

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HASARLI YAPILARIN
ONARIMINDA ve GÜÇLENDİRİLMESİNDE
POLİMER BETONLARININ KULLANIMI**

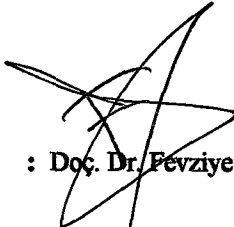
İnş. Müh. Ebru BAŞCAVUŞOĞLU

**F.B.E İnşaat Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan**

106203

YÜKSEK LİSANS TEZİ


Tez Danışmanı


: Doç. Dr. Fevziye AKÖZ



**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANLASYON MERKEZİ**

İSTANBUL, 2001

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. POLİMER BETONU.....	4
2.1 Polimer Katkılı Harç ve Beton.....	6
2.1.1 Polimer Katkılı Harcın ve Betonun Üretim Teknolojisi.....	6
2.2 Polimer Harcı ve Beton.....	8
2.2.1 Polimer Harcı ve Betonunun Üretim Teknolojisi.....	10
2.3 Polimer Emdirilmiş Harç ve Beton.....	13
2.4 Polimer Katkılı Harcın ve Betonun Özellikleri.....	14
2.4.1 Polimer Lateksleri Kullanılarak Üretilen Harç ve Betonun Özellikleri.....	14
2.4.2 Polimer Harcı ve Betonunun Özellikleri.....	17
2.4.3 Polimer Emdirilmiş Harç ve Betonlar	19
3. KOROZYON.....	20
3.1 Çeliğin Korozyonu.....	20
3.1.1 Korozyonu Etkileyen Faktörler.....	21
3.1.1.1 Karbonatlaşma.....	21
3.1.1.2 Betonda Klorür.....	22
4. POLİMER BETONUyla YAPILARIN ONARIMI ve GÜÇLENDİRİLMESİ.....	25
5. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	28
5.1 Numune Üretiminde Kullanılan Malzemeler.....	28
5.2 Numune Üretimi.....	33
5.3 Numunelerin Kürü.....	34
5.4 Kontrol Deneyleri.....	34
5.4.1 Taze Betonda Yapılan Deneyler.....	35
5.4.2 Sertleşmiş Betonda Yapılan Deneyler.....	36
5.4.2.1 Eğilme Deneyi.....	36

5.4.2.2	Basınç Deneyi.....	36
5.4.2.3	Ultrases Geçiş Süresi Ölçümleri.....	37
5.4.2.4	Aşınma Deneyi.....	37
5.4.2.5	Kılcal Su Emme Deneyi.....	38
5.4.2.6	Birim Ağırlık ve Su Emme Deneyi.....	38
5.4.2.7	Karbonatlaşma Derinliğinin Belirlenmesi.....	39
5.4.2.8	Boy Değişimi Deneyi.....	39
5.4.2.9	Yarı Hücre Potansiyelinin Belirlenmesi.....	40
5.4.2.10	Hızlandırılmış Korozyon Deneyi.....	40
5.4.2.11	Çekip Çıkarma (Pull-Out) Deneyi.....	42
6.	SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ ve İRDELENMESİ.....	53
7.	SONUÇLAR.....	63
	KAYNAKLAR.....	66
	EKLER.....	68
	ÖZGEÇMİŞ.....	71

SİMGE LİSTESİ

σ	Gerilme
A	Ampirik sabit
B	Ampirik sabit
a	Ampirik sabit
b	Ampirik sabit
β	Birim ağırlık
ϕ	Donatı çapı
ρ	Numune yoğunluğu
ε	Deformasyon
ε_u	Kopma uzaması
ΔW	Aşınma sonucu ağırlık kaybı
Δl	Boy değişimi
a_k	Ağırlık cinsinden aşınma kaybı
a_s	Ağırlıkça su emme
d	Pas payı
e	Et kalınlığı
E_d	Dinamik elastisite modülü
f_{ad}	Aderans dayanımı
f_e	Eğilme dayanımı
f_b	Basınç dayanımı
f_{su}	Çeliğin çekme dayanımı
f_{sy}	Çeliğin akma gerilmesi
F	Yüzey alanı
h_s	Hacimce su emme
K	Kılcal su emme katsayısı
l	Numune boyu
l_0	Numunenin ilk boyu
M_{max}	Maksimum moment
P_i	Elekten geçen malzeme miktarı
P_{ke}	Eğilme deneyinde kırma yükü
Q	Numunenin emdiği su miktarı
s	Standart sapma
T	Sıcaklık
t	Deney süresi
t	Ses geçiş süresi
σ_c	Polimer katkılı harcın ve betonun basınç mukavemeti
α	Polimer katkılı harç ve betonda bağlayıcı-boşluk oranı
β	Polimer katkılı harç ve betonda boşluk-bağlayıcı oranı
V_a	Polimer katkılı harcın ve betonun birim hacmindeki havanın hacmi
V_C	Polimer katkılı harcın ve betonun birim hacmindeki çimentonun hacmi
V_P	Polimer katkılı harcın ve betonun birim hacmindeki polimerin hacmi
V	Ses geçiş hızı
v	Varyans
V_W	Polimer katkılı harcın ve betonun birim hacmindeki suyun hacmi
W_X	Mukavemet momenti
W_k	Numunenin ilk ağırlığı
W_{SH}	Su emmiş numunenin havadaki ağırlığı
W_{SS}	Su emmiş numunenin sudaki ağırlığı

KISALTMA LİSTESİ

A	Kopolimer dispersiyon katkılı numune
ACI	Karma suyuna klorür katılmış, kopolimer dispersiyon katkılı grup
B	Sentetik kauçuk esaslı polimer katkılı numune
BCI	Karma suyuna klorür katılmış, sentetik kauçuk esaslı polimer katkılı grup
EVA	Poly(Ethylene-Vinyl Acetate)
FAM	Furan Reçinesi
FRP	Fiber Reinforced Plastics
PAE	Polyacrylic Ester
PC	Polymer Concrete
PC	Prestressed Concrete
PÇ	Portland Çimentosu
PCC	Polymer Cement Concrete
PCM	Polymer Cement Mortar
PET	Polyethylene Terephthalate
PIC	Polymer Impregnated Concrete
PIM	Polymer Impregnated Mortar
Pn	Poliester reçinesi
PM	Polymer Mortar
PMMA	Polimetil Metakrilat
PVAC	Polyvinyl acetate
S	Şahit, katkısız numune
SCI	Karma suyuna NaCl katılmış, şahit numune
SBR	Styrene-Butadiene Rubber
ST	Styrene
TS	Türk Standartları
Up	Unsaturated polyester

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Bakır-bakır sülfat yarı hücre devresi (ASTM C 876).....	24
Şekil 5.1 Agreganın granülometrik eğrisi.....	29
Şekil 5.2 Ultrasonik yöntemle ses geçiş süresinin belirlenmesi.....	37
Şekil 5.3 Kılcal su emme deneyi yapılışı.....	39
Şekil 5.4 Boy değişimi deneyi.....	40
Şekil 5.5 Hızlandırılmış korozyon deney düzeneği.....	41
Şekil 5.6 Pull-out deney düzeneği.....	42
Şekil 5.7 Havada kür edilen numunelerin $Q/F-t^{1/2}$ grafiği.....	49
Şekil 5.8 Suda kür edilen numunelerin $Q/F-t^{1/2}$ grafiği.....	49
Şekil 5.9 Karma suyuna klorür katılmış, havada kür edilen numunelerin $Q/F-t^{1/2}$ grafiği.....	49
Şekil 5.10 Şahit numunelerin, farklı kür koşullarındaki boy değişimi-zaman ilişkisi.....	50
Şekil 5.11 Kopolimer dispersiyon katkılı numunelerin, farklı kür koşullarındaki boy değişimi-zaman ilişkisi.....	50
Şekil 5.12 Sentetik kauçuk esaslı polimer katkılı numunelerin, farklı kür koşullarındaki boy değişimi-zaman ilişkisi.....	50
Şekil 5.13 Suda kür edilen numunelerin boy değişimi-zaman ilişkisi.....	51
Şekil 5.14 Havada kür edilen numunelerin boy değişimi-zaman ilişkisi.....	51
Şekil 5.15 Karma suyuna klorür katılmış, havada kür edilen numunelerin boy değişimi-zaman ilişkisi.....	51
Şekil 5.16 NaCl çözeltisinde bekletilen numunelerin boy değişimi-zaman ilişkisi.....	52
Şekil 6.1 Standart harçların eğilme dayanımının bağıl değerleri.....	53
Şekil 6.2 Standart harçların basınç dayanımının bağıl değerleri.....	53
Şekil 6.3 Prizma numunelerin farklı ortamlardaki eğilme dayanımının bağıl değerleri.....	54
Şekil 6.4 Prizma numunelerin farklı ortamlardaki basınç dayanımının bağıl değerleri.....	55
Şekil 6.5 Prizma numunelerin farklı ortamlardaki ses geçiş hızı değerleri.....	56
Şekil 6.6 Küp numunelerin ağırlık kayıpları.....	56
Şekil 6.7 Beton serilerine ait kılcal geçirimsizlik katsayılarının karşılaştırılması.....	57
Şekil 6.8 Beton serilerine ait hacimce su emme değerleri.....	58
Şekil 6.9 Beton serilerine ait ağırlıkça su emme değerleri.....	59
Şekil 6.10 Beton serilerine ait birim ağırlıklar.....	60
Şekil 6.11 Beton serilerindeki karbonatlaşma derinliklerinin zamanla değişimi.....	61
Şekil 6.12 Beton serilerine ait çatlama süreleri.....	62
Şekil 6.13 Beton serilerine ait aderans dayanımları.....	62

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Fam ve pn polimer betonlarının aksel basınç deneyi sonuçları.....5
Çizelge 4.1	Epoksi reçinesi ve harcının mekanik özellikleri.....26
Çizelge 5.1	Agraganın fiziksel özellikleri.....28
Çizelge 5.2	Üretimde kullanılan çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri...29
Çizelge 5.3	Standart numunelerin ortalama eğilme ve basınç dayanımı.....30
Çizelge 5.4	Üretimde kullanılan polimer katkı maddelerinin ve emülsiyonun özellikleri.31
Çizelge 5.5	Karma suyunda kullanılan sanayi tuzunun özellikleri.....32
Çizelge 5.6	Donatının mekanik ve kimyasal özellikleri.....32
Çizelge 5.7	Sacın mekanik ve kimyasal özellikleri.....33
Çizelge 5.8	1 m ³ taze beton için gerekli olan gerçek malzeme miktarları.....34
Çizelge 5.9	Taze betonda yayılma değerleri.....35
Çizelge 5.10	Çekip çıkarma (pull-out) deneyi sonuçları.....42
Çizelge 5.11	Eğilme ve basınç dayanımı deney sonuçları.....43
Çizelge 5.12	Prizma numunelerde ses geçiş hızı değerleri.....44
Çizelge 5.13	Aşınma deneyi sonuçları.....45
Çizelge 5.14	Beton serilerine ait fiziksel özellikler.....46
Çizelge 5.15	Beton serilerine ait karbonatlaşma derinliği deney sonuçları.....47
Çizelge 5.16	Karma suyuna Cl ⁻ katkılı betonarme numunelerin yarı hücre potansiyeli değerleri ve çatlama süreleri.....48

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimi hazırlarken büyük desteğini gördüğüm Hocam Sayın Doç. Dr. Fevziye AKÖZ'e,

Deneylerim sırasında gösterdiği yakın ilgiden dolayı Yard. Doç. Dr. Nabi Yüzer'e,

Malzemelerini kullandığım YKS ve Sika Firmalarına,

Çalışmalarım sırasında desteklerini gördüğüm Araş. Gör. Özgür Çakır'a ve Araş. Gör. Nihat Kabay'a,

Deneylerim sırasında yardımcı olan YTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederim.

Ebru BAŞÇAVUŞOĞLU

Haziran, 2001



ÖZET

Çeşitli nedenlerle hasar gören yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılan malzemelerden biri de polimer betonlardır. Yapıların hasara uğramasında önemli bir neden olan korozyon karşısında polimer betonunun davranışının incelendiği bu çalışmada, hızlandırılmış korozyon deneyi ile polimer katkıli betonların hasar görme süreleri incelenmiştir. Çalışmada, iki ayrı polimer kullanarak polimer katkıli beton numuneler üretilmiş, bunların katkısız beton ile farklılıkları araştırılmıştır.

Deneysel çalışmada, biri kopolimer dispersiyon, diğeri ise lateks olmak üzere iki tip polimer katkı maddesi kullanılmıştır. Sıvı haldeki bu maddeler betona üretim aşamasında çimento ağırlığının 1/6'sı oranında karma suyu ile yerdeğiştirmeli olarak katılmıştır. Bu gruplara şahit olmak üzere bir seri de polimer katılmamış numuneler üretilmiştir. İki seri polimer katkıli olmak üzere üç seride, eğilme, basınç, kılcal su emme, birim ağırlık deneyi için 40×40×160 mm boyutlu prizma, aşınma ve karbonatlaşma derinliğinin araştırılması için 70×70×70 mm küp, boy değişimi deneyi için 25.4×25.4×279.4 mm boyutlu prizma, hızlandırılmış korozyon ve pull-out deneyi için 100/200 mm boyutlu silindir numuneler üretilmiştir. Hızlandırılmış korozyon deneyi için üretilen silindir numunelerin merkezine ϕ 10'luk donatı, paspayı olarak alınan 13,8 mm'lik örtü betonunun altına 1,2 mm kalınlığında sac plaklar yerleştirilmiştir. Bu grupta, silindirin merkezine yerleştirilen ve hızlandırılmış korozyon deneyinde potansiyostatın artı ucuna bağlanarak anot durumuna getirilen ϕ 10'luk donatılara, bir grupta üretimden önce piyasadan temin edilen korozyon önleyici madde sürülmüş, bu maddenin donatı korozyonuna etkisi araştırılmıştır.

Beton üretiminde PÇ 42,5 çimentosu ve maksimum dane çapı 8 mm olan silisli kum kullanılmış, suyun çimentoya oranı $w=0,5$ sabit tutulmuştur.

Betona üretim aşamasında agregalarla veya katkı maddeleri ile klorür karışması durumunu temsilen, her üç seri betona karma suyunda Cl^- iyon konsantrasyonu 40000 mg/L olacak şekilde sanayi tipi NaCl tuzu katılmıştır.

Tüm numuneler üretimden 24 saat sonra kalıptan çıkarılmış, karma suyuna NaCl katılmış olanlar, sıcaklığı 20 ± 2 °C, bağıl nemi % 46 olan laboratuvar ortamında, diğer grupların ise bir grubu laboratuvar ortamında havada, bir grubu da sıcaklığı 20 ± 2 °C olan kirece doymun suda saklanmıştır. Tüm gruplarda kontrol deneyleri 28. günde yapılmıştır. Boy değişimleri ise, 1., 3., 7., 14., 28., 42., 56., 70., 84., 91., 98., 112. günlerde ölçülmüştür.

İki kez uygulanan hızlandırılmış korozyon süreci sonuçlarına göre, korozyona karşı lateks katkıli betonarme numunelerin, katkısız ve kopolimer dispersiyon katkıli numunelere göre çok daha dayanıklı oldukları görülmüştür.

Anahtar Sözcükler

Polimer, beton, polimer betonu, korozyon, onarım, takviye

ABSTRACT

Polymer concrete is one of the materials that is used in restoration and reinforcement of damaged buildings. In this study, the behaviour of polymer concrete against corrosion was investigated and the damage time was determined by accelerated corrosion test. By using two different polymers, polymer modified concrete samples were produced and the differences of this concrete from unmodified concrete was searched.

In the experimental study two types of polymer addiment materials were used. One of these addiments is copolymer dispersion and the other one is latex. These liquid addiments were added to the concrete in the phase of production in the ratio of 1/6 of cement weight by replacing mixing water with polymer. Moreover a serie of polymer free samples were produced. In these series, for bending, compressive, capillary water absorption, bulk density tests 40x40x160 mm dimensioned prisms, for abrasion test and determination of carbonation depth 70x70x70 mm dimensioned cubes, for determining the change in length 25.4x25.4x279.4 mm dimensioned prismS, accelerated corrosion and pull-out tests 100/200 mm dimensioned cylindrical samples were produced. In the center of the cylindrical samples which are produced for accelerated corrosion test, 10 mm diametered reinforcements were placed. Under the cover concrete of 13.8 mm thickness, iron sheets of 1.2 mm thickness were placed.

In one of these groups, the reinforcements which are connected to the positive part of the potentiostat as anode covered with a corrosion preventing material before the production and the effect of this material against corrosion was investigated. The crack points of damaged samples are repaired with latex added cement paste. Accelerated corrosion test was repeated in these samples and the place of the crack was observed.

In the production of concrete, cement PÇ 42.5 and silica sand which has a maximum grain size of 8 mm were used and water/cement ratio was taken as 0.5 which was taken constant.

In the production phase of concrete in order to represent the condition of reaction of aggregates or addiments with chloride, industrial type of NaCl salt was added to mixage water to obtain the concentration of 40000 mg/L. All the samples were demoulded 24 hours after

1. GİRİŞ

Beton günümüzde en yaygın kullanılan yapı malzemesidir. Betonun özelliklerini iyileştirmek amacıyla çeşitli katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bu katkı maddelerinden biri de polimerlerdir.

Polimerler, büyük moleküllü hidrokarbonlardır, karbon ve hidrojen atomlarından oluşmuşlardır. Ayrıca birleşimlerine oksijen, azot, klorür gibi metaller veya yumuşak metaller; hatta sodyum, potasyum gibi alkali metaller de girebilir. Bitüm, ahşap, amber, boynuz gibi malzemeler doğal polimerlerdir. Polimerler günümüzde yapay olarak da üretilmektedir. Bu konu ile ilgili ilk çalışma, 1839 yılında Goodyear'ın ebonit malzemesini üretmesiyle yapılmıştır. Daha sonra stiren, selüloz nitrat, bakalit üretimine başlanmıştır (Akman, 1990).

Polimerler organik kökenli bileşikler olduklarından, bu malzemeler "Organik Kimya" başlığı altında incelenirler. Organik Kimya deyimi, ilk olarak 1810 yılında, Berzelius tarafından, bitki ve hayvan kökenli organizma ürünlerini konu alan, bir kimya dalı olarak ifade edilmiştir. Günümüzde ise, Organik Kimya demek, karbon bileşiklerinin kimyası demektir. Karbon bileşiklerinin sentezlenmesi, 17. yüzyılda başlar. İlk olarak, alkol ve sülfirik asitten eter, kurşun asetatından aseton, organik asitlerden etil esterler sentezlenmiştir. En basit organik bileşiğin yapısında, karbon ve hidrojen atomları bulunduğu için, organik bileşikler hidrokarbonlar olarak adlandırılır (Kılınçkale, 1987).

Polimerlerin beton teknolojisine girmesi, 1950'li yıllarda önem kazanmaya başlamıştır. Daha önceki yıllarda betona bitüm, doğal kauçuk lateksi katılmaya başlanmıştı, ancak yapay polimerlerden yararlanılması daha sonra gerçekleşmiş, bu konuda 1965'ten sonra önemli gelişmeler olmuştur (Akman, 1990).

Polimerlerin, beton üretiminde kullanılan çimento bağlayıcısının tümü veya bir kısmının yerine kullanılmasıyla polimer betonu elde edilmektedir. Özellikle, son yıllarda polimer betonu dünyada geniş kullanım alanı bulmaktadır. Çeşitli nedenlerle hasara uğrayan yapıların onarım ve güçlendirilmesinde pek çok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında, polimer betonu tamir malzemesi olarak önemli yer tutmaktadır.

Bu deneysel çalışmada, polimer katkı ve katkısız olarak üretilen betonların özellikleri, polimer betonlarının donatı korozyonuna etkisi ve polimer katkı çimento hamurunun onarımda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kaynak araştırmasında, çalışmanın konusu olması nedeni ile polimerler ve polimer betonları etraflıca ele alınmıştır.

Mer veya monomer gibi bir kimyasal ünitenin tekrarıyla oluşan büyük moleküllere, polimer molekülü adı verilir (Kılınçkale, 1987). Mer sayısı 20-50000 arasında değişen polimerler, belirli mekanik özelliklere sahiptir. Bir polimer zinciri, içerdiği monomerlerin cinsi bir ise homopolimer, iki ise kopolimer, üç ise terpolimer adını alır (Ercan,1997). Polimerlerin ana maddeleri kömür, pamuk, odun, petrol ve doğal gazlardır (Akman, 1990). Polimerler, doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır. Pamuk, keten, ipek ve yün, doğal polimerlere örnek olarak gösterilebilir. Yapay polimerlere genel olarak plastik adı verilir (Kılınçkale, 1987). Polimerlerin düşük ve yüksek sıcaklıktaki davranışları dikkate alınarak, plastikler termoplastikler, termosetler, elastomerler olarak üçe ayrılır.

Termoplastikler sıcaklıkları yükseltildince yumuşar, soğuyunca eski özelliklerini tekrar kazanırlar. Bu işlem istenildiği kadar tekrar edilebilir. Termoplastiklere örnek olarak poliamid ve polietilen gösterilebilir.

Termosetlerin sıcaklığı yükseltirse sertleşmeleri hızlanır, sıcaklık daha da yükseltirse bozunmaya uğrarlar. Poliesterler ve epoksi reçineleri, termosetlere örnek olarak gösterilebilir (Kılınçkale, 1987).

Termosetler ve termoplastiklerin bu farklı davranışları molekül yapılarından kaynaklanır. Termoplastik molekülleri uzun, birbirleriyle birleşmemiş halde olup, termoset molekülleri dallanmış, komşu moleküllerle bağ oluşturmuş haldedir (Akman, 1990).

Elastomerler, çoğunlukla amorf yapıdadırlar ve yüksek elastik özellikleri vardır (Ohama ve Chandra, 1994). Elastomerler, kauçukta çapraz bağlanma işlemini sağlar. Elastomerlerin zincirleri, termosetlere göre seyrek oranda çapraz bağlanmıştır (Ercan, 1997).

Bir organik molekülde, belirli atom topluluklarına grup adı verilir. Gruplar, reaksiyon esnasında değişikliğe uğrayabilir. Bunlara, görevli grup adı da verilir, bunlar kısa sürede, yüklü veya yüksüz olarak serbest hale geçebilir. Eter, ester, aldehit, keton ve alkoller bu gruplara örnek olarak gösterilebilir. Polimerleri oluşturan reaksiyonlara, polimerizasyon adı verilir. Polimerizasyonun gerçekleşmesi için, reaksiyona girecek monomerler birden fazla fonksiyonel grup oluşturmali ve reaksiyon esnasında katılma, kondensasyon polimerizasyonları veya her ikisi birden gerçekleşmelidir.

Polimerizasyon sırasında oluşan reaksiyonlar kondensasyon polimerizasyonu, katılma polimerizasyonu, iyonik polimerizasyon ve kopolimerizasyon olmak üzere dört grupta toplanır. Bunlardan iyonik polimerizasyon, zincirin ucundaki yüke göre anyonik polimerizasyon veya katyonik polimerizasyon olarak isimlendirilir.

İki veya daha fazla monomer aynı anda polimerize edilirse, değişik özellikleri bir arada bulunduran polimer elde edilir. Bu işleme kopolimerizasyon, polimere de kopolimer denir (Kılınçkale, 1987).

2. POLİMER BETONU

Günümüzde polimer betonu, yapı endüstrisinde, yüksek performanslı bir malzeme olarak kullanılmaktadır. Polimer betonuyla ilgili araştırmalar bütün dünyada sürdürülmektedir. Özellikle son kırk yılda, Rusya, Japonya, İngiltere, Amerika Birleşik Devletleri ve Almanya gibi ülkelerde bu çalışmalara önem verilmiştir (Ohama ve Chandra, 1994).

Polimer betonunun şekil değiştirme ve mukavemet değerleri, polimer malzemelerden elde edilen değerlerle, normal betondan bulunan değerler arasında yer almaktadır. Bu özelliklerinden dolayı polimer betonunda, deneylerin özel metodlarla yapılması, elde edilen sonuçların farklı değerlendirilmesi ve taşıyıcı elemanların tasarlanması için özel şartname gerekmektedir. Polimer betonunda numunelerin minimum boyutunu, kullanılan agreganın en büyük dane boyutu belirler. Deneylerdeki yükleme hızı ise, üretimde kullanılan sentetik bağlayıcıya göre değişir.

