

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**POLİMERLE MODİFİYE EDİLMİŞ HAFİF BETONUN BAZI FİZİKSEL VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Murat ÖZTÜRK

HAZİRAN 2013

TRABZON

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**POLİMERLE MODİFİYE EDİLMİŞ HAFİF BETONUN BAZI FİZİKSEL VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

İnş. Müh. Murat ÖZTÜRK

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29.05.2013
Tezin Savunma Tarihi : 19.06.2013**

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Şirin KURBETÇİ

Trabzon 2013

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında
Murat ÖZTÜRK Tarafından Hazırlanan

**POLİMERLE MODİFİYE EDİLMİŞ HAFİF BETONUN BAZI FİZİKSEL VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**başlıklı bu çalışmada, Enstitü Yönetim Kurulunun 04/06/2013 gün ve 1508 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU

Üye : Yrd. Doç. Dr. Şirin KURBETÇİ

Üye : Yrd. Doç. Dr.Nihan ENGİN

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Polimerle Modifiye Edilmiş Hafif Betonun Bazı Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması” adlı bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesinin Fen Bilimler Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında, yüksek lisans tezi olarak yapılmıştır. Çalışmanın deneyleri, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Malzemesi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Tezin konusunun seçilmesinde ve çalışmaların gerçekleşmesinde, ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Şirin KURBETÇİ’ ye şükranlarımı sunarım.

Değerli hocam, Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU’ nun görüşleri ve önerilerinden dolayı gördüğüm destekler için, kendisine teşekkür ederim.

Deneylerin gerçekleşmelerine laboratuvarıda yardım eden arkadaşım, AdemBAYRAKTAR’a, içten teşekkürlerimi sunarım.

Benimle Yüksek Lisans için yaşadığım zorluklarda ortak olarak, bu dönemi atlamamı kolaylaştıran Adnan BİLEN ve Taşkın ÇALIK’a teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca hep yanımda olan, desteklerini hep hissettiren ve bütün zorluklara katlanarak yetişmemde en büyük rolü oynayan başta saygıdeğer annem ve babam olmak üzere tüm aile bireylerime minnettarlığımı belirtir, sonsuz saygı ve sevgilerimi sunar; bu çalışmanın ülkemizin ve milletimizin yararına olmasını dilerim.

Murat ÖZTÜRK
Trabzon 2013

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Polimerle Modifiye Edilmiş Hafif Betonun Bazı Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd.Doç.Dr. Şirin KURBETÇİ'nin sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 29/05/2013

Murat ÖZTÜRK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Beton.....	2
1.2.1. Taze Beton Özellikleri.....	2
1.2.1.1. İşlenebilme.....	3
1.2.1.2. Kıvam	3
1.2.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri.....	4
1.2.2.1. Su Emme.....	4
1.2.2.2. Geçirimsizlik.....	5
1.2.2.3. Büzülme (Rötre)	5
1.2.2.4. Sünme	5
1.2.2.5. Dayanım.....	6
1.2.2.5.1. Beton Basınç Dayanımı	6
1.2.2.5.2. Betonun Çekme Dayanımı.....	6
1.2.2.6. Betonun Dayanıklılığı.....	7
1.3. Polimerler	11
1.3.1. Polimerlerin Sınıflandırılması	11
1.3.1.1. Elde Edilişlerine Göre.....	11
1.3.1.2. Kimyasal Bileşimlerine Göre	12
1.3.1.3. Yapılarına Göre	13
1.3.1.4. Bağ Yapılarına Göre	13

1.3.1.5.	Sentez Yöntemlerine Göre.....	14
1.3.1.5.1.	Termoplastikler.....	14
1.3.1.5.2.	Termoset Plastikler	15
1.3.2.	Polimer Malzemelerin Bileşenleri	16
1.3.2.1.	Solventler.....	16
1.3.2.2.	Plastifiyanlar	17
1.3.2.3.	Stabilizanlar	17
1.3.2.4.	Dolgu Maddeleri	17
1.3.2.5.	Pigmentler	17
1.3.2.6.	Katkı Maddeleri	18
1.3.3.	Polimerizasyon	18
1.3.4.	Polimerlerin Özellikleri	19
1.3.4.1.	Yüksek Sıcaklığa Dayanım ve Isıl Denge	19
1.3.4.2.	Kimyasal Dayanıklılık	20
1.3.4.3.	Oksidasyon Direnci	20
1.3.4.4.	Geçirgenlik	20
1.3.4.5.	Yanıcılık	21
1.3.5.	İnşaat Mühendisliği Alanında Polimerler.....	21
1.3.5.1.	Polimer Beton	22
1.3.5.2.	Polimerli Betonların Türleri	23
1.3.5.2.1.	Polimer Portland Çimento Betonları (PPCC)	23
1.3.5.2.1.1.	Latexler.....	24
1.3.5.2.1.2.	Styren-butadien.....	24
1.3.5.2.1.3.	Akrilik Polimerler	25
1.3.5.2.1.4.	Epoksi Reçineleri	25
1.3.5.2.2.	Polimer Emdirme Betonları (PIC)	25
1.3.5.2.3.	Polimer Beton ve Harçları (PC)	27
1.3.5.2.3.1.	Epoksi Reçineleri ve Epoksi Reçine Betonları	29
1.3.5.2.3.2.	Furan Reçineleri ve Furan Reçine Betonları	29
1.3.5.2.3.3.	Polyester Reçineleri ve Polyester Reçine Betonları	29
1.3.5.3.	Polimer Betonun İşlenebilirliği.....	30
1.3.5.3.1.	Viskoz Davranış	30
1.3.5.4.	Polimer Betonun Kullanım Alanları	31

1.3.5.4.1.	Onarım	31
1.3.5.4.2.	Prekast Polimer Betonlar	32
1.3.5.4.3.	Yollar	32
1.4.	Hafif Beton	32
1.4.1.	Hafif Betonun Avantajları ve Dezavantajları	33
1.4.1.1.	Avantajları	33
1.4.1.2.	Dezavantajları	33
1.4.2.	Hafif Beton Üretim Yöntemleri.....	34
1.4.2.1.	Hafif Agregalı Kullanılarak Üretilen Hafif Betonlar	34
1.4.2.1.1.	Hafif Agregalı Betonun Özellikleri	36
1.4.2.1.1.1.	Taze Beton	36
1.4.2.1.1.2.	Dayanım.....	37
1.4.2.1.1.3.	Hafif Agregalı –Matris Aderansı ve Hafif Agregalı Betonun Elastik Özellikleri	37
1.4.2.1.1.4.	Hafif Agregalı Betonun Durabilitesi	38
1.4.3.	İnce Agregalı Kullanılmadan Üretilen Betonlar	39
1.4.4.	Köpük Betonlar.....	40
1.5.	Yayın Taraması.....	40
2.	DENEYSEL ÇALIŞMA.....	43
2.1.	Çalışmanın Amacı	43
2.2.	Deney Programı	43
2.3.	Kullanılan Malzemeler ve Ekipman	44
2.3.1.	Kullanılan Malzemeler	44
2.3.1.1.	Agrega.....	44
2.3.1.2.	Polimer.....	45
2.3.1.3.	Çimento.....	45
2.3.1.4.	Uçucu Kül.....	46
2.3.1.5.	Süperakışkanlaştırıcı.....	47
2.3.1.6.	Su	47
2.3.2.	Kullanılan Cihazlar.....	47
2.3.2.1.	Etüv.....	47
2.3.2.2.	Terazi	48
2.3.2.3.	Betoniye.....	49

2.3.2.4.	Eğilme ve Basınç Test Presi	49
2.3.2.5.	Böhme Yüzey Aşındırma Test Cihazı	49
2.4.	Beton Bileşimleri	50
3.	BETON ÜRETİMİ VE YAPILAN DENEYLER	51
3.1.	Beton Üretimi	51
3.2.	Yapılan Deneyler	52
3.2.1.	Çökme (Abrams Hunisi) Deneyi	52
3.2.2.	Basınç Dayanımı Deneyi	53
3.2.3.	Eğilme Dayanımı Deneyi	53
3.2.4.	Kılcal Su Emme Deneyi	53
3.2.5.	Aşınma (Böhme) Deneyi	54
3.2.6.	Fırın Kuru Birim Ağırlık ve Su Emme Deneyleri.....	54
4.	DENEY SONUÇLARI VE YORUMLAR.....	56
4.1.	Basınç ve Eğilme Dayanımları	56
4.2.	Su Emme ve Kılcallık.....	58
4.3.	Aşınma Dayanımı	61
5.	SONUÇLAR	63
6.	KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

POLİMERLE MODİFİYE EDİLMİŞ HAFİF BETONUN BAZI FİZİKSEL VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Murat ÖZTÜRK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemesi Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Şirin KURBETÇİ
2013, 67 Sayfa

Bu çalışmada polimerle modifiye edilmiş hafif betonun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Tezin ilk bölümünde, polimerler, polimer betonlar ve hafif betonlar hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümde deneysel çalışma yer almaktadır. Hafif betonun üretiminde agrega olarak ponza kullanılmıştır. 400 kg/m^3 ve 500 kg/m^3 dozajlı olmak üzere iki farklı dozajda toplam 12 üretim yapılmıştır. Su/çimento oranı 0.35 olarak sabit tutulmuştur. Üretimlerin bir kısmında uçucu kül kullanılmıştır. Her bir grupta çimentonun %0, %5 ve %10'u oranında styrene-butadiene lateks kullanılmıştır. Üretilen betonların eğilme ve basınç dayanımları, aşınma dayanımı, su emme ve kılcallık yoluyla su emmeleri belirlenmiştir. Çalışmanın sonunda elde edilen verilere göre, styrene-butadien latex kullanımı hafif betonun basınç ve eğilme dayanımları üzerinde önemli bir değişim yapmamıştır. Aşınma direnci, kılcallık ve su emme özellikleri ise SBR lateks kullanımından etkilenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Polymerle modifiye edilmiş hafif beton; Mekanik özellikler; Styrene-butadiene rubber latex; Aşınma direnci; Kılcallık;

Master Thesis

SUMMARY

SOME PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF POLYMER-MODIFIED
LIGHTWEIGHT CONCRETE

MURAT ÖZTÜRK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Şirin KURBETÇİ
2013, 67 Pages

In the study, some physical and mechanical properties of polymer lightweight concrete were investigated. In the first chapter of the thesis, polymers, polymer concretes and lightweight concretes are detailed. In the second chapter, experimental work is given. Pumice aggregate was used as lightweight aggregate in the production of lightweight concretes. Totally 12 concrete mixes with two different cement dosages as 400 kg/m³ and 500 kg/m³ were prepared. The water to cement ratio was kept constant as 0.35 for all mixes. Fly ash was incorporated for some of the mixes. Styrene-butadiene rubber latex (SBR) at ratios of 0%, 5% and 10% by weight of cement was adopted for each group of mixes. The flexural strength, compressive strength, abrasion resistance, water absorption and sorptivity of the concretes were determined. Based on the findings obtained, it may be concluded that SBR latex inclusion do not contribute to the flexural and compressive strength of concrete. However, it improved significantly the wear resistance, water absorption and sorptivity characteristics of the lightweight concrete.

Key Words: Polymer-modified lightweight concrete; Mechanical properties; Styrene-butadiene rubber latex; Wear resistance; Sorptivity.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Termoplastik polimer zinciri.....	15
Şekil 2.	Termoset plastik polimer zinciri	16
Şekil 3.	Polimerlerin betonda üç ayrı kullanımı	23
Şekil 4.	Ponza agregası.....	44
Şekil 5.	Karışım agregasının granülometri eğrisi	45
Şekil 6.	Deneylerde kullanılan Styrene Butadiene Rubber Lateks.....	45
Şekil 7.	Deneylerde kullanılan etüv.....	47
Şekil 8.	METTLER marka terazi.....	48
Şekil 9.	RADWAY marka terazi	48
Şekil 10.	NACE markalı eğik eksenli betoniyer.....	49
Şekil 11.	Beton test presi	49
Şekil 12.	Böhme yüzey aşındırıcı test cihazı.....	50
Şekil 13.	Hazırlanan karışımların kalıplara yerleştirilmesi	51
Şekil 14.	Kür havuzu	52
Şekil 15.	Çökme (abrams huni) deneyi	52
Şekil 16.	Kılcallık deney düzeneği	53
Şekil 17.	P/C Oranına bağlı olarak 7 günlük basınç dayanımı değişimi	57
Şekil 18.	P/C Oranına bağlı olarak 28 günlük basınç dayanımı değişimi	57
Şekil 19.	Eğilme dayanımlarının polimer miktarına bağlı değişimi	58
Şekil 20.	Polimer/çimento oranına bağlı olarak su emme yüzdelerindeki değişim.....	59
Şekil 21.	400 kg/m ³ dozajlı betonlarda zamana bağlı olarak kılcal yolla emilen su	60
Şekil 22.	500 kg/m ³ dozajlı betonlarda zamana bağlı olarak kılcal yolla emilen su	61
Şekil 23.	400 kg/m ³ dozajlı ve uçucu küllü betonlarda zamana bağlı olarak kılcallıkla emilen su	61
Şekil 24.	500 kg/m ³ dozajlı ve uçucu küllü betonlarda zamana bağlı olarak kılcallıkla emilen su	61
Şekil 25.	P/C Oranına bağlı olarak ağırlık kaybı değişimi	62

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Agregalara ait bazı özellikler	44
Tablo 2. Kullandığımız çimentonun fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri	46
Tablo 3. Kullandığımız uçucu külün fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları.....	46
Tablo 4. Süperakışkanlaştırıcının teknik özellikleri.....	47
Tablo 5. Beton bileşimleri.....	50
Tablo 6. Numunelerin basınç ve eğilme dayanımları.....	56

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Beton, çimento, su, agrega ve kimyasal veya mineral katkı maddelerinin homojen olarak karıştırılmasından oluşan, başlangıçta plastik kıvamda olup, şekil verilebilen, zamanla katılaşp sertleşerek mukavemet kazanan bir yapı malzemesidir. Çimento ve suyun oluşturduğu malzeme, "çimento hamuru" olarak adlandırılmaktadır. Beton içerisindeki agrega tanelerinin yüzeyini kaplayarak ve agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurarak agrega taneleri arasında bağlayıcılık işlevi görür. Çimento, su ve ince agreganın karışımından oluşan malzemeye harç denilmektedir (1).

Çimentolu suyun oluşturduğu çimento hamuru başlangıçta plastik bir malzeme iken çimento ve su arasında hemen başlayan kimyasal reaksiyonların etkisi ile çimento hamurunun başlangıçtaki plastik özelliği zamanla azalmaktadır. Bir veya birkaç saat sonra içerisindeki çimento hamuru katılaşmakta ve daha sonra tamamen sertleşmiş duruma gelmektedir. Başlangıçtaki plastik kıvamlı beton istenilen şekildeki kalıplara yerleştirilir istenilen boyutta sert yapı malzemesi elde edilir (1).

Beton, çağımızda irili ufaklı birçok yapıda kullanılmakta olan en önemli ve popüler yapı malzemesidir. İnsanlar yaşadıkları evleri, çalıştıkları işyerlerinin, eğitim gördükleri okulların, spor yaptıkları tesislerin, arabalarını park ettikleri park yerlerinin ve garajların büyük bir bölümünün yapımında beton kullanılmaktadır. Üzerinde yürüdüğümüz kaldırımlar, seyahat edilen veya insanların ihtiyacı olan malların getirilip gönderdiği karayollarının, demiryollarının, havaalanlarının ve limanların yapımında da beton kullanılmaktadır. İçme suyunun veya atık suların depolandığı tanklar ve bu suların taşındığı borular betondan yapılmaktadır. Enerji üretimi için kurulan barajların ve atom reaktörlerinin bir bölümünde ve enerji nakli için kullanılan direklerin yapımında, yine beton kullanılmaktadır. Çağdaş günlük yaşamda betonla karşılaşılmayan veya betondan yapılmış yapılardan yararlanılmayan tek bir gün dahi yoktur. İnşaat mühendislerinin, bilim adamlarının, işadamlarının ve betonla ilgili herkesin betonun özelliklerini yeterince tanımaları, karşılaşılan sorunların neler olduklarını ve nerden, nasıl kaynaklandığını çok iyi bilmeleri gerekmektedir.

Beton günümüzde en yaygın taşıyıcı yapı malzemesi yapan özellikleri şöyle sıralamak mümkündür:

- Ucuzluğu,
- Şekil verme kolaylığı,
- Yüksek basınç dayanımlarına ulaşılması,
- Fiziksel ve kimyasal dış etkilere karşı dayanıklılığı (uzun ömür, bakım kolaylığı),
- Hafif agrega ile hafifletilmesi.

Betondan taze ve sertleşmiş haller için farklı özellikler beklenir.

1.2. Beton

1.2.1. Taze Beton Özellikleri

Çimentonun, suyun, agreganın ve gerektiğinde, katkı maddelerinin birlikte karılması sonucunda elde edilen beton karışımı, şekil verilebilir, yumuşak bir karışımdır. Ancak, çimento ve suyun birleştiği anda başlayan hidrasyon devam ettikçe, çimento hamuru giderek daha katı bir durum almakta ve bir süre sonra şekil verilmez olmaktadır (1).

Taze beton, henüz tamamen katılaşmamış, şekil verilebilir durumdaki betondur. Betonun taşınması kalıplarındaki yerine yerleştirilmesi, sıkıştırılması, yüzeyinin düzeltilmesi gibi işlemler, beton şekil verilebilir durumdayken yapılabilir. Sertleşmiş durumdaki betondan istenilen büyüklükteki dayanımın, dayanıklılığın ve hacim sabitliğinin elde edilmesi için, taze beton aşağıda sıralanan özellikleri göstermelidir.

Beton üretimi için bir araya getirilen malzemeler, betonun içerisinde üniform bir dağılım gösterecek tarzda, "kolayca karılabilir" olmalıdır,

Taze beton, üniformitesi bozulmadan, "kolayca taşınabilir" olmalıdır.

Kalıplardaki yerine yerleştirilecek taze beton, üniformitesi bozulmadan, kalıp içerisindeki her noktaya ulaşabilecek tarzda, "kolayca yerleştirilebilir" olmalıdır.

Yerine yerleştirilen taze beton, üniformitesi bozulmadan, "kolayca sıkıştırılabilir" olmalıdır.

Yerine yerleştirilip sıkıştırılan taze betonun içerisinde bulunan su, hidrasyonun devam edilmesi için, mümkün olabildiği kadar betonun içerisinde kalmalı, yüzeye çıkararak kaybolmamalıdır. Mümkün olabildiği kadar az terleme göstermelidir.

Kalıbına yerleştirilen ve sıkıştırma işlemi yapılan taze betonun yüzeyi kolayca düzeltilebilir olmalıdır.

Taze betonun priz süresi, kullanılacağı ortama uygun uzunlukta olmalıdır [6].

Malzemelerin karılmasıyla Şekil verilebilir bir durum kazanan taze betonun, karıldığı andan katılaşmaya başladığı ana kadar geçen süre priz süresi olarak adlandırılır.

1.2.1.1. İşlenebilme

Taze betonun "kolayca karılabilmesi, ayrışma yapmadan taşınabilmesi, yerleştirilebilmesi, sıkıştırılabilmesi ve yüzeyinin dztilmesi", betonun ne lde işlenebilir olduğunu göstermektedir. O nedenle, bu özeliklerin tümü, "işlenebilme" adı altında tek bir özelik olarak ifade edilmektedir.

İşlenebilme, taze betonun katılaşma göstermeden önceki durumuyla ilgili bir özelik olduğundan, betonun karılma işleminden itibaren ne kadar süre içerisinde katılaşma göstereceği (priz süresi), betonun kullanılacağı yapı tipi için oldukça önemli olmaktadır.

Çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonların yer alma hızı (hidrasyon hızı), priz sresinin kısalığı veya uzunluğunu etkileyen önemli bir faktördür (1).

İşlenebilme, taze betonun en önemli zeliğidir. Yeterli işlenebilmeye sahip olmayan taze beton, sertleştiğinde, yeterli dayanımı ve dayanıklılığı göstermez. Beton karışımının sahip olduğu ıslaklık, taze betonun taşınabilirliği, pompalanabilirliği, yerleştirilebilirliği, ayrışabilirliği, sıkıştırabilirliği ve yüzeyinin dzeltilebilirliği gibi kavramların tümü, betonun işlenebilme özeliği içerisinde yer alan kavramlardır (1).

1.2.1.2. Kıvam

Kıvam, taze beton karışımının ıslaklık derecesi anlamına gelmektedir. Kıvam teriminin taze betondaki su miktarı olarak tanımlanması yanlıştır. Kıvam, betonun ne lde ıslak veya kuru olduğunu tanımlamaktadır.

Kıvamı çok yüksek olan bir taze beton, düşük kıvamdaki bir betona göre daha rahat karılabilmekte, daha rahat pompalanabilmekte ve çoğu kez daha rahat yerleştirilebilmektedir. Ancak, beton kıvamının çok yüksek olması, betonun işlenebilirliğinin mutlaka yeterli olduğu anlamına gelmemektedir. Zira aşırı derecede sulu bir beton karışımının kalıplara yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işlemlerinde betondaki çimento harcı ile iri agregalar kolayca ayrışma gösterebilmektedir; yani, bu tür betonlar yeterli işlenebilmeye sahip olamamaktadırlar.

Beton kıvamı, sadece taze beton kütlesindeki kayma kuvvetleri tarafından etkilenmektedir. Taze beton kütlesinin akıcılığı ve kohezyonu, kıvam kavramı içerisinde yer almamaktadır. Bu kavram, işlenebilirlik özeliğini tam olarak ifade etmemekle birlikte, yine de betonun işlenebilirliğine dair önemli bilgi sağlamaktadır. O nedenle, deneysel olarak kolayca ölçülebilen beton kıvamı, çoğu zaman betonun işlenebilmesini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır (1).

1.2.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri

1.2.2.1. Su Emme

Sertleşmiş betonun içerisindeki boşlukların tümü suyla dolu durumda değil ise, ıslak ortamda, betonun içerisindeki boşluklara dışarıdan su girebilmektedir. Bu işlem, betonun suya doymuş duruma gelmesine kadar devam edebilmektedir. Beton tarafından içerisindeki boşluklara fiziksel olarak su çekilmesi işlemine su emme denilir.

Sertleşmiş betonun su emme işleminde, önce büyük boyutlu kapiler boşluklar ve daha sonra da küçük boyutlu kapiler boşluklar suyla dolu duruma gelmektedir. O nedenle, betondaki "su emme", ilk zamanlarda büyük bir hızla, zaman ilerledikçe ise, giderek daha düşük bir hızla yer almaktadır. Su emme hızı ve emilen suyun miktarı, betonun ne ölçüde kuru olduğuyula ve betonun içerisindeki boşlukların toplam hacmi ile ilgilidir. Betondaki toplam boşluk hacmi ise, betonda kullanılan su / çimento oranı, agrega cinsi, kür koşulları, kür süresi, karbonatlaşma, beton elemanın boyutu gibi birçok faktör tarafından etkilenmektedir. Su emme kapasitesi yüksek olan betonların dayanımları daha düşük olmaktadır. Sülfat, asit, klor ve benzeri zararlı maddeleri içeren suların beton tarafından emilmesi, betonda hasar yaratacak kimyasal olayların başlamasına neden olmaktadır (1).

1.2.2.2. Geçirimsizlik

Sertleşmiş betonun yüzeyi ile temas edilen sıvılar ve gazlar, betonun içerisine girerek akış gösterebilmektedirler. Betonun içerisindeki sıvıların akış göstermeleri değişik nedenlerden kaynaklanmaktadır. Bunlar,

- Hava veya su basıncının yarattığı farklılıklar,
- Nemlilik farklılıkları,
- Betonun içerisindeki sıvıların farklı yoğunlaşmasından doğan geçişim olayıdır.

Geçirimsizlik, sıvıların ve gazların, betonun içerisinde akış gösterebilmelerine imkan tanıyan bir özelliktir. Sıvıların ve gazların betonun içerisinde akış gösterebilmeleri betonda yer alan boşlukların birbiriyle bağlantılı olması nedeniyle gerçekleşebilmektedir. Geçirimsiz betonların içerisine sızan sular ve bu sulardaki yabancı maddeler, betonda bazı kimyasal ve fiziksel olaylara yol açmaktadır. Beton depolar ve barajların yapımında kullanılan betonlar başta olmak üzere, içerisinde su veya başka bir sıvı bulunduran bütün betonların, mümkün olabildiği kadar "geçirimsiz" olmaları gerekmektedir (1).

1.2.2.3. Büzülme (Rötre)

Beton içerisindeki suyun fiziksel ve kimyasal nedenlerle azalması (kaybolması) sonucunda betonun boyunda ve hacminde yer alan küçülmeye "büzülme" denir. Bu olay rötre olarak da anılmaktadır. Sertleşmiş betondaki su kaybı, hem fiziksel hem de kimyasal nedenlerle gerçekleşebilmektedir.

1.2.2.4. Sünme

Malzemelerin üzerine uygulanan sabit gerilmelerin etkisiyle, zaman geçtikçe malzemenin gösterdiği deformasyona sünme denir. Betondaki sünme olayı düşük gerilmeler altında ve normal sıcaklık ortamında da meydana gelebilmektedir. Yük altında belirli bir deformasyon göstermiş olan beton, yük kaldırıldıktan sonra, hiçbir zaman ilk boyutlarına dönememektedir.

1.2.2.5. Dayanım

Beton teknolojisinde betonun dayanımı, üzerine gelen yüklerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği maksimum direnme olarak tanımlanmaktadır. Beton üzerine değişik yönlerde uygulanan yükler, değişik etkiler yaratabilmektedir. Basınç, çekme, eğilme ve kayma etkisi yaratacak yükler altında betonun şekil değiştirmeye ve kırılmaya karşı göstereceği dirençtir.

Sertleşmiş betonun belirli dayanımda olmasının yanı sıra, yeterli dayanıklılığı göstermesi, su geçirimsizliğinin az olması gibi diğer bazı özelliklere de sahip olması gerekmektedir. Bu özelliklerin her biri çok önemli olmakla beraber, beton özellikleri arasında en çok aranan ve kullanılan "dayanım özelliğidir".

Betonun dayanım özelliği ile diğer özellikleri arasında bir korelasyon kurabilmek ve niteleyici olarak diğer özelliklerin ne büyüklükte olduğunu değerlendirebilmek mümkündür. Örneğin dayanımı yüksek olan bir betonda, su geçirimsizlik ve dayanım da daha iyi olacaktır.

1.2.2.5.1. Beton Basınç Dayanımı

Betonun basınç dayanımı, eksenel basınç yükü etkisi altındaki betonun kırılmamak için gösterebileceği direnme kabiliyeti (eksenel basınç yükü etkisiyle, betonda oluşan maksimum gerilme) olarak tanımlanmaktadır.

1.2.2.5.2. Betonun Çekme Dayanımı

Betonun çekme dayanımı, "betonda çekme etkisi yaratacak kuvvetlerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği direnme kabiliyeti" olarak tanımlanmaktadır. Genellikle, yapıdaki betona doğrudan çekme kuvveti uygulanmamaktadır. Ancak, beton elemanların üzerlerine gelen basınç ve/veya eğilme kuvvetleri betonun içerisinde dolaylı olarak çekme kuvvetlerinin oluşmasına neden olmaktadır (1).

1.2.2.6.Betonun Dayanıklılığı

Çeşitli türdeki yapılarda kullanılmakta olan beton, hizmet süresi boyunca, bünyesinde yıpranmaya yol açabilecek birçok kimyasal ve/veya fiziksel etkenlerle karşılaşmaktadır. Bu etkenler, doğa koşullarında ve/veya betonun kullanıldığı ortamdan ve/veya betondaki alkalilerle reaktif agregalar arasındaki reaksiyonlardan kaynaklanmaktadır.

Betonun içerisine sızan su, karbon dioksit, oksijen, sülfat, asit ve klor gibi maddeler, betonda değişik türdeki kimyasal olayların yer almasına neden olmaktadır.

Betonun içerisindeki alkalilerle reaktif agregalar arasında gelişen ve sertleşmiş betonun genişerek yıpranmasına yol açan reaksiyonlar da kimyasal olaylar sonucunda yer almaktadır. Islanma - kuruma, donma-çözülme, ısınma - soğuma ve aşınma gibi olaylar betonun yıpranmasına yol açacak nitelikteki fiziksel olaylardır.

Betonda yer alan kimyasal ve fiziksel olaylar sonucunda, beton daha boşluklu bir malzeme durumuna gelebilmekte, içerisindeki demir donatılar korozyona uğramakta, beton aşınabilmekte ve betonun içerisinde çok büyük gerilmeler oluşabilmektedir. Bütün bu olaylar betonun hasar görmesine, hizmet edemez duruma gelmesine yol açmaktadır.

Bilindiği gibi, yapıların tasarımında, betonun hedeflenen dayanımından daha düşük dayanıma sahip olmaması istenmektedir. Ancak, betonun, hizmet gördüğü süre boyunca karşılaştığı kimyasal ve fiziksel olaylar karşısında yeterli direnci gösterebilmesi, yani, yeterince dayanıklı olması, en az, betonun dayanımı kadar, hatta çoğu zaman beton dayanımından daha da önemlidir.

Beton dayanıklılığı, hava koşullarından, sülfatlı veya asitli sulardan ve/veya betonun kullanıldığı ortam koşullarından kaynaklanan yıpratıcı kimyasal ve fiziksel olaylar karşısında, betonun hizmet süresi boyunca gösterebileceği direnme kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır. Beton tasarımında, betonun hedeflenen dayanımından daha düşük bir dayanıma sahip olmaması gerekmektedir (1).

Asit etkisi, portland çimentosu yüksek dereceden alkali olduğu için, beton güçlü asitlerin ya da asit oluşturan maddelerin saldırısına dayanıksızdır. Kimyasal saldırı, çimento hidratasyon ürünlerinin ayrışması ve oluşan yeni ürünlerden eriyebilir olanların betondan ayrılması, erimez olanların betonu parçalaması şeklinde görülür. Asit saldırısına en hassas bileşen Ca(OH)_2 'dir. C-S-H'lar da saldırıya uğrayıp zarar görebilir. Asit reaksiyonlarının hızı ve şiddeti; asit tipine, etkilenme süresine ve asit yoğunluğuna göre

değişir. Ancak en önemli etken oluşan kalsiyum tuzunun çözünürlüğüdür. Çözünürlük arttıkça, su ile taşınan maddeler zararı arttırmaktadır. Reaksiyonların gelişimine bağlı olarak sertleşmiş betonun yüzeyinden başlamak suretiyle bünyesinde yumuşama ve gözenekler oluşur. Ayrıca, biyolojik oluşumlar sonucu, kanalizasyon borularında olduğu gibi, zayıf asitler de kuvvetli asit haline dönüşebilir.

Alkali-silika reaksiyonu (ASR) oldukça kompleks kimyasal bir reaksiyondur. Bazı çimentoların içinde fazla miktarda bulunan sodyum oksit (Na_2O) ve potasyum oksit (K_2O) gibi alkali oksitler, aktif silis içeren agregalarla reaksiyona girerek, jel oluşumuna sebep olurlar. Nemin varlığında bu jel zamanla şişerek betonda hasar oluşumuna yol açar.

Çimentoda bulunan sodyum ve potasyum oksitler çimentonun hammaddelerinden (kil, kireçtaşı, şeyl) kaynaklanır. Çimento dışında alkaliler, agregası, karışım suyu, beton katkı maddeleri, buz çözücü tuzlar, zemin suyu, deniz suyu, beton kür suyu ve endüstriyel atık suları aracılığıyla da beton bünyesine girebilirler. Çimento fabrikalarında kullanılan ön ısıtma sistemi de çimentonun alkali içeriğinin artmasına yol açmaktadır. Agregayı oluşturan bileşenlerin türü ve formu agreganın reaktifliğini belirler. Silika mineralleri reaktiflikleri açısından opal, kalsedon, kristobalit, tridimit, kriptonkristal kuvars olarak sıralanabilir. Bu minerallerden bir veya birkaçının bir arada bulunduğu kayalar arasında, opal, kalsedon, kuvars çörtleri, silisli kireçtaşları, silisli dolomitler, riyolit ve tüfleri, dazit ve tüfleri, andezit ve tüfleri, silisli şeyller, filitler, opalli oluşumlar, çatlamış ve boşlukları dolmuş kuvars sayılabilir.

ASR yalnızca nem varlığında gerçekleşir. Nem oranı, bozulmanın ve hacim değişikliğinin şiddeti üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. ASR üzerinde beton karışım oranları, agregası boyutu, hava katkısı, mineral ve kimyasal katkıların, ortam sıcaklığının da etkisi vardır.

Puzolanlar çimento harcının kirecini tutarak, ortamın pH derecesini indirger ve silisin çözünürlüğünü azaltarak ASR'yi ve jel oluşumunu önlerler. Silika tozu yüksek yüzey alanına sahiptir ve henüz beton taze iken ASR'yi hızlandırır. Yeterince kullanıldığında silika tozu, Na^+ ve K^+ ile reaksiyona girerek, bu alkalileri tüketir. Bu durumda agregadaki reaktif silika ya reaksiyona girmez ya da genişlemeye neden olamayacak kadar az reaksiyon ürünü oluşur. Yapılan bazı çalışmalarda çimento yerine minimum %5 silika tozu ve %30 uçucu külün (C sınıfı) kullanımının genişlemeyi azaltıcı yönde etkisi olduğu belirtilmektedir.

Yüksek fırın cürufu kullanımı da genleşmelerin tehlikesiz boyutlara indirilebilmesi bakımından yararlıdır. Uçucu külün ASR hasarlarını kontrol etmedeki yararlı etkisi ilk olarak 1949 yılında Robert Blanks tarafından rapor edilmiştir. İlerleyen yıllarda, reaktif agrega, alkali içeriği yüksek çimento ve uçucu kül kullanılarak üretilen önemli yapılar üzerinde yapılan incelemeler de uçucu külün yararlı etkisini ortaya koymuştur. Galler'de Cwm Rheidol hidroelektrik sistemi üzerinde kurulu olan Nant-y-Moch ve Dinas barajları reaktif agrega kullanılarak üretilmiş olup, Nant-y-Moch barajının yapımında çimento yerine %25 oranında F sınıfı uçucu kül kullanılmıştır. 1957-1962 yılları arasında inşa edilen barajlar üzerinde 2010 yapılan incelemeler, Nant-y-Moch barajında herhangi bir hasar oluşmadığını, Dinas barajında ise kalınlığı 5 mm'yi geçen rasgele harita çatlakları oluştuğunu göstermiştir. Dinas barajında oluşan stabilite sorunlarına karşı art-germe çubukları kullanılarak önlem alınmıştır.

Alkali-karbonat reaksiyonu (ACR) ise, ilk olarak Swensson tarafından Kanada'da 1957 yılında gözlemlenmiş ve araştırılmıştır. Fakat günümüzde, ACR'nin mekanizması ve zararları halen tam olarak anlaşılmamıştır. Örneğin, ACR'nin tek başına genleşme ve böylece hasar oluşturmadığını, oluşan hasara sadece ACR ile birlikte gerçekleşebilen ve dolomit taneleri içindeki killerin sebep olduğu ASR'nin yol açtığını öne sürülmüştür. Karbonat kayalardaki mikro- vekripto-kristaline kuvars gibi silika içeriği, karbonatlarda ASR için oldukça önemli bir kriter sayılmaktadır. Bu reaksiyonda dolomit veya magnezyum içeren kireçtaşları reaksiyon sonucu magnezyum hidroksite dönüşürler. Dedolomitasyon adı verilen bu olay sırasında dolomit ve kireç, kendilerinden daha büyük hacimli olan kalsite ve brusite dönüşerek, harita şeklinde çatlaklara ve betonun tamamen parçalanmasına yol açabilir.

Dolomitin esas maddesi $MgCO_3$ su etkisiyle $Mg(OH)_2$ 'e dönüşmekte, $Mg(OH)_2$ ise suda çözünerek suyun taşın içine sızmasını sağlamaktadır. Taşın iç kısımlarında jeolojik devirlerden kalma kil damarları varsa bunlar su ile temas edip şişmekte ve agregaları patlatmaktadır. Alkalikarbonat jeli miktarca az olup genleşmeye daha ziyade dolomitin boşalması ile suya maruz kalıp şişen kil bileşenleri neden olmaktadır.

Betonda karbonatlaşma ve çelik donatının korozyonu, doğru dizayn edilmiş, geçirimsiz, kaliteli bir beton, çeliği korozyondan koruyarak yapının dayanımını ve dayanıklılığını istenen düzeyde sağlar. Kimyasal koruma betonun alkalitesi sayesinde, fiziksel koruma ise ortamda bulunan ve korozyona yol açan maddelerin yapı elemanı içine difüzyonunun önlenmesi ile gerçekleşir. Betonun bu olumlu özelliğine rağmen uygulamada

yapılan hatalar nedeniyle korozyon günümüzde betonarme yapıların servis ömürlerini belirleyen en önemli faktör olarak kabul edilmektedir.

Beton yüksek dereceden alkali bir malzemedir. Alkalinitenin ana kaynağı gözenek suyu içinde çözülmüş kireçtir. Çimento alkali oksitlerinin su ile reaksiyonundan oluşan alkali hidroksitler de bir diğer alkali kaynağıdır. Böylece betonun pH değeri 13 mertebesine kadar çıkar. Fakat, donatıların korozyondan korunması için çok önemli ve gerekli olan betonun alkali ortamı zamanla karbonatlaşma adı verilen kimyasal bir reaksiyon nedeniyle kaybolabilir. Özellikle, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ortamda bulunan karbondioksit (CO_2)'in betonun gözenek sistemine işlenmesiyle kalsiyum karbonat (CaCO_3)'a dönüşür. Oluşan kalsiyum karbonatın pH değeri sadece 8.3'tür. pH değerinin 9.5'in altına düşmesi halinde beton, betonarme çeliğini koruma etkinliğini kaybeder.

Karbonatlaşma hızını S/Ç oranı, kür koşulları, çimento tipi, kimyasal bileşimi ve miktarı gibi birçok faktör etkiler. Temiz havada yaklaşık %0.03 CO_2 bulunur. Büyük şehirlerde bu oran %0.3 civarındadır. Ancak, çok ender durumlarda %1 CO_2 konsantrasyonlarına da rastlanır. Ortamın CO_2 konsantrasyonu yükseldikçe karbonatlaşma doğal olarak daha hızlı meydana gelir. Yapılan ölçümler, basınçdayanımı 30 MPa'ın altındaki betonlarda büyük olasılıkla olumsuz koşullarda 15 mm'lik karbonatlaşma miktarına birkaç yılda ulaşılacağını ortaya koymaktadır.

Karbonatlaşmış beton içindeki donatının korozyonu elektro kimyasal reaksiyonla gelişir. Korozyon elemanı elektron ve iyon akışını sağlayan beton boşluk suyunun oluşturduğu elektrolitik ortamla birbirine bağlı anot ve katot elemanlarından oluşur. Anodik işlem demirin çözülmesi olayıdır. Pozitif yüklü iyonlar çözeltiliye karışırlar. Katodik işlemde ise çelik vasıtasıyla katoda geçen elektronlar su ve oksijenle birleşip hidroksil iyonlarını oluştururlar. Anottan çözeltiliye geçen demir iyonları hidroksil iyonlarıyla reaksiyona girerek demir hidroksiti oluştururlar. Demir hidroksit oksidasyonla demiroksite (pas) dönüşür. Korozyon hızı büyük ölçüde, beton içine O_2 ve H_2O difüzyonu hızına bağlıdır. Bu nedenle betonun boşluk yapısını etkileyen tüm faktörler korozyon hızını da etkilerler. Bunlar arasında betonun S/Ç oranı ilk sırada yer alır. Korozyon maksimum hızına %70-80 bağıl hava nemi değerlerinde ulaşır. Kuru betonda elektrolitik ortam mevcut olmadığından, suya doygun betona ise oksijen difüzyonu ihmal edilebilir mertebelerde olduğundan beton karbonatlaşmış olsa bile korozyon gerçekleşmez. En çok zararı ise ıslanma-kuruma etkisine maruz yapılar görür. Yarı-ıslak periyotta karbonatlaşma gelişirken, daha doygun ortamda korozyon hızla gelişir.

Korozyon, çelikte en kesit kaybına, beton-çelik aderansının azalmasına, betonarme elemanın taşıma gücünün azalmasına, dolayısıyla yapının deprem güvenliğinin kaybolmasına, zamanla yapının kullanılamaz hale gelerek servis ömrünü tamamlamasına neden olabilmektedir. Küçük en kesit kayıplarında bile çeliğin deformasyon karakteristikleri ve kopma yükü önemli ölçüde azalabilir. Ayrıca betonarme yapılarda arzu edilen düktil davranış yerine yapılar gevrek (ani) göçme davranışı gösterirler.

1.3. Polimerler

Polimerin, kelime anlamı çok parçalıdır. Bir polimer malzeme, kimyasal olarak birbirine bağlı birçok parça veya birimi içeren bir katı olarak veya başka bir deyişle birbirine bağlanarak bir katı meydana getiren parçalar veya birimler olarak düşünülebilir. Polimerler, en basit tanımıyla çok sayıda aynı veya farklı atomik grupların kimyasal bağlarla az veya çok düzenli bir biçimde bağlanarak oluşturduğu uzun zincirli yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerdir. Plastik malzeme olarak da bilinen suni polimerler, son 40-50 yıl içinde büyük gelişme göstererek günümüzde hacim olarak metallerle hemen hemen eşit oranda kullanılmaya başlanmıştır. Bunun başlıca nedenleri; bu malzemelerin nispeten ucuz, kolay işlenebilir, hafif, yüksek kimyasal ve korozyon direncine sahip olmalarıdır. Ayrıca yüksek ısı ve elektriksel özelliklere ve yeterli mekanik özelliklere sahiptirler. Cam, karbon vb. gibi liflerle kuvvetlendirilen plastik malzemeler, daha yüksek mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olurlar. Takviyeli plastikler özellikle içten yanmalı motorların ve uçakların yapımında kullanılır. Diğer bir örnek de; plastik-beton karışımından elde edilen rijit ve çok iyi sönümlenme kabiliyetine sahip olan kompozit malzemeler, tezgah ve diğer ağır makine gövdelerinin yapımında kullanılır.

1.3.1. Polimerlerin Sınıflandırılması

1.3.1.1. Elde Edilişlerine Göre

Polimerler elde edilişlerine göre doğal, sentetik ve yarı sentetik olmak üzere üçe ayrılır.

- Doğal polimerler

Doğal polimerlerin bazıları ise farklı yapıda değişik birimlerin bir araya gelmesiyle oluşmuştur. Örneğin odundaki ligninin ayrılmasıyla elde edilen selüloz. Biyopolimer olarak isimlendirilen ve yaşamla ilgili birçok önemli faaliyetin yürütülmesinde rol alan proteinler, nükleik asitler (DNA, RNA) ve enzimler doğal polimerlere örnek olarak verilebilir. Bu karmaşık yapıdaki yüksek molekül ağırlıklı bileşikler çoğu zaman daha uygun bir sözcük olan "makromoleküller" olarak da isimlendirilirler.

- Sentetik polimerler

Genellikle çok sayıda tekrarlanana “mer” veya “monomer” denilen basit birimlerden oluşur.“Poli” latince bir sözcük olup çok sayıda anlamına gelir ve “mer” sözcüğü ile birleştirilerek, bu yüksek molekül ağırlıklı moleküllerin adlandırılmasında kullanılır. En basit sentetik polimer olan polietilen örnek verilebilir.

- Yarı sentetik polimerler

Doğal polimerlerin modifikasyonu ile elde edilirler. Örn. doğal selülozdan elde edilen rejenere selüloz ve diğer selüloz türevleridir, örn. selüloz asetat (bu madde malzemeleri içyapılarının metalografik incelemesinde replika yönteminde kullanılır).

1.3.1.2. Kimyasal Bileşimlerine Göre

Polimerler, doğal yada sentetik olup olmadıklarına bakılmaksızın kimyasal bileşimlerine göre de sınıflandırılmıştır:

- Organik polimerler

Yapılarında başta karbon atomu olmak üzere hidrojen, oksijen, azot ve halojen (F,Cl,Br,I gibi) atomları içerir.Eğer polimer zinciri üzerinde dizili atomların hepsi aynı türden ise bu polimerlere “homo zincir”, farklı atomlar ise “heterozincir” polimer olarak adlandırılır. Bir atomun polimer ana zinciri üzerinde yer alabilmesi için en az “2”değerlikli olması gerekir. Bu nedenle örn. hidrojen ve halojenler ana zincir üzerinde yer almazlar. Organik polimerler, diğer organik maddelerin aldıkları isimlere göre sınıflandırılabilirler. Örn: alifatik, aromatik gibi.

- İnorganik polimerler

Organik polimerler kadar yaygın kullanılmazlar. Polimer ana zincirinde karbon atomu yerine periyodik cetvelde yer alan 4. ve 6. Grup elementleri bulunur. Örn. Si, B, Ge.

Alümina silikat, doğal ve sentetik zeolitler tipik inorganik polimerlerdir. Zeolit suyunarıtılmasında kullanılır.

Plastiklerin (yapay polimerler) yapısı amorf haldedir. Bu yüzden, uzun ve karışık zincirlerin birbirleri ile uyum sağlayıp düzenli bir yapı oluşturmaları oldukça zordur. Bir lineer polimer yapısı pişmiş makarnayı andırır ve polimer zincirleri birbirlerine dolanmış halde bulunur. Amorf, ana yapı içerisinde bulunan küçük yapıli bölgeler, kristalitler olarak adlandırılır ve oluşan kristaller rastgele yönelirler.

1.3.1.3. Yapılarına Göre

Homopolimer: Tek bir monomer biriminin tekrarlanması ile oluşan polimerlerdir. Örneğin etilen grubunun tekrarlandığı polietilen (PE).

Kopolimer: İki monomer karışımından oluşan polimerdir. Kendi içerisinde sınıflanabilir,

a- Ardışık (alternatif) polimer. Örneğin, Stiren-maleik anhidrit

A-B-A-B-A-B-A-

b-Blok (düzenli) polimer. Örneğin, Stiren-izopren

-A-B-B-B-A-B-B-B-A

c- Gelişigüzel polimer. Örneğin, Stiren-metilmetakrilat

-A-A-B-A-B-B-A

d-Graft (aşılı) polimer: Ana zincire başka bir monomerin bağlanması ile oluşur.

1.3.1.4. Bağ yapılarına Göre

- Doğrusal (lineer) polimer: Örneğin, yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE veya HDPE)

-A-A-A-A-A-A-A-A-

- Dallanmış polimer: örn. alçak yoğunluklu polietilen (AYPE veya LDPE)

-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A

- Çapraz bağlı polimer: Örneğin, vulkanize, kauçuk

-A-A-A-A-A-A-A-A-A-AB

-B-A-A-A-A-A-A-A-A-A

1.3.1.5. Sentez Yöntemlerine Göre

- Yoğuşma polimerleri: İki tane monomerin reaksiyona girerek su açığa çıkması ile oluşan polimerlerdir. Bunlara termoset reçineler denir.
- Katılma polimerleri: Sentez reaksiyonu bir çift bağın açılması ve monomerlerin birbirine zincirin halkaları gibi katılması ile oluşan polimerlerdir. Bunlara termoplastik reçineler de denir.

1.3.1.5.1. Termoplastikler

Termoplastiklerin molekülleri birbirlerine zayıf olan Van der Waals bağları ile bağlıdır. Bu özelliğinden dolayı termoplastikler, rijit bir yapıya sahip değildirler. Isı ile şekil değiştirebilen ve şekil değiştirdiğinde yapısal değişikliğe uğramayan plastiklerdir. Bu tip plastikler, yüksek sıcaklıklarda yumuşarlar, eriyik haline gelirler ve tekrar soğutulduklarında sertleşirler. Sıvı halde bulunduğu sıcaklıklarda viskozitesi yüksektir. Bu nedenle ara yüzey bağı termosetlere göre daha zayıftır. Düşük sıcaklıklarda bile kolay şekil verilmesi, malzemeye ekonomik değer katar.

Termoplastikler çeşitli sıcaklıkta ve hallerde bulunur. Bunlar:

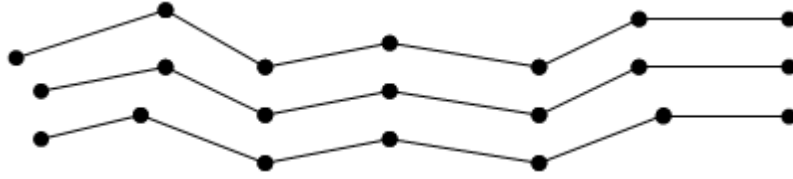
- a. Katı Hal: Malzeme, cam gibi sert ve tokluk arz eden sert bir haldedir.
- b. Termoelastik Hal: Bu, malzemenin yüksek elastikiyete sahip olduğu durumdur.
- c. Termoplastik Hal: Bu durumda, malzeme akışkan bir sıvı halindedir. Bu haldeyken malzeme, balmumuna benzer, ısıtıldığında yumuşar, erir ve şekil verilebilir. Bu grupta, akrilikler, selülozikler, naylonlar, polistirenler, polietilenler, karbonflorürler ve viniller vardır. Başlıca termoplastikler; asetal (POM), akrilik (PMMA), akronitril-butadiene-streyn (ABS), politetra flourethylene (PTFE), poliamids (PA), polyesterler (PET), polietilen (PE), polipropilene (PP), polivinil klorür (PVC) dir.

Termoplastikler, üretimlerindeki zorlukların yanı sıra yüksek maliyetlerinden dolayı kompozit malzemelerde matris olarak tercih edilmezler. Ayrıca, oda sıcaklığında düşük işleme kalitesi sağlar, buda onların üretimde zaman kaybına yol açmasına neden olur. Bazı termoplastikleri istenilen şekillere sokabilmek için çözücülere (solventlere) ihtiyaç duyulabilir. Termoplastikler, termosetlere kıyasla, hammaddesi daha pahalıdır. Diğer bir

sebepler ise, termoplastik bağlayıcı malzemelerin, termoset reçinelerden daha gevrek olmasıdır.

Fakat termoplastiklerin neme karşı dayanımları yüksektir. Ayrıca, yüksek süneklik özelliği sayesinde, ortalama elastiklik modülü, yüksek mukavemetli liflerin, kompozitin içinde tüm mukavemet potansiyellerini kullanmalarını sağlayabilen nadir bağlayıcılardır.

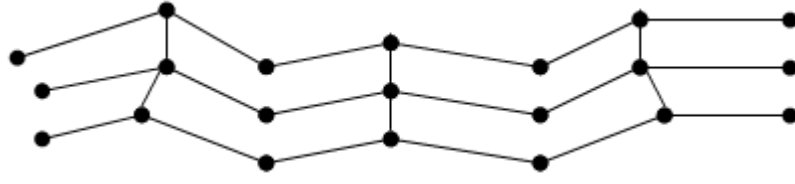
Termoplastik reçineler, malzemenin çekme ve eğilme dayanımını artırması için kullanılırlar. Otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan termoplastikler, uçak sanayisinde de yüksek performanslı malzeme çözümlerinde de kullanılmaktadırlar. Çoğunlukla enjeksiyon ve ekstrüzyon kalıplama yöntemleri ile üretilen termoplastikler, GMT (Glass Mat Reinforced Thermoplastics / Preslenebilir Takviyeli Termoplastik) olarak da üretilmektedir. Bu yöntemle hazırlanan takviyeli termoplastikler, soğuk plakaların preslenebilmesi ve geri dönüşüme uygun olduğundan dolayı, özellikle otomotiv sektöründe tercih edilmektedir. Bunların dışında plastik çanta, plastik boru gibi çeşitli malzemeler de üretilmektedir.



Şekil 1. Termoplastik polimer zinciri

1.3.1.5.2. Termoset Plastikler

Termosetler, ısı ile işlem yardımıyla üretilen ve geri dönüşümü olmayan plastiklerdir. Yani, bir kez ısı ile şekil verildikten sonra, yapısal değişikliğe uğrayan ve tekrar şekillendirilemeyen plastiklerdir. Ayrıca, erime özelliğinin olmaması termoplastikler gibi akıcılık kazanmasını önler. Buna karşın, yangında kömürleşerek doğal bir ısı yalıtım tabakası oluştururlar.



Şekil 2. Termoset plastik polimer zinciri

Termosetler, polimerizasyonla iki kademedede elde edilirler. İlk olarak, malzemenin ihtiva ettiği monomerler, reaktörde lineer zincirler oluşturmaya başlar. İkinci polimerizasyon işlemi ise kalıplama esnasında, sıcaklık ve basınç altında önceden reaksiyona girmeyen kısımlar sıvılaşarak molekül zincirlerini üç boyutlu olarak rijitleştirirler [9]. Bu yüzden tekrar ısı işlemi ile yumuşatılamazlar. En çok tercih edilen termosetler; epoksiler, polyesterler, fenoliklerdir, silikon, polimide, bismaleimide (BMI), amino reçineler.

1.3.2. Polimer Malzemelerin Bileşenleri

Teknikte kullanım amaçlarına uygun olarak birçok yan malzemelerle karıştırılırlar. Bu malzemeleri de gruplandırmak mümkündür:

1.3.2.1. Solventler

İşlemede kolaylık sağlayan bu maddeler, depolanma sırasında kararlı, fizyolojik yönden aktif olmayan, renksiz ve berrak olmalıdırlar. Buharlaştırma hızlarına göre hızlı, orta hızlı ve yavaş olmak üzere üçe ayrılırlar.

Bunlar;

- Hızlı buharlaşanlar; aseton, eter, benzin 1-10
- Orta hızlı buharlaşanlar; xilen, butanol, cyclohexanone 12-163
- Yavaş hızla buharlaşanlar; cyclohexanone, glycol 460-3000

1.3.2.2. Plastifiyanlar

Bunlar viskoz sıvı veya katı olan, plastiklere esneklik veren ve özellikle düşük sıcaklıklarda elastik kalmalarını sağlayan maddelerdir. İyi bir plastifiyan buharlaşmamalı ve karışımda homojen dağılmalıdır.

Sulandırıcılar da bu grup içinde sayılabilir. Bunlar solvent olmayıp, polimerin çökmesine yol açmadan solüsyonu sulandıran maddeleridir. Klorlanmış parafin bu tür malzemeye örnektir.

1.3.2.3. Stabilizanlar

Sıcaklık ve ultraviyole ışınlar altında plastiğin bozulmaması için yüzde veya binde oranında katılan maddelerdir. Bunlar metallerin organik tuzlarıdır. Genellikle kurşun, kalay, baryum, kadmiyum, strontium, stearat'lardır. Tabi bu tuzlar zehirlidir. İçme suyu tesislerinde, gıda sanayinde kullanılmayıp, onların yerine alkalın metal tuzlarından yararlanılır.

1.3.2.4. Dolgu Maddeleri

Bu maddelerin kullanılmasındaki ana amaç, plastiğin yapım maliyetini düşürmektir. Ancak dolgu maddeleri sayesinde, sertlik, sıcaklık ve ışığa dayanıklılık, elektriksel direnç veya iletkenlik özellikleri iyileştirilebilir. Bunlardan mineral kökenliler, amiont, kuvars, kaolin, bentonit, metal tozları, metal oksitler, cam lifleridir. Organik kökenliler ise ahşap, mantar tozları, selüloz, pamuk, kenevir lifleri, naylon, orlon lifleri ve plastik madde atıklarıdır.

1.3.2.5. Pigmentler

Renklendirme işleminde kullanılırlar. Pigmentler reçine ve solvent içinde erimemeli, kararlılığını korumalıdır. Yine sıcaklık ve ultraviyolede etkilenmemelidir. Pigmentler mineral veya organik olurlar. Mineraller daha ağır ve kararlı olup örtme yetenekleri daha üstündür. Bunlar boya sanayinde kullanılan metaloksitler türündedir.

1.3.2.6. Katkı Maddeleri

Katkı maddeleri tıpkı betonda olduğu gibi belirgin özellikler kazandırılmak üzere kullanılan maddelerdir. Fungicideler, yosun ve mantarlara karşı kullanılırlar, bakır ve civa organik tuzları. Ignifuganeler; alev yayılmasını önleyen maddelerdir, klorlanmış parafinler, antimuan tuzları. Antistatikler; elektrostatik olarak toz tutan plastiklerin bu özelliğini nispeten gidermek üzere katılırlar. Lübrifian(yağlayıcılar); kolay şekil verilebilmesi için katılırlar, mumlar, metal sabunlar, koloidal grafit. Kalıptan çıkmayı kolaylaştıran ve kalıba sürülen maddeler,;çinko stearat, teflon, silikon vernikleri vb.

1.3.3.Polimerizasyon

Polimerizasyon polimer malzemenin oluşumuna imkan veren kimyasal bir reaksiyondur. Karbon atomları birbirleriyle, kararsız olarak nitelenen ikili, üçlü bağlarla da bağlı olabilirler. Bu bağları bir enerji vererek, ısıtarak, ışınlayarak, basınç uygulayarak kırmak ve teke indirmek mümkündür (10). Bu işlem sonunda 4 valanslı karbon artık başka atomlarla, gruplarla birleşmeye hazır hale gelirler.

Bu birleşme ısı yayarak oluşur ve yayılan ısı kararsız bağı koparmak için gerekenden çok fazladır. Bu olayın en ilginç yönü reaksiyon bir kere başlayınca, yani ilk bağlar kırılınca, birleşmenin kendiliğinden ve çok hızlı bir biçimde gelişmesidir.

Etilenin örnek olarak gösterildiği bu birleşme eklenme türü polimerizasyondur. Olay öylesine hızlı gelişir ki meydana gelen dev molekülün ucuna yeni CH_2 'lerin kavuşması için gerekli diffüzyon hızı yetersiz kalır ve polimerizasyon durur. Tüm polimerizasyon süreçlerinde başlama, gelişme ve sona erme aşamaları vardır (10).

Birinci aşama bir aktivasyon enerjisi gerektirir (Isı, ışınlama, katalizör). Üretimde en önemli noktalardan biri gelişmenin denetim altına alınmasıdır. Aksi halde farklı boyda heterojen bir molekül yapı oluşur. Bu denetim, ısının, ışığın kontrolü ile sağlanır ve tamamen kimyasal teknolojinin sorunudur. Eklenme polimerizasyonunda ortamda tek bir mer yerine, iki mer var ise, bunların birleşiminden oluşan ve metallerdeki alaşıma benzeyen bir ürün elde edilmektedir. Buna Kopolimer, olaya da Kopolimerizasyon adı verilmektedir.

1.3.4. Polimerlerin Özellikleri

- a. Polimer malzeme ısı ve elektrik yalıtkanıdır. Bunda iç bağların kovalent oluşu etkindir.
- b. Polimer malzemelerin kayma dirençleri düşüktür. Çoğunda yüksek basınç ve çekme dayanımları elde edilebilmektedir.
- c. Kimyasal etkilere dayanıklılıkları yüksektir. Çoğunlukla asitlere, bazlara iyi dayanırlar. Buna karşılık organik solventlere dayanıklılıkları iyi değildir. Bu solventler, aseton, eter, xilen, cycleohexanol, glycol vb. maddelerdir. Özellikle kloroform plastiklerin çoğunluğu üzerinde etkin bir solventtir. Esasen bir polimeri tanımlamada muhtelif solventlerdeki davranış, belirli bir süreç içinde incelenir. Bu arada tanımlamada alev alma ve oluşan dumanın rengi, kokusu, alevin rengi, külün görünüşü de yararlı bilgiler verir. Piroliz de (bir deney tüpü içerisinde ve yüksek sıcaklıkta ısıtmak) bir tanımlama yöntemidir.
- d. Yüksek sıcaklıklar polimerler için daima tehlikelidir. Bazı türleri 300-400°C'a kadar dayanmakla beraber (polifluoretilen, teflon, melamin vb.) çoğunluk 80°C'yi aşılması halinde zarar görürler.
- e. Polimerlerin suya karşı dayanıklılıkları genellikle iyidir. Ancak bazıları, özellikle su buharına karşı duyarlı olurlar ve bozulabilirler.
- f. Polimerler genellikle düşük yoğunlukludurlar.
- g. Değişik renk ve türleri vardır. Renklendirme olanakları iyidir.
- h. Kullanımları, işlenebilmeleri iyidir ve kolaydır.

1.3.4.1. Yüksek Sıcaklığa Dayanım ve Isıl Denge

Aromatik polimerlerin ve inorganik polimer malzemelerin gelişmesiyle bu işlem başarıya ulaştı. Polimerlerin yapısındaki benzen halkaları ve bağ zincirleri onu sağlam ve deformasyonlara karşı dirençli bir yapıya dönüştürüyor. Çözülebilirlik, yük altında deformasyon sıcaklığa bağlı olarak azalır.

Yüksek sıcaklık dayanım elde etmek için diğer bir yol inorganik malzemeler kullanmaktır. Örneğin; silikon polimerleri gibi silikon oksijen bağlarının bulunmasından dolayı sıcaklık direnci oldukça yüksektir. Ancak kimyasal dirençleri plastiklere göre düşüktür.

1.3.4.2. Kimyasal Dayanıklılık

Polimerlerin kimyasal dayanımı kimyasal yapısına ve monomerlerin moleküler dizilimine bağlıdır. Hidroksil(OH) ve karboksil(COOH) gibi polar gruplara sahip polimerler, su veya alkol gibi polar sıvılar tarafından çözülür. Fakat gazolin, benzen ve karbontetraklorid gibi polar olmayan solventlere dirençlidir. Polimerlerin molekül ağırlığı arttıkça çözünürlüğü veya şişme eğilimi düşmektedir. Yüksek molekül ağırlıklı polimerler genellikle yüksek viskozitelerde akar. Polimerler asitlere ve alkalilere karşı iyi kimyasal dayanım gösterir. Bununla birlikte kesin polar gruplar içerir ve onları kimyasal dayanıma hassas hale getirir.

1.3.4.3. Oksidasyon Direnci

Birçok ticari polimerler ya üretim safhasında veya kullanım süresince atmosferik oksijen nedeniyle oksidasyona hassastır. Molekül ağırlığı zincir düzenine veya çapraz bağlanmaya göre değişmektedir, buna sebep fiziksel özelliğinin bozulmasıdır. Polyesterler, poliüretanlar, poliamidler, polikarbonatlar genellikle oksidasyon altında fiziksel özelliklerdeki küçük değişikliklerle birlikte solar ve rengini kaybeder. Bununla birlikte yüksek sıcaklıklarda veya U.V.'de fiziksel özellikleri hasar görebilir. Polimere ve reaksiyon tipine bağlı olarak polimer yıkılır, ergime akışında değişiklikler olur.

1.3.4.4. Geçirgenlik

Polimerlerin gazlara ve sıvılara karşı geçirgenliği polimerlerin kimyasal dayanımıyla ilgilidir. Gaz geçişi düzgün kanallarda katı molekül parçalarıyla birlikte meydana gelir. Kristalsi, camsı veya yüksek çapraz bağlı polimerler de geçiş difüzyonla olur ve viskoz malzemeler bu geçiş sırasında bir miktar tutunabilir. Difüzyon, polimer yapısında bulunan bazı komponentler içindeki gaz çözücüler tarafından artabilir. Yüksek kristallik derecesi, yüksek yoğunluk ve yüksek çapraz bağlanma derecesinin sonucudur. Polimer boyunca hem sıvı hem de gazlardaki difüzyon oranı azalması sonucu olarak kimyasal direnç artar. CO²'in O², N² diğer gazlara göre geçirgenlik oranı daha yüksektir. Araştırmalara göre bu oran sırasıyla N², O², CO² için 1:4:14'tür (11).

Geçirimsizlik polimerlerin uygulandığı endüstri sektöründe önemli rol oynar. Örneğin; polimer filmleri, plastik kovalar, korozyona dirençli kaplamalar, elektrik uygulamaları, endüstriyel membranlar gibi uygulamalarda bu özelliğinden yararlanılır.

1.3.4.5. Yanıcılık

Polimer yanması dönüşümlü olarak tekrarlanır. Yanma polimerin yüzeyine doğru geçer. Polimerler yanıcılık bakımından çok çeşitlidir. Ancak genelde üç grupta inceleyebiliriz.

1. Sınıf alev geciktirici yapıları kapsar, bunlar halojen veya aromatik gruplardır, bu tip polimerler yanıcıdır veya yüksek ısıl dayanım gösterirler.
2. Sınıf bileşimler yanarak kömürleşmezler, alev geciktirici yapılarda kullanılmaz, yanıcı veya kömürleştirici olabilirler.
3. Sınıf polimerler çok yanıcıdır ve yanarak kömürleşirler fakat, kolayca dekompozit olabilirler. Yangın sonucu polimerlerin patlayıcı hale gelmesi zehirli toxic gazı salgılaması ve koroziv gazları çıkartması olasıdır.

1.3.5. İnşaat Mühendisliği Alanında Polimerler

Günümüzde pek çok plastik madde inşaat mühendisliği alanına girmiştir. Bunlardan bir kısmı detay malzemesidir. Yer döşeme malzemeleri, örtü malzemeleri, ısı izolasyon malzemeleri, boya ve badana katkı maddeleri, derz malzemeleri, yapıştırıcı ve tamir malzemeleri, mobilya kaplamaları, su iletim boruları (sert ve yumuşak PVC) gibi malzemeler. Plastik maddelerin inşaat mühendisliğindeki diğer uygulaması; doğrudan taşıyıcı malzeme olarak yer alması veya taşıyıcı malzemelerin dayanıklılığın arttırmak üzere kullanılmasıdır. Bu polimerin beton katkı maddesi olarak taşıyıcı elemanların dayanımı ve dayanıklılıklarının artırılması amacına yöneliktir (11).

Polimerlerin beton teknolojisine girmesi 1950'li Yıllar da önem kazanmaya başlamıştır. Daha önceki Yıllarda da bitüm doğal kauçuk lateksi betona katılmaya başlanmış, ancak yapay polimerlerden yararlanma daha sonralar gerçekleşmiştir. 1955'den sonra ise büyük gelişmeler elde edilmiştir. Bu alan da ki araştırmalar günümüzde de güncelliğini korumaktadır.

1.3.5.1. Polimer Beton

Yüksek basınç mukavemeti elde etmek için pek çok yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır. Bunlar çoğunlukla çimento hamuru fazındaki boşlukların minimuma indirme esasına dayanır. Günümüzdeki en büyük gelişme, su/çimento oranı düşük, buna karşılık işlenebilme özelliği yüksek, beton harcı yapabilmeye olanak sağlayan süper akışkanlaştırıcıların gelişmesidir. Bu katkıları ile su/çimento oranı %30'lar mertebesine çekilmiştir, böylece kılcal boşluklar ortadan kalkmaktadır. Çimento tanelerinden 25 defa daha ince silis dumanı kullanımı ile mukavemet de artmıştır. Silis dumanı kılcaldan ince boşlukları tıkayarak, agrega çimento bağlanmasını puzolonik etkileri ile iyileştirir, hamur fazının mükemmelleşmesini sağlamaktadır.

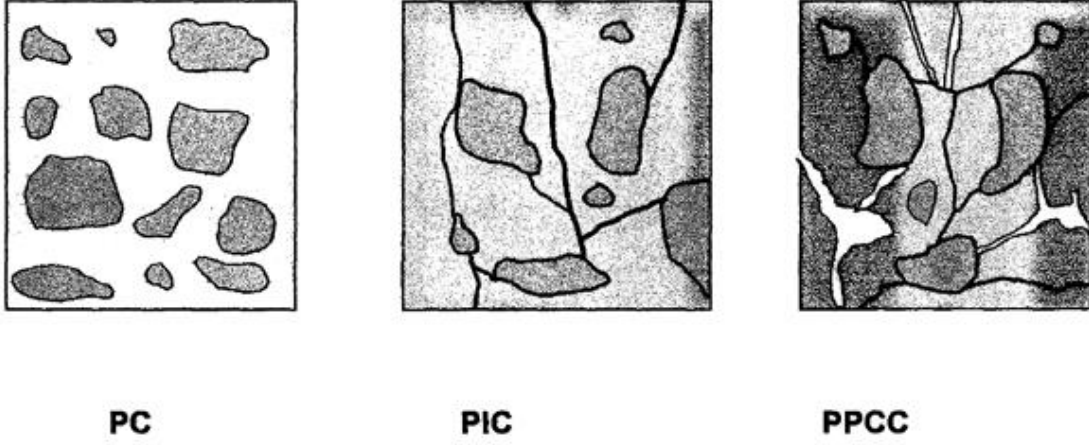
Beton sürekli çimento hamuru içinde agregalardan oluşan dağınık faza sahip bir kompozittir. Yüksek mukavemetli beton üretebilmek; çimento hamuru fazının mukavemetini arttırmak ve agregayla olan aderansını arttırmakla olur. Elastik sabitlerin hesabında yararı olan kompozit malzeme modelleri, mekanik dayanımları tahmininde yararlı olmamaktadır. Ancak kompozitin mukavemeti, matriksin veya dağılım fazı mukavemetleri ile sınırlıdır. Normal ağırlıkta bir betonda, doğal kayalardan elde edilen agregaların mukavemetleri çimento matrisinin mukavemetinden yüksektir (8).

Sonuç olarak kompozitin mukavemetini, daha düşük mukavemetli olan çimento hamuru ve agrega-çimento birleşimini belirleyecektir. Betondaki boşluk oranını azaltmak ve işlenebilirliği sağlamak amacı ile betona kimyasal ve mineral katkıları katılmaktadır. Ancak klasik betondan elde edebileceğimiz mertebe 150 Mpa' lar civarındadır. Beton kalitesini arttırmak ve kimyasallara direnç kazandırmak maksadıyla polimer beton ve harçların kullanılmaya başlanmasıdır.

Beton-polimer kompozitleri, geleneksel harç ve betondaki suyla karıştırılmış çimento bağlayıcının bütünü veya bir kısmının polimerle yer değiştirmesiyle ve çimento hidrate bağlayıcının polimerle güçlendirilmesiyle elde edilen malzemelerdir. Polimerlerin beton teknolojisinde kullanımını üç grupta toplayabiliriz (8). Ancak her üç grup ta polimer betonlarının alt grubudur.

- PCC veya PPCC (Polymer Cement Concrete) olarak adlandırılan polimer-portland çimento betonları. Polimerle geliştirilmiş harç.
- PIC (Polymer Impregnated Concrete) olarak adlandırılan polimer emdirilmiş beton veya harçlar.

- PC (Polymer Concrete) olarak adlandırılan sentetik reçine betonları.



Şekil 3. Polimerlerin betonda üç ayrı kullanımı

Şekil 3.2. Polimerlerin betondaki üç ayrı kullanımını şematize etmektedir. PPCC'de agregalar çevresinde bir polimer filmi oluşmuştur, kılcal boşlukların bir bölümü de dolmuştur. PIC' de tüm kılcal boşluklarla birlikte jel boşluklarının bir kısmı polimerle dolmuştur. PC'de agregaların çeviren matris polimerdir, çimento yoktur (17).

1.3.5.2. Polimerli Betonların Türleri

1.3.5.2.1. Polimer Portland Çimento Betonları (PPCC)

Polimer Portland çimento betonlarında lateks veya emülsiyon dağılım şeklindeki polimer malzeme normal çimento harcı veya betonuna taze halinde karışım sırasında ilave edilir, betonun prizi sırasında polimerde polimerize olarak istenilen süneklikte ve geçirimsizlikte beton elde edilmektedir. PPCC 'de beton malzemenin tokluğu, sünekliği ve betonun aderansı artmaktadır.

Özellikle Japonya'da polimerle geliştirilmiş harçlar, bitirme ve tamir işleri için yapı malzemesi olarak kullanılır. Amerika'da polimerle geliştirilmiş beton, köprü donatılarının kaplanmasında ve onarım işlerinde yaygın olarak kullanılır. Yapılan araştırmalara göre her yıl 1,2 milyon m² kadar köprü donatısı polimerle geliştirilmiş betonla kaplanıyor. PPCC ve harç üretiminde polimer miktarı çimento ağırlığının %5-20 'si oranındadır (18).

PPCC, betonarme yapıların karbonatlaşmaya, klor iyonu ve oksijen difüzyonuna maruz kalması sonucu oluşan hasarlara karşıda kullanılır. Ayrıca, yüksek polimer/çimento oranına sahip polimerle geliştirilmiş tutkal veya sulu çimento su yalıtımını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. PPCC betonları bütün kullanım durumlarında geleneksel beton ve harç malzemeleri ile karşılaştırılabilir. Yalnız kür şartları farklıdır. Geleneksel beton kür şartları uygulandıktan bir gün sonra 60'dan 80F (15'den 20°C) gibi bir kür uygulanması gerekir. Polimer yapısının ve Portland çimento matris mukavemetinin gelişmesi için zaman önemli bir faktördür. Yaygın PPCC teknolojisinde birçok polimer yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.3.5.2.1.1. Latexler

İlk olarak latex- hidrolik çimento sistemi 1923 yılında Cresson tarafından takdim edilmiştir. Bu patent doğal kauçuk latexlerinin filler olarak çimentoda kullanılmasını kapsıyordu. Daha sonra 1920-30 yıllarında Lefebure ve Kirckpatrick gelişmiş bir şekilde polimer modifiyeli çimento betonlarını tanımlamışlardır. 1953 yılında Geistet polivinilasetat takviyeli harçlar ve latex takviyeli sistemler hakkındaki çalışmaları ile önemli araştırma kaynakları sağlamıştır.

Yüksek molekül ağırlıklı polimerler su içinde çözünmeyen, büyük küresel partiküller halinde ve çapı 0,05'den 1 mm'ye kadar olan polimerlerdir. Latex genellikle monomerin emülsiyon polimerizasyonu ile şekillendirilir ve ağırlıkça %50'sine tekabül eder. Latexler; plastikleştiriciler ve diğer takviye edici elemanlar ile en az iki veya daha çok monomere sahip kopolimer sistemlerdir. Bazı Latexler; styrenbutadien, polivinil asetat, akrilikler ve doğal kauçuklardır. PPCC ile ilgili ilginç bir çalışma da Japon Moriyoshi tarafından yapıldı. Suda sertleşen esnek ve su geçirmez asfalt emülsiyonlu bu malzeme tünel, baraj inşaatlarında kullanılmaktadır.

1.3.5.2.1.2. Styren-butadien

Bu polimer 20 yıldan beri kullanılmaktadır. Styren-Butadien tip polimer köprü güvertelerinde, zemin kaplamalarında, çelik kaplamalarda kullanılırlar. Aşınmaya karşı dirençli, antikorozyon ve yapışkandırlar.

1.3.5.2.1.3. Akrilik Polimerler

Akrilik polimer latexleri uzun yıllardır Portland çimento betonlarında kullanılmaktadır. İlk önce yapışkan olarak zemin kaplamalarında ve onarım uygulamalarında kullanıldı. Polimer harç içinde iyi bir bağ kurarak dağılır ki çekme ve yarma özelliklerini oldukça arttır, Buna ek olarak rengin ve dış görünüşün önemli olduğu mekanlarda da kullanılabilir. Kesinlikle renkte bozulma olmaz.

1.3.5.2.1.4. Epoksi Reçineleri

Epoksi reçineleri bir grup termoset reçinedir ve kimyasallara direnci yüksektir. Kuruyup matlaşınca ve betona karıştırıldığında, yüksek donma-erime direnci ve yüksek su geçirimsizliği sağlar. Epoksi reçineleri latexlerden çok daha pahalıdır. Bazı epoksiler güneş ışığından dolayı renk değişikliğine, bozulmaya maruz kalabilirler (18).

1.3.5.2.2. Polimer Emdirme Betonları (PIC)

PIC' de önceden dökülmüş ve sertleşmiş betonlara polimer emdirilmektedir. Betonun en ince kılcal boşluklarına kadar nüfuz eden polimer buralarda polimerize olmaktadır ve geçirimsiz, çok yüksek dayanımlı betonlar elde edilmektedir. Monomer beton içindeki boşlukları doldurur. PIC'nin üretiminde başarılı olabilmek için yüksek oranda polimer emdirilmeli ve tam polimerizasyon sağlanmalıdır.

Monomer, vakum, basınçla emdirme, termal katalizör, su altında saklama, radyasyon, kurutma gibi yöntemlerle betona emdirilir. Beton boşluklarının %85'inin dolması gerekmektedir. Emdirme işleminden sonra, monomeri polimere dönüştürmek için polimer beton içine çekilir. Bu işleme polimerizasyon denir ve yüksek molekül ağırlığıyla kimyasal bağlar meydana getirerek uzun polimer zinciri oluşturur.

PIC'lerin üretim proseslerinde önemli konularından biriside kullanılan polimerlerin düşük viskoziteli olmaları gerektiğidir (10 santipuzdan düşük viskozite). Reçinelerinin bu alanda kullanılmaları araştırılmaya açık bir konudur. Sertleşmiş betona monomerin penetrasyonu oranı ve derecesi yoğunluk ile betondaki boşluk miktarına bağlıdır.

Vakumla emdirme tekniğinde atmosfer basıncının yok edilmesi veya ona yakın olması gerekmektedir (760 mm. Hg sütunu). Polimerin yeterli suda emdirilmesi için basınç altında enjeksiyon zorunludur. Düşük basınçlarda emdirme süresi de artmaktadır. Emdirme işleminden sonra polimer kaybını önlemek için örtme, kılıflama yapılır. Ancak en güvenilir yöntem numunelerin su içinde tutulmalarıdır. Çünkü polimerizasyon su içinde gerçekleşmektedir. Su altında Cobalt 60 izotopu ile radyasyon başarılı bir çözüm oluşturur. Polimerizasyonu tamamlanan elemanların kurutulması 150°C 'de etüvde yapılır. Polimer emdirme işleminde birçok monomerler ve başlatıcılar, hızlandırıcılar gibi diğer katkılarda monomere eklenebilir (18).

Çapraz bağlayıcıların PIC'de sıkça kullanılmasının sebebi mukavemeti sağlaması ve agrega ile bağ oluşturarak betonu uzun zaman rutubetten korumasıdır. PIC tekniğinde kısmen emdirme (yüzey emdirme betonu) veya tamamen emdirme şeklinde iki yöntem izlenir. Kısmen emdirme metodu geleneksel Portland çimento betonunu belli bir derinliğe kadar emdirme metodudur. Böylece su geçirmezlik ve durabiliteyi sağlamak için bu derinlikte bir bölge oluşturulur. Tamamen emdirmede ise beton içindeki nem tamamen kaldırılır ve sonuç olarak beton içindeki boşluklar tamamen polimerize olur.

PIC'ler prefabrikasyon için kullanılmasına karşın yerinde betona uygulanan yöntemler de vardır. Daha çok köprü tabliyelerinin onarım işlerinde kullanılmaktadır.

Polimer emdirme betonlarının spesifik uygulamaları da vardır. Bazı polimer emdirilmiş uygulamalar şunlardır:

- a. Kimyasal depo tanklar ve ulaşım boruları,
- b. Gaz temin edici borular,
- c. Orta seviyeli radyoaktif malzemelerde konteynır,
- d. Restorasyon işlerinde,
- e. Okyanus mühendisliğinde deniz yapılarında,
- f. Köprü tabliyelerinde,

PIC'nin yapı malzemesi olarak kullanılması şu nedenlerden dolayı engel teşkil etmektedir.

1. Üretim teknolojileri karmaşıktır. Buna ek olarak hare ve betonun kurumasında ve polimerizasyonda büyük termal enerji tüketilir ve üretim fiyatları yüksektir.
2. Performansları ve fiyatları arasında denge zayıftır.
3. Kalite kontrolleri zor ve stülüktürel uygulamalarda güvenilirlikleri zayıftır.

1.3.5.2.3. Polimer Beton ve Harçları (PC)

Polimer beton; sürekli polimer matrisi içinde filler ve agregadan oluşan dağılı faza sahip bir kompozittir. Kompozitler hidrate çimento fazından oluşmazlar, buna rağmen agrega veya filler Portland çimentosu gibi kullanılabilir. Polimer betonlar ilk defa Çekoslovak Bilimler Akademisinin de 1960'lı yılların başında keşfedilmiştir. 1960 yılı ortalarında ise bu ürünü piyasaya sürmek ve dünya çapında bir pazar oluşturmak insanların görüşüydü. Burada amaç betona alternatif bir malzeme sunmak değil özel uygulamalar ile kalitesini yükseltmektir.

Polimer harç ve betonların başlıca özellikleri (18):

- Yüksek çekme, eğilme ve basma mukavemetleri,
- Birçok yüzeyle iyi yapışma,
- Donma ve erime çevresinde uzun süre dayanıklılık,
- Suya ve çözücülere karşı düşük geçirgenlik,
- İyi kimyasal direnç,
- Düşük rötre.

Betonun uygulama ve kalitesi polimer cinsine, agrega tipine ve granülometrisine bağlıdır. Polimer harç ve betonu için ticari olarak mevcut bağlayıcılar; çeşitli termoset reçineleri, katranla geliştirilmiş reçineler, reçineyle geliştirilmiş asfaltlar ve vinil monomerleridir. En çok kullanılan polimer bağlayıcılar epoksi reçineleri, doymamış polyester reçinesi, vinil ester ve metilmetakrilat monomeridir. Metil-metakrilat monomerinin kullanımı, yüksek yanabilirliği ve kötü kokusu nedeniyle sınırlandırılmıştır. Metil metakrilat bağlayıcı harç ve betonlar iyi işlenebilirliği ve düşük sıcaklıklarda kürlenebilmesinden dolayı ilgi çekici bir malzemedir.

Polimer betonlar için görünen önemli bir problem sıcaklıktır. Sıcaklığın yükselmesi basınç ve eğilme dirençlerinin azalmasına sebep olmaktadır. Bu azalma epoksi betonlarında %15, polyesterlerde %56, akrilik polimerlerde ise %20 oranlarındadır. Yapılan araştırmalara göre, epoksi betonlarında sıcaklığın artması sonucu mukavemetinde artış gözlenmektedir, Polyester betonlarında ise ısı arttıkça mukavemet önemli ölçüde azalmaktadır. Buna sebep 75°C'de depolimerize olmalarıdır. Akrilik numunelerin mekanik mukavemeti çok değişmemektedir. Epoksi reçineleri polyester ve fenolik reçinelerinden daha düşük maliyete sahip olmalarına karşı fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı tercih sebebi olmuşlardır (16).

Polimer betonlarında üç faz sistemi görülür;

- Dağılı faz (agregalar),
- Sürekli faz (polimer),
- Üretim işlemi sırasında oluşan hava boşlukları.

PC' lerde geleneksel betonlarda görülen rötre çatlakları görülmez. Bunun sebebi polimer betonu üretiminde bağlayıcı olarak su ve çimento kullanılmamasıdır. Dona ve kimyasallara karşı dayanıklıdır, taşıma güçlerine göre ağırlıkları oldukça düşüktür. PC'lerin tipik özellikleri şöyle sıralanabilir (20):

- Basınç mukavemeti 40-140 MPa
- Eğilme mukavemeti 8-35 MPa
- Elastisite modülü 700-35000 MPa
- Isıl genleşme katsayısı 5-10
- Su içeriği <%1
- Dona dayanıklılık iyi
- Asitlere dayanıklılık çok iyi

Polimer betonlarında su ve çimento yerine bağlayıcı olarak reçine ve işlenebilirlik sağlaması amacıyla kalsit, silis dumanı ve uçucu kül gibi mineral katkıları kullanılır. Polimer harç ve betonlarında bağlayıcı olarak polimer miktarı normalde ağırlığının%9-%25'i kadardır. Genellikle kuvvetli karıştırıcılar ile üretilen polimer betonları kalıplara konup şekillendirilir.

Polimer betonları için bir beton karışım hesap yöntemi yoktur. Yalnızca özel araştırmalarda reçine ve agregalar için formüller kullanılır. Maliyetleri geleneksel betonun maliyetinin 5 ila 10 katıdır. Bu nedenle fazla gelişmemiştir.

Polimer betonlarının başlıca kullanım alanları:

- Onarım işlerinde,
- Beton yol ve aşınmaya maruz yüzeylerde kayma direnci korunumu,
- İnşaat ve dekorasyon panelleri,
- Lağım boruları, cam kemeri, drenaj kanalları,
- Jeotermal uygulamalar için karbon-çelik borular içinde astar olarak,
- Yüzme havuzu ve teraslarda, prekast elemanlarda,
- Köprü donatıları için katodlama yoluyla paslanmadan koruma sistemlerinde kullanılır.

1.3.5.2.3.1.Epoksi Reçineleri ve Epoksi Reçine Betonları

Epoksi betonlarında mineral agregalar, (normal beton agregaları), epoksi reçinesiyle bağlanırlar. Yani epoksi reçinesi bu betonların bağlayıcı maddesidir. Agregalardan beklenen özellikler ise şunlardır:

- a) Çok temiz ve yeterli mukavemete sahip olmaları
- b) Reçine ve sertleştiricisi ile kimyasal bir reaksiyona yol açmayacak türden olmaları
- c) Çok kuru olmaları
- d) Kil içermemeleridir

Agrega yığın boşluğu minimum olmalıdır. Yığın boşluğunun minimum olması için genellikle orta tane içermeyen süreksiz granülmetriler tercih edilir, böylece reçine az kullanılır ve ekonomi sağlanır. Epoksi betonlarında filler kullanılması viskozite açısından yarar sağlamaktadır.

1.3.5.2.3.2.Furan Reçineleri ve Furan Reçine Betonları

Furan reçineleri fenoplast termosetlerinin bir örneğidir. Bu grubun örneği olarak bakalit gösterilebilir. Bu ürün sıvı veya parça halinde satışa çıkarılır. Formaldehit dışında ekonomik nedenlerle kullanılan hemen hemen tek aldehit furfural' dır. Furfural mısır ve arpa yapraklarının fermantasyon ürünüdür.

Furfural aseton %3 benzen sülfonik asitlerle muamele edildiğinde ve agregalar olarak kullanıldığında 7 günde 1000N/mm² basınç mukavemeti sağlanabilmektedir. Furan reçine betonları siyah renkli ve estetik görünüşü olmayan maddelerdir. Kimyasal dayanıklılıkları özellikle asit ortama karşı iyidir. Bunlar daha çok aşınmaya dayanıklı beton elde edilmesinde kullanılır. Bu nedenle sıcaklığı fazla yükselmeyen, sülfürik, hidroklorik asit ve tuzların bulunduğu sanayi kimya bacalarının kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadırlar (21).

1.3.5.2.3.3.Polyester Reçineleri ve Polyester Reçine Betonları

Polyester sözcüğü ile farklı nitelikli pek çok polimer malzeme ifade edilmektedir. İnşaat mühendisliği alanında sentetik reçine betonu yapımında kullanılan polyesterler, çift

bağ içeren bir dialkol ve diasitin birleşmesiyle elde edilirler. Çift bağ bir diyenik hidrokarbür vasıtasıyla köprüleşmeye olanak sağlar ve böylece 3 boyutlu makromolekül meydana gelmektedir. Tekstilde kullanılan polyesterler ise lineer molekülü termoplastik bir polimerdir.

Ticari ürün, doymamış polyester ve diyenik hidrokarbür karışımı olarak satılır. Kullanım anında katalizör ve hızlandırıcı madde katılır. Yalnız katalizör kullanılırsa ısıtmak gerekir (Katalizör: benzol peroksit, metil etil keton, hızlandırıcı kobalt oktoat, loril merkaptan vb.).Şantiyede 3 maddenin karıştırılması zor olabildiği gibi sakıncalı da olabilmektedir. Bileşimde yan ürün oluşmaması bir avantajdır. Bu betonlarda rötre olabilmekte, değeri ise %8-%14 'ü bulmaktadır.

1.3.5.3. Polimer Betonun İşlenebilirliği

1.3.5.3.1. Viskoz Davranış

Polimerler elastik malzemenin bazı özellikleri ile birlikte sıvılarında bazı özelliklerini gösterdiğinden viskoelastik malzeme davranışı gösterirler. Davranışları yüklenme hızına ve süresine bağlı olan cisimlere viskoelastik cisimler denir. Özellikle lineer polimerler bu gruba girmektedirler. Yüksek sıcaklık ve yüklenme hızı polimerlerin mekanik davranışını etkiler.

Yavaş artan yük altında önemli miktarda şekil değiştiren ve düşük gerilmeye kırılan bir polimer hızlı artan yük etkisinde çok daha az şekil değiştirerek daha yüksek mukavemet gösterir. Yüksek sıcaklıkta viskoz davranış gösteren bir polimer düşük sıcaklıkta rijit ve gevrek olabilir, sıcaklık arttıkça viskozite artar. Viskoelastik malzemelerde elastisite modülü zamana bağlıdır. Viskozite doğal hakiki sıvılarda sürtünmeyi belirleyen bir özelliktir, Sıvıya uygulanan kuvvet bir dirençle karşılaşır. Bu direnç yani sıvının tepkisi kuvvetin hızı ile değişmektedir. Bundan dolayı akışkanlığı yüksek malzemeler düşük viskozitelidirler.

PC'lerde işlenebilirlik, taze polimer harç ve betonlarda ayrışma ve kıvam özellikleri ile sınırlandırılmış bir özelliktir. Beton ve harçların işlenebilirliği polimer/agrega oranı, agrega granülometrisi, polimer/filler oranı, agrega şekli ve viskozitesine bağlıdır. Polimer harç ve betonlarında dispersif veya inceltici styren, xelol, aseton gibi maddeler işlenebilirliği arttıran malzemelerdir.

Reçine betonunun işlenebilirliği, reçine harcının birim hacmine ve iri agregalarla arasındaki boşlukları doldurmasına bağlı olarak değişir. Reçine harcının viskozitesi reçine hamurunun birim hacmine ve ince kumun granülometrisine, reçine hamurunun viskozitesi filler oranına ve fillerin dane yarıçapına yani iriliğine göre değişir. Reçinenin viskozitesi, ortamdaki malzeme sıcaklığına ve ilave edilen inceltici oranına bağlı olarak değişir. Örneğin doymamış polyesterin viskozitesi molekül uzunluğuna bağlı olarak değişir (24).

Reçine betonunun karışım oranının dizayn etmek için temel yol, reçine oranını azaltmak, yüksek mukavemet elde etmek için, yapıya uygun kıvamı sağlayarak segregasyondan korumaktır. Bu yöntem çimento betonun karışım dizaynı gibidir, fakat şu sebeplerden dolayı farklılık gösterir; reçinenin maliyetinin yüksek olması, akma sınırının belli olmaması, segregasyon rötre deformasyonlarında ki farklılıklara sebep olmaktadır (46).

1.3.5.4. Polimer Betonun Kullanım Alanları

1.3.5.4.1. Onarım

İlk olarak bilinen polimer kompozitler beton onarımı ve yol işlerinde kullanılmaktadır. Silis dumanı latexle karıştırılarak agregayla birlikte kullanılabilir (14). Polimer betonları aynı zamanda farklı reçinelerle de kullanılabilir. Epoksiler, metakrilatlar, furkan, polyester-stren ve üretanlar. Uygulamalarda çok ince çatlaklar polimer enjeksiyonu ile onarılırken, geniş ve derin çatlaklar da dolgu maddeleri karıştırılmış polimer harcı kullanılmaktadır. İnce ve iri agregalar kullanılarak üretilen betonun ise rötresi azalmakta, yangına dayanıklılığı artmakta, elastiklik modülü ve basınç dayanımı yükselmektedir (22).

Epoksi gibi çok viskoz reçinelerde önceden karışım yapılır. Epoksilerin hazırlanması üç farklı karışımdan meydana gelir; reçine, kür uygulayıcı ve agregalar. Epoksi reçine betonlarında agregalar granülometrisine bağlı olarak: agregalar/reçine oranı ağırlıkça 1:1' den 15:1' e kadar değişebilir. Birçok uygulamalarda üretimin sonunda fiziksel özellik kazandırmak amacıyla çapraz bağlanma ve plastikleştiriciler de katılır. Polimer betonların kürü genellikle ekzotermik reaksiyon kür şartlarına benzer şekildedir. P.C.'nin kullanma ömrü ve kür zamanı başlangıcı, konsantrasyon ve hızlandırıcıların miktarından etkilenir (18).

1.3.5.4.2. Prekast Polimer Betonlar

Prekast polimer betonları hızlı kür, yüksek mukavemet ve ince kesitlerde düşük permeabilite gibi özelliklerinden dolayı kullanılmaktadır. Prekast PC'lerin bazı uygulamaları şöyledir: dekoratif inşaat panelleri; borular, çatı kemerleri, drenaj kanalları, korozyona dirençli tuğlalar, astar, kiremitler; ufak su akışını kontrol eden ürünler, geçirimsiz, manyetik olmayan elektrik aletleri, hayvan beslenme barınakları için parçalar, elektrik yalıtkanları gibi.

Prekast polimer betonlarında yaygın olarak polyester/styren kullanılır. Epoksi reçineleri düşük rötre, yüksek mukavemete ve rijitliğe sahip olduğu için makine parçaları ve aletleri üretiminde kullanılır. Uygulamalarda korozyona ve aside direnç önemlidir, bu nedenle vinylester, furan ve sülfür betonları kullanılır.

1.3.5.4.3. Yollar

Polimer betonlar yollarda ve hava alanlarında kullanılır. Düşük su ve klor geçirgenliğine sahiptir. Bu yüzden yolların bozulmasını ve donma çözünmeden oluşacak yarılmaları önler. Yol kaplamaları için bazı teknikler kullanılmaktadır, self levelling sistemi, mala uygulamalı yollar, önceden karıştırma işlemi gibi. Polimer beton ve harçları köprü tabliyelerinde, fabrikalarda zemin kaplamalarında, stadyumlarda diğer suya ve aside dayanıklı yapılarda kullanılabilir. PC'ler kurduğu bağlar nedeniyle çekme ve ona yakın kayma mukavemetine sahiptir. Analitik çalışmalar ısının değişmesiyle yol yüzeyinin basınç ve kayma gerilmesinin değiştiğini göstermektedir.

1.4.Hafif Beton

Hafif agregası ile yapılmış birim ağırlığı 1440 kg/m³-1850 kg/m³ arasında olan betondur. Taşıyıcı hafif beton; Hava kurusu birim ağırlığı 1900 kg/m³'den az olan ve en az olan betondur. Taşıyıcı hafif beton üretiminde başvurulan yöntem hafif agregası ile birim ağırlığı istenilen düzeyde tutmaktır. Bu malzemenin hafif olma sebebi; içinde fazla boşluk bulunmasından dolayıdır. Bunun için hafif betonların mukavemetinin büyük olması

beklenemez. Fakat bazı önlemler alınarak ve bazı koşullar altında üretilen betonların taşıyıcı malzeme olarak kullanılması kabul edilebilir.

Hafif betonlar; çimento, birim ağırlığı düşük agrega ve normal agregadan meydana gelmektedir. Agrega karışımında hafif agrega miktarının artırılmasıyla daha hafif veya birim ağırlığı daha düşük betonlar elde edilmektedir.

1.4.1. Hafif Betonun Avantajları ve Dezavantajları

1.4.1.1. Avantajları

1. Birim hacim ağırlığındaki azalma nedeniyle beton kalıbında daha küçük basınç oluşur. Bunun sonucunda üretim ve yerleştirme kolaylaşır.
2. Hafif betonla üretilen betonların birim ağırlıklarının düşük olması nedeniyle yapıdaki ölü yükler azalır. Böylece temeller ve diğer yapı elemanlarını daha küçük boyutlarda dizayn etmek mümkün olur.
3. Isıl iletkenlik katsayısının düşük olması sebebiyle ısı yalıtımları yüksektir.
4. Ölü yüklerinin azalması ve dolayısıyla hesap momentlerinin küçük çıkması sonucunda daha az donatıya ihtiyaç gösterir. Özellikle deprem etkisinde, düşey yüklerle orantılı olarak oluşan yanal deprem kuvvetlerinin azalması taşıyıcı hafif betonun kullanılması ile sağlanır.
5. Kolay işlenebilme sayesinde ince kalıp detaylarını bile aksettirebilir, güzel görünümler ortaya koyabilir.

1.4.1.2. Dezavantajları

1. Boşluklu olmaları yani porozitenin büyük olması sebebiyle mukavemetleri düşüktür. Bu nedenle yüksek mukavemetli beton, ön ve art gerilmeli beton uygulamalarında tercih edilen bir yapı malzemesi değildir.
2. Rutubete karşı yalıtım yapılması zorunluluğu vardır.
3. Aşınmaya karşı dayanıksızdır.
4. Özellikle depo gibi yapılarda yoğun olan faydalı yükün taşınması gerektiği için daha kalın döşemelere lüzum vardır.

5. Dış etkilere maruz donatılarda daha kalın bir örtü (pas payı) tabakasına ihtiyaç vardır.
6. Normal betona göre daha düşük bir kesme kuvvetine sahiptir.
7. Elastisite modülünün düşük olmasından dolayı hafif ve taşıyıcı beton kirişlerde sehimler ve dönmeler daha büyüktür.

1.4.2.Hafif Beton Üretim Yöntemleri

Hafif beton üretiminde 3 değişik yöntem vardır.

1. Normal agrega yerine boşluklu hafif agrega kullanmak. Bu tip hafif betonlar kullanılan hafif agrega cinsine göre adlandırılırlar. Genişletilmiş kil, şist gibi taşıyıcı betonlar ile perlit betonu,pomza taşı betonu gibi yalıtım veya orta mukavemetli betonlar örnek verilebilir.
2. Betonda kimyasal veya fiziksel yolla geniş boşluklar oluşmaktadır. Bu boşlukları hava sürükleyici katkı maddeleri ile elde etmek en yaygın yöntemlerden bazılarıdır. Bu tip betonlar gaz betonu, köpük betonu veya hava sürüklenmiş betonlar olarak adlandırılır.
3. Betonun ince agregasının çıkartılmasıyla betonda büyük boşluklar oluşturarak elde edilen betonlardır. İri agregalar birbirlerine 1-3mm kalınlıkta çimento hamuruyla bağlıdır.Çimento dozajı yaklaşık 70 kg/m^3 - 130 kg/m^3 'tür.Bu tip betonlar genellikle kumsuz betonlar diye adlandırılırlar.

Tüm yöntemlerde beton yoğunluğundaki düşüşün nedeni meydana getirilen hava boşluklarıdır. Bu boşluklar agreganın içinde, harç içinde veya iri agregaların arasında olabilir ve bu boşlukların beton mukavemetini düşüreceği bir gerçektir.

1.4.2.1. Hafif Agrega Kullanılarak Üretilen Hafif Betonlar

Bazı hafif agregalar doğal olarak bulunabilirken bazıları da doğal malzemedен veya endüstriyel yan ürünlerden üretilirler. Normal agrega yerine boşluk miktarı çok daha yüksek agrega kullanılarak üretilmektedir. Diyatomit, pomza, scoria (bazaltik pomza),

volkanik cüruf ve tuf doğal agregalar grubundandır. Diyatomit dışında diğerlerinin tümü volkanik kökenlidir (26).

Doğal malzemelerden olan vermikülit ve perlit ile düşük yoğunluklu beton üretimi söz konusudur. Bazen perlit orta dayanımlı beton üretiminde kullanılır. Vermikülit tabakalı yapıda olup mikaya benzer bir yapısı vardır. 650-1000⁰C'ye kadar ısıtıldığında, ince tabakaların pul pul ayrılmasıyla orijinal hacminin 30 katı kadar genişir. Sonuç olarak genişmiş vermikülitün yığın yoğunluğu sadece 60-130 kg/m³ kadardır. Bununla yapılan beton çok düşük dayanımlı olup, fazla büzülme gösterir. Ancak, çok iyi bir ısı yalıtımı sağlar. Perlit ise, camsı bir volkanik kayaç olup 900-1100⁰C'ye hızlı ısıtıldığı zaman buhar oluşumu nedeniyle genişir ve yığın yoğunluğu 30-240 kg/m³ olan gözenekli bir malzeme oluşturur. Perlit ile yapılmış beton düşük dayanım ve yüksek büzülme gösterir. Genellikle yalıtım amacıyla kullanılır (26).

Kil, şeyl, arduvaz, uçucu kül veya yüksek fırın cürufunun geliştirilmesi ile üretilmiş agregaların yapısal beton üretiminde kullanımı daha uygundur (26).

Kullanılan agregaya bağlı olarak betonun birim hacim ağırlığı ve mekanik özellikleri geniş bir aralıkta değişir. ACI 213R-87, betonu sınıflandırmada yoğunluğu esas almaktadır. Çünkü dayanım ve yoğunluk oldukça ilişkilidir. Düşük yoğunluklu beton, genelde yalıtım amaçlı kullanılır. Hacim kuru birim hacim ağırlıkları nadiren 800 kg/m³'ü aşar. Termal iletkenlik katsayıları oldukça düşüktür. Basınç dayanımları 0.7-7 MPa arasında değişir. Orta dayanımlı beton, basınç dayanımları yapısal olarak kabul edilebilecek seviyededir. Yalıtım performansı da iyi sayılabilecek düzeyde olan bu tür betonların basınç dayanımları 7-17 MPa arasında değişir (27).

Yapısal hafif beton, genel olarak geliştirilmiş kil, şeyl, cüruf, pomza ve scoria gibi dayanımları nispeten daha yüksek olan agregalardan üretilir. ACI 213R-03 yapısal hafif betonları, 28 günlük minimum basınç dayanımı 17 MPa, denge yoğunluğu 1120-1960 kg/m³ arasında olan tamamı hafif agregadan üretilen veya hafif agrega-normal agrega karışımı ile üretilen betonlar olarak tanımlamaktadır.

Daha yüksek dayanımlar elde edebilmek için düşük su/bağlayıcı oranları ile çalışılması gereklidir. Ancak, çoğu hafif agreganın yüksek su emmesi hamurun su/bağlayıcı oranının tam olarak hesaplanmasını zorlaştırır. Daha yüksek dayanımlar elde edebilmek için hamurda daha düşük su/bağlayıcı oranlarına ihtiyaç duyulması, aynı dayanımdaki normal betona kıyasla yapısal hafif betonlar için genellikle daha yüksek

çimento ve mineral katkı gerektiği anlamına gelir. Ayrıca, hafif agregaların fiziksel özellikleri iyi işlenebilirlik içindaha fazla hamur gerektirir (28).

Hafif agreganın daha düşük elastisite modülü, hafif agregaların kuruma büzülmesi ve sünme gibi zamana bağlı deformasyonları daha az düzeyde sınırlamasına neden olur. Bu nedenle, hafif betonların sünme veya büzülme deformasyonları normal betona kıyasla daha yüksektir (28).

1.4.2.1.1. Hafif Agregalı Betonun Özellikleri

Hafif agregalı beton, özellikleri çok geniş bir aralıkta değişecek şekilde üretilmektedir. Uygun malzemeler ve yöntemler kullanılarak yoğunlukları 300-1850 kg/m³, dayanımları 0.3-70 MPa (bazen 90 MPa) arasında değişen betonlar üretilir(26).

1.4.2.1.1.1. Taze Beton

Hafif agregalı betonun su ihtiyacı, agrega tanelerinin şekli ve yüzey yapısından oldukça etkilenir. Farklı agregalarda üretilen betonların su ihtiyacı değişeceğinden, istenen dayanıma ulaşmak için çimento dozajında değişiklik yapılabilir, bu yolla S/Ç oranı korunur. Ancak, S/Ç oranının gerçek değeri bilinmez(26).

Yüksek çökme ve aşırı vibrasyon segregasyona neden olabilir. Hafif iri agrega taneleri yüzeye doğru çıkar. Hafif agregalı betonda aşırı vibrasyon normal agregalı betona kıyasla daha fazla segregasyona sebep olabilir. ACI 213R-03 iyi bir yüzey görünümü elde etmek için çökme değerini 125 mm ile sınırlandırmıştır. Daha düşük çökme değeri (yaklaşık 75 mm) yeterli işlenebilirlik koheziflik sağlayarak segregasyonu önler. Ayrıca 125 mm'nin üzerinde çökme değerleri yüzeysel ayrışmanın yanı sıra, perdahlama işleminin gereksiz yere gecikmesine neden olabilir(30).

Hafif ince agreganın normal ince agrega ile kısmi olarak yer değiştirilmesi, betonun yerleştirilmesini ve sıkıştırılmasını kolaylaştırır. İnce hafif agreganın tamamının normal ağırlıklı ince agrega ile değiştirilmesi, beton yoğunluğunu 80-160 kg/m³ arttırır.

Genellikle, eldeki malzemeyi kullanarak mümkün olan en yüksek dayanım/birim ağırlık oranına sahip en düşük maliyetli betonun üretimi arzu edilmektedir. Gözenekli yüksek ve 19 mm'nin üzerinde tane boyutlu agrega kullanımı ile betonun birim ağırlığı

1440 kg/m³'ün altına indirilebilir. Ancak, bu durumda yapısal betonlar için verilen 28 günlük minimum basınç dayanımı olan 17 MPa değerini sağlamayabilir (29).

1.4.2.1.1.2. Dayanım

Hafif agregâ ile hazırlanmış karışımlardaki serbest suyun miktarını belirlemek zordur. Bu nedenle, karışımdaki serbest suya dayanan S/Ç oranı belirlenemez, toplam su miktarına bağılı S/Ç oranı ise anlamsızdır. Çünkü, agregâ tarafından emilen su dayanımı etkileyen kapiler boşlukların oluşumunu etkilemez. Çimento hafif agregâ ve suya göre daha yüksek özgül ağırlığa sahip olduğundan, belirli bir agregâ tipi için yoğunluk arttıkça beton dayanımı da artar. Daha yüksek basınç dayanımları için çok daha yüksek çimento dozajları gerekir. Örneğin 70 MPa dayanım için 630 kg/m³ bağlayıcı malzeme gereklidir(26).

İri agregâ tanelerinin dayanımının beton dayanımını sınırlandırıcı etkisi agregânın maksimum tane çapının küçültülmesiyle azaltılabilir. Agregânın kırılması en büyük boşluktan gerçekleşeceğinden bu boşluklar elimine edilirse dayanım pozitif yönde etkilenir. Yarmada çekme dayanımı deneyleri kırılmanın iri agregâ taneleri boyunca gerçekleştiğini göstermiştir. Bu durum agregâ-matris aderansının iyi olduğunu gösterir(26).

1.4.2.1.1.3. Hafif Agregâ –Matris Aderansı ve Hafif Agregalı Betonun Elastik Özellikleri

Hafif agregalı betonun önemli bir özelliği, agregâ ile onu çevreleyen sertleşmiş çimento hamuru arasındaki yüksek aderanstır. Bu durum birkaç faktörün sonucudur. Birincisi, çoğu hafif agregânın pürüzlü yüzey yapısı iki malzeme arasında iyi bir mekanik kenetlenme sağlar. Çimento hamurunun iri agregâların yüzeyindeki açık boşluklara penetrasyonu da söz konusudur. İkincisi, hafif agregâ tanelerinin ve setleşmiş çimento hamurunun elastisite modülleri birbirine göre çok farklılık göstermez. Üçüncü olarak, karıştırma sırasında agregâ tarafından absorblanan su zamanla hidrate olmamış çimento kısmının hidratasyonu için kullanılabilir(26).

Hafif agregaya ile hidrate çimento hamurunun elastisite modülleri arasındaki fark küçüktür. Bu durum, iki malzeme arasındaki iyi aderansın ve betonun iyi bir kompozit davranışı sergilemesinin göstergesidir(26).

Hafif agregalı betonun elastisite modülü basınç dayanımının bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Agreganın elastik özellikleri boşluk içerdiğinden etkilendiğinden hafif agregalı betonun elastisite modülü basınç dayanımı ile olduğu kadar betonun yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak da ifade edilebilir.

Schideler, 21 ve 41 MPa basınç dayanımına sahip genişletilmiş kil agregası içeren betonlar için sırasıyla 10.4 ve 13.8 GPa statik elastisite modülü bulmuştur. Hafif kum ile normal kumun tamamıyla yer değiştirilmesi, %15-30 daha yüksek elastisite modülü değeri ile sonuçlanmıştır (29).

1.4.2.1.1.4. Hafif Agregalı Betonun Durabilitesi

Donma-çözülme dayanıklılığı normal betona benzer. Beton donma-çözülme etkilerine maruz kalacaksa hava sürükleyici katkı kullanılmalıdır. Agregalar karıştırma esnasında uygulanabilir en düşük nem içeriğine maruz bırakılmalı veya donma sıcaklıklarına maruz kalmadan önce kurumması için yeterli süre beklenmelidir.

Hafif agregadaki boşluk sistemi genellikle süreksiz olduğundan, gözenekli agregaların daha yüksek oranda su emmesi daha yüksek permeabiliteye yol açmaz. Yine de normal ağırlıklı ince agregaya, hafif ince agreganın bir bölümü olarak kullanıldığında betonun permeabilitesi azalır (26, 28).

Agregadaki boşluklar CO₂ difüzyonunu kolaylaştırdığından karbonatlaşmaya karşı donatı için ilave paspayı gerektiği düşünülür (26).

Normal beton ile kıyaslandığında hafif agregalı betonda daha fazla nem hareketi gerçekleşir. Başlangıçta normal betona göre %5-40 daha kuruma büzülmesi gösterir. Ancak toplam büzülme normal betondan çok az fazladır. Nem hareketinin fazla olması önemli derecede daha yüksek sünme ile sonuçlanır. Hidrate çimento hamurunun sünmesini sınırlandıran hafif agregaya tanelerinin düşük elastisite modülü de bu duruma katkıda bulunur (26, 29).

Ses yutma katsayısı normal betonun iki katıdır. Ancak hafif agregalı beton iyi ses yalıtım özelliği göstermez. Isınma sırasında, etraftaki soğuk beton ile sınırlanan lokal genişleme hafif agregalı beton kullanıldığında daha düşüktür. Bu durum hafif agregalı

betonun düşük elastisite modülü ile birleştiğinde daha az gerilme oluşur, böylece lokal hasar önlenir. Düşük termal iletkenlik ve düşük termal genleşme özellikleri yangın etkisinde yararlıdır. Üstelik yüksek sıcaklıklarda hafif agrega stabildir (26, 28).

1.4.3.İnce Agrega Kullanılmadan Üretilen Betonlar

İnce agrega kullanılmadan kaba agrega (8-20 mm) kullanılmasıyla üretilen, üniform boşluklara sahip olmayan betonlara ince agregasız beton denir. Gradasyonu düzgün agrega daha yüksek yığın yoğunluğuna sahip olacağından ince agregasız beton tek boyutlu agregadan üretilir. Agrega taneleri 5 mm'den küçük olmamalı, yassı ve uzun taneler içermemelidir. Keskin kenarlı kırılmış agrega yük altında lokal kırılmaya yol açabileceğinden tavsiye edilmez. Bu beton, çevresi 1.3 mm kalınlığa kadar çimento hamuru ile kaplanmış iri agrega taneleri yığınınından oluşur. Yüksek oranda boşluklu olup açık boşluk yapısına ve oldukça düşük çimento içeriğine sahiptir. Bu yüzden, düşük birim hacim ağırlık, düşük dayanım, düşük büzülme ve düşük ısı iletkenlik katsayısına sahiptir.

Konut yapılarında taşıyıcı olmayan duvarlar ve çerçeve yapılarda dolgu panelleri imalatında kullanılmaktadır. Ayrıca, otopark alanları gibi suyun hızla drene olması gereken yerlerde de kullanılmaktadır. Dış duvarlarda kullanıldığı takdirde mutlaka koruyucu sıva gerekmektedir. Normalde betonarmede kullanılmaz. Kullanılması halinde aderansın artırılması ve korozyonun önlenmesi için donatıların çimento hamuru ile kaplanması şarttır. Bu tür betonların gözenekli ve büyük tanecikli yapısı nedeniyle kapiler su hareketine izin vermemesi avantajdır.

Bu beton için tanımlanmış bir işlenebilirlik deneyi yoktur. Tüm tanelerin çimento hamuru ile kaplanmış olduğunun gözlenmesi yeterlidir. İnce agregasız beton çok çabuk yerleştirilmelidir. Çünkü, taneler üzerindeki ince çimento hamuru tabakası kuruyabilir ve bu durum dayanımı düşürebilir. Özellikle kuru iklimlerde veya rüzgarlı koşullarda, agrega taneleri üzerindeki ince çimento hamuru tabakasının kurummasını önlemek açısından kür çok önemlidir.

Basınç dayanımı, yoğunluğu ve çimento dozajına bağlı olup, 1.5 ile 14 MPa arasında değişir. Dayanım gelişimi normal betondaki gibi zamana bağlıdır. Tipik olarak eğilme dayanımı basınç dayanımının %30'u mertebesindedir. Elastisite modülü basınç dayanımı 5 MPa olan beton için 10 Gpa civarındadır. Agreganın su emmesinin yarattığı etkiden ötürü, optimum su miktarını belirlemek güçtür. Ancak, genel olarak 180 kg/m³ su kullanımı

uygundur. Agregaların yeterince kaplanması için, tipik S/Ç oranı 0.38 – 0.52 arasındadır (26).

1.4.4. Köpük Betonlar

Kaya, doğal ve mükemmel bir yapı malzemesidir. Çimento da, farklı karakteristik özellikleri de olsa aslında toprak/kaya kökenlidir.

Köpük Beton, çimento ve su ve istenirse agregalar ile oluşturulan bir karışımın içine, bir ön işlem ile üretilmiş özel bir köpüğün katılması ile elde edilir. Beton sertleşirken, bu köpükler, benzer boyutlarda hava boşlukları bırakarak parçalanır. Karışım içerisinde eşit dağıtılmış mikro ve/veya makroskopik, birbirinden ayrık hava hücreleri oluştururlar. Bu köpük, özel bir katkıının su ile karıştırılması ve bu karışımın basınçlı havaya maruz bırakılmasıyla elde edilir. Elde edilmek istenen ürüne bağlı olarak değişmek üzere, başta çimento ve su, ve gerek duyulursa kum, uçucu kül ve benzeri dolgu malzemeleridir. Amaçlanan kullanıma bağlı olarak, tüm hammadde miktarları değişkendir. Katkı Köpüğü, özel olarak uyarlanmış köpük jeneratörleri aracılığıyla üretilir ve köpük beton üretmek için diğer tüm hammaddeler ile karıştırılır. Eklenecek toplam köpüğün miktarı, hedeflenen yoğunluğa bağlıdır. Köpüğün harca eklenmesi tamamlandıktan sonra, oluşan köpük beton özel olarak uyarlanmış bir pompa vasıtasıyla amaçlanan yere dökülür. Köpük beton, yüksek akışkanlığı nedeniyle kendiliğinden yerleşir ve seviyesini bulur. Bu sayede işçilik giderleri düşer ve özellikle dolgu işlerinde köpük beton kullanımı avantajlı duruma gelir.

1.5. Yayın Taraması

Ohama (48) 1987'de yayınladığı çalışmasında lateksle modifiye edilen beton ve harçların proses teknolojisini, prensiplerini ve tipik özelliklerini vermiş, polimer, çimento ve agrega arasındaki reaksiyonları tartışmıştır. Tartışılan özellikler; dayanım, boşluk yapısı, geçirimsizlik ve donma-çözülme, klor geçirimsizliği, karbonasyon direnci gibi durabilite özellikleridir. Ohama, bu özelliklerin polimer/çimento oranıyla güçlü bir şekilde etkilendiklerini söylemiştir.

Ohama (49), 1998' de yayınlanan makalesinde polimer kökenli katkıları sınıflandırmış, çeşitli polimerler kullanarak yapılan polimer modifikasyonunun

prensiplerinden bahsetmiş, polimer modifiye beton ve harçların özellikleri ve uygulamalarından bahsetmiştir.

Polimerle modifiye edilmiş hafif betonlar üzerine çok sınırlı sayıda çalışma vardır. Shaker ve arkadaşları (50), SBR lateksle modifiye edilen betonların durabilitesi üzerine etkisini araştırdıkları çalışmada basınçlı su geçirimsizliği, kılcal geçirimsizlik, aşınma, korozyon ve sülfat dayanıklılığında önemli iyileşmeler gözlemişlerdir.

Rossignolo ve arkadaşları (51) ince prekast elemanlar üretebilmek amacıyla Brezilya hafif agregalarıyla 5 farklı bileşim denemişlerdir. Agregalar genleştirilmiş kildir. Çalışma sonunda 39.7- 51.9 MPa aralığında dayanımlar ve 1460-1605 kg/m³ birim ağırlıklar elde edilmiştir ve ince prekast elemanlar başarıyla üretilmiştir.

Rossignolo ve Agnesini (52), çalışma kapsamını genişleterek styrene butadien rubber ile modifiye edilen hafif betonların korozyon direnci, kimyasal direnç ve su emme açısından geleneksel betonla karşılaştırmasını yapmışlardır. SBR lateks kullanımıyla su/(çimento+silis dumanı) oranı ve su emme azalmış, yarmada çekme ve eğilme dayanımları geleneksel betona kıyasla artmıştır.

Rossignolo ve Agnesini (53), SBR rubber ile modifiye edilen hafif betonların agresif ortamlara dayanıklılığını araştırmışlardır. Çalışmanın sonunda, polimerli betonların, polimerle modifiye edilmemiş hafif betonlardan daha dayanıklı olduğunu söylemişlerdir. SBR'nin, karışımlarda kullanılan su miktarını önemli miktarda azalttığını, korozyon direnci ve asitli ortamlara direnci iyileştirdiğini, su emmeyi azalttığını vurgulamışlardır.

Chen ve Liu (54), çalışmalarında genleştirilmiş polistren kullanarak ürettikleri hafif betonu SBR lateks kullanarak modifiye etmişler, polimer/çimento oranı ve kür koşullarının basınç ve eğilme dayanımına etkisini araştırmışlardır. Polimer/çimento oranı % 0-20 arasında değişmiştir. Numuneler 6 farklı kür ortamında bekletilmiştir. Kür koşullarının dayanım gelişiminde önemli etkisi olduğunu vurgulamışlardır. 7 gün su kürü ardından 21 gün 20 °C de havada kür basınç ve eğilme dayanımları açısından en iyi sonuçları vermiştir. Yazarlar 7 gün su kürünün çimento matrisinin dayanım gelişimini sağladığını, ardından uygulanan havada kürün ise SBR film formasyonu oluşturduğunu ve çimento matrisi ile eps partikülleri arasındaki adhezyonu düzelttiğini söylemişlerdir. Polimerle modifiye olmamış EPS'li betonla karşılaştırıldığında, Polimerli olanların basınç dayanımının daha yüksek olduğunu vurgulamışlardır.

Younus ve arkadaşları (55), doğal rubber lateksle (NRL) modifiye hafif betonların klor geçirimsizliğini araştırmışlardır. Deneylerde hafif iri ve ince agrega ve F sınıfı bir uçucu

kül ve çimento dozajının %2-5'i oranında NRL kullanmışlardır. Çalışmanın sonunda, hafif betonların polimerle modifiye edilmelerinin dayanım ve klor geçirimsizliğini önemli ölçüde iyileştirdiği sonucuna varmışlardır.

Köksal ve Gencil (56), geliştirilmiş vermikülit kullanarak ürettikleri polimerle modifiye edilmiş hafif harçların özelliklerini incelemişlerdir. Polimer olarak SAE lateks kullanmışlardır. Polimer/çimento ve kullanılan vermikülit miktarını değiştirmişler, vermikülit oranı arttıkça eğilme ve basınç dayanımlarının azaldığını gözlemişlerdir. SAE lateks kullanımının basınç dayanımından ziyade eğilme dayanımı üzerinde daha iyi performans gösterdiğini söylemişlerdir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Çalışmanın Amacı

Polimer modifiye betonlar, geleneksel betonla karşılaştırıldıklarında, bazı üstünlüklere sahiptirler. Betonun işlenebilirlik, dayanım ve durabilitesini iyileştirmek amacıyla üretilmektedirler (48). Öte yandan, hafif betonlar da yapısal amaçlarla uzun yıllardır kullanılmaktadırlar. Bununla birlikte, boşluklu yapıları nedeniyle su emmelerinin yüksek oluşu, aşınma dayanımlarının düşük oluşu gibi olumsuzlukları bulunmaktadır.

Bu çalışmada, agregaya olarak pomza kullanılarak üretilen polimerle modifiye olmuş hafif betonların bazı özelliklerinin araştırılması, polimer ilavesinin hafif betonun özelliklerini ne yönde değiştirdiğinin belirlenmesi planlanmıştır.

2.2. Deney Programı

Deneyisel çalışmada, Elazığ yöresinden sağlanan pomza agregaya kullanılarak toplam 12 üretim yapılmıştır. Çimento dozajı 400 ve 500 kg/m³tür. Su/çimento oranı ise 0,35 olarak sabit tutulmuştur. Üretimlerin bir kısmında, işlenebilirlik ve geçirimsizlik özelliklerine etkisini araştırmak amacıyla uçucu kül kullanılmıştır. Süperakışkanlaştırıcı katkı, her üretimde çökmelerin 5-8 cm arasında olmasını sağlayacak miktarda eklenmiştir. Kullanılan polimer oranı % 0, % 5 ve % 10 olmuştur.

Her üretimde 6 adet 15x15x15 cm lik küp, 2 adet 10x10x40 cm lik prizma ve 2 adet 10x10x10 cm lik küp üretilmiştir.

2.3.Kullanılan Malzemeler ve Ekipman

2.3.1.Kullanılan Malzemeler

2.3.1.1. Agregas

Çalışma kullanılan hafif agregas Elazığ yöresine ait pomzadır. Pomza volkanik kökenli slika esaslı camsı ve gözenekli bir yapıya sahip volkanik agregadır. Yapısındaki boşluklar sayesinde yüksek ısı ve ses izolasyonu özelliklerine sahiptir.

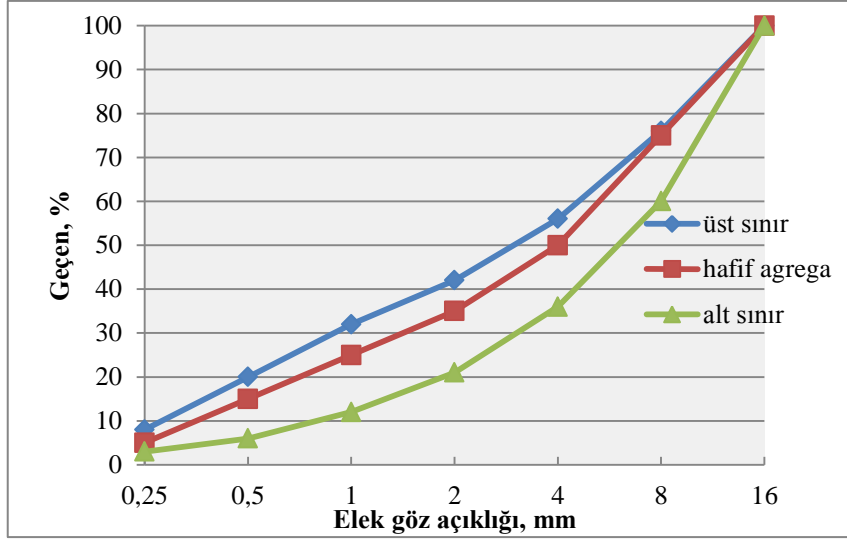


Şekil 4. Pomza agregası

Deneylerde kullanılan pomza agregasının maksimum tane çapı 16 mm dir. Betonların dayanım düzeyinin düşük olmaması için, agreganın bir kısmı normal agregas olarak kullanılmıştır. Agregaların karışım oranları % 55 hafif agregas, % 45 kırma kumdur. Agregaların bazı fiziksel özellikleri Tablo 1' de verilmiştir. Şekil 5'de ise karışım agregasının granülometri eğrisi görülmektedir.

Tablo 1. Agregalara ait bazı özellikler

Agregas Türü	Maksimum tane çapı (mm)	DKY Özgöl ağırlık(g/cm ³)	Birim ağırlık (g/cm ³)	Su emme (kütlece %)	
				10 dak	24 saat
Kırma kum	8	2.60	1.44	-	2.7
Pomza	16	1.35	0.51	15.0	50.0



Şekil 5 Karışım agregasının granülometri eğrisi

2.3.1.2. Polimer

Deneylerde polimer malzeme olarak styrene butadiene rubber lateks kullanılmıştır. Ürünün ticari adı Reomiks 125'tir. Beyaz renkli, yoğunluğu $1,08 \text{ g/cm}^3$, katı madde oranı %42 olan sıvı bir malzemedir.



Şekil 6. Deneylerde kullanılan Styrene Butadiene Rubber Lateks

2.3.1.3. Çimento

Deneyisel çalışmada AŞKALE çimento fabrikası üretimi CEM I 42,5R tipi çimento kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Tablo2'de verilmiştir.

Tablo 2. Kullandığımız çimentonun fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri

	Kimyasal analiz(%)	Fiziksel ve mekanik analiz	
CaO	64,33	45 µm eleğin üstünde kalan yüzde (incelik)	7,84
SiO ₂	18,62		
Al ₂ O ₃	4,51		
Fe ₂ O ₃	2,95	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	3,13
MgO	2,09	Özgül yüzey(cm ² /gr)	3616
SO ₃	2,77	Priz başı (saat-dk)	2sa-23dk
Na ₂ O	0,25	Priz sonu (saat-dk)	3sa-0,2dk
K ₂ O	0,62	Hacim genleşmesi(mm)	1
(Na ₂ O): Na ₂ O.0658K ₂ O	0,66		
Cl	0,0191		
Ölçülemeyen	0,38	Basınç dayanımı (MPa) 2.gün	25,1 MPa
Toplam	100		
Serbest CaO	0,62	Basınç dayanımı (MPa) 28.gün	52,8 MPa
Çözülme kalıntı	0,7		
Kızdırma kaybı	3,46	Su ihtiyacı (%)	28,8

2.3.1.4. Uçucu kül

Deneylerde kullanılan uçucu kül, Sugözü termik santralinden elde edilen F sınıfı uçucu küldür. Tablo 3 te kullanılan uçucu küle ait fiziksel ve kimyasal özellikler verilmiştir.

Tablo 3. Kullandığımız uçucu külün fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

Kimyasal Özellikler		Fiziksel Özellikler	
SiO ₂ (Silisyum Dioksit %)	58,75	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	2,32
R ₂ O ₃ (Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ %)	29,17		
S+A+F %	87,92		
CaO (Kalsiyum Oksit %)	3,36	Özgül yüzey (cm ² /gr)	3050
MgO (Magnezyum Oksit %)	1,45		
Cl ⁻ (Klorür %)	0,002		
SO ₃ (Kükürt Trioksit %)	0,15	45 mikron elek üstünde kalan yüzde (incelik)	16,1
Kızdırma kaybı %	1,37		
Çözünmeyen kalıntı %	87,56		

2.3.1.5. Süperakışkanlaştırıcı

Kullandığımız kimyasal katkı malzemesi, yüksek derecede su azaltıcı bir katkıdır. Özellikleri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Süperakışkanlaştırıcının teknik özellikleri

Malzemenin Yapısı	Polikarboksilik eter esaslı
Renk	Amber
Yoğunluk	1,82-1,142 kg/lt
Klor içeriği, %	< 0,1
Alkali içeriği, %	< 3

2.3.1.6. Su

Karışımlarda kullandığımız su, Trabzon’un şehir şebeke suyudur.

2.3.2. Kullanılan Cihazlar

2.3.2.1. Etüv

Deneylerimizde numunelerimizi kurutmak için kullandığımız etüv GENIAR markalı etüvdür.



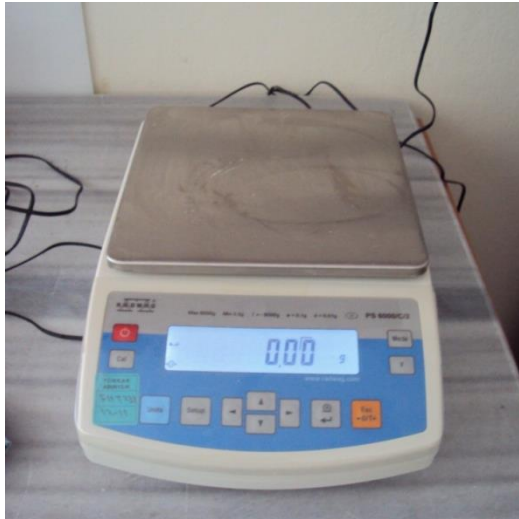
Şekil 7. Deneylerde kullanılan etüv

2.3.2.2. Terazi

Beton üretimlerinde kullanılan uçucu kül, çimento, agrega ve beton numunelerinin tartımları maksimum kapasitesi 30 kg olan 1 gram hassasiyetli METTLER markalı teraziyle yapılmıştır. Polimer, süperakışkanlaştırıcı ve numunelerin tartımlarında ise 10 kg kapasiteli ve 0.1 gram hassasiyetli RADWAY markalı terazi kullanılmıştır.



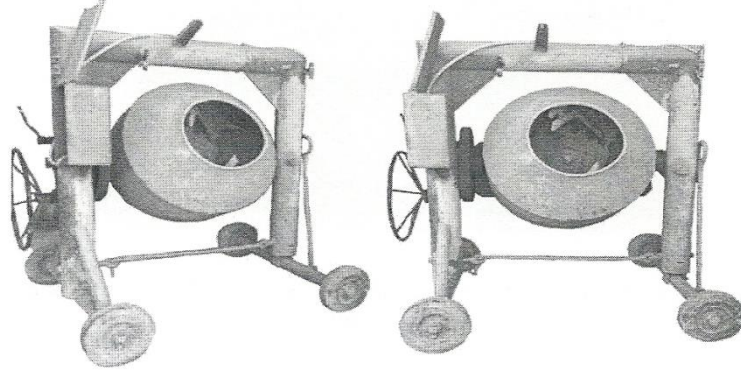
Şekil 8. METTLER marka terazi



Şekil 9. RADWAY marka terazi

2.3.2.3. Betoniyer

Üretimlerimizde 60 litre kapasiteli, eğik eksenli NACE markalı betoniyer kullanıldı.



Şekil 10. NACE markalı eğik eksenli betoniyer

2.3.2.4. Eğilme ve Basınç Test Presi

Deneylerde Şekil 11’de fotoğrafı görülen Dinç marka 300 ton kapasiteli hidrolik pres kullanılmıştır.



Şekil 11. Beton test presi

2.3.2.5. Böhme Yüzey Aşındırma Test Cihazı

Beton numuneler üzerinde aşınma deneyleri için Şekil 8’de gösterilen, 30 devir/dk. \pm 1 devir/dk hızla dönen, yaklaşık 750 mm çapında yatay olarak yerleştirilmiş bir aşındırma

diskli bulunan ve numuneye dönen disk üzerinde belirli bir kuvvet uygulayan, her 22 devirde cihazı otomatik olarak durduran tertibata ve bir numaratorre sahipböhme aşındırma test cihazı kullanılmıştır.



Şekil 12. Böhme yüzey aşındırıcı test cihazı

2.4. Beton Bileşimleri

Üretilen betonların bileşimleri Tablo 5 de verilmiştir. İlk altı üretim, 400 ve 500 kg/m³ dozlu betonlara % 0, % 5 ve % 10 polimer katılarak gerçekleştirilmiştir. Polimer yapısındaki katı madde miktarının %42 olduğu göz önüne alınarak, polimer ilavesiyle bileşime katılmış olan su karışım suyundan düşülmüştür. İkinci altı üretimde ise, bileşimlere uçucu kül ilave edilmiştir.

Tablo 5. Beton bileşimleri

Üretim No	P/C (%)	C(kg/m ³)	S (kg/m ³)	UK (kg/m ³)	Agrega (kg/m ³)		SA(%)	Çökme(cm)
					HA	KK		
1	0	400	140	-	466	842	-	5
2	5				448	810	-	10,5
3	10				444	803	0,5	7
4	0	500	175	-	422	762	0,9	5
5	5				408	737	0,5	7
6	10				394	713	0,2	6,5
7	0	400	168	80	425	769	0,9	7
8	5				407	737	0,4	7
9	10				403	729	0,2	6,5
10	0	500	175	100	394	712	0,9	11,5
11	5				380	687	0,4	6,5
12	10				325	638	0,2	10,5

UK: Uçucu kül; HA: Hafif Agregası; KK: Kırma Kum; SA: Superakışkanlaştırıcı

3. BETON ÜRETİMİ VE YAPILAN DENEYLER

3.1. Beton Üretimi

Üretimlerde, agregalar betonyere koyulduktan sonra doyma suyu eklenmiş ve 1-2 dakika karıştırılarak 10 dakika bekletilmiştir. Pomza agrega için ilave edilen doyma suyu 10 dakikalık su emme miktarı kadardır. Daha sonra çimento ve varsa kullanılacak toz malzeme ilave edilerek 2-3 dakika karıştırılmıştır. SBR lateks karışım suyu ile birlikte eklenmiş, son olarak istenen kıvamı sağlayacak kadar süperakışkanlaştırıcı ilave edilmiştir. Karışım homojen hale gelinceye kadar yaklaşık 5 dakika karıştırılmıştır.

Hazırlanan karışımlar, Şekil 13’de gösterildiği üzere, daha önceden yağlanarak hazır hale getirilen kalıplara doldurularak, sarsma tablası yardımıyla yerleştirilmiştir.



Şekil 13.Hazırlanan karışımların kalıplara yerleştirilmesi

Üretilen numuneler 24 saat bekletildikten sonra kalıplardan çıkarılarak Şekil 14’deki gibi kür havuzuna yerleştirilmiştir. Polimerli betonlar 7 gün sonra havuzdan çıkarılmış ve polimerizasyonun gerçekleşmesi için laboratuvar ortamında bekletilmiştir.



Şekil 14. Kür havuzu

3.2. Yapılan Deneyler

3.2.1. Çökme (Abrams Hunisi) Deneyi

Hazırlanan numunelerin işlenebilirliğini belirlemek için Şekil 15’de gösterildiği üzere çökme (Abrams hunisi) deneyi yapılmıştır.



Şekil 15. Çökme (abrams huni) deneyi

3.2.2. Basınç Dayanımı Deneyi

Üretim tarihinden itibaren 28. günde 15x15x15 cm'lik küp numuneler, basınç dayanımı testine tabi tutulmuş ve basınç dayanımları belirlenmiştir.

3.2.3.Eğilme Dayanımı Deneyi

Üretim tarihinden sonra 28. günde kür 40x10x10 cm'lik kiriş numuneler üç nokta eğilme deneyine tabi tutulmuş ve eğilme dayanımları belirlenmiştir.

3.2.4. Kılcal Su Emme Deneyi

Üretim tarihinden itibaren 28. günde 10x10x10 cm'lik küp numuneler etüve konulmuş ve 48 saat boyunca 70°C de kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan numuneler 20 °C deki klimatize odada soğuyana kadar bekletilmiş ve kuru ağırlıkları 0,1 gr hassasiyetindeki terazi ile tartılmıştır.

Deney sırasında numunelerin yan yüzeylerinden su girişinin engellenmesi için yan yüzeyleri izolasyon amaçlı bantlarla çevrilmiş, Şekil 16'da görüldüğü üzere plastik küvet içerisine yerleştirilerek 5.dk, 10.dk, 20.dk, 30.dk, 45.dk, 60.dk, 120.dk, 24 saat ve 48 saat sonraki ağırlıkları 0,1 gr hassasiyetindeki terazi ile tartılmıştır.



Şekil 16. Kılcallık deney düzeneği

Yapılan tartımlar sonrası yatay eksene deney süresince tartım yapılan zamanların karekökü, düşey eksene de emilen su miktarının numunenin suya değen yüzey alanına bölümü işaretlenerek bir grafik çizilmiş, elde edilen eğrinin eğimi kılcallık katsayısı olarak belirlenmiştir.

3.2.5. Aşınma (Böhme) Deneyi

Yüzey aşınmasını bulabilmek için üretilen kırıç numunelerden, 71x71x71mm boyutlarında numuneler kesilmiştir. Bu numunelerin birim hacim ağırlıklarının bulunabilmesi için doymuş halde havada ve suda tartımları yapılmış daha sonra 100°C'de 24 saat kurutulmuşlardır. Klimatize odada soğutulan numuneler aşındırıcı diske yerleştirilmiştir. Deneyde aşındırıcı yüzeye 20 gr \pm 0,5 gr zımpara tozu (korundum) serpilmiş ve numune üzerine 294 \pm 3 N yük uygulanarak disk 22 tur çevrilmiştir. Her 22 tur sonrası disk yüzeyi temizlenip, tekrar 20 gr \pm 0,5 gr zımpara tozu serpilerek numune aynı yüzeyi üzerinde 90° döndürülmüş ve bu işlem iki numune üzerinde 16'şar defa tekrarlanmıştır.

Deney sonrası numunelerin hacimsel aşınma kaybı, aşağıda belirtilen bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır.

$$DV=Dm/ \delta R \quad (1)$$

Burada;

$$DV=\text{Hacimsel kayıp (cm}^3\text{/50cm}^2\text{)}$$

$$Dm=16 \text{ periyet sonrası kütle kaybı (gr)}$$

$$\delta R=\text{Örnek birim hacim ağırlığı (gr/cm}^3\text{)}$$

3.2.6. Fırın Kuru Birim Ağırlık ve Su Emme Deneyleri

10x10x10 cm ebatlı küp numuneler, 105 °C sıcaklıktaki etüvde 24 saat bekletilmiş, 20 °C'deki klimatize odada soğutulduktan sonra tartılmışlardır (P1). Bu tartımlardan yararlanarak numunelerin fırın kuru birim ağırlıkları aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

Fırın kurusu birim ağırlık= $P1/V$

Su emme deneyi için aynı numuneler önce suya yaklaşık 10 mm kadar batırılmış, 24 saat bu şekilde bekletildikten sonra tamamen suya batırılarak 72 saat bekletilmiş ve yüzeyleri kurularak tartılmıştır(P2). Su emmeleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

Su emme= $(P2-P1)/P1$

4. DENEY SONUÇLARI VE YORUMLAR

4.1. Basınç ve Eğilme Dayanımları

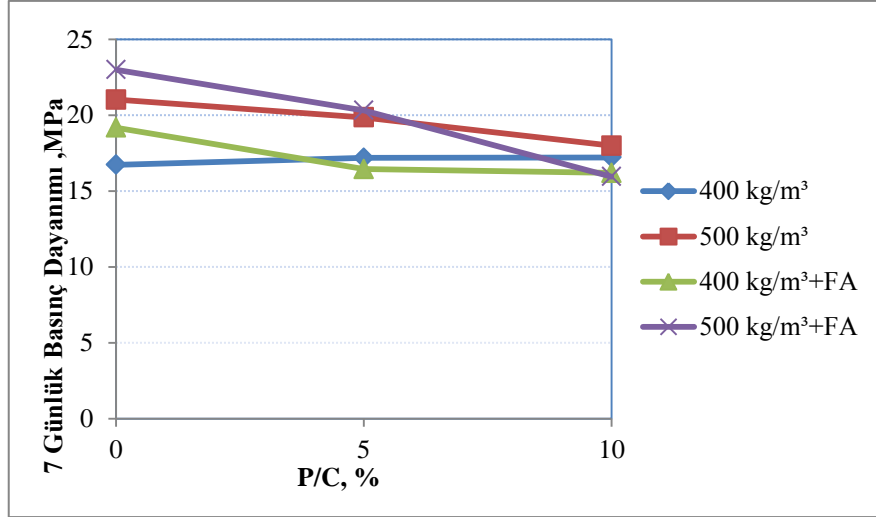
Tablo 6'da numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları, eğilme dayanımları ve fırın kurusu birim ağırlıkları verilmiştir. Bu tablodan, betonların 7 günde 28 günlük dayanımlarının önemli bir kısmını kazandıkları görülmektedir. Bu durum, erken dayanımı yüksek çimento kullanımından kaynaklanıyor olabilir.

Betonların 28 günlük dayanımları 20,2 MPa ile 27,3 MPa arasında değişmiştir. Fırın kurusu birim ağırlıklar ise ortalama 1550 kg/m³ düzeyinde olmuştur.

Tablo 6. Numunelerin basınç ve eğilme dayanımları

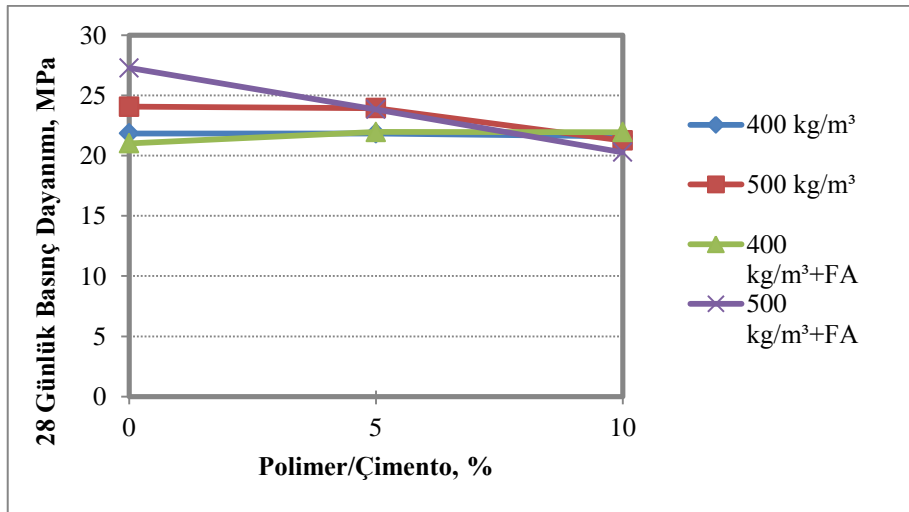
Üretim No	P/C (%)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	UK (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (MPa)		Eğilme Dayanımı (MPa)	Fırın Kurusu birim ağırlık (kg/m ³)
					7 Day	28 Day		
1	0	400	140	-	16,7	21,8	5,0	1651
2	5				17,2	21,8	6,1	1582
3	10				17,2	21,6	5,6	1577
4	0	500	175	-	21,0	24,1	5,7	1594
5	5				19,9	23,9	5,8	1578
6	10				18,0	21,3	5,9	1526
7	0	400	168	80	19,2	21,0	5,5	1576
8	5				16,5	22,0	5,9	1591
9	10				16,2	22,0	5,3	1419
10	0	500	175	100	23,0	27,3	6,3	1536
11	5				20,3	23,8	6,3	1557
12	10				16,0	20,2	6,1	1504

Şekil 17, P/C oranına bağlı olarak 7 günlük basınç dayanımlardaki değişimi göstermektedir. 500 kg/m³ çimento ve uçucu küllü betonların basınç dayanımı % 10 polimer kullanımıyla yaklaşık % 30 oranında azalmıştır. 500 kg/m³ dozajlı betonlarda ise % 10 polimer kullanımı polimersiz betona oranla yaklaşık % 15 lik bir dayanım azalması göstermiştir. Diğer betonlarda ise belirgin bir eğilim gözlenmemektedir.



Şekil 17. P/C Oranına bağlı olarak 7 günlük basınç dayanımı değişimi

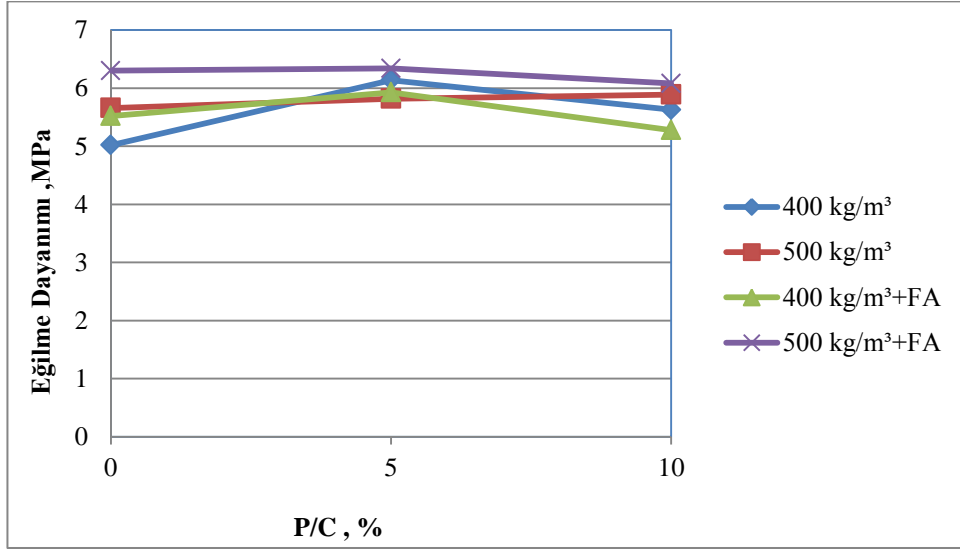
Şekil 18 ise P/C oranına bağlı olarak 28 günlük basınç dayanımlardaki değişimi göstermektedir. Genel olarak 500 kg/m³ çimento içeren betonların dayanımlarında, polimer miktarındaki artışa bağlı olarak bir azalma eğilimi görülmektedir. Bu betonlardan uçucu kül içerenler % 10 polimer oranında % 25 dayanım kaybına uğramıştır.



Şekil 18. P/C Oranına bağlı olarak 28 günlük basınç dayanımı değişimi

Şekil 19'da ise eğilme dayanımlarının polimer miktarına bağlı değişimi verilmiştir. Eğilme dayanımları basınç dayanımlarının yaklaşık %20 si düzeyindedir. Polimer miktarına bağlı belirgin bir değişim ise gözlenmemektedir.

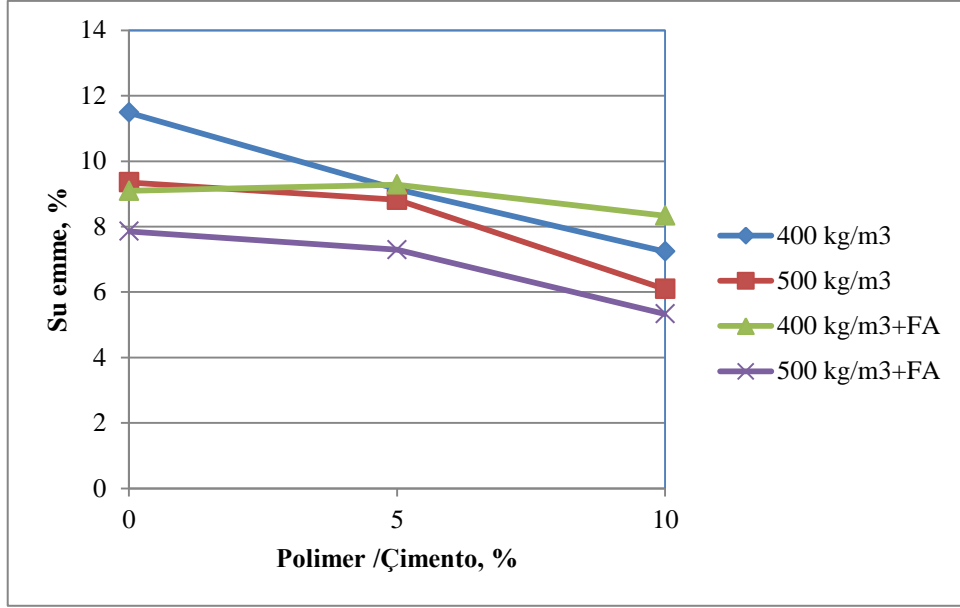
Betonların dayanım değerlerinde önemli farklılıkların oluşmaması, düşük agrega dayanımının sınırlayıcı etkisinden kaynaklanıyor olabilir. Yani harç fazının muhtemelen daha yüksek olabilecek dayanımı, agrega dayanımı ile sınırlanmış ve polimer miktarına bağlı olarak oluşabilecek olası değişimler gözlenememiş olabilir.



Şekil 19. Eğilme dayanımlarının polimer miktarına bağlı değişimi

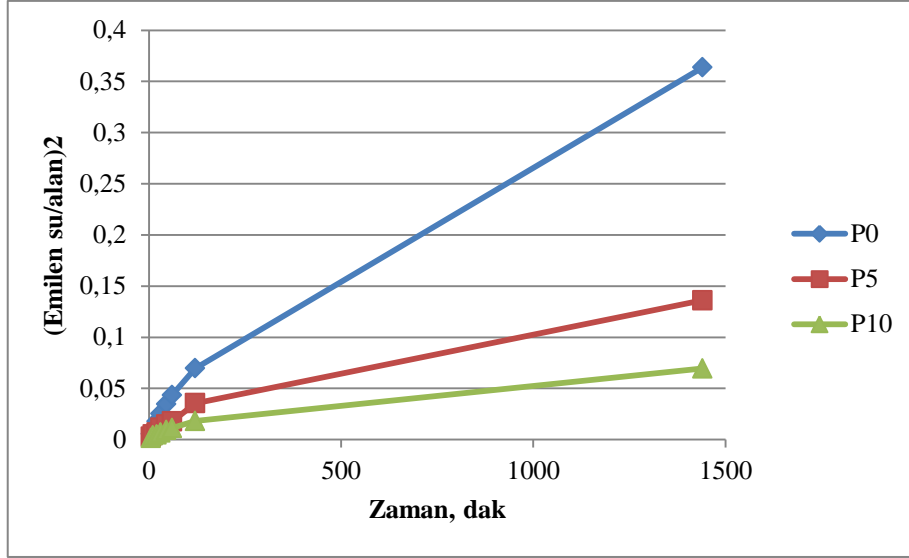
4.2. Su Emme ve Kılcallık

Şekil 20 polimer/çimento oranına bağlı olarak su emme yüzdelerindeki değişimi göstermektedir. Grafikten, polimer miktarının artışıyla su emmelerde bir azalma eğilimi olduğu görülmektedir. En belirgin azalma 400 kg/m³ dozajlı betonlardadır. Polimersiz betonda %11 düzeyinde olan su emme, % 10 polimer ilavesiyle % 7 düzeyine inmiştir. Çalışmamızda kullanılan hafif agreganın su emme kapasitesi 24 saate % 50 dir. Tüm betonlarda polimer ilavesinden beklenen olumlu etkinin, agreganın oldukça yüksek olan su emmesi nedeniyle çok belirgin olarak ortaya çıkmadığı düşünülmektedir.

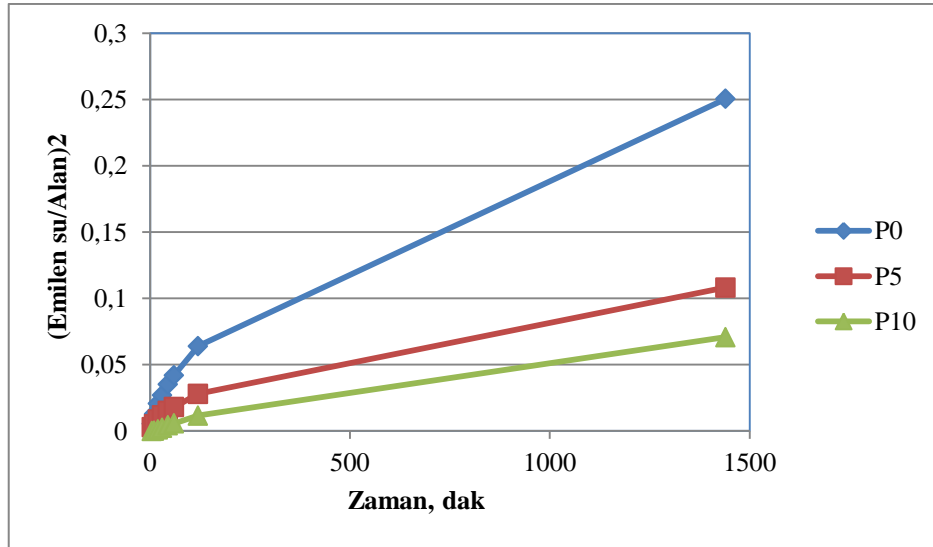


Şekil 20. Polimer/çimento oranına bağlı olarak su emme yüzdelerindeki değişim

Şekil 21 ve 22, 400 ve 500 kg/m³ dozajlı betonlarda kılcal yolla birim alandan emilen suyun zamana bağlı değişimi verilmiştir. Grafiklerden, polimer miktarındaki artışla emilen suyun önemli miktarda azaldığı görülmektedir. 400 dozlu betonlarda, polimer ilave edilmeyen betonda 24 saat sonunda 0,35 olan değer, % 10 polimer ilavesiyle 0,06 düzeyine inmiştir. Aynı eğilim 500 dozlu betonlarda da görülmektedir. Polimer ilavesiz betonda 24 saat sonunda 0,25 olan değer, % 10 polimer ilavesiyle 0,07 düzeyine inmiştir. Bunun nedeni polimerli betonlarda, kapiler boşlukların yüzeyinde ve agrega çimento hamuru ara yüzeyinde polimer film oluşmasıdır. Bu film kapiler boşluk sistemi içinde suyun hareketini kısıtlar.

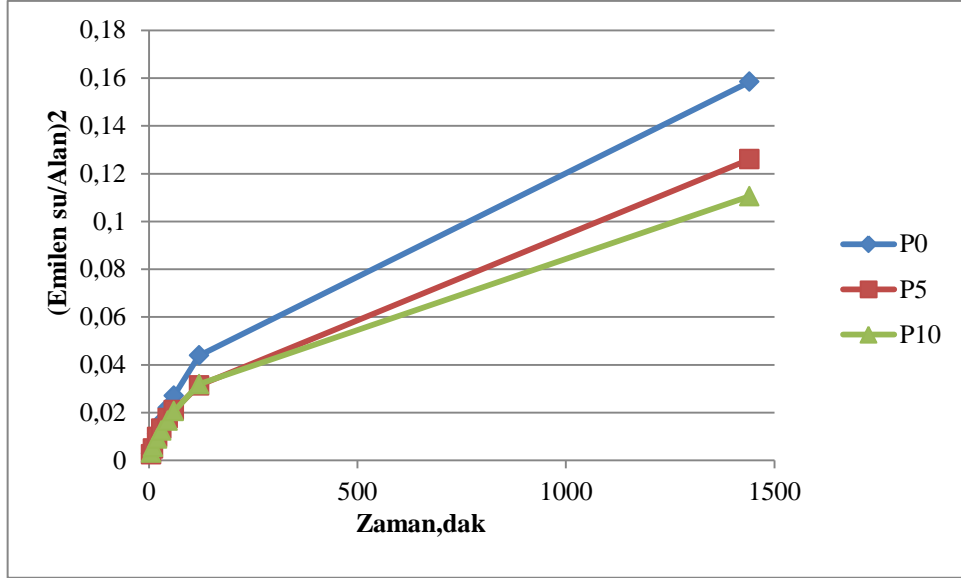


Şekil 21. 400 kg/m³ dozajlı betonlarda zamana bağlı olarak kılcal yolla emilen su

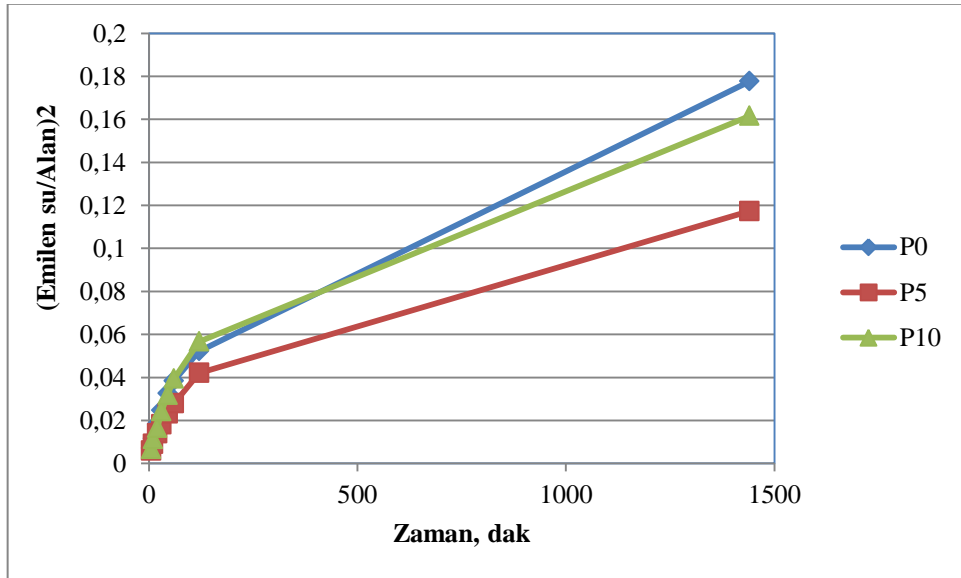


Şekil 22. 500 kg/m³ dozajlı betonlarda zamana bağlı olarak kılcal yolla emilen su

Şekil 23 ve Şekil 24 ise uçucu kül ilavesiyle üretilen 400 ve 500 kg/m³ dozlu betonlarda kılcal yolla birim alandan emilen suyun zamana bağlı değişimi verilmiştir. Görüldüğü gibi uçucu küllü polimersiz betonlarda kılcallıkla 24 saatte birim alandan emilen su 0,16 ve 0,18 düzeyindedir. Bu durum, uçucu kül ilavesinin kılcal yolla su emilimini önemli miktarda zaten iyileştirmiştir. Bu betonlarda, polimer ilavesi su emiliminde daha az iyileşmeye yol açmıştır.



Şekil 23. 400 kg/m³ dozajlı ve uçucu küllü betonlarda zamana bağlı olarak kılcallıkla emilen su

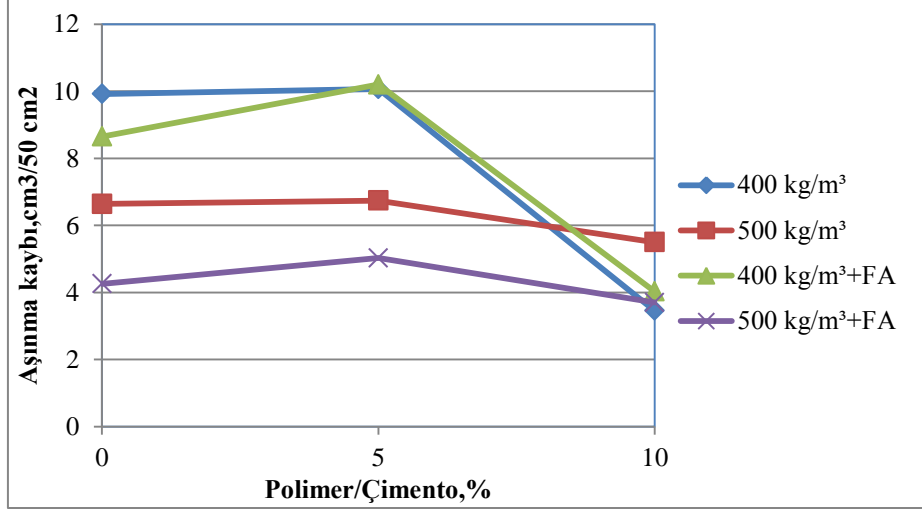


Şekil 24. 500 kg/m³ dozajlı ve uçucu küllü betonlarda zamana bağlı olarak kılcallıkla emilen su

4.3. Aşınma Dayanımı

Şekil 25, polimer miktarına bağlı olarak aşınma deneyi sonunda gerçekleşen ağırlık kayıplarını göstermektedir. 500 kg/m³ dozlu betonlarda belirgin bir değişim oluşmamıştır.

400 kg/m³ dozlu betonlarda ise % 10 polimer ilavesiyle aşınma kayıplarında önemli miktarda iyileşme olmuştur.



Şekil 25. P/C Oranına bağlı olarak ağırlık kaybı değişimi

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada 2 farklı oranda styrene butadiene (SBR)lateks ilavesiyle üretilen hafif betonların basınç ve eğilme dayanımları, su emmeleri, kılcal yolla su emmeleri ve aşınma dayanımlarındaki değişim araştırılmıştır.Deneysel çalışmada,Elazığ yöresinden sağlanan pomza agrega kullanılarak toplam 12 üretim yapılmıştır. Çimento dozajı 400 ve 500 kg/m³ tür. Su/çimento oranı ise 0,35 olarak sabit tutulmuştur. Üretimlerin bir kısmında, çimentoya % 20 oranında uçucu kül ilave edilmiştir. Kullanılan polimer oranı % 0, % 5 ve % 10 olmuştur. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

1. Tüm betonlarda 7 günlük dayanımların 28 günlük dayanımlara oranı ortalama 0,82 düzeyinde olmuştur. Bu oranlarda polimer oranına bağlı bir eğilim oluşmamıştır.
2. Betonların 28 günlük dayanımları 20,2 MPa ile 27,3 MPa arasında değişmiştir. Fırın kurusu birim ağırlıklar ise ortalama 1550 kg/m³ düzeyinde olmuştur.
3. 400 kg/m³ dozlu betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarında polimer oranına bağlı olarak belirgin bir değişim oluşmamıştır. 500 kg/m³ çimento ve uçucu kül ilaveli betonların 28 günlük basınç dayanımı % 10 polimer kullanımıyla yaklaşık % 30 oranında azalmıştır. 500 kg/m³ dozajlı betonlarda ise % 10 polimer kullanımı polimersiz betona oranla yaklaşık % 15 lik bir dayanım azalması göstermiştir.
4. SBR Lateks kullanımı eğilme dayanımları üzerinde önemli bir değişime yol açmamıştır.
5. SBR lateks kullanımı, betonların su emmelerinde azalmaya yol açmıştır.
6. SBR Lateks kullanımı tüm betonlarda; özellikle uçucu kül kullanılmayan betonların kılcallık yoluyla su emmesinde önemli miktarda azalmaya yol açmıştır. 400 dozlu betonlarda 24 saat sonunda 0,35 olan değer, % 10 polimer ilavesiyle 0,06 düzeyine inmiştir.
7. 400 kg/m³ dozlu betonlarda % 10 polimer kullanımı aşınma dayanımını önemli ölçüde iyileştirmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Erdoğan, T. Y., Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim x.s. Ankara, 2007.
2. Özışık, G., Beton, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 1999.
3. Cilanson, N., 'Beton' STFA Yayınları No: 21, İstanbul, 1992.
4. Erdoğan, M., 'İstanbul ve Dolayının Yapay Agregası Potansiyeli' 3.Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, Ç.Ü. Mühendislik Fakültesi, Ocak 1992, Adana, Bildiriler Kitabı: 29-41.
5. Erdoğan, T. Y., 'Beton Oluşturan Malzemeler-Agregalar' Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul, 1995.
6. Topçu, İ. B., Demir, A.Boğa, A.R., "Akışkanlaştırıcı ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkı Kullanımının Taze Beton Özelliklerine Etkisi", 434, 6 Türkiye Mühendislik Haberleri 2004.
7. Akkovali D., Polimer Ders Notları. O.D.T.Ü, Ankara, 1993.
8. Akman M.S., Yapı Malzemeleri, 2. Baskı, İTÜ, İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul 1990.
9. Vlack L.H. Van., Malzeme Bilimine Giriş, (Çeviren R.A Safoğlu), Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 1972.
10. Shackelford J.F., Introduction to Materials Science for Engineering, 2. Edition, New York; Macmilian, 1990.
11. Hollaway L., "Polymer and Polymer Composites for Civil and Structural" Engineering, Blackie Academic and Professional, Glasgow, 1993.
12. Mindess, S. ve Young, J.F., Concrete, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1981.
13. Sari, M., Part, E. ve Labastire, J.F., High Strength self-compacting concrete Original solutions associating organic and inorganic admixtures, Cem. Concr. Res., 29, (1999) 813-818.
14. Mindess, S., Young, J.F. ve Darwin, D., Concrete.2nd Edition, Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, 2002, 583-598.
15. Akkurt S., Plastik Malzeme Bilgisi, Birsen Yayınevi, İstanbul,1991.

16. Kaya F., Plastik Katkı Maddeleri ve İşleme Metodları, Yarımcı,1983.
17. Ohama Y., “New Developments and Environmental Issues in Concrete-Polymers Composites”, 8th ICPIIC Oostende-Belgium, 1995.
18. ACI Manual of Concrete Practice, Part-5 1993.
19. Young R.J., Introduction to Polymers, Chapman & Hall, London, 1981.
20. Dikeo James T. and David W. Fowler, “Polymer Concrete for Overlays and Precast Components; Canned/ACI International Workshop on Advabces in Concrete Technology, 1990.
21. Akar A., Polimer Kimyasına Giriş, İstanbul, 1991.
22. D.W., Fowler “Applications of Polymer Concrete”, Department of Civil Engineering, The University of Texas at Austin, USA, 8th. Congress ICPIIC Oostende (Belgium), pp 13 July 3-5 (1995).
23. Erdoğan T.Y., Beton, METU Press, Ankara, 2003.
24. Wong G.S., Alexznder, M. A., Haskins, R., Poole, T., Malone, P. G. ve Wakeley, L. Portland-Cement Concrete, 2001.
25. Grisser, A., Cement-Superplasticizer Interactions at Ambient Temperatures, Thesis of Doctor of Philosophy, Swiss Federal Institute of Technology, Zürich, 2002.
26. Neville A.M., Brooks J.J. Concrete Technology. Pearson, Prentice Hall, 2001.
27. ACI 318-99, Building code requirements for structural concrete and commentary. American Concrete, 1999.
28. Arioğlu E. ve Arioğlu N, Üst ve Alt Yapılarda Beton Karot Deneyleri ve Değerlendirilmesi. Evrim Yayınevi, İstanbul, 2005.
29. Ramyar K. ve Kol P., (1996). Tahribatsız ve Tahribatlı Yöntemlerle Beton Dayanımının Değerlendirilmesi. Çimento ve Beton Dünyası, 1, 2 (1996) 46-54.
30. Hindo K.R. ve Bengstrom W.R., Statistical evaluation of the in-place compressive Strength of concrete. Concrete International, February, 1985, 44-48.
31. Cook, JE., ‘Fly Ash in concrete-Technical considerations’, Concrete international, ACI, 51-59, Eylül.1983.
32. Lane, R.O. ve Best J.F., “Properties and use of Fly ash in portland cement concrete” Concrete international, ACI, Temmuz, 1982, 81-92.
33. Tyler, I.Z., Verbeik, G.J. ve Powers, T.C., Report of the Portland Cement Association, 1951.

34. Roy, D.M., Luke, K. and Diamond, S., Characterization of Flu Ash and its Reaction Society, Pittsburg, 1984.
35. Hewlett, P.C, Lea's chemistry of Cement and concrete, Fourth Edition, Arnold, 1998.
36. ACI Committee 226, Use of Fly Ash in concrete, ACI Materials Journal, 84, 5, (1987), 381-409.
37. Erdoğan.T.Y, Beton, Üçüncü baskı, 1-8, 188-195, 377-381, 397-399, ODTÜ Yayıncılık, 2010.
38. ASTM C618. "Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolans for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete," American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.02, West Conshohocken, Pennsylvania, 1994
39. EFNARC, Specifications and Guidelined for Self Compacting Concrete Specification, production and use, The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems, Farnham, UK, 2005, 68.
40. Berry, E.E ve Malhotra, V.M., Fly Ash for Use in Concrete a Cirtical Review, American Concrete Institute, 3-4 (1980) 59-73.
41. Erdoğan, T.Y., High-Lime Fly Ash Concretes, Proceedings, Cairo First İnternational Conference on Concrete Structures, Ocak 1996, Cairo, Bildiriler Kitabı: 1-9.
42. Baoju, L., Youjun, X., Shiqiong, Z., Jian, L., Some Factors Attecting early Compressive Strength of Steam-Curing Concrete with Ultrafine Fly Ash, Cem.Concr.Res., 31 (2001) 1455-1458.
43. Vassaux, Les procédès modernes de thermomaturation du bêtון, Construction, Mart-Ekim, 1973.
44. Siddique.R, Properties of Self-Compacting Concrete Containing Class F Fly Ash, Department of civil engineering, Thapar university, Patiala, Punjab, İndia, Materials and Design, 32 (2011) 1501-1507.
45. Ercan C.,“Epoksi Polimer Harç ve Betonlarının İşlenebilme Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1997.
46. Pişkin, “Polimer Beton Üretiminde Cam Tozu Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya,2010.
47. Sharifi, Khiabani, Azar, “Buhar Kürünün Uçucu Küllü Kendiliğinden Yerleşen Betonların Donma-Çözülme Dayanıklılığına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2012.
48. Ohama Y. Principle of latex modification and some typical properties of latex-modified mortars and concretes. ACI Materials Journal,

49. Ohama Y. Polymer-based admixtures. Cement and Concrete Composites 1998; (20): 189–212.
50. Shaker FA, El-Dieb AS, Reda MM. Durability of styrene–butadiene latex modified concrete. Cement and Concrete Research,
51. Rossignolo JA, Agnesini MVC, Morais JA. Properties of highperformance lwac for precast structures with brazilian lightweight aggregates. Cement and Concrete Composites,
52. Rossignolo JA, Agnesini MVC. Mechanical properties of polymer-modified lightweight aggregate concrete. Cement and Concrete Research,
53. Rossignolo, J.A., Agnesini, M.V.C., Durability of polymer-modified lightweight aggregate concrete, Cement & Concrete Composites,
54. Chen,B., Liu,J., Mechanical properties of polymer-modified concretes containing expanded polystyrene beads, Construction and Building materials,
55. Younus,S.J., Güneyisi,E., Gesoğlu,M., Mermerdaş,K., İpek,S., Resistance of natural rubber latex modified lightweight concrete to chloride ingress, 7th Asian Symposium on Polymers in Concrete,
56. Köksal,F., Gencil,O., Properties of polymer modified cement lightweight mortar prepared by using expanded vermiculite, 7th Asian Symposium on Polymers in Concrete,

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Trabzonda doğdu, İlköğretimini Kurtuluş İlköğretim Okulunda, Orta Öğrenimini Kanuni Orta Okulunda, Lise Öğrenimini Trabzon Lisesinde tamamladı. 2002-2006 yıllarında Atatürk Üniversitesinde İnşaat Mühendisliği lisans eğitimini tamamladı. 2009 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesinde Yüksek Lisans eğitimine başladı. Evli olup, özel bir firmada Kontrol Amiri olarak çalışmaktadır.