Şekil 6.3 Üç noktalı eğilme deneyi	45
Şekil 6.4 Eğilme sonrası basınç deneyi.....	46
Şekil 6.5 Kılcal su emme deneyi.....	46
Şekil 6.6 Karbonatlaşma ölçümü	47
Şekil 6.7 Civa porozimetre deneyi	48
Şekil 6.8 Sülfat çözeltisindeki numunelerin boy değişimi ölçümü.....	49
Şekil 6.9 Sülfat çözeltisinde bekletilen polimer katkılı tamir harçları.....	49
Şekil 7.1 Suda çözünebilir polimerlerin taze harç özelliklerine etkileri	51
Şekil 7.2 Suda çözünebilir polimerlerin %0,5 oranında kullanıldığı harçlarda yayılma çapı görünüşleri	51
Şekil 7.3 Suda çözünebilir polimerin taze harç özelliklerine etkileri	51
Şekil 7.4 Suda yeniden dağılıbilir toz formdaki polimerlerin taze harç özelliklerine etkileri	52
Şekil 7.5 Suda yeniden dağılıbilir toz formdaki polimerlerin %3 oranında kullanıldığı harçlardaki yayılma çapı görünüşleri	53
Şekil 7.6 Suda yeniden dağılıbilir toz formdaki polimerlerin taze harç özelliklerin etkileri	53
Şekil 7.7 Lateks emülsiyonlarının taze harç özelliklerine etkileri	54

Şekil 7.8 Acronal serisi lateks emülsiyon içeren çimento harçlarının farklı kullanım oranlarında yayılma çapı görünüşleri	54
Şekil 7.9 Lateks emülsiyonlarının taze harç özelliklerine etkileri	55
Şekil 7.10 Lateks emülsiyonlarının (Lipaton) taze harç özelliklerine etkileri	56
Şekil 7.11 Lipaton emülsiyonu içeren çimento harçlarının farklı kullanım oranlarında yayılma çapı görünüşleri	56
Şekil 7.12 Lateks emülsiyonlarının taze harç özelliklerine etkileri	57
Şekil 7.13 Suda çözünabilir toz polimerlerin (MH10001) eğilme ve basınç Dayanım etkileri; a) Sabit S/Ç oranı (0,50), b) Sabit yayılma çapı (130 mm).....	58
Şekil 7.14 Suda yeniden dağılabilir toz polimerin (Vinnapas7220 ve Vinnapas8034) eğilme ve basınç dayanımına etkileri; a) Sabit S/Ç oranı (0,50), b) Sabit yayılma çapı (130 mm).....	59
Şekil 7.15 Lateks katkılarının (Acronal S400 ve Lipaton) eğilme ve basınç dayanımına etkileri; a) Sabit S/Ç oranı (0,50), b) Sabit yayılma çapı (130 mm).....	60
Şekil 7.16 MH10001 katkılı harçların kılcal su emme grafikleri.....	61
Şekil 7.17 Vinnapas 7220 katkılı harçların kılcal su emme grafikleri.....	62
Şekil 7.18 Vinnapas 8034 katkılı harçların kılcal su emme grafikleri.....	63
Şekil 7.19 Acronal S400 katkılı harçların kılcal su emme grafikleri.....	64
Şekil 7.20 Lipaton katkılı harçların kılcal su emme grafikleri.....	65
Şekil 7.21 MH10001 katkılı harçların kılcallık katsayısının dozajla değişimi grafikleri.....	66
Şekil 7.22 Vinnapas 7220 katkılı harçların kılcallık katsayısının dozajla değişimi grafikleri.....	66
Şekil 7.23 Vinnapas 8034 katkılı harçların kılcallık katsayısının dozajla değişimi grafikleri.....	67
Şekil 7.24 Acronal S400 katkılı harçların kılcallık katsayısının dozajla değişimi grafikleri.....	68
Şekil 7.25 Lipaton katkılı harçların kılcallık katsayısının dozajla değişimi grafikleri.....	68
Şekil 7.26 MH10001 katkısı için sabit S/Ç ve sabit kıvam altında 7 yıllık	

karbonatlaşma grafikleri.....	69
Şekil 7.27 V7220 katkısı için sabit S/Ç ve sabit kıvam altında 7 yıllık karbonatlaşma grafikleri.....	70
Şekil 7.28 V8034 katkısı için sabit S/Ç ve sabit kıvam altında 7 yıllık karbonatlaşma grafikleri.....	70
Şekil 7.29 Acronal S400 katkısı için sabit S/Ç ve sabit kıvam altında 7 yıllık karbonatlaşma grafikleri.....	71
Şekil 7.30 Lipaton katkısı için sabit S/Ç ve sabit kıvam altında 7 yıllık karbonatlaşma grafikleri.....	71
Şekil 7.31 Çimentolu sistemlerde oluşan gözeneklerin ölçü aralıkları	72
Şekil 7.32 1 aylık ve 7 yıllık katkılı numunelerin toplam porozite % dağılımı	73
Şekil 7.33 MH10001 katkısının 1 aylık ve 7 yıllık numunelerinin boşluk analizi	75
Şekil 7.34 V8034 katkısının 1 aylık ve 7 yıllık numunelerinin boşluk analizi	76
Şekil 7.35 A400 katkısının 1 aylık ve 7 yıllık numunelerinin boşluk analizi	77
Şekil 7.36 Lipaton katkısının 1 aylık ve 7 yıllık numunelerinin boşluk analizi	78
Şekil 7.37 Basınç dayanımı ile toplam porozite arasındaki ilişki	79
Şekil 7.38 Eğilme dayanımı ile toplam porozite arasındaki ilişki	79
Şekil 7.39 Karbonatlaşma derinliği ile toplam porozite arasındaki ilişki	80
Şekil 7.41 MH10001 sülfat çözeltisindeki 30 aylık genleşme/büzülme grafikleri (sabit kıvam).....	82
Şekil 7.42 MH10001 sülfat çözeltisindeki 3 aylık genleşme/büzülme grafikleri	82
Şekil 7.43 V7220 sülfat çözeltisindeki 30 aylık genleşme/büzülme grafikleri (sabit S/Ç)	82
Şekil 7.44 V8034 sülfat çözeltisindeki 30 aylık genleşme/büzülme grafikleri (sabit kıvam).....	83
Şekil 7.45 V8034 sülfat çözeltisindeki 3 aylık genleşme/büzülme grafikleri.....	83
Şekil 7.46 Acronal S400 sülfat çözeltisindeki 30 aylık genleşme/büzülme grafikleri (sabit S/Ç)	84
Şekil 7.47 Acronal S400 sülfat çözeltisindeki 3 aylık genleşme/büzülme grafikleri	84
Şekil 7.48 Lipaton sülfat çözeltisindeki 30 aylık genleşme/büzülme grafikleri (sabit S/Ç)	85
Şekil 7.49 Lipaton sülfat çözeltisindeki 3 aylık genleşme/büzülme grafikleri	85

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1 Polimer tiplerinin genel özellikleri	8
Tablo 3.2 1996'dan 2013'e kadar kullanılan beton sınıflarının gelişimi	17
Tablo 4.1 Polimer katkıli harçların kullanım alanları ve oranları	20
Tablo 4.2 Amerika Beton Enstitüsü'nün (ACI) önerdiği, köprü üst tabakası için lateks modifiyeli betonun karışım oranları	21
Tablo 4.3 SBR katkıli karışımlar için Amerika Beton Enstitüsü'nün koşulları.....	22
Tablo 5.1 Betonun sülfat saldırısına maruz kalacağı ortamların sınıflandırılması (ACI 201)	28
Tablo 5.2 Doğal zeminler ve yer altı sularından kaynaklanan kimyasal etkiler için etki sınıflarının sınır değerleri (TS-EN 206-1).....	29
Tablo 6.1 Tez kapsamında gerçekleştirilen deneysel çalışmaların akış şeması.....	35
Tablo 6.2 Tübitak 108M062 ve BAP KB.FEN.014 nolu projede kullanılan çimentonun analizi	36
Tablo 6.3 CEN Standart kum tane boyut dağılımı	37
Tablo 6.4 Suda çözünabilen polimerlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri	38
Tablo 6.5 Yeniden dağılılabılır toz formda polimerlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	40
Tablo 6.6 Polimer lateks emülsiyonlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri	42
Tablo 6.7 Deney setlerinde kullanılan katkı ve dozajları.....	43
Tablo 7.1 Toplam porozite değerini etkileyen faktörler	80
Tablo 8.1 İşlenebilirlik, birim hacim ağırlık ve teorik hava ilişkisi.....	86
Tablo 8.2 Eğilme ve Basınç dayanımı ilişkisi.....	88
Tablo 8.3 Kılcal yolla emilen su grafikleri	90
Tablo 8.4 Karbonatlaşma derinliği ölçümü.....	91
Tablo 8.5 1 aylık örnekler için toplam porozite %	93
Tablo 8.6 7 yıllık örnekler için toplam porozite %	94
Tablo 9.1 Katkıların yapılan deneyler altında kıyaslanması	97

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Tüm yapı malzemeleri arasında beton, dünyada en yaygın kullanılan malzemedir. Üretim kolaylığı, şekillendirilebilme özelliği, düşük malzeme maliyeti ve göreceli olarak basınç dayanımı gibi nedenlerden dolayı betonarme taşıyıcı sistemler tercih edilmektedir. Betonun davranış şekline bakıldığında basınçta güçlü; fakat çekmede zayıf olduğu bilinmektedir. Bu nedenle donatılendirme yoluyla çekme gerilmeleri altındaki performansı iyileştirilmiştir. Betonun şekillendirilmesi sonrasında bünyesinde sıkışık hava boşlukları kaldığı için beton aynı zamanda boşluklu bir malzemedir. Sertleşmiş beton, hidrasyon reaksiyonlarının, diğer bir deyişle su ve çimento arasında olan reaksiyonların bir sonucu olarak mukavemet kazanır.

Çevresel koşulların olumsuz olduğu durumlarda, birbiri ile bağlantılı olan kapiler boşluklar; suyun, farklı gazların ve suda çözünen kimyasal maddelerin (iyonların) beton bünyesine girerek zararlı reaksiyonlara yol açmasında neden olur. Beton; kimyasal (buz çözücü tuz etkisi, sülfat, asit saldırısı vb.), fiziksel (ıslanma kuruma, donma çözülme, ısınma soğuma, aşınma, yangın vb.) ve mekanik (aşırı yükleme, noktasal yükleme nedeniyle gerilme yığılması vb.) etkilere maruz kalması durumunda, yeterli dayanım ve dayanıklılığa sahip değilse hızlı bir bozulma sürecine girer. Bu durum özellikle beton yollar, otoparklar, betonarme köprü tabliyeleri, iskeleler, sanat yapıları, sanayi tesisleri, betonarme bacalar gibi yapılarda söz konusudur. Servis ömrü sırasında öngörülen çevresel koşullar ve yükleme koşullarının aşılması durumunda bozulma süreci hızlanmaktadır. Tüm bu etkilere karşı betonun bozulma sürecini yavaşlatma veya engelleme amacıyla geleneksel beton teknolojisinde S/Ç oranını azaltmak ve minimum çimento dozajını kullanmak en etkili çözümlerdir. Bu çözümler işlenebilirlik problemini beraberinde getirmekte ancak süperakışkanlaştırıcı katkılarla söz konusu problem çözülmektedir. Bir diğer yaklaşım da beton üretiminde polimer katkılarının kullanımıdır.

Polimer katkıları farklı amaçlara yönelik olarak geniş bir dozaj aralığında (çimento ağırlığının %0,1-50'si aralığında) kullanılmaktadır. Çimento hamuru ve

agrega ile kuvvetli bir bağ oluşturan polimer katkıları kullanılması durumunda betonun servis ömrüne olumlu etki yapma potansiyelleri yüksektir. Klasik Portland çimentosu ile üretilen betona kıyasla daha iyi işlenebilirlik, daha üstün mekanik özellikler ve dış etkilere karşı daha yüksek direnç elde edilebilir. Beton tasarımında hedeflenen kriterlerin sağlanmasında polimer katkılarından yararlanılabilir. Örneğin yüksek aderans hedeflenen yapıştırma harcı ve seramik yapıştırıcısı uygulamalarında suda çözünen polimer türevli katkıların kullanımı günümüzde bir ihtiyaç haline gelmiştir. Son yıllarda yaygınlaşan onarım-güçlendirme işlerinde sıklıkla tamir harçları kullanılmaktadır. Polimer katkılı tamir harçlarının; sadece çimento, su ve ince agrega içeren tamir harçlarına kıyasla pek çok avantajı vardır. Uygulamada başarılı bir performans elde edilmesi; tamir harcının işlenebilirlik özelliklerine, boyutsal stabilitesine, mekanik özelliklerine ve eski beton ile arasındaki uyuma bağlıdır. Söz konusu özelliklerin en uygun ve ekonomik şekilde tamir harcına kazandırılması, ancak tasarımda reolojik ve mekanik özelliklerin optimizasyonu ile mümkün olabilir (Emmons ve diğer., 1994). Polimer katkılı tamir harçlarının sadece mekanik özelliklerinin uygunluğu yeterli olmayıp, aynı zamanda uzun vadeli sülfat etkilerine dayanıklılığının da kontrol edilmesinde yarar vardır.

BÖLÜM İKİ

GENEL BİLGİLER

Tamir harçları, değişik etkenler altında hasar görmüş yapı ve yapı elemanlarının özelliklerinin hasar öncesi duruma getirilmesi veya daha da iyileştirilmesi amacı ile kullanılabilir. Hasar nedenleri bir dayanıklılık problemine bağlı olabileceği gibi, deprem gibi dış yüklemeler sonucu da ortaya çıkabilir. En belirgin durabilite problemi olarak korozyon öne çıkmaktadır. Karbonatlaşma ya da klor etkisi altında oluşabilen korozyon sonucu hem donatıda kesit azalmaları oluşmakta, hem de paspayı betonu çatlatarak donatı-beton aderansını azaltmaktadır. Diğer durabilite problemlerinden olan sülfat etkisi, donma-çözülme etkileri, alkali-agrega reaksiyonu ve zararlı kimyasalların etkileri altında da betonda hasarlar oluşabilir. Öte yandan ülkemizde olduğu gibi deprem bölgelerindeki diğer ülkelerde de yapılar deprem hasarı riski altındadır. Oluşan hasarların onarılmasında tamir harçlarından yararlanılabilir (Özkul ve Taşdemir, 2003). Onarım çalışmalarında çok çeşitli malzemeler kullanılmakta olup, bunların seçimlerinde uygun nitelikte onarım malzemelerinin seçilmesi önem kazanmaktadır. Onarım harçları üç gruba ayrılabilir. (Özkul ve Taşdemir, 2003):

- Çimento bağlayıcılı onarım harçları; Portland çimentosu dışında değişik boyutlarda ince agrega (kum) ve filler içerebilirler. Ayrıca bu harçların bileşimine kimyasal ve mineral katkıları (silis dumanı ve uçucu kül gibi) ile lif de katılabilir.
- Polimer ile modifiye edilmiş çimento esaslı harçlarda ise; birinci grup harçlardan farklı olarak toz, emülsiyon ya da lateks türü suda dağılabilen bir polimer ilave edilir.
- Polimer bağlayıcılı harçlarda ise; çimento bulunmaz, ancak diğer bileşenlerden kum ve filler ile mineral katkıları yer alabilir.

Doğru onarım malzemesinin seçilmesi için kullanıcıların elinde malzemelerin özelliklerine ilişkin verilerin bulunması gereklidir. Bu verilere bağlı olarak yapılacak doğru seçimler, onarılmış yapı elemanlarının performansını ve dayanıklılığını önemli düzeyde etkilemektedir. Uygun malzeme özelliklerinin bilinmesinin ve seçiminin yanında, uygulamadaki servis koşullarının doğru tahmin edilmesi ve doğru

uygulamanın yapılması da çok önemlidir. Oluşturulan kompozit sistemin özellikleri uygun deney yöntemleri ile laboratuvar koşullarında kontrol edilmelidir. Aynı deney yöntemleri arazi koşullarında uygulanarak laboratuvar ve arazi koşullarında elde edilen sonuçlar arasındaki uyum da ayrıca kontrol edilmelidir (Karagüler, 2003).

Çimento esaslı tamir harçlarının tasarımında yukarıda sözü edilen hedeflere ulaşmak için polimer esaslı katkılardan yararlanılmaktadır. Örneğin, polimer ilavesi ile taze haldeki betona; hava sürüklenme, kıvam iyileşmesi sağlama, su tutma kapasitesi arttırma, yapışkanlık sağlama gibi özellikler kazandırılabilir (Özkul, 2003; Zhong ve Chen, 2002; Barluenga ve Olivares, 2004). Sertleşmiş halde ise özellikle eğilme dayanımı ve aderans arttırma, esneklik sağlama, çatlak köprüsü oluşturabilme, tokluğu arttırma, su geçirimsizlik sağlama, donma-çözülme etkilerine dayanıklılık gibi avantajlar polimer kökenli katkılar ile mümkün hale gelebilir (Bureau ve diğer., 2001; Özkul ve Taşdemir, 2003; Pascal ve diğer., 2004; Çolak, 2005; Jenni ve diğer., 2005). Diğer yandan polimer kökenli katkılarının amaca yönelik olarak uygun miktarlarda kullanılmaması halinde, bir takım yan etkiler ortaya çıkarak kompozitin bazı özelliklerini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu yan etkiler, en çok priz gecikmesi ve aşırı hava sürüklemeye bağlı olarak dayanım düşüşleri şeklinde sıralanabilir (Kim ve Robertson, 1997; Wu ve diğer., 2002).

BÖLÜM ÜÇ

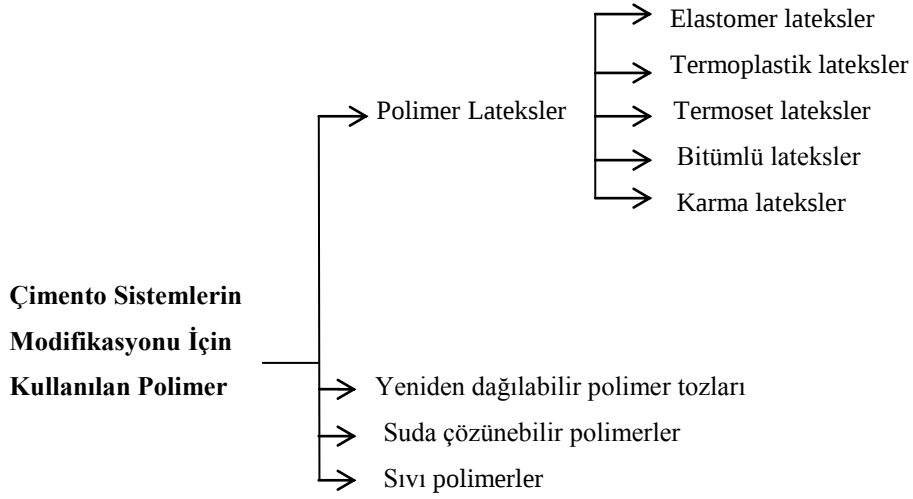
POLİMER İLE MODİFİYE EDİLMİŞ HARÇ VE BETONLAR

Tamir harçlarında kullanılan polimerler farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Örneğin kullanım şekillerine göre toz formda, emülsiyon veya lif halinde polimerler farklı amaçlar için kullanılabilir. Polimerleri kimyasal özelliklerine göre de sınıflandırmak mümkündür. Ancak polimer kökenli katkıların üretimleri genellikle kopolimer ve son yıllarda terpolimer şeklinde olduğundan birkaç monomerin bir arada bulunduğu kimyasalların varlığı sözü edilen sınıflandırmayı güçleştirmektedir.

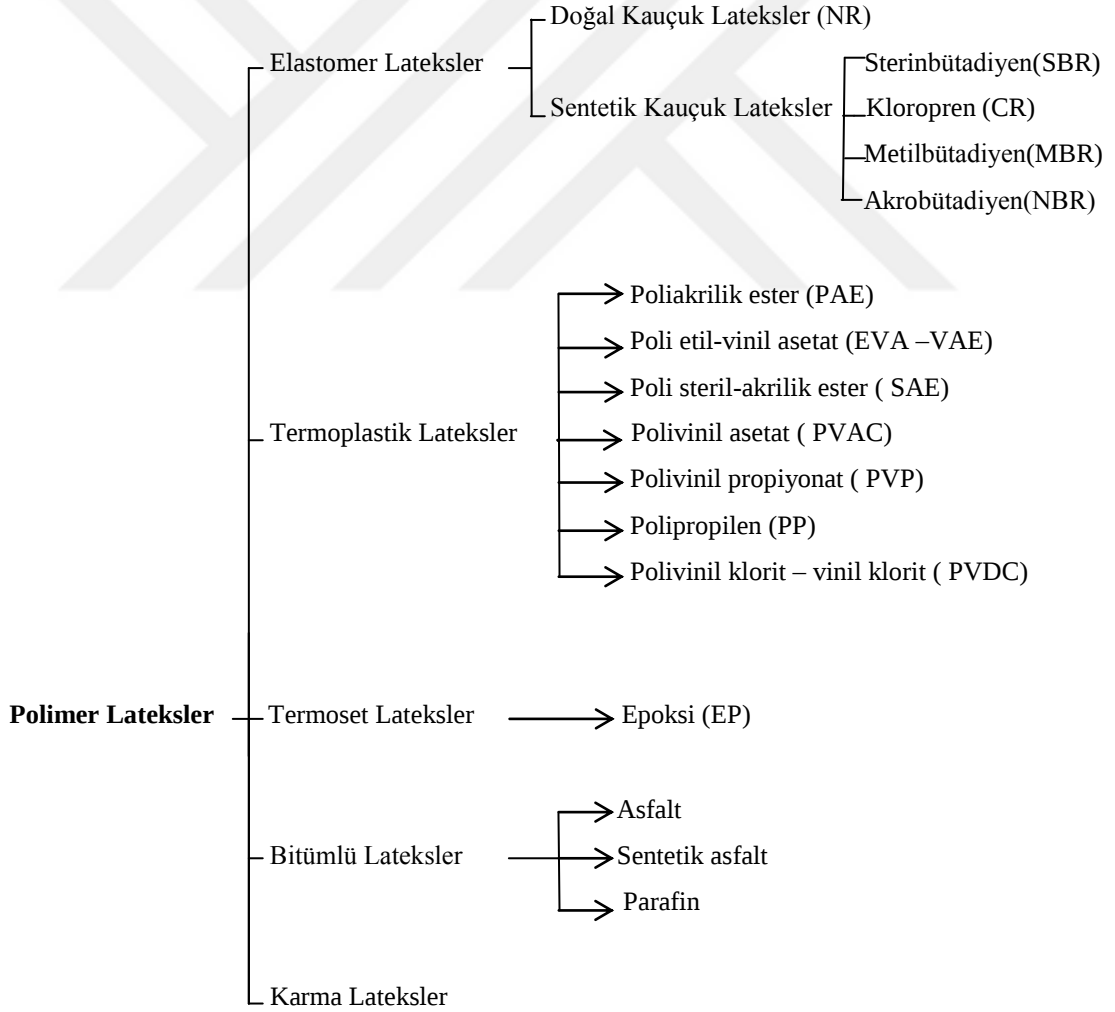
Bu literatür bilgisinde Ohama'nın (1997, 1998) gruplandırmasından yola çıkılarak sınıflandırma yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan polimer kökenli katkılarda da aynı gruplandırma kullanılmıştır. Ohama (1997, 1998), çimento esaslı malzemelerde kullanılan polimer kökenli kimyasalları kullanım şekli ve polimerin işlevine göre dört grupta toplamıştır (Şekil 3.1):

- Polimer lateks emülsiyonları (Polymer latex emulsions)
- Yeniden dağılılabir polimer tozları (Redispersible polymer powders)
- Suda çözünebilir polimerler (Water soluble polymers)
- Sıvı polimerler (Liquid polymers)

Çimento esaslı tamir harçlarında daha çok polimer lateks emülsiyonları, yeniden çözünebilen (redispersible) polimer tozları ve suda çözünebilen (water soluble) polimerler tercih edilmektedir. Sıklıkla kullanılan polimer katkıları; polivinilalkol (PVA) (Rottstegge ve diğer., 2005; Kim ve diğer., 1999; Xiong ve diğer., 2001), sterin-bütadien kauçuk (SBR) (Afridi ve diğer., 2003; Ohama, 1998), sterin-akrilik esteri (SAE) (Ohama, 1998; Velinsky, 2002), polivinilidin klorit (PVDC), etilen vinil asetat (EVA) (Afridi ve diğer., 2003; Ohama, 1998) ve metil-selüloz (MC) (Rottstegge ve diğer., 2005; Ohama, 1998) olarak sıralanabilir (Şekil 3.2).



Şekil 3.1 Polimerin kullanım şekillerine göre şematik gösterimi (Ohama,1998)



Şekil 3.2 Polimer latekslerin sınıflandırılması (Ohama, 1998).

3.1 Polimer Katkılı Harçlarda Kullanılan Polimer Tipleri

3.1.1 Lateksler

Polimer katkılı betonlar için günümüzde en çok kullanılan polimer tipi latekslerdir. Lateksler, organik polimer taneciklerin su içinde çözünebilmesi olarak da tanımlanabilir (Walters 1987). Ortalama parça boyutu 100 ile 2000 nanometre arasında değişmektedir. Lateksler genellikle, emülsiyon polimerizasyonu olarak bilinen, polimerin su içinde bir emülgatör yardımıyla stabilize edilmesi yoluyla üretilir.

Lateks hidrolik çimento sisteminin kullanımı 20. yüzyılın başlarına dayanır. Cresson (1923), kaplama malzemelerini, doğal kauçuklu lateksler ile çimentoyu birleştirerek yapan ve patent alan ilk kişidir. Bir yıl sonra, Lefebure polimer lateks katkılı sistemlere modern fikir getirmiştir ve doğal kauçuk lateksi belirli oranlarda kullanarak lateks katkılı harç ve beton üretmiştir. Diğer araştırmacılar da bu gelişmelerin devamında 1920 ile 1930'lu yıllar boyunca doğal kauçuk lateks kullanarak farklı tip lateks katkılı harçlar ve betonlar geliştirmişlerdir.

1932'de lateks ilk kez katkılı sistemlerde, doğal kauçuk yerine sentetik kauçuk kullanılmıştır. 1933'te sentetik reçine lateksler (polivinil asetat lateksler dahil) kullanılmaya başlanmıştır. 1930'ların sonlarına doğru mucitler bu tipteki polimerlerin (doğal, sentetik, elastomer ve plastomer) polimer katkılı betonlarda kullanılabileceğini dile getirmişlerdir. 1940'larda sentetik latekslerde, polikloroprin kauçuk ve poliakrilik ester latekslerde patent alınmıştır. Ek olarak, polivinil asetat katkılı harç ve beton uygulamalarında gelişmeler yaşanmıştır.

1940'ların sonlarına doğru gelindiğinde, lateks katkılı harçların ve betonların, köprülerde, kaldırımlarda, zeminlerde, anti korozyon yerlerde ve gemilerdeki güverte alanlarında kullanılmaya başlandığı görülmüştür. 1948'de Stevens ve 1951'de Griffiths doğal kauçuk katkılı sistemlerle ilgili çalışmalar yapmışlardır. Stevens ve Griffiths' in çalışmaları sentetik lateks sistemlerinde büyük katkı sağlayacak tipte

olmuştur. Ayrıca Geist bu dönemde, polivinil asetat katkılı harçlar ile ilgili detaylı çalışmalar yapmış ve lateks katkılı sistemlerin gelişimi ile ilgili pek çok faydalı araştırmalar ortaya koymuştur (Geist ve diğer., 1953).

Polimer katkılı betonların kullanımı hakkında yapılan araştırmalarda, birden fazla çeşitte polimer tipinin olduğu görülmüştür (Ohama 1984). Günümüzde daha çok kullanılan tipler ise;

- Vinil asetat homopolimeri (PVAC)
- Vinil asetat kopolimeri (VAC)
- Akrilik ester homopolimeri (PAE) ve kopolimeri, özellikle sterinli (S-A)
- Sterin-bütadiyen kopolimeri (S-B) olarak sıralanabilir.

Bu polimer katkıların fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.1’de sunulmuştur (ACI 548, 1992).

Tablo 3.1 Polimer tiplerinin genel özellikleri(ACI 548, 1992)

Lateks Tipi	PVAC	VAC	PAE (S-A)	S-B
% uçucu olmayan katı madde içeriği	52	55	47	47
Ph değeri	5	5	9	10
Ortalama tane boyutu, nm	2000	800	220	180
Yoğunluk, g/ml	1,09	1,07	1,06	1,01
Camsı geçiş sıcaklığı, C	+30	-3	+12	+5
Viskozite, Brookfield RV, 20 rpm, Pa	500	500	50	30

3.1.1.1 Polivinil Asetat (PVAC)

Bu tür lateksler, aderans sağlayıcı tipler olduğundan sıva yapıştırma uygulamaları için yaygın olarak kullanılır. Bu tip latekslerin suya dayanıklılığı düşük olduğu için ıslaklık dayanımı da düşüktür. Portland çimentosu karışımlarındaki yüksek alkalitede PVAC hidrolizleri ıslak olursa, reaksiyon sonucu oluşan ürünler suda çözünür (ACI 548, 1997).

3.1.1.2 Vinil Asetat Kopolimerleri (VAC)

Bu tip malzemeler, sıva yapıştırma ve daha hafif şartlardaki portland çimentosu harçları için polimer katkısı olarak kullanılabilir (ACI 548, 1997).

3.1.1.3 Akrilik Ester ve Kopolimeri (PAE ve S-A)

Bu tür lateksler, yıllar boyunca genellikle fayans yapıştırıcıları, zemin kaplamaları, alçı işleri, dış cephe yalıtımı bitiş sistemleri ve beton onarımlarında kullanılmıştır. Rengin ve renk haslığının önemli olduğu yerlerde bu tip lateksler ve akrilik esterlerin kullanımına ihtiyaç duyulmuştur (Lavella, 1988).

3.1.1.4 Sterin-Bütadiyen Kopolimerleri (S-B)

Bu tip lateksler, beton ve harç yüzeyi kaplaması ve onarımı için suyun geçirimsizliğine dayanıklılık ve iyi adhezyon sağlanması istenildiği durumlarda kullanılır, renk haslığı aranmaz. Bu tip lateksler betonlarda 30 yıla aşkın süredir kullanılmaktadır (Walters, 1991). Kuzey Amerika'da köprü ve park yerleri gibi alanların üst kısımlarında suda çözünen tuzun (NaCl) geçirimsizliğini düşürmek için kullanılmıştır. Bu tuzlar, korozyona ve betonarme yapıda ve üstyapılarda bozulmaya yol açmaktadır.

3.1.2 Yeniden Dağılabilir Tozlar

Su ile karıştırılan veya sulu karışımlarda kullanılan yeniden dağılabilir tozların kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Benzer şekilde çimento ve agregaya eklenen toz daha sonra su ile karıştırılır. Bu işlem, daha doğru bir karışım oranlanmasını sağlar ve iki bileşenli bir lateks sistemi kullanarak daha uygun hale gelir. Lateksler ile aralarındaki fark ise latekslerin sıvı halde olması, yeniden dağılabilir tozların toz formda bulunmasıdır. Vinil asetat kopolimeri koşullara uygun en sık kullanılanlarıdır, ancak son zamanlarda akrilik tozları da geliştirilip kullanılmaya

başlanmıştır (Tsai, 1993). Polivinil asetat tozların kullanımı hidrolize eğilimlerinden dolayı azalmaktadır.

3.1.3 Suda Çözünabilir Polimerler

Suda çözünebilen polimerler toz veya sıvı formda üretilebilir. Selüloz türevleri, polivinil alkol, poliakrilamit, kalsiyum-magnezyum akrilat belli başlı suda çözünebilen polimerler arasındadır. Temel işlevleri kıvam arttırmak, tiksotropik davranışı (maddenin jeli karıştırıldığında sıvı hale gelmesi, aynı sıvı hale geçmiş olan bu maddenin biraz bekletildiğin de ise tekrar yarı-katı ya da jel hale geri dönmesi) kuvvetlendirmek ve su tutmayı sağlamak olarak sıralanabilir. Daha çok taze harç özelliklerini istenen amaç doğrultusunda geliştirmek için kullanılır. Aşırı miktarda kullanılması halinde priz gecikmesi ve hava sürüklenme gibi yan etkilerle karşılaşılabilir (Knapen, 2005).

Bilim ve Teknoloji Yenilik Teşvik Enstitüsü (Institute for the Promotion of Innovation by Science and Technology) araştırmacıları, suda çözünebilen polimerlerin sertleşmiş harç üzerinde çekme gerilmesini arttırma, çimento –agrega ve çimento-lif arasındaki bağı güçlendirme gibi yararlı etkilerin olduğunu da söylemiştir. Ara yüzeyde meydana gelen sıkı tutunma sayesinde permeabilitede düşüş gözlemlendiğini vurgulamışlardır. Araştırmacıların yaptığı çalışmalar sonucuna göre selüloz eter, çimento hamurunun çatlama riskini arttırmaktadır; fakat çimento kütlesinin %0,4'ü kadar suda dağılabilen metil selüloz eklemesi yapıldığında kohezyonu arttırarak bu çatlamanın önüne geçildiği görülmüştür. Çimento harcının sertleşmesi sırasında eklenen suda dağılabilen polimerler iki işlevi yerine getirmektedir; bunlar hidratasyon ve polimer film köprüsü oluşumlarıdır. Yapılan bir araştırma sonucunda ise, polimer katkılı betonların basınç dayanımı katkısız betonların dayanımlarına oranla düşük çıkmıştır. Bunun nedeni polimer katkılı betonlarda oluşan hava sürüklenme olayı ile ilişkilendirilmiştir (Knapen, 2005).

3.1.4 Sıvı Polimerler

Çimento esaslı malzemelere sıvı polimerlerin doğrudan eklenmesi, pratikte tercih edilen bir yöntem değildir. Epoksi reçineleri veya doymamış polyester reçineleri bir katalizör ve hızlandırıcı ile karıştırılarak sıvı polimer hazırlanır ve taze çimento harcına eklenir. Ekonomik açıdan bakıldığında lateks ve suda çözünabilir polimer kullanımı daha çok tercih edilmektedir.

3.2 Polimerlerin Taze Tamir Harcı Özelliklerine Etkileri

Polimer katkılarının türü ve polimer/çimento oranına göre taze beton reolojisine etkileri değişkenlik göstermektedir (Barluenga ve Olivares, 2004). Literatürde genel olarak polimer katkıların işlenebilirliği kolaylaştırdığı belirtilmektedir (Ohama, 1997). Çok küçük küresel polimer tanecikleri, sürüklenmiş hava kabarcıkları gibi davranarak işlenebilirliği artırır, kusmayı azaltır. Bu sebepten dolayı, lateks kullanıldığında S/Ç oranı azalmaktadır ve işlenebilirlik artışı polimer katkıların yarattığı hava sürüklenme etkisi ile polimer taneciklerinin kaydırıcı etkisine bağlanmaktadır. Sürfaktanlar da ayrıca su ihtiyacını azaltır. Ancak işlenebilirliği tek bir parametre ile açıklamak mümkün olmadığından böyle bir genelleme yapmak sağlıklı olmayabilir.

Bazı polimer katkıları yüksek oranda kullanılmaları halinde hava sürüklenme potansiyeline sahiptir (Kim ve diğer., 1999; Şengül ve diğer., 2003). Bir dereceye kadar işlenebilirlik açısından olumlu olan bu durum %5'in üzerindeki hava sürüklenme oranlarında dayanıma olumsuz etki yapmaktadır. Hava sürüklenme etkisi köpük kesici (anti-foaming) katkılarla bir miktar azaltılabilir. Ancak köpük kesici katkıların da kullanımı, yapışma mukavemetini azaltacağından aşırı kullanımdan kaçınmak gerekir. Kim ve Robertson (1997) tarafından yapılan çalışmada, polimer katkıların harç karışımına, su – çimento - kum karışımı yapıldıktan sonra katılması halinde hava sürüklenme etkisinin azaldığı belirtilmektedir. Polimer katkısının ilavesi, hidrate olmamış çimentolar etrafında oluşan polimer film tabakası nedeniyle hidratasyon hızını yavaşlatır. Latekslerdeki alkilbenzen sülfonatlar ve kazeinatlar

gibi sürfaktanlar da çimento hidratasyonuna engel olur ve yavaşlatır. Dolayısıyla priz süresini geciktirir (Beeldens ve diğer., 2001).

Literatürde aynı zamanda işlenebilirliği azaltan polimer katkıları da rapor edilmiştir (Çolak, 2005). Hidrofil özellikte olan polimer katkıları, aynı zamanda yüksek oranda su tutma potansiyeline sahiptirler. Yüksek oranda su tutma potansiyeli harcın viskozitesini arttıracak için işlenebilirliği zorlaştırabilir. Taze halde yapışkanlık ihtiyacı aranan harçlarda hidrofil özellikteki suda çözünen polimer katkılarından yararlanılmalıdır. Lateks kullanılan harç ve betonların yüzeyinin perdahlanması, geleneksel harç ve betona kıyasla biraz daha güçtür. Yüzeyin iki veya üç defa mala ile düzeltilmesi gerekebilir.

Polimer katkılı taze harçların reolojik davranışı, klasik çimento hamurundaki davranışa göre farklılık göstermektedir. Bu farklılık uygulama yöntemine göre kullanıcıya büyük kolaylıklar sağlayacak şekilde kullanılabilir.

Reolojik parametrelerin tanımlanması ile basitçe uygulanabilen, mekanik performansı istenilen düzeyde olan ve uygulandığı alt tabaka ile yapışma mukavemeti yüksek ve boyutsal stabilite açısından uyumlu tamir harçları üretmek kolaylaşacaktır. Uygun reolojik özelliklere sahip harç kullanılarak, klasik tamir harçlarının uygulanmasının mümkün olmadığı boşluklar doldurulabilir. Uygulama yöntemi olarak doğrudan mala ile uygulama, akıcı kıvamda dökme veya püskürtme yöntemleri seçilebilir (Emmons ve diğer., 1994). Her bir uygulamada ihtiyaç duyulan harcın reolojik özellikleri farklı olacaktır.

3.3 Polimerlerin Tamir Harcı Mekanik Özelliklerine Etkileri

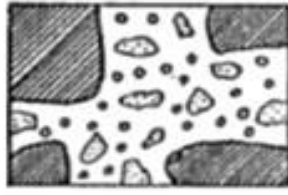
Polimer katkılarının harca doğrudan ilavesi durumunda, basınç dayanımını genellikle etkilememekte veya hava sürüklenme etkisi nedeniyle bir miktar düşürdüğü durumlar gözlemlenmektedir (Çolak, 2005; Beeldens ve diğer., 2001; Pascal ve diğer., 2004; Pei ve diğer., 2002). Schulze ve Killerman'ın (2001) yaptığı araştırmada ise vinil asetat etilen (VAE) ve stiren akrilik (SA) polimerleri ile üretilen

harçların 10 yıllık eğilme dayanımlarında herhangi bir fark görülmemiştir. Eğer polimer katkısının su azaltıcı özelliği varsa, karma suyu azaltılarak yüksek basınç ve eğilme dayanımı elde edilebilir. Çoğunlukla polimer/çimento oranına bağlı olarak polimer ilavesinin eğilme ve çekme dayanımlarına olumlu etkileri rapor edilmiştir (Ohama, 1997, Ohama, 1998, Pascal ve diğer., 2004, Bureau ve diğer., 2001, Gao ve diğer., 2002).

Zhong ve diğer., (2002), sterin-akrilik ester (SAE) ve sterin-bütadien kauçuğun (SBR) birlikte kullanımının eğilme dayanımına olumlu etkisini tespit etmiştir. Harç matrisindeki çimento hamuru ve agrega taneleri arasındaki aderansı artırma yoluyla bu artışı sağladığı iddia edilmiştir. Aynı etki harcın uygulanacağı beton yüzey ile aderansı için de söz konusudur (Singh ve diğer., 2003; Jenni ve diğer., 2005; Momayez ve diğer., 2005).

Polimer katkılı harçlar için, kür haricinde mekanik özellikleri etkileyen parametreler klasik çimento harcındakilere paraleldir. Polimer katkılı tamir harçlarının su içindeki kürü kısa tutulmalıdır. Sürekli su içinde bekletilen harçlarda polimer film tabakası oluşmadığı için hedeflenen mekanik özelliklere ulaşmak güçtür. Ancak ilk günler ıslak kür sonrası havada bekletilen harçların dayanımları yükselmektedir (Wang ve diğer., 2005). Bu durum polimer film tabakasının oluşarak, harç bünyesindeki suyun kaybını önlemesine ve hidrasyonun daha uzun süre devam etmesine bağlanmaktadır (Çolak, 2005; Kim ve diğer., 1997). Polimer film tabakalarının güçlü bir dayanıma sahip olabilmesi için periyodik halde kuru kür uygulanması gerekmektedir. Kuru küre bağlı olarak da katkılı harçların eğilme dayanımında da % 20'ye yakın bir oranda artış gözlemlenmektedir. (Ohama, 1995) Şekil 3.3'te tipik bir polimer katkısının çimento esaslı matriste hidrasyon reaksiyonları sonucu oluşan ürünlerin etkileşimi grafikte görselleştirilmiştir.

a) Karıştırma işleminden sonraki durum;



-  Hidrate olmamış çimento parçaları
-  Polimer parçaları
-  Agregalar

b) İlk adım;



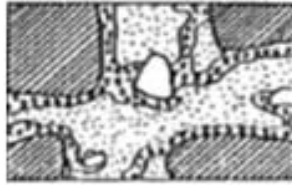
-  Hidrate olmamış çimento parçacıkları ile çimento jelinin karışımı

c) İkinci adım;



-  Çimento jelinin ve hidrate olmamış çimento parçalarının polimer film tabakası ile kaplanması

d) Üçüncü adım (Sertleşmiş durum);



-  Çimento hidratların polimer film ile kaplanmış görüntüsü
-  Sürüklenmiş hava boşlukları

Şekil 3.3 Çimento matrisi sisteminde polimer film tabakasının oluşum aşamaları (Ohama, 1995)

Zaman içerisinde çimento taneleri ve agrega yüzeyine dağılan polimer taneleri hidrate ürünler etrafında polimerize olarak film tabakası oluşturmaktadır. Bu esnada çimento harcının kapiler boşluklarından drene olan suyun yerini film tabakası almaktadır. Bu olayın gelişim evreleri şu şekilde ifade açıklanabilir: Kuruma ile meydana gelen su kaybı sırasında drene olan su ile polimer parçacıkları kapiler boşluklara birikir. Bu aşamada çimento hidratasyonu ile CSH jeli oluşumu devam etmektedir. Çimento hamurundaki boşluklar birkaç yüz pikometre ile birkaç yüz nanometre arasındadır. Tipik bir lateks emülsiyonunda da polimer tanecikleri 50-500 nanometre arasında değişmektedir. Bazı reaktif polimerlerin (poliakrilik ester (PAE), polistiren ester (SAE), poli (vinilidin klorit-vinil klorit) (PVDC), kloropren kauçuk (CR) lateksleri) kullanılması halinde, polimer yüzeyleri ile kalsiyum iyonları (Ca^{+2}),

kalsiyum hidroksit $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kristalleri veya agrega yüzeyindeki silikatlar arasında reaksiyonlar meydana gelebilir. Suyun drenajı ile hidrate ürünlerin üzerinde kümelenen polimer parçacıkları sürekli bir film oluşturarak hidrate ürünleri kaplar ve farklı tabakaları birbirine bağlar. Böylece matris fazı kendi içinde ve agrega ile polimer yardımıyla bağ oluşturur (Ohama, 1995).

Polimer film tabakası hakkında yapılan araştırmalar ve mikroskopik incelemeler sonucunda, film tabakasının oluşumu için polimer/çimento oranının %5 in üzerinde olması gerektiği sonucuna varılmıştır (Ohama, 1995).

3.4 Polimerlerin Tamir Harcının Boyutsal Stabilitesine ve Yapışma Mukavemetine Etkileri

Tamir harçlarının performansının belirlenmesinde mekanik özelliklerin yanında, boyutsal stabilite açısından uygulanacağı betonla uyumu da kritiktir. Aslında bir tamir harcı tasarlanırken basınç dayanımı aranacak son hedeflerden biridir, ancak pek çok hazır torba tamir harcında 40–70 MPa arası çok yüksek basınç dayanımlarına ulaştığı belirtilmektedir. Bu tamir harçlarının mutlaka uygulanacağı betona benzer mekanik özellikler sağlamasına yönelik olarak yeniden tasarlanması gerekir.

Boyutsal stabilite açısından uyum incelenirken dört farklı parametre dikkate alınmalıdır: Kuruma büzülmesi, termal boy değişimi, sünme ve elastisite modülü. Kuruma büzülmesi, tamir harcı genellikle eski bir beton yüzeyine uygulanacağından sifıra yakın olmalıdır. Klasik çimento harcında böyle bir ihtimal söz konusu olmadığından, genleşen karakterde ürün (CaO , SO_3) içeren tamir harçları kullanılabilir. Ancak bu yöntemle dozaj oranı doğru belirlenmez ise dayanıklılık sorunları yaşanabilir (Weyers ve diğer., 2002). Polimer katkılarının çimento harcında sağladıkları yüksek su tutma kapasitesi kuruma rötresinin yanında, erken yaşlarda yaşanabilecek segregasyon, kanama veya plastik rötre gibi sorunları da azaltmakta etkilidir (Kim ve diğer., 1999). Tamir harcının ve uygulandığı betonun termal genleşme katsayısı ve elastisite modülü birbirinden farklıysa oluşturduğu kompozit eleman farklı sıcaklık ve yükleme durumlarında ara-yüzey yapışma mukavemeti

yetersiz ise çatlayabilir (Chiu ve diğer., 1991). Bu açıdan da tamir edilecek betona benzer elastisite modülüne sahip harçlar tercih edilmelidir.

Uygulamada onarım veya güçlendirme işlerinin yapıldığı betonarme yapılardaki yerinde basınç dayanımları iyimser bir tahminle 12-18 MPa arasındadır. Pek çok yapıda bu değer 5-10 MPa'a kadarda düşmektedir. Türkiye Hazır Beton Birliği (THBB)'nin yaptığı araştırmalarda da (sadece üye kuruluşlardan alınan veriler kullanılmıştır) Türkiye'nin betonarme yapı stoğu için, 1999'dan önce kullanılan betonun yaklaşık %60'lık kısmı C20'nin altındadır (Tablo 3.2, Akakın ve diğer, 2013). 1996 yılı öncesinde ise üretilen betonların da yaklaşık %90'lık bölümü C20'nin altındadır. Özetle; yapı stoğumuzun büyük bir kısmında beton kalitesi çok düşük seviyelerdedir. Bu yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılan tamir harçlarının basınç dayanımları ise minimum 40MPa mertebelerinde olup, boyutsal stabilite ve elastisite modülü gibi özellikler açısından beton yüzeyle uyumluluğu tartışmalıdır.

Eski beton ve onarım malzemesinin birbirlerine yük aktarabilmeleri, yani birlikte çalışabilmeleri için her iki katmanın birbiriyle fiziksel ve kimyasal olarak bağ yapması gereklidir. Bu bağlantının kuvveti aderans dayanımı ile ölçülür. Kompozit sistemin katmanları arasındaki bu bağ yeterli düzeyde değilse dış etkenler sonucunda her iki tabaka birbirinden ayrılabilir (Karagüler, 2003). Polimer katkılı harçlar eski betona ilk uygulandığında yüksek yapışma mukavemeti sağlamaktadırlar. Ancak bu harçların zamana bağlı olarak aderans dayanımlarında değişim olup olmadığı incelenmesi gereken bir konudur. Özellikle bazı polimer katkılarında görülen hidroliz olayı tamir harçlarının performansını uzun vadede olumsuz etkileyebilir. Bu açıdan polimer katkılarının uzun vadeli performansı da incelenmelidir.

Polimer katkılı beton ve harçlar ise, eski betonla donatı çeliğinin aderansını geliştirir. Eski betonla aderans deneylerinde, kırılma genellikle eski betondan olur. S/Ç oranındaki azalma ile agrega hamur ara yüzeyinin güçlenmesi mekanik özelliklerdeki artışın sebebini açıklar (Ohama, 1995).

Polimer katkılı beton ve harçların kuruma büzülmesi ve sünmesi normal betona kıyasla daha düşüktür. Daha düşük S/Ç oranının kullanılması da bu davranışta etkilidir. Polimer filmin varlığı, uygulanan ve oluşan gerilmelere karşı matrisin dayanımını arttırır (Ohama, 1995).

Tablo 3.2 1996'dan 2013'e kadar kullanılan beton sınıflarının gelişimi (THBB, 2013)

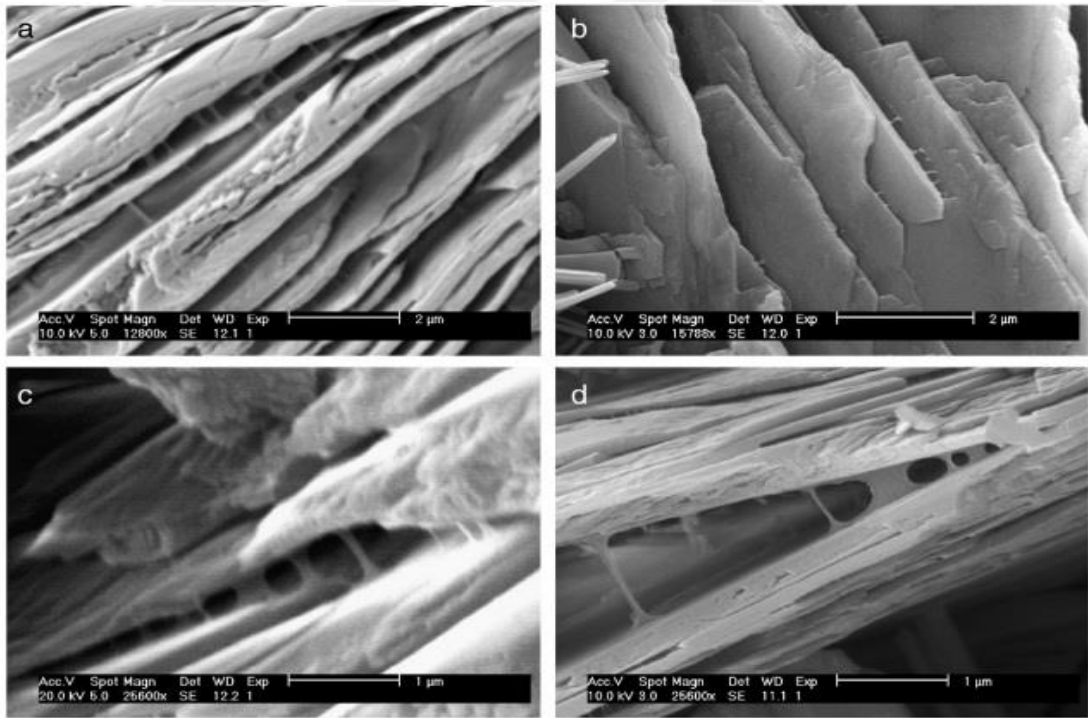
TÜRKİYE' DE YILLARA GÖRE KULLANILAN BETON SINIFLARININ GELİŞİMİ					
Kullanılan Beton Sınıfları	% C14	% C16 - 18	% C20	% C25	% C30 +
1996	37,5	52,3	6,40	3,40	0,60
2006	2,92	7,66	35,09	36,56	17,77
2007	2,85	5,58	26,95	35,25	29,37
2008	2,76	5,51	22,13	38,76	30,84
2009	2,44	3,44	23,9	36,1	34,12
2010	1,99	2,39	14,62	38,45	39,33
2011	2,2	2,0	14,6	43,7	37,1
2012	1,6	2,2	14,2	43,1	38,4
2013	1,3	1,7	10,3	44,2	42,5

3.5 Polimerlerin Tamir Harcı Dayanıklılık Özelliklerine Etkileri

Tamir harçlarının uzun vadeli kalıcılık performansları da literatürde sıklıkla araştırma konusu olmuştur. Polimer katkıların bir kısmında görülen hidroliz olayı, alkali ortamda bazı polimerlerin zamanla özelliklerini kaybetmelerine yol açmaktadır (Rottstegge ve diğer., 2005; Kim ve diğer., 1999). Özellikle polivinil alkol (PVA) ve polivinil asetat (PVAC) hidroliz etkisine hassastır (Ohama, 1998). Öte yandan pek çok polimer, film tabakası oluşturarak çimento harcı iç yapısında geçirimsiz bir tabaka oluşturmakta ve bu tabaka dayanıklılık özelliklerini olumlu etkilemektedir (Xiong ve diğer., 2001; Gao ve diğer., 2002). Polimer katkılı harçların özellikle sülfat, klor iyonu ve etkilerine dirençleri pek çok araştırmada ortaya konulmuştur (Çolak, 2005). Aynı zamanda polimer katkıları çimento harcında meydana gelebilecek rötre çatlaklarını da tıkayarak bu çatlaklardan zararlı maddelerin harç bünyesine girişini engellemektedir (Xiong ve diğer., 2001). Polimer katkılarının, klor iyonu penetrasyonunu engellemenin yanında, karbonatlaşmayı da yavaşlatarak donatı korozyonunu engelleyici etki yarattıkları da rapor edilmiştir (Ohama, 1998). Folic ve

Radonjanin (1998) polimer takviyelerin çekme dayanımı, düktilite, donatı - beton arasındaki bağ ve durabiliteye katkı özelliklerinin yüksek başarı gösterdiğini analiz etmiştir. Ancak bu sonuçları genellemek mümkün değildir. Bazı polimer katkılarının dayanıklılığı olumsuz etkilediğini ortaya koyan çalışmalar da mevcuttur (Şengül ve diğer., 2003; Karagüler ve diğer., 2003).

Normal beton nem, oksijen ve klor- tuz iyonlarının betonun içine girip donatıya ulaşım paslanmasına ve paspayı kapak atmasına izin verir. Bu geçirgenlik, hidrasyon sırasında betonda mikro çatlakların ve mikro boşlukların oluşmasına olanak sağlar. S-B polimer film bu çatlakları ve boşluklar arası köprü kurar ve su geçişine izin vermez. Polimer filmlerin oluşum görüntüsü Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Polimer filmlili harçların, normal harçlara göre daha iyi adhezyon sağladığı görülür (Knapen ve Van Gemert, 2009).



Şekil 3.4 Polimer modifiyeli harçlarda polimer köprülerin kurulmasının elektron mikroskobu görüntüsü (Knapen ve Van Gemert 2009)

Ohama (1997), lateks katkılı harç ve betonların prensipleri ile ilgili araştırma yapmıştır. Lateks katkıların kullanıldığı çalışmalarda, bu katkıların betonun birkaç

özelliğinde olumlu etki yaptığını gözlemlemiştir. Sertleşmiş lateks katkılı harç ve betonlarda daha iyi dayanım, adhezyon, geçirimsizlik ve durabilite (donma – çözünme dayanım, klor iyonu penetrasyonu, karbonatlaşma dayanımı ve hava koşulları) özelliklerini geliştirdiğini görmüştür. Bordeleau (1997) polimer katkılı betonlar (PMC) ile normal betonları kıyasladığında, buz çözücü tuz olması durumunda donma-çözünmeye karşı dayanımını karşılaştırmış ve polimer katkılı betonların daha iyi donma-çözünme dayanımına sahip olduğunu gözlemlemiştir. Özelliklerdeki artışı, sterin-bütadin kauçuk lateks kullanımındaki artışa, hava boşluk miktarına ve su-çimento oranına bağlamıştır.

Polimer katkılı beton ve harçların hava sürüklenme özellikleri, donma dayanıklılığı sağlar. Bu işlem su girişini önlediği için köprü döşemeleri ve park alanlarında döşeme üzerine kaplama olarak kullanılması oldukça yaygındır.

Polimer katkılı beton ve harçların kalıcılığındaki artışın normal betona kıyasla daha fazla olması üç faktöre bağlanır. Birincisi, polimer film kapiler boşlukların yüzeyini kaplayarak suyun adsorpsiyonuna engel olur. İkincisi, su transferine yardımcı olan mikroçatlak ağın oluşumunu azaltarak, çekme çatlaklarına karşı direnci artırır. Çatlak oluştuğu zaman polimer film çatlaklar arasında köprü oluşturarak onları kapalı tutar. Üçüncüsü ise, sağladığı işlenebilirlik artışı nedeniyle kullanılabilecek daha düşük S/Ç oranı genellikle durabiliteyi artırır.

Kalıcılıktaki artışın şiddeti, Polimer/Çimento (P/Ç) oranına (lateks emülsiyonundaki katı polimer miktarının kullanılan toplam çimento ağırlığına oranı) bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. P/Ç oranı arttıkça çekme dayanımı ve kırılma tokluğu artar. Ancak polimerin yan etkisi olan aşırı hava sürüklenme, oluşacak polimer filmindeki sürekliliği bozacağından bağ oluşumu ve dayanım artışları belli bir kritik dozajdan sonra tersine dönmektedir.

BÖLÜM DÖRT

POLİMER KATKILI HARÇLARIN KULLANIM ALANLARI VE TASARIMI

Polimer katkılı harçların kullanım alanlarına bağlı olarak farklı tasarım oranları önerilmektedir (Ohama, 1995). Uygulama koşullarına göre imalatla kullanılacak tabaka kalınlıkları da Tablo 4.1’de belirtilmektedir.

Tablo 4.1 Polimer katkılı harçların kullanım alanları ve oranları (Ohama, 1995)

Uygulama	Kullanım alanları	Çimento	Kum	Lateks	Tabaka kalınlığı (mm)
Kaplama malzemeleri	Ev, ofis, alışveriş ve tuvalet zeminleri	1	3	0,2-0,3	5-10
Zeminler	Merdivenler, kimyasal alanlar, yollar, garajlar, demiryolu	1	3	0,3-0,5	10-15
Su kesici zeminler	Silolar, yüzme havuzları, çatı araları, su tankları	1	2-3	0,3-0,5	5-20
Adhezyon	Fayans ile beton yüzeyi arasında	1	0-3	0,2-0,5	-
	Eski – yeni beton arasındaki yüzeyler	1	0-1	0,2 üzeri	-
	Tamir çatlakları	1	0-3	0,2 üzeri	-
Antikorozyf alanlar	Kimyasal fabrika zeminleri, asite maruz kalan zeminler, laboratuvar zeminleri,	1	2-3	0,4-0,6	10-15
Üst tabaka kaplamaları	Gemi güverteleri	1	2-3	0,9-1	1-2
	Tren ve karayol kaplaması	1	3	0,4-0,6	5-6
	Köprü ayakları kaplamaları	1	3	0,5-0,6	3-4

Polimer katkılı betonların geleneksel betona göre sağlayacağı avantajlar aşağıda çeşitli örneklerle sunulmuştur:

a - Köprü Tabliyeleri ve Park Yerleri Üzerine Koruyucu Kaplama Malzemesi Olarak Kullanımı

Amerika’da 800’e aşkın hasar görmüş köprü üst yapılarında polimer katkılı beton esaslı onarım malzemelerin kullanılmıştır (Walters, 1991). Tablo 4.2’de ACI 548 komitesi tarafından önerilen ve köprü üst tabakaların yenilenmesi ile kullanılan karışım oranları sunulmuştur. O’Connor ve Saiidi (1993), polyester-stiren polimer betonların ve Portland çimentolu betonların köprülerdeki üst kaplama örtüsünü kıyaslama üzerine çalışmalar yapmıştır. Çalışmalarının sonuçları, geniş sıcaklık değerleri arasında ve sert köprü kirişinde polimer betonların çatlamaya karşı hassas olabileceğini göstermiştir. Aynı şekilde park yerlerinde hasar tespit edilmiş kısımlar benzer yöntemle onarılmıştır.

Tablo 4.2 Amerika Beton Enstitüsü’nün (ACI 548) önerdiği, köprü üst tabakası için lateks modifiyeli betonun karışım oranları

Çimento içeriği	700 kg/m ³
Kum – agrega oranı (%)	55:45 ile 65:35
Polimer – çimento oranı (%)	15
Su – çimento oranı (%)	25 ile 40
Hava içeriği (%)	6’ dan küçük

S-B lateksler bu alanda en çok kullanılan polimer katkısı tipidir. Bu lateks tipi için ACI 548 (1995) komitesinin önerdiği karışım oranı ve taze beton özellikleri Tablo 4.3’te sunulmuştur. Kimyasal koruma ve adhezyonun yanında, S-B lateksler su azaltıcı maddelerdir. Bu özellik yeterli işlenebilirlik ve yerleştirme verme adına katkı sağlar.

Tablo 4.3 SBR katkılı karışımlar için Amerika Beton Enstitüsü'nün (ACI 548, 1995) koşulları

Min. çimento içeriği	390 kg/m ³
Min. SBR Lateks içeriği	121 kg/m ³
Max. su içeriği	94 kg/m ³
Max. hava içeriği (ASTM C231)	% 6,5
Slump aralığı	7,5 – 20,5 cm
Min. üst tabaka kalınlığı	2,5 cm
Max. iri agregası	No : 8
İnce agregası – agregası oranı	55 - % 70
Çimento : ince agregası : iri agregası	1,0 : 2,8 : 1,7

b - Endüstriyel Tesislerde Zemin Kaplamaları Olarak Kullanılması

Endüstriyel zeminler ağır koşullardan dolayı bozulmalara maruz kalmaktadır. Şarap, narenciye suyu tesisleri, mandıralar, mezbahalar ve kimya tesisleri zeminleri, asit ve tuz içeren saldırgan etkenlere karşı dayanım sağlamak amacıyla onarım işleri polimer katkılı harçlar kullanılarak yapılmaktadır. Ayrıca zemin ve gemi güvertelerinde en üst katmanda 6 – 12 mm kalınlığında polimer katkılı harç kullanılarak birçok etkenin betona zarar vermesi engellenebilir (ACI 548, 1991).

c - Dış Cephe Kaplama Elemanları (Duvar Panolar) Olarak Kullanımı

İç ve dış mekan duvarları, polimer katkılı ve bazen de lif katkılı harçlar ile düzenlenmektedir. Buna ek olarak dış yalıtımı sağlayan sistemlerde de (EIFS - Exterior Insulation and Finishing Systems) kullanılmaktadır. Bu sistem ASTM STP 1187 özel yayınındadır.

d - Suya Dayanıklı Kaplama Olarak Kullanımı

Polimer katkılı harçlar, az ince agregası esaslı, bodrum duvarlarının ve yüzme havuzların kaplamasında kullanılan bir malzemedir. Aynı karışım, ince agregası olmaksızın, metalik boru ve kirişlerde korozyon önleyici kaplama malzemesi olarak da kullanılabilir (ACI 548, 1991).

e - Seramik Fayans Yapıştırma Harcı ve Çimento Şerbetlerinde (Grouts) Kullanımı

Polimer katkılı harç esaslı malzemeler genel olarak güçlü adhezyon özelliği sayesinde seramik fayansların duvara yapışması için kullanılır (ACI 548, 1991). Seramik yapıştırıcıların formülasyonunda özellikle suda çözünen polimer türleri tercih edilir.

f - Eski ve Hasarlı Betonda Çatlak Tamiri ve Yama İşlerinde Kullanımı

Polimer katkılı harçların güçlü yapışma özellikleri sayesinde çatlak tamiri ve yama işlerinde kullanım alanı bulunur. Düşük viskoziteli türlerin kullanımı kılcal çatlakların dolması açısından avantaj sağlar. Hasar görmüş ve sağlam olmayan tabaka tam olarak kaldırılmadan PMC uygulaması yapılmamalıdır (ACI 548, 1991).

BÖLÜM BEŞ

SÜLFAT ETKİSİ

Sülfatların betonda yarattığı yıpratıcı etki, “sülfat saldırısı” olarak adlandırılmaktadır. Sülfat iyonları topraktan ya da zemin suyundan beton içine girer ve çimentonun bazı bileşenleri ile reaksiyona girerek betonun zamanla bozulmasına neden olur. Çalılık dışında, bitki, ağaç yetişmeyen, yüzeyinde beyaz lekeler, tuz birikintileri görülen çolak topraklarda, sülfat etkisinden şüphe edilmelidir (Baradan ve diğer., 2003). Şekil 5.1’ de görülen bu tip zeminlerde yapılacak inşaatlarda, zemin etüdünün yanı sıra, yeraltı suyu ve topraktan örnekler alınarak betona zarar verebilecek maddelerin varlığı araştırılmalı ve yapının inşa edilecek bölge için gerekli önlemler alınmalıdır.



Şekil 5.1 Sülfatlı bir zeminin genel görünüşü Çiğli-İzmir (Baradan ve diğer., 2003)

Sertleşmiş betonun içerisine dışarıdan sızan sularla birlikte giren sülfatlar, betonun genişip çatlamasına yol açan kimyasal olayların gelişmesine neden olmaktadır. Bu saldırı sülfat iyonlarının, sertleşmiş betondaki alüminli ve kalsiyumlu bileşenlerle kimyasal reaksiyona girmesi, etrenjit ve alçı taşı oluşturması ile gerçekleşmektedir (Al-Amoudi, 1992; Neville, 2004; Nehdi ve Hayek, 2005). Sülfatların yıpratıcı etkisi, genel olarak, beton blokların kenarından ve köşelerinden başlamaktadır. Betonda çatlak oluşumu ile geçirirmliliğin artmasına yol açar. Daha

sonra, bu etki, betonun iç kısımlarına doğru yoğunlaşarak, beton yüzeyinin tabaka tabaka büyük parçalar halinde parçalanmasına neden olmaktadır (Skalny ve diğer, 2002). Yapıların temel betonları, istinat duvarı betonları, kanal kaplama betonları ve beton borular, sülfat saldırısının çok sık rastlandığı betonlardır (Erdoğan, 2003).

Özellikle deniz yapılarında, deniz suyundaki sülfatlar ıslanma-kuruma bölgesinde buharlaşma nedeniyle betonun sülfat yoğunluğunun artmasına yol açabilirler. Bir diğer kaynak ise çimentodur. Çimentonun C_3A bileşeninin ani prizini önlemek için üretim aşamasında az miktarda alçıtaşı ($CaSO_4$ - kalsiyum sülfat) katılır. Zamana bağlı genleşmenin ve betonun mukavemetinin etkilenmesini önlemek için genelde çimento standartları katılan alçıtaşının oluşturacağı SO_3 miktarını çimento ağırlığının %3' ü ile sınırlamıştır. Sülfat kaynaklarının bir diğeri de betonun temas ettiği zemindir. Zemin kuru ise bünyesindeki tuzlar betona zarar vermezler ancak su ile birlikte bulunmaları sonucunda sertleşmiş çimento harcı ile reaksiyona girerler. Bazı killeri alkali, magnezyum ve kalsiyum sülfatlar gibi kimyasal madde içerir, bunlar yeraltı suyu ile birleşince olumsuz etki ortaya çıkar. Zemin yüzeyinde oluşan tuz birikintileri, çoğunlukla sodyum sülfattır (Na_2SO_4). Ancak magnezyum sülfata ($MgSO_4$) da bir çok bölgede rastlanır. Bu tür birikimlerin, nispeten kuru iklimlerde fazla buharlaşma sonucu, yeraltında bulunan tuz tabakalarındaki çözünebilir sülfatların yukarıya emilip, tırmanması sonucu oluştuğu sanılmaktadır (Erdoğan ve Karataş, 2003).

Su, sülfat reaksiyonlarında rol almakla kalmaz aynı zamanda bu iyonların beton içine taşınmasını sağlar. Bu bağlamda yer altı suyunu drene ederek beton yüzeylerle temasını önlemek ve temelleri kuru tutmak reaksiyonun gelişimini engellemek için etkili bir önlemdir. Sülfat saldırısı gibi dış kaynaklı iyon girişi sebebiyle oluşan kimyasal reaksiyonlarda çimentonun kimyasal bileşiminin kontrolü kadar, betonun geçirimsizliği de önem kazanmaktadır (Tosun ve diğer., 2006).

Sülfat saldırısının şiddeti, sülfat iyonu türüne ve konsantrasyonuna bağlı olduğu kadar beton üretiminde kullanılan çimento miktarına ve tipine, betonun geçirimsizliğine, kür süresine ve ortam sıcaklığına da bağlıdır. $Ca(OH)_2$ ürününü

bağlamak suretiyle doğrudan sülfat direnci yaratan ve betondaki boşlukları doldurarak geçirimsizlik sağlayan silis dumanı, uçucu kül ve cüruf gibi puzolan mineral katkı maddelerinin betonda kullanımı son zamanlarda yaygınlaşmıştır. Sülfat saldırısına ilişkin gerçekleştirilen çalışmaların pek çoğunda sülfat ortamı ya sadece sodyum sülfat veya magnezyum sülfat ya da bunların kombinasyonu ile elde edilen çözeltiler ile temsil edilmiştir. Üstelik bu çözeltilerin sülfat iyonu konsantrasyonları doğal ortamlarda karşılaşılandan oldukça yüksektir. Bazı denizlerde olduğu gibi, beton yapılar çoğu kez deneysel çalışmalarda kullanılan sülfat iyonu konsantrasyonunun çok altında konsantrasyona sahip ortamlara maruz kalmaktadır (Erdoğan ve Karataş, 2003).

Bir yapıdaki betonun sülfat saldırısından zarar görüp görmediğini tam olarak anlayabilmek için deneysel yöntemlere başvurmak gerekir. Betonda yer alan boşluklar betonun basınç dayanımını düşürür. Betonda yer alan %1 boşluk oranı betonun dayanımını % 5,5 oranında düşürür. Bu sebeple, hidrasyon ürünlerinin bozulması veya çatlak oluşumunun basınç dayanımında düşüşe yol açması beklenebilir. Yapı yerinden alınan karot örneklerinin dayanımının, aynı betonun 28 günlük dayanımından daha düşük olması yapının yerinde hasar gördüğü anlamına gelmektedir. Bu hasar, sülfat saldırısı sonucu oluşabilir. Dayanımda değişiklik olmaması ise ortamdan herhangi bir saldırı olmadığını gösterir. Sülfat saldırısı söz konusu olduğunda, basınç dayanımındaki artışı (erken yaşlar hariç) öngörülmez. Sülfat etkisindeki laboratuvar örnekleri genellikle gerilme altında olmayan örneklerdir ve deneyler bunlarla yapılmaktadır. Oysa yapı yerindeki beton örneklerinde gerilme ile sülfat saldırısı birlikte etkimektedir. Gerilmeye maruz beton örneklerinin sonuçları sülfat saldırısına uğrayan betonda kalıcılığın, yapı yerindeki gerilme seviyesine bağlı olduğunu göstermektedir (Neville, 2004).

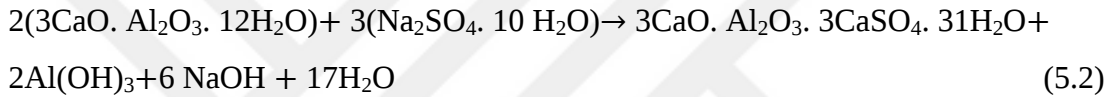
5.1 Sülfat Saldırısı Sonucu Çimento Hamurunda Meydana Gelen Reaksiyonlar

Sülfatların hidrate çimento bileşenleriyle, özellikle Ca(OH)_2 ve trikalsiyum alüminat (C_3A) ile yaptığı aşağıda açıklanan reaksiyonlar sonucu oluşan ürünler alçıtaşı ve kalsiyum sülfat alüminattır. Bu tuzlar yerlerini aldıkları bileşenlerden çok

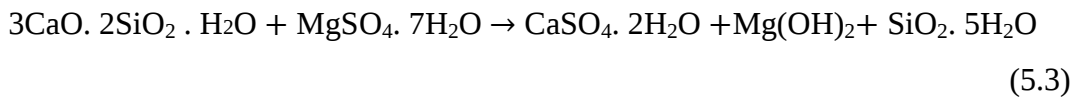
daha fazla hacim işgal ederler. Oluşan genleşme betonda hasara yol açar (Skalny ve diğer, 2002). Sodyum sülfat(Na_2SO_4)'ın $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile yaptığı reaksiyon denklem 5.1'deki gibi yazılabilir. Bu reaksiyon sonucu katı fazın hacmi %124 artmaktadır.



Hidrate C_3A 'nın sodyum sülfatla yaptığı reaksiyon ise denklem 5.2'deki gibidir. Kalsiyum sülfat (CaSO_4) yalnızca C_3A ile reaksiyona girer ve kalsiyum sülfatoalüminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$) oluşturur. Bu reaksiyonları sonucu katı fazın hacmi % 227 oranında artmaktadır. Candlot tuzu veya etrenjit adı verilen hidrate tuz çok miktarda hidrat suyun içermesi nedeniyle büyük bir hacim kaplar.



Diğer taraftan, deniz suyunda da bulunabilen magnezyum sülfat (MgSO_4), $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve C_3A 'nın yanı sıra kalsiyum silikat hidratelere de (CSH) saldırır. Reaksiyon denklem 5.3'te gösterilen şekilde gelişir.



Magnezyum hidroksitin ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) çözünürlüğü çok düşük olduğundan, bu reaksiyon tamamlanıncaya kadar devam eder. Böylece çimento hamurunun taşıyıcı iskeleti olan CSH yapısı bozulur.

Sülfat etkisi çözeltinin sülfat yoğunluğuna bağlı olarak artar. Ancak % 0,5 MgSO_4 ve % 1 Na_2SO_4 yoğunluklarının üzerindeki değerlerde tahribatın artım hızının yavaşladığı görülmüştür. Doygun MgSO_4 çözeltisinde, düşük S/Ç oranlarında bile betonda 2-3 yıl içinde ciddi tahribat gözlenir. C_4AF ve sülfatlar arasındaki reaksiyondan da etrenjit oluşur. Ancak oluşan etrenjitin amorf yapıda olması sebebiyle betonda genleşme hasarı oluşturması beklenmez.

5.2 Suda ve Toprakta Yer Alan Sülfat Konsantrasyonunun Sülfat Saldırısının Hızına Etkisi

Betonla teması bulunan topraktaki ve sudaki sülfat miktarı ne kadar yüksek olursa, sülfat saldırısı daha şiddetli olmakta, beton daha kısa süre içerisinde hasar görmektedir (Erdoğan, 2003).

Sudaki sülfat konsantrasyonu, toplam SO_3 veya SO_4 miktarının, ağırlık olarak, bir milyonda kaç kısım oluşturduğu belirtilerek ifade edilmektedir. Atom ağırlıklarına göre, $\text{SO}_4 = \text{SO}_3 \times 1,2$ 'dir. Topraktaki sülfat miktarı, çözünebilir SO_3 veya SO_4 'ün % olarak ifadesi şeklinde olmaktadır (Erdoğan, 2003).

Amerikan Beton Enstitüsü (ACI 201 komitesi), suda veya toprakta bulunabilecek sülfat konsantrasyonuna bağlı olarak, betonun sülfat saldırısına maruz kalacağı ortamları, “az etkili (yumuşak) ortam”, “etkili ortam”, “çok etkili ortam” ve “aşırı etkili ortam” olarak Tablo 5.1’de gösterildiği gibi tanımlamaktadır. Bu tabloda, değişik sülfat ortamlarında kullanılacak betonlar için önerilen maksimum su/çimento oranlarına da yer verilmektedir (Erdoğan, 2003). TS EN 206-1 standartına göre sülfat saldırısının şiddetine göre etki sınıfları 3 grupta toplanmıştır ve bu gruptaki etkiye maruz betonun üretiminde kullanılması gereken S/Ç oranı, dayanım sınıfı ve çimento dozajı Tablo 5.2’de sunulmuştur.

Tablo 5.1 Betonun sülfat saldırısına maruz kalacağı ortamların sınıflandırılması (ACI 201) *ppm=part per million= bir milyon içerisindeki kısım (mg/l)

Sülfat Ortamı	Topraktaki suda çözünebilir SO_4 miktarı (%)	Sudaki SO_4 miktarı (pp)*	Betondaki Maksimum Su/Çimento Oranı
Az Etkili	0,00–0,10	0–150	-
Etkili	0,10–0,20	150–1500	0,50
Çok Etkili	0,20–2,00	1500–10000	0,45
Aşırı Etkili	>2,00	>10000	0,45

Tablo 5.2 Doğal zeminler ve yer altı sularından kaynaklanan kimyasal etkiler için etki sınıflarının sınır değerleri (TS-EN 206-1)

Kimyasal özellik	Referans deney metodu	XA1	XA2	XA3
En büyük su/çimento oranı		0,55	0,50	0,45
Yeraltı suyu				
SO_4^{2-} mg/L	EN 196-2	> 200 ve < 600	> 600 ve < 3000	> 3000 ve < 6000
Zemin				
SO_4^{2-} mg/kg (toplam)	EN 196-2	> 2000 ve < 3000	> 3000 ve < 12000	> 12000 ve < 24000
a) Geçirgenliği (permeabilitesi) 10^{-5} m/s'den daha düşük olan kil zeminler bir aşağı sınıfa geçirilebilirler.				
b) Deney metodunda, SO_4^{2-} 'ün hidroklorik asitle ekstraksiyonu tarif edilmiştir; Alternatif olarak, betonun kullanılacağı yerde yapılıyorsa, su ile açığa çıkarma metodu da kullanılabilir.				
c) Islanma kuruma döngüleri veya kapiler emme nedeniyle, betonda sülfat iyonu birikimi tehlikesi olan yerlerde 3000 mg/kg olan sınır 2000 mg/kg'a indirilir.				
XA2 ve XA3 etki sınıfında baskın etkinin SO_4^{2-} 'den kaynaklanması halinde sülfatlara dayanıklı çimento kullanılması zorunludur. Sülfatlara dayanıklılık bakımından çimentonun sınıflandırılması halinde orta ve yüksek dayanıklı olarak sınıflandırılan çimento XA2 etki sınıfında (uygulanabiliyorsa XA1 etki sınıfında) ve yüksek dayanıklı çimento ise XA3 etki sınıfında kullanılmalıdır.				
XA1 : Tablo 5.2'ye göre az zararlı kimyasal ortam				
XA2 : Tablo 5.2'ye göre orta zararlı kimyasal ortam				
XA3 : Tablo 5.2'ye göre çok zararlı kimyasal ortam				

5.3 Sülfat Saldırısını Azaltıcı Önlemler

Betonda sülfata karşı dayanıklılığı sağlamak için alınacak önlemleri, betonun geçirimsizliğinin sağlanması, çimento C_3A ve $Ca(OH)_2$ içeriğinin sınırlandırılması, puzolanik katkı maddeleri kullanılması, gereğinde betonun kaplamalarla dıştan sülfatlara karşı izole edilmesi şeklinde özetlemek mümkündür. Bu önlemlerden hangilerinin ne zaman uygulanacağını kararı çevresel etkinin şiddetine göre verilir (Erdoğan, 2003).

5.3.1 Betonun Geçirimsiz Olmasının Etkisi

Topraktaki ve yeraltı sularındaki sülfatlar, betonun içerisine sızan sularla birlikte girmektedir. O nedenle, betonun geçirimsizliğinin az olması, betona girecek sülfat miktarının az olmasını sağlamaktadır. Sülfat konsantrasyonu yüksek olan ortamlarda kullanılacak betonların üretiminde, su/çimento oranı 0,45'ten daha fazla olmamalıdır (Erdoğan, 2003).

5.3.2 Kimyasal Kompozisyon

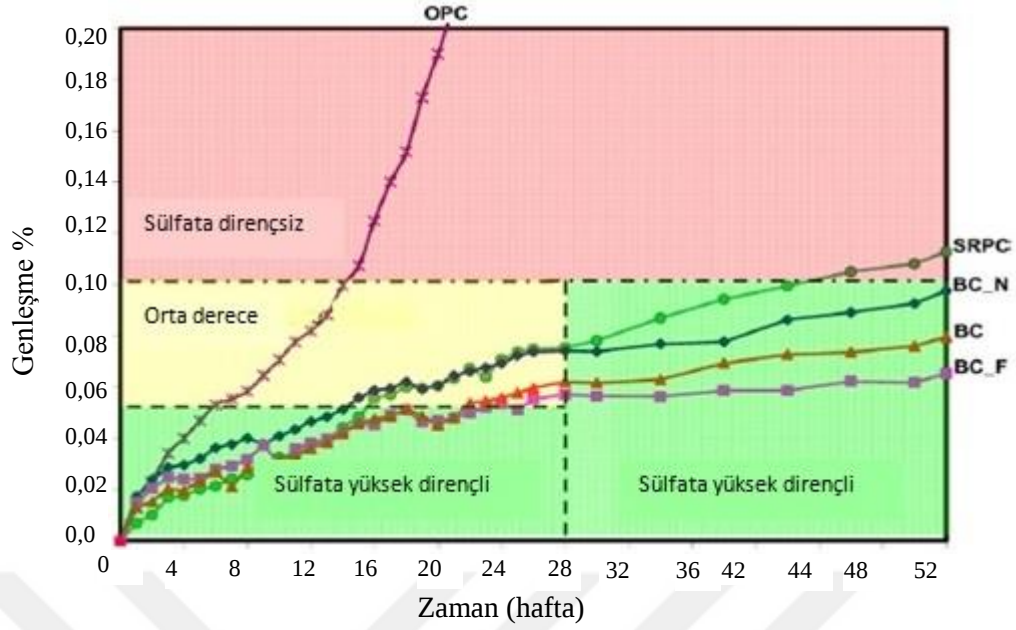
Şiddetli etki durumunda çimentonun C_3A içeriğini sınırlamak yetersiz bir önlem olabilir. Bu durumda sülfata dayanıklı bir çimento ile birlikte uçucu kül, yüksek fırın cürufu gibi puzolanik katkıların da kullanımı tavsiye edilir. Sülfatların C_3A 'nın yanı sıra $Ca(OH)_2$ ve CSH ile de reaksiyona girdikleri yukarıda reaksiyon mekanizması açıklanırken ifade edilmişti. Puzolan kullanmanın iki etkisinden bahsedilebilir. Puzolanlar $Ca(OH)_2$ 'yi bağlayarak sülfatlarla reaksiyonunu önlerler. Sadece Portland çimentosu kullanımı ile kıyaslandığında bağlayıcı içindeki $Ca(OH)_2$ ve C_3A oranının düşürülmesini sağlarlar. Hidrate çimentonun $Ca(OH)_2$ içeriği büyük oranda C_3S miktarına bağlı olduğu için, çimentonun C_3S içeriğinin de dayanıklılıkta önemli bir faktör olduğu gözden kaçırılmamalıdır. Ayrıca, puzolan olarak kullanılan maddenin düşük CaO içerikli olması gereklidir. Bu açıdan C sınıfı uçucu küller yüksek oranda serbest kireç içerebilmeleri nedeniyle sülfata dayanıklılığı arttırmak yerine azaltabilirler (Aytaç, 2006).

Çok şiddetli sülfat saldırısında ise, yukarıda sözü edilen önlemler yeterli olmaz. Bu durumlarda yapıyı dıştan sülfata dayanıklı izolasyon malzemeleri ile izole etmek gerekir. Bu amaçla bitüm veya polimer esaslı kaplamaların kullanımı mümkündür. Ayrıca drenaj önlemleri ile suyun yapıya ulaşması engellenmelidir (Aytaç, 2006).

5.4 Sulfata Dayanıklılık Deneyleri

Sulfata dayanıklılık deneyleri, örnekleri sodyum sülfat, magnezyum sülfat veya ikisinin karışımından oluşan çözeltilerde saklama esasına dayanır. Dönüşümlü ıslatma ve kurutma boşluklarındaki tuzların kristalleşip, genleşmesini sağlar ve hasarı hızlandırır. Dayanım, elastisite modülü veya ağırlık kayıplarının ölçülmesi ile hasarın şiddeti belirlenir. Gözlemsel olarak da hasarın gelişimi takip edilebilir. Konu ile ilgili üç deney yönteminden kısaca bahsedilmiştir:

1) ASTM C1012 Standardı sodyum sülfat çözeltisinde bekletilen harç çubuğu örneklerinin boy değişimlerinin tespiti esasına dayanır. Değişik bağlayıcı maddelerin, sülfat dayanıklılığına etkisinin incelenmesinde de kullanılabilir. Standarda göre hazırlanan harç karışımlarının, 20 MPa basınç dayanım değerine ulaşıldıktan sonra sülfat çözeltisine konulmaları gerekmektedir. Bu amaçla 5 cm ayrıtlı küpler kullanılarak karışımların basınç dayanımlarının gelişimi takip edilir. Bu aşamadan sonra istenen dayanımı sağlayan 25x25x285 mm boyutlu harç çubuğu örnekler 50 g/l sodyum sülfat çözeltisinde bekletilmeye başlanır ve boy değişimleri ölçülür. Na_2SO_4 çözeltisine konulan harçlardaki sülfat etkisinin şiddetini, harçlarda meydana gelen boy değişimleri ile derecelendirmek mümkündür (Sahmaran ve diğer., 2007). 52 haftalık dilim içinde boy değişimine bağlı olarak meydana gelen sülfat etkisi Şekil 7.31’de sunulmuştur. Kullanılan çimento tipine bağlı olarak: Yeşil bölge; harcın sülfata yüksek derecede dayanıklı olduğunu, sarı bölge; harcın orta derecede sülfata dayanıklı olduğunu ve kırmızı bölge; harcın sülfat etkisine dayanıksız olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.2 Çimento harçlarının %5'lik Na₂SO₄ çözeltisindeki boy değişimi (Sahmaran ve diğer., 2007)

Ancak, bu deney yönteminde beton yerine harçlarla çalışılması nedeniyle iri agrega çimento hamuru ara yüzeyinin olmaması, silika tozu, filler gibi betonda kullanılan malzemelerin fiziksel etkisini göstermemesi, ıslanma-kuruma etkisini dikkate almaması ve sonucun uzun sürede elde edilmesi deney yönteminin dezavantajları olarak sıralanabilir.

2) Bir diğer deney yöntemi ASTM C 452 standardında tarif edilmiştir. Deney, belli oranlarda alçı eklenerek hazırlanan 25x25x285 mm boyutlu prizmatik harç çubuğu örneklerinin 14 gün sonunda yaptıkları genleşmelerin tespiti esasına dayanır. Karışımda kullanılacak alçı miktarı, çimentonun ve alçının SO₃ miktarı dikkate alınarak %7 SO₃ içeriği elde edilecek şekilde ayarlanır. Örnekler kalıptan çıkartıldıktan sonra (23 +/- 1,7°C) su içine gömülü olarak bekletilmektedir. Katkılı çimentolarda bu yöntemin kullanımı uygun değildir. Çünkü karışıma daha başlangıçta alçı katılması henüz puzolanik reaksiyon gelişmeden sülfata maruz kalmaya yol açmaktadır.

3) ASTM C 1038 deney yöntemi ile çimentoların zararlı mertebelerde sülfat içerip içermediklerinin tespiti, hazırlanan harçların yaptıkları genleşmelere

dayanarak belirlenebilmektedir. Su içinde bekletilen harç çubuklarının 14 günlük genleşme değerlerinin % 0,02' ın altında kalması istenmektedir.



BÖLÜM ALTI

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1 Amaç

Bu tezde farklı polimer kökenli katkıların çimento harcındaki performansları, geçmişte tamamlanmış Tübitak 108M062 nolu projesi kapsamında alınan numuneler üzerinde deneyler yapılarak incelenmiş, söz konusu katkıların taze ve sertleşmiş harcın özelliklerine etkisi değerlendirilmiştir. Ayrıca bu numunelerin uzun dönemli kılcal boşluk yapısı, karbonatlaşma potansiyeli ve sülfat dayanıklılığı araştırılmıştır. Tez çalışmasıyla paralel yürütülen BAP 2015.KB.FEN.014 nolu proje kapsamında da yeni numuneler üretilerek, kısa vadeli boşluk yapısı ve sülfat dayanıklılığı ile ilgili ölçümler de gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilere dayanarak polimer kökenli katkıların çimento harcı boşluk yapısı ve sülfat dayanıklılığı üzerine etkileri tartışılmıştır.

6.2 Kapsam

Tez kapsamında, Tübitak 108M062 projesinde üretilen numuneler ile gerçekleştirilen uzun vadeli deneysel çalışmalar ve BAP 2015.KB.FEN.014 projesinde üretilen numuneler ile gerçekleştirilen kısa vadeli deneysel çalışmalar bir akış şeması yoluyla Tablo 6.1’de sunulmuştur.

Tablo 6.1 Tez kapsamında gerçekleştirilen deneysel çalışmaların akış şeması (A:sbt S/Ç,B:sbt kıvam)

Standart Harç	Suda çözünabilir polimer MH10001	Suda yeniden dağılıbilir polimer V7220	Suda yeniden dağılıbilir polimer V8034	Lateks emülsiyonu A400	Lateks emülsiyonu Lipaton
S/Ç=0,50 (130mm)	A B % 0,25 – 0,50 - 1	A B % 1 – 3 - 5	A B % 1 – 3 - 5	A B % 5-10-15-20-30	A B % 5-10-15-20-30

Tübitak 108M062 projesi kapsamında üretilen harçlar üzerinde yayılma çapı, taze BHA, teorik hava içeriği, 28 günlük eğilme ve basınç dayanımı deneyleri (40*40*160 m prizmalar) (38+1 seri)

Kılcallık, karbonatlaşma deneyleri için silindir formunda numune üretimi (50 mm çap, 50 mm yükseklik) (38+1 seri)

Tübitak 108M062 projesi kapsamında secilen harc karışımlarından çubuk numune (25*25*285)

MH10001 – B (%0,25-0,50-1)
V7220 – A (%1-3-5)
V8034 – B (%1-3-5)
A400 – A (%5-10-15)
Lipaton – B (%5-10-15)

Örneklerin 4,5 yıl laboratuarda bekletilmesi

BAP 2015.KB.FEN.014 proje önerisi kapsamında çubuk numunelerin sülfat çözeltisinde bekletilmeye başlanması ve boy ölçümleri takibi

Daha önce alınan silindir formdaki örnekler üzerinde kılcal su emme ve karbonatlaşma deneylerinin yapılması ile boşluk boyut dağılımı için örnek hazırlığı

BAP 2015.KB.FEN.014 proje önerisi kapsamında sülfat çözeltisine erken yaşta (1 aylık) girecek harç çubuğu örneklerinin hazırlanması

Standart Harç	Suda çözünabilir polimer MH10001	Suda yeniden dağılıbilir polimer V7220	Suda yeniden dağılıbilir polimer V8034	Lateks emülsiyonu A400	Lateks emülsiyonu Lipaton
S/Ç =0,50 (130 mm)	A B % 0,25 - 1	A B % 1 - 5	A B % 1 - 5	A B % 5 - 30	A B % 5 - 30

BAP 2015.KB.FEN.014 projesi kapsamında hazırlanan harç çubukları (25*25*285 mm) (20+1 seri)

3 ay

30 ay

Deney sonuçlarının değerlendirilmesi:

- Polimer katkılarının taze ve sertleşmiş harç özelliklerine etkilerinin irdelenmesi
- Polimer katkılarının çimento harcının uzun vadeli kılcallık özelliklerine ve karbonatlaşma derecesine etkisinin irdelenmesi
- Polimer katkının çimento harcının erken yaşta ve uzun vadede boşluk boyut dağılımı etkisinin irdelenmesi
- Sülfat etkisine erken yaşta ve uzun vadede maruz kalan polimer katkılı harçların boy değişimi davranışlarının kıyaslanması

6.3 Kullanılan Malzemeler

6.3.1 Çimento

Tübitak 108M062 projesi ve BAP 2015.KB.FEN.014 projesi kapsamında, çimento harç karışımlarında aynı fabrikadan temin edilen TS EN 197 standartına uygun CEM I 42.5R tipi Portland çimentosu kullanılmış olup söz konusu çimentonun fiziksel ve kimyasal analizleri Tablo 6.2’de sunulmuştur.

Tablo 6.2 Tübitak 108M062 ve BAP.KB.FEN.014 projelerinde kullanılan çimentonun analizi

Kimyasal analiz			Oranlar %	
			Tübitak 108M062	BAP KB.FEN.014
SiO ₂			18,57	18,81
Al ₂ O ₃			4,95	4,65
Fe ₂ O ₃			3,11	3,33
CaO			63,94	61,87
MgO			0,98	1,30
Na ₂ O			0,37	0,48
K ₂ O			0,75	0,82
SO ₃			3,07	3,47
Kızdırma Kaybı			3,57	-
Klor			0,006	0,007
Çözünmeyen Kalıntı			0,21	-
Serbest CaO			1,03	1,71
Karma Oksitler	C ₃ S		68,52	63,02
	C ₂ S		1,55	7,4
	C ₃ A		7,86	6,49
	C ₄ AF		9.46	10,13
Dayanım	Basınç (MPa)	2 günlük	27,2	29,9
		7 günlük	39,9	43,3
		28 günlük	49,30	52,8
Özgül Ağırlık			3,09	3,10
Özgül Yüzey (cm ² / g)			3370	3200
0.09 mm eleküstü %			0,7	1,8
0.045 mm eleküstü %			19,3	18
Hacim sabitliği (mm)			0,5	0,5
Vicat suyu %			27,6	28,4
Priz süresi Başlangıç (ss:dd)			02:25	02:40
Priz süresi Son (ss:dd)			03:20	04:15

6.3.2 Kum

Çimento harçlarında TS EN 196-1 standart kumu kullanılmış olup, tane boyut dağılımı Tablo 6.3’ de sunulmuştur.

Tablo 6.3 CEN standart kum tane boyut dağılımı

Elek açıklığı (mm)	Elekten geçen malzeme %	
	Min.	Max.
8	100	100
4	95	100
2	55	90
1	30	80
0.50	15	45
0.25	3	20

6.3.3 Su

Deneylerde karma suyu olarak şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Sülfat çözeltisinin hazırlanma aşamasında ise toz halindeki sodyum sülfatı çözmek amacıyla sıcak su kullanılmıştır.

6.3.4 Sodyum Sülfat

Suda çözünebilen nötral yapıya sahip, oda sıcaklığında katı halde bulunan sodyum sülfat kullanılmıştır. Suda en çok 32,4°C’de çözünür (49,7 g/100 g).

6.3.5 Polimer Katkılar

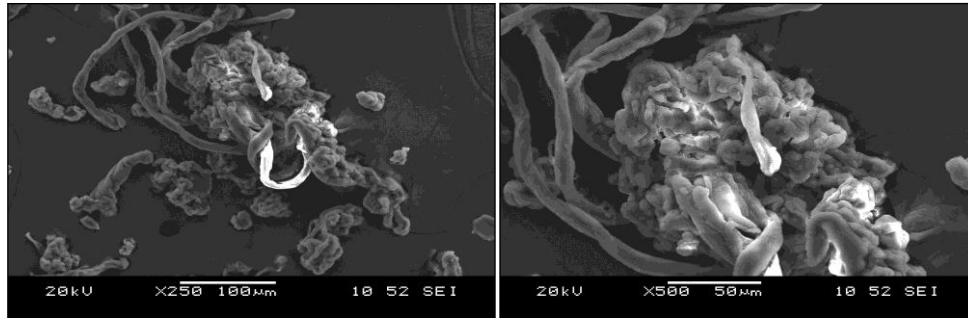
6.3.5.1 Suda Çözünebilir Polimerler (1 Adet)

Hem Tübitak 108M062 hem BAP 2015.KB.FEN.014 projesinde suda çözünebilen polimer olarak metil hidroksietil selüloz (MHEC) kökenli Tylose MH10001 P4 kullanılmıştır. Üretici firma tarafından beyan edilen fiziksel özellikleri Tablo 6.4’te sunulmuştur. Selüloz türevli katkıların kullanım amaçları genel olarak kohezyon (cohesion improver) ve yapışkanlık arttırmaktır (thickener). Kullanım dozajları

genellikle çimento ağırlığının %0,1 ile %1,0 arasında olup, daha yüksek kullanım oranlarında priz gecikmesi, aşırı yapışkanlaşma ve aşırı hava sürüklenme gibi yan etkiler görülebilir (Singh ve diğer., 2003). Tablo 6.4'te Tylose MH10001 P4'ün viskoziteyi arttırmakta en etkili kimyasal olduğu görülmektedir. Aynı zamanda bu katkının inceliğinin, tane boyutu değerleri dikkate alındığında son derece yüksek olduğu söylenebilir. MH10001 katkılarının elektron mikroskopunda çekilmiş fotoğrafları Şekil 6.1'de verilmiştir. Bu fotoğraflarda görüldüğü üzere topaklanmaya meyilli bir toz polimerdir. Taneler havadaki nemden bile etkilenecek birbirine yapışabilmektedir. Bu nedenle kapalı ve nemsiz ortamda saklanması gerekir. Aksi taktirde topaklaşma olacak ve katkının suda çözülmesi zorlaşacaktır.

Tablo 6.4 Suda çözünebilen polimerlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri

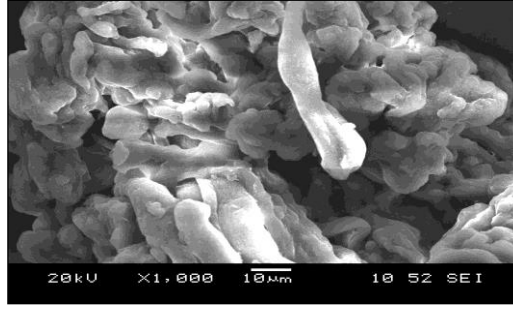
Ticari isim	Tylose MH10001 P4
Kimyasal köken	Metil hidroksietil selüloz
Aktif madde içeriği	En az %92,5
Nem	En fazla %6
NaCl içeriği	En fazla %1,5
Tane boyutu <180 mikron	-
Tane boyutu <100 mikron	-
Tane boyutu <125 mikron	En az %90
Tane boyutu <100 mikron	En az %70
Viskozite Brookfield 20 °C, 20 rpm, (%1,9'luk çözelti)	8000-13000 mPas (sp.5)



a)

b)

Şekil 6.1 Toz polimerlerin taramalı elektron mikroskopunun a) x250 b) x500 c) x1000 kat büyütülmüş fotoğrafları



c)

Şekil 6.1 Toz polimerlerin taramalı elektron mikroskopunun a) x250 b) x500 c) x1000 kat büyütülmüş fotoğrafları (devamı)

6.3.5.2 Yeniden Dağılıbilir Toz Formdaki Polimerler (2 Adet)

Her iki proje kapsamında iki tür yeniden dağılıbilir toz formdaki polimerler kullanılmıştır (Vinnapas 7220 N ve Vinnapas 8034 H). Bu polimerler genel olarak esneklik sağlamak, eğilme ve yapışma mukavemetini arttırmak amacıyla kullanılmaktadır (Afridi ve diğer., 2003). Aynı zamanda bu katkılar çimento harcına hidrofobik özellik kazandırdığı için su emme değerlerini azaltmaktadır.

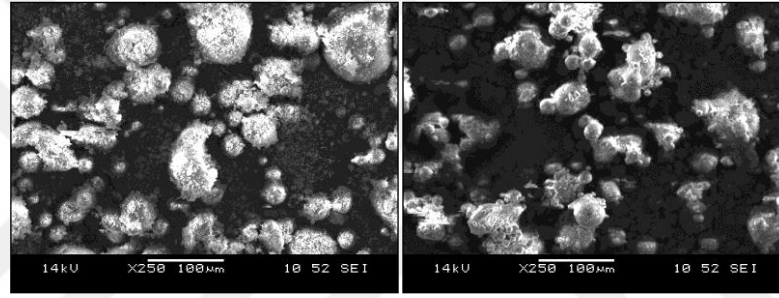
Alman Wacker Polymer Systems GmbH & Co. KG firmasının ürettiği Vinnapas 7220 N ve Vinnapas 8034 H katkıları etilen, vinil laurat ve vinil klorit terpolimeri kökenlidir. Önerilen kullanım oranları % 1-5 arasında değişiklik göstermektedir. Bu katkılar aynı zamanda sertleşmiş harçta esneklik sağlamak amacıyla da tercih edilebilir (Kim ve diğer., 1999; Schulze ve diğer., 2001).

Tablo 6.5’de görüldüğü üzere toz polimerlerin tümünün en düşük film oluşturma sıcaklıkları oldukça düşüktür (0°C ve 5°C). Normal sıcaklıklarda polimer taneciklerinin kolayca film oluşturabileceği söylenebilir. Tüm toz polimerlerde kullanılan inorganik topaklaşmayı önleyici madde miktarları 1000°C’de pişme sonrası kalan külden görüldüğü üzere %10,5 – 16,5 arasında değişmektedir.

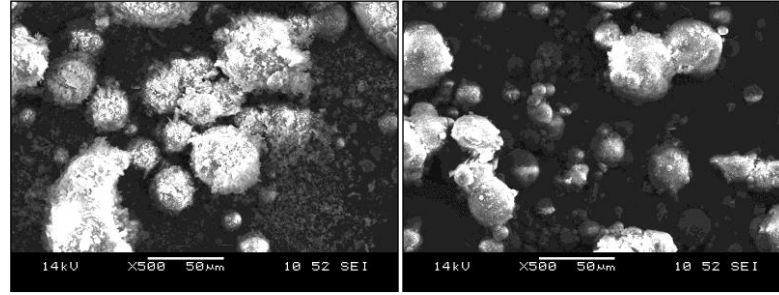
Tablo 6.5 Yeniden dağılılabılır toz formda polimerlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Ticari isim	Vinnapas 7220 N	Vinnapas 8034 H	İlgili Standart
Kimyasal köken	Terpolimerin kökeni beyan edilmemiştir.	Etilen vinil laurat ve vinil klorit terpolimeri	-
Koruyucu kolloit	Polivinil alkol	Polivinil alkol	-
En düşük film oluşturma sıcaklığı	5 °C	0 °C	DIN ISO 2115
Yığın yoğunluğu	400 - 550 kg/m ³	400 - 500 kg/m ³	DIN EN ISO 60
Tane boyutu	400 µm üzerinde en fazla %4, ağırlıklı tane boyut aralığı 1-8 µm	400 µm üzerinde en fazla %2, ağırlıklı tane boyut aralığı 0,3-9 µm	DIN EN ISO 4610
Kül miktarı (1000 °C)	%13,5 – 16,5	%11 - 15	-

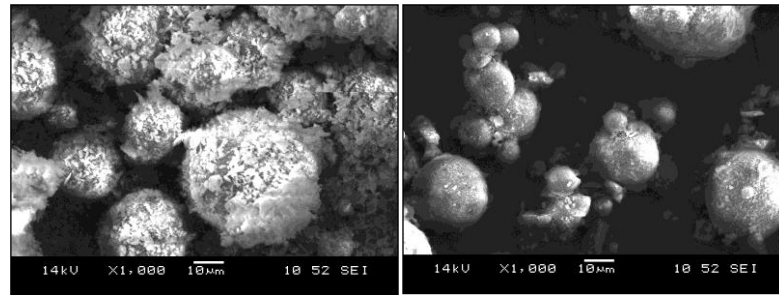
Şekil 6.2’de sunulan taramalı elektron mikroskobu fotoğraflardan görüldüğü üzere toz polimerler çoğunlukla küresel şekilli ve pürüzlü yüzey forma sahiptir.



a)



b)



Vinnapas 7220N

c)

Vinnapas8034H

Şekil 6.2 Toz formdaki vinil grubu kopolimer ve terpolimerlerin taramalı elektron mikroskobu a) x250 b) x500 c) x1000 kat büyütülmüş fotoğrafları

6.3.5.3 Polimer Lateks Emülsiyonları (2 Adet)

Hem Tübitak hem BAP projelerinde akrilik ester ve stiren bütadiyen kopolimeri esaslı 2 tür lateks emülsiyonu kullanılmıştır. Tablo 6.6'da söz konusu lateks emülsiyonlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri sunulmuştur. Akrilik ester kopolimerleri olan Acronal S 400 stiren akrilat kauçuk esaslıdır. Özellikle kırılma yapısındaki çimento esaslı kompozitlerde esneklik sağlamak, çatlak köprüsü oluşturma yeteneğini arttırmak ve su iticilik sağlamak amaçlarıyla kullanılmaktadırlar. Etkinlikleri kullanım dozajları ile yakından ilişkili olup çimento ağırlığının %5-50'si oranlarında kullanılabilirler. Bu katkılar aynı zamanda karışım suyunu da azaltarak akışkanlaştırıcı vazifesi de görebilmektedir. Çok düşük camsı dönüşüm sıcaklıkları ve 1⁰C'nin altındaki en düşük film oluşturma sıcaklıkları normal sıcaklıklarda çimento esaslı kompozitlerle uyumlu olduklarını göstermektedir. Tablo 6.6'da Acronal S400'ün bünyesindeki taneciklerin ortalama çapı ise 0.2 mikrondur. Acronal S400 ile hazırlanan filmlerin kopma uzamaları oldukça yüksek olup, film çekme dayanımı Lipaton SB5813'e göre daha düşüktür.

Her iki projede de incelenen Lipaton SB5813 ise stiren bütadiyen kopolimeridir. Hem anyonik hem de non-iyonik emülgatörler kullanılarak üretilmiştir. Acronal S400'e benzer şekilde esneklik artırma amacıyla geniş bir dozaj aralığında kullanılabilir (%5-50) (Afridi ve diğer., 2003, Wang ve diğer., 2005). İşlenebilirliği kolaylaştırır ve taze halde yapışma potansiyelini artırır. Akışkanlaştırıcı etkisi nedeniyle aynı zamanda su azaltıcı olarak da kullanılabilir. Aynı kıvamdaki kontrol harcına göre eğilme dayanımını ve aderansı, su azaltıcı etkisi nedeniyle dolaylı olarak arttırabilir.. Aynı zamanda kopma uzaması da yüksektir (%1000). Hem esnek hem de dayanımı yüksek bir film oluşturma potansiyeli vardır. Bu açıdan Lipaton SB5813 'ten daha yüksek dayanım değerlerinde elastik davranış performansı beklenebilir.

Tablo 6.6 Polimer lateks emülsiyonlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri

Ticari isim	Acronal S 400	Lipaton SB5813	İlgili Standart
Kimyasal köken	Stiren Akrilat kauçuk kopolimeri	Stiren bütadiyen kopolimeri	-
Katı madde içeriği (% ağırlıkça)	57+/-1	48,5	ISO 1625, ISO 3251
pH değeri	7,0-8,5	8,0	ISO 976, ISO 1148
Viskozite (23 °C'de 25s ⁻¹)	140-200 mPas (ISO 3219)	30 mPas (ISO 3219)	ISO 3219, ISO 2555
Emülgatör tipi	-	anyonik ve non-iyonik	-
Camsı dönüşüm sıcaklığı (Tg)	-6 °C	-5 °C	-
Emülsiyon yoğunluğu	1,04 g/cm ³	1,01 g/cm ³	-
Ortalama tane çapı	0,2 mikron	0,15 mikron	-
En düşük film oluşturma sıcaklığı	<1 °C	<3 °C	-
Film çekme dayanımı	0,3 N/mm ²	6 N/mm ²	-
Film kopma uzaması	>%2500	%1000	-

6.4 Karışım Oranları

Çimento harçlarının hazırlanmasında CEM I 42.5R tipi Portland çimentosu, TS EN 196-1 standart kumu ve su kullanılmıştır. Tüm karışımlarda kum/çimento oranı 3/1'dir. Kullanılan katkı dozajları Tablo 6.7 yardımıyla sunulmuştur. Karışımların hazırlanmasında Hobart mikseri kullanılmıştır. Toz polimerler çimento ile önceden karıştırılmış, lateksler karışım suyuna ilave edilmiştir. Karışım sıralaması şu şekildedir: Önce çimento ve kum 30 saniye kuru karıştırılmakta, daha sonra su veya lateks ilavesi ile 1 dakika daha karışıma devam edilmiştir. Ardından 1 dakikalık hızlı karışımla işlem tamamlanmıştır. Su azaltma yapılan serilerde karışım suyu çimento hamuru deneylerinden elde edilen tecrübelerle önceden azaltılmış, hedeflenen yayılma çapına ulaşmak için yeterli su ilavesi yapılarak kesin S/Ç oranı belirlenmiştir.

Tablo 6.7 Deney setlerinde kullanılan katkıları ve dozajları

SET I-A	SET I-B	SET II-A	SET II-B	SET III-A	SET III-B	SET IV-A	SET IV-B
Suda çözünebilir toz polimer grubu		Suda yeniden dağılabilir toz polimer grubu		Lateks polimer emülsiyon grubu			
Kontrol							
Tylose MH10001 P4 % 0,25 %0,5 %1		Vinnapas 7220 N %1 %3 %5		Acronal S400 %5 %10 %15 %20 %30		Lipaton SB 5813 %5 %10 %15 %20 %30	
		Vinnapas 8034H %1 %3 %5					
- Katkı dozajları çimento ağırlığının %'si olup, üretici firmanın önerdiği aralıkta tarama yapılmıştır. Set I ve Set II'de kullanılan polimerler toz formda olup, Set III ve Set IV'de kullanılan polimerler sıvı emülsiyon formundadır. - A serisindeki harçlarda S/Ç oranı sabit tutulmuştur (0,50). B serisindeki harçlarda yayılma çapı sabit tutulmuştur. (130+/-5 mm)							

Harç örnekleri için bir set katkısız kontrol (standart) çimento harcı hazırlanmıştır. Bu harcın S/Ç oranı 0,5'tir. Katkılı örnekler ise iki farklı koşulda hazırlanmıştır. İlk koşulda taranan tüm katkı dozajlarında su sabit iken (0,50), ikinci koşulda S/Ç oranı 0,50 olan katkısız kontrol karışımının yayılma çapını sağlayan (130 +/- 5 mm) karışım suyu tüm katkı dozajlarında belirlenerek dökümler yapılmıştır. Böylece hem sabit S/Ç oranında katkının akışkanlık sağlama etkisi olup olmadığı gözlenecek hem de sabit yayılma çapında su azaltma potansiyeli belirlenebilecektir (Schulze, 1999).

6.5 Polimer Katkıların Çimento Harcındaki Performansını İncelemeye Yönelik Yapılan Deneyler

Deneylerde, Bölüm 6.3.5'te anlatılan polimer katkıları kullanılmıştır. Bu hammaddeler farklı üreticiler tarafından imal edilmiş olup, BASF firması aracılığı ile temin edilmiştir. Söz konusu kimyasalların tavsiye edilen kullanım dozajlarında çimento harcına etkileri araştırılmıştır. Bu araştırma sonucunda, hangi katkının, kullanım oranına bağlı olarak ne gibi özellikleri, hangi yönde değiştirdiği tespit edilmiştir. Araştırma kapsamında sabit su/çimento oranı ve sabit kıvam koşullarında

dozaja bağılı taramalar yapılarak katkıların aşağıda belirtilen özelliklerine etkileri incelenmiştir:

- Taze çimento harcı BHA, yayılma çapı, teorik hava içeriği
- Sertleşmiş çimento harcı 28 günlük eğilme ve basınç dayanımı
- Kılcal su emme deneyi (7 yıllık örnekler üzerinde)
- Karbonatlaşma deneyi (7 yıllık örnekler üzerinde)
- Civa porozimetre deneyi (1 aylık ve 7 yıllık örnekler üzerinde)
- Sülfat çözeltisinde harç çubuğu boy değişimi ölçümleri (1 aylık örnekler için 3 aylık, 4,5 yıllık örnekler için 2,5 yıllık)

6.5.1 Çimento Harçlarının Yayılma, Taze Birim Hacim Ağırlık (BHA) Deneyleri ve Eğilme-Basınç Dayanımları

Yayılma deneyleri ASTM C 230 standardına uygun bir akma tablası üzerinde 3 saniyede 5 kez sarsma sonrası yayılma çapı ölçülerek gerçekleştirilmiştir. Çok yüksek oranda lateks katkısı içeren ve sabit S/Ç oranında hazırlanan harçlarda, bu tablanın tamamen harçla kaplandığı durumlar da olmuştur.

Taze BHA ölçümleri için 120 cm³ hacimli silindir formdaki bir kap kullanılmıştır. Çimento harcı iki kademe halinde sıkıştırılarak doldurulduktan sonra yüzeyi perdahlanmış ve kap tartılmıştır. Bu yolla belirlenen birim hacim ağırlığın yanında, teorik birim hacim ağırlık da malzemelerin özgül ağırlıkları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Aradaki farka göre teorik hava içeriği her karışım için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ayrıca eğilme ve basınç dayanımı deneyleri için tüm karışımlardan üçer adet 40*40*160 mm boyutlarında prizmatik örnek hazırlanmıştır.

Toplam 38+1 seri harç karışımı üzerinde yapılan yayılma çapı ve taze BHA ölçümlerinden sonra çimento harçları 40*40*160 mm'lik prizmatik kalıplara yerleştirilmiştir. Prizmatik örnekler ilk 7 gün suda ve daha sonraki 21 gün boyunca laboratuvar koşullarında bekletilmiştir.

Deney 40x40x160 mm boyutlu prizma örnekler üzerinde eğilme ve eğilme sonrası basınç deneyi yapılmıştır. Eğilme dayanımının tespiti Şekil 6.3'te görüldüğü üzere 3 noktadan yüklemeli deney ile yapılmıştır. 3 nokta eğilme deneyi 10 cm açıklıkta uygulanmış ve kırılma yükü okunduktan sonra denklem (6.1)'den eğilme dayanımı hesaplanmıştır.

$$\sigma = M/W = [(P*L)/4] / [(b*h^2)/6] \quad (6.1)$$

σ : Eğilme dayanımı (kgf/cm²)

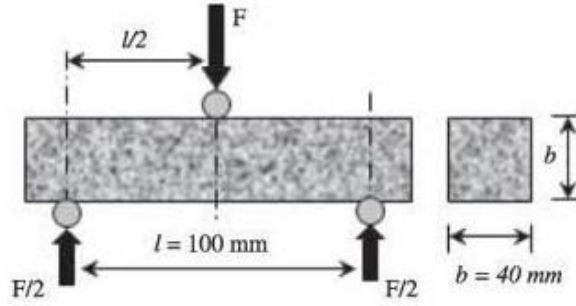
M : Maksimum moment (kgf.cm)

W : Mukavemet momenti (cm³)

P : Kırılma yükü (kgf)

b : Örnek genişliği (cm)

h : Örnek yüksekliği (cm)



Şekil 6.3 Üç nokta eğilme deneyi

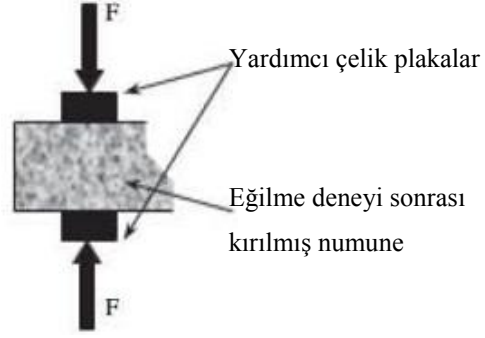
Eğilme deneyi sonucu iki parçaya ayrılan örnekler şekil 6.4'te görülen aparat içerisine yerleştirilerek 4x4 cm² lik bir alanda eğilme sonrası basınç deneyine tabi tutulmuştur. Basınç gerilmesi ise aşağıdaki denklem (6.2) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\sigma = P / A \quad (6.2)$$

σ : Basınç dayanımı (MPa)

P : Uygulanan yük (kgf)

A : Alan (cm²)



Şekil 6.4 Eğilme sonrası basınç deneyi

6.5.2 Kılcal Su Emme Deneyi

Harç numuneleri alt yüzeyinden su ile temas ettirilerek kılcal su emme deneyine tabi tutulmuştur. Kılcal yolla emilen su miktarları 30, 60, 120 ve 240 dakika zaman aralıklarında numuneler tartılarak ölçülmüştür. Şekil 6.5'te kılcal su emme deneyine ait uygulanan yöntemlere yer verilmiştir. Ölçülen su miktarlarından yola çıkılarak kılcallık katsayıları aşağıdaki denklem (6.3) yardımı ile bulunabilir (Baradan ve diğer, 2003);

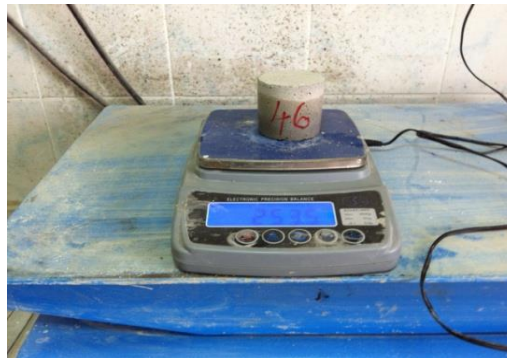
$$K_c = (Q \times 100) / (F \times \sqrt{t}) \quad (6.3)$$

K_c : Kılcal su emme katsayısı (cm^2/dk)

Q : t zaman aralığında emilen su miktarı (cm^3)

F : Kılcal su emme yüzey alanı (cm^2)

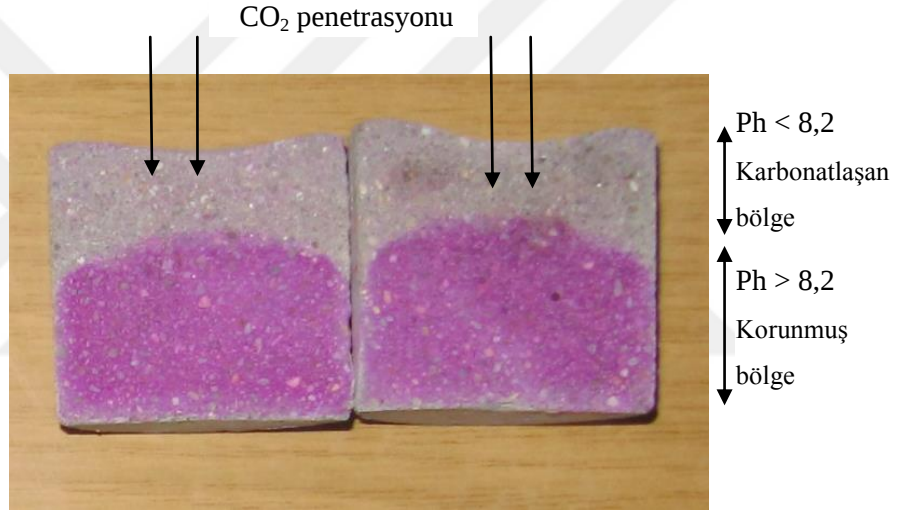
t : Ölçüm aralığı süresi (dk)



Şekil 6.5 Kılcal su emme deneyi

6.5.3 Karbonatlaşma Deneyi

Uzun vadeli karbonatlaşma derinliklerinin incelenmesi için laboratuarda 7 yıl boyunca bekletilen silindir örnekler ortadan ikiye yarılmış ve yarılan yüzeylere ph indikatörü olan fenol fitaleyn çözeltisi sıkılmıştır. Sıkılan yüzeylerde pembe-mor renk veren bölgenin ph değeri 8.2'den yüksek iken renksiz kalan kısımlarda ph değeri 8.2'nin altında kalmıştır. Örneklerin üst yüzeyinden itibaren kenarındaki renk vermeyen derinlik karbonatlaşma derinliği olarak 0,1 mm hassasiyetle ölçülmüştür. Örnekler bekleme süresi boyunca plastik kaplarla tutulduğu için taban ve alt kenarlarda karbonatlaşma meydana gelmemiştir.



Şekil 6.6 Karbonatlaşma ölçümü

6.5.4 Civa Porozimetre Deneyi

Üretilen harçların ölçülen geçirimsizlik özellikleri ile boşluk yapısı ilişkisinin belirlenmesi amacıyla Civalı Porozimetre deney yöntemi kullanılmıştır. Civa porozimetresi, gözenek boyut ve boyut dağılımının belirlenmesi için yaygın olarak kullanılan tekniklerden biridir. ODTÜ Merkez Laboratuvarında gerçekleştirilen deney yönteminin esası, civanın yüzey gerilimine bağlı olarak uygulanan her basınç için girebileceği bir boşluk boyutu olması ve cihazın haznesinde azalan civa miktarına bağlı olarak toplam boşluk oranı ve dağılımının bulunmasına dayanır. Civalı porozimetre yöntemi, ıslak halde olmayan akışkan bir maddenin yalnızca

kapiler kanallardan malzeme içine basınçla emdirilme esasına dayanan bir yöntemdir (Tekin ve diğer., 2011). Basınç ve kapiler çap arasındaki ilişki Washburn tarafından tanımlanmış olup denklem (6.4) ile hesaplanmaktadır.

$$P = (-4\gamma\cos\theta) / D \quad (6.4)$$

Burada P uygulanan basınç, D gözenek çapı, γ civa'nın yüzey gerilimi (480 dyne/cm) ve θ civa ile gözenek duvarı arasındaki kontak açısıdır (bu analizde 140° alınmıştır). Gözenek boyutu/hacim dağılımları, civa intrüzyon verilerinden yararlanılarak oluşturulmuştur.

Civa porozimetre cihazı (Quantachrome Corporation, Poremaster 60 Porozimetresi) ile yüksek basınçta (55.000 psi'a (380 MPa) kadar) 10 mikrometre ile 0.004 mikrometre arasındaki gözenek çapları ölçülmüştür (Şekil 6.7).



Şekil 6.7 Civa porozimetre deneyi

Tez kapsamında civa porozimetre deneyleri için hem 1 aylık hem de 7 yıllık numuneler seçilmiştir (18 + 18 = 36 adet). Kısa vadeli numuneler 7. günlerinde kür havuzundan çıkartılarak 7 gün daha havada bekletilmiştir, uzun vadeli numuneler ise 7 yıl boyunca laboratuvar ortamında havada bekletilmiştir. Bu numunelerden 8-10 mm çapında örnekler hazırlanmış ve deneyler 55.000 psi basınçta yapılmıştır.

6.5.5 Sülfat Çözeltisindeki Boy Değişimi Hareketleri

Boy değişimi için Bölüm 6.1’de listelenen polimer katkılı harçlar kullanılarak her seçilen ikişer adet 25x25x285 mm ölçülerinde prizmatik örnekler hazırlanmış ve bu numunelerin uçlarına paslanmaz metalden pimler yerleştirilmiştir (Şekil 6.9). Sözü edilen örneklerin sülfat çözeltisine giriş öncesi boyları bir komparatör çerçevesi yardımıyla ölçülmüştür. Çözeltide bekleme süresince ilk haftalarda haftalık periyot ile, 3.aydan sonra aylık periyotta ölçüm alınmıştır. Komparatör 0,001 mm hassasiyetinde olup Mitutoyo markadır (Şekil 6.8). Boy değişimlerinin hesaplanmasında $[(L_{\text{son}} - L_{\text{ilk}}) / L_{\text{ilk}}] * 100$ formülü kullanılmıştır.



Şekil 6.8 Sülfat çözeltisindeki numunelerin boy değişimi ölçümü



Şekil 6.9 Sülfat çözeltisinde bekletilen polimer katkılı tamir harçları

BÖLÜM YEDİ

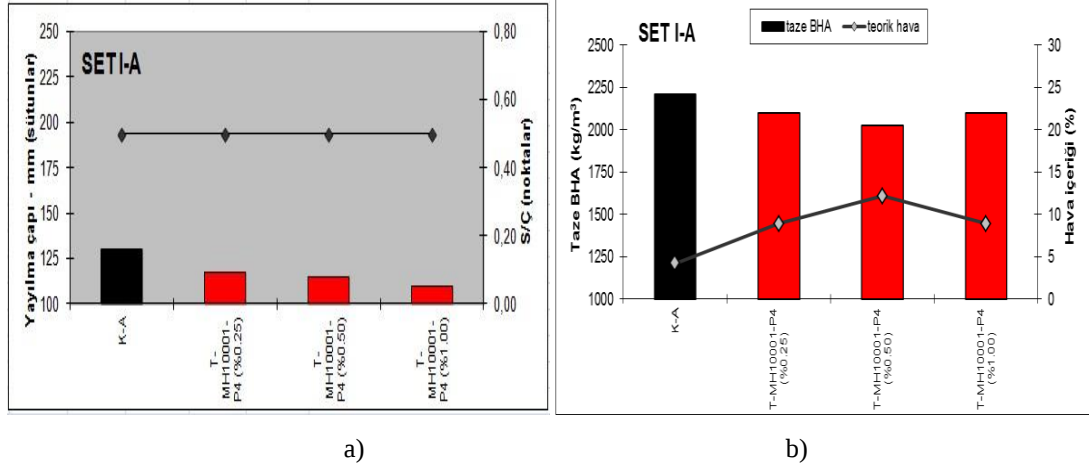
BULGULAR VE TARTIŞILMASI

7.1 Polimer Katkılı Harçların Yayılma, Taze Birim Hacim Ağırlık (BHA) ve Teorik Hava İçeriği ile İlgili Bulgular

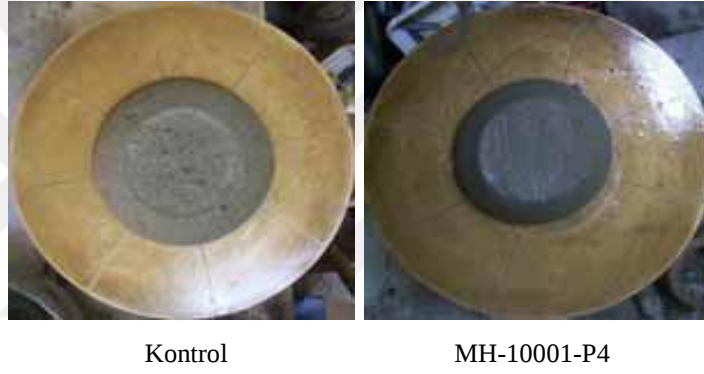
7.1.1 Suda Çözünebilir Polimerlerin Etkisi

Suda çözünebilir polimer (MH10001-P4) katkısının %0,25, %0,50 ve %1 kullanım oranlarında çimento harcının yayılma çapına etkileri Şekil 7.1a'da görülmektedir. Aynı grafikte kontrol harcı yayılma çapı 130 mm olarak verilmiştir. S/Ç oranı sabit tutulan Set I-A'dan elde edilen sonuçlara göre MH-10001-P4 (metil hidroksietil selüloz) katkıları sabit S/Ç oranında yayılma çapını azalttığı görülmüştür. Bunun nedeni katkı oranının artmasıyla viskozite özelliğinin artmasıdır. Viskozite ve kohezyon arttıkça yayılma çapı o oranda azalmaktadır. Örneklerin taze birim hacim ağırlıklarından (BHA) yola çıkılarak belirlenen hava içerikleri Şekil 7.1b'de üç farklı dozajda sunulmuştur. BHA azalması ile hava içeriği doğal olarak artmaktadır. Katkısız çimento harcının hava içeriği %4-5 dolaylarında iken, katkılı örneklerde dozaja bağlı olarak %7 ile 15 arasında hava içeriği belirlenmiştir. MH10001 katkısının belirli oranlarda kullanıldığı sürece hava sürüklenme etkisi olmadığı, yüksek oranlarda kullanıldığında aşırı hava sürüklediği ortaya çıkmaktadır. Örneklerin yayılma tablasındaki görünüşleri %0,5 dozaj için kontrol harcı ile karşılaştırmalı olarak Şekil 7.2'de verilmiştir.

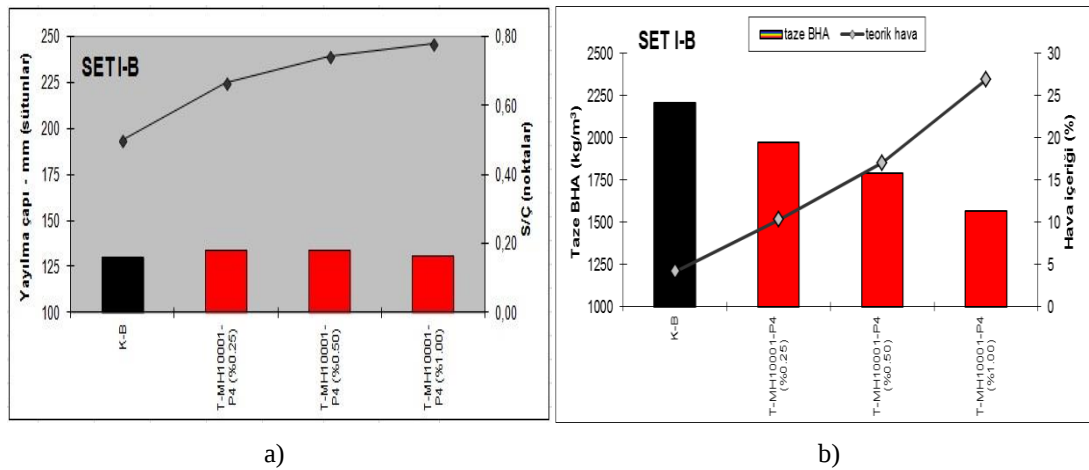
S/Ç oranı değiştirilip yayılma çapı sabit tutulan Set I-B'den elde edilen sonuçlar Şekil 7.3a ve 7.3b'de verilmiştir. Yayılma çapını sabit tutmak için gerekli su ihtiyacının katkı oranı arttıkça arttığı görülmektedir (Şekil 7.3a). MH-10001-P4 katkısının yüksek oranda kullanımı harcın S/Ç oranını 0,70'in üzerine çıkartmıştır. Aynı anda taze BHA ve hava içeriklerinin incelendiği Şekil 7.3b'de, eklenen suyun MH-10001-P4 katkılı harçlarda aşırı hava sürüklenme etkisi yarattığı görülmektedir.



Şekil 7.1 Suda çözünabilir polimerlerin taze harç özelliklerine etkileri: a) Sabit S/Ç oranında yayılma çapı değişimi, b) Taze BHA ve hava içeriğinin katkı türü ve dozajı ile değişimi



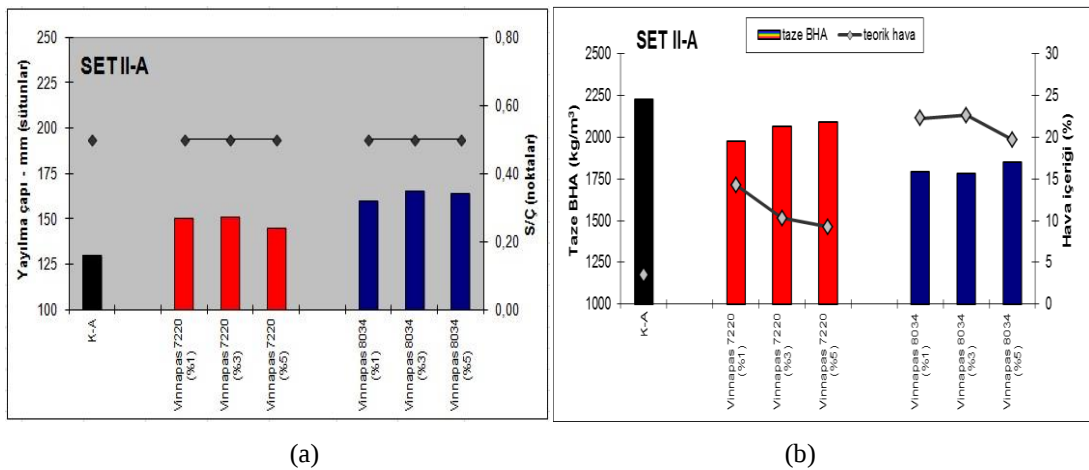
Şekil 7.2 Suda çözünabilir polimerlerin %0.5 oranında kullanıldığı harçlarda yayılma çapı görünümleri



Şekil 7.3 Suda çözünabilir polimerin taze harç özelliklerine etkileri: a) Sabit yayılma çapında S/Ç oranının değişimi, b) Taze BHA ve hava içeriğinin katkı dozajı ile değişimi

7.1.2 Suda Yeniden Dağılılabir Toz Formdaki Polimerlerin Etkisi

Suda yeniden dağılılabir toz formdaki polimerlerin çimento harcına etkisi Set II-A ve Set II-B’de incelenmiştir. Vinnapas 7220 N ve Vinnapas 8034 H katkılarının %1, %3 ve %5 oranlarında kullanıldığı çimento harçlarının ve kontrol harcının sabit S/Ç oranında yayılma çapları Şekil 7.4a’da verilmiştir. Katkılar yayılma çapında önemli artışlara yol açmış, en fazla artış Vinnapas 8034 H kullanımı ile olmuştur. Vinnapas 8034 katkısının formülasyonunda kullanılan hidrofob karakterli kimyasallar burada sürfaktan davranışı göstermiş olabilir. Yayılma çaplarındaki bu iyileşme katkıların su azaltabilme özelliği olduğunu göstermektedir. Şekil 7.5’de %3 oranında kullanılan katkıların yayılma çapını, kontrol örneğine göre nasıl değiştirdikleri görülmektedir. Şekil 7.4b’de ise taze BHA ve hava içeriklerinin, katkı dozajı ile nasıl etkilendiği sunulmuştur. Yayılma çapı artan örneklerde aynı zamanda hava sürüklenme oranının da önemli derecede arttığı ve etkinin en şiddetli Vinnapas 8034 H katkılı örneklerde olduğu söylenebilir. Bu örneklerde hava içeriği %20’lere kadar çıkmaktadır. Tüm serilerde en düşük katkı dozajı en fazla hava sürüklemeye yol açmıştır. Dozaj artışı ile hava içerikleri bir miktar azalsa da hiçbir zaman kontrol harcının seviyesine inmemiştir. Yüksek dozajlarda hava içeriğinin bir miktar azalması, sürüklenen hava kabarcıklarının aşırı olması nedeniyle stabilitesini yitirerek bir araya gelmesi ve sıkıştırma işlemi sırasında dışarı atılması olarak söylenebilir.



Şekil 7.4 Suda yeniden dağılılabir toz formdaki polimerlerin taze harç özelliklerine etkileri: a) Sabit S/Ç oranında yayılma çapı değişimi, b) Taze BHA ve hava içeriğinin katkı türü ve dozajı ile değişimi.



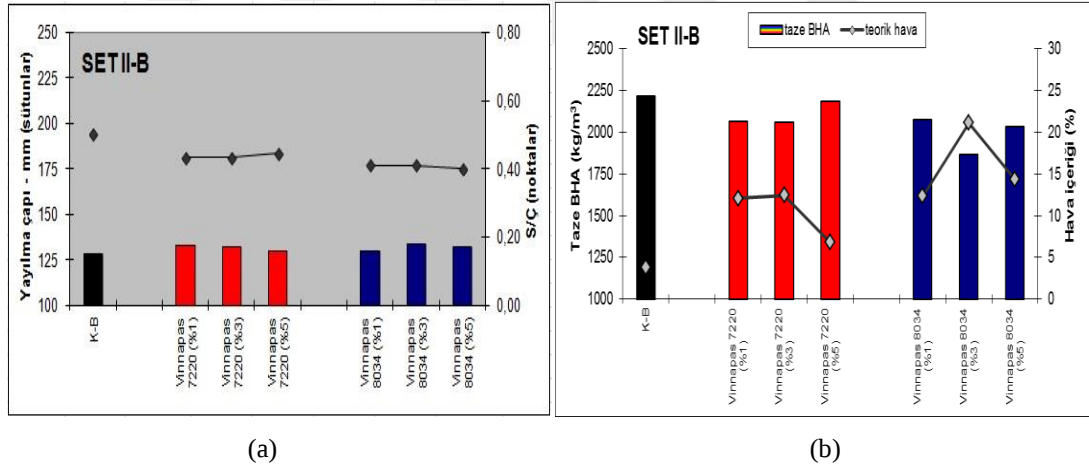
Kontrol

Vinnapas 7220 (%3)

Vinnapas 8034 (%3)

Şekil 7.5 Suda yeniden dağılılabılır toz formdaki polimerlerin %3 oranında kullanıldığı harçlarda yayılma çapı görünüşleri

Yayılma çapını sabitlemek amacıyla yapılan su azaltma işleminin etkisi Set II-B’de incelenmiş ve deney sonuçları Şekil 7.6a ve 7.6b’de sunulmuştur. S/Ç oranı katkı türü ve dozajına bağlı olarak 0,50’den 0,40’a kadar azaltılabilmektedir. Aynı anda hava içerikleri de sabit S/Ç oranlı seriye kıyasla bir miktar azalsa da çoğunlukla %10’un üzerindedir.

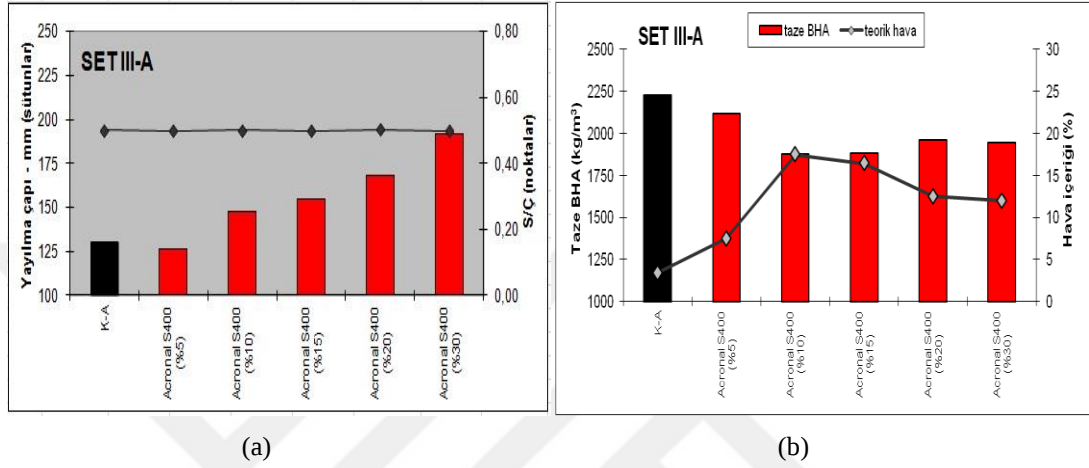


Şekil 7.6 Suda yeniden dağılılabılır toz formdaki polimerlerin taze harç özelliklerine etkileri: a) Sabit yayılma çapında S/Ç oranının değişimi, b) Taze BHA ve hava içeriğinin katkı türü ve dozajı ile değişimi.

7.1.3 Latekslerin Etkisi

Set III ve Set IV dökümlerinde lateks emülsiyonları kullanılmıştır. Acronal S400’ün incelendiği ve kontrol harcıyla kıyaslandığı an Set III’de sabit S/Ç oranında yayılma çapının değişimi incelenmiştir (Şekil 7.7a). Dozaj artışı yayılma çapını

arttırmaktadır. Şekil 7.8’de sunulan yayılma çapı fotoğraflarında da kıvam farklılığı açıkça görülmektedir. Şekil 7.7b’de ise taze BHA ve hava içeriğinin katkı dozajı ile değişimi verilmiştir ve sabit S/Ç oranında hava sürüklemektedir. Acronal S400 katkısı, %10 kullanım oranının üzerinde iken hava içeriği %15 mertebelerinde sabitlenmiştir.



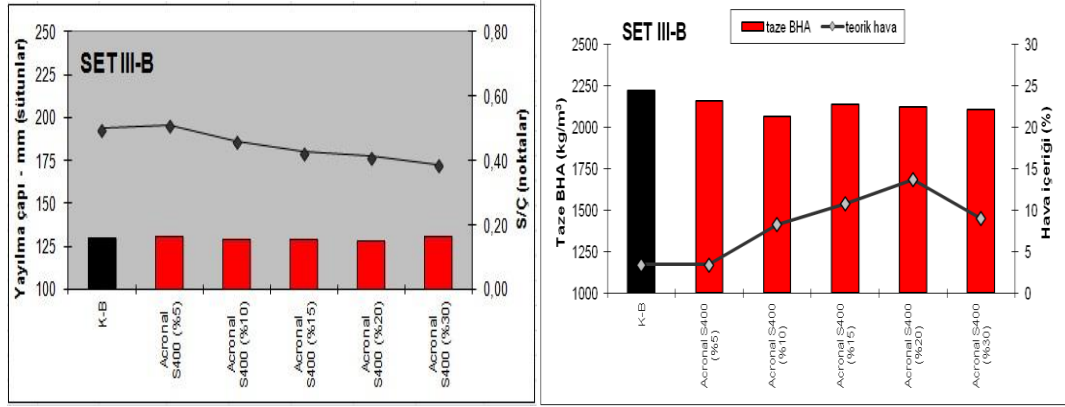
Şekil 7.7 Lateks emülsiyonlarının (Acronal S400) taze harç özelliklerine etkileri: a) Sabit S/Ç oranında yayılma çapı değişimi, b) Taze BHA ve hava içeriğinin katkı türü ve dozajı ile değişimi.



Kontrol Acronal S400 (%10) Acronal S400 (%15) Acronal S400 (%20)

Şekil 7.8 Acronal serisi lateks emülsiyon içeren çimento harçlarının farklı kullanım oranlarında yayılma çapı görünüşleri

Acronal serisi katkıların sabit S/Ç oranında ve yüksek kullanım dozajlarında meydana getirdiği akışkanlık Set III-B’de sabit yayılma çapı için su azaltma oranlarını belirlemede kullanılmıştır. Acronal S400 kullanımında hava içeriği %10 mertebelerindedir (Şekil 7.9).

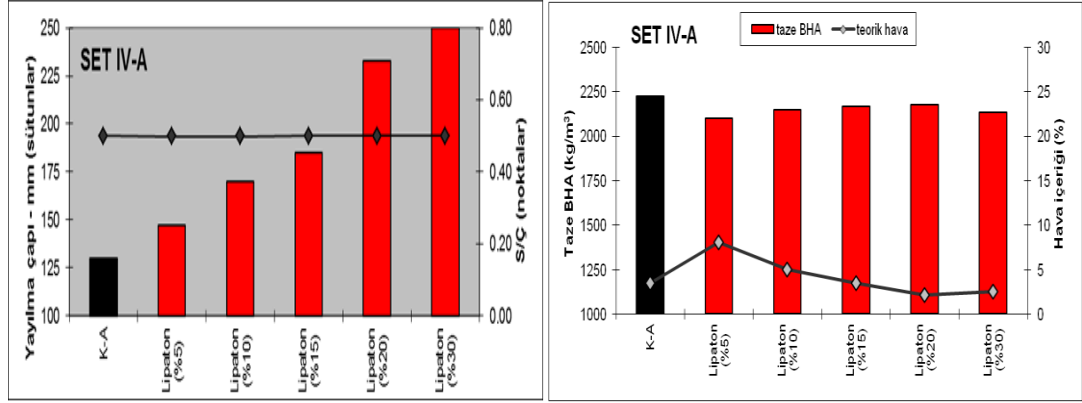


(a)

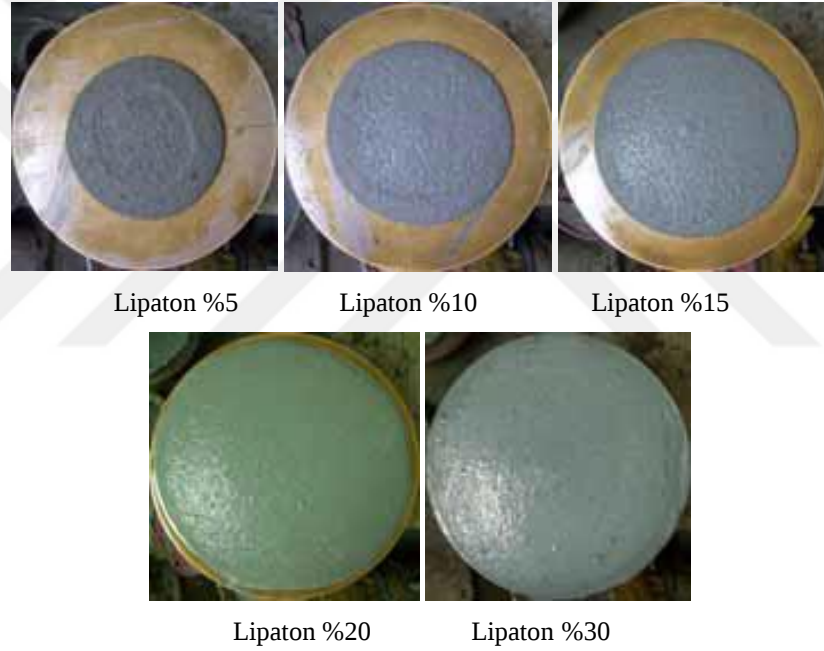
(b)

Şekil 7.9. Lateks emülsiyonlarının (Acronal S400) taze harç özelliklerine etkileri: a) Sabit yayılma çapında S/Ç oranının değişimi, b) Taze BHA ve hava içeriğinin katkı türü ve dozajı ile değişimi.

Çimento harcı deneylerinde, IV. sette diğer lateks emülsiyonu Lipaton kullanılmıştır. Lipaton katkısının, sabit S/Ç oranında farklı kullanım dozajları için yayılma çapına etkileri Şekil 7.10a'da verilmiştir (Set IV-A). Lipaton %30'a kadar kullanılmıştır. Yayılma çaplarında meydana gelen değişim Şekil 7.11'de görülmektedir. Kendiliğinden yerleşen tamir harcı veya yalıtım tabakası uygulamalarında Lipaton benzeri stiren bütadiyen kökenli katkıları sıkça kullanılmaktadır (Do ve Soh, 2003). Lipaton katkısının %30 oranında kullanımı yayılma çapının tabla çapını aşmasına yol açmıştır. Şekil 7.10b'de ise katkının BHA ve hava içeriğine etkileri verilmiştir. Lipaton katkısının yüksek akışkanlık sağlamasının yanında aşırı hava sürüklememesi, hava içeriğini %8-10 mertebelerinde kalması bu katkı için önemli bir avantajdır.

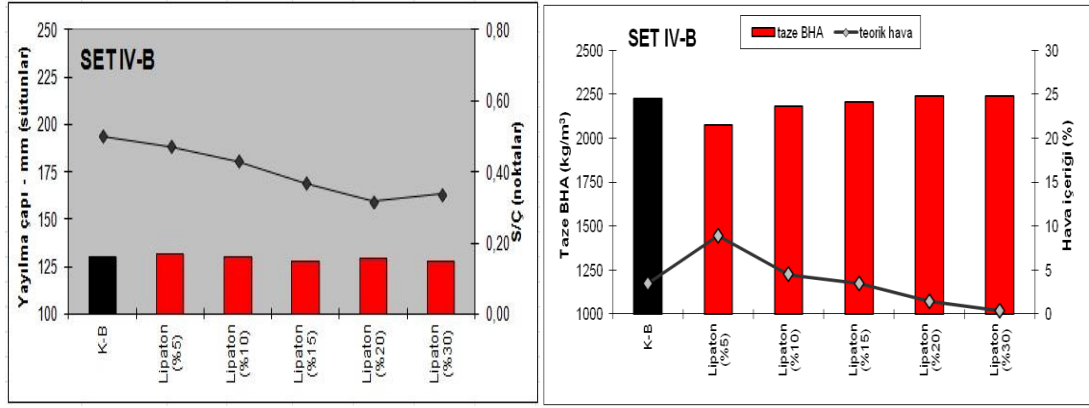


Şekil 7.10 Lateks emülsiyonlarının (Lipaton) taze harç özelliklerine etkileri: a) Sabit S/Ç oranında yayılma çapı değişimi, b) Taze BHA ve hava içeriğinin katkı türü ve dozajı ile değişimi.



Şekil 7.11 Lipaton emülsiyonu içeren çimento harçlarının farklı kullanım oranlarında yayılma çapı görünümleri

Set IV-B'de ise sabit yayılma çapı için katkı kullanılarak çimento harçlarının S/Ç oranı azaltılmıştır. Lipaton katkısı yüksek kullanım oranlarında S/Ç oranını yaklaşık 0,30'a kadar indirebilmiştir (Şekil 7.12a). Lipaton katkısı kullanılan harçlarda hava içeriği %10'un altındadır (Şekil 7.12b).



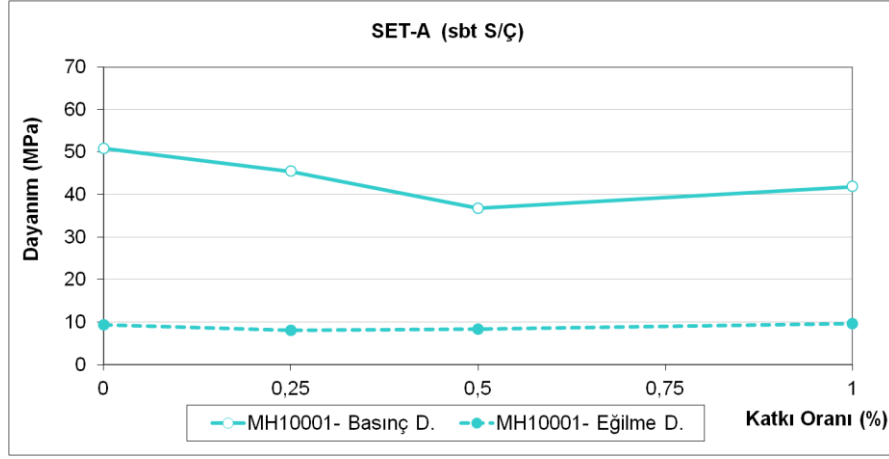
a)

b)

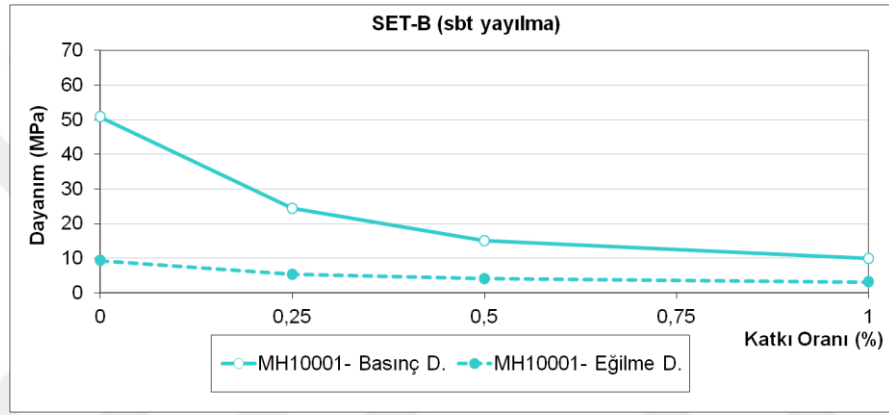
Şekil 7.12 Lateks emülsiyonlarının taze harç özelliklerine etkileri:a) Sabit yayılma çapında S/Ç oranının değişimi, b) Taze BHA ve hava içeriğinin katkı dozajı ile değişimi.

7.2 Eğilme ve Basınç Dayanımı ile İlgili Bulgular

Çimento harcı örneklerinin eğilme ve eğilme sonrası basınç dayanımları suda çözünebilir toz polimer (MH10001), suda yeniden dağılılabılır toz polimerler (Vinnapas 7220 ve Vinnapas 8034) ve lateks katkıları (Acronal S400 ve Lipaton) için gruplandırılarak Şekil 7.13 ile Şekil 7.15 arasında verilmiştir. Suda çözünebilir polimerlerin sabit S/Ç oranında basınç ve eğilme dayanımlarının kullanım dozajına göre kıyaslandığı Şekil 7.13'deki grafiklerde yaklaşık 51 MPa olan basınç dayanımının katkı ilavesi ile genel olarak azaldığı görülmektedir. Katkı dozajı %1 iken basınç dayanımını en az etkileyen katkı MH10001 olmuştur. Eğilme dayanımı değerleri ise kullanım dozajına bağlı olarak 8-10 MPa mertebelerinde değişmektedir (Şekil 7.13a). Suda çözünebilir polimerlerin sabit yayılma çapı elde etmek için gerekli su ihtiyacını genellikle arttırdıkları daha önce belirtilmiş olup, Şekil 7.13b'deki grafikte artan S/Ç oranı nedeniyle meydana gelen dayanım kayıpları açıkça görülmektedir. Yüksek S/Ç oranlı harçlarda katkıların hava sürükleyici etkinliklerinin artması da dayanım kayıplarında önemli rol oynamıştır. Eğilme dayanımı değerlerinde de benzer dayanım kayıpları söz konusudur.



a)



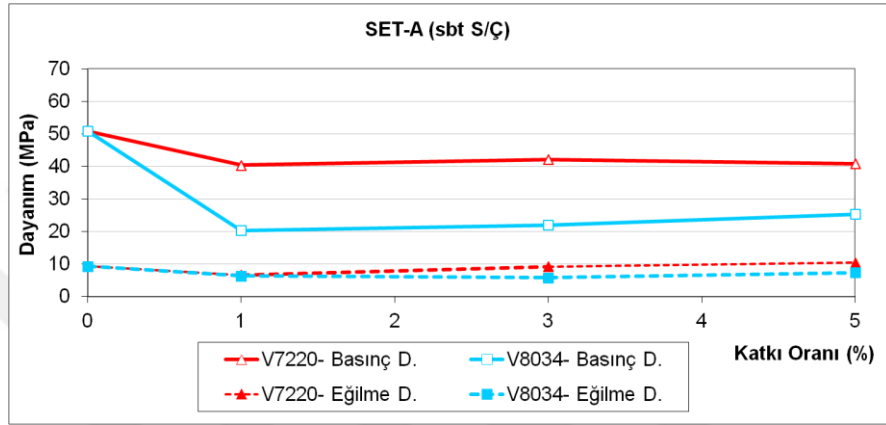
b)

Şekil 7.13 Suda çözünabilir toz polimerlerin (MH10001) eğilme ve basınç dayanımına etkileri; a) Sabit S/Ç oranı (0,50), b) Sabit yayılma çapı (130 mm)

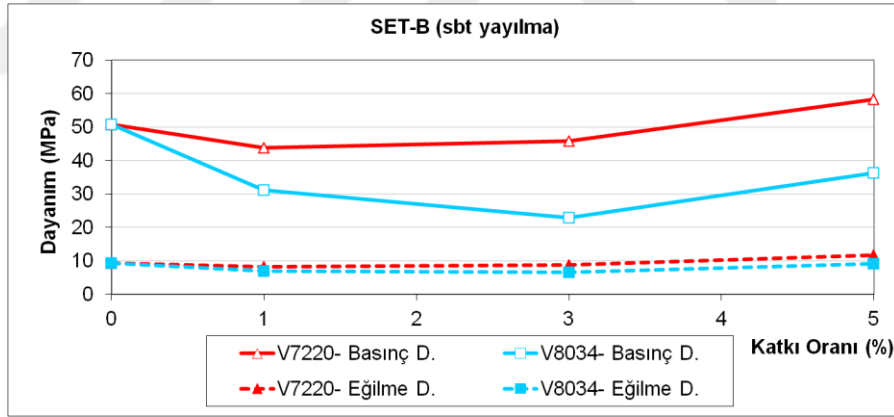
Suda yeniden dağılabilen polimerlerin sabit S/Ç oranında basınç ve eğilme dayanımları Şekil 7.14a'deki grafiklerde kullanım dozajına göre kıyaslanmıştır. Basınç dayanımı katkı ilavesi ile genel olarak azalmaktadır. Ancak Vinnapas 7220 katkısının basınç dayanımını azaltıcı etkisi, Vinnapas 8034 katkısına kıyasla daha azdır. Katkısız harcın basınç dayanımı 50 MPa iken %5 Vinnapas 7220 katkısı ilavesi 10 MPa'lık dayanım kaybına neden olmuştur. Eğilme dayanımları ise basınç dayanımına kıyasla daha az etkilenmiş, hatta polimer katkısının yüksek kullanım dozajlarında kontrol harcı ile benzer eğilme dayanımları elde edilmiştir.

Şekil 7.14b'deki grafikte suda yeniden dağılabilen polimerlerin sabit yayılma çapında basınç ve eğilme dayanımları görülmektedir. Suda yeniden dağılabilen polimer katkıları (özellikle Vinnapas 7220 katkısı), sabit yayılma çapı elde etmek

için gerekli su ihtiyacını azaltmaktadır. Vinnapas 8034 katkısı da yüksek oranda kullanıldığında su azaltıcı etkisi söz konusudur. Kullanım dozajı %3'ten %5'e çıkartıldığında mekanik özelliklerde meydana gelen iyileşmenin temel nedeni söz konusu su azaltma potansiyelidir. Hatta Vinnapas 7220 katkılı harçlarda basınç ve eğilme dayanımı değerlerinde %5 kullanım dozajında kontrol harcına kıyasla artışlar kaydedilmiştir.



a)

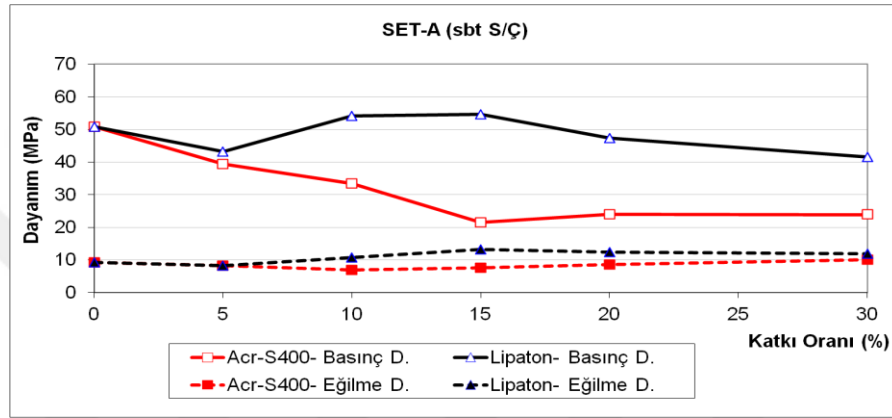


b)

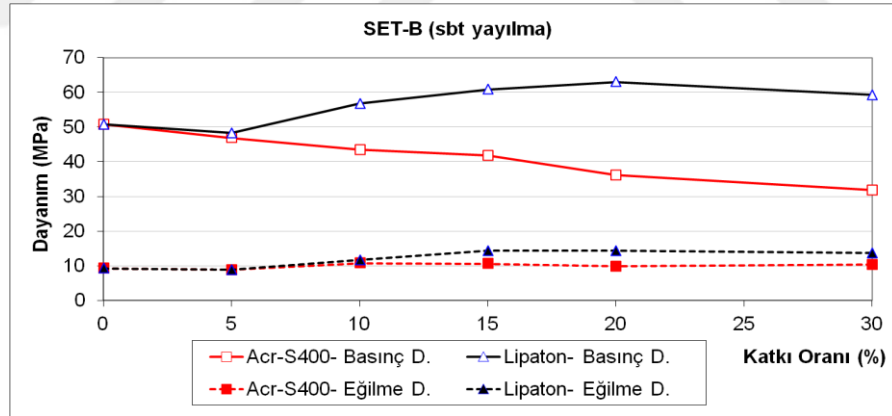
Şekil 7.14 Suda yeniden dağılılabılır toz polimerin (Vinnapas7220 ve Vinnapas8034) eğilme ve basınç dayanımına etkileri; a) Sabit S/Ç oranı (0,50), b) Sabit yayılma çapı (130 mm)

Şekil 7.15a'da lateks katkılı harçların sabit S/Ç oranında basınç ve eğilme dayanımları sunulmuştur. Acronal S400 katkısı sabit S/Ç oranında hava sürüklemeye etkisi nedeniyle basınç dayanımını önemli miktarda azaltmıştır. Söz konusu dayanım kayıplarına lateks üretiminde kullanılan emülgatörün etkisi bulunduğu düşünülmektedir (Tablo 6.7). Lipaton katkılı harçlar, katkı dozajı artışı ile mekanik

özellikleri en az etkilenen harçlar olmuştur. Şekil 7.15b'deki grafikte sabit yayılma çapı için elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Lipaton katkısının su azaltıcı etkisi nedeniyle dozaj arttıkça basınç dayanımı değerlerinde bir miktar iyileşme söz konusu olmuştur. Ancak özellikle Acronal S400 katkılı harçlarda basınç dayanım değerleri katkı dozajı ilavesi ile hızla azalmış ve %30 kullanım dozajında 30 MPa'a kadar düşmüştür. Eğilme dayanımları ise göreceli olarak daha az etkilenmiş ancak artış ve azalış etkisi katkı türleri için basınç dayanımındakine paralel olmuştur.



a)



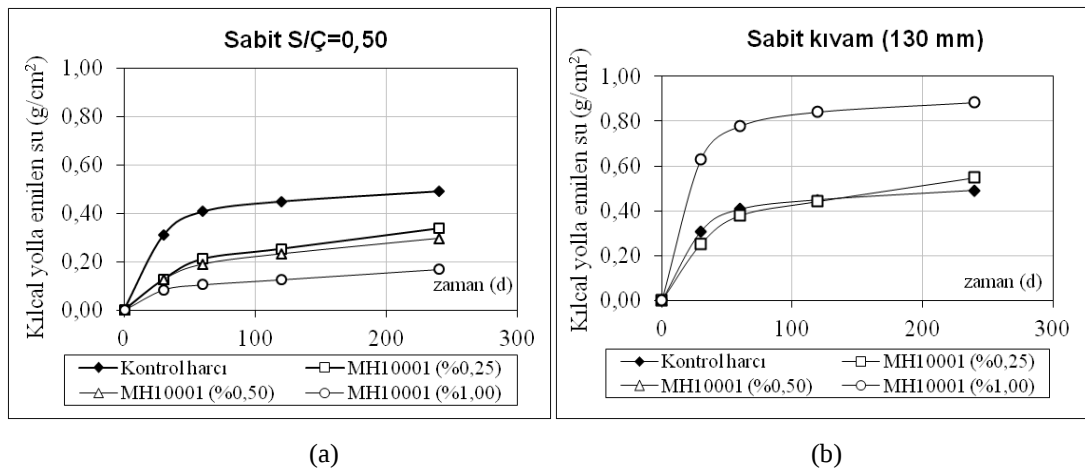
b)

Şekil 7.15 Lateks katkılarının (Acronal S400 ve Lipaton) eğilme ve basınç dayanımına etkileri; a) Sabit S/Ç oranı (0,50), b) Sabit yayılma çapı (130 mm)

7.3 Kılcal Su Emme Deneyi ile İlgili Bulgular

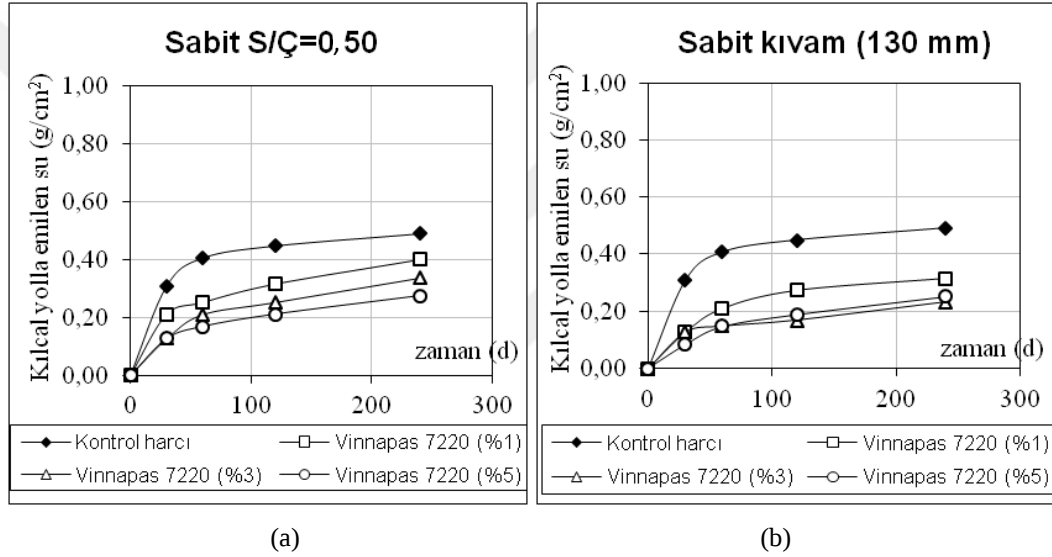
Tüm serilerde kılcal yolla emilen su miktarı bölüm 6.5.2’de sunulan yöntemle ölçülmüş olup zamana bağlı olarak şekil 7.16 ile 7.20 arasında sunulmuştur. Ayrıca bölüm 6.5.2’de verilen formül yardımıyla kılcallık katsayıları her seri için hesaplanıp katkı dozajına bağlı olarak şekil 7.21 ile 7.25 arasında grafik haline getirilmiştir. Aynı grafikte hem sabit S/Ç hem de sabit yayılma koşulları için elde edilen katsayılar verilmiştir.

MH10001 katkılı sabit S/Ç ve sabit kıvamlı örnekler üzerinde kılcal su emme deneyleri yapılmış ve sonuçlar grafikler ile Şekil 7.16’da verilmiştir. Sabit S/Ç oranındaki örnekler dikkate alındığında kılcal yolla en çok su emen örnek kontrol örneğidir. Katkı dozajının artmasıyla kılcal yolla emilen su değerinde azalmalar olmuştur. Yani katkının kılcal yolla emilen su miktarını azaltmada artan dozaj ile yararlı olduğu görülmektedir (Şekil 7.16a). Sabit kıvamlı örnekler dikkate alındığında katkı dozajının artması kılcal yolla emilen su miktarında artışa neden olmuş, yani negatif bir etki oluşturmuştur. En yüksek kılcal yolla emilen su, katkı oranının en yüksek olduğu (%1 katkılı MH10001) örnektir (Şekil 7.16b). Burada kılcallığın artmasındaki temel neden sabit yayılma çapı elde etmek için artan su ihtiyacıdır.



Şekil 7.16 MH10001 katkılı harçların kılcal su emme grafikleri (*MH10001 sabit kıvam serilerinde %0,50 örneği için veri alınamamıştır.)

Vinnapas 7220 katkılı seride sabit S/Ç oranındaki örnekler dikkate alındığında kılcal yolla en fazla su emen örnek yine kontrol örneğidir. Katkı dozajının artmasıyla kılcal yolla emilen su değerinde azalmalar olmuştur. Yani katkının kılcal yolla emilen su miktarını azaltmada artan dozaj ile pozitif etkisi de artmıştır (Şekil 7.17a). Sabit kıvamlı örnekler dikkate alındığında, benzer şekilde kontrol örneği en yüksek su emme göstermiş ve katkı dozajının artması kılcal yolla emilen su miktarında düşüşe neden olduğu, yani pozitif bir etki oluşturduğu görülmüştür (Şekil 7.17b). Sözü edilen kılcal yolla su emme azalmasının temel nedeni Vinnapas 7220 katkısının sabit yayılma çapı için su azaltıcı özellik göstermesidir.

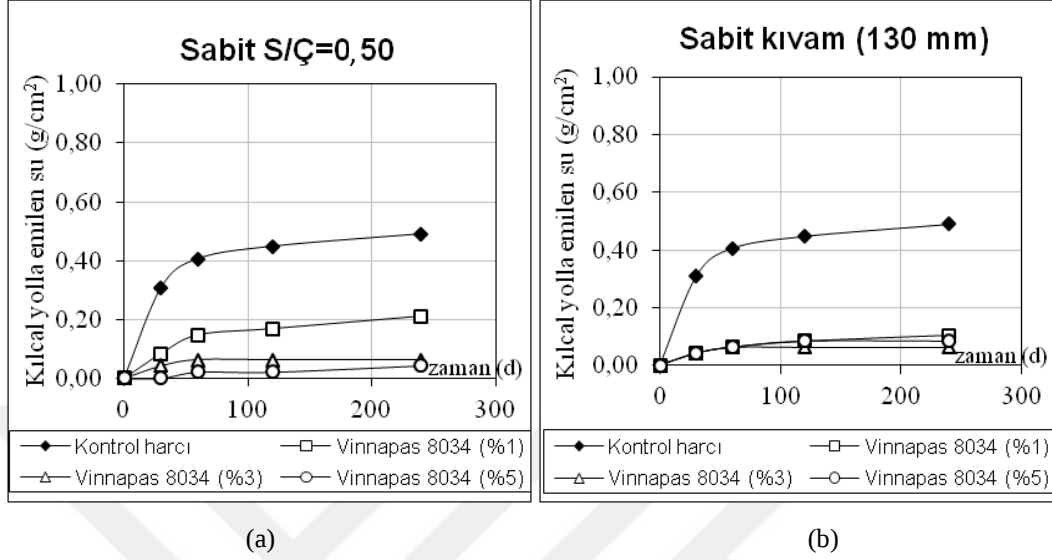


Şekil 7.17 Vinnapas 7220 katkılı harçların kılcal su emme grafikleri

Vinnapas 8034 H katkısı etilen, vinil laurat ve vinil klorit terpolimeri olup, kimyasal kompozisyonunda su itici katkılarla desteklendiği ve bu yüzden H kodu ile tanımlandığı üretici firma tarafından beyan edilmiştir. Oysa Vinnapas 7220 N bu şekilde bir modifikasyon bulunmamaktadır. Buradaki N kodu normal su iticilik etkisini göstermektedir.

Şekil 7.18’de sabit S/Ç oranındaki örnekler dikkate alındığında Vinnapas 8034 kullanımı ile kontrol harcına göre kılcal yolla emilen su değerinde önemli azalmalar tespit edilmiştir (Şekil 7.18a). Sabit kıvamlı örneklerde katkının su azaltma

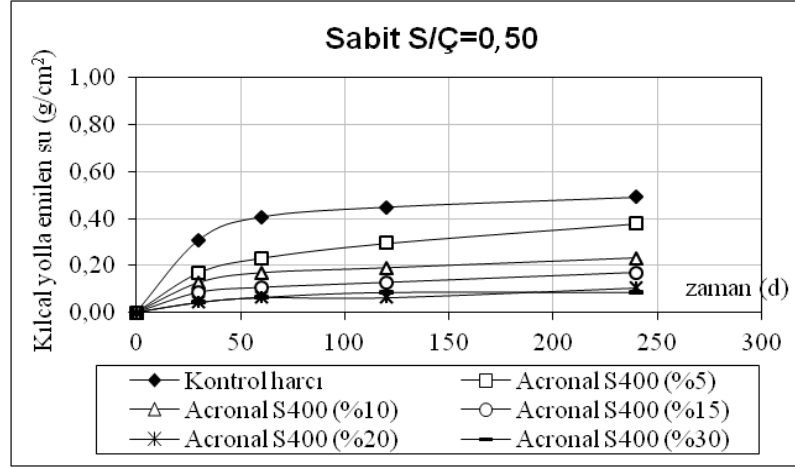
özelliğinin etkisiyle kılcal yolla emilen su miktarı tüm serilerde çok düşük mertebelere inmiştir. (Şekil 7.18b).



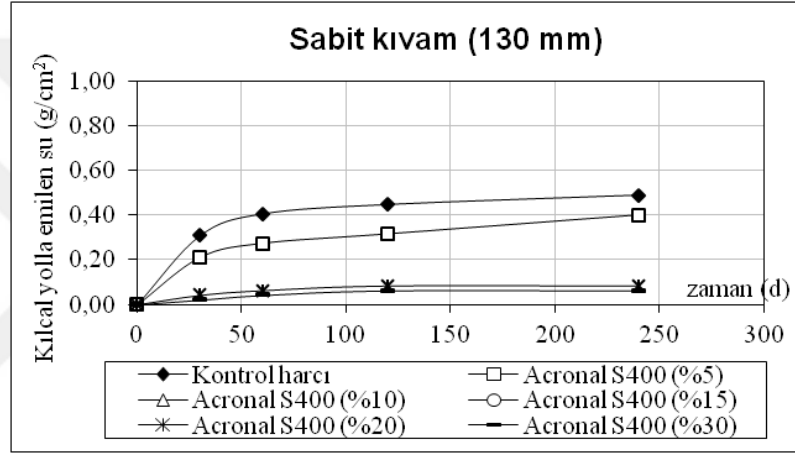
Şekil 7.18 Vinnapas 8034 katkılı harçların kılcal su emme grafikleri

Acronal S400 katkısı akrilat kauçuk kopolimeri olup, film oluşturma mekanizmasıyla kılcal boşlukları tıkama özelliğine sahiptir. Bu katkının 5 farklı dozajda kullanımı ile sabit S/Ç oranlı serilerdeki kılcal yolla emilen su miktarını azaltma etkinliği Şekil 7.19a’da görülmektedir. Dozaj artışı ile kılcal yolla emilen su miktarı azalmıştır.

Sabit yayılma çapı hedeflenen durumlarda %5 Acronal katkısı kullanılmıştır. Su ihtiyacı az da olsa arttığı için kılcallık açısından önemli bir fark gözlemlenmiştir. Ancak %15-20 kullanılan oranlarda kılcal yolla emilen su miktarı önemli ölçüde azalmıştır. (Şekil 7.10b)



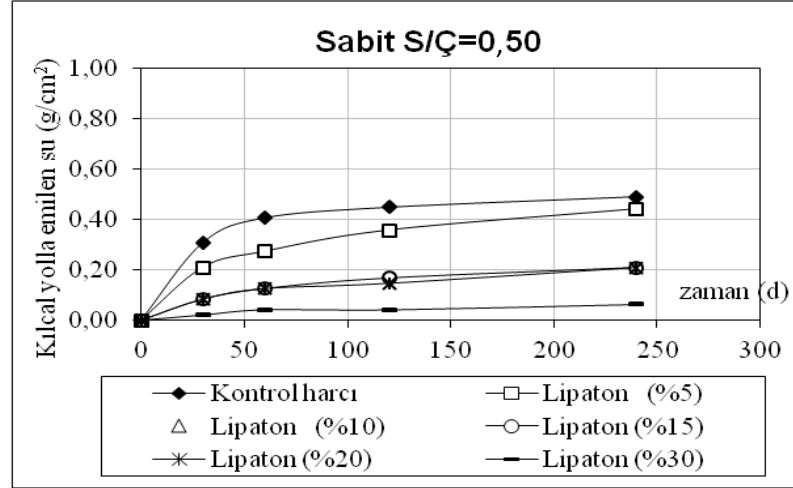
(a)



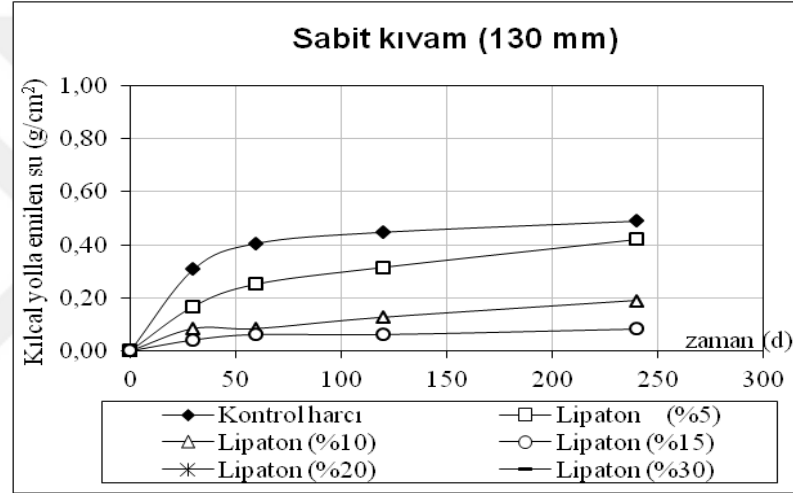
(b)

Şekil 7.19 Acronal S400 katkılı harçların kılcal su emme grafikleri (*Sabit yayılma çaplı serilerde Acronal S400 %10 ve %15 örneklerinden veri alınamamıştır.)

Stiren bütadiyen kauçuk kökenli Lipaton katkısı %5 gibi düşük kullanılması durumunda kontrol harcına göre kılcal yolla emilen su miktarında önemli bir fark oluşturmazken, %15-20 oranlarında katkı kullanımında kılcal yolla emilen su miktarı azalmaktadır.



(a)



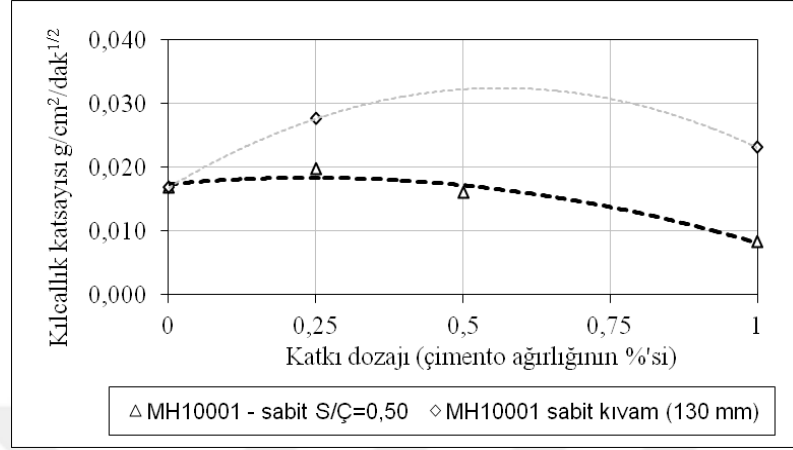
(b)

Şekil 7.20 Lipaton katkılı harçların kılcal su emme grafikleri (*Sabit yayılma çaplı serilerde Lipaton %20 ve %30 örneklerinden veri alınamamıştır.)

Kılcallık katsayısı birim karekök zamanda birim alandan geçen su miktarı, yani kılcal su emme hızını (kılcallık katsayısı) ifade etmektedir. Örneklerin boşluk yapısına bağlı olarak kılcal su emme miktarı ile kılcal su emme hızı birbirinden farklı olabilir. Bu nedenle Şekil 7.21 ile 7.24 arasındaki örneklerin dozaja bağlı olarak kılcallık katsayıları incelenmiştir.

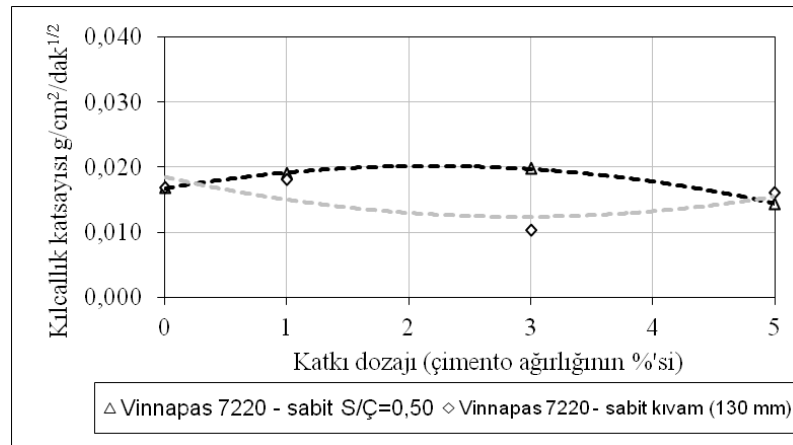
Şekil 7.21’de MH10001 katkılı harçlar için kılcallık katsayıları dikkate alındığında, hedeflenen en düşük kılcallık katsayısına sabit S/Ç oranında %1 katkılı

seride, sabit yayılma çapında ise katkı içermeyen kontrol harcında ulaştığı görülmektedir.



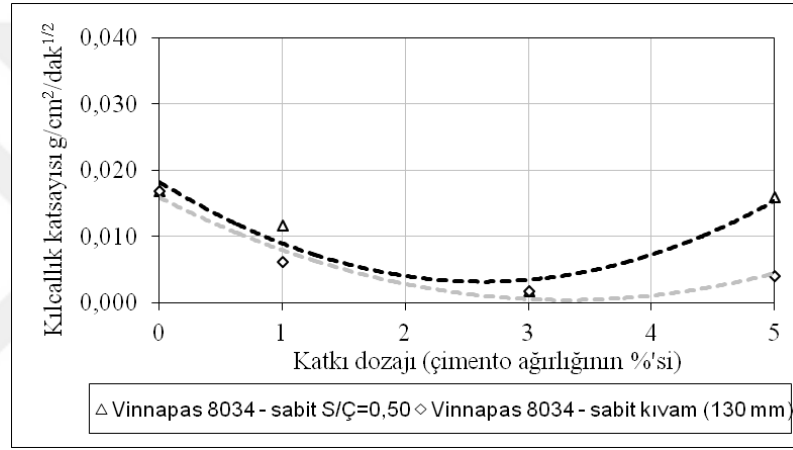
Şekil 7.21 MH10001 katkıli harçların kılcallık katsayısının dozajla değişimi grafikleri (*MH10001 sabit kıvam serilerinde %0.50 örneği için veri alınamamıştır.)

Şekil 7.22’de V7220 katkıli örneklerde sabit S/Ç oranı dikkate alındığında kılcallık katsayısı, katkı dozajının %1’e kadar artmasıyla artış göstermekte, katkı dozajı daha fazla arttırıldığında düşüş göstermektedir. En düşük kılcallık katsayısının %5 katkıli örnek de olduğu görülmüştür. Sabit kıvamlı örnekler dikkate alındığında, kılcallık katsayısı katkı dozajının %3’e kadar arttırılmasıyla düşüş gösterirken, %3’ün üzerindeki katkı dozajlarında bir miktar artış göstermektedir. En düşük kılcallık katsayısının %3 katkıli örnek de olduğu görülmüştür.



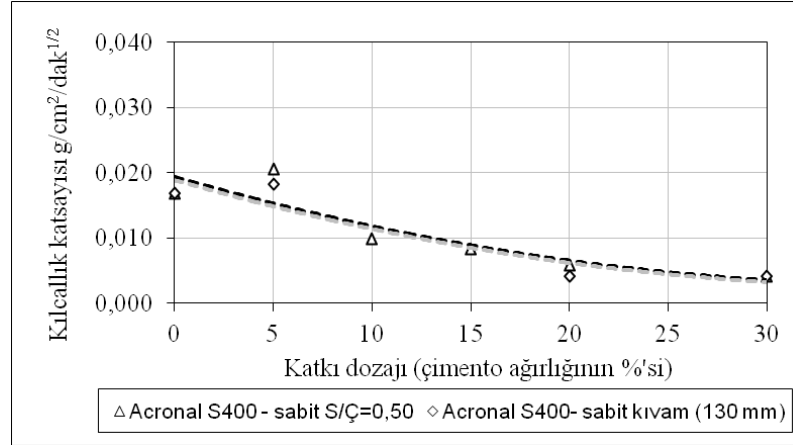
Şekil 7.22 Vinnapas 7220 katkıli harçların kılcallık katsayısının dozajla değişimi grafikleri

Şekil 7.23'te V8034 katkılı sabit S/Ç oranındaki örnekler dikkate alındığında kılcallık katsayısı, katkı dozajının yaklaşık %3'e kadar artmasıyla düşüş göstermekte, katkı dozajı daha fazla arttırıldığında artış göstermektedir. En düşük kılcallık katsayısının %3 katkılı örnek de olduğu görülmüştür. Sabit kıvamlı örnekler dikkate alındığında, kılcallık katsayısı katkı dozajının %3'e kadar arttırılmasıyla düşüş gösterirken, %3'ün üzerindeki katkı dozajlarında bir miktar artış göstermektedir. En düşük kılcallık katsayısının %3 katkılı örnek de olduğu görülmüştür. Hem sabit S/Ç hem de sabit yayılma örnekleri dikkate alındığında en yüksek kılcallık katsayıları kontrol örneğinde olduğu tespit edilmiştir.



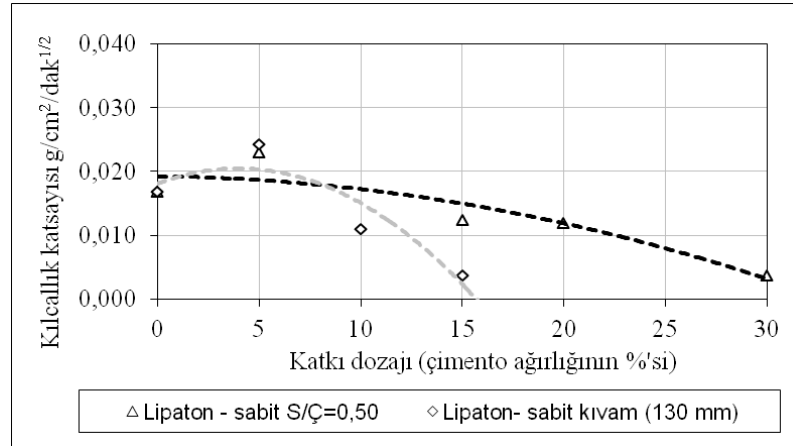
Şekil 7.23 Vinnapas 8034 katkılı harçların kılcallık katsayısının dozajla değişimi grafikleri

Şekil 7.24'te Acronal S400 katkılı sabit S/Ç oranında kılcallık katsayısı, katkı dozajının artışına paralel olarak düşüş göstermektedir. Benzer durum sabit kıvamlı örneklerde görülmektedir. Her iki durum için de düşük kılcallık katsayısının %30 katkılı örnek de olduğu görülmüştür.



Şekil 7.24 Acronal S400 katkıli harçların kılcallık katsayısının dozajla değişimi grafikleri (*Sabit yayılma çaplı serilerde Acronal S400 %10 ve %15 örneklerinden veri alınamamıştır.)

Şekil 7.25'te Lipaton katkıli sabit S/Ç oranı kılcallık katsayısı, katkı dozajının artışına paralel olarak düşüş göstermektedir. En düşük kılcallık katsayısının %30 katkıli örnek de olduğu görülmüştür. Sabit kıvamlı örnekler dikkate alındığında, kılcallık katsayısı katkı dozajının %5'e kadar arttırılmasıyla artış gösterirken, %5'in üzerindeki katkı dozajlarında hızlı bir düşüş göstermektedir. En düşük kılcallık katsayısının %15 katkıli örnek de olduğu görülmüştür.



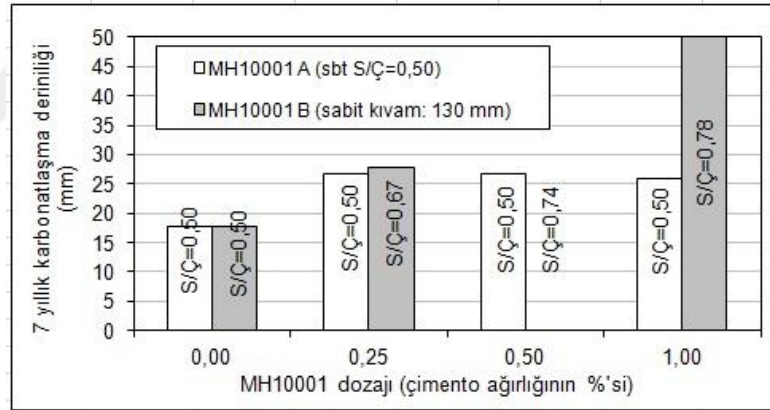
Şekil 7.25 Lipaton katkıli harçların kılcallık katsayısının dozajla değişimi grafikleri (*Sabit yayılma çaplı serilerde Lipaton %20 ve %30 örneklerinden veri alınamamıştır.)

Genel olarak kılcallık katsayısı örnekler arasındaki kılcal boşluk yapısı farklılıklarını kıyaslamada faydalı olmuştur. Fakat bazı durumlarda özellikle erken

yaşta hızlı su emen ancak daha sonra su emme hızı yavaşlayan örneklerde, başlangıçta emilen su miktarı da dikkate alınarak değerlendirme yapılmalıdır.

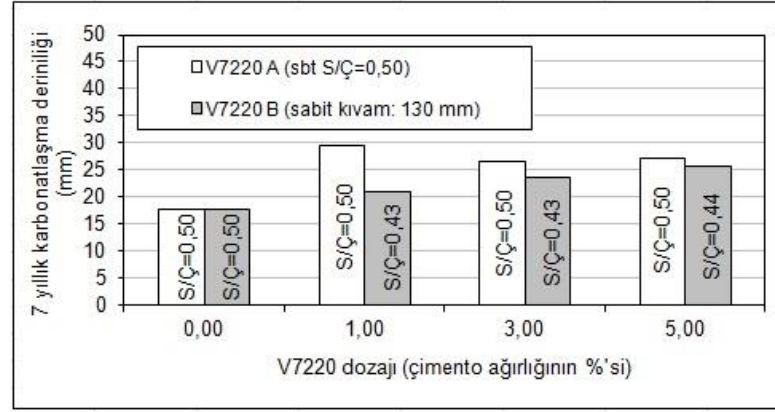
7.4 Karbonatlaşma Derinliği Ölçümleri

Standart harç örneğinin karbonatlaşma derinliği 18 mm'dir. Suda çözünabilir polimer MH10001 katkısı için; sabit S/Ç oranında katkılı örneklerde karbonatlaşma derinliği standart harca kıyasla daha yüksektir. Ancak katkı dozajı artmasıyla karbonatlaşma derinliklerinde herhangi bir fark görülmektedir. Katkı kullanımı hava sürüklemeye neden olduğu için gaz geçirimliliği artmış olabilir bu nedenle karbonatlaşma derinliğinin de arttığı düşünülmektedir. Sabit kıvam altında ise katkı oranı arttıkça karışım suyu ihtiyacı arttığından, S/Ç oranı artmasıyla geçirimlilik (boşluk miktarı) ve karbonatlaşma derinliği artar (Şekil 7.26).



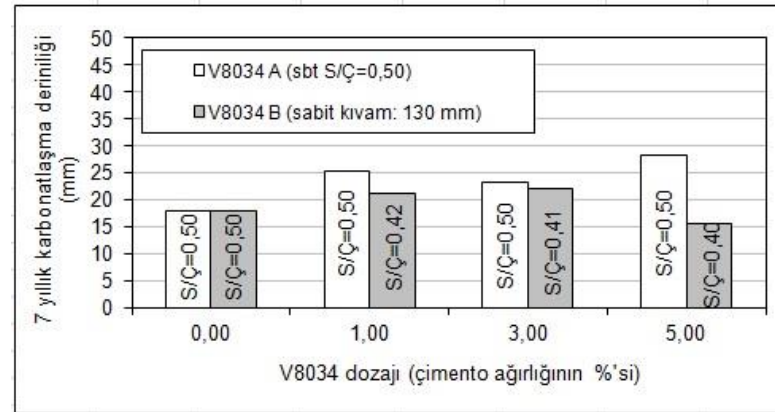
Şekil 7.26 MH10001 katkısı için sabit S/Ç ve sabit kıvam altında 7 yıllık karbonatlaşma grafikleri (*MH10001 sabit kıvam serilerinde %0.50 örneği için veri alınamamıştır.)

Suda yeniden dağılabilir polimerlerden V7220 katkısı için; sabit S/Ç oranlı örneklerde karbonatlaşma derinliği standart numuneye göre daha fazladır. Katkı dozajı arttırıldığında karbonatlaşma derinliği önce bir miktar artmakta, sonrasında sabit kalmaktadır. Katkının karbonatlaşma değerinin artmasındaki nedeni harcın boşluklu yapısıyla ilişkilendirmek mümkündür. Sabit kıvam altında ise katkı oranı arttıkça karbonatlaşma derinliğinde bir miktar artış olduğu görülmüştür. (Şekil 7.27).



Şekil 7.27 V7220 katkısı için sabit S/C ve sabit kıvam altında 7 yıllık karbonatlaşma grafikleri

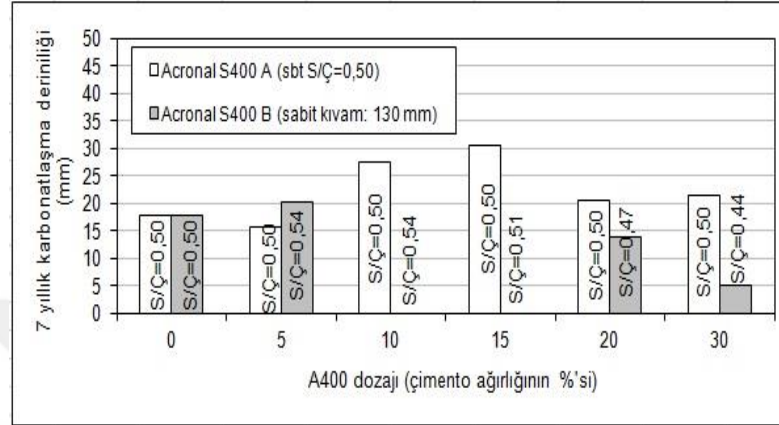
V8034 katkısı için; sabit S/C oranında katkılı numunelerin karbonatlaşma derinliği standart numuneye göre daha fazladır. Katkı oranı arttıkça karbonatlaşma derinliği önce bir miktar azalmakta sonra tekrar artış göstermektedir. Sabit kıvamlı numunelerde ise katkı oranı %1 ve %3 olduğunda karbonatlaşma derinliği standart harç değerlerinden daha yüksek değerler almaktadır. Ancak katkı oranı %5 olması durumunda standart numuneye göre daha az karbonatlaşma derinliği olduğu görülmüştür. Karbonatlaşma derinliğinin azalmasının nedeni katkının hidrofobik özelliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüksek katkı dozajında su iticilik özelliği kazandırdığından geçirgenliğinde azaldığı öngörülmektedir (Şekil 7.28).



Şekil 7.28 V8034 katkısı için sabit S/C ve sabit kıvam altında 7 yıllık karbonatlaşma grafikleri

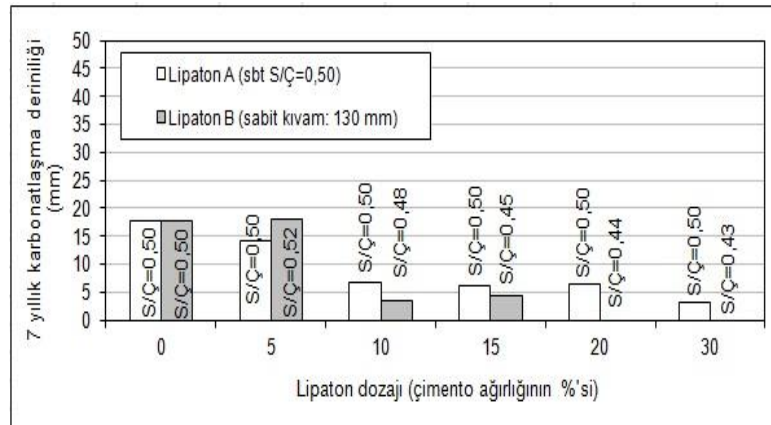
Polimer lateks emülsiyonlardan Acronal S400 için; sabit S/C altında karbonatlaşma derinliği değeri katkı ilavesi ile önce bir miktar arttığı, ilavenin devam etmesi ile derinliğin azaldığı görülmektedir. Karbonatlaşma derinliği değerinin en az

olduğu karışım %5 katkı ilaveli karışımdır. Sabit kıvam elde etmek için, katkının akışkanlaştırıcı etkisi göz önüne alındığında katkı ilavesi yaptıkça aynı kıvamı elde etmek için su kesimi yapılmıştır. Su oranı azaldıkça geçirgenlik de azaltıldığından karbonatlaşma derinliğini düşürmektedir (Şekil 7.29).



Şekil 7.29 Acronal S400 katkısı için sabit S/Ç ve sabit kıvam altında 7 yıllık karbonatlaşma grafikleri (*Acronal S400 sabit kıvam serilerinde %10 ve %15 örneği için veri alınamamıştır.)

Lipaton katkısı için; hem sabit S/Ç hem sabit kıvamdaki numunelerde katkının polimer film oluşturması nedeniyle gaz geçirimliliği azaltması dolayısıyla karbonatlaşma derinliğini azalttığı düşünülmektedir. Ayrıca sabit kıvamlı örneklerde katkının su azaltma etkisi nedeniyle karbonatlaşma derinliğindeki azalma daha belirgin hale gelmiştir (Şekil 7.30).

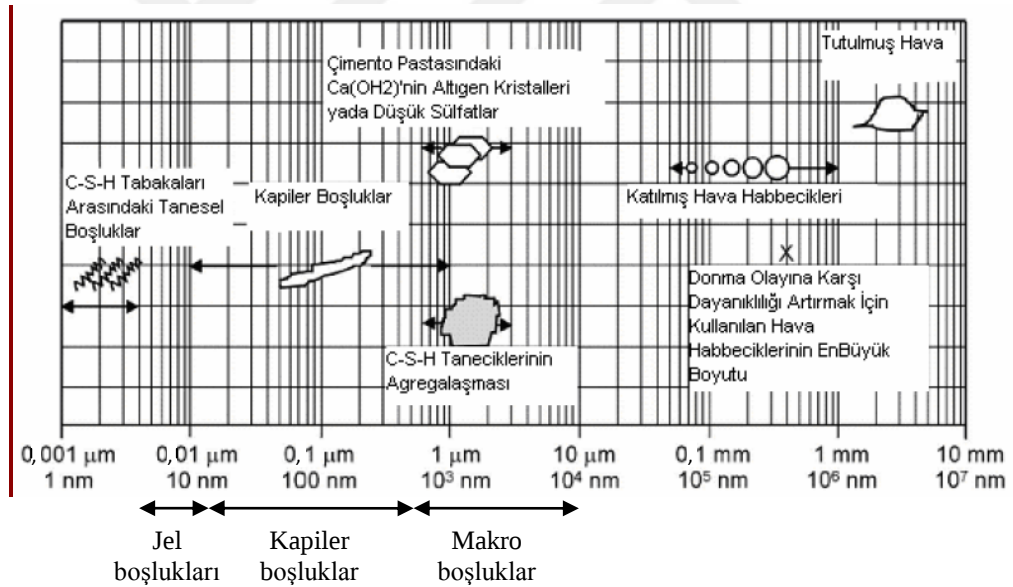


Şekil 7.30 Lipaton katkısı için sabit S/Ç ve sabit kıvam altında 7 yıllık karbonatlaşma grafikleri (*Lipaton katkısı için sabit kıvam serilerinde %20 ve %30 örneği için veri alınamamıştır.)

Sonuç olarak, katkının cinsine bağlı olarak karbonatlaşma derinliklerinin farklılık gösterdiği görülmektedir. Katkılar arasında karbonatlaşmaya karşı en etkili direncin Lipaton tarafından gösterildiği söylenebilir.

7.5 Civa Porozimetre Deneyi

Çimentolu sistemlerde porozite ya da boşluk yapısı genel olarak, tutulmuş boşluklar (makro boşluk), kapiler boşluklar ve jel boşlukları olmak üzere üç kısımda incelenmektedir. Ancak betondaki boşlukların karmaşık yapısından dolayı literatürde daha geniş bir sınıflandırma da yapılmıştır. Bu sınıflandırmada nanometre boyutundan milimetre boyutuna kadar geniş bir aralık dikkate alınmıştır. Çimentolu sistemlerde oluşan bu geniş aralıktaki boşluk yapısı ve sınıflandırması Şekil 7.31’de görülmektedir (Tekin İ. ve diğerleri, 2011).

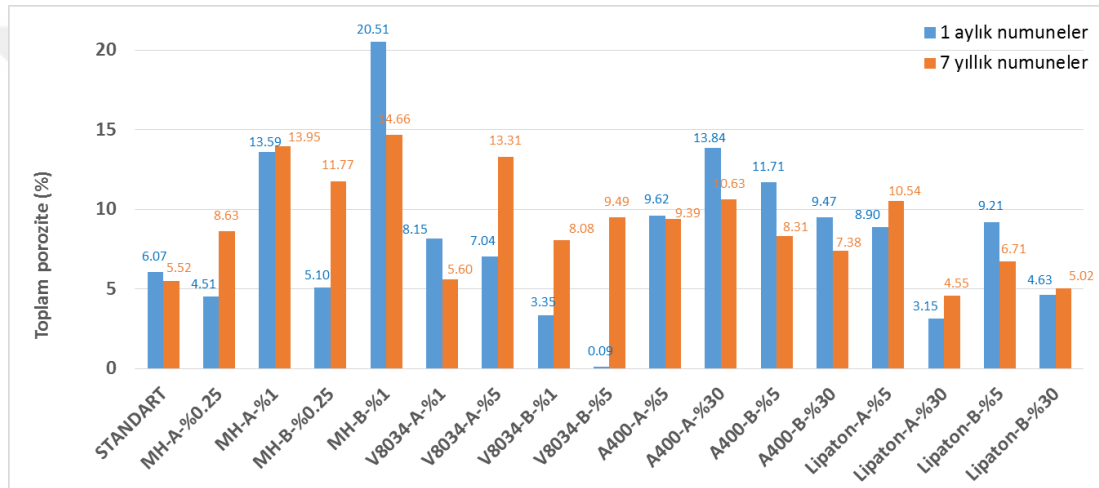


Şekil 7.31 Çimentolu sistemlerde oluşan gözeneklerin ölçü aralıkları (Tekin İ. ve diğer., 2011)

Bu tez kapsamında, civalı porozimetre deneyi için harç fazında kısa vadeli (1 aylık) ve uzun vadeli (7 yıllık) olmak üzere iki farklı grupta numuneler hazırlanmıştır. Şekil 7.32’de civa porozimetre deneyi yapılan 1 ay ve 7 yıllık örneklerin toplam porozite yüzdeleri görülmektedir. Katkı türü ve dozajına bağlı olarak zaman içerisinde toplam porozite yüzdelerinde artma veya azalmalar meydana

geldiği gözlemlenmiştir. Bu durum aşağıdaki Şekil 7.33 ile Şekil 7.36 arasında, her bir katkı için ayrı ayrı incelenmiştir.

Şekil 7.33b, 7.34b, 7.35b ve 7.36b’de incelenen grafiklerde boşluk boyut dağılımı yapılırken Monticelli ve diğer (2006) tarafından önerilen aralıklar kullanılmıştır. Buna göre; $0,004 \mu\text{m} < \text{Jel boşlukları} < 0,015 \mu\text{m}$, $0,015 \mu\text{m} < \text{kapiler boşluklar} < 0,5 \mu\text{m}$ ve $0,5 \mu\text{m} < \text{makro boşluklar} < 10 \mu\text{m}$ arasında kabul edilmiştir. Bu grafiklerden türetilerek elde edilen Şekil 7.33c, Şekil 7.34c, Şekil 7.35c ve Şekil 7.36c grafiklerinde her katkı için ayrı ayrı boşluk boyut dağılım analizi yapılmıştır.



Şekil 7.32 1 aylık ve 7 yıllık katkılı numunelerin toplam porozite % dağılımı (*1 aylık V8034-B-%5 numunesinde çok düşük değerdeki porozite nedeniyle deneysel hata olduğu düşünülmekte olup değerlendirilmeye alınmamıştır.)

Kontrol numunesinde toplam porozite %'si, 1 aylık süreçten 7 yıllık sürece kadar %6 civarında sabit kalmıştır. Bu süre içinde MH10001 katkısının sabit S/Ç serilerinde, %0,25 dozajlı numunede porozite değeri %8'e kadar artarken, %1 dozajlıda %14 dolaylarında sabit kalmıştır. Sabit kıvamlı seriler dikkate alındığında; %0,25 dozajlı numunenin porozite değerinde belirgin bir artış gözlenirken (%5'den %12'ye kadar), %1 dozajlıda tam tersi oranda bir azalma (%21'den %15'e kadar) gözlemlenmiştir (Şekil 7.33a).

Boşluk türü olarak bakıldığında ise, 1 aydan 7 yıla kadar olan süreç içerisinde kontrol numunesinde kapiler boşluklar hacminde azalma, makro ve jel boşluk

hacminde ise artış gözlemlenmiştir. MH10001 katkısının sabit S/Ç serilerinde genel olarak jel boşluk yapısında azalma, makro ve kapiler boşluk yapısında katkı dozajına göre farklı değişimler olmuştur. Sabit kıvamlı serilerde ise; her iki dozaj için makro ve kapiler boşlukta azalma, jel boşluğunda artış meydana gelmiştir (Şekil 7.33b, Şekil 7.33c).

Vinnapas 8034 H katkısında ise; sabit S/Ç serisindeki %1 dozajlı numune dışında diğer numunelerin tamamında toplam porozite %'sinde artış gözlemlenmiştir (Şekil 7.34a).

Boşluk türü bakımından incelendiğinde, V8034-B-%5 katkısının makro boşluk yapısının azaldığı, diğer numunelerin tamamında ise arttığı görülmektedir. Kapiler boşluk yapısı tüm serilerde azalmakta olup, jel boşluklarında V8034-A-%1 katkısı dışında belirgin bir fark ortaya çıkmamıştır (Şekil 7.34b, Şekil 7.34c).

Acronal katkısında, A400-A-%5 numunesi dışındaki diğer numunelerin tamamında porozite oranında düşüş meydana gelmiştir. A400 katkısının poroziteyi düşürme konusunda olumlu bir etki yaptığı söylenebilir (Şekil 7.35a).

Acronal katkılı örnekler boşluk türü dikkate alınarak incelendiğinde, serilerin tamamında makro boşlukta oranında artma ve kapiler boşluk oranında azalmalar meydana geldiği gözlenmiştir (Şekil 7.35b, Şekil 7.35c).

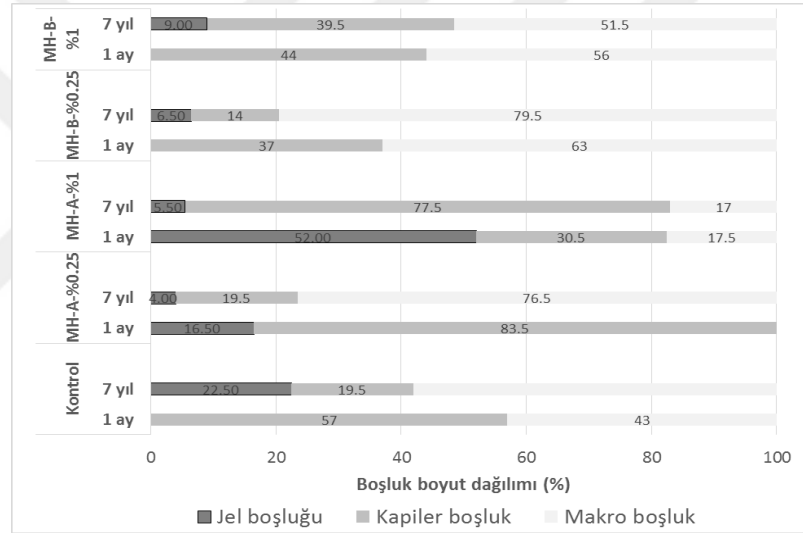
Lipaton katkısının poroziteyi düşürmekte en etkili dozajın sabit kıvamlı %5 katkılı numunede olduğu gözlemlenmiştir. Katkının kullanıldığı diğer dozajlarda boşluk yapısında %1 ile %3 aralığında artışlar kaydedilmiştir (Şekil 7.36a).

Boşluk türü dikkate alındığında Lipaton katkılı tüm serilerde kontrol numunesine benzer şekilde makro boşluk miktarında artma, kapiler boşluk miktarında azalma görülmektedir. Sadece sabit kıvamlı %30 Lipaton katkılı numunede diğerlerinden farklı olarak kapiler boşluk miktarında artış gözlemlenmiştir. Jel boşlukları dikkate

alındığında ise katkının tüm serilerinde jel boşluğu miktarında azalmaya yol açtığı tespit edilmiştir (Şekil 7.36b, Şekil 7.36c).



a) 1 aylık ve 7 yıllık numuneleri için toplam porozite %'leri



b) 1 aylık ve 7 yıllık numunelerin boşluk boyut dağılımı

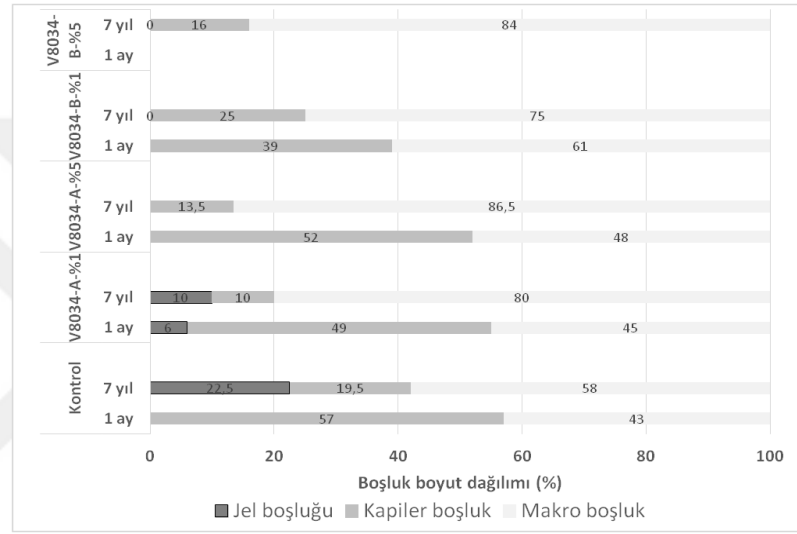
1 ay → 7 yıl	Kontrol	MH10001 A - %0.25	MH10001 A - %1	MH10001 B - %0.25	MH10001 B - %1
Makro boşluk	↗	↗	↔	↘	↘
Kapiler boşluk	↘	↘	↗	↘	↘
Jel boşluğu	↗	↘	↘	↗	↗

c) 1 ay'dan 7 yıl'a kadar olan boşluk boyut değişimi

Şekil 7.33 MH10001 katkısının 1 aylık ve 7 yıllık numunelerinin boşluk analizi



a) 1 aylık ve 7 yıllık numuneleri için toplam porozite %'leri



b) 1 aylık ve 7 yıllık numunelerin boşluk boyut dağılımı

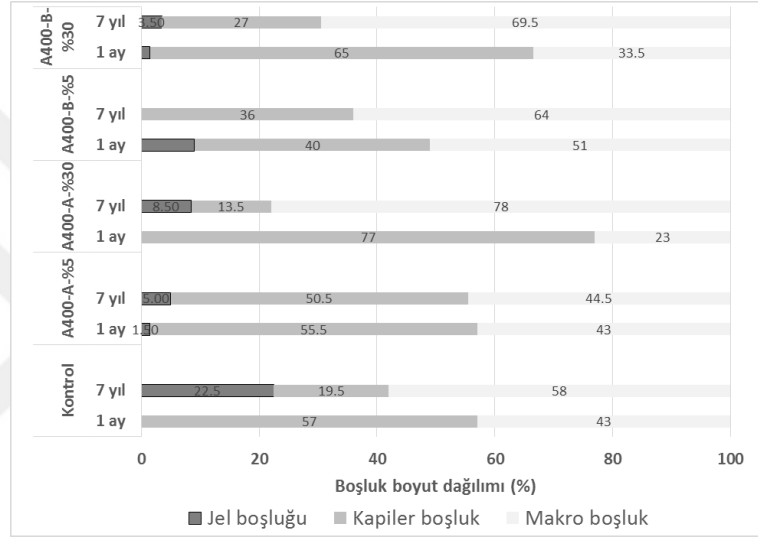
1 ay → 7 yıl	Kontrol	V8034 A - %1	V8034 A - %5	V8034 B - %1	V8034 B - %5
Makro boşluk	↗	↗	↗	↗	↘
Kapiler boşluk	↘	↘	↘	↘	↗
Jel boşluğu	↗	↔	↔	↔	↔

c) 1 ay'dan 7 yıl'a kadar olan boşluk boyut değişimi

Şekil 7.34 V8034 katkısının 1 aylık ve 7 yıllık numunelerinin boşluk analizi(*1 aylık V8034-B-%5 numunesinde çok düşük değerdeki porozite nedeniyle deneysel hata olduğu düşünülmekte olup değerlendirmeye alınmamıştır.)



a) 1 aylık ve 7 yıllık numuneleri için toplam porozite %'leri

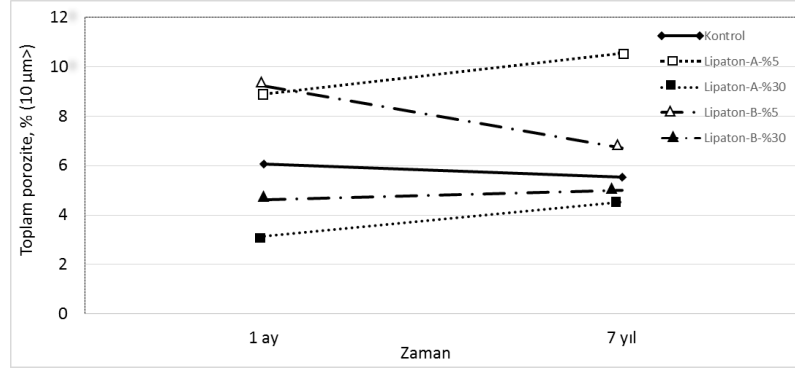


b) 1 aylık ve 7 yıllık numunelerin boşluk boyut dağılımı

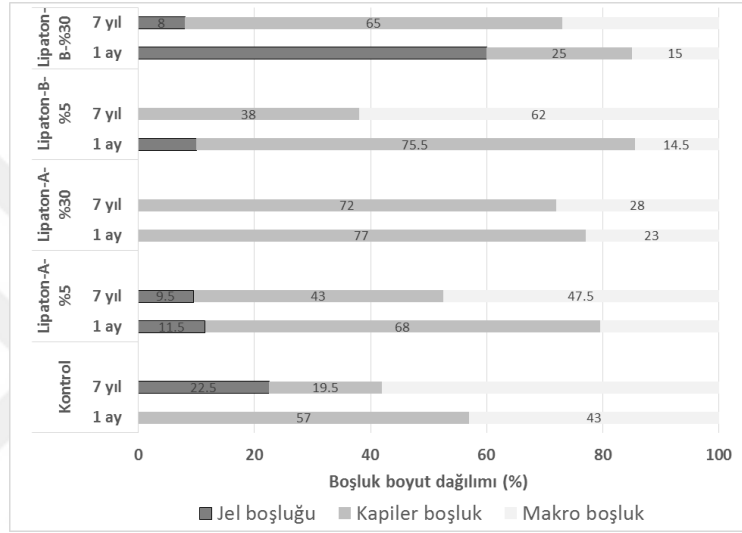
1 ay → 7 yıl	Kontrol	A400 A - %5	A400 A - %30	A400 B - %5	A400 B - %30
Makro boşluk	↗	↗	↔	↘	↘
Kapiler boşluk	↘	↘	↗	↘	↘
Jel boşluğu	↗	↘	↘	↗	↗

c) 1 ay'dan 7 yıl'a kadar olan boşluk boyut değişimi

Şekil 7.35 A400 katkısının 1 aylık ve 7 yıllık numunelerinin boşluk analizi(devamı)



a) 1 aylık ve 7 yıllık numuneleri için toplam porozite %'leri



b) 1 aylık ve 7 yıllık numunelerin boşluk boyut dağılımı

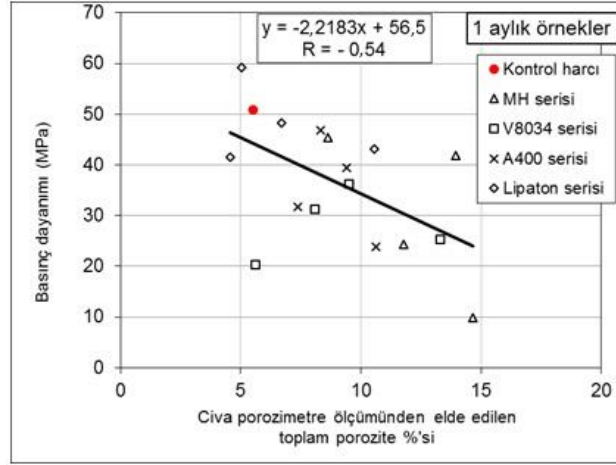
1 ay → 7 yıl	Kontrol	Lipaton A - %5	Lipaton A-%30	Lipaton B - %5	Lipaton B - %30
Makro boşluk	↗	↗	↗	↗	↗
Kapiler boşluk	↘	↘	↘	↘	↗
Jel boşluğu	↗	↘	↘	↘	↘

c) 1 ay'dan 7 yıl'a kadar olan boşluk boyut değişimi

Şekil 7.36 Lipaton katkısının 1 aylık ve 7 yıllık numunelerinin boşluk analizi

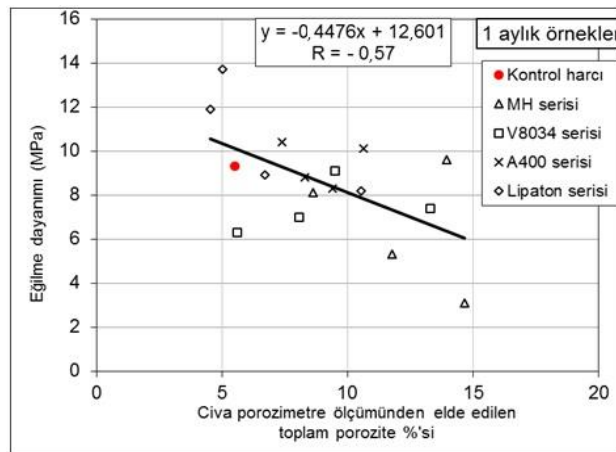
Basınç dayanımı ile toplam porozite arasındaki ilişki incelendiğinde, aralarında ters orantı (korelasyon katsayısının 0.54) olduğu görülmüştür. Bu durumun nedeni; genel olarak polimer katkı kullanımının hava sürüklemeye neden olması ve toplam porozite %'sini arttırmasıdır. Katkılar birbirleriyle kıyaslandığında, en düşük toplam porozite %'sinin ve en yüksek basınç dayanımının Lipaton katkılı serilerde olduğu,

ancak en yüksek toplam porozite %'si yani en düşük basınç dayanımının ise MH10001 katkıli serilerde olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 7.37).



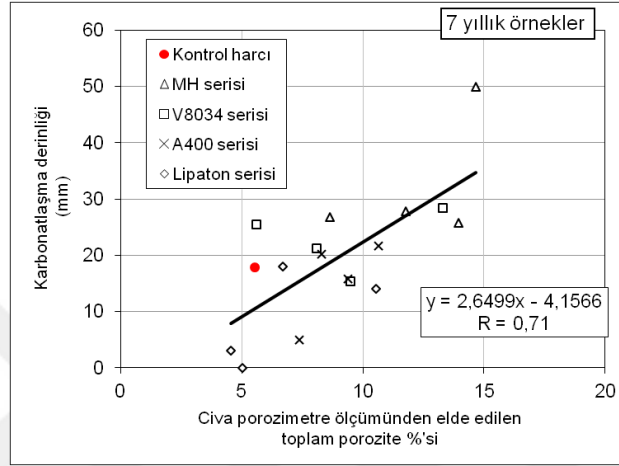
Şekil 7.37 Basınç dayanımı ile toplam porozite arasındaki ilişki

Eğilme dayanımı ile toplam porozite arasındaki ilişki incelendiğinde, basınç dayanımına benzer bir ilişki olduğu görülmektedir. Bu ilişkinin eğilme dayanımında daha güçlü olduğu tespit edilmiştir (korelasyon katsayısı 0,57). Bunun sebebi, polimer katkıların film oluşturma davranışının, basınç dayanımına kıyasla eğilme dayanımında daha baskın olduğu varsayımına dayanır (Ohama, 1995). Bahsedilen bu ilişkiler dikkate alındığında, katkıları arasında toplam porozite %'si en düşük olan Lipaton katkısının eğilme dayanımının en yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 7.38)



Şekil 7.38 Eğilme dayanımı ile toplam porozite arasındaki ilişki

Karbonatlaşma derinliği ile toplam porozite arasındaki ilişki dikkate alındığında, aralarında doğrusal bir ilişki (korelasyon katsayısının 0,71) olduğu görülmüştür. Bu durum, toplam porozite %'sindeki artışın daha fazla boşluk olduğu anlamına geleceği, yani daha fazla gaz geçişi (karbonatlaşma reaksiyonları) olacağından karbonatlaşma derinliğinin artması ile açıklanabilir (Şekil 7.39).



Şekil 7.39 Karbonatlaşma derinliği ile toplam porozite arasındaki ilişki

Polimer katkılı örneklerin zamana bağlı davranışı (1 aylık ve 7 yıllık numuneler) toplam porozite açısından incelendiğinde, bir takım değişimlerin olduğu görülmüştür. Bu değişimlerin farklı mekanizmalara bağlı olarak meydana geldiği düşünülmektedir. Söz konusu mekanizmalar aşağıdaki Tablo 7.1’de listelenmiştir:

Tablo 7.1 Toplam porozite değerini etkileyen faktörler

Mekanizmalar	Porozite
Hidratasyon gelişimi (1 ay → 7 yıl)	↓
Karbonatlaşma büzülmesi etkisi (1 ay → 7 yıl)	↑
Polimerin zamana bağlı bozulması (1 ay → 7 yıl)	↑
Civanın polimeri bozucu etkisi	↑
Polimer dozajı	↑

Tablo 7.1’de bahsedilen mekanizmalardan hangisi baskın ise o mekanizma gerçekleşmekte ve porozite değeri buna bağlı olarak değişim göstermektedir.

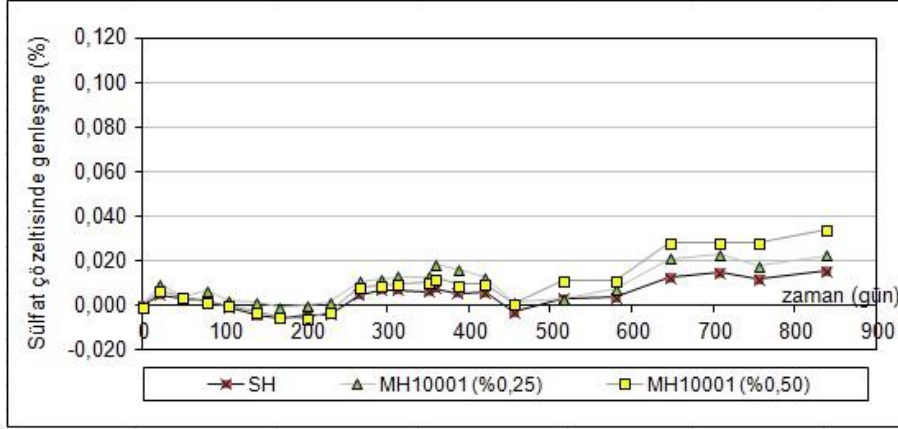
7.6 Sülfat Etkisi

Sülfat etkisindeki boy değişim ölçümleri Tübitak 108M062 projesi kapsamındaki örnekler için uzun vadeli (2.5 yıl) ve BAP 2015.KB.FEN.014 kapsamında üretilen numuneler için kısa vadeli (3 ay) olmak üzere iki aşamada yapılmıştır. Uzun vadeli ölçümler için; MH10001 ve V8034 katkılarının sabit kıvam altında; V7220, Acronal S400 ve Lipaton katkılarının ise sabit S/Ç altında davranışları incelenmiş olup toplamda 28+1 seri için boy değişimi ölçümü yapılmış, kısa vadeli örnekler için ise her katkı için ayrı ayrı hem sabit S/Ç hem sabit kıvam durumu olmak üzere 32+1 seri üzerinde sülfat etkisi altındaki boy değişimleri incelenmiştir.

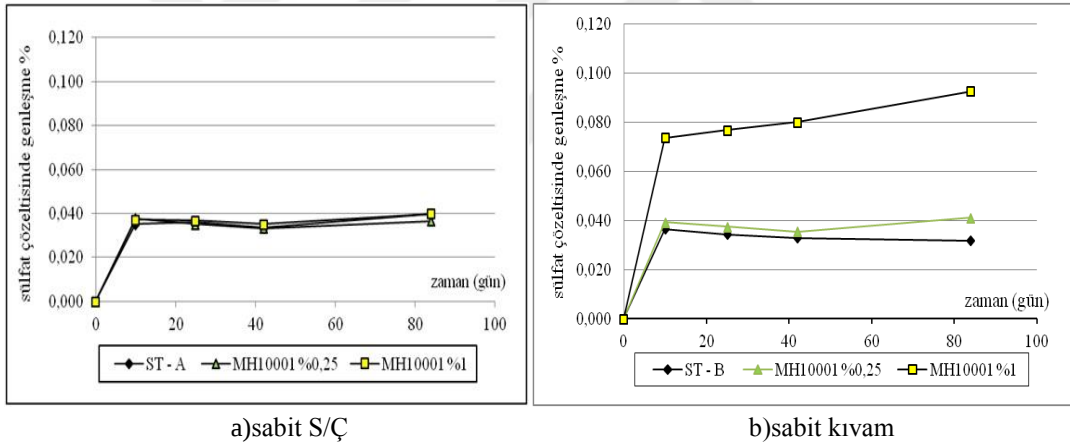
Laboratuvar ortamında 4,5 yıl havada bekletilmiş numuneler, 1 hafta kadar suda bekletilerek sonrasında 50 g/lit konsantrasyonlu sodyum sülfat (Na_2SO_4) çözeltisine konularak harçların uzun vadeli (30 ay) boy ölçümü yapılmıştır. Ayrıca kısa vadeli sülfat etkisi için üretilen harçlar da 1 hafta suda ve 1 hafta havada bekletildikten sonra sülfat çözeltisine konularak boy ölçümleri 3 ay boyunca takip edilmiştir. Boy değişimi grafikleri Şekil 7.40 ile 7.48 aralığında verilmiştir. Boy değişimi ölçümleri ilk 3 aylık süreçte haftalık, daha sonraki dönemlerde aylık periyotlar halinde yapılmıştır. En belirgin boy değişimlerine uzun vadeli örnekler için; V8034 (%5) ve Lipaton (%10) katkılı harçlarda rastlanmıştır ve maksimum boy değişimi miktarı % 0,1' e yakın değerler almıştır. Kısa vadeli ölçümlerde ise MH10001 (%1)-sabit kıvam, V8034 (%1)-sabit kıvam, A400 (%30)-sabit S/Ç % 0,1' in üzerine çıkmıştır. Diğer numuneler için yapılan ölçümlerde uzun vadeli örneklerdeki boy değişimi %0,02'ün altında, kısa vadeli örnekler için ise %0,04 dolaylarında kalmıştır.

Sahmaran ve diğer. (2007) limiti dikkate alındığında (Şekil 5.2) yüksek sülfat direnci için 200 gün içerisinde %0,05 genleşme ve orta dereceli sülfat direnci için %0,09 genleşme limiti tespit edilmiştir. Bu limitler dikkate alındığında MH10001 katkısının sülfata dayanıklılık açısından bir sorun veya standart numuneye göre bir avantaj yaratmadığı söylenebilir. Ancak 850.günlerde genleşmede bir miktar artış olduğu belirlenmiştir (Şekil 7.40).

Kısa vadeli numunelerdeki genleşmeler dikkate alındığında sabit S/Ç ve sabit kıvam altında uzun vadeli numunelere kıyasla daha fazla genleşme olduğu tespit edilmiştir (Şekil 7.41).

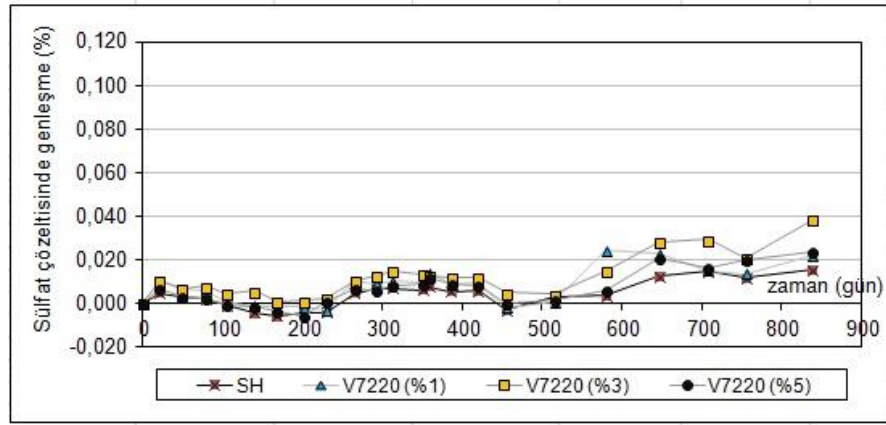


Şekil 7.40 MH10001 sülfat çözeltisindeki 30 aylık genleşme/büzülme grafikleri (sabit kıvam)



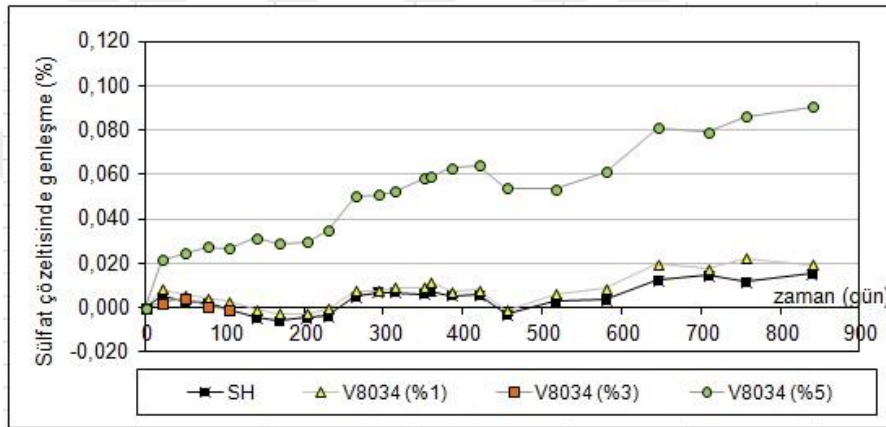
Şekil 7.41 MH10001 sülfat çözeltisindeki 3 aylık genleşme/büzülme grafikleri

V7220 katkısının uzun vadeli ölçümleri için ise sülfata karşı dirençli olmasına rağmen kontrol harcına kıyasla avantaj yaratmadığı söylenebilir. Kontrol harcında 850. günde %0,018 olan genleşme miktarı V7220'de dozaj oranına bağlı olarak %0,04 oranına kadar çıkmıştır (Şekil 7.42).

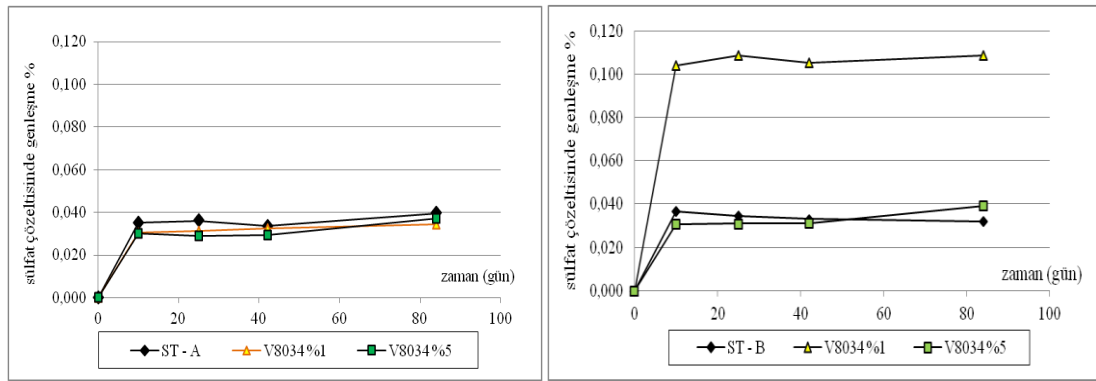


Şekil 7.42 V7220 sülfat çözeltisindeki 30 aylık genişleme/büzülme grafikleri (sabit S/Ç)

V8034 katkısının uzun vadeli ölçümlerinde düşük dozajlar için genişleme miktarı standart numuneye yakın değerler alırken, katkının en yüksek dozajda kullanımı 850. günlerde %0,09'a kadar çıktığı tespit edilmiştir (Şekil 7.43).



Şekil 7.43 V8034 sülfat çözeltisindeki 30 aylık genişleme/büzülme grafikleri (sabit kıvam)



a) sabit S/Ç

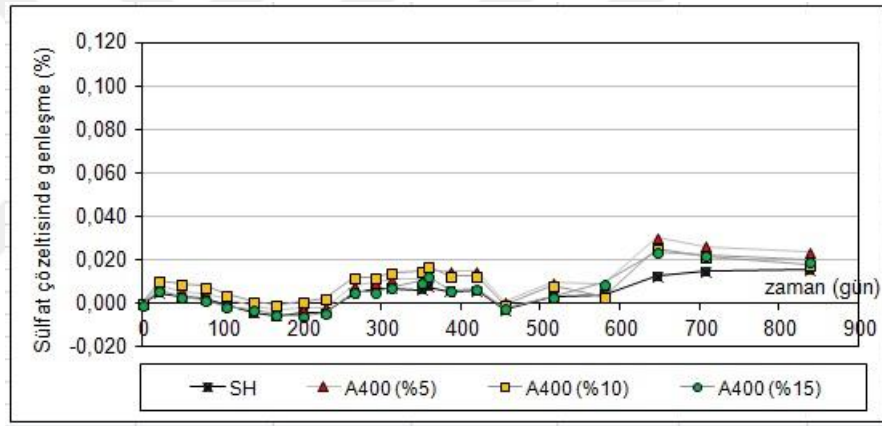
b) sabit kıvam

Şekil 7.44 V8034 sülfat çözeltisindeki 3 aylık genişleme/büzülme grafikleri

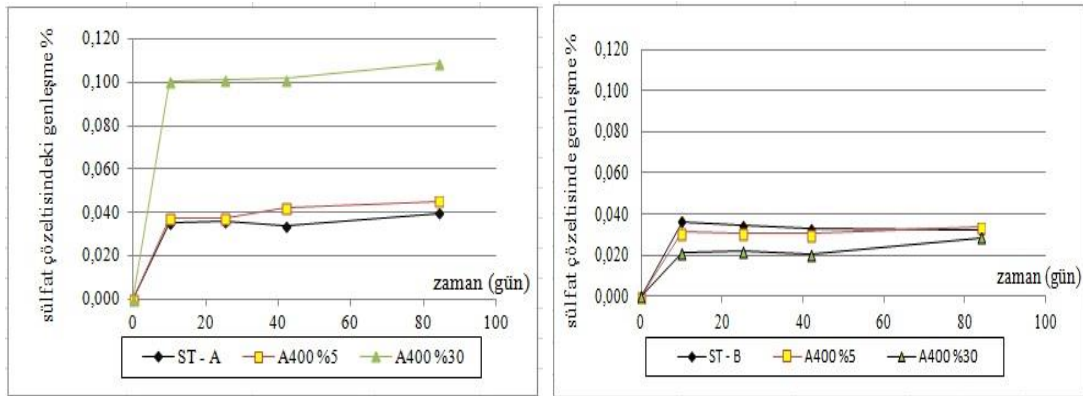
Kısa vadeli ölçümlerde hem sabit S/Ç hem sabit kıvam için V8034 katkılı numuneler standart numuneye yakın değerler alırken, sabit kıvamda %1 dozajlı numunede %0,1 seviyelerine çıktığı görülmüştür (Şekil 7.44).

A400 katkısının uzun vadeli dönemi için sülfata karşı iyi bir dirence sahip olduğu söylenebilir. 200.günlere kadar genleşme %'sinin minimum değerler aldığını, 850 günde ise standart harca benzer şekilde %0,02 değeri aldığı tespit edilmiştir (Şekil 7.45).

Kısa vadeli ölçümlerde A400 katkısının en belirgin genleşme değerini sabit S/Ç altında en yüksek dozajda gözlenmiştir. Diğer dozajların tamamında ise A400 katkısının standart harca yakın değerler aldığı tespit edilmiştir (Şekil 7.46).



Şekil 7.45 Acronal S400 sülfat çözeltisindeki 30 aylık genleşme/büzülme grafikleri (sabit S/Ç)



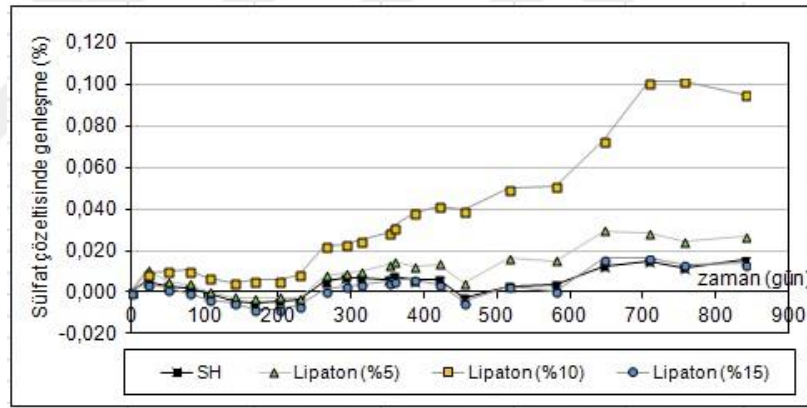
a) sabit S/Ç

b) sabit kıvam

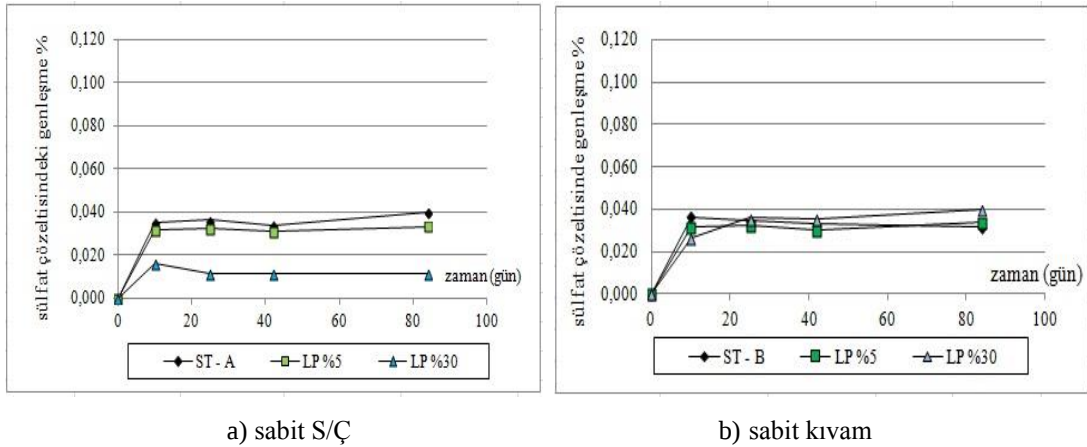
Şekil 7.46 Acronal S400 sülfat çözeltisindeki 3 aylık genleşme/büzülme grafikleri

Lipaton katkısının uzun vadeli ölçümlerinde ise, katkının %10 dozajda kullanıldığı durumda genleşmenin %0,1'lere kadar çıktığı görülmüştür (Şekil 7.47). Bu genleşme miktarının nedeni Lipaton %10 katkılı harçta meydana gelen kılcal çatlak oluşumudur. Çatlaklardan içeri giren Na_2SO_4 'ün harç içerisindeki kireç ile reaksiyona girerek oluşan alçıtaşının böyle bir genleşmeye sebebiyet verebileceği düşünülmektedir

Kısa vadeli ölçümlerde hem sabit S/Ç hem de sabit kıvam durumunda Lipaton katkılı numunelerdeki genleşme %'si standar harç ile eş değerler almıştır. Sadece sabit S/Ç altında Lipaton katkısının en yüksek dozajda kullanılması durumunda genleşmenin standart harcın altında %0,01'e yakın değer aldığı tespit edilmiştir. Bu durumda Lipaton katkısının sabit S/Ç altındaki en yüksek dozajında sülfata karşı diğer numunelere kıyasla daha etkili bir direnç gösterdiği söylenebilir (Şekil 7.48).



Şekil 7.47 Lipaton sülfat çözeltisindeki 30 aylık genleşme/büzülme grafikleri (sabit S/Ç)



Şekil 7.48 Lipaton sülfat çözeltisindeki 3 aylık genleşme/büzülme grafikleri

BÖLÜM SEKİZ

DENEYSEL SONUÇLAR

8.1 Çimento Harcı Deneylerinden Elde Edilen Sonuçlar

Çimento harcı örneklerinin işlenebilirlik, taze birim hacim ağırlık ve teorik hava içeriği bulguları bir araya getirilip Tablo 8.1’de oluşturulmuştur. Bu tablo değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Tablo 8.1 İşlenebilirlik, birim hacim ağırlık ve teorik hava ilişkisi

	Sabit S/Ç (A)			Sabit yayılma (B)		
	Yayılma çapı (mm)	Birim hacim ağırlık	Teorik hava %	S/Ç oranı %	Birim hacim ağırlık	Teorik hava %
MH10001	130-120-110 		% 4-8-8 	0,50-0,65-0,76 		% 4-10-27
V7220 N	130-150-145 		% 4-15-10 	0,50-0,45-0,46 		% 4-12-6
V8034 H	130-165-168 		% 4-23-20 	0,50-0,42-0,40 		% 4-14-13
Acronal S400	130-125-185 		% 4-20-25 	0,50-0,50-0,40 		% 4-5-10
Lipaton	130-145-250 		% 4-7-3 	0,50-0,42-0,38 		% 4-8-1
	0 min max		0 min max	0 min max		0 min max

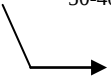
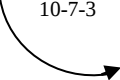
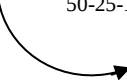
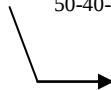
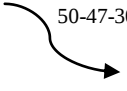
Sabit S/Ç koşulları altında; kontrol harcında 130 mm olan yayılma çapı değeri, MH10001 katkısının kullanımı dozaj ile orantılı olarak azaltmakta; diğer katkıların kullanılma durumunda ise yayılma çapı değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Özellikle Acronal S400 ve Lipaton katkısının yayılma çapını 180-250 mm aralığına kadar çıkarması bu katkıların akışkanlaştırıcı özelliğini göstermiştir. Sabit S/Ç altında katkıların taze BHA değerlerini azalttığı; yani teorik hava içeriklerini arttırdığı söylenebilir. Sadece Lipaton katkısının %30 kullanım dozajlarında hava içeriğinde kontrol harcına göre azalma olduğu tespit edilmiştir.

Sabit kıvam elde etmek için; MH10001 katkısının dozaj artışına bağlı olarak yapılan su ilavesi, bu katkıdaki S/Ç oranını 0,76'lara kadar çıkarmıştır. Artan S/Ç oranı ve yüksek dozajda kullanıma bağlı olarak aşırı hava sürüklemesi, teorik hava içeriğini de %27'lere kadar çıkarmıştır. V7220N, V8034H, Acronal S400 ve Lipaton katkıların tamamında su azaltılması yapılmış olup S/Ç oranı 0,40'lara kadar düşürülmüştür. Katkıların hava sürükleme özelliğinin sonucu olarak teorik hava içeriğinin arttığı gözlemlenmiştir. Yalnız Lipaton katkısının en yüksek dozajda kullanımı halinde yüksek oranda su kesilmesi yapıldığı için teorik hava içeriğinin diğerlerine kıyasla azaldığı gözlemlenmiştir. Lipaton katkısı, havayı aşırı sürüklemekten kıvam iyileştirme ve su azaltma yetenekleri açısından incelenen diğer lateks türünden daha avantajlı bulunmuştur.

8.2 Basınç ve Eğilme Dayanımı Deneylerinden Elde Edilen Sonuçlar

Sabit S/Ç oranı ve sabit yayılma çapı durumları için ayrı ayrı belirlenen çimento harcı mekanik özellikleri (eğilme ve basınç dayanımları) Tablo 8.2'de değerlendirilerek elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

Tablo 8.2 Eğilme ve Basınç dayanımı ilişkisi

	Sabit S/Ç		Sabit yayılma	
	Eğilme D. (MPa)	Basınç D. (MPa)	Eğilme D. (MPa)	BasınçD.(MPa)
MH10001	10-9-10 	50-40-42 	10-7-3 	50-25-10 
V7220	10-8-10 	50-40-40 	10-11-10 	50-42-60 
V8034	10-8-10 	50-20-25 	10-11-10 	50-32-38 
Acronal S400	10-10-11 	50-40-25 	10-10-10 	50-47-30 
Lipaton	10-11-8 	50-42-40 	10-10-10 	50-48-60 
	0 min max	0 min max	0 min max	0 min max

1. Genel olarak S/Ç oranı sabit tutulan karışımlarda polimer ilave oranı arttıkça basınç dayanımlarında azalma gözlenmektedir. Suda çözünebilen (MH10001) ve yeniden dağılan polimer katkılı harçlarda (V7220, V8034) kullanım oranına ve katkı türüne bağlı olarak, 20 MPa'a varan basınç dayanımı kayıpları kaydedilmiştir (Kontrol harcı basınç dayanımı 50 MPa civarındadır). Lateks katkılarda ise %20-30 kullanım oranlarında basınç dayanımı değerlerinde çok büyük dayanım kayıpları söz konusudur. Lateks katkıları arasında sabit S/Ç oranında dayanımı en az etkileyen katkı Lipaton katkısıdır. Sözü edilen dayanım kayıplarının birincil nedeninin, bazı lateks katkıların formülasyonunda kullanılan emülgatörlerin hava sürükleyici etkisi olduğu düşünülmektedir. Ayrıca yüksek oranda kullanılan polimerler, çimento harcı ve ince agregaya kıyasla daha düşük basınç dayanımına sahip olduğu için kompozitin basınç dayanımının da azalması olağandır. Diğer taraftan eğilme dayanımı değerlerinde hava sürükleyici etkinin olmadığı durumlarda önemli bir dayanım

azalması meydana gelmediği tespit edilmiştir. Polimer katkıları çoğunlukla eğilme dayanımının basınç dayanımına oranını arttırmaktadır.

2. Çimento harçlarının yayılma değerlerinin sabit tutulduğu karışımlarda polimer katkıların su azaltabilme yetenekleri eğilme ve basınç dayanımlarını etkilemiştir. Sabit yayılma değerinde su azaltılarak basınç ve eğilme dayanımında artış kaydedilen harç; %5 Vinnapas 7220 katkılı seridir. Ayrıca lateks grubunda %10 ve üzeri kullanım oranında Lipaton katkısı içeren harçların basınç dayanımları artmıştır. Örneğin; Lipaton katkılı harcın basınç dayanımı %30 kullanım oranlarında 60 MPa'a kadar çıkmıştır. Eğilme dayanımı değerlerinde de su azaltılan serilerde önemli bir fark gözlemlenmemiştir. Bu durum, bazı katkıların polimer filmi oluşturarak çatlak köprüleyebilme ve gerilmeyi diğer bölgelerine aktarabilme açısından avantajlı olduğunu göstermektedir (Lipaton ve V7220).

8.3 Kılcal Su Emme Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar

Katkıların dozaj oranına bağlı olarak sabit S/Ç oranı ve sabit yayılma çapı durumları için ayrı ayrı belirlenen kılcal yolla emilen su miktarları Tablo 8.3'de değerlendirilerek elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

Tablo 8.3 Kılcal yolla emilen su grafikleri

Sabit S/Ç		Sabit kıvam
Kılcal yolla emilen su (g/cm ²)		Kılcal yolla emilen su (g/cm ²)
MH10001		
V7220		
V8034		
Acronal S400		
Lipaton		
0 min max		0 min max

S/Ç oranı sabit olan MH10001 katkılı örneklerde katkı oranı arttıkça kılcal yolla emilen su miktarının azaldığı görülmüştür. Ancak sabit kıvamlı örneklerde ise katkı dozajının artması (S/Ç oranı arttığı için) kılcal yolla emilen suyun da artmasına neden olmuştur.

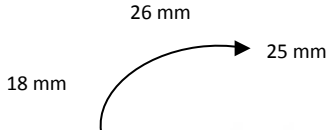
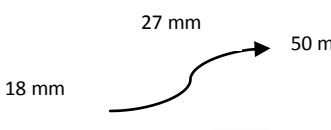
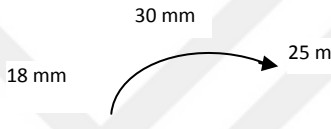
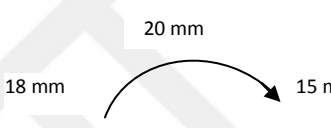
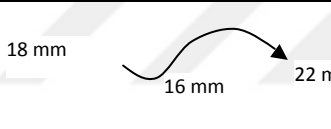
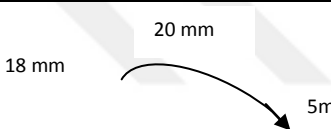
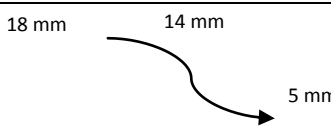
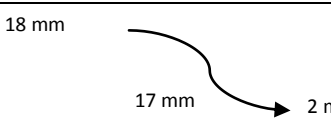
Vinnapas 7220 katkılı sabit S/Ç ve sabit kıvamlı örneklerde katkı oranının artmasına orantılı olarak emilen su miktarında azalma olduğu görülmüştür. Benzer şekilde aynı durum Vinnaps 8034, Acronal S400 ve Lipaton katkılı örneklerde tespit edilmiştir. Vinnapas 8034 katkısı üretici beyanına göre içerdiği hidrofob kimyasallar nedeniyle diğer katkılara göre daha etkili bir su iticilik sağlamıştır.

Bütün örneklerde ilk 50 dakikada hızlı bir şekilde su emme gerçekleşirken devam eden sürede su emme hızında yavaşlama olduğu görülmüştür. Söz konusu su emme hızının katkı oranının azalmasıyla daha belirginleştiği tespit edilmiştir.

8.4 Karbonatlaşma Derinliği Ölçümlerinden Elde Edilen Sonuçlar

Sabit S/Ç oranı ve sabit yayılma çapı durumları için gözlemlenen karbonatlaşma değerleri Tablo 8.4’de değerlendirilmiştir ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

Tablo 8.4 Karbonatlaşma derinliği ölçümü

Sabit S/Ç (0.50)		Sabit kıvam (130 mm)
Karbonatlaşma		Karbonatlaşma
MH10001		
V7220		
V8034		
Acronal S400		
Lipaton		
	0 min max	0 min max

MH10001, V7220 ve V8034 katkısı için; sabit S/Ç oranı ve sabit kıvam altında karbonatlaşma derinliği standart harca göre katkı oranı arttıkça artmaktadır. Sadece V8034 katkısının sabit kıvam altında en yüksek dozajda kullanıldığında karbonatlaşma derinliğinin standart harca kıyasla azaldığı görülmüştür. Acronal S400 için; sabit S/Ç altında karbonatlaşma derinliği standart harca göre daha fazla iken, sabit kıvam altında karbonatlaşma derinliği düşmektedir. Lipaton katkısı için; sabit S/Ç oranı ve sabit kıvam durumlarında katkı oranı arttıkça karbonatlaşma derinliği azalmıştır.

Karbonatlaşma derinliği ölçüm sonuçları ve yapılan gözlemler, polimer katkıli harçlarda karbonatlaşma derinliğinin farklı parametrelerden etkilendiğini göstermiştir.

1. Kullanılan katkının polimer film oluşturduğu durumlarda, boşlukları tıkayıp CO₂ gazı geçişi engellenebilmektedir. Polimerin cinsine göre bu durumun gözlemlendiği örnekler olmuştur (Lipaton). Ancak hepsinde aynı etkiye rastlanmamıştır. Bu tür tıkayıcı etki karbonatlaşmayı engelleme açısından yararlı olacaktır.
2. Harç üretimi sırasında polimer hava sürükleyebilmektedir, bu hava eğer fazla ve kapiler boşluklarla bağlantılı ise CO₂ gazı geçirimsizliği artabilir. Bu dolaylı bir sonuçtur ve karbonatlaşma açısından olumsuz etki yaratabilmektedir. İncelenen örneklerin çoğunda bu durum söz konusudur.
3. Sabit kıvam için genelde su azaltan katkıları kullanılmıştır. Bu da dolaylı olarak kapiler boşlukların miktarını etkileyip karbonatlaşma derinliğini azaltmaktadır. Bir istina olarak su ihtiyacını arttıran katkıları kullanıldığında (MH10001) karbonatlaşma derinliği artmaktadır.

7 yıllık karbonatlaşma derinliği için net sonuç yukarıdaki üç etkinin hangisi baskınsa o yönde olmaktadır. Bu süre zarfında kontrol harcı 18 mm karbonatlaşırken, polimer katkıli harçlarda katkının özelliğine bağlı olarak 3 mm ile 50 mm aralığında karbonatlaşma derinliği elde edilmiştir.

8.5 Civa Porozimetre Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar

Sabit S/Ç oranı ve sabit yayılma çapı durumları için ayrı ayrı belirlenen civa porozimetre deneyleri Tablo 8.5’de 1 aylık, Tablo 8.6’da ise 7 yıllık numuneler üzerinde yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

Tablo 8.5 1 aylık örnekler için toplam porozite % (*1 aylık V8034-B-%5 numunesinde çok düşük değerdeki porozite nedeniyle deneysel hata olduğu düşünülmekte olup değerlendirmeye alınmamıştır.)

A (sabit S/Ç)		B (sabit kıvam)
Toplam porozite % (1 aylık)		Toplam porozite % (1 aylık)
MH10001		
V8034		
Acronal S400		
Lipaton		
0 min max		0 min max

1 aylık örnekler dikkate alındığında sabit S/Ç oranı için standart harçta toplam porozite oranı %6,07 olarak ölçülmüştür. MH10001 katkısı için en düşük dozajda kullanımı toplam porozite oranını standart harca kıyasla düşürmekte iken, en yüksek dozajda kullanımı hava sürüklemeyi arttırdığı için porozite miktarı da artmaktadır. V8034 ve Acronal S400 katkıları için, katkı kullanımı arttıkça hava sürükleme arttığı için porozite miktarı da artmaktadır. Lipaton katkısının ise en düşük dozajda kullanımı poroziteyi standar harca oranla bir miktar arttırmakta iken, yüksek dozajda kullanımı polimer film oluşumunu arttırdığı için porozite miktarını düşürmektedir (Tablo 8.5 sol sütun).

Sabit kıvam için MH10001 ve V8034 katkısının en düşük dozajda eklenmesi 1 aylık örneklerin porozite değerini standart harcın altına düşürmüştür. Katkı ilavesi ile birlikte artan hava içeriği porozite değerini arttırmıştır. Acronal S400 ve Lipaton katkısı en düşük dozajlarda artan porozite, katkı ilavesi ile azaltılan su oranına bağlı olarak bir miktar azalmaktadır (Tablo 8.5 sağ sütun).

Tablo 8.6 7 yıllık örnekler için toplam porozite %

A (sabit S/Ç)			B (sabit kıvam)		
Toplam porozite (7 yıllık)			Toplam porozite (7 yıllık)		
MH10001	5,52	13,95 8,63	5,52	14,66 11,72	
V8034	5,52	13,31 5,6	5,52	9,49 8,08	
Acronal S400	5,52	10,63 9,39	5,52	7,39 8,31	
Lipaton	5,52	4,55 10,54	5,52	5,02 6,71	
	%0	min max	%0	min max	

7 yıllık örnekler dikkate alındığında sabit S/Ç altında toplam porozite değeri standart harçta en düşük değerde olup % 5,52'dir. MH10001, V8034, Acronal S400 katkıları için, katkı kullanımı arttırıldıkça toplam porozite miktarında da artış gözlemlenmektedir. Lipaton katkısının ise, minimum dozajda kullanılması halinde porozite değeri standart harca kıyasla daha fazladır; fakat katkı miktarının maksimum seviyelere geldiği durumda porozite değeri standart harcın altına inmiştir. Lipaton katkısının yüksek dozajlarda kullanımı polimer film tabakasının oluşmasını sağladığı için boşlukları tıkayıp, porozite yüzdesini düşürebileceği öngörülmüştür (Tablo 8.6 sol sütun).

Sabit kıvam altında MH10001 katkısı için, sabit kıvam elde etmek adına su ilavesi yapıldığından dolayı porozite içeriğinde de artış gözlemlenmektedir. V8034 ve Acronal S400 katkılarında su kesilmesi yapılmasına rağmen hava sürüklemenin etkisinden kaynaklanan porozite artışı olduğu söylenebilir (Tablo 8.6 sağ sütun).

Civa porozimetre deneylerinden elde edilen $10 \mu\text{m} - 0.004 \mu\text{m}$ arası boşluk miktarları ile taze BHA deneylerinde hesaplanan teorik hava içerikleri arasında büyük ölçüde benzerlik tespit edilmiştir. En az hava içeriğinin olduğu katkı Lipaton'da en düşük porozite değeri, en fazla hava sürükleyen katkı olan MH10001'de de en fazla porozite yüzdesi gözlemlenmiştir.

Civa porozimetre deneylerinde porozite %'sini etkileyen, yani boşluk yapısını artan ve azaltan faktörler şu şekilde ifade edilebilir:

1. 1 aylık örnekler ile 7 yıllık örneklerde hidrasyon ürünlerinin oluşması, harcın içerisindeki boşlukların zamanla kapanmasını sağlar ve bu durum harçtaki boşluk yapısını azaltabilir. Bu durum poroziteyi azaltacağı için olumlu etki olarak söylenebilir.
2. Karbonatlaşma rötresi meydana gelen durumlarda karbonatlaşma reaksiyonunda meydana çıkan H_2O buharlaşarak hacim kaybı yaratacağından dolayı porozite değerinin arttığı düşünülmektedir.
3. Polimer katkılı tamir harçların alkali ortamda bozularak işlevini yitireceği ve bu durumun porozite değerini arttıracığı öngörülmektedir.
4. Civa porozimetre deneyi sırasında uygulanan yüksek basınç, numunelerdeki polimerin yapısını bozarak boşluk oluşabilir, böylece porozite değerinin arttırması olasılığı bulunmaktadır.
5. Polimerlerin yüksek dozajlarda kullanımı sonucunda aşırı hava sürüklenme olayı meydana geldiğinden porozitenin arttığı söylenebilir.

8.6 Sülfat Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar

Sülfat etkisi; uzun vadeli ölçümlerde (2,5 yıl) V8034 (%5) ve Lipaton (%10) katkılı harçlarda görülmüş olup boy değişimi % 0,1' e yakın değerler aldığı

saptanmıştır. Uzun vadeli serilerde diğer numuneler için yapılan ölçümlerde numunelerdeki boy değişimi %0,02'ün altında kalmıştır. Kısa vadeli ölçümlerde (3 ay) ise MH10001 (%1)-sabit kıvam, V8034 (%1)-sabit kıvam, A400 (%30)-sabit S/Ç boy değişimi % 0,1' in üzerine çıkmıştır. Kısa vadeli ölçümlerdeki diğer numunelerde ise %0,04 dolaylarında kalmıştır.

Sülfat etkisindeki tamir harçlarının boy değişiminine dair yapılan gözlemler ve ölçümler; uzun vadeli numuneler ve kısa vadeli numuneler arasındaki değişimlerin farklı parametrelere dayandığını göstermiştir:

1. Kısa vadeli harçlarda sülfatın hidrate çimento bileşenleriyle (özellikle kireç Ca(OH)_2) tepkimeye girmesi sonucu denklem 5.1'de sunulan reaksiyon gerçekleşmekte ve alçıtaşı oluşmaktadır. Bu reaksiyon sonucu oluşan alçıtaşı katı fazın hacmini %124 arttırmakta ve harçta az da olsa genleşmeye neden olmaktadır.
2. Uzun vadeli numunelerdeki boy değişimlerinin kısa vadeli örneklere kıyasla daha düşük değerlerde kalmasının nedeni 4,5 sene kadar laboratuvar ortamında havada bekletilmesinden dolayı harç içindeki boşlukların dolması olarak gösterilebilir.
3. Uzun vadeli örneklerin 4,5 sene kadar havada bekletilmesinden dolayı, harçların içerisindeki kirecin (Ca(OH)_2) karbondioksit (CO_2) ile reaksiyona girerek karbonatlaşmış olabileceği söylenebilir. Bu tepkime sonucu harçtaki Ca(OH)_2 miktarı azaldığı için sodyum sülfat (Na_2SO_4) ile tepkimeye giremez ve genleşme gösteremez.
4. Hem uzun vadeli hem kısa vadeli numunelerde kullanılan çimentonun C_3A içeriğinin düşük olması sülfat kaynaklı genleşme değerinin genelde düşük kalmasına neden olmuştur.

BÖLÜM DOKUZ

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan deneyler sonucunda polimerlerin porozite %'lerini arttırmalarına rağmen kılcal su emme değerlerini azalttığı görülmüştür. Bunun nedeni polimerlerin harç içinde oluşturduğu kapalı ve küresel boşluklar olduğu söylenebilir. Katkılar arasında bir kıyaslama yapıldığında polimer lateks katkıların diğer katkılara oranla daha üstün sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Genelde polimer lateks katkıların karışım suyunu azaltarak akışkanlaştırıcı özellik göstermesi, polimer film oluşturması ve oluşan çatlak köprülerindeki kopmaya karşı dayanımı sayesinde katkılı harçların davranışını standart harca kıyasla olumlu şekilde etkilemiştir. Özellikle Lipaton katkısının yapılan deneylerin tamamına yakınında istenilen sonuçları verdiği görülmüştür (Tablo 9.1).

Tablo 9.1 Katkıların yapılan deneyler altında kıyaslanması

Yayılma	Lipaton > A400 > V8034 > V7220 > MH10001
Taze BHA	Lipaton > V7220 > A400 > V8034 > MH10001
Eğilme dayanımı	Lipaton = A400 = V8034 = V7220 > MH10001
Basınç dayanımı	Lipaton > A400 = V7220 > V8034 > MH10001
Kılcal su emme	V8034 > Lipaton > A400 > V7220 > MH10001
Karbonatlaşma	Lipaton > A400 > V8034 > V7220 > MH10001
Civa porozimetre (1 ay)	Lipaton > V8034 > A400 > MH10001
Civa porozimetre (7 yıl)	Lipaton > V8034 = A400 > MH10001
Sülfat etkisi (1 ay)	Lipaton > MH10001 > A400 = V8034
Sülfat etkisi (7 yıl)	A400 = MH10001 = V7220 > V8034 > Lipaton

Polimer katkılı harçların sülfat etkisine dayanıklılığı dikkate alındığında uzun vadeli ölçümlerde genelde %0,02 değerlerini alan polimer katkılı numunelerin kısa vadeli ölçümlerde ortalama %0,04 civarında değerler aldığı tespit edilmiştir. Bu farkın nedenini kısa vadeli ölçümlerdeki numunelerin yapısındaki kirecin daha karbonatlaşmadan Na_2SO_4 ile reaksiyon verip alçıtaşı oluşturması olarak yorumlanabilir.

Polimer katkıları arasında kıyaslama yapılacak olunursa; Lipaton katkısının kısa vadeli ölçümlerde en az boy değişimi verdiği, V8034 katkısının ise belirli dozajda sülfattan en çok etkilenen polimer katkı olduğu görülmüştür. Uzun vadeli dönemde ise A400 katkısı sülfata karşı dirençli halde gözükürken, Lipaton ve V8034 katkılı harçların belirli dozajlarda sülfat etkisinden etkilendiği sonuçlarına varılmıştır. Bu konuda mikroskop incelemeleri ile polimerlerin sülfat etkilerine karşı davranışı daha kapsamlı incelenmelidir.



KAYNAKLAR

- ACI 548 (1992). *Polymers in Concrete, Guide for the Use of Polymers in Concrete*. American Concrete Institute.
- ACI 548 (1997). Durability of styrene-butadiene latex modified concrete. *Cement and Concrete Research*, 27(5), 711-720.
- Afridi, M. U. K., Ohama, Y., Demura, K. ve Iqbal, M. Z. (2003). Development of polymer films by the coalescence of polymer particles in powdered and aqueous polymer-modified mortars. *Cement and Concrete Research*, 33(11), 1715-1721.
- Al-Amoudi, O. S. B., Abduljawwad, S. N. ve El-Naggar, Z. R. (1992). Response of sabkha to laboratory tests: a case study. *Engineering Geology*, 33(2), 111-125.
- Baradan, B. ve Yazıcı, B. (2003) Betonarme yapılarda durabilite ve TS EN 206-1 standartının getirdiği yenilikler. *Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 4/ 426*.
- Barluenga, G. ve Hernandez-Olivares, F. (2004). SBR latex modified mortar rheology and mechanical behaviour. *Cement and Concrete Research*, 34(3), 527-535.
- Beeldens, A. N. N. E., Monteny, J., Vincke, E., De Belie, N., Van Gemert, D., Taerwe, L. ve diğer. (2001). Resistance to biogenic sulphuric acid corrosion of polymer-modified mortars. *Cement and Concrete Composites*, 23(1), 47-56.
- Bordeleau, D., Pigeon, M. ve Banthia, N. (1992). Comparative study of latex-modified concretes and normal concretes subjected to freezing and thawing in the presence of a deicer salt solution. *ACI Materials Journal*, 89, 547-547.

- Buchanan, P., Mokarem, D., Weyers, R. ve Sprinkel, M. (2003). Shrinkage of latex-modified and microsilica concrete overlays. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1834), 33-39.
- Bureau, L., Alliche, A., Pilvin, P., ve Pascal, S. (2001). Mechanical characterization of a styrene-butadiene modified mortar. *Materials Science and Engineering: A*, 308(1), 233-240.
- 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.
- Cresson, L. (1923). Improved manufacture of rubber road-acing, rubber-flooring, rubber-tiling or other rubber-lining, *British Patent 191,474*.
- 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.
- Emmons, P. H., Vayasburd, A. M. ve McDonald, J. E. (1994). Concrete repair in the future turn of the century--any problems?. *Concrete International*, 16(3), 42-49.
- Erdoğan, T. Y. (2003). *Concrete*. Ankara : METU Pres.
- Erdoğan, H. ve Karataş, E. (2003). Sülfat iyonu konsantrasyonu düşük ortamlara maruz betonun durabilitesinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi. 5. *Ulusal Beton Kongresi Bildiriler Kitabı*. Alış Matbaası.
- Folic, R. J. ve Radonjanin, V. S. (1998). Experimental research on polymer modified concrete. *Materials Journal*, 95(4), 463-469.

- Gao, J. M., Qian, C. X., Wang, B., ve Morino, K. (2002). Experimental study on properties of polymer-modified cement mortars with silica fume. *Cement and Concrete Research*, 32(1), 41-45.
- Geist, J. M., Amagna, S. V. ve Mellor, B. B., (1953) Improved Portland cement mortars with polyvinyl acetate emulsions, *Industrial and Engineering Chemistry*, 45(4), 759-767
- Islam, M. A., Rahman, M. M. ve Ahmed, M. (2011). Polymer-modified concrete: world experience and potential for Bangladesh. *The Indian Concrete Journal*, 1, 55-63.
- Karagüler, M.E. (2003). *Onarım harçlarında performans kriterleri ve durabilite sorunu*. Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı: 426-2003/4 s. 142-146.
- Karagüler, M.E. ve Kulo lu F. . (2003). Beton tamir harçlarının durabilitesi, *5.Ulusal Beton Kongresi*, İMO İstanbul Şubesi 303-312.
- 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.
- 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.
- Knapen, E. ve Van Gemert, D. (2009). Cement hydration and microstructure formation in the presence of water-soluble polymers. *Cement and Concrete Research*, 39(1), 6-13.
- Kuhlmann, L. A. (1996). A new family of latexes for Portland cement. *Special Publication*, 166, 141-164.

- Lavelle, J. A. (1988). Acrylic latex-modified Portland cement. *Materials Journal*, 85(1), 41-48.
- Monticelli, F., Toledano, M., Tay, F. R., Cury, A. H., Goracci, C. ve Ferrari, M. (2006). Post-surface conditioning improves interfacial adhesion in post/core restorations. *Dental Materials*, 22(7), 602-609.
- Neville, A. (2004). The confused world of sulfate attack on concrete. *Cement and Concrete Research*, 34(8), 1275-1296.
- O'Connor, D. N. ve Saiidi, M. (1993). Compatibility of polyester-styrene polymer concrete overlays with Portland cement concrete bridge decks. *Materials Journal*, 90(1), 59-68.
- 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), 189-212.
- Özkul, M., Hulusi, ve Taşdemir, A. (2003). Onarım harçlarının temel özellikleri. *Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı: 426-2003/4 s. 151-155.*
- Pei, M., Kim, W., Hyung, W., Ango, A. J. ve Soh, Y. (2002). Effects of emulsifiers on properties of poly (styrene-butyl acrylate) latex-modified mortars. *Cement and Concrete Research*, 32(6), 837-841.
- Rottstegge, J., Arnold, M., Herschke, L., Glasser, G., Wilhelm, M., Spiess, H. W., ve diğer. (2005). Solid state NMR and LVSEM studies on the hardening of latex modified tile mortar systems. *Cement and Concrete Research*, 35(12), 2233-2243.

- Sahmaran, M., Erdem, T. K. ve Yaman, I. O. (2007). Sulfate resistance of plain and blended cements exposed to wetting–drying and heating–cooling environments. *Construction and Building Materials*, 21(8), 1771-1778.
- Schulze, J. (1999). Influence of water-cement ratio and cement content on the properties of polymer-modified mortars. *Cement and Concrete Research*, 29(6), 909-915.
- Schulze, J. ve Killermann, O. (2001). Long-term performance of redispersible powders in mortars, *Cement and Concrete Research*, 31, 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.
- Skalny, J., Marchand, J. ve Odler, I. (2002). *Sulfate Attack on Concrete*. London and New York: Modern Concrete Technology Services, Spon Pres.
- Stevens, W. H. (1948). Latex processes and potentialities, *Rubber Developments* 1(9), 10-13.
- Sümer, M. (1994). Harçlarda kılcal ve basınçlı su altındaki geçirimsizliğin su-çimento oranı ile değişimi. *Teknik Dergi*, 5(21).
- Şengül, Ö. ve Doğan, Ü.A. (2003). Polimer katkılı betonların mekanik ve durabilite özellikleri. *5.Ulusal Beton Kongresi, İMO İstanbul Şubesi*, 163-174.
- Tekin, İ., Bolat, H., Çullu, M. ve Subaşı S., (2011). Çimentolu sistemlerde porozite analizi *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(2) 1-14

- Tosun, K., Yazıcı, H., Yiğiter, H. ve Baradan, B. (2003). Uçucu kül içeren çimento harçlarının sülfat dayanıklılığının incelenmesi. 5. *Ulusal Beton Kongresi.Bildiriler Kitabı*. Alaş Matbaası.
- Tsai, M. C., Burch, M. J., ve Lavelle, J. A. (1993). Solid grade acrylic cement modifiers. In *Polymer-Modified Hydraulic-Cement Mixtures*. ASTM International.
- Velinsky, S.A. ve Ravani, B. (2002). Advanced highway maintenance and construction technology center – Final Report. University of California, California Department of Transportation
- Walters, D. G. (1987). ‘‘What are latexes?’’ *Concrete International*, No:12, 44-47
- Walters, D. G. (1991). Styrene-Butadiene Latex-Modified Concrete (S-B LMC) Bridge-Deck Overlays, *Workshop of the International Congress of Polymers in Concrete in San Francisco CA*.
- Wang, R., Wang, P. M. ve Li, X. G. (2005). Physical and mechanical properties of styrene–butadiene rubber emulsion modified cement mortars. *Cement and Concrete Research*, 35(5), 900-906.
- Weyers, R.E, Buchanan, P.M., Mokarem, D.W. ve Sprinkel, M.M. (2002). *Shrinkage of latex-modified and microsilica concrete overlays*, Annual Meeting CD-Rom. 24.
- Wu, K.R., Zhang, D., ve Song, J.M. (2002). Propertie of polymer-modified cement mortar using pre-enveloping method. *Cement and Concrete Research*, 32, 425-429.

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.