Polimerler gerilme seviyesine, deformasyon oranına ve sıcaklığa bağlı olarak değişen oranlarda elastik ve plastik deformasyona uğrarlar. Yüksek oranda elastik deformasyon, sadece polimer malzemelerde görülür, bu durum düşük elastisite modülü ile karakterize edilir. Ortam sıcaklığı ve yükleme süresi polimerlerin mukavemetinde büyük oranda etkilidir.

Polimer malzemelerin, karakteristik mukavemetlerini doğru değerlendirebilmek için gerilme (σ), deformasyon (ϵ), sıcaklık (T) ve deney süresi (t) dikkate alınmalıdır. Sıcaklık ve yükleme hızı sabit ise, mukavemetler, aşağıdaki 2.1 ve 2.2 eşitlikleri yardımı ile belirlenir.

$$\epsilon=f(\sigma) \quad (2.1)$$

$$\sigma=f(\epsilon) \quad (2.2)$$

Deneyler ya sabit gerilme, ya da sabit deformasyon altında yapılır. Aşağıdaki 2.3 ve 2.4 eşitlikleri, zamanın etkili olduğu uzun süreli deneyler için geçerlidir.

$$\epsilon=f(t) \quad (2.3)$$

$$\sigma=f(t) \quad (2.4)$$

Numune boyutlarının, polimer betonunun basınç mukavemetine etkisinin belirlenmesi için, yapılan bir deneysel çalışmada, furan reçinesi esaslı (FAM) ve poliester reçinesi esaslı (PN)

polimer betonları ile 30.30.30 mm ve 150.150.150 mm boyutlarında seri numuneler üretilmiş, numunelerin karakteristik mukavemetlerinin belirlenmesinde ortam koşullarının etkisinin en aza indirilmesi için deneyler, 18-20 °C sıcaklıkta ve yaklaşık %60 bağıl nem altında yapılmıştır. Yükleme hızının etkisinin araştırılması için sabit koşullarda, deneylerin süresi onar saniyelik artışlarla, 10-10000 sn arasında değiştirilmiştir. Toplam 800 adet numune üretilmiştir, küp şeklindeki numunelerde basınç dayanımı, Çizelge 2.1'de görüldüğü gibi, numune boyutlarının artışıyla artmıştır. Bu durum, polimer betonunun deney koşullarından önemli oranda etkilendiğini gösterir.

Çizelge 2.1 Fam ve pn polimer betonlarının aksenal basınç deneyi sonuçları (Rao, 1992)

Numune Boyutları (mm)	Agrega Boyutları (mm)	Numune sayısı	Ortalama mukavemet (N/mm ²)	Ortalama standart sapma	Standart sapmada ortalama hata	Değişme katsayısı	Homojenlik derecesi
Küp numuneler							
30.30.30	3-5	10	70	12,3	3,84	1,76	0,48
50.50.50	5-10	12	78,3	10,5	3,18	1,34	0,62
70.70.70	5-10	12	84,4	10,4	2,97	1,23	0,63
100.100.100	5-10	12	92,7	8,6	2,6	0,92	0,73
150.150.150	5-10	9	96,1	8	3,2	0,87	0,75
Prizma numuneler							
50.50.150	5-10	12	77,2	11,2	3,41	1,41	0,6
70.70.210	5-10	9	85,3	10,8	3,2	1,32	0,61
100.100.400	20-25	9	91,9	9,3	2,8	1,12	0,72

Polimer betonunun mukavemetinde her gerilme seviyesi için, yükleme hızının büyük etkisi olduğu görülmüştür. Yükleme hızı düşük olduğunda, yükleme hızı ile basınç dayanımı arasındaki ilişkinin korelasyonu daha yüksektir. Yükleme hızı arttıkça ilişkideki korelasyon azalır. Polimer betonlarının uzun vadeli mukavemetleri incelenirken, mukavemetle birlikte uzun süreli yükler altındaki deformasyonlar da incelenir. Polimer betonunun uzun vadedeki mukavemeti, çok uzun zaman sabit kalan yükler altında belirlenir. Yük altındaki malzeme davranışını belirlemek için, malzemenin kinetik davranışını da iyi bilmek gerekir. Polimer betonunun uzun vade mukavemeti

yaklaşık olarak, farklı gerilme seviyelerinde yüklemeye maruz bırakılan benzer numunelerin sünme eğrileri ile belirlenir.

Polimer betonlarının homojenliğini belirlemek için, ultrases aletinden yararlanılır. Bu aletin polimer betonu numunelere gönderdiği ses dalgasının, numunelerdeki yayılma süresi aşağıda görüldüğü gibi, dinamik elastisite modülüyle ilişkilidir.

$$E_d = (l^2 \rho / t^2) K \quad (2.5)$$

2.5 eşitliğinde görüldüğü gibi, E_d , malzemenin dinamik elastisite modülü (Pa), l cm cinsinden numunenin boyu, ρ numunenin yoğunluğu (g/cm^3), t zaman, K dalga boyu ve numune boyutuna bağlı bir katsayıdır. Test edilen numunelerin dinamik elastisite modülleri, birbirlerinden \pm % 10-15 farklı oldukları zaman, polimer betonu homojen kabul edilebilir (Rao, 1992).

Polimer betonu, yukarıda etraflıca açıklandığı gibi, normal beton veya harçta bulunan çimento bağlayıcısının tümünün veya bir kısmının yerine, polimerlerin katılmasıyla veya kullanılan bağlayıcının, polimer malzemelerle güçlendirilmesiyle üretilir. Polimer betonu, üretim teknolojilerine göre polimer katkılı harç (PCM) ve beton (PCC), polimer harcı (PM) ve betonu (PC), polimer emdirilmiş harç (PIM) ve beton (PIC) olmak üzere üç grupta sınıflandırılır. Bu betonların üretimi ve temel özellikleri aşağıda sırası ile verilmiştir.

2.1 Polimer Katkılı Harç ve Beton

Polimer katkılı harç ve beton; monomerler, sıvı reçineler, polimer tozları, suda çözünebilen polimerler, polimer lateksleri gibi katkı maddelerinin, kullanılan bağlayıcının bir kısmının yerine katılmasıyla üretilir. Polimer katkılı harç ve beton, organik polimer matrisi ve çimento jel matrisinden oluşan bir komatristir. Komatris homojen bir yapıdadır.

2.1.1 Polimer Katkılı Harcın ve Betonun Üretim Teknolojisi

Polimer katkılı harcın ve betonun üretim teknolojisi, normal harç ve beton üretimiyle aynıdır ve aynı malzemeler kullanılır. Polimer katkıların çoğu harca karışım yapılırken eklenir. Polimer katkılı harç ve betonda, normal harç ve betonda kullanılan malzemeler kullanılır ve optimum

koşullar altında kür edilir. Polimer katkılı harç ve betonda, Portland Çimentosu kullanılır. Farklı uygulamalar için beyaz renkli Portland Çimentosu, alüminli çimento, sülfata dayanıklı Portland Çimentosu gibi değişik çimentolar da kullanılabilir.

Polimer katkılı harç ve betonlarda kullanılan katkı maddelerinin en çok tercih edileni, polimer lateksleridir. Polimer lateksleri, suda dağılmış olan 0.05-5 µm çaplı çok küçük polimer parçacıklarından oluşur. Dünyada ticari amaçla kullanılan lateksler stiren –bütadyen plastik (SBR), poliakrilik ester (PAE), polietilen-vinil asetat (EVA) kopolimerleridir.

Polimer katkılı harç ve beton üretiminde normal harç ve beton üretiminde kullanılan silisli kum, çakıl, nehir kumu, hafif ağırlıklı suni agregalar vb. iri ve ince agregalar kullanılır. Korozyona karşı dayanıklılık için silisli kum ve silisli ezilmiş taşlar da kullanılabilir. Aşırı su hacmine sahip agregaların kullanımından kaçınılmalıdır.

Polimer katkılı harca ve betona renk vermek için, su geçirmez pigmentler kullanılır. Ayrıca, pigmentlerin, polimer katkıların stabilitesini engellememesi istenir. Karışıma ilave olarak, cam, çelik, poliamid, polipropilen, poval ve karbon lifleri gibi malzemeler takviye elemanı olarak katılabilir.

Polimer katkılı harcın ve betonun karışımı, normal çimento ve beton karışımıyla büyük benzerlik gösterir. Karışım oranları, işlenebilirlik, mukavemet, adezyon, su geçirmeme özelliği, kimyasal etkilere karşı dayanıklılık gibi etkenlere bağlı olarak saptanır. Polimer katkılı harcın ve betonun çekme ve eğilme mukavemeti, işlenebilirlik, adezyon ve durabilite gibi özellikleri su-çimento oranından çok, polimer-çimento oranı ile kontrol altında tutulur. Polimer katkılı harç veya betonda polimer çimento oranı, karışımda kullanılan çimento miktarına, monomer, sıvı reçine, suda çözünebilen polimer, polimer tozu, polimer lateksi gibi polimerlerde bulunan katı madde miktarının ağırlıkça oranı ile belirlenir. Polimer katkılı harçta, istenen işlenebilirliğe bağlı olarak çimento-agrega oranı ağırlıkça 1:2 veya 1:3, polimer-çimento oranı %5-%20 ve su-çimento oranı %30-%60 dir. Birçok faktör etkili olduğundan, polimer katkılı betonların karışım oranı kolayca belirlenemez. Polimer katkılı betonda ise bu oranlar, polimer-çimento oranı için %5-%15, su-çimento oranı için %30-%50 değerleri arasında değişir.

Polimer katkılı harç ve betonlar da, normal harç ve betonun üretiminde kullanılan karışım aletleri kullanılarak kolayca üretilebilir. Asıl karışımdan önce, karışım oranlarını belirlemek için deneme üretimi yapılır. Polimer lateksleri öncelikle karışımda kullanılacak suya katılır. Polimer katkılı harç ve beton üretiminde, polimer lateksleri karma suyuna, polimer tozları çimento ve agreganın kuru karışımına, sıvı reçineler ve monomerler ise çimento ve agrega karışımına su katıldıktan sonra bu karışıma ilave edilir.

Polimer katkılı harç ve betonun yerleştirilmesi de, normal çimento harcı ve betonu ile aynıdır. Yalnız polimer katkılı harç ve betonda, çalışma süresi daha kısadır. Bu süre ortam sıcaklığına bağlı olmasına rağmen, yerleştirme işlemi karışımın hazırlanmasından bir saat sonra yapılabilir. Polimerlerin çeşitli malzemelere iyi adezyonu nedeniyle, mikser ve vibratör gibi kullanılan bütün aletler ve ekipman, kullanıldıktan hemen sonra temizlenmelidir. Üretimden sonra numunelere aşırı vibrasyon uygulamaktan kaçınılmalıdır. Böylece yüzeyden polimerin ve suyun sızması önlenmiş olur.

Polimer katkılı harç ve beton, 5-30 °C arasındaki sıcaklıklarda yerleştirilmelidir. Soğuk havada uygulama yapılacaksa, erken yüksek mukavemet kazanan çimento, hızlı sertleşen çimento ve alüminli çimento tavsiye edilir.

Betonun nemli ortamda tutulması veya ürünün suya batırılmasıyla ıslak koşullarda yapılan kür, çimento betonu veya harcına uygulanabilir olmasına rağmen, polimer katkılı harç ve betonda zararlı sonuçlara sebep olur. Polimer katkılı sistemlerde ıslak ve kuru kür birlikte uygulanır, 1-3 günlük nem küründen sonra, ortam sıcaklığında kuru kür uygulanır. Polimer katkılı betonların küründe sıcaklıklar değiştirilerek betonun dayanım kazanması hızlandırılabilir, ancak buhar kürü tavsiye edilmez.

2.2 Polimer Harcı ve Betonu

Polimer harcı ve betonu, normal harç ve betonda kullanılan bağlayıcı yerine, polimer bağlayıcılar veya sıvı reçineler katılması ile üretilir. Bu katkılar termoset reçineler, vinil monomerler ve katran katkılı reçinelerdir. Polimer harç ve betonu için kullanılan termoset reçineler ve monomer sistemlerinin çoğu, oda sıcaklığı veya ortam koşullarında polimerize edilir.

Polimer harç ve betonuyla ilgili ilk çalışmalar, 1950'li yılların sonu ve 1960'lı yılların başında Sovyetler Birliği, Almanya, Japonya, Amerika Birleşik Devletleri gibi ülkelerde yapılmıştır (Ohama ve Chandra, 1994).

Polimerlerin inşaat mühendisliği alanında kullanılması ile ilgili yapılan çalışmalarda, betona polimer katılmasıyla taze betondaki yayılma değerlerinin geliştirilebileceği, yayılma oranının kullanılan polimer türüne, polimer-çimento ve su-çimento oranına bağlı olduğu, polimerlerin eğilme dayanımını arttırdığı, bu artışın zamana bağlı olarak daha da fazlaştığı, eğilme dayanımının kullanılan polimer türüne, polimer-çimento oranına bağlı olduğu görülmüş, basınç dayanımında ise kayda değer artışlar gözlenememiştir (Tonyalı, 2001).

PVA katkılı polimer betonlarında, PVA miktarı arttıkça, normal betona göre eğilmede çekme ve basınç dayanımlarında azalma görülmüş, PVA katkılı betonların eğilme ve basınç mukavemetleri, hem % 80 bağıl nemde, hem de suda azalmıştır. Akrilik katkılı örneklerde ise, polimer-çimento oranının artışıyla, eğilme ve basınç dayanımı zamanla artmıştır. Polimer katkılı betonların su emme direnci yüksektir, polimer-çimento oranı arttıkça, emilen su miktarı azalmıştır. PVA ve akrilik miktarı arttıkça, maksimum su emme, hacimce su emme oranı azalmıştır. Polimer miktarı arttıkça, ses geçiş süresinin arttığı, ses geçiş hızının ve elastisite modülünün azaldığı görülmüştür. PVA ve akrilik katkılı örneklerin, polimer-çimento oranının artışıyla, birim hacim ağırlığı ve özgül ağırlığı düşmüştür (Doğu, 1993).

Epoksi betonlarına katılan filler malzemenin tane iriliği arttıkça, bu betonlarda viskozitenin azaldığı, agrega granülometrisi ve konsantrasyonunun işlenebilirliği etkilediği, agrega konsantrasyonunun basınç mukavemetini de etkilediği gözlenmiştir. Rezonans frekansına göre, elastisite modülü bulunursa, epoksi bağlayıcılarına filler ilave edildikçe, elastisite modülü ve rezonans frekansının arttığı, epoksi betonlarında agrega konsantrasyonu düştükçe, rezonans frekansının ve elastisite modülünün düştüğü, bağlayıcı konsantrasyonu arttıkça ses geçiş hızının ve elastisite modülünün azaldığı görülmüştür (Ercan, 1997).

Ayrıca, epoksi sistemlerinin çelik ve betona yapışma özelliklerinin onarım işleri için yeterli olduğu, buna rağmen, metilmetakrilatlı sistemlerin çelik ve betona yapışma özelliklerinin yetersiz olduğu yapılan bir deneysel çalışmada ortaya çıkmıştır (Çolak, 1994).

Polimer harcı ve betonunda, bağlayıcı olarak polimer bağlayıcı kullanılır. Bu bağlayıcının oluşturduğu, üniform polimer matris fazı, tüm agregaları çevirmektedir. Bu tip betonda mukavemet, adezyon, su geçirmezlik, kimyasal etkilere, aşınmaya, donma-çözülme etkisine karşı dayanıklılık oldukça yüksektir. Diğer taraftan, bu tip betonun ısı ve ateşe karşı dayanıksız olması ve mekanik özelliklerinin sıcaklıktan etkilenmesi, polimer matris fazının dezavantajlarıdır.

Özel uygulamalar hariç, yeterli polimer bağlayıcı kullanılarak sürekli polimer matris fazı oluşturulduğunda, üstün özelliklere sahip polimer harcı ve betonu üretilebilir. Çok küçük hacimde polimer bağlayıcı kullanılırsa, polimer matris fazı süreksiz olur, harcın ve betonun kalitesi düşer. Polimerlerin maliyeti, Portland çimentosuna ve diğer çimentolara göre oldukça yüksektir. Bundan dolayı, karışımda kullanılacak polimer bağlayıcının, en düşük hacmini belirlemek önemlidir. Polimer harcı ve betonundaki polimer bağlayıcılar ve agregalar arasındaki bağ ve adezyon çok kuvvetlidir ve bu durum betonu güçlendirir. Polimer harcı ve betonunun boşluk hacmini azaltmak için, karışımın nasıl yapılacağı ve karışım oranlarının ön deneyler ile tam olarak belirlenmesi gerekir.

2.2.1 Polimer Harcı ve Betonunun Üretim Teknolojisi

Polimer harcı ve betonunun üretim yöntemi, normal betonun ve harcın üretimiyle benzerlik göstermektedir. Fakat kür metodları farklıdır. En uygun kür koşulları, ortam sıcaklığında kuru kür veya ısı kürüdür. Üretim, yerinde döküm veya prekast uygulama olmak üzere genelde iki aşamada yapılmaktadır. Geçmişte yerinde döküm, polimer harcı için, prekast uygulama ise polimer betonu için kullanılmıştır. Polimer harcı ve betonunun maliyetini azaltmak, mukavemetini ve durabilitesini arttırmak için polimer bağlayıcı ve agreganın karışım oranlarını iyi ayarlamak gerekir.

Polimer harcı ve betonunda kullanılan bağlayıcılar, çimento betonu ve harcında kullanılan bağlayıcılardan farklı olmasına rağmen, kullanılan agregalar aynıdır.

Polimer harcı ve betonu için kullanılan bağlayıcılar, çeşitli termoset reçineler, katran katkılı reçineler, reçine katkılı asfaltlar ve vinil monomerlerdir. Metil metakrilat monomerin, tutuşma sıcaklığının düşük ve kokusunun kötü olması nedeni ile kullanımı sınırlıdır. Buna rağmen metil

metakrilat monomer, iyi işlenebilirliğe sahip olduğundan, düşük sıcaklıkta kür edilebilen polimer harcı ve polimer betonu üretiminde kullanılmaktadır. Son yıllarda, geri kazanılmış polimer ve monomerlerle harç ve beton üretimi uygulamaları yapılmıştır. Geri kazanılan ürünlere, PET şişelerden elde edilen doymamış poliester reçinesi örnek olarak gösterilebilir.

Polimer harcı ve betonunun sertleşme süresi, uygun hacimde ve tipte katkı maddeleri seçilerek kontrol edilebilir. Betonda bağlayıcının dağılımını sağlamak için, kalsiyum karbonat, silis tozu ve uçucu kül kullanılır. Kalsiyum karbonat, en çok kullanılan filler malzeme olmasına rağmen, polimer harcı ve betonunun asit etkisine karşı dayanıklı olması gereken durumlarda kullanılmamalıdır.

Polimer harcı ve betonunda, normal beton ve harçta kullanılan nehir kumu ve çakıl gibi ince ve iri agregalar, andezit, mermer, granit, silisli kum gibi, öğütülmüş kum ve taşlar ve uygun nem oranına kadar kurutulması koşulu ile hafif ağırlıklı agregalar kullanılabilir. Agregası seçimi, genelde kullanılan bağlayıcı tipine, harç ve beton örtüsünün kalınlığına bağlı olarak yapılır. Polimer harcı ve betonu üretilirken, en düşük boşluk hacmini mümkün kılacak agregası çapları seçilir. Ayrıca, agregaları örtecek, boşlukları dolduracak en düşük bağlayıcı hacmi de belirlenmelidir. Polimer bağlayıcı normalde ağırlığın %9-%25'ini oluşturur. Polimer harcının ve betonunun özellikleri büyük ölçüde kullanılan bağlayıcıya ve agregaya bağlıdır.

Polimer harcı ve betonunu renklendirmek için, polimer bağlayıcının sertleşmesini engellemeyecek, hava etkilerine karşı dayanıklı pigmentler kullanılır. Polimer harcı ve betonunun uygulamalarında yapı elemanlarını takviye etmek için, hafif çelik çubuklar, öngerilmeli beton için yüksek mukavemetli çelik PC çubukları ve lif takviyeli plastik FRP çubukları kullanılır. Ayrıca cam ve çelik lifler, takviye elemanı olarak karışıma katılabilirler.

Ohama, bağlayıcı olarak doymamış poliester reçinesinin kullanıldığı, poliester betonunun karışım oranını belirlemek için, betonun mukavemetini belirleyen bir formül geliştirmiştir. Bu formül, çimento betonu için kullanılan su-çimento oranına benzer bir şekilde, stiren-doymamış poliester oranını baz alır. Mukavemet tahmini aşağıdaki 2.6 veya 2.7 eşitliği yardımıyla yapılır.

$$\sigma = - A(ST/U_p)+B \quad (2.6)$$

$$\sigma = a \log(U_p/ST) + b \quad (2.7)$$

Bağıntıda, σ , poliester betonunun mukavemeti, ST/U_p stirenin-doymamış poliestere oranı, U_p/ST doymamış poliesterin-stirene oranı, A, B, a, b ise ampirik sabitlerdir (Ohama ve Chandra, 1994).

Polimer harçlarının veya betonlarının, çalışma süresi ve sertleşme süresi uygulamalara ve çevre sıcaklığına göre belirlenebilir. Uygun tipteki sertleştirici seçimi ile, bu süreler kontrol altına alınabilir.

Hızlı sertleşme ve bağlayıcının yüksek viskozitesi nedeniyle, karışım bir karışım aletiyle karıştırılmalıdır, elle karıştırma asla yapılmamalıdır. Karıştırıcı seçimi genelde, bağlayıcı tipine, harcın ve betonun uygulanma şekline bağlıdır. Cebri karıştırıcı kullanılarak yapılan karışımda şu hususlara dikkat edilmelidir:

1. Agregası ve filler malzeme, kuru halde mikser içinde karıştırılmalıdır.
2. Karışımın 1. ve 3. dakikası arasında kullanılan bağlayıcı ile sertleştirici bir kaptaki istenen hacimde karıştırılmalıdır ve bu karışım kuru karışıma eklenmeli, 3-5 dakika hepsi birlikte mikserde karıştırılır.
3. Karışımdan sonra polimer harcını veya betonu, mikserden hemen çıkarılmalı, mikserde yapışan harç veya beton acilen temizlenmelidir.

Taze polimer harcını ve betonu, normal harç ve betona benzer şekilde yerleştirilir. Kalıba döküm işleminden sonra, yüzey malayla düzeltilmeli, yerinde döküm uygulamalarında, harcın ve betonun yüzeyindeki nem uzaklaştırılmalıdır. Bu işlem nemin, harcın ve betonun adezyonuna etkisi kalmayınca kadar sürdürülmeli, yüzeylerin nem oranı, % 8-% 10'dan az olmalıdır. Nem ölçümü için, yüksek frekanslı bir nem ölçer kullanılır. Ayrıca, kuru yüzeylere fırça veya spreyle reaksiyon başlatıcılar uygulanır. Bir defada yerleştirilen polimer betonunun kalınlığı, bağlayıcı cinsine, sertleşme sırasında çıkan ısı enerjisi miktarına ve ortam sıcaklığına bağlıdır. Arzu edilen kalınlık genelde 5-10 cm dir, en büyük kalınlık ise 30 cm dir. Kalınlık bu değeri aşarsa, bu durum ısı birikiminden dolayı çatlakların oluşmasına yol açabilir. Polimer betonu,

çimento betonu için kullanılan vibratörlerle kullanılarak, hızlı bir şekilde yerleştirilir. Yerleştirilen betonun yüzeyi, mala veya küçük kürekler kullanılarak düzeltilir.

Polimer harcının ve betonunun yerleştirilmesi, 0-50 °C arasındaki sıcaklıklarda gerçekleştirilir. Bir istisna olarak, metil metakrilat esaslı bağlayıcı kullanılırsa, -20 ve -25 °C arasında da yerleştirme yapılabilir. Polimer harcı ve betonu uygulamalarında, genelde polimerizasyon ve kür işlemleri, bir reaksiyon başlatıcı ve teşvik edici sistem yardımı ile yapılır. Polimer harcı ve betonu ya ortam sıcaklığına, ya artı bir ısı kürüne, ya da her ikisine birden maruz bırakılır. Üretim sırasında, ekonomi ve performans arasında iyi bir denge kurulmalı ve maliyet azaltılmalıdır (Ohama ve Chandra, 1994).

Polimer betonu basınç, vibrasyon, merkezkaç kuvveti yardımıyla veya merdanelerle sıkıştırılarak kalıba yerleştirilir. Pratikte vibrasyon tercih edilir. Bu işlem sırasında vibrasyon uzun süreli uygulanırsa, polimer betonunun daha iyi sıkışacağı ve böylece ürünün kalitesinin daha iyi olacağı kanısı yanlıştır, uzun süreli vibrasyon iyi değildir, çünkü vibrasyon sırasında ağırlığı fazla olan iri daneler, daha hafif olan ince danelerden daha hızlı aşağı çöker, bağlayıcı düzensiz bir dağılım gösterir, bu nedenle kesit boyunca bir tabakalaşma olur. Bu durum kütlede deformasyonlara neden olur, büyük boyutlu ürünlerde bu tehlike daha fazladır (Rao, 1992).

2.3 Polimer Emdirilmiş Harç ve Beton

Polimer emdirilmiş betonda, önceden dökülmüş betona polimer emdirilmektedir. Betonun kılcal boşluklarına kadar giren polimer, bu boşluklarda polimerize olmakta ve böylece geçirimsiz, yüksek dayanımlı polimer betonları elde edilmektedir.

Bu avantajlarına karşı, polimer emdirilmiş harç ve beton, yapı malzemesi olarak fazla kullanılmamaktadır. Bunun nedenleri aşağıda sıralanmıştır:

1. Üretim teknolojileri karmaşıktır. Ayrıca, harcın ve betonun kurummasında ve polimerizasyonda büyük miktarda ısı enerjisi tüketilir ve bu yüzden maliyetleri oldukça yüksektir.

2. Polimer emdirilmiş harcın ve betonun kalite kontrolleri zordur, yapısal uygulamalarda güvenilirlikleri zayıftır.

Polimer emdirilmiş harç ve beton, Amerika Birleşik Devletleri ve diğer ülkelerde büyük miktarda üretilmemektedir (Doğu, 1993).

2.4 Polimer Katkılı Harcın ve Betonun Özellikleri

Polimer katkılı harcın ve betonun özellikleri, polimerin tipine, polimer-çimento oranına, su-çimento oranına, boşluk oranına ve kür koşullarına bağlıdır. Bu deneysel çalışmada lateks (sentetik kauçuk esaslı polimer) kullanıldığı için, aşağıda bu malzemenin katkı maddesi olarak kullanıldığı polimer betonları hakkında açıklama yapılmıştır.

2.4.1 Polimer Lateksleri Kullanılarak Üretilen Harç ve Betonun Özellikleri

Polimer katkılı harcın ve betonun işlenebilirliği, bir başka deyişle akıcılığı, genelde su-çimento oranının ve polimer-çimento oranının artışıyla artar. Sıvı reçine katkılı polimer betonlarının işlenebilirlikleri ise düşüktür. Polimer katkılı betonun çökmesi, polimer-çimento oranının ve su-çimento oranının artmasıyla artar. Bu durum, mukavemet gelişiminde ve rötre azalısında etkili olur.

Polimer katkılı harcın ve betonun su tutma kabiliyeti, normal harcın ve betonunkinden üstündür.

Bu durumun sebebi, su geçirmez polimer film tabakasının suyun buharlaşmasını engellemesidir. Bu yüzden, çimento hidrasyonu için gerekli su miktarı harcın ve betonun içinde tutulur ve polimer katkılı sistemlerin çoğunda ıslak küre veya su kürüne kuru kür tercih edilir.

Polimer katkılı harcın ve betonun prizi genel olarak, normal harcın ve betonun prizine göre daha geç gerçekleşir. Bu duruma, kullanılan polimerin tipi ve polimer-çimento oranı da etkimektedir, bu gecikme uygulamalarda sıkıntıya yol açmaz (Ohama ve Chandra, 1994).

Polimer katkılı harcın ve betonun, normal harç ve betonla karşılaştırıldığında, çekme ve eğilme dayanımı daha yüksek çıkmasına rağmen, basınç dayanımı aynı kalmaktadır. (Doğu, 1993). Suda

çözünen polimerlerin katılmasıyla, çekme, eğilme ve basınç dayanımları azalmaya başlar (Ohama ve Chandra, 1994).

Ohama, polimer katkılı harcın basınç dayanımını tahmin etmek için 2.8 ve 2.9 eşitliklerini, polimer betonunun basınç dayanımını tahmin etmek için ise 2.10 ve 2.11 eşitliklerini önermiştir. Bağıntılarda, α , bağlayıcı-boşluk oranını, β ise boşluk-bağlayıcı oranını gösteren katsayılardır.

$$\log \sigma_c = (A/B^\beta) + C \quad (2.8)$$

veya

$$\sigma_c = (A/B^\beta) + C \quad (2.9)$$

$$\sigma_c = a\alpha + b \quad (2.10)$$

σ_c , polimer katkılı harcın ve betonun basınç mukavemetidir.

$$\beta = 1/\alpha = (V_a + V_w)/(V_c + V_p) \quad (2.11)$$

2.11 denkleminde gösterilen, V_c çimentonun, V_p polimerin, V_a havanın, V_w suyun hacmidir. A, B, C, a ve b ise ampirik sabitlerdir.

Polimer katkılı harcın ve betonun optimum mukavemetinin, önce ıslak koşullarda çimento hidratasyonunun meydana gelmesiyle, daha sonra da kuru koşullar altında numunelerin bekletilmesiyle elde edilebileceği görülür. Böylece, polimer latekslerinin birbirine kaynaştığı bir polimer tabakası oluşur. Büyük boyutlu polimer katkılı betonlarda, ıslak külden sonra uzun süreli kuru kür basınç mukavemetini en az iki kat artırır.

Polimerlerin elastisite modülü, 1 ile 10000 N/mm² gibi düşük değerlerde olduğundan, polimer harcının veya betonunun elastisite modülü de 10000 ile 30000 N/mm² arasında değerler alır., Polimer katkılı harcın ve betonun duktilitesi, normal harç ve betona göre büyük ölçüde farklı olabilir. Polimer tipine ve polimer-çimento oranına bağlı olarak normal harç ve betondan daha fazla duktilite ve uzama gösterir, polimer-çimento oranının artışıyla, poisson oranı da değişir.

Polimer katkılı harcın ve betonun rötresi genel olarak, polimer-çimento oranının artışıyla azalır. Polimer katkılı harcın ve betonun sünmesi, normal harç ve betonunkinden daha küçüktür.

Polimer katkılı harcın ve betonun ısıl genişleme katsayısı yaklaşık $9-10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 'dir ve bu değer kullanılan agregadan doğrudan etkilenmektedir. Bu durum, normal harç ve betonla benzerlik göstermektedir.

Polimer katkılı harç ve beton, sürekli polimer filmleri veya polimerler tarafından doldurulmuş geniş gözeneklerden oluşan bir yapıya sahiptir. Genelde, polimerlerle doldurulmuş gözeneklerin sayısı, polimer-çimento oranının veya polimer hacminin artmasıyla artar. Bu durum, su geçirgenliği, su buharı iletimi, su emme gibi özelliklerdeki azalış ile kendini gösterir. Genelde, su emme ve su geçirgenliği, polimer-çimento oranının artışıyla azalır.

Bu tip harç ve betonlarda, klorür difüzyonuna karşı direnç, polimer-çimento oranının artışıyla, artma eğilimi gösterir. Kullanılan polimer nedeniyle, nem, su, CO_2 ve O_2 gibi gazların geçirimsizliği azalmaktadır. Polimer katkılı harcın ve betonun CO_2 gazı geçirimsizliği ve karbonatlaşma derinliği, maruz kaldığı zamandaki koşullara ve kullanılan polimer tipine bağlı olarak, polimer-çimento oranındaki artışla birlikte azalmaktadır. Karbonatlaşma derinliği, betonarmedeki donatıların korozyonunu etkileyen önemli bir faktördür.

Polimer katkılı harcın ve betonun bir özelliği de, adezyonunun yüksek olmasıdır. Normal harç, beton, taş, seramik, metal, ahşap ve tuğla gibi çeşitli maddelerle adezyonundaki artış, polimerlerdeki yüksek yapışma yeteneğinin bir göstergesidir. Adezyon özelliği, genellikle polimer-çimento oranından etkilenir.

Polimer katkılı harcın ve betonun çarpma etkisine karşı dayanımı, normal harcın ve betonun çarpma dayanımından çok yüksektir. Çarpma etkisine karşı dayanım, polimer-çimento oranının artışıyla artar. Darbe dayanımı, kullanılan deney metoduna göre de değişiklik gösterebilir. Elastomerlerle üretilmiş polimer katkılı harçların darbelere karşı dayanımı, termoplastik reçine katkılı harçlara göre üst seviyededir. Bu betonların aşınma dayanımı, kullanılan polimer tipine, polimer-çimento oranına ve aşınma koşullarına bağlıdır ve polimer-çimento oranındaki artışla birlikte epey yükselmektedir.

Kimyasal etkilere karşı dayanıklılık, kullanılan polimerlerin ve etki eden kimyasalların özelliklerine, polimer-çimento oranına bağlıdır. Çoğu polimer katkılı harç ve beton, inorganik

veya organik asitlerden ve sülfatlardan zarar görür, fakat tuzlara karşı dayanıklıdırlar. Polimer betonlarının dayanıklılığı, yağlara karşı iyi, fakat organik solventlere karşı kötüdür.

Polimer katkılı harcın ve betonun dayanımı sıcaklıktan etkilenir, çünkü polimerler, özellikle termoplastik polimerler sıcaktan etkilenirler. Polimer katkılı harcın mukavemeti, genellikle sıcaklığın artışıyla birlikte hızla azalır. Polimer katkılı harçların çoğu, 50 °C' yi aşan sıcaklıklarda, mukavemetlerinin yarısını veya daha fazlasını kaybederler. Polimer katkılı harç ve beton'daki polimerler, 150 °C ve üstü sıcaklıklarda ayrışırlar. bu nedenle polimer katkılı harç ve betonun maksimum sıcaklık limitinin yaklaşık 150 °C olduğu kabul edilir.

Polimer katkılı harç ve beton, normal harç ve betona göre donma ve çözülme etkisine karşı iyi bir dayanıklılık gösterir, bu özelliğiyle çimento harcı ve betonundan daha üstün niteliklidir, ancak polimer-çimento oranının artışı, donma etkisine karşı dayanıklılıkta bir artış sağlamaz. Donma etkisi nedeniyle numunelerde genleşme olur, dinamik elastisite modülü azalır.

Uzun süre dış ortam koşullarına maruz kalan elemanlarda, donma ve karbonatlaşma meydana gelmektedir. Polimer katkılı harcın havanın aşındırma etkisine karşı dayanımı normal harç ve betona göre yüksektir. Çoğu polimer betonunun, ılımlı hava koşullarındaki servis ömrü 20 yıl ve daha fazladır (Ohama ve Chandra,1994).

2.4.2 Polimer Harcı ve Betonunun Özellikleri

Bu polimer betonlarında, bağlayıcı olarak sadece polimerler kullanılır. Bu nedenle özellikleri gelişmiştir. Taze ve sertleşmiş polimer harcı ve betonunun özellikleri, diğer polimer betonlarında olduğu gibi polimer bağlayıcının tipine, karışım oranlarına ve kür koşullarına bağlıdır.

Polimer harcının ve betonunun işlenebilirliği, normal harç ve betondan daha kötüdür. Bu durum, polimer harcı ve betonundaki polimer bağlayıcıların yüksek viskoziteye sahip olmasından ileri gelir. Polimetil metakrilat (PMMA) veya düşük viskoziteye sahip metil metakrilat monomeri, normal harç veya betonla hemen hemen aynı işlenebilirliğe sahiptir, ancak pota ömrü genelde kısadır.

Polimer harcının ve betonunun, ortam sıcaklığındaki sertleşme süresi ve pota ömrü, polimer bağlayıcıya uygun sertleştiriciler ilave edilerek, kontrol edilebilir., Polimer harcı ve betonunun sertleşmesi, normal harç ve betonla karşılaştırıldığında genellikle hızlıdır, bu özellik bir avantajdır, çünkü kullanılan kalıplar, yerleştirme işleminden bir ile üç saat sonra sökülebilir. Bunların bünyesinde bulunan polimer bağlayıcıların viskozitesi yüksek olduğundan, segregasyona karşı direnci yüksektir. Sadece PMMA katkılıların viskozitesi düşüktür ve bu genel özelliğe uymaz.

Polimer harcının veya betonunun, rötresi normal harcın ve betonun rötresinin yaklaşık beş veya on katıdır, bu durum uygulamada dikkate alınmalı, gerekirse, rötreyi azaltmak için çeşitli maddeler katılmalıdır. Bu maddeleri kullanırken polimer bağlayıcının tipine, yerleştirme işlemine dikkat edilmelidir.

Polimer bağlayıcılar yüksek mukavemete ve agregaya iyi yapışma özelliklerine sahiptir, bu nedenle normal harç ve betona göre kısa sürede yüksek mukavemete ulaşır. Bu betonların mukavemeti, agregaların mukavemetine bağlıdır. Agregaların nem hacmi, % 0,5-% 1'i aşarsa polimer harcının ve betonunun mukavemetinde azalma olur, bu nedenle, agregaların nem oranına dikkat edilmelidir. Polimer harcının ve betonunun mukavemet özelliklerini korumak için, maksimum sıcaklık limiti, polimer bağlayıcıların ısısız ayrışmaları dikkate alınarak belirlenir. Uygulamada, bağlayıcı tipine bakılmaksızın maksimum sıcaklık limitinin yaklaşık 50 °C olması gerektiği bulunmuştur. Polimer bağlayıcılarla üretilen polimer harcı ve betonunu, 0 °C altında yerleştirmek veya sertleşmesini sağlamak zordur. İstisna olarak metil metakrilat bazlı bağlayıcılar kullanılarak üretilen PMMA harcı veya betonu – 20 °C'de yerleştikten bir saat sonra 50 N/mm² değerinde bir basınç mukavemetine ulaşır.

Bu betonlarda, gerilme-şekil değiştirme eğrisi, maksimum gerilmelere kadar lineer davranış gösterir. Gerilmeler sıcaklıktan etkilenir, elastisite modülü, normal harç ve betonun elastisite modülüne eşit veya biraz daha azdır. Bu betonun sünmesi, polimer bağlayıcının tipine, hacmine ve sıcaklığa bağlıdır, oda koşullarında normal harç ve betonun sünmesine yaklaşık eşittir. Büyük oranda polimer bağlayıcıların kullanıldığı polimer harçları ve betonları hariç, ısısız genişleme katsayıları yaklaşık $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ dir. Bu katsayı çimento harcı ve betonuyla eşittir. Polimer

harcının ve betonunun deformasyon özellikleri, kullanılan polimer bağlayıcının viskoelastik davranışından etkilenebilir.

Bunlar geçirimsiz bir yapıya sahiptir, su, hava, nem ve gaz difüzyonuna karşı mükemmel bir geçirimsizlik gösterirler, dolayısı ile donma-çözülme etkisine karşı dayanıklılıkları iyidir. Su geçirimsiz olduklarından, genel olarak kimyasal etkilere karşı dayanıklıdırlar. Bu özellik, polimer bağlayıcıların yapısına ve miktarına, agregaların özelliklerine ve kullanılan kimyasallara bağlıdır. Ayrıca, aşınmaya ve darbelere karşı dayanıklılıkları ve yalıtım özellikleri de iyidir. Bunların çeşitli yapı malzemelerine yapışma özelliği yüksektir.

Polimer bağlayıcılar, yanıcı olduklarından, yanma etkisine karşı düşük dayanıklılık gösterirler. Bu dezavantajı gidermek için, minimum oranda bağlayıcı kullanılır ve yanmayı geciktirici maddeler katılır.

Polimer betonunun hava koşullarına karşı dayanıklılığının genelde düşük olduğu kanısı tam doğru değildir, çünkü çoğu polimer harcının ve poliester betonunun dış ortamlardaki basınç mukavemetleri bir sene sonra sabit hale gelmektedir. Bunların, ılımlı ortam koşullarındaki servis süresinin yirmi yıl veya daha fazla olduğu düşünülür (Ohama ve Chandra, 1994).

2.4.3 Polimer Emdirilmiş Harç ve Betonlar

Polimer emdirilmiş harç ve beton, normal harç ve betona çok benzerdir. Bunlar polimerle güçlendirilmiş bir yapıya sahip olduklarından, özellikleri emdirilen polimer miktarıyla değişir. Bunların mekanik, fiziksel özellikleri ve dayanıklılığı diğer polimer betonlarına benzerdir.

Örneğin, 1960'lı yılların sonunda, polimer emdirme tekniği uygulanarak, basınç mukavemeti 200-280 N/mm² arasında değişen yüksek mukavemetli betonlar üretilmiştir (Doğu, 1993).

3. KOROZYON

3.1 Çeliğin Korozyonu

Korozyon, metallerin buldukları ortamda, kimyasal veya elektro-kimyasal reaksiyonlar sonucu bozulması olarak tanımlanır. Metaller doğada bileşik halde bulduklarından, teknolojik amaçla üretilen metallerin veya alaşımların tekrar eski bileşik haline dönme eğilimleri bulunmaktadır. Metaller, içinde buldukları ortamın elemanları ile reaksiyona girerek iyon hale geldikten sonra, ortam içindeki başka elementlerle birleşerek bileşik haline dönmeye çalışırlar, yani uğradıkları kimyasal değişim sonucu bozunurlar. (Çakır, 1984, 1994; Şengil, 1992).

Atmosfer etkisinde kalan demir yüzeyinde oluşan korozyon ürününün hacmi, demirin hacminin 1-6 katı kadardır. Bu hacim artışı betonarme elemanda donatıda oluşursa, betonda çeliğe paralel çatlaklar oluşur. Donatılardaki korozyonu atmosfer etkileri hızlandırmaktadır (Yüzer, 1998).

Korozyon, çevrenin elektro-kimyasal etkisi ile oluşan ve özellikle metallerde önemli hale gelen malzeme kaybı olarak tanımlanmaktadır (Onaran, 1991). Korozyon, metallerin elektron kaybederek oksitlenmeleri ve metalin metal iyonuna dönüşmesi olarak da bilinmektedir. Herhangi bir metal sulu bir çözeltiye batırılırsa, çözelti ve metal arayüzünde elektriksel yük dengesizliği oluşacaktır. Bu durum, çözelti içindeki iyonların dağılımını değiştirir. Arayüzdeki küçük bir potansiyel değişimi, metal ve çözelti arasındaki elektron alışverişini kolaylaştırır. Bu reaksiyonlara elektro-kimyasal reaksiyonlar denir (Çakır, 1984). Elektron alışverişi aynı zamanda gerçekleşen oksidasyon ve redüksiyon reaksiyonlarından oluşur. Metalin sulu ortamda elektron kaybederek katyona dönüşmesine oksidasyon veya anot reaksiyonu adı verilir. Elektron kaybeden metale anot adı verilir. Katot reaksiyonu adı verilen redüksiyon ise ortaya çıkan elektronların 3.1 ve 3.2 denklemlerinde gösterilen reaksiyonlardaki gibi sarfedilmesidir (Yüzer, 1998).



Anot hale gelmiş bir metalde malzeme kaybı oluşur. Korozyonun oluşması için, katot ve anotun elektriksel akım geçişini sağlayacak bir iletkenle birbirine bağlanmış olmaları ve anottan ayrılan elektronların katoda iletilmesi gerekir (Akman, 1992).

Birisi aktif öbürü daha az aktif iki metalin birbiriyle teması sonucu aktif metal çözünür. Bu durumda elektron kaybeden metal anot, elektron alan metal katot olur (Yüzer, 1998).

Yapılarda en çok kullanılan metal olan çelik, korozyona karşı dayanıksızdır. Hatta, aynı çelik çubuk üzerinde bile korozyon gerçekleşebilir. Çelik üzerindeki anot ve katot bölgeleri birbirine çok yakınsa ve bu bölgelerin yeri değişebiliyorsa, bu korozyon tipine mikroskopik korozyon adı verilir. Bu durumda aynı çelik üzerinde anot ve katot bölgesi oluşmaktadır. Anot ve katot bölgeleri birbirinden ayrı yerlerdeyse ve sabitlerse, bu durumda oluşan korozyona makroskobik korozyon adı verilir. Bu tipte reaksiyon aynı metal üzerinde olabileceği gibi, birbirine bir iletkenle bağlanmış iki farklı metal üzerinde de olabilir (Hope v.d., 1986).

3.1.1 Korozyonu Etkileyen Faktörler

Beton, koruyucu özelliği nedeniyle içindeki donatıyı korozyondan korumasına karşın, betonarme yapılarda donatı korozyonuna neden olan faktörler şöyle sıralanabilir (Patodiya, 1991).

Betonun iyi yerleştirilmemiş olmaması, kürünün yapılmaması, pas payının düşük olması, çimento miktarının az oluşu, ortamın zararlı etkileri, betonun yaşı, betonun üniform olmaması gibi nedenler korozyonu oluşturabilir.

Beton üretildikten sonra çeşitli nedenlerle çatlar. Böylece donatı korozyonuna yol açacak zararlı etkenler betonun içine nüfuz edebilir (Akman, 1992). Donatıyı korozyona karşı koruyan betonun alkalitesi karbonatlaşma nedeniyle düşebilir.

3.1.1.1 Karbonatlaşma

Betonun içindeki hidrate olmuş çimentonun içerdiği Ca(OH)_2 zamanla havadaki CO_2 ile reaksiyona girerek, CaCO_3 'e dönüşür ve bu durum betonun 12 civarında olan pH'ını düşürür (Akman, 1992). Bu yüzden betonun pasivasyon özelliği kaybolur. CO_2 konsantrasyonu arttıkça karbonatlaşma oranı artmaktadır (Neville, 1992). Karbonatlaşma derinliğinin birkaç mm ile

sınırlı olduğu bilinmesine rağmen, kusurlu betonlarda karbonatlaşma derinliği 10 cm'den de fazla olabilir (Yüzer, 1998).

Karbonatlaşma olayı ekzotermik bir reaksiyondur. CaOH_2 , CaCO_3 'e dönüşürken, ağırlığı %35, hacmi ise %11,8 oranında artar. Bu hacim artışı sonucu oluşan ürün iç boşlukları kapatarak, CO_2 gazına karşı ortamı daha az geçirimli kılar. Bu nedenle karbonatlaşma yavaşlar veya sona erer (Yüzer, 1998).

Karbonatlaşma derinliği, zamanın karekökünün bir fonksiyonu olarak tahmin edilebilir. Karbonatlaşma derinliği, CO_2 difüzyonundan başka, su-çimento oranı, betonun basınç dayanımı, kullanılan bağlayıcının tipi ve miktarı, başlangıçtaki serbest kireç miktarı, ortamın bağıl nemi ve sıcaklığı gibi faktörlerden etkilenmektedir. (Yüzer, 1998). Karbonatlaşma derinliğinin su/çimento oranı ile arttığı deneysel çalışmalarla kanıtlanmıştır (Takagi, 1991; Roper ve Baweja, 1991; Hobbs, 1994). Basınç dayanımının artması ise karbonatlaşma derinliğini azaltmaktadır (Yüzer, 1998).

Karbonatlaşma olayında bağıl nem çok önemlidir. %100 nemde ve %25'in altındaki nemde karbonatlaşma gerçekleşmez. Çimento pastası içindeki boşluklarda suyun az olması, CO_2 'nin karbonik asite dönüşmesini engeller. %100 nem olursa, boşluklar tamamen su ile dolu olacağından, CO_2 'in çimento pastası içinde ilerleyişi yavaşlar (Neville, 1992). Betona puzolan malzeme katılması ve ortamda Cl^- iyonlarının bulunması karbonatlaşmayı hızlandırır ve karbonatlaşma derinliğini artırır (Yüzer, 1998).

Normal şartlar altında üretilmiş, iyi yerleştirilmiş ve iyi kür edilmiş, boşluksuz ve yeterli pas payına sahip betonarme elemanda beton, donatıyı karbonatlaşma nedeniyle oluşabilecek korozyona karşı koruyacaktır (Yüzer, 1998).

3.1.1.2 Betonda Klorür

Donatı korozyonuna yol açan diğer bir sebep te klorür iyonlarıdır. Bu iyonlar betona dış ortamdan girebileceği gibi, beton üretiminde kullanılmış malzemelerle de girebilir. Klorür iyonlarının dışarıdan difüzyonu için, deniz suyu veya diğer çözeltilerin beton ile temas etmesi

gerekir (Yüzer, 1998). Betonarme yapılarda hasarlara yol açan klorür iyonları serbest haldedir. Yani, bağlanmamış veya adsorbe edilmemiş haldedirler (Haque ve Kayyali, 1995).

Klorür bulaşmış betonlarda, korozyonun şiddetli olduğu yerlerde oluşan çukurcuklar, donatının kesitini küçülterek betonarme yapının mekanik yönden zayıflamasına neden olur (Yüzer, 1998).

Standartlarda, beton içindeki çeliğin korozyonuna neden olan klorür miktarı, 1 m³ betonda kg (0.6-0.9 kg/m³) olarak verilmiştir.

Korozyondan korunmak için, çatlak genişlikleri 0.3-0.5 mm arasında tutulmalı, yeterli pas payı ve beton kalitesi sağlanmalıdır (Hartl ve Lukas, 1987; Keller ve Menn, 1993; Schiessl ve Raupach, 1997).

Betonların klorür iyonları geçirimsizliğini tayin etmek için kullanılan yöntemler iki ana grupta toplanır. Bu ana gruplardan biri difüzyon yöntemi, diğeri elektriksel iletkenlik ölçmeye yarayan yöntemlerdir. Difüzyonu esas alan deneylerde iyon konsantrasyon farkı oluşturularak, betonu kateden klorür iyon miktarı belirlenir. Uzun zaman alan bu deneyler uygulamaya yönelik değildir. Bu deneyler sonuçlarından difüzyon katsayısı hesaplanabilir. Elektriksel iletkenliği esas alan deneyler daha hızlıdır, fakat bu deneyler sonucunda sayısal değerlendirmeler yapılamaz, niteliksel değerlendirmeler yapılabilir (Akman ve Erdinç, 1997).

Korozyon deneyleri, agresif ortamın bulunduğu doğal çevrede veya laboratuvarında yapılır.

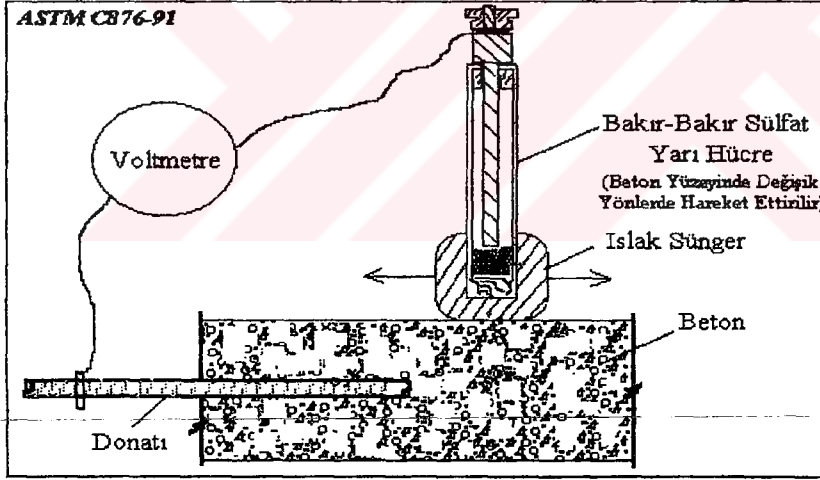
Korozyon hasarı gözlem sonucu kalitatif olarak veya paslanma miktarı yani penetrasyon derinliği ölçülerek değerlendirilir (Akman, 1992).

Korozyonun tespiti için kullanılan yöntemlerden biri de gözlemsel metodlardır. Bu metod tahribatsız olduğu için donatıdaki değişiklikler doğrudan belirlenemez; pas lekeleri, çatlamlar, parça atmalar gibi belirtilerin ortaya çıkmasından sonra korozyondan şüphelenilir. Fakat bu durumda korozyon önemli derecede ilerlemiş olabilir (Yüzer, 1998).

Yapıların korozyona uğrama ihtimalinin çok arttığı aktif bölgelerin gösterildiği potansiyel haritalarından da çok sık yararlanılmaktadır. Bu deney metodu, donatı çeliğinin korozyon

aktivitesini belirlemek için yerinde veya laboratuvarında donatının elektriksel yarı hücre potansiyelinin belirlenmesini amaçlar (Liam vd., 1992; Khan, 1991). Bu yöntemde korozyon potansiyeli ölçülür. Referans elektrotu beton yüzeyine değdirilir, beton içindeki çelik çubuk ile referans elektrotu arasında meydana gelen potansiyel farkı, yüksek empedanslı bir voltmetre ile ölçülür. Betonun elektriksel direnci yüksek olduğundan, iletkenliği sağlamak amacı ile referans elektrot ile beton arasına özel bir sıvı ile nemlendirilmiş sünger konulur. Bu metod donatı üzerindeki beton kalınlığını dikkate almaz, beton elemanın herhangi bir servis süresinde kullanılabilir. Referans elektrotu olarak en fazla kullanılanlar bakır-bakır sülfat, gümüş-gümüş klorür veya kalomel elektrotudur.

Betonarme yapılarda, korozyon hızının ölçümü için yapılan çeşitli deneyler vardır. Bunlardan biri de, penetrasyon derinliğinin belirlendiği ağırlık kaybını esas alan deneylerdir.



Şekil 3.1 Bakır-bakır sülfat yarı hücre devresi (ASTM C 876)

Yapılan bu deneysel çalışmada, donatı korozyonunun beton yüzeyinde oluşturduğu çatlakın süresi esas alınarak, sabit gerilimin uygulandığı hızlandırılmış korozyon deneyi numunelere uygulanmıştır.

Donatı korozyonunun en belirgin sonucu beton örtünün çatlamasıdır ve korozyon başlangıç süresi için esas alınan önemli parametrelerden biridir (Yüzer, 1998).

4. POLİMER BETONU ve HARCILYLA YAPILARIN ONARIMI ve GÜÇLENDİRİLMESİ

Yapılarda deprem, korozyon gibi çeşitli nedenlerden dolayı hasarlar oluşabilir. Bu tür yapıların onarım ve güçlendirilmesinde, hasar görmüş yapı ya da yapı elemanının dayanımı, ya hasar öncesi düzeye getirilir ya da hasar öncesine göre daha yüksek bir dayanıma sahip olması sağlanır. Genellikle yapıyı hasar öncesi dayanım düzeyine getirmek onarım, hasar öncesine göre daha yüksek bir dayanım düzeyine getirmek ise güçlendirme olarak nitelendirilir. Hasarlı yapıların onarım ve güçlendirilmesinde polimer harcı ve/veya polimer betonu kullanılır. Bu işlemlerde en yaygın kullanılan polimerler epoksilerdir.

Tamir amacıyla kullanılan epoksi tamir harçları, iki veya üç bileşenden oluşan malzemelerdir. Bu bileşenler epoksi reçinesi, sertleştirici, granülometrisi özel kuvarz kumudur. Bunların çatlak enjeksiyonunda ve tamir işlerinde kullanılan tipleri de vardır. Epoksi tamir harçları filler katkılıdır. Epoksi reçinelerinden betona, çeliğe iyi yapışması, küre gerektirmemesi, rutubetten dolayı özelliklerini yitirmemesi, çok az rötreye yapması, yüksek mekanik mukavemete sahip olması beklenir. Epoksi reçineleri, yapıştırma özellikleri yüksek olan sentetik reçinelerdir, yapışma özelliği, yüzeylerin pürüzlülüğü ile artar, çatlağın her iki yüzünü birbirine bağlar ve gerilme birikimlerini engeller. Çekme gerilmeleri 5-11 N/mm² arasında, kopma birim uzamaları ise % 15 ile % 50 arasında değişmektedir, bu reçinelere polisülfid eklenmesi ile daha elastik bir yapıştırıcı elde edilir, bunların çekme dayanımları, 20 N/mm²'ye kadar çıkmaktadır. Epoksi reçinelerin, yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklılığı azdır, suya ve aside karşı iyi direnç gösterirler.

Tasai ve Akino (1991) tarafından, epoksi reçinesi ve harcının, onarım işlerindeki etkinliğini belirlemek için 15×15×40 mm boyutlu numunelerde yapılan mekanik deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Burada epoksinin basınç dayanımı 70-80 N/mm² arasında değişmekte, çekme dayanımı da 30 N/mm² olabilmektedir.

Çizelge 4.1 Epoksi reçinesi ve harcının mekanik özellikleri (Tasai ve Akino, 1991)

	Reçine	Harç
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	65	79
Çekme Dayanımı (N/mm ²)	34	29
Basınç Altında Birim Kısalma	0,047	0,022
Basınç Elastisite Modülü (N/mm ²)	2300	7300
Çekme Altında Birim Uzama	—	0,0039

Karışım oranları değiştirilmek sureti ile, epoksi harcı ya da reçinesinin basınç dayanımı, istenilen biçimde değiştirilebilir. Epoksinin elastisite modülünün betona göre daha düşük olması, daha elastik bir malzeme olduğunu gösterir. Sentetik yapıştırıcılar, eski ve yeni beton arasında bağlantı sağlanmasında, yeni betonda delik ve çatlak onarımında kullanılır. Genellikle 5 mm'ye kadar olan çatlaklarda epoksi, daha geniş çatlaklarda dolgu maddesi katılmış epoksi harcı kullanılır (Bayülke, 1999).

Piyasada çimento esaslı, polimer katkılı, silis dumanı içeren onarım harçları da satılmaktadır. Bunlar betonarme binaların, prefabrik yapıların, köprülerin onarımında kullanılır. Bu harçların mekanik özellikleri yüksektir ve donma-çözölmeye karşı dayanıklıdır. Uygulama kalınlığı tek katta 30 mm ye kadar çıkabilir, piyasada sülfatlı sulara karşı dirençli polimer katkılı onarım harçları da bulunmaktadır.

Onarım işlerinde ve çatlakların tamirinde kullanılan epoksi reçine esaslı tamir harçlarının, mekanik dayanımları yüksek olup, kimyasal etkilere, aşınmaya, darbelere karşı oldukça dirençlidir. Bazı epoksi reçine esaslı ve özel kuvarz kumları kombinasyonlu, orta dane büyüklüklü agregalı tamir, yapıştırma, kaplama için kullanılan onarım harçlarının basınç ve eğilme mukavemeti yüksek olup, rötresiz sertleşirler. Bu harçların aşınma ve darbe dirençleri iyi olup, kimyasal etkilere karşı dayanıklıdır. Bunlar beton, sıva, duvar, taş, tahta, demir gibi malzemelerde yapıştırıcı, tamir amacıyla kullanılır. Bunlar ayrıca beton köşelerin hasarlarının tamirinde, aşınmaya karşı koruyucu kaplama harcı olarak da kullanım alanı bulurlar. Köprü taşıyıcı plakaları, makine ayakları, bağlama civataları, ankrajlar, kreyn ray hatları için özel nitelikte ve dane boyutunda agrega içeren kalıplanabilir harçlar ve kendiliğinden yerleşen epoksi

reçine esaslı, onarım kaplama harçları kullanılır. Bunların akışkanlığı yüksektir, genleşme özelliği nedeniyle rötresiz sertleşirler, mekanik mukavemeti yüksek, titreşime karşı dayanıklıdırlar.

Onarım ve güçlendirme işlemlerinde karbon lifleriyle güçlendirilmiş, polimerler de kullanılmaktadır. Bu sistemler ahşap, yığma ve betonarme yapılarda yüklemelerin artması, hasar oluşması ve eskimeler sonucu meydana gelen yapısal değişiklikler nedeniyle ve dizayn ve imalat hatalarının bulunması durumunda kullanılır. Karbon lifleriyle güçlendirilmiş polimerler özetle köprülerde, endüstri yapılarında, titreşimli yapılarda, yaşlanmış yapı elemanlarında, yerleri değiştirilen veya iptal edilen duvar veya kolonlarda, yetersiz yapı boyutlandırılmasında ve yetersiz donatı durumunda, ayrıca ağır makine yüklemelerinin söz konusu olduğu durumlarda, çatlak genişliklerinin azaltılmasında kullanılır. Şeritlerden oluşan bu sistemlerin genişlikleri 50-120 mm arasında, et kalınlıkları da 1.2-1.4 mm olabilir, bunlar, 500 °C üstündeki sıcaklıklara dayanıklıdırlar.

Betonarme yapıların çeşitli nedenlerle hasara uğraması durumunda, tamir malzemesi olarak polimer katkılı harca ve macuna büyük ilgi gösterilmektedir, örneğin Amerika Birleşik Devletleri ve İngiltere'de, hasarlı yapıların tamirinde yılda yaklaşık 60300 m³ polimer katkılı beton kullanılır. Polimer katkılı harç ve beton, klorürün neden olduğu korozyona karşı elemanları korumak için ve hasar görmüş betonarme yapıları tamir etmek için tavsiye edilen düşük maliyetli bir yapı malzemesidir (Ohama ve Chandra, 1994).

Polimer emdirilmiş harç ve beton ise, tuz ve don hasarı görmüş köprü tabliyelerinin onarımında kullanılır (Akman, 1990).

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Polimer katkılı beton ve betonarme numunelerde, eğilme ve basınç mukavemetinin, boy değişiminin, kılcal su emmenin, aşınma ve karbonatlaşma etkisinin, korozyon etkisinin ve korozyon nedeni ile oluşan hasarların onarım sonuçlarının incelendiği bu deneysel çalışma, numunelerin üretimi, kuru, kontrol deneyleri olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Araştırmada ayrıca klorür iyonunun polimer katkılı betonarme numunelerde, donatı korozyonuna etkisi araştırılmıştır. Polimer katkılı beton numunelerin üretiminde iki farklı polimer katkı maddesi olarak kullanılmış, bunların birbirleriyle ve şahit grup ile farklılıkları araştırılmıştır.

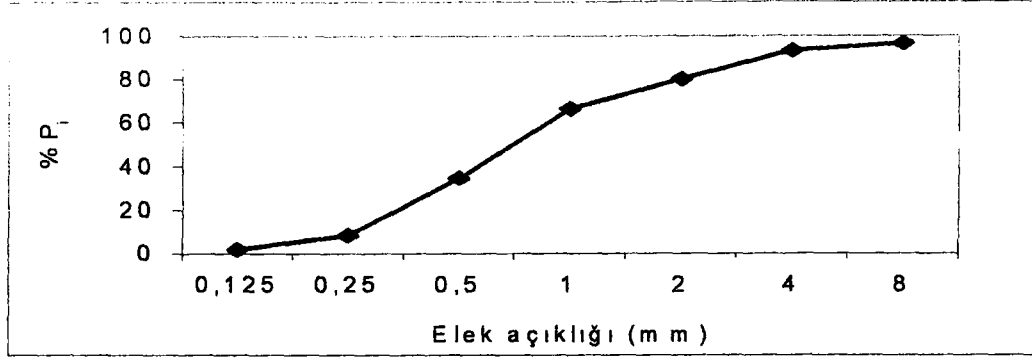
Numunelerin bir kısmının üretiminde karma suyuna klorür çözeltisi katılmasıyla, beton ve betonarme numunelerde klorür etkisi incelenmiştir. Beton numunelerde, üretimden itibaren 28. günde basınç, eğilme, kılcal su emme, birim ağırlık, aşınma, ses geçiş hızı ve karbonatlaşma derinliğinin belirlendiği mekanik, fiziksel ve kimyasal deneyler, betonarme numunelerde, yarı hücre potansiyeli ölçümü, pull-out deneyi ve hızlandırılmış korozyon deneyi yapılmış, çatlama süresi belirlenmiştir. Hızlandırılmış korozyon deneyi ile çatlatılan numuneler polimer katkı çimento hamuru ile onarılmış ve bu numunelere ikinci kez hızlandırılmış korozyon deneyi uygulanmış, çatlama süresi tekrar ölçülmüştür.

5.1 Numune Üretiminde Kullanılan Malzemeler

Beton ve betonarme üretiminde, numunelerin hazırlanmasında kullanılan agrega, çimento, polimer katkılar, tuz, donatı ve sac ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir. Beton üretiminde maksimum dane çapı 8 mm olan ve özellikleri Çizelge 5.1'de, granülometrisi Şekil 5.1'de verilen, Silivri Bölgesi'nden temin edilen silis esaslı kum kullanılmıştır.

Çizelge 5.1 Agreganın Fiziksel Özellikleri

Özellik	Birim ağırlık (kg/dm ³)	Özgül ağırlık (kg/dm ³)	Komposite (%)
	1,04	2,5	41,4



Şekil 5.1 Agreganın granülometrik eğrisi

Çimento

Üretimde kullanılan, AkçanSa Çimento fabrikasından temin edilen PÇ 42,5 çimentosunun özellikleri Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Üretimde kullanılan çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kimyasal özellikler (%)	Portland çimentosu	Standart değerler	Fiziksel özellikler	Portland çimentosu	Standart değerler
Çözünmez kalıntı	0,29	Max 1,5	Özgül ağırlık (g/cm ³)	3,12	
CaO	64,39	Max 5	Hacim sabitliği (mm) *	2	Max 10
SiO ₂ (Toplam)	20,22		Blain (cm ² /g)	3470	Min 2800
Al ₂ O ₃	5,36		Elek gözü (mm)	Elekte kalan (%)	
Fe ₂ O ₃	3,33	Max 0,1	0,045 mm	17	
MgO	1,04	Max 3,5	0,09	2,1	
K ₂ O	0,87	Max 4	0,2	0,4	
Na ₂ O	0,21		Priz başlangıcı (saat)	2,28	Min 1
Cl	0,0332		Priz bitişi (saat)	3,06	Max 10
SO ₃	2,44		Mekanik özellikler	Basınç dayanımı (N/mm²)	
Kızdırma kaybı	1,6		2 (gün)	24	
Toplam	99,49		7 (gün)	41,7	
Serbest CaO	1,50		28 (gün)	52,4	

* Le Chatelier halkası ile belirlenen değerler

Beton üretiminde kullanılan PÇ 42,5 çimentosu ile Çizelge 5.3'te görüldüğü gibi beton üretiminden önce katkısız ve polimer katkıli standarda uygun harç üretilmiş, taze harcın yayılma oranı belirlenmiş, 28. günde eğilme deneyi ve kırılan parçalarda basınç deneyi yapılmıştır. Katkısız numunelerde yayılma oranı % 30, kopolimer dispersiyon katkıli numunelerde % 50, sentetik kauçuk esaslı polimer katkıli numunelerde % 70 bulunmuştur.

Çizelge 5.3 Standart numunelerin ortalama eğilme ve basınç dayanımı

Numune			Eğilme Dayanımı		Basınç Dayanımı	
Kür Koşulları	Özelliği	Kodu	f_e (N/mm ²)	f_{eort} (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	f_{bort} (N/mm ²)
S U D A (S)	Şahit, katkısız	S	6,8	6,8	46,6	44,8
			6,9		42,8	
			6,6		45,0	
	Kopolimer dispersiyon katkıli	A	4,0	3,7	18,3	17,8
			3,9		17,8	
			3,3		17,2	
	Sentetik kauçuk esaslı polimer katkı maddesi katkıli	B	7,6	7,0	33,1	32,7
			7,1		34,1	
			6,4		30,9	

Polimer Katkı Maddeleri ve Donatı Korozyonunu Önleyici Emülsiyon

Polimer katkıli betonların üretiminde, piyasadan temin edilen biri kopolimer dispersiyon esaslı, diğeri sentetik kauçuk esaslı olmak üzere iki farklı polimer katkı maddesi kullanılmıştır. Çizelge 5.4'de verildiği gibi, süt beyaz renkli bir malzeme olan, modifiye edilmiş sentetik reçine dispersiyonunun yoğunluğu 1.08 kg/L, pH değeri 6, içerdiği katkı maddesi oranı % 42 dir. Bu değerler, 23 °C sıcaklık ve % 50 bağıl nem için geçerlidir. Kopolimer dispersiyon ile 10 mm ve daha az kalınlıktaki harcın hazırlanmasında, 1 ölçü çimento ile 3 ölçü kumun karıştırılması, 1 ölçü kopolimer dispersiyona 2 ölçü su eklenerek hazırlanan karma suyunun, önceden hazırlanan

toz karışım üzerine ilave edilmesi ve mala ile karıştırılacak kıvamda harç elde edilmesi önerilmektedir.

Çizelge 5.4 Üretimde kullanılan polimer katkı maddelerinin ve emülsiyonun özellikleri

Malzeme ismi	Renk	Yoğunluğu (kg/L)	pH	Katkı maddesi oranı (%)
Kopolimer dispersiyon	Süt beyaz	1,08	6	42
Sentetik kauçuk esaslı polimer	Beyaz sıvı	1,02	-	-
Korozyondan koruyucu emülsiyon	Renksiz sıvı	1,13	-	-

Sentetik kauçuk esaslı polimer katkı maddesinin ise, 1/1 ile 1/4 oranlarında karışım suyuna katılabileceği ifade edilmektedir. Bu malzemenin özellikleri de, Çizelge 5.4'te gösterilmiştir.

Kullanılan polimer katkı maddelerinin priz süresine etkisi Vicat aleti yardımı ile araştırılmıştır. Bu amaçla deneylerden önce çimentonun yoğurma suyu tayini için gerekli deney yapılmış, suyun çimento ağırlığına oranı 0,28 olarak belirlenmiştir. Priz süresini belirlemek için, su ile polimer katkıları ikameli olarak çimento hamuruna katılmıştır. Sonuç olarak katkısız çimento hamurunun prizi, 140. dakikada başlayıp, 240. dakikada sona ermiştir. Kopolimer dispersiyon katkılı çimento hamurunun prizi 140. dakikada başlamış, 330. dakikada bitmiş, sentetik kauçuk esaslı polimer katkılı çimento hamurunun prizi ise 140. dakikada başlamış ve 340. dakikada bitmiştir.

Betonarme numunelerin üç tanesinin donatılarının üzerine, Çizelge 5.4'te belirtildiği gibi, yoğunluğu 20 °C'de yaklaşık 1,13 kg/L olan korozyondan koruyucu bir malzeme sürülmüştür.

Karma Suyuna Katılan Tuzun Özellikleri

Karma suyuna klorür katılan numunelerin hazırlanmasında kullanılan çözeltilerde, özellikleri Çizelge 5.5'de gösterilen sanayi tipi NaCl tuzu kullanılmıştır.

Çizelge 5.5 Karma suyunda kullanılan sanayi tuzunun özellikleri

Madde-özellik	Oranlar (%)
Sodyum Klorür (NaCl)	99.75-99.76
Kalsiyum (Ca ⁺⁺)	0.01-0.03
Magnezyum (Mg ⁺⁺)	0.01-0.03
Sülfat (SO ₄)	0.02-0.04
Çözünmeyen Maddeler (max)	0.01
Rutubet (H ₂ O)	0.07-0.11
Demir (Fe) (max)	Milyonda bir
Bakır (Cu) (max)	Milyonda bir
Kurşun (Pb)	-
Arsenik (As)	-
Bakteri	-
Mantar	-
pH (% 1'lik Çözelti)	7.0±0.2
Kristal Büyüklüğü (mm)	0.1-1.0

Donatı

Çekip çıkarma deneyi ve deney düzeneği Şekil 5.5'de verilen hızlandırılmış donatı korozyonu deneyi için gerekli olan numunelerin hazırlanmasında, 10 mm çapında inşaat çeliği kullanılmıştır. Bu çeliğin mekanik özellikleri, 350 kN kapasiteli universal çekme aletinin 70 kN'luk skalası kullanılarak belirlenmiştir. Fe 37'ye uygun olduğu görülen donatının özellikleri Çizelge 5.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6 Donatının mekanik ve kimyasal özellikleri (TS 2162)

Mekanik Özellikler				Kimyasal Özellikler				
A. Çapı (mm)	f _{sy} (Mpa)	f _{su} (Mpa)	ε _u (%)	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)
10	294	485	32	0.140	0.132	0.539	0.0097	0.0246

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM VE ARAŞTIRMA BAKANLIĞI
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Sac

Hızlandırılmış donatı korozyonu deneyinde, Şekil 5.5’de görüldüğü gibi numunede katot olarak görev yapacak eleman için 1,2 mm kalınlığında sac kullanılmıştır. Bu malzemenin mekanik özellikleri 100 kN kapasiteli yük kontrollü universal çekme aleti ile, kimyasal özellikleri spektral analizle belirlenmiştir. Fe 37’ye uygun olduğu belirlenen sacın özellikleri Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7 Sacın mekanik ve kimyasal özellikleri (TS 2162)

Mekanik Özellikler				Kimyasal Özellikler				
A. Çapı (mm)	f_{sy} (Mpa)	f_{su} (Mpa)	ϵ_u (%)	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)
1,2	247	367	40	0.087	0.028	0.415	0.0111	0.0121

5.2 Numune Üretimi

Özellikleri yukarıda verilen çimento, agrega ve katkı maddeleri kullanılarak şahit S, kopolimer dispersiyon katkılı A, sentetik kauçuk esaslı polimer katkılı B ve karma suyuna NaCl katılmış olan SCl, ACI ve BCl olmak üzere altı grup beton üretilmiştir. Şahit S olarak adlandırılan katkısız betonun üretiminde agreganın çimentoya oranı 3:1, suyun çimentoya oranı 1:2 alınmıştır. Kopolimer dispersiyon katkılı A ve sentetik polimer katkılı B grupların üretiminde agreganın çimentoya ve suyun çimentoya oranı sabit tutulmuş, polimer katkılar suya 1:3 oranında ikame edilmiştir. Karma suyu olarak Cl⁻ konsantrasyonu 40000 Mg/L olan çözelti ile üretilen SCl, ACI ve BCl gruplarının hazırlanmasında da, kumun çimentoya ve suyun çimentoya oranı sabit tutulmuştur. Her altı grupta 1 m³ taze beton için gerekli olan gerçek malzeme miktarları Çizelge 5.8’de verilmiştir. Beton üretimi 50 litre kapasiteli betonyerde yapılmıştır.

Üretilen beton serilerinden 40×40×160 mm boyutlarında 27 adet prizma, 27 adet 70×70×70 mm boyutlarında küp, 24 adet 25.4×25.4×279.4 mm boyutlarında prizma ve 100/200 mm boyutlarında 12 adet donatılı olmak üzere toplam 90 adet numune üretilmiştir.

Çizelge 5.8 1 m³ taze beton için gerekli olan gerçek malzeme miktarları

Numune Kodu	Birim ağırlık (kg/m ³)	Kum (kg)	Çimento (kg)	Karma Suyu (kg)	Katkı maddesi (kg)	NaCl (kg)
S	2158	1440	480	240	-	-
A	2045	1362	454	150	77	
B	2009	1338	446	147	76	
SCI	2252	1500	500	250	-	16
ACI	2105	1404	468	156	78	15
BCI	1981	1320	440	147	73	14

5.3 Numunelerin Kürü

Beton numuneler, 24 saat sonra kalıptan çıkarılmış, belirlenen gruplara göre sıcaklığı 20±2 °C olan kirece doygun suda ve sıcaklığı 20±4 °C, bağıl nemi % 50±5 olan rüzgarsız laboratuvar ortamında, havada deney yapılacağı güne kadar bekletilmiştir.

Betondaki boy değişiminin araştırılması için üretilen 25.4x25.4x279.4 mm boyutlarındaki prizma numunelerden bir grup Cl⁻ konsantrasyonu 40000 Mg/L olan çözeltide saklanmıştır.

Hızlandırılmış korozyon deneyi için hazırlanan ve karma suyuna NaCl katılarak üretilen betonarme numuneler de, deney yapılacağı güne kadar laboratuvar koşullarında bekletilmiştir. Karma suyuna NaCl katılarak üretilen, SCI grubu betondan hazırlanan hızlandırılmış korozyon deneyi numunelerinden üç tanesinin donatısına üretimden önce emülsiyon sürülmüş, bu maddenin çatlama süresine etkisi araştırılmıştır.

5.4 Kontrol Deneyleri

Bu deneysel çalışmada, taze betonda birim ağırlık ve yayılma deneyleri, sertleşmiş betonda 28. günde eğilme, basınç, ultrases, aşınma, kılcal su emme, birim ağırlık ve su emme deneyleri, karbonatlaşma derinliği ölçümü yapılmıştır. Ayrıca 1., 3., 7., 14., 28., 42., 56., 70., 84., 91., 98., 112. günlerde boy değişimi deneyleri yapılmıştır. Betonarme numunelerde, yarı hücre ölçümleri,

hızlandırılmış korozyon deneyi yapılmış, onarım için kullanılan çimento hamurunun korozyon deneyi ile çatlayan numunelerin çatlaklarına uygulanmasından sonra tekrar hızlandırılmış korozyon deneyi yapılmış ve bu numunelerde çekip çıkarma (pull-out) deneyi yapılmıştır.

5.4.1 Taze Betonda Yapılan Deneyler

Taze betonun üretim aşamasında her üretimde, yayılma ve birim ağırlık deneyleri yapılmış, sonuçlar Çizelge 5.8 ve Çizelge 5.9'da gösterilmiştir.

Yayılma deneyi, sarsma tablasında yapılmıştır. Beton, üst iç çapı 7,0 cm, alt iç çapı 10,0 cm, yüksekliği 5,0 cm olan kesik koni biçimindeki çelik kalıba, üç kademede doldurulmuş, her kademede çelik şişle 25 kez şişleme yapılmış, betonun üst yüzeyi mala ile düzlenmiş, kalıp yavaşça çekildikten sonra sarsma tablası 25 defa düşürülerek betonun yayılması sağlanmış, taze betonun çapı ölçülmüştür. Bu değer, kesik koninin alt çapına oranlanarak, yayılma oranı belirlenmiştir. Birim ağırlık deneyinde 1 litre hacmindeki deney kabı boş iken ve beton yerleştirildikten sonra dolu iken tartılmış, taze betonun ağırlığı belirlenmiş, ağırlık hacme bölünerek birim ağırlık hesaplanmıştır.

Çizelge 5.9 Taze betonda yayılma değerleri

Taze beton özelliği	Numune kodu	Yayılma oranı (%)
Katkısız	S	10
Kopolimer dispersiyon katkılı	A	18
Sentetik kauçuk esaslı polimer katkılı	B	10
Katkısız, karma suyuna klorür katkılı	SC1	20
Kopolimer dispersiyon ve karma suyuna klorür katkılı	AC1	5
Sentetik kauçuk esaslı polimer ve karma suyuna klorür katkılı	BC1	5

5.4.2 Sertleşmiş Betonda Yapılan Deneyler

Sertleşmiş betonda numunelerin üretiminden itibaren 28. günde, 40x40x160 mm boyutlu 3 adet prizmada önce ultrases ölçümü, sonra eğilme deneyi, bunların kırılan parçalarının 3 tanesinde basınç deneyi, diğer 3 parçada ise kılcal su emme, hacimce su emme, ağırlıkça su emme ve birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. 70x70x70 mm boyutlu küp numunelerde de 28. günde aşınma deneyi yapılmış, karbonatlaşma derinliği ölçülmüştür. Boy değişiminin ölçülmesi için üretilen 25,4x25,4x279,4 mm boyutlu numunelerde 1., 3., 7., 14., 28., 42., 56., 70., 84., 91., 98., 112. günlerde boy değişimleri belirlenmiştir. Hızlandırılmış korozyon deneyi için hazırlanan 100/200 mm boyutlarındaki 12 adet silindir numunede, önce yarı hücre potansiyel ölçümü, sonra hızlandırılmış korozyon deneyleri, daha sonra da çekip çıkarma (pull-out) deneyi yapılmıştır. Bu deneyler aşağıda sırası ile verilmiştir.

5.4.2.1 Eğilme Deneyi

Eğilme deneyi, 40x40x160 mm boyutlu numunelerde, 28. günde TS 24'e uygun olarak gerçekleştirilmiş, kırma yükü P_{ke} (N) belirlenmiş, (5.1) eşitliği yardımı ile eğilme dayanımı hesaplanmış, ortalama değerler Çizelge 5.11'de ve Şekil 6.3'te verilmiştir. Üç nokta yüklemesi ile gerçekleştirilen eğilme deneyinde mesnet açıklığı 100 mm'dir.

$$f_{eğ} = M_{max} / W_x \quad (5.1)$$

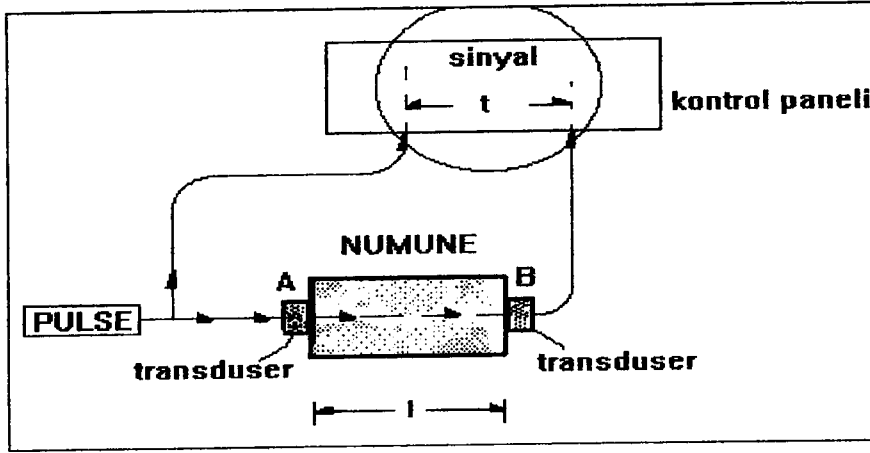
(5.1) eşitliğinde, M_{max} maksimum moment, W_x kesitin mukavemet momentidir. Eğilme deneyinde iki parçaya ayrılan numunenin bir parçasında basınç deneyi, bir parçasında kılcal su emme, hacimce su emme, ağırlıkça su emme ve birim ağırlık deneyleri yapılmıştır.

5.4.2.2 Basınç Deneyi

Beton basınç dayanımı, bütün gruplarda eğilme deneyinde kırılmış olan parçalarda belirlenmiştir. Basınç deneyi, kırılan yarım prizma numuneler, yan yüzeyleri 40x40 mm'lik çelik başlıkların altına konularak 7 ton kapasiteli universal basınç aletinde, 10-20 kgf/cm².s yükleme hızı ile gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımı, f_b , N/mm² hesaplanmış, sonuçlar Çizelge 5.11 ve Şekil 6.4'te verilmiştir.

5.4.2.3 Ultrases Geçiş Süresi Ölçümleri

Üretilen 40×40×160 mm boyutlu prizma numunelerde, ASTM C 597-BS1881'e uygun, 0.1 μs



Şekil 5.2 Ultrasonik yöntemle ses geçiş süresinin belirlenmesi

duyarlıklı ultrases aleti ile ses geçiş süreleri ölçülmüştür. Ölçüm yapılırken, numunelerin alt ve üst yüzeylerine vazelin sürülmüş, 55 kHz'lik frekanslı ses dalgaları gönderen ve alan iki transduser bu yüzeylere yerleştirilmiş, ses geçiş süreleri ölçülmüştür. Bu değerlerden ses geçiş hızı hesaplanmıştır. Deneyin yapılışı Şekil 5.2'de gösterilmiştir.

$$V=l/t \quad (5.2)$$

Burada V mm/μs cinsinden ses geçiş hızını, l mm cinsinden numunenin boyunu, t μs cinsinden ses geçiş süresini göstermektedir. Deney sonuçları Çizelge 5.12 ve Şekil 6.5'de gösterilmiştir.

5.4.2.4 Aşınma Deneyi

Üretimden sonra, 28. günde 70×70×70 mm boyutlu küp numuneler, 105±5 °C sıcaklıktaki etüvde değişmez ağırlığa kadar kurutulmuş, desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulmuş, kuru ağırlık, W_k belirlendikten sonra aşınma deneyi yapılmıştır. Aşındırma yükünün 250 g olduğu Taber aletinde, aşındırıcı olarak 30 g font tozu kullanılmıştır. Numunenin birbirini izleyen dört yüzünün her birinde 22'şer devir olmak üzere aşındırma yapılmış, bu işlem 5 kez tekrarlanmıştır (Saraylı, 1978). Numunelerin ağırlık olarak aşınma kaybı (% a_k) (5.3) eşitliği yardımı ile hesaplanmış, sonuçlar Çizelge 5.13 ve Şekil 6.6'da verilmiştir.

$$\% a_k = \Delta W / W_k \quad (5.3)$$

(5.3) eşitliğinde, ΔW (g) cinsinden aşınma ile ağırlık kaybını, W_k numunenin ilk ağırlığını göstermektedir.

5.4.2.5 Kılcal Su Emme Deneyi

Eğilme deneyinde iki parçaya ayrılan prizma numunelerin, her birinin bir parçasında olmak üzere, 3 adet numunenin 40×40 mm'lik yüzeylerinde normal atmosfer basıncı altında, kılcal su emme deneyi yapılmıştır. Bu numuneler, önce 100±5 °C sıcaklıktaki etüvde değişmez ağırlığa (W_k , g) kadar kurutulmuş, su ile temas edecek yüzeyler (F , cm²) kumpas ile ölçülerek belirlenmiştir. Deney yapılacak numuneler Şekil 5.3'de görüldüğü gibi, t_0 anında su ile temas ettirilmiş, deney 3 numunede aynı zamanda başlatılmış ve deneyin başlamasından itibaren 1., 4., 9., 16., 25., 36., 49. ve 64. dakikalarda olmak üzere 8 kez tartım yapılmıştır. Her bir numunenin emdiği su miktarının (Q_i , g) deneyin yapıldığı yüzey alanına oranı (Q/F) ile zamanın (t , dak) karekökü \sqrt{t} arasında Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9'da görüldüğü gibi lineer ilişki araştırılmış, her bir doğrunun eğiminden o gruba ait kılcal su emme katsayısı (K , cm²/sn) belirlenmiş, sonuçlar Çizelge 5.14 ve Şekil 6.7'de verilmiştir.

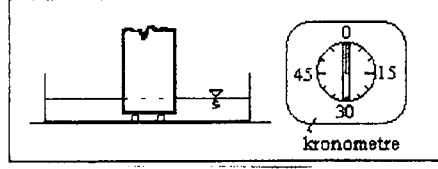
5.4.2.6 Birim Ağırlık ve Su Emme Deneyi

Kılcal su emme deneyine maruz bırakılan numuneler, bu deneyden sonra yaklaşık 24 saat su dolu bir kap içinde bekletilmiş, suya doymun hale getirilmiştir. Su emmiş numunelerin havada ve suda tartımı yapılmış, bu tartımlardan birim ağırlık, ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri belirlenmiş, sonuçlar Çizelge 5.14, Şekil 6.8, Şekil 6.9, Şekil 6.10'da verilmiştir. Birim ağırlık (5.4), ağırlıkça su emme (5.5), hacimce su emme (5.6) eşitliklerinden hesaplanmıştır.

$$\beta = W_k / (W_{SH} - W_{SS}) \quad (5.4)$$

$$\% a_s = [(W_{SH} - W_k) / W_k] \times 100 \quad (5.5)$$

$$\% h_s = [(W_{SH} - W_k) / (W_{SH} - W_{SS})] \times 100 \quad (5.6)$$



Şekil 5.3 Kılcal su emme deneyi yapılışı

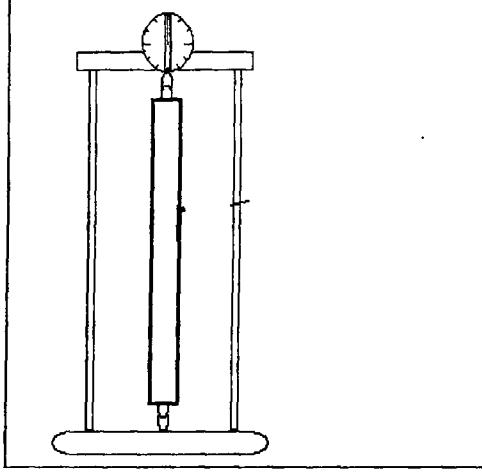
Eşitliklerde, W_k (g) cinsinden, numunenin kuru ağırlığını, W_{SH} su emmiş numunenin havadaki ağırlığını, W_{SS} su emmiş numunenin su içindeki ağırlığını göstermektedir.

5.4.2.7 Karbonatlaşma Derinliğinin Belirlenmesi

Karbonatlaşma derinliği, $70 \times 70 \times 70$ mm boyutundaki küp numunelerde aşınma deneyinden sonra, 4. haftada ve 10. haftada araştırılmıştır. Numuneler iki parçaya ayrılmış, kırılma yüzeylerine fenolftalein çözeltisi püskürtülmüştür. Çözelti püskürtülen yüzeylerde, kırmızı-mor renge dönüşen karbonatlaşmamış bölge ve rengi değişmeyen karbonatlaşmış bölgeler oluşmuştur. Renk sınırı her numunede en az 15 noktada kumpasla ölçülmüş, ortalama değerler Çizelge 5.15’de ve Şekil 6.11’de verilmiştir.

5.4.2.8 Boy Değişimi Deneyi

Deney düzeneği Şekil 5.5’de verilen hızlandırılmış korozyon deney düzeneğinde sisteme 40 V’luk doğru akım uygulanmış, bu enerji betonda kurumaya ve sıcaklık artışına neden olmuştur. Bu etkiler rötreyi hızlandıracağından betonun boy değişimi de araştırılmıştır. Bu amaçla $25.4 \times 25.4 \times 279.4$ mm boyutlarındaki 24 adet numunede, boy değişimi BS 1881 Part 5 (1970)’e uygun olarak, 0.002 mm duyarlıklı komparatör ile ölçülmüştür. Ölçümler 1., 3., 7., 14., 28., 42., 56., 70., 84., 91., 112. günlerde tekrarlanmış, boy değişim oranı aşağıdaki (5.7) eşitliği yardımıyla hesaplanmış, boy değişim oranlarının zamana bağlı değişimleri Şekil 5.10, Şekil 5.11, Şekil 5.12, Şekil 5.13, Şekil 5.14, Şekil 5.15, Şekil 5.16’da gösterilmiştir.



Şekil 5.4 Boy değişimi deneyi

$$\epsilon_l = \Delta l / l_0$$

(5.7)

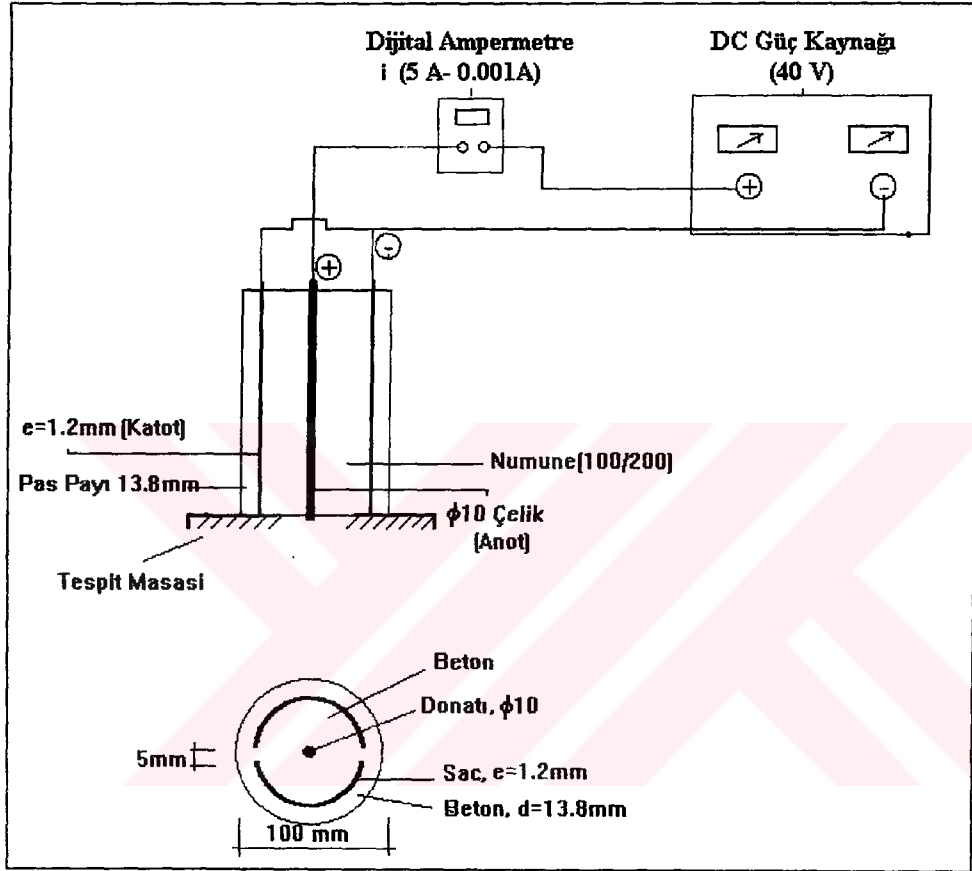
5.4.2.9 Yarı Hücre Potansiyelinin Belirlenmesi

Hızlandırılmış korozyon deneyi için hazırlanan 100/200 mm boyutlarındaki betonarme silindir numunelerin, yarı hücre potansiyeli ölçümleri, numunelerin kalıptan çıkarıldığı anda, birinci ve ikinci hızlandırılmış korozyon deneylerinden önce ve sonra olmak üzere beş kez, Şekil 3.1'de görüldüğü gibi, ASTM C 876'ya uygun olarak belirlenmiştir. Bu amaçla yüksek empedanslı bir voltmetre ve standart kalomel elektrotu kullanılmış, potansiyel ölçülmüştür. Bu ölçümler yapılırken iletkenliği sağlamak amacıyla, kalomel referans elektrotu ile beton arasına nemli bir sünger yerleştirilmiş, ölçüm sonuçları Çizelge 5.16'da verilmiştir.

5.4.2.10 Hızlandırılmış Korozyon Deneyi

Betonarme elemanlarda, donatı korozyonunun neden olduğu hacim artışı sonucu, betonda meydana gelen çatlamların tespiti amacı ile geliştirilen, hızlandırılmış korozyon deneyinde numunelere 40 V'luk sabit gerilim uygulanmış, donatının korozyonu hızlandırılmıştır (Aköz vd.,

2000, Yüzer, 1998). Bu deneylerde kullanılan 100/200 mm boyutlu 12 adet silindir numunenin tam ortasına Şekil 5.5’de görüldüğü gibi, 10 mm çapında donatı ve donatıdan 30 mm dışarıya 1.2 mm kalınlığındaki yarım silindir biçiminde iki adet sac yerleştirilmiştir. Saclar numunelerin

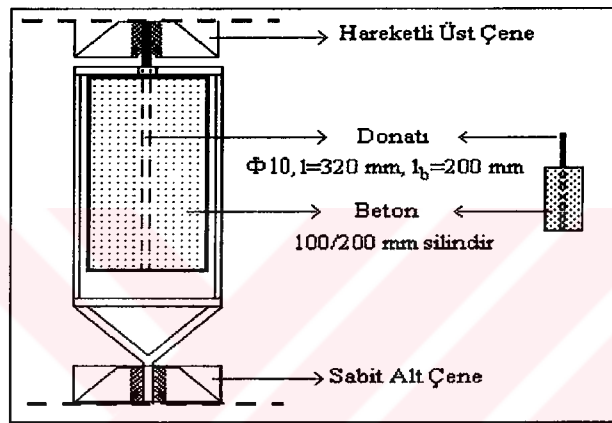


Şekil 5.5 Hızlandırılmış korozyon deney düzeneği

üretimi sırasında beton içine, aralarında 5 mm boşluk kalacak şekilde karşılıklı yerleştirilmiştir. Deney düzeneğinde betonarme numunelerde donatı anot, sac elemanlar katot olacak şekilde doğru akım kaynağına bağlanmıştır. Hızlandırılmış korozyon deneyi uygulanıp, çatlama süresi belirlenen numunelerin çatlak oluşan bölgeleri, sentetik kauçuk esaslı polimer katkıli çimento hamuru ile onarılmış, onarılan numuneler 28 gün sonra tekrar hızlandırılmış korozyon deneyine maruz bırakılmış, çatlama süreleri tekrar belirlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 5.16’da ve Şekil 6.12’de verilmiştir.

5.4.2.11 Çekip Çıkarma (Pull-Out) Deneyi

Donatı ile beton arasındaki aderans dayanımını ve donatı korozyonunun aderans dayanımına etkilerini araştırmak amacı ile, 100/200 mm boyutlu betonarme silindir numunelerde hızlandırılmış korozyon deneyinden sonra, Şekil 5.6'da gösterildiği gibi, 20 kg duyarlıklı, 7 ton kapasiteli universal çekme aletinde çekip çıkarma (pull-out) deneyi yapılmıştır, aderans dayanımının ortalama değerleri Çizelge 5.10 ve Şekil 6.13'de verilmiştir.



Şekil 5.6 Pull-out deney düzeneği

Çizelge 5.10 Çekip çıkarma (pull-out) deneyi sonuçları

Kür Koşulları	Numune Özellikleri	Numune Kodu	f_{ad} (N/mm ²)	f_{adort} (N/mm ²)
H A V A D A (H)	Şahit, katkısız, klorür katkılı (S)	SHC1	0,32	0,37
		SHC2	0,45	
		SHC3	0,35	
	Sentetik kauçuk esaslı polimer ve klorür katkılı (B)	BHC1	0,96	1,49
		BHC2	1,91	
		BHC3	1,59	
	Şahit, katkısız, klorür katkılı ve donatıya korozyondan önleyici madde sürülmüş (C)	CHC1	0,7	0,45
		CHC2	0,32	
		CHC3	0,32	

Numune		Eğilme Dayanımı			Basınç Dayanımı	
Kür Koşulları	Özelliği	Kodu	f_c (N/mm ²)	f_{eort} (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	f_{bort} (N/mm ²)
S U D A (W)	Şahit, katkısız, (S)	SW	5,3	5,1	30,6	28,2
			5,0		25,3	
			5,0		28,8	
	Kopolimer dispersiyon katkılı (A)	AW	3,1	3,3	13,1	12,9
			3,3		11,3	
			3,5		14,4	
Sentetik kauçuk esaslı polimer katkılı (B)	BW	3,5	3,6	20,0	18,1	
		3,6		18,1		
		3,6		16,3		
H A V A D A (H)	Şahit, katkısız, (S)	SH	4,1	4,4	18,1	18,3
			4,5		19,4	
			5,0		17,5	
	Kopolimer dispersiyon katkılı (A)	AH	7,4	6,4	10,6	14,8
			6,0		17,5	
			6,0		16,3	
Sentetik kauçuk esaslı polimer katkılı (B)	BH	3,0	3,4	11,3	12,3	
		3,6		13,1		
		3,6		12,5		
H A V A D A (H)	Şahit, katkısız, klorür katkılı, (S)	SHCl	6,8	6,5	28,1	28,5
			6,6		27,5	
			6,2		30,0	
	Kopolimer dispersiyon ve klorür katkılı (A)	AHCl	4,4	3,9	15,0	15,2
			3,6		14,4	
			3,8		16,3	
Sentetik kauçuk esaslı polimer ve klorür katkılı, (B)	BHCl	3,3	3,5	10,0	10,0	
		3,7		8,8		
		3,4		11,3		

Çizelge 5.12 Prizma numunelerde ses geçiş hızı değerleri

Kür Koşulları	Numune Özellikleri	Numune Kodu	t (µs)	v (mm/µs)	V _{ort} (mm/µs)
S U D A (W)	Şahit, katkısız (S)	SW	43,1	3,7	3,7
			42,1	3,8	
			43,4	3,7	
	Kopolimer dispersiyon katkılı (A)	AW	54,7	2,9	2,8
			63,8	2,5	
			52,8	3,0	
H A V A D A (H)	Şahit, katkısız (S)	SH	48,7	3,3	3,3
			48,4	3,3	
			50,4	3,2	
	Kopolimer dispersiyon katkılı (A)	AH	56,3	2,8	2,9
			55,5	2,9	
			56,0	2,9	
Sentetik kauçuk esaslı polimer katkılı (B)	BH	54,3	2,9	2,9	
		53,9	3,0		
		56,4	2,8		
H A V A D A (H)	Şahit, katkısız, klorür katkılı (S)	SHCI	63,6	2,5	3,3
			58,7	2,7	
			62,7	2,6	
	Kopolimer dispersiyon ve klorür katkılı (A)	AHCI	49,1	3,3	2,9
			48,5	3,3	
			49,3	3,2	
Sentetik kauçuk esaslı polimer ve klorür katkılı (B)	BHCI	55,4	2,9	2,5	
		55,4	2,9		
		53,9	3,0		
			61,4	2,6	
			62,2	2,6	
			65,5	2,4	

Çizelge 5.13 Aşınma deneyi sonuçları

Kür Koşulları	Numune Özellikleri	Numune Kodu	W ₀ (g)	W _s (g)	ΔW (g)	a _k .10 ⁻³	a _{kort} .10 ⁻³
S	Şahit, katkısız (S)	SW	687,4	683,1	4,3	6	7
			686,2	681,8	4,4	6	
			680,3	673,4	6,9	10	
U	Kopolimer dispersiyon katkı (A)	AW	645,4	642,7	2,7	4	4
			617,0	614,4	2,6	4	
			616,7	614,4	2,3	4	
D	Sentetik kauçuk esaslı polimer katkı (B)	BW	593,5	589,5	4,0	7	7
			619,1	615,3	3,8	6	
			578,6	573,8	4,8	8	
A	Şahit, katkısız (S)	SH	661,4	658,7	2,7	4	4
			667,5	665	2,5	4	
			657,2	655	2,2	3	
V	Kopolimer dispersiyon katkı (A)	AH	636	632,7	3,3	5	3
			649	646,9	2,1	3	
			624	622,5	1,5	2	
A	Sentetik kauçuk esaslı polimer katkı (B)	BH	612,4	610,2	2,2	4	7
			615,3	608,8	6,5	11	
			622,1	618,9	3,2	5	
(H)	Şahit, katkısız, klorür katkı (S)	SHCI	682,2	679,3	2,9	4	4
			709,3	706,1	3,2	5	
			693,4	690,7	2,7	4	
H	Kopolimer dispersiyon ve klorür katkı (A)	AHCİ	655	653	2,0	3	3
			651,7	650,7	1,0	2	
			654,9	653,1	1,8	3	
A	Sentetik kauçuk esaslı polimer ve klorür katkı (B)	BHCI	636,3	635,1	1,2	2	2
			644,2	643,1	1,1	2	
			634	633	1,0	2	
(H)	Şahit, katkısız, klorür katkı (S)	SHCI	682,2	679,3	2,9	4	4
			709,3	706,1	3,2	5	
			693,4	690,7	2,7	4	
H	Kopolimer dispersiyon ve klorür katkı (A)	AHCİ	655	653	2,0	3	3
			651,7	650,7	1,0	2	
			654,9	653,1	1,8	3	
A	Sentetik kauçuk esaslı polimer ve klorür katkı (B)	BHCI	636,3	635,1	1,2	2	2
			644,2	643,1	1,1	2	
			634	633	1,0	2	
(H)	Şahit, katkısız, klorür katkı (S)	SHCI	682,2	679,3	2,9	4	4
			709,3	706,1	3,2	5	
			693,4	690,7	2,7	4	
H	Kopolimer dispersiyon ve klorür katkı (A)	AHCİ	655	653	2,0	3	3
			651,7	650,7	1,0	2	
			654,9	653,1	1,8	3	
A	Sentetik kauçuk esaslı polimer ve klorür katkı (B)	BHCI	636,3	635,1	1,2	2	2
			644,2	643,1	1,1	2	
			634	633	1,0	2	

Çizelge 5.14 Beton serilerine ait fiziksel özellikler

Kür Koşulları	Numune Özellikleri	Numune Kodu	Birim Ağırlık		Ağırlıkça Su Emme		Hacimce Su Emme		Kılcal Geçirimsizlik Katsayısı
			β (kg/dm ³)	% a_s	% a_s	% h_s	K.10 ⁻⁴ (cm ² /sn)		
S U D A (W)	Şahit, katkısız (S)	SW	1,96	10,4		20,4	3,40		
	Kopolimer dispersiyon katkılı (A)	AW	1,80	13,1		23,6	8,45		
	Sentetik kauçuk esaslı polimer katkılı (B)	BW	1,84	11,0		20,0	6,05		
H A V A D A (H)	Şahit, katkısız (S)	SH	1,91	11,1		21,2	1,75		
	Kopolimer dispersiyon katkılı (A)	AH	1,82	12,0		22,4	3,17		
	Sentetik kauçuk esaslı polimer katkılı (B)	BH	1,76	12,0		22,0	2,55		
H A V A D A (H)	Şahit, katkısız, klorür katkılı (S)	SHCl	1,99	10,0		20,0	2,52		
	Kopolimer dispersiyon ve klorür katkılı (A)	AHCl	1,89	9,0		18,7	5,12		
	Sentetik kauçuk esaslı polimer ve klorür katkılı (B)	BHCl	1,80	10,0		18,0	2,32		

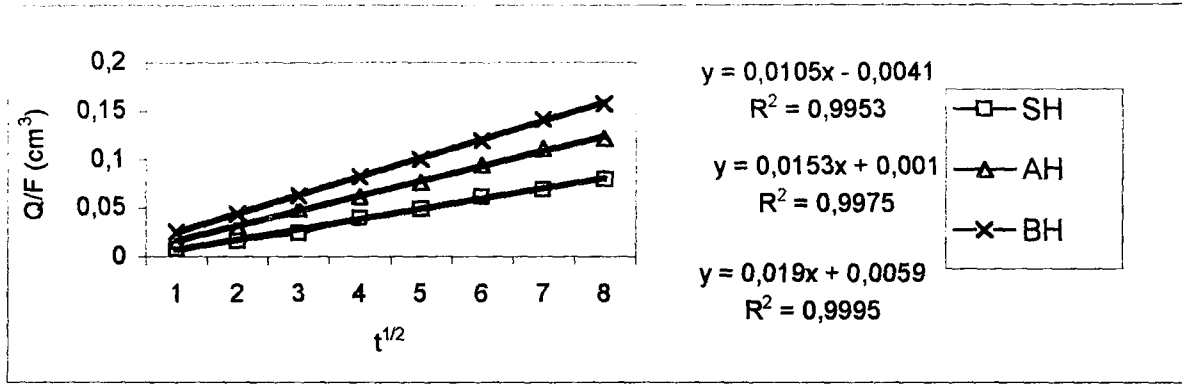
Çizelge 5.15 Beton serilerine ait karbonatlaşma derinliği deney sonuçları

Kür Koşulları		Numune			d _{min} (mm)		d _{max} (mm)		d _{ort} (mm)		Standart Sapma, s		Varyans, v	
		Özellği		Kodu	10. hafta	4. hafta	10. hafta	4. hafta	10. hafta	4. hafta	10. hafta	4. hafta	10. hafta	4. hafta
H A V A D A (H)	Şahit, katkısız (S)		SH	2,5	0,85	14,55	5,0	2,4	5,6	2,4	2,4	0,9	5,8	0,8
	Kopolimer dispersiyon katkı (A)		AH	0,75	0,6	22,6	7,05	3,8	12,7	3,8	5,1	1,8	25,8	3,2
	Sentetik kauçuk esaslı polimer katkı (B)		BH	1,6	1,05	18,6	9,55	4,9	6,7	4,9	3,7	1,9	13,3	3,5
H A V A D A (H)	Şahit, katkısız, klorür katkı (S)		SHCl	1,55	0,7	9,1	3,75	2,1	4,0	2,1	1,6	0,56	2,5	0,3
	Kopolimer dispersiyon ve klorür katkı (A)		AHCl	0,25	0,25	6,95	5,25	1,7	2,4	1,7	1,7	1,2	2,9	1,3
	Sentetik kauçuk esaslı polimer ve klorür katkı (B)		BHCl	0,85	0,5	27,6	6,25	2,2	5,5	2,2	5,5	1,5	30,5	2,2

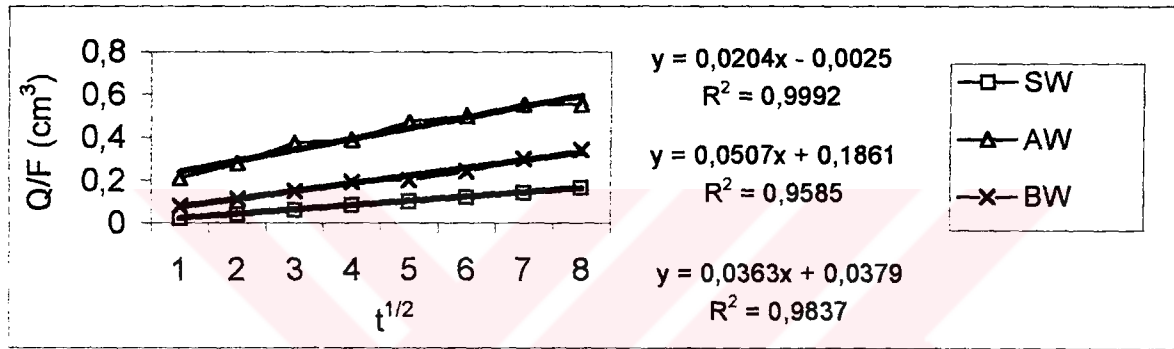
Çizelge 5.16 Karma suyuca Cl⁻ katkılı betonarme numunelerin yarı hücre potansiyeli değerleri ve çatlama süreleri

Kür Koşulları	Numunelerin Özellikleri	Kodu	Kalıptan Çıkarıldığı Gündeki Yarı Hücre Potansiyeli (mV)		1. Hızlandırılmış Korozyon Deneyi		2. Hızlandırılmış Korozyon Deneyi	
			Başlangıç	Yarı Hücre Potansiyeli (mv)	Çatlama Süresi (dak)	Yarı Hücre Potansiyeli (mV)		Çatlama Süresi (dak)
						Önce	Sonra	
H A V A D A (H)	Katkısız (S)	SHC1	-294	-133,7	-44,3	-276,6	-237	308
		SHC2	-288	-189,5	-213,5	-290	-198	
		SHC3	-309	-325,1	-71,6	-192	-260	
H A V A D A (H)	Kopolimer dispersiyon katkı (A)	AHC1	227	-117	328	-320	-53	930
		AHC2	149,8	-30	-206	-209	-317,8	
		AHC3	212,5	-200	-163	-186,5	-137	
H A V A D A (H)	Sentetik kauçuk esaslı polimer katkı (B)	BHC1	-12	-196	283	-289	-121,3	2860
		BHC2	-215	-225	170			
		BHC3	-130	-175	384			
H A V A D A (H)	Katkısız ve donatıya korozyondan önleyici madde sürülmüş (C)	CHC1	-296	-305,4	-237,7	-277,4	-107,2	125
		CHC2	-305	-202,1	-264,9	-209,7	-304	
		CHC3	-323	-206,3	17,0	-318,3	-100	

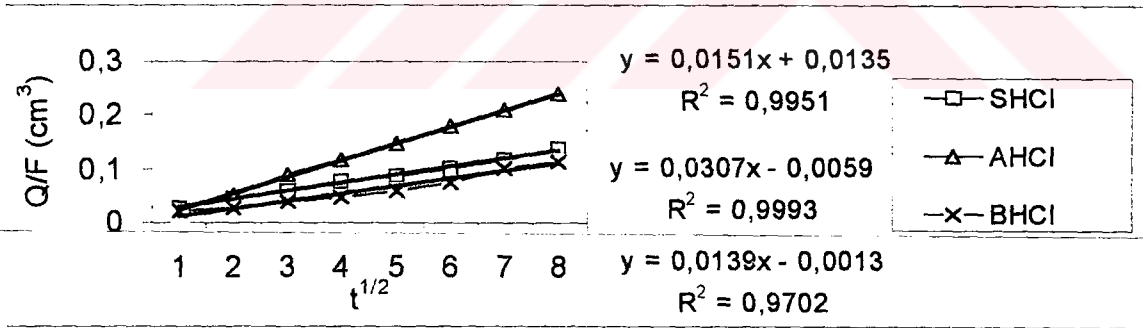
* ** Numuneler çatlatılmadı



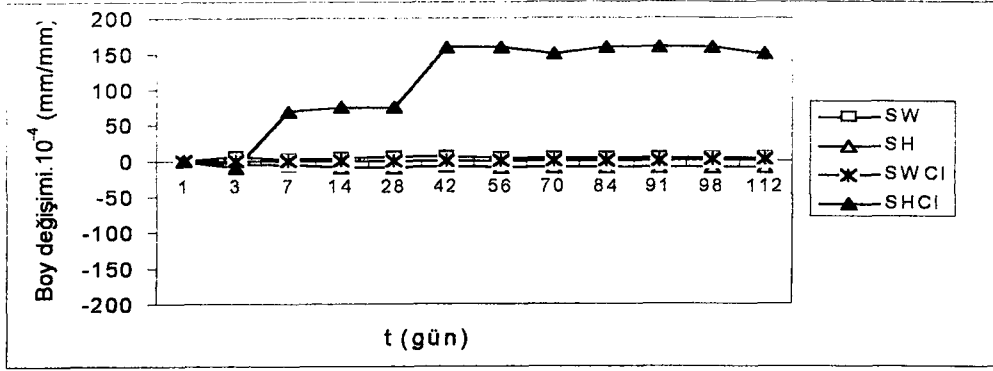
Şekil 5.7 Havada kür edilen numunelerin $Q/F-t^{1/2}$ grafiği



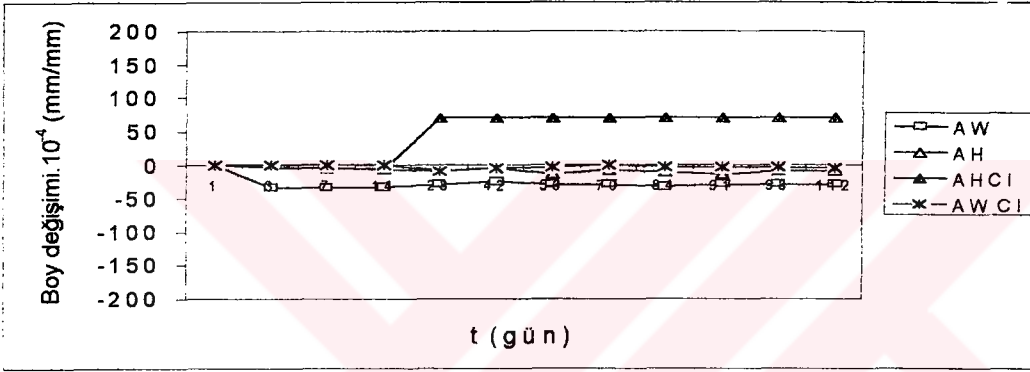
Şekil 5.8 Suda kür edilen numunelerin $Q/F-t^{1/2}$ grafiği



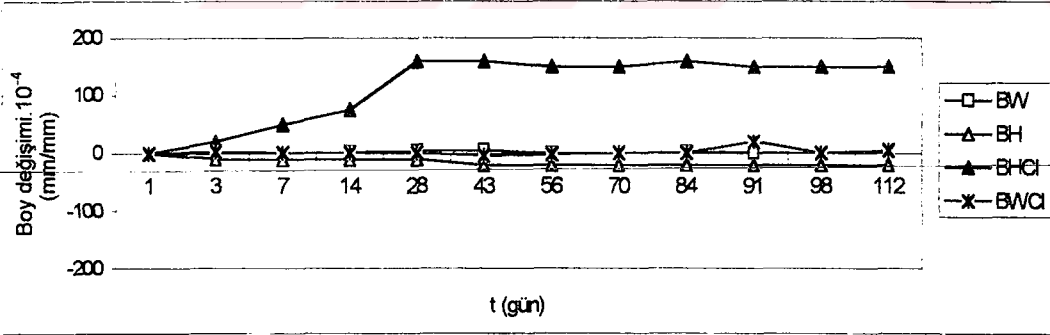
Şekil 5.9 Karma suyuna klorür katılmış, havada kür edilen numunelerin $Q/F-t^{1/2}$ grafiği



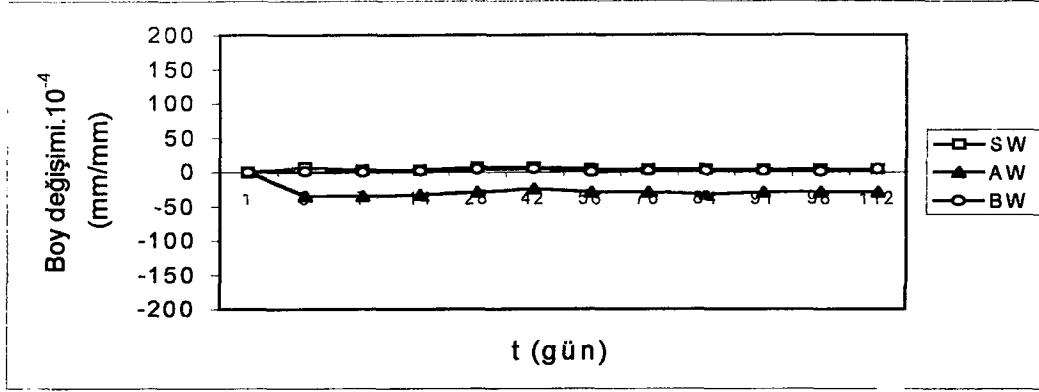
Şekil 5.10 Şahit numunelerin, farklı kür koşullarındaki boy değişimi-zaman ilişkisi



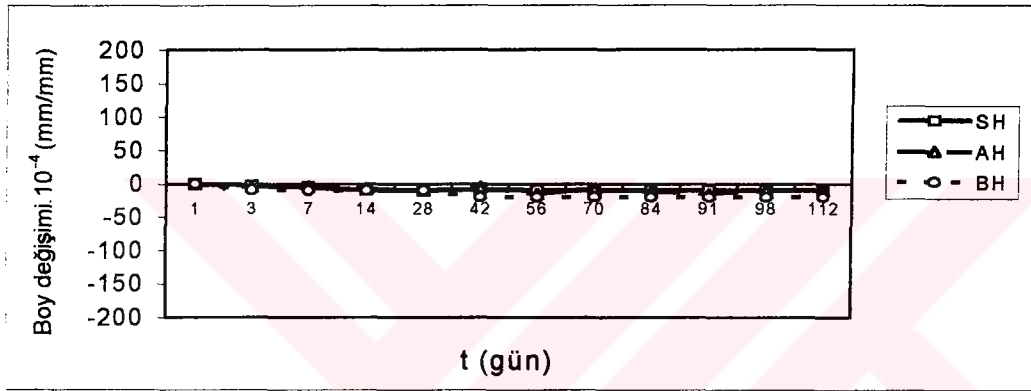
Şekil 5.11 Kopolimer dispersiyon katkılı numunelerin farklı kür koşullarındaki boy değişimi-zaman ilişkisi



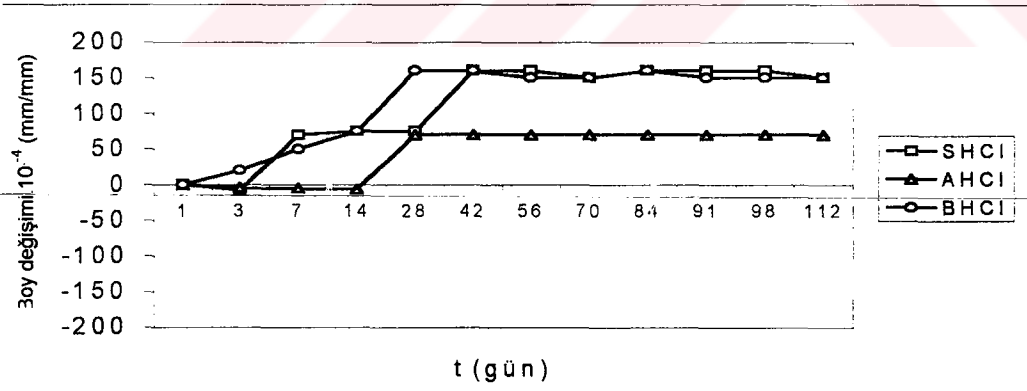
Şekil 5.12 Sentetik kauçuk esaslı polimer katkılı numunelerin farklı kür koşullarındaki boy değişimi-zaman ilişkisi



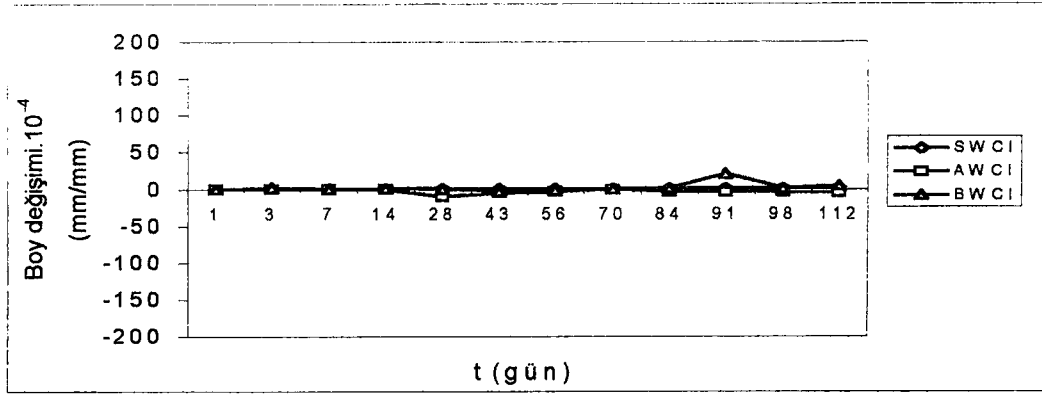
Şekil 5.13 Suda kür edilen numunelerin boy değişimi-zaman ilişkisi



Şekil 5.14 Havada kür edilen numunelerin boy değişimi-zaman ilişkisi



Şekil 5.15 Karma suyuna klorür katılmış, havada kür edilen numunelerin boy değişimi-zaman ilişkisi

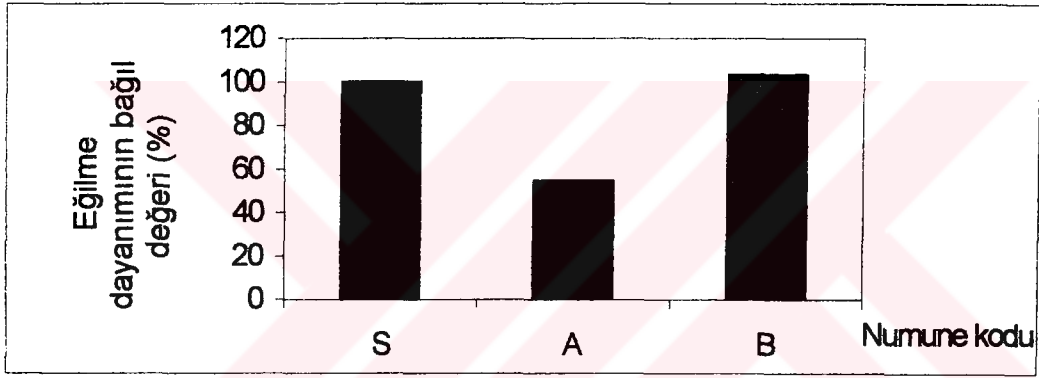


Şekil 5.16 NaCl çözeltisinde bekletilen numunelerin boy değişimi-zaman ilişkisi

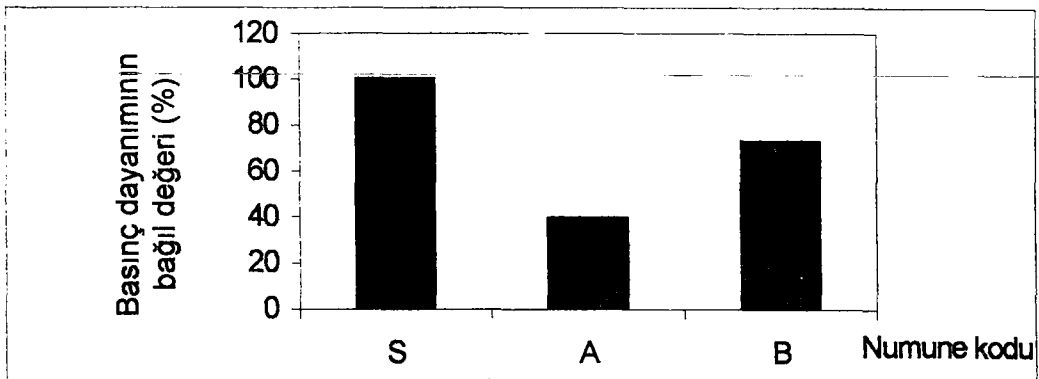
6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ ve İRDELENMESİ

Basınç ve Eğilme Dayanımının Değerlendirilmesi

Bu çalışmada basınç dayanımı, 40.40.160 mm boyutlu prizma numunelerin ve standart Rilem kumu ile üretilen 40.40.160 mm boyutlu prizma numunelerin eğilme deneyinde kırılan parçalarında 28. günde yapılan deneyler ile belirlenmiştir. Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de standart harçların, Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'de prizmaların eğilme ve basınç dayanımının bağıl değerleri gösterilmiştir.



Şekil 6.1 Standart harçların eğilme dayanımının bağıl değerleri

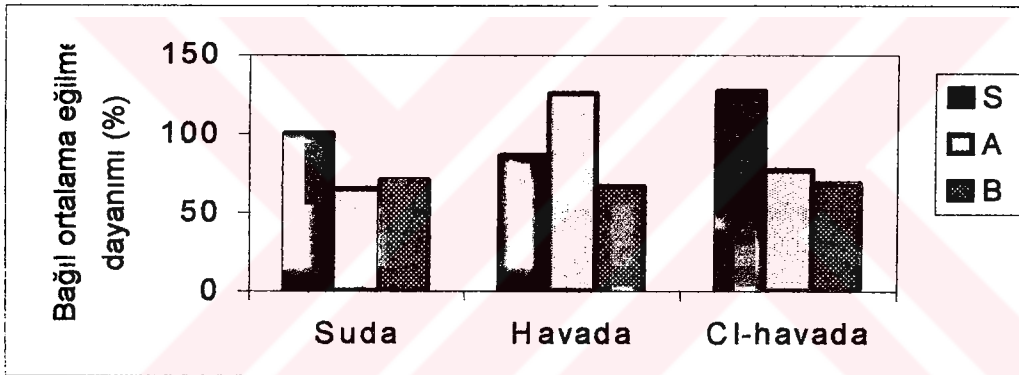


Şekil 6.2 Standart harçların basınç dayanımlarının bağıl değerleri

Standart Rılem kumu ile üretilen numunelerden, sentetik kauçuk esaslı polimer katkı (B) harcın eğilme dayanımı, Şekil 6.1'de görüldüğü gibi, katkısız (S) harcın eğilme dayanımından yaklaşık % 3, kopolimer dispersiyon katkı (A) harcınıkinden yaklaşık % 49 daha fazladır.

Bu harçların basınç dayanımları incelendiğinde, Şekil 6.2'de görüldüğü gibi, katkısız harcın ortalama basınç dayanımının, A grubununkinden yaklaşık % 60, B grubununkinden ise % 27 fazla olduğu görülmektedir.

Prizma biçimindeki polimer katkı ve katkısız beton serilerin eğilme dayanımı kür koşullarına göre incelendiğinde, Şekil 6.3'de görüldüğü gibi, suda bekletilen şahit grubun (SW) eğilme dayanımı, kopolimer dispersiyon katkı grubun (AW) eğilme dayanımından % 35, sentetik kauçuk esaslı polimer katkı grubunkinden (BW) % 29 fazladır.

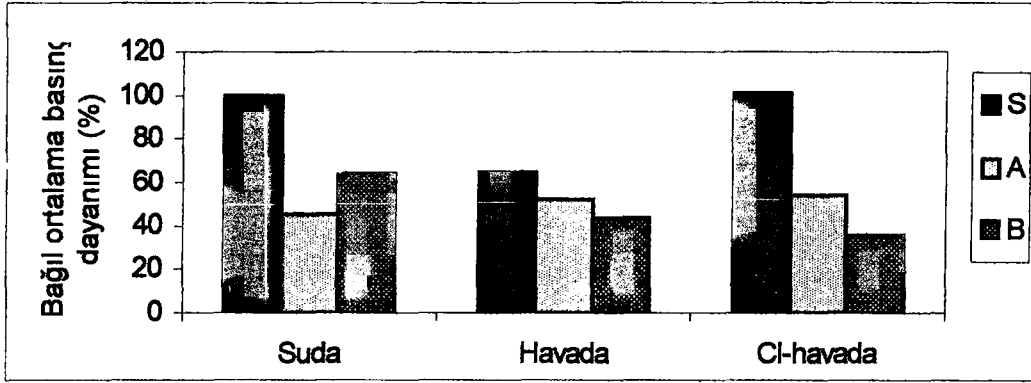


Şekil 6.3 Prizma numunelerin farklı ortamlardaki eğilme dayanımının bağıl değerleri

Havada, laboratuvar ortamında bekletilen katkısız (SH) grubun eğilme dayanımı, suda bekletilenlerden (SW) % 14 az, kopolimer dispersiyon katkı (AH) grubunki, şahit (SW) ninkinden % 26, SH'inkinden % 47 fazla, sentetik kauçuk esaslı polimer katkı (BH) grubunki, şahit (SW) ninkinden % 33, SH grubununkinden % 22 azdır.

Havada, laboratuvar ortamında bekletilen, klorür katkı katkısız (SHCl) grubun eğilme dayanımı, suda bekletilenlerden (SW) % 28 fazla, kopolimer dispersiyon katkı (AHCl) grubununki, şahit (SW) ninkinden % 23 az, SHCl'inkinden % 40 az, sentetik kauçuk esaslı polimer katkı (BHCl) grubunki, şahit (SW) ninkinden % 31 az, SHCl grubununkinden % 46 azdır.

Prizma biçimindeki polimer katkılı ve katkısız beton serilerin basınç dayanımı, kür koşullarına göre incelendiğinde, Şekil 6.4'de görüldüğü gibi, suda bekletilen şahit grubun (SW) basınç dayanımı, kopolimer dispersiyon katkılı grubun (AW) basınç dayanımından % 54, sentetik kauçuk esaslı polimer katkılı grubunkinden (BW) % 36 fazladır.

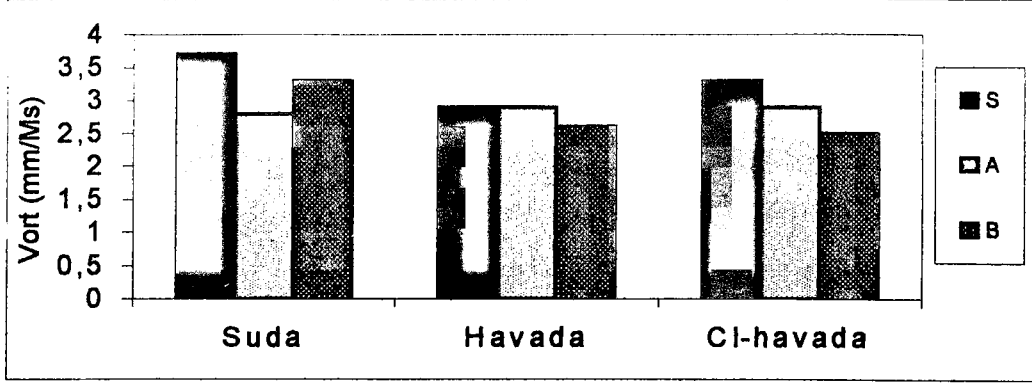


Şekil 6.4 Prizma numunelerin farklı ortamlardaki basınç dayanımının bağıl değerleri

Havada, laboratuvar ortamında bekletilen katkısız (SH) grubun basınç dayanımı, suda bekletilenlerden (SW) % 35 az, kopolimer dispersiyon katkılı (AH) grubunki, şahit (SW) ninkinden % 47 az, SH'inkinden % 18 az, sentetik kauçuk esaslı polimer katkılı (BH) grubunki, şahit (SW) ninkinden % 56 az, (SH) grubununkinden % 32 azdır. Havada, laboratuvar ortamında bekletilen, klorür katkılı katkısız (SHCl) grubun basınç dayanımı, suda bekletilenlerden (SW) % 1,0 fazla, kopolimer dispersiyon katkılı (AHCl) grubununki, şahit (SW) ninkinden % 46 az, SHCl'inkinden % 46 az, sentetik kauçuk esaslı polimer katkılı (BHCl) grubunki, şahit (SW) ninkinden % 64 az, (SHCl) grubundan % 64 azdır.

Ultrases geçiş süresi sonuçları

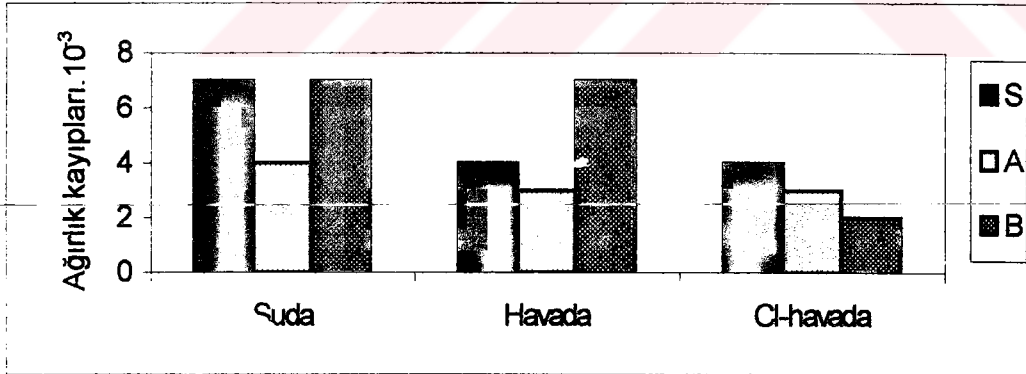
Prizmaların ortalama ses geçiş hızları, birbirleriyle karşılaştırıldığında, Şekil 6.5'de görüldüğü gibi, en büyük ses geçiş hızı 3,7 mm/μs değeri ile suda bekletilen şahit grupta (SW), en düşük değer ise 2,5 mm/μs ile laboratuvar ortamında bekletilen sentetik kauçuk esaslı polimer ve klorür katkılı grupta (BHCl) görülmüştür. Suda bekletilen numunelerin ses geçiş hızları birbirleriyle karşılaştırıldığında, en büyük değer 3,7 mm/μs ile şahit grupta (SW), en küçük değer ise 2,8 mm/μs ile kopolimer dispersiyon katkılı grupta (AW) gözlenmiştir.



Şekil 6.5 Prizma numunelerin farklı ortamlardaki ses geçiş hızı değerleri

Havada, laboratuvar ortamında bekletilen seride ise, en büyük değer katkısız ve kopolimer dispersiyon katkılı grupta (SH ve AH) 2,9 mm/μs , en küçük değer ise, sentetik kauçuk esaslı polimer katkılı grupta, (BH) 2,6 mm/μs ile görülmüştür. Havada, laboratuvar ortamında bekletilen, klorür katkılı numunelerde, en büyük değer katkısız grupta (SHCl) 3,3 mm/μs, en küçük değer ise sentetik kauçuk esaslı polimer katkılı grupta (BHCl) 2,5 mm/μs değeri ile gözlenmiştir.

Aşınma Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi



Şekil 6.6 Küp numunelerin ağırlık kayıpları

Küp numunelerin aşınma deneyi sonucu gerçekleşen ağırlık kayıpları karşılaştırıldığında, Şekil 6.6'da görüldüğü gibi en büyük değer 7.10^{-3} ile suda bekletilen şahit (SW) ve sentetik kauçuk esaslı polimer katkılı grupta (BW) ve havada bekletilen sentetik kauçuk esaslı polimer katkılı grupta (BH) gözlenmiştir. En küçük değer ise, 2.10^{-3} ile havada bekletilen sentetik kauçuk esaslı polimer ve klorür katkılı grupta (BHCl) görülmüştür. Suda bekletilen gruplar arasında en büyük

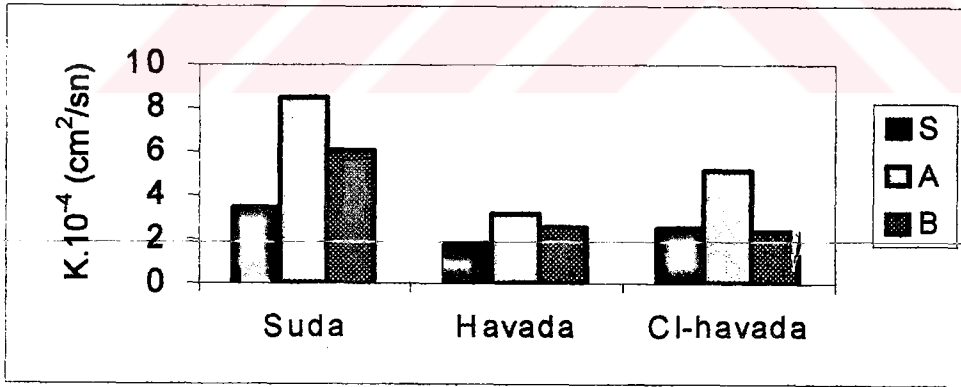
ağırlık kaybı, 7.10^{-3} ile şahit (SW) ve sentetik kauçuk esaslı polimer katkıli grupta (BW), en küçük değer ise 4.10^{-3} ile kopolimer dispersiyon katkıli grupta (AW) belirmiştir.

Havada, laboratuvar ortamında bekletilen gruplar içinde en büyük ağırlık kaybı 7.10^{-3} ile sentetik kauçuk esaslı polimer katkıli grupta (BH), en küçük değer 3.10^{-3} ile kopolimer dispersiyon katkıli grupta (AH) görülmüştür.

Laboratuvar ortamında bekletilen ve karma suyuna klorür katılan gruplar içinde en büyük ağırlık kaybı, 4.10^{-3} ile katkısiz grupta (SHCl), en küçük ağırlık kaybı 2.10^{-3} ile sentetik kauçuk esaslı polimer katkıli grupta (BHCl) gözlenmiştir.

Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Üretilen beton serilerinin en büyük kılcal geçirimsizlik katsayısı, Şekil 6.7'de görüldüğü gibi, $8,45.10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sn}$ değeri ile suda bekletilen kopolimer dispersiyon katkıli (AW) grubununkidir. En küçük kılcal geçirimsizlik katsayısı ise, $1,75.10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sn}$ değeri ile laboratuvar ortamında bekletilen katkısiz (SH) grubununkidir.



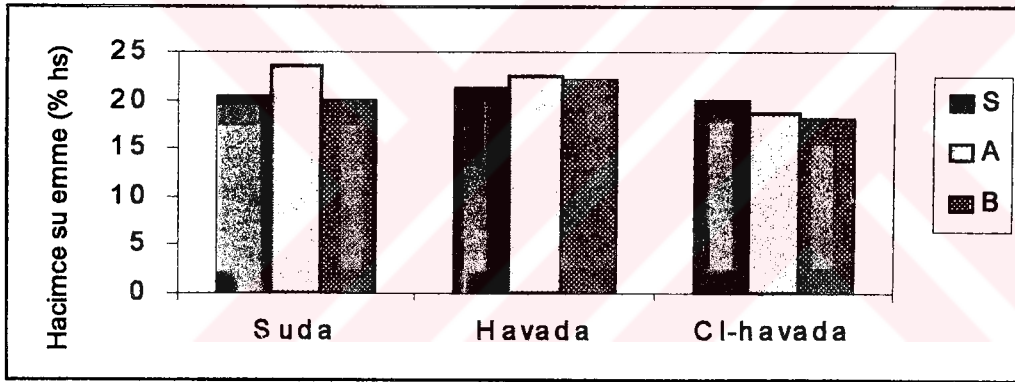
Şekil 6.7 Beton serilerine ait kılcal geçirimsizlik katsayılarının karşılaştırılması

Suda bekletilen serilerin, en düşük kılcal su emme katsayısı, $3,4.10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sn}$ ile şahit grupta (SW), en büyük kılcal su emme katsayısı ise, $8,45.10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sn}$ ile kopolimer dispersiyon katkıli grupta gözlenmiştir (AW). Havada, laboratuvar ortamında bekletilen serilerin en düşük kılcal su emme katsayısı $1,75.10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sn}$ değeri ile şahit grupta (SW), en büyük kılcal su emme katsayısı ise, $3,17.10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sn}$ ile kopolimer dispersiyon katkıli grupta görülmüştür (AW). Havada, laboratuvar

ortamında bekletilen, klorür katkıli serilerin en düşük kılcal su emme katsayısı, $2,32.10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sn}$ ile sentetik kauçuk esaslı polimer katkıli grupta (BHCl), en büyük kılcal su emme katsayısı ise $5,12.10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sn}$ ile kopolimer dispersiyon katkıli grupta gözlenmiştir (AHCl).

Hacimce Su Emme Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Hacimce su emme oranlarının en büyük değeri, Şekil 6.8'de görüldüğü gibi incelendiğinde, % 23,6 olarak suda bekletilen, kopolimer dispersiyon katkıli grupta (AW), en küçük değeri ise % 18,0 ile laboratuvarında bekletilen, klorür ve sentetik kauçuk esaslı polimer katkıli grupta (BHCl) gözlenmiştir. Suda bekletilen gruplarda, % 23,6 ile en büyük hacimce su emme oranı kopolimer dispersiyon katkıli grupta (AW), en küçük hacimce su emme oranı ise, % 20,0 ile kauçuk esaslı polimer katkıli grupta (BW) görülmüştür.



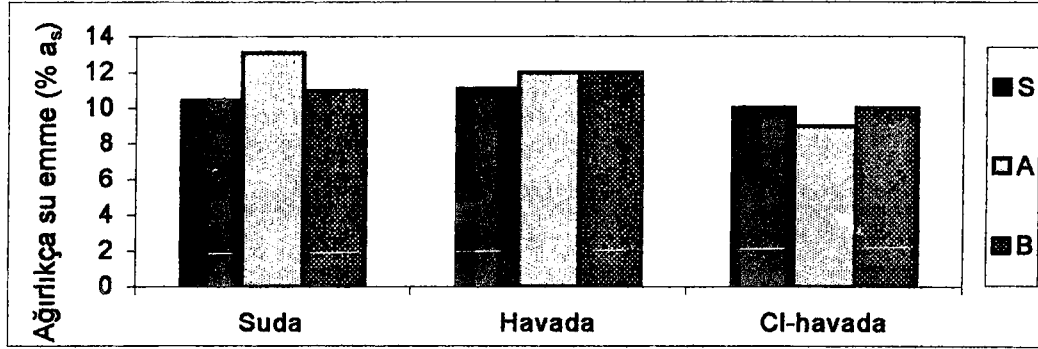
Şekil 6.8 Beton serilerine ait hacimce su emme değerleri

Havada, laboratuvar ortamında bekletilen gruplar içinde en büyük hacimce su emme oranı, % 22 ile kauçuk esaslı polimer katkıli grupta (BH), en küçük hacimce su emme oranı, % 21,2 ile katkısiz grupta (SH) gözlenmiştir. Havada, laboratuvar ortamında bekletilen, klorür katkıli gruplar içinde en düşük hacimce su emme oranı, % 18 değeri ile kauçuk esaslı polimer katkıli grupta (BHCl), en büyük hacimce su emme oranı, % 20,0 ile katkısiz grupta (SHCl) görülmüştür.

Ağırlıkça Su Emme Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Ağırlıkça su emme oranlarının en büyük değeri, Şekil 6.9'da görüldüğü gibi incelendiğinde, en büyük değer, %13,1 ile suda bekletilen, kopolimer dispersiyon katkıli grupta (AW), en küçük değeri ise, % 9,0 ile laboratuvarında bekletilen, klorür ve kopolimer dispersiyon katkıli grupta

(AHCl) gözlenmiştir. Suda bekletilen gruplar içinde en büyük ağırlıkça su emme oranı, % 13,1 ile kopolimer dispersiyon katkılı grupta (AW), en küçük ağırlıkça su emme oranı ise, % 10,4 ile şahit grupta (SW) görülmüştür.



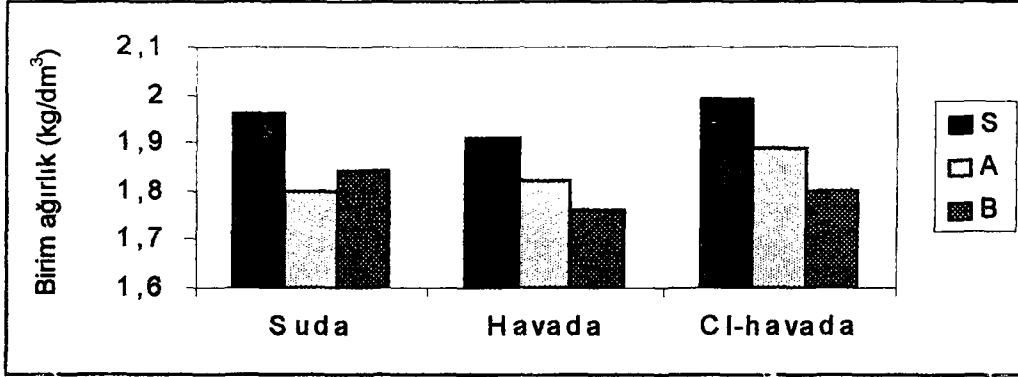
Şekil 6.9 Beton serilerine ait ağırlıkça su emme değerleri

Laboratuvar ortamında bekletilen gruplar içinde en büyük ağırlıkça su emme oranı, % 12,0 ile kauçuk esaslı polimer (BH) ve kopolimer dispersiyon katkılı (AH) gruplarda, en küçük ağırlıkça su emme oranı ise, % 11,1 ile katkısız grupta (SH) gözlenmiştir.

Havada, laboratuvar ortamında bekletilen, klorür katkılı gruplar içinde en düşük ağırlıkça su emme oranı, % 9 ile kopolimer dispersiyon katkılı grupta (AHCl), en büyük ağırlıkça su emme oranı ise, % 10,0 ile katkısız ve sentetik kauçuk esaslı polimer katkılı gruplarda (SHCl ve BHCl) görülmüştür.

Birim Ağırlık Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deneyler sonucu elde edilen birim ağırlık değerleri, Şekil 6.10'da gösterildiği gibi karşılaştırıldığında, en büyük birim ağırlık $1,99 \text{ kg/dm}^3$ değeri ile havada bekletilen, karma suyuna klorür katılmış polimer katkısız grupta (SHCl), en küçük birim ağırlık ise, $1,76 \text{ kg/dm}^3$ ile havada bekletilen, kauçuk esaslı polimer katkılı grupta (BH) gözlenmiştir. Suda bekletilen gruplar içinde en büyük birim ağırlık, $1,96 \text{ kg/dm}^3$ olarak, katkısız grupta (SW), en küçük birim ağırlık ise $1,80 \text{ kg/dm}^3$ ile kopolimer dispersiyon katkılı (AW) grupta görülmüştür.



Şekil 6.10 Beton serilerine ait birim ağırlıklar

Havada, laboratuvar ortamında bekletilen gruplar içinde en büyük birim ağırlık, $1,91 \text{ kg/dm}^3$ ile katkısız grupta (SH), en düşük birim ağırlık ise, $1,76 \text{ kg/dm}^3$ ile havada bekletilen, kauçuk esaslı polimer katkılı grupta (BH) gözlenmiştir.

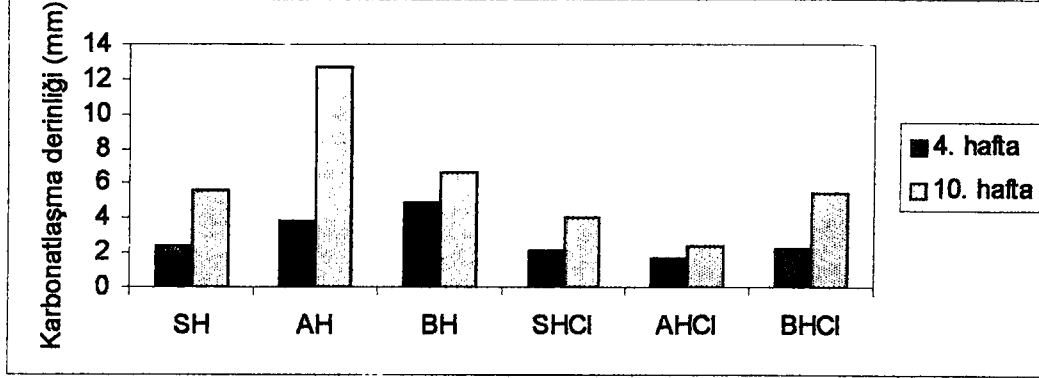
Havada, laboratuvar ortamında bekletilen, karma suyuna klorür katılmış gruplar içinde en büyük birim ağırlık, $1,99 \text{ kg/dm}^3$ ile katkısız grupta (SHCl), en düşük birim ağırlık ise, $1,8 \text{ kg/dm}^3$ ile kauçuk esaslı polimer katkılı grupta (BHCl) görülmüştür.

Karbonatlaşma Derinliği Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Karbonatlaşma derinliği, bütün serilerde Şekil 6.11'de görüldüğü gibi, zamanla artış göstermiştir.

Karbonatlaşma derinliği 4. hafta ölçüldüğünde, en büyük değer havada bekletilen, sentetik kauçuk esaslı polimer katkılı grupta (BH) $4,9 \text{ mm}$ ile, en küçük değer havada bekletilen ve karma suyuna klorür katılmış kopolimer dispersiyon katkılı grupta (AHCl) $1,7 \text{ mm}$ değeri ile gözlenmiştir.

10. hafta ölçüm yapıldığında, en büyük değer havada bekletilen, kopolimer dispersiyon katkıli grupta (AH) 12,7 mm değeri ile, en küçük değer havada bekletilen ve karma suyuna klorür katılmış kopolimer dispersiyon katkıli grupta (AHCl) 2,4 mm değeri ile görülmüştür.



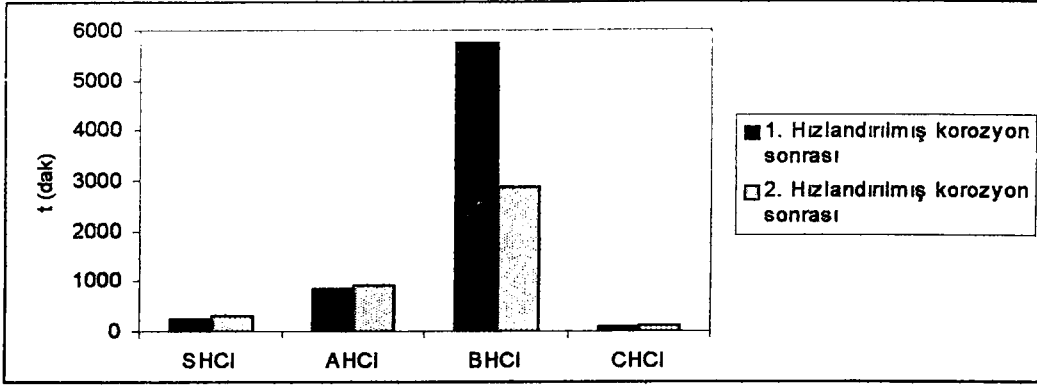
Şekil 6.11 Beton serilerindeki karbonatlaşma derinliklerinin zamanla değişimi

Boy Değişimi Ölçümü Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Boy değişimi ölçümleri sonucunda, havada bekletilen karma suyuna klorür katılmış, polimer katkıli gruplarda boyda artış görülmüştür. Ayrıca, suda bekletilen, kopolimer dispersiyon katkıli grupta da boy azalması görülmüştür.

1. ve 2. Hızlandırılmış Korozyon Deneyi Sonrası Çatlama Sürelerinin Değerlendirilmesi

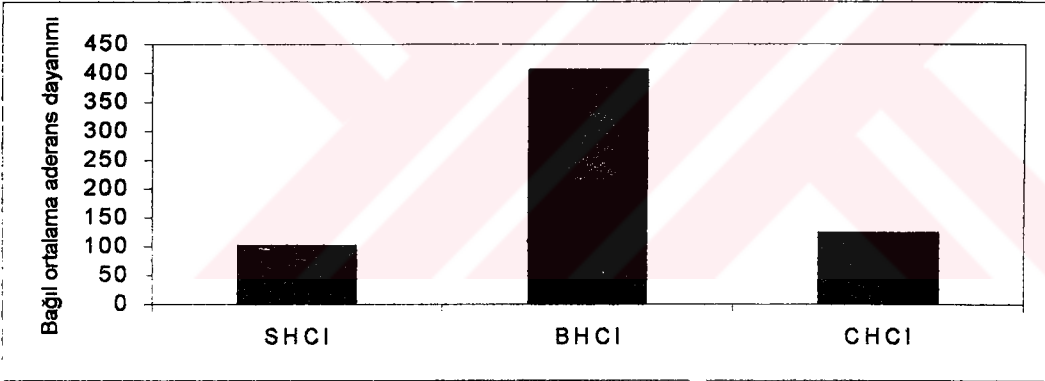
Beton serilerinin çatlama süreleri karşılaştırıldığında, Şekil 6.12'de görüldüğü gibi, 1. hızlandırılmış korozyon deneyi sonrası en büyük çatlama süresi, sentetik kauçuk esaslı polimer katkıli grupta (SHCl), 5340 dak, en düşük çatlama süresi katkısız ve donatısız korozyondan önleyici madde sürülmüş grupta (CHCl), 95 dak görülmüştür. 2. hızlandırılmış korozyon deneyi sonrası en büyük çatlama süresi, sentetik kauçuk esaslı polimer katkıli grupta (BHCl), 2860 dak, en düşük çatlama süresi katkısız ve donatısına korozyondan önleyici madde sürülmüş grupta (CHCl), 125 dak gözlenmiştir.



Şekil 6.12 Beton serilerine ait çatlama süreleri

BHCI grubundan bazı numuneler hızlandırılmış korozyon deneylerinde çatlatılamamıştır.

Çekip-çıkarma Sonuçları



Şekil 6.13 Beton serilerine ait aderans dayanımları

Çekip-çıkarma deneyi sonucu belirlenen aderans dayanımları, Şekil 6.13'deki gibi karşılaştırıldığında, en büyük dayanım sentetik kauçuk esaslı polimer katkıli grupta (BHCI), en düşük dayanım ise katkısız grupta (SHCI) görülmüştür. BHCI'in dayanımı, SHCI'ye göre, % 303 fazla, CHCI'in dayanımı ise, SHCI'ye göre % 22 fazladır. Kopolimer dispersiyon katkıli numunelerde, aderans dayanımı gözlenememiştir, çünkü numuneler deney yapılamayacak kadar hasar görmüştür.

7. SONUÇLAR

- Sentetik kauçuk esaslı polimer katkı, standart harcın eğilme dayanımını arttırmış, kopolimer dispersiyon katkı ise eğilme dayanımında düşüşe neden olmuştur. Bu harçlarda, en büyük basınç dayanımı katkısız, şahit grupta, en küçük basınç dayanımı ise, kopolimer dispersiyon katkılı grupta gözlenmiştir.
- Suda bekletilen beton numunelerde en büyük eğilme dayanımı şahit grupta, en küçük dayanım ise kopolimer dispersiyon katkılı grupta gözlenmiştir. Havada bekletilenlerde en büyük eğilme dayanımı kopolimer dispersiyon katkılı grupta, en küçük dayanım ise, sentetik kauçuk esaslı polimer katkılı grupta gözlenmiştir. Betona klorür karışmasını temsil eden ve laboratuvar ortamında bekletilen, klorür katkılı grupların eğilme dayanımları karşılaştırıldığında, en büyük dayanım katkısız grupta, en küçük dayanım ise, sentetik kauçuk esaslı polimer katkılı grupta görülmüştür. Buradan kopolimer dispersiyon katkılı harçların, suda kür edilmesinin ve betona klorür karışmasının eğilme dayanımına olumsuz etki yaptığı görülmüştür.
- Bu üç grup betonun, basınç dayanımı saklandığı ortama göre incelendiğinde, suda bekletilenlerde en büyük basınç dayanımı, şahit grupta, en düşük dayanım, kopolimer dispersiyon katkılı grupta görülmüştür. Havada bekletilenlerde, incelendiğinde, en büyük basınç dayanımı katkısız grupta, en küçük dayanım, sentetik kauçuk esaslı polimer katkılı grupta gözlenmiştir. Klorür katkılı grupların basınç dayanımları karşılaştırıldığında, en büyük dayanım katkısız grupta, en küçük dayanım ise, sentetik kauçuk esaslı polimer katkılı grupta görülmüştür. Polimer katkıları, betonun basınç dayanımına her üç grupta da olumsuz etki yapmıştır.
- Katkısız grubun ses geçiş hızı, her üç ortam koşulunda en büyük değere ulaşmıştır. Havada kür edilen polimer katkılı numunelerin ses geçiş hızı şahite çok yakın değerler almıştır. Bu da polimer katkılı betonların havada kür edilmesi gerektiğinin önemli bir göstergesi olarak alınabilir.

- Aşınma deneyi sonuçlarına göre, kopolimer dispersiyon katkısı her üç ortam koşulunda aşınmayı azaltmış, aşınmaya karşı dayanıklılığı arttırmıştır.
- Karbonatlaşma derinliği, bütün gruplarda zamanla artmıştır. Betona klorür karışmasını temsil eden grupta, karbonatlaşma derinliği daha az olmuştur. Buradan, klorür nedeni ile oluşan bileşiklerin boşlukları tıkayarak CO₂ geçirimsizliğini azalttığı sonucu çıkarılabilir.
- Polimer katkılı betonların, suda bekletilmesinin olumsuz etkisi, kılcal su emme özelliğinde de kendini göstermiş, bu grupta kılcal su emmeler artmıştır. Betona klorür karışmasını temsil eden grupta kapilarite düşmüştür. Bu durum, boy değişiminden de görüldüğü gibi, oluşan klorürlü bileşikler nedeni ile hacim artışına ve boşlukların azalmasına bağlanabilir.
- Porozitenin bir göstergesi olan hacimce su emme sonuçlarında klorürün varlığı poroziteyi azaltmış, ağırlıkça su emme özelliğinde de benzer davranış gözlenmiştir. Bu durum, yukarıda da işaret edilen bileşiklerin oluştuğu görüşünü doğrular niteliktedir, ancak kimyasal analiz ya da iç yapı analizi yapılmaksızın kesin kanıya varılması mümkün değildir.
- Polimer katkıların yoğunluğunun suya göre, % 2-% 8 oranında fazla olmasına rağmen, betona polimer katılması birim ağırlıkta düşüğe neden olmuştur. Bu düşüş, beton üretiminde suyun bağlayıcıya oranının sabit tutulması nedeni ile kıvamdaki azalmaya ve yerleştirmedeki zorluğa bağlanabilir. Betona NaCl katılan grupların birim ağırlığındaki artış ise, klorürlü bileşiklerin oluşması ve sodyum klorürün higroskopik özelliği ile açıklanabilir, boy değişimleri de bu durumu doğrular niteliktedir.
- Boy değişimi deneyi sonucuna göre, suda bekletilen kopolimer dispersiyon katkılı grupta boy azalması, karma suyuna klorür katılmış, polimer katkılı gruplarda artış gözlenmiştir.
- Birinci ve ikinci hızlandırılmış korozyon deneyi sonuçlarına göre, polimer katkılı grupların çatlama süresi, şahit betonunkinden uzundur. Bunlarda sentetik kauçuk esaslı polimer katkılı gruptan bazı numuneler, deney süresince çatlatılamamıştır. Katkısız ve donatısına korozyondan koruyucu madde sürülmüş olan grup en erken çatlamış, donatıya sürülen madde korozyon bakımından olumsuz etki yapmıştır.

- Birinci ve onarımdan sonraki hızlandırılmış korozyon süreçlerinden sonra yapılan, çekip-çıkarma (pull-out) deneyinden belirlenen aderans dayanımları, katkısız grupta düşük, sentetik kauçuk esaslı polimer katkıli grupta büyük değerler almıştır. Kopolimer katkıli grup ise, ikinci hızlandırılmış korozyon sürecinden sonra çekip-çıkarma deneyi yapılamayacak kadar hasara uğramıştır. Sentetik kauçuk esaslı polimer katkı maddesi ile üretilen betonlar donatı korozyonunu geciktirmiş, dayanıklılığı arttırmıştır.



KAYNAKLAR

- Akman, M.S., (1990), Yapı Malzemeleri, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Akman, M.S., (1992), Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.
- Akman, M.S., ve Erdinç, M., (1997), "Uçucu Küllü Betonlarda Klor Geçirimsizliği", Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu 3, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 1-2. 10. 1997, Eskişehir, 1-19.
- Aköz F., Biricik H., Yüzer N. (2000), "Silis Dumanı Katkılı Betonarme Elemanlara Sodyum Klorürlü Çözeltilerin Etkisi", Tübitak Araştırma Projesi, 636.
- ASTM C-597-71, American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.
- ASTM C-876-91, American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete.
- Bayülke, N., (1999), Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, İzmir.
- BS 1881: Part 117, (1983), Testing Concrete Method for Determination of Tensile Splitting Strength.
- Chandra, S. ve Ohama, Y., (1994), Polymers in Concrete, CRC Press, Florida.
- Çakır, A.F., (1984), "İnşaat Endüstrisinde Korozyon ve Katodik Koruma Yöntemi ile Korunma", İTÜ İnşaat Fakültesi Malzeme Semineri.
- Çakır, A.F., (1994), "Türkiye'nin Metalik Korozyon Kaybı ", IV. Korozyon Sempozyumu, 25-27. 10. 1994, İstanbul Teknik Üniversitesi İstanbul, 1-8.
- Çolak, A., (1994), Hasar Gören Yapı Elemanlarının Polimer Enjeksiyonu Yöntemi ile Onarımı, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ağustos, İstanbul.
-
- Doğu, E., (1993), Polimer Katkılı Çimento Betonları, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ocak, İstanbul.
- Ercan, C., (1997), Epoksi Polimer Harç ve Betonlarının İşlenebilirlik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Şubat, İstanbul.
- Haque, M.N. ve Kayyali, O.A., (1995), "Free and Water Soluble Chloride in Concrete", Cement and Concrete Research, 25(3):531-542.
- Hartl, G. Ve Lukas, W., (1987). "Untersuchungen zur Chlorideindringung in Beton und zum Einfluss von Rissen auf die Chlorideinduzierte Korrosion der Bewehrung", Betonwerk+Fertigteil-Technik, 7:497-506.
- Hobbs, D.W., (1994), "Carbonation of Concrete Containing PFA", Magazine of Concrete Research, 46(166):35-38.
- Hope, B.B., Page, A.J. ve Ip, A.K.C., (1986), "Corrosion Rates of Steel in Concrete", Cement

Liam, K.C., Ray, S.K. ve Nortwood, D.O., (1992), "Chloride Ingress Measurement and Corrosion of Potential Mapping Study of a 24-year-old Reinforced Concrete Jetty Structure in a Tropical Marine Environment", Magazine of Concrete Research, 44(160):205-215.

Neville, A.M., (1992), Properties of Concrete, Third Edition, Longman Scientific and Technical, New York, 433-529.

Onaran, K., (1991), Malzeme Bilimi, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

Roper, H. ve Baweja, D., (1991), "Carbonation-Chloride Interactions and Their Influence Corrosion Rates of Steel in Concrete", II. CANMENT/ACI International Conference on Durability of Concrete, Montreal, Canada, 295-315.

Saraylı, M.A., (1978), Yapı Malzemeleri Bilimi, Kutulmuş Matbaası, İstanbul.

Schiessl, P. Ve Raupach, M., (1997), "Laboratory Studies and Calculations on the Influence of Cracks on Chloride-Induced Corrosion of Steel in Concrete", ACI Materials Journal, 94(1):56-62.

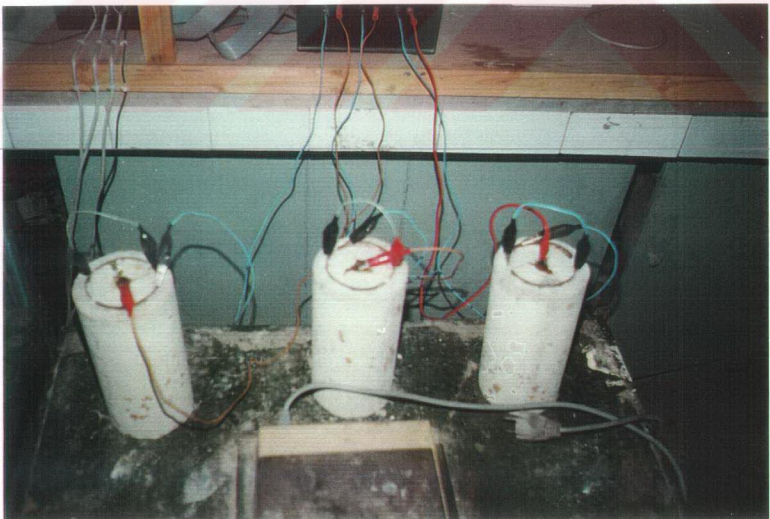
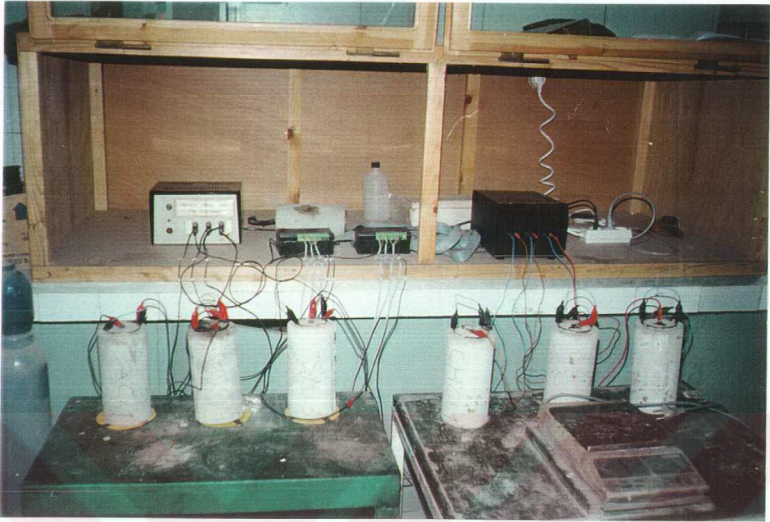
Tonyalı, T., (2001), Polimer Modifiye Betonların İç Yapısı ve Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şubat, İstanbul.

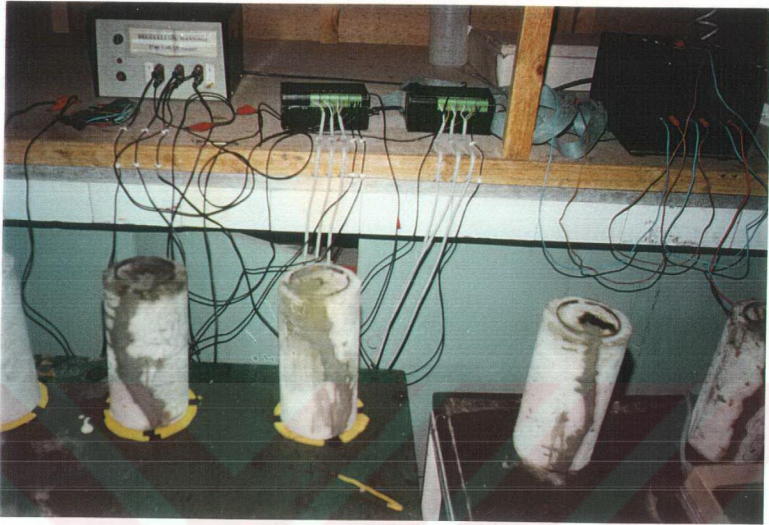
Şengil, İ.A., (1992), Korozyon, İ.T.Ü Sakarya Mühendislik Fakültesi Matbaası.

Tagaki, N., Miyagawa, T., Amosaki, S. ve Kojima, T., (1991), "Chloride Corrosion of Reinforcing Steel in Silica Fume Concrete Exposed to Marine Environment" II. CANMENT/ACI International Conference on Durability of Concrete, Montreal, Canada, 479-497.

TS 2162, (1986), Genel Yapı Çelikleri.

Yüzer, N., (1998), Silis Dumanı Katkılı Betonarme Elemanlara Klorür Etkisinin Hızlandırılmış Korozyon Deneyi İle Araştırılması, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Aralık, İstanbul.







ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	18.12.1976	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1990-1993	Beyoğlu Fındıklı Lisesi
Lisans	1993-1998	Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1999-2001	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Yapı Programı

Çalıştığı kurum

1999-2000	Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda Öğrenci Asistanlık
-----------	---

T.C. TÜRKİYE ÜCRETİM KURULU
EKÜMANTASYON MERKEZİ