

**POLİPROPİLEN LİF TAKVİYELİ BETONLARIN
YÜKSEK SICAKLIK ETKİLERİNDEN SONRA
BASINÇ DAYANIMLARININ İNCELENMESİ**

Majid ATASHAFRAZEH

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yrd. Doç. Dr. A. Ferhat BİNGÖL
2013
Her hakkı saklıdır**

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**POLİPROPİLEN LİF TAKVİYELİ BETONLARIN YÜKSEK
SICAKLIK ETKİLERİNDEN SONRA BASINÇ
DAYANIMLARININ İNCELENMESİ**

Majid ATASHAFRAZEH

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ERZURUM

2013

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

**POLİPROPİLEN LİF TAKVİYELİ BETONLARIN YÜKSEK SICAKLIK ETKİLERİNDEN SONRA
BASINÇ DAYANIMLARININ İNCELENMESİ**

Yrd. Doç. Dr. A. Ferhat BİNGÖL danışmanlığında, **Majid ATASHAFRAZEH** tarafından hazırlanan bu çalışma 22/01/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalı'nda **Yüksek Lisans** tezi olarak oybirliği/~~oy çokluğu (.../...)~~ ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. A. Cüneyt AYDIN

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. A. Ferhat BİNGÖL

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. S. Yenal VANGÖLÜ

İmza :

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

POLİPROPİLEN LİF TAKVİYELİ BETONLARIN YÜKSEK SICAKLIK ETKİLERİNDEN SONRA BASINÇ DAYANIMLARININ İNCELENMESİ

Majid ATASHAFRAZEH

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. A. Ferhat BİNGÖL

İnşaat Mühendisliği alanında, sağladığı avantajlar bakımından lifli betonların önemi hızla artmaktadır. Lifli beton; çimento, agrega ve çoğunlukla süreksiz dağılılı liflerin su ile karıştırılmasıyla elde edilen beton olarak tanımlanmaktadır.

Beton yüksek sıcaklık etkisinde kaldığında önemli ölçüde hasara uğrar. Bu durum istenmeyen yapısal kusurlara neden olabilir. Polipropilen liflerin ilavesi bu hasarın azaltılmasında kullanılan yöntemlerden biridir. Bu çalışmada lif katkısız, 300, 600, 900 ve 1200g/m³ polipropilen elyaf (yün) ve çubuk lif katkılı kullanılarak beton numuneler üretilmiştir. Polipropilen elyaf lifin boyu 12 mm ve polipropilen çubuk lif 40 mm boyunda kullanılmıştır. Numuneler laboratuvar ortamında kür edilmiş, 28. günün sonunda tüm numuneler 23°C, 150°C, 300°C, 450°C, 600°C ve 750°C sıcaklık etkisine maruz bırakılmıştır. Yüksek sıcaklık etkisinde kalan numunelerin başlıklama yaptıktan sonra basınç dayanımları belirlenmiştir.

En yüksek basınç dayanımı 300g yünsü polipropilen katkılı numunelerde tespit edilmiştir. Bu grup için dayanım artışı %8 olarak belirlenmiştir. Yüksek sıcaklık etkilerinden sonra dayanımda çubuk polipropilen lifler yünsü polipropilen liflere göre daha iyi sonuçlar göstermiştir. Ayrıca veriler göstermiştir ki her iki lif grubu için 600°C den sonra lifsiz numuneler daha iyi sonuç vermiştir. Bunun nedeni olarak 500°C den yüksek sıcaklıklarda polipropilen liflerin erimesiyle, boşluklu bir ortam oluşumuna sebep olması düşünülebilir.

2013, 82 sayfa

Anahtar Kelimeler: Lifli Beton, Yüksek Sıcaklık, Polipropilen Lif, Basınç Dayanımı.

ABSTRACT

MS Thesis

THE COMPRESSIVE STRENGTH OF POLYPROPYLENE FIBER REINFORCED CONCRETE EXPOSED TO ELEVATED TEMPERATURE

Majid ATASHAFRAZEH

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. A. Ferhat BİNGÖL

In the field of civil engineering, the importance of fiber concrete is rapidly increasing. Cement, aggregate and distribution of fibers by mixing water is defined as a polypropylene fiber reinforced concrete (PFRC).

Concrete undergoes significant damages when it is under the effect of high temperature. This may cause undesirable structural defects. The addition of polypropylene fibers is one of the methods used to reduce this damage. In this study, the concrete specimens without any fibers (control specimens), 300gr/m³, 600gr/m³, 900gr/m³ and 1200gr/m³ polypropylene fibers were produced both in woolen and rod shape. The length of woolen polypropylene fiber was 12mm and for the rod type was 40 mm. The specimens were matured in the laboratory environment. At the end of 28th day, they were left at 23°C, 150°C, 300°C, 450°C, 600°C and 750°C for 2 hours. Then after capping the specimens, the compressive strength of them was determined.

The maximum compressive strength was determined in samples observed to 300gr/m³ of woolen polypropylene. For this group, the compressive strength increase was 8%. In the fire resistance strength, the rod polypropylene fibers showed better result than woolen polypropylene fibers. On the other hand, the results showed that beyond the both fiber groups, the control specimens gave the best result after the temperature of 600°C. This is because of the melting of polypropylene fibers after 500°C, as well as the fibers obstacle to explode but it leads to the formation of porous media and caused the reducing of the compressive strength.

2013, 82 pages

Keywords: Polypropylene fiber reinforced concrete (PFRC), Elevated temperature, Polypropylene fiber, Compressive strength.

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tezinin her aşamasında çalışmalarına tecrübeleri ile yön veren, bilgisini, teşvik ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. A. Ferhat BİNGÖL’e teşekkür borç bilirim.

Tez çalışmam boyunca bir araya gelerek bilgi, fikir ve tecrübeleri ile önemli katkılar sağlayan Sayın Doç. Dr. A. Cüneyt AYDIN ve Sayın Yrd. Doç. Dr. S. Yenal VANGÖLÜ’ne içten teşekkürlerimi sunarım.

Literatür ve deneysel çalışma esnasında büyük yardım ve desteklerini gördüğüm inşaat yüksek mühendisi Sayın Murat CAF’a ve Sayın Arş. Gör. Arif Emre SAĞSÖZ’e, Ezurum Beton A.Ş. ye ve Demiroğlu Yapı Denetim’e ve laboratuvar teknisyeni Sayın İlhami AYHAN’a teşekkür ederim.

Çalışmada emeği geçen ismini sayamadığım herkese teşekkür ederim.

Hayatımın her döneminde yanımda olan, destek ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen ailemin bütün bireylerine minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Majid ATASHAFRAZEH

Ocak 2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Lifli Beton	3
2.1.1. Lifli betonun uygulama alanları	3
2.1.2. Lifli beton avantajları	4
2.1.2.a. İşlenebilirlik.....	4
2.1.2.b. Enerji yutma kapasitesi(Tokluk)	5
2.1.2.c. Dayanım	6
2.1.2.d. Dayanıklılık	7
2.1.2.e. Rötire	8
2.2. Polipropilen lifli beton	10
2.2.1. Polipropilen liflerin sınıflandırılması.....	20
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	21
3.1. Materyal	21
3.1.1. Deneylerde kullanılan malzemeler.....	22
3.1.1.a. Çimento	22
3.1.1.b. Betonda kullanılan lifler.....	24
3.1.1.c. Polipropilen liflerin fiziksel özellikleri	25
3.1.1.d. Polipropilen liflerin kimyasal özellikleri	26
3.1.1.e. Polipropilen liflerin kullanım alanları	26
3.1.1.f. Polipropilen liflerin inşaat sektöründe kullanım alanları.....	27
3.1.1.g. Polipropilen yünsü lif.....	28
3.1.1.h. Polipropilen çubuk lif.....	29
3.1.1.i. Agrega.....	30

3.1.1.j. Karışım suyu	31
3.1.1.k. Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı	33
3.1.1.m. Diğer malzemeler	34
3.1.2. Deneylerde kullanılan aletler	34
3.1.2.a. Elekler	34
3.1.2.b. Betonyer	35
3.1.2.c. Kalıplar	36
3.1.2.d. Pres	37
3.1.2.e. Su kürü havuzu	38
3.1.2.f. Yüksek sıcaklık fırını	38
3.1.2.g. Çökme deney aleti	39
3.1.2.h. Numunelerin başlıklamasının aleti	39
3.2. Agrega Deneylerinde Uygulanan Yöntemler	42
3.2.1. Tane dağılımı (Elek analizi)	42
3.2.2. Birim ağırlık	43
3.2.3. Tane yoğunluğu ve su emmesi	44
3.2.3.a. İnce agrega için tane yoğunluğu ve su emme miktarlarının belirlenmesi	44
3.2.3.b. İri agrega için tane yoğunluğu ve su emme miktarlarının belirlenmesi	45
3.2.4. Organik madde tayini	46
3.2.5. Çok ince malzeme miktarı tayini	46
3.3. Lifli Beton Karışım Hesapları	46
3.4. Lifli Taze Betonda Çökme Deneyi	49
3.5. Basınç Dayanımı Tayini Yöntemi	50
3.6. Sonuçlar Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntem	50
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	51
4.1. Agrega Deneyleri	51
4.1.1. Elek analizi (Granülometri)	51
4.1.2. Birim ağırlık	53
4.1.3. Organik madde tayini	55
4.1.4. İnce madde oranı tayini	56
4.1.5. Tane yoğunluğu ve su emme oranı tayini	57

4.2. Lifli Betonların Sıcaklık Etkisiyle Ağırlık Değişimi	60
4.3. Polipropilen Liflerin Yüksek Sıcaklık Sonrası Basınç Dayanıma Etkisi.....	63
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	83

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1.	Beton üretimi, deney numunelerinin hazırlanması	21
Şekil 3.2.	BASF tarafından temin edilen polipropilen lifler	24
Şekil 3.3.	Deneylerde kullanılan polipropilen yünsü lifler	28
Şekil 3.4.	Deneylerde kullanılan polipropilen çubuk lifler	29
Şekil 3.5.	Çimento, ince agrega ve iri agrega	31
Şekil 3.6.	Agrega deneylerinde kullanılan elek takımı	35
Şekil 3.7.	Betonun üretiminde kullanılan laboratuvar tipi betonyer	35
Şekil 3.8.	Betonun numune kalıbı	36
Şekil 3.9.	Betonun numune kalıbı	36
Şekil 3.10.	ELE autotest 3000 pres cihazı	37
Şekil 3.11.	Su kürü havuzu	37
Şekil 3.12.	Yüksek sıcaklık fırını	38
Şekil 3.13.	Fırının sıcaklık-zaman grafiği	38
Şekil 3.14.	Çokme deney aleti	39
Şekil 3.15.	Grafit tozu (Siyah), kükürt tozu (Sarı).....	40
Şekil 3.16.	Başlıklama aleti	40
Şekil 3.17.	Polipropilen lifli betonun çökme deneyi	49
Şekil 4.1.	Karışım da kullanılan agreganın granülometri eğrisi	53
Şekil 4.2.	İnce agregada organik madde tayini	55
Şekil 4.3.	Karışım da kullanılan agreganın bünyesinde barındırdığı ince madde	57
Şekil 4.4.	Çubuk polipropilen lifli betonların yüksek sıcaklıklardan sonra ağırlık kaybı.....	61
Şekil 4.5.	Yünsü polipropilen lifli betonların yüksek sıcaklıklardan sonra ağırlık kaybı.....	62
Şekil 4.6.	Polipropilen çubuk lifli betonların (300g) basınç dayanımı sonuçları.....	64
Şekil 4.7.	Polipropilen çubuk lifli betonların (600g) basınç dayanımı sonuçları.....	65

Şekil 4.8. Isıtılmış 600 g polipropilen numunelerde 600°C sıcaklık etkisiyle oluşan çatlaklar ve polipropilen çubuk liflerin erimesi	66
Şekil 4.9. Polipropilen çubuk lifli betonların (900g) basınç dayanımı sonuçları	67
Şekil 4.10. Polipropilen çubuk lifli betonların (1200g) basınç dayanımı sonuçları	68
Şekil 4.11. Isıtılmış 1200g polipropilen numunelerde 600°C sıcaklık etkisiyle oluşan çatlaklar ve polipropilen çubuk liflerin erimesi	69
Şekil 4.12. Polipropilen yünsü lifli betonların (300g) basınç dayanımı sonuçları	69
Şekil 4.13. Isıtılmış 300g polipropilen numunelerde 750°C sıcaklık etkisiyle oluşan çatlaklar (yüklemeden önce ve sonra)	70
Şekil 4.14. Polipropilen yünsü lifli betonların (600g) basınç dayanımı sonuçları	71
Şekil 4.15. Isıtılmış 600g polipropilen numunelerde 750°C sıcaklık etkisiyle oluşan çatlaklar (yüklemeden önce ve sonra).....	72
Şekil 4.16. Polipropilen yünsü lifli betonların (900g) basınç dayanımı sonuçları	72
Şekil 4.17. Polipropilen Yünsü lifli betonların (1200g) basınç dayanımı sonuçları	73
Şekil 4.18. Isıtılmış 1200g polipropilen numunelerde 750°C sıcaklık etkisiyle oluşan çatlaklar (yüklemeden önce ve sonra)	74

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1.	Yapı betonlarının bazı özelliklerine ait tipik değerler	1
Çizelge 2.1.	Polipropilen liflerin teknik özellikleri	20
Çizelge 3.1.	Çimentonun kimyasal analizi	23
Çizelge 3.2.	Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri	23
Çizelge 3.3.	İnşaat sektöründe polipropilen liflerin kullanıldığı alanlar	27
Çizelge 3.4.	Polipropilen yünsü lifi teknik özellikleri	28
Çizelge 3.5.	Polipropilen çubuk lifi teknik özellikleri	29
Çizelge 3.6.	Beton karışım suyunun içerisinde bulunabilecek yabancı maddelerin müsaide edilen miktarları.....	32
Çizelge 3.7.	Glenium C303'ün teknik özellikleri	34
Çizelge 3.8.	Lifli betonlar için malzeme miktarı	48
Çizelge 3.9.	Polipropilen lifli numunelerin çökme deney sonuçları	49
Çizelge 4.1.	İri agrega için elek analizi deneyi sonuçları	52
Çizelge 4.2.	İnce agrega için elek analizi deneyi sonuçları	52
Çizelge 4.3.	Karşımda kullanılan agreganın tane dağılımları	53
Çizelge 4.4.	Gevrek birim ağırlık deneyi sonuçları	54
Çizelge 4.5.	Sıkışık birim ağırlık deneyi sonuçları	54
Çizelge 4.6.	İnce agrega için ince madde oranı tayini deney sonuçları	56
Çizelge 4.7.	İri agrega için ince madde oranı tayini deney sonuçları	56
Çizelge 4.8.	İnce agrega tane yoğunluğu ve su emme deneyi için ölçülen değerler	58
Çizelge 4.9	İnce agrega tane yoğunluğu ve su emme deneyi için hesaplanan değerler	58
Çizelge 4.10.	İri agrega tane yoğunluğu ve su emme deneyi için ölçülen değerler.....	59
Çizelge 4.11.	İri agrega tane yoğunluğu ve su emme deneyi için hesaplanan değerler	60

Çizelge 4.12. Beton numunelerinin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrasında ağırlıkları.....	60
Çizelge 4.13. Beton numunelerin yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımları	63
Çizelge 4.14. Beton numunelerin yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımları.....	64

1. GİRİŞ

Agrega, çimento, su ve ihtiyaç duyulması halinde bazı katkı maddelerinin bir araya getirilmesiyle oluşan kompozit malzemeye beton denir. Beton hemen her alanda (evler, okullar, yollar, demiryolu, limanlar, karayolları, içme suyu, atık su tesisleri, köprüler) kullanımından dolayı insanlık açısından büyük bir öneme sahiptir. Bu derece önemli olan bir yapı malzemesinin özelliklerinin iyi bilinip incelenmesi gerekir.

Basınç dayanımı, eğilme dayanımı, çekme dayanımı, yorulma dayanımı, gerilme birim deformasyon ilişkisi, elastiklik modülü, Poisson oranı, ısısal genleşme katsayısı, rötre (büzülme), sabit yükler altında sünme ve yoğunluk betonda aranan temel özelliklerdir (Erdoğan 2003).

Çizelge 1.1. Yapı betonlarının bazı özelliklerine ait tipik değerler

Özellikler	Tipik Değerler
Basınç Dayanımı	35 Mpa
Eğilme Dayanımı	6 Mpa
Çekme Dayanımı	3 Mpa
Elastiklik Modülü	28000 Mpa
Poisson Oranı	0,2
Kırılmadaki Çekme Birim Def.	0,001
Isısal Genleşme Katsayısı	$10 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
Rötre (büzülme) Birim Def.	% 0,05-0,1
Normal Ağırlıklı Beton	2300 kg/m ³
Hafif Beton	1800 kg/m ³

Çizelge 1.1’de görüldüğü üzere 28 günlük silindir basınç dayanımı 35 MPa olan bir beton için çekme dayanımının 3 MPa, eğilme dayanımının 6 MPa olması olumsuz

özellikler olarak düşünülebilir. Betonda ilave malzemeler kullanılarak bu olumsuzlukların giderilmesi mümkündür. Lif takviyesi ile beton gevreklikten uzaklaşmakta, eğilme ve çekme yükleri altında daha iyi davranış sergilemektedir. Lifli beton; normal beton içerisine narinliği yüksek olan (boyuna uzunluğunun çapına oranı) ve beton içerisine üç boyutlu olacak şekilde rastgele ya da yönelmiş şekilde karbon, çelik, aramid, polipropilen vb. katılması ile elde edilen beton çeşididir.

Betonun bazı özellikleri karşılaştırıldığı zaman çekme yükünün ve eğilme dayanımının, basınç dayanımına göre çok düşük olduğu gözlenmektedir. Bunun yanı sıra bazı durabilite konularında da bu söz konusu olmaktadır. Bu tip olumsuz davranışların önüne farklı katkıları kullanılarak geçilmeye çalışılmaktadır. Bunlardan biri de lif ilave etmektir. Yaşamın farklı alanların da kullanılan liflerin (polipropilen, çelik, aramid, karbon) beton dayanımını ve dayanıklılığını artırması açısından betona katılması söz konusu olmuştur. Betonda lif kullanımı, betonun süneklik gibi bir özelliğinin iyileştirmesinin yönünde, betonun yangın, aşınma, donma ve çözülme gibi birçok özelliğine de olumlu etkide bulunmuştur.

Liflerin tarihçesine bakacak olursak yapı elemanlarında daha sünek bir yapı oluşturmak için kullanılmaktadır (ACI 544, 1998). İlk çağlardan beri insanlar gevrek malzemenin içine bitkisel veya hayvansal kaynaklı lifler koyarak, malzemenin gevrekliğini özelliğini gidermeye çalışmışlardır. Yapılan çalışmalara göre liflerin yapı malzemesi olarak kullanımı ile ilgili ilk kayıtlar antik Mısır'a dayanmaktadır. Antik Mısır'da çamur tuğlaları güçlendirmek amacıyla hayvan tüyleri ve saman kullanılmıştır (Banthia and Nandakumar 2003). Günümüze kadar da başta Almanya'da, ABD'de ve İngiltere'de olmak üzere özellikle İkinci Dünya Savaşı ve 1960'lardan sonra betonda lif kullanımına ağırlık verilmiştir.

Yapılan bu çalışmada ise, literatür ışığında betona farklı oranlarda 1 m³ için 300g, 600g, 900g, 1200g polipropilen lifler (2 tip) katılarak, lif takviyeli betonlar üretilmiştir. Bu numuneler üzerinde taze beton özellikleri ve yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımına liflerin etkisi araştırılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Lifli Beton

Geleneksel beton içerisine narinliği (boyuna uzunluğunun çapına oranı [$l/d > 10$]) yüksek olan ve beton içerisine üç boyutlu olacak şekilde rastgele ya da yönelmiş şekilde karbon, çelik, aramid, polipropilen vb. katılması ile elde edilen beton çeşididir.

Beton içerisinde yaygın olarak kullanılan lifler; çelik, polipropilen, karbon ve alkali dirençli cam liflerdir. Lifli betonlarda, bütün lif çeşitlerinde sağlanması gereken en önemli özellik liflerin beton içerisinde homojen olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonra da bozulmamasıdır. Üniform bir şekilde dağılan lifler, beton içerisinde oluşan çatlakları önlediği ve çatlakların beton içerisinde ilerlemesini engelleyerek betonu daha dayanıklı hale getirdiği bilinmektedir. Bu özelliğinden dolayı lifli betonun özellikle çekme ve eğilme dayanımını artıran faktörler darbe etkisine karşı dayanımını da artırır (Gümüştas 2010).

Bu nedenle betonarme kazık, yol ve hava alanları, su boruları, genel olarak büyük fabrika inşaatlarının döşeme betonlarında ve prefabrike yapı elemanları üretiminde lifli betonların tercih edilmeleri halinde daha iyi sonuçlar alınacağı bilinmektedir.

2.1.1. Lifli betonun uygulama alanları

- Teras, kaldırım ve park sahaları
- Endüstriyel zeminler
- Asitlere maruz betonlar
- Shotcrete, püskürtme betonlar
- Benzin istasyonları
- Bahçe duvarları

2.1.2. Lifli beton avantajları

- Büzülme çatlağı oluşma riskinde azalma
- Yüzey aşınma direncini artırır
- Betonda olabilecek rötre ve kılcal çatlakları önler
- Su geçirimsizliğini artırır.
- Ufalanma, tozuma ve pullanma oluşumunu önler
- Donma-çözülme dayanımında artış sağlar
- Kılcal çatlak gelişimini engeller
- Standart betona oranla daha sünek davranış gösterir
- Paslanmaz
- Yüksek alkali dayanımı sağlar
- Prekast uygulamalarında, plastik, termal, çökme ve ayrışma çatlaklarına karşı daha yüksek dayanım sağlar
- Beton taşıyıcı sistemleri için yangın dayanımı sağlar

Yapı mühendisliğinde beton sık olarak kullanılan kompozit bir malzemedir. Agregalar rastgele dağıldıklarından dolayı, oldukça heterojen ve gözenekli bir yapıya sahiptir. İç yapının heterojenliği iç şekil değiştirmelerin dağılı şeklide olmasına sebep olur ve kırılma süreci süreksiz olur. Betonda en zayıf yer çimento harcı ile agrega ara yüzeyi arasındaki bölgedir. Beton içinde ara yüzeyinde bulunan kısmi mikro çatlaklar büyük çatlaklara sebep olacak potansiyel çatlak uçlarını belirler. Betonun gevrek özelliğinin geliştirilmesi için değişik güçlendirilmelere ihtiyaç vardır. Günümüzde rastgele dağılı liflerin betona katılmasıyla bu özellik geliştirilmektedir (Arslan ve Aydın 1999).

2.1.2.a. İşlenebilirlik

Geleneksel olarak betona polipropilen lif ilave edilmesiyle işlenebilirlik özelliklerinde bazı değişiklikler oluşur. Şimdiye kadar yapılan tüm çalışmalarda betona katılan lif ilavesinin işlenebilirliği hem olumlu hem de olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Bu

azalma üzerindeki en önemli iki faktör, karışımdaki lif hacmi ve narinliktir. Diğer husus ise pürüzsüz yüzey ve düşük birim ağırlıktır. Yapılan çalışmalar polipropilen lif takviyeli betonların işlenebilirliğinin ölçümünde Abrams konisi yönteminin pek uygun olmadığını, en uygun yöntemlerin ters çevrilmiş koni ve Vebe yöntemleri olduğunu göstermiştir. Beton takviyesinde polipropilen miktarının artması ile işlenebilirlikte ciddi azalmalar olmamakla birlikte daha az lif oranındaki numuneler ve kontrol numunelerine göre bir azalma gözlenmektedir. Polipropilen lif tipi ve geometrik şekli işlenebilirliği olumlu ya da olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Genellikle işlenebilmeyi etkileyen faktörler şunlardır:

- Çimento miktarı
- Çimentonun özelliği
- Karma suyu miktarı
- Agrega gradasyonu ve en büyük agrega tane boyutu
- İnce agreganın miktarı ve tane dağılımı oranı
- Agregaların tane şekli
- Beton yapımında kullanılan lifli katkıları
- Beton yapımında kullanılan ince taneli mineral katkıları
- Beton yapımında kullanılan kimyasal katkıları
- Hava sürüklenmiş betonlardaki sürüklenen hava miktarı
- Sıcak hava koşulları ve beton karışımının sıcaklığı
- Betonun karıldığı andan, kıvamının ölçüleceği ana kadar geçen süre

2.1.2.b. Enerji yutma kapasitesi (Tokluk)

Bir malzeme zorlandığında hem yüksek mukavemet göstermesi hem de yüksek süneklik göstermesi halinde tok malzeme olarak anılır ve malzemelerde (Mukavemet + Süneklik) göstergesidir. Aynı zamanda gerilme altında malzemeyi kırmak için harcanan enerjinin de bir ölçüsüdür. Gerilme-şekil değiştirme eğrisi altında kalan eğrinin alanı “enerji” ifadesidir.

Polipropilen lifler tokluk açısından çelik lif kadar etkin olmasalar da kontrol numunelerine göre belli bir tokluk kazandırırılar. Elastisite modülü yüksek olan lif çeşitleri (karbon lif, çelik lif) maksimum gerilmeyi artırdıkları, elastisite modülü düşük olan (polipropilen lif) liflerde birim deformasyonu artırdıkları için tokluk üzerinde olumlu etki yaparlar.

Yapılan çalışmada, karma liflerle çift taraflı konsol kirişlerin güçlendirilmesi halinde oluşacak çatlak ilerlemesini, lif tipine ve çeşitliğine bağlı olarak incelemiştir. Çalışma neticesinde polipropilen ve çelik liflerin çatlak yayılmasına karşı iyi direnç gösterdiklerini tespit etmişlerdir (Banthia and Gupta 2006).

2.1.2.c. Dayanım

Dayanım betonun kimyasal yapısı ve içerdiği agregalar, çimento, diğer katkı maddeler ve su ile oluşan kimyasal reaksiyona dair bir özelliktir. Polipropilen lifli betonların eğilme dayanımları normal betonlara göre %5-25 arasında artış göstermektedir. Betonda ilk çatlaktan sonra polipropilen liflerin çatlak sonlarından gerilme transferi ve dağılımı yapması sebebiyle yük ilk çatlaktan sonra bir miktar daha artar ve maksimum eğilme dayanımı lifsiz betona göre daha fazla olur. Fakat polipropilen lifli betonların basınç dayanımları, polipropilen liflerin beton içerisinde güzel dağılmasından dolayı her zaman olumlu etkilememektedir. Basınç dayanımlarında artışlar görülebileceği gibi bazen de basınç dayanımı kayıpları ortaya çıkabilmektedir. Basınç ve eğilme-çekme gerilmeleri, polipropilen liflerin rolünden ziyade, beton kalitesine bağlıdır. Ayrıca polipropilen lifler beton kaplamaların yüzeylerinin pullanmasını önleyici etki yapmaktadır.

Acun (2000) tarafından yapılan çalışmada, 60 mm boyunda 0,75 mm kalınlığında ucu kancalı çelik lif %0,5- %1- %1,5 oranlarında, 20 mm uzunluğunda polipropilen lif ise %0,06- %0,08- %0,09 oranlarında betona katılmıştır. Kimyasal katkı %0,1 oranında kullanılmış, s/ç oranı %0,46 olarak seçilmiştir. Çalışmanın sonucu olarak, polipropilen

liflerin çelik liflere oranla işlenebilirlik özelliklerini daha iyi yönde etkilediği, elastisite modülünün değiştiği, eğilmede çekme dayanımını %1,5 artırdığı bildirilmiştir.

2.1.2.d. Dayanıklılık

Dayanıklılık betonun fiziksel özelliklerine bağlıdır ve hizmet süresi boyunca betonun davranış karakterini belli eder. Donma çözülme olayı beton için fiziksel bir olaydır. Islanarak doygun hale gelen ve donma çözülme etkisi altında kalan tüm betonlar da donmanın kümülatif artışından dolayı kısa sürede hasarlar oluşmaktadır. Donma çözülme tekrarları karşısında, betondaki iç gerilmelerden dolayı ve beton içerisindeki en zayıf bağın agrega ve çimento ara yüzeyinde olması sebebiyle beton yüzeyindeki agregalar gevşeyip kopmaktadır. Donma çözülme çevriminin fazla olduğu ortamlarda, en kaliteli betonlarda bile kısa sürede büyük hasarlar oluşturabilmektedir. Polipropilen liflerin donma çözülmeye pek bir katkı sağladığı söylenemez.

Yüksek sıcaklık direnci söz konusu olursa poliproilen lifler diğer liflere göre çok daha iyi davranış sergilemektedir. Polipropilen liflerin erime sıcaklıkları betona göre daha düşüktür. Bundan dolayı beton yüksek sıcaklık altındayken polipropilen lifler erimeye başlarlar, eriyen liflerin yerinde boşluk oluşmaktadır, böylece beton içerisindeki iç gerilme düşmekte ve olumlu yönde etki yapmaktadır. Aşınma etkisine karşı lifler agregaların ufalanıp beton kütesinden ayrılmalarına engel olmaktadır. Asit tuz etkisinde ise lif çeşidine göre değişim söz konusu olmaktadır. Polipropilen lifler kimyasal olarak etkilenmedikleri için dayanıklılığa olumlu etki yaparlar.

Düğenci (2008) tarafından yapılan çalışmada, %0- %0,5- %1 ve %1,5 oranlarında, Dramix RC-80/60-BN tipi çelik lif betona ilave edilmiştir. Üretilen numuneler 1200°C'ye kadar ısıtılabilen fırında 900°C, 1000°C, 1100°C, 1200°C sıcaklıklarına maruz bırakılmıştır. Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmadan 105±5°C deki etüvde 6 saat bekletilmiştir. Maksimum tane çapı 25 mm, s/ç oranı 0,6 olarak seçilmiştir. Üretilen silindir numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyi sonuçlarına göre 7 günlük numunelerde en yüksek basınç dayanım kaybı %0-%0,5 çelik katkılı

numunelerde gerçekleşmiştir. En yüksek dayanım kaybı katkısız betonlara gözlenmiştir. 1100°C ve 1200°C sıcaklıklarda dayanım kayıpları birbirine çok yakın çıkmıştır. Dolayısıyla 1000°C den yüksek sıcaklıklarda çelik lifin katkısının etkisi tamamen ortadan kalkmaktadır. 900°C ile 1000°C sıcaklıklarında en az dayanım kaybı %1 çelik lif katkılı numunelerde gözlenmiştir. Aynı sıcaklıklarda katkısız numunelere oranla 900°C için %10, 1000°C için %15'lik dayanım katkısı sağladığı gözlemlenmiştir.

2.1.2.e. Rötire

Betonun büzülmesi çatlak oluşumunun en önemli sebeplerinden biridir. Rötrenin en önemli oluşma nedeni, makro ve mikro boşluklardaki suyun beton bünyesinden uzaklaşmasıdır. Ortamda bulunan suyun uzaklaşmasıyla betonda bir büzülme meydana gelir. Rötrenin iki önemli zararlı etkisi vardır. Bunlardan biri betonda çatlakların oluşması, diğeri de betonarme donatısının parazit gerilmelerin ortaya çıkmasıdır.

Bu çatlamların önüne geçmek amacıyla, betona lif takviyesi yapılarak gerilme dağılımı oluşturulabilir. Özellikle yüksek yapı tasarımı yapılırken rötire göz önünde bulundurulduğundan özellikle çelik lifler kullanılmaktadır. Lif miktarının, narinlik oranının ve lif uzunluğunun kritik boyu aşmayacak şekilde artırılmasıyla rötrede azalmalar meydana gelmektedir.

a. Plastik rötire

Taze betonun içerisindeki suyun bir miktarı, betonun yerleştirilmiş olduğu kalıplar veya zemin tarafından emilerek kaybolabilmektedir. Ama asıl su kaybı, betondaki suyun buharlaşmasıyla gerçekleşmektedir. Taze betondaki terleme nedeniyle beton yüzeyinde veya yüzeye yakın kısımlara çıkan suyun hızla buharlaşması sonucunda, beton yüzeyi kuruyarak büzülme göstermektedir. Büzülme genellikle taze betonun yerine yerleştirilmesinden sonraki 2-4 saat içerisinde meydana gelir. Betondaki plastiklik

henüz tamamen kaybolmamış durumdayken betonun yüzeyinde yer alan bu büzülmeye plastik büzülme denilmektedir (Aydın 2008).

b. Şişme (Negatif büzülme)

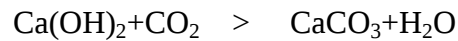
Devamlı olarak su içerisinde bırakılan çimento hamurlarının ve betonların hacimlerinde ve ağırlıklarında küçük bir miktar artma meydana gelmektedir. Çimento hamurunun veya betonun gösterdiği hacim artışına “şişme” veya “negatif büzülme” denilmektedir (Aydın 2008).

c. Hidratasyon büzülmesi

Yerine yerleştirilmiş olan taze betonda, çimento ve su arasındaki reaksiyonların devam edebilmesi için, genellikle yeterli miktarda su bulunmaktadır. Ancak betonun içerisindeki suyun önemli bir miktarının herhangi bir nedenle kaybolması durumunda, kapiler boşluklardaki rölatif buhar basıncı azalmakta ve hidratasyon yavaşlamaktadır. Böylece kapiler boşluklardaki su azalmaktadır. Bir süre sonra hidratasyonun devam edebilmesi için yeterli su bulunamamaktadır. Hidratasyon büzülmenin miktarı aslında ihmal edilebilecek kadar azdır (Aydın 2008).

d. Karbonatlaşma büzülmesi

Kalsiyum hidroksitin (Ca(OH)_2) havadaki CO_2 ile temas etmesi sonucunda kalsiyum karbonat (CaCO_3) oluşmakta ve ayrıca bir miktar su açığa çıkmaktadır.



Bünyesindeki suyun bir bölümünü bu şekilde kaybetmiş olan çimento hamuru bir miktar büzülme göstermektedir. Karbonatlaşma olayıyla meydana gelen büzülme “karbonatlaşma büzülmesi” denir (Aydın 2008).

e. Kuruma büzülmesi

Kuruma büzülmesi, sertleşmiş betonun içerisindeki suyun bir miktarının buharlaşarak kaybolması (betonun kuruması) sonucunda oluşan b z lmedir (Aydın 2008).

f. Termik rötre

Prizi sona eren ve sertleşmeye başlayan betonda, hidrasyon ısısının tüm kütleyi ısıtmaya yetecek oranda artamaması sonucunda kütle soğur ve termik büzülme oluşur. Erken yaşıta (1-2 gün içinde) ortaya çıkan rötre özellikleri baraj gibi kütle betonlarında önemli sorunlar çıkarır (Aydın 2008).

2.2. Polipropilen Lifli Beton

Eski yapılarda, dış sıvalarda ve zeminlerde kullanılan harçlarda, çatlamaya karşı saman, hayvan kılı vd.  r nler kullanıldığı bilinmektedir. Polipropilen elyafda günümüzün çatlamaya karşı kullanılan fakat taşıyıcı olmayan lifleri olarak düşünülebilir. Polipropilen liflerin özelliklerine genel olarak bakılacak olunursa;

- Çekme payı milimetrede 0,006 mm ile 0,02 mm arasındadır.
- Çekme mukavemeti 450 MPa ile 900 MPa arasında değişmektedir.
- Erime noktası sıcaklığı yaklaşık olarak 162 C'dir.
- Tutuşma noktası sıcaklığı ise 593 C civarındadır.
- Yoğunluğu 0,90 g/cm³ civarında değişmektedir.
- Elastisite modülü 3500–4000 MPa civarındadır.
- Öte yandan polipropilenin diğer maddelere göre ( zelikle plastik, etilen vb.) birçok avantajlı y n  mevcuttur.

Bu avantajlardan  ne çıkan bazıları:

- Polipropilen liflerinin elektrik iletkenlikleri düşüktür. Nem çekmedikleri için liflerde statik elektriklenme problemi vardır
- Yorulmaya karşı çok iyi direnç göstermesi
- Düşük maliyetli olması
- İyi bir darbe dayanımına sahip olması
- Sürtünme katsayısının düşük olması
- Çok iyi elektrik yalıtımı sağlaması
- Kimyasal direncinin iyi olması
- Mikroorganizmalara karşı dayanıklı olması
- Neme dayanıklı olması olarak sıralanabilir

Yukarıda sayılan bütün bu avantajların yanında malzeme olarak polipropilenin elbette bazı dezavantajları da vardır. Bu dezavantajları ise aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- UV ışını dayanımının az olması
- Yüksek termal genleşme göstermesi
- Boyanmasının ve kaplamasının zor olması
- Malzeme olarak dış hava şartlarına dayanımının az olması
- Yanıcı olması
- Klor içeren çözücüler ile etkileşime girmesi olarak sıralanabilir (Bahadır 2010).

Custaferra (1971) tarafından yapılan çalışmada, hafif betonların yangın dayanımlarının tespiti amaçlanmıştır. Bu çalışmada numunelerin nem içeriği ve bağlı rutubet arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Deney programında 90x90cm boyutlarında 5cm, 9cm, 12.5cm kalınlıklarında boşluklu hafif beton, perlit betonları vermikülit betonları kullanılmıştır. Çalışmada elde edilen en önemli veri, birim ağırlıklarda da düşüşe sebep olmasıdır.

Ataman (1991) tarafından yapılan çalışmada, yüksek sıcaklık ve soğutma türlerinin betonun eğilme ve basınç mukavemetleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Eğilme

etkilerinin incelenmesi için 4x4x16 cm ebatlarındaki prizmatik numuneler hazırlanmıştır. Isıtma işlemi 650°C'ye kadar yapılmış ve numune içerisindeki suyun dehidrate olması, agregaların genişmesi gibi sebeplerden dolayı mukavemetlerde düşüş gözlenmiştir. Numunelerin hava ve suda soğutulmasına göre ise, suda soğutulan numunelerde mukavemet azalmasının daha az olduğu gözlenmiştir. Bu durum ise beton numunelerinin su içerisinde yeniden hidrate olacak ortamı bulması ile açıklanmıştır.

Saeed (1996) yaptıkları çalışmada portland çimentosu yerine ağırlıkça %10, 20 ve 30 oranlarında silis dumanı ilave edecek ürettikleri betonların mekanik ve fiziksel özelliklerine yüksek sıcaklıkların etkisini incelemişlerdir. Numuneler incelemeler için 200-600°C arası sıcaklıklarda, 100°C aralıklarla üçer saat bekletilmiştir. Oda sıcaklığında soğutma işlemi yapılmıştır. Silis dumanı katılan numunelerin kontrol numunelerine göre daha yüksek dayanım gösterdikleri gözlenmiştir.

Shannang *et al.* (1997) tarafından yapılan çalışmada numunelerin çekip çıkarma testi ile çekilmesi durumunda çelik lif, gömme boyu, lif hacmi yüzdesi gibi parametrelerin etkisi irdelenmiştir. İnceleme sonucu lif hacmi oranının artmasının, maksimum çekip- çıkarma yükünü %20 artırdığı belirlenmiştir.

Phan and Carino (1998) yüksek mukavemetli betonların yüksek sıcaklık sonrası mekanik özelliklerini özetlemişlerdir. Numunelerin karışımlarında normal portland çimentosunun yanı sıra silis dumanı, uçucu kül , çelik lif gibi katkıları kullanılmıştır. Yüksek mukavemetli betonlar 25-400°C arasında normal mukavemetli betonlara göre daha fazla mukavemet kaybı göstermiştir. 400°C'nin üstünde ise bu fark azalmıştır.

Chan *et al.* (1999) tarafından yapılan çalışmada normal ve yüksek mukavemetli betonların (39MPa, 76MPa, 94 MPa), 1200°C'ye kadar ısıtıldıktan ve oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulduktan sonraki basınç ve çekme mukavemetleri incelenmiştir. 400°C'ye kadar yüksek mukavemetli betonların normal betonlara nazaran mukavemetlerini koruduğu gözlenmiştir. 600°C'nin üstünde ise iki tip numunelerin de

mukavemetlerinin önemli kısmını kaybettiği 800°C'nin üzerinde ise iki tipin de mukavemetlerinin çok az kısmının kaldığı tespit edilmiştir. Her iki tip betonda da çekme mukavemetinin basınç mukavemetine nazaran çok keskin olduğu gözlemiştir

Poon *et al.* (2001) yaptıkları çalışmada beton numunelere silis duman, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ilave ederek, 800°C sıcaklığa maruz bırakmışlardır. 600°C'nin altındaki sıcaklıklarda uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ilaveli numunelerin, normal betonlara nazaran daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

Yıldırım (2002) yapmış olduğu çalışmada, betona çelik lif ve polipropilen lif katarak numunelerin bazı özelliklerini incelemiştir. Polipropilen lif %0,1 oranında, çelik lif ise %0,5–0,75–1 oranında ilave edilmiştir. Sonuç olarak, liflerin çökme değerlerini düşürdüğü zaman, oranların artması lif homojenliğini etkilediği dağılmaya olumlu yönde artırdığı tespit edilmiştir.

Kırca (2003) tarafından yapılan çalışmada, polipropilen liflerin beyaz çimento harcına etkisi araştırılmıştır. 1m³ betonda 600gr polipropilen lif kullanılmış, s/ç oranı 0,49 alınmıştır. Lifli numuneler kontrol numunelerine nazaran büzülme deformasyonlarını %25 azaltmış ve donma çözülme etkisi sonrası basınç dayanımını %15 oranında artırmıştır.

Bingöl ve Gül (2004) yaptıkları çalışmada beton bünyesinde bulunan agrega yerine %25-50-75 ve 100 oranlarında pomza kullanmak yoluyla hafif betonlar üretmiştir. Numuneler 750°C'ye kadar ısıtılmış ve soğuma sonrası mukavemetleri ölçülmüştür. Sonuç olarak hafif agreganın artmasının yangın direncini artırdığı ve ısıtma suresinin değil, ısıtılan sıcaklığın mukavemete etkisinin daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Chan and Luo (2000) yaptıkları çalışmada lifli yüksek mukavemetli ve yüksek mukavemetli betonların yüksek sıcaklık sonrası davranışlarını incelemişlerdir. Numuneleri 20°C, 200°C, 400°C, 600°C ve 800°C sıcaklıklarda üçer saat

bekletmişlerdir. Kontrol numunesi olarak kullanılan lifsiz yüksek dayanımlı betonlarda, yüksek sıcaklıklarda patlama görülmüştür. Karbon ve çelik lif kullanılan numunelerde bu patlama olayının zaman olarak geciktiği, polipropilen lif kullanılan numunelerde ise patlama olmadığı gözlenmiştir. Yüksek sıcaklık sonrası lifli yüksek dayanımlı betonların basınç ve çekme mukavemetlerinin yüksek mukavemetli betonlardan daha fazla olduğu belirlenmiştir. Sebep olarak polipropilen liflerin erime sıcaklıklarının düşük olması belirtilmiştir.

Tou and Anson (2006) tarafından yapılan çalışmada, kontrol numunelerine %1 oranında çelik lif katılarak yüksek sıcaklık etkisine bırakılmış (105°C – 1200°C), eğilme ve basınç mukavemetleri irdelenmiştir. Yapılan çalışma sonuca 400°C 'den sonra basınç mukavemeti kaybının çok olduğu belirlenmiştir. Lif kullanılan numunelerin hemen her sıcaklıkta mekanik özellikleri olumlu etki yaptığı gözlemiştir.

Xiao and Felkner (2006) tarafından yapılan çalışmada polipropilen liflerin yüksek mukavemetli betonlara katılarak yüksek sıcaklık sonrası mukavemetleri ölçülmüştür. Kontrol numunelerinde patlamaya ve patlayarak parçalanmaya rastlanmış fakat, polipropilen lif katkılı numunelerde rastlanmamıştır. 400°C 'ye kadar polipropilen lifli betonların beton mukavemetini olumlu etkilediği, 400°C 'den sonra belirgin bir azalma olduğu belirlenmiştir. Eğilme dayanımında ise sıcaklığın artışıyla beraber kontrol ve lifli numunelerde sürekli azalma gözlenmiştir.

Peng *at el.* (2008) tarafından yapılan çalışmada, yüksek sıcaklık etkisinde lifli betonların soğutulması esnasında termal şokun beton özelliklerine etkisi incelenmiştir. Hızlı soğutma tekniklerinin termal şoka sebep olduğu ve havada soğutmaya nazaran, çekme mukavemetini, çekme ve basınç, olumsuz etkilediği gözlenmiştir. Çelik lif ve polipropilen lifin basınç ve çekme mukavemetinin yanı sıra kırılma enerjisini de olumlu etkilediği belirlenmiştir.

Nili and Afroughsabet (2010) yapmış olduklar çalışmada, 80 narinliğe sahip çelik liflerin silis dumanlı betonlara %0- 0,5- 1 oranlarında ilavesi ile elde edilen betonların basınç, eğilme ve darbe dayanımlarını incelemişlerdir. Sonuç olarak, liflerin eğilme, basınç ve darbe dayanımların olumlu etkilediği sonuçlarına verilmiştir.

Akkaş (2010) tarafından yapılan çalışmada yarı hafif betona polipropilen lif katılarak basınç dayanımı tespiti yapılmıştır. S/ç oranı 0,38 alınmış ve sonuç olarak yük altında lifli numunelerin parçalanmadığı gözlenmiştir.

Saeid and Kakooei (2012) yapmış olduğu çalışmada polipropilen lifli betonlarda, polipropilenin etkisini incelemişlerdir. Numuneler içerisine 0 ila 2 kg/m³ arasında polipropilen lif katılmıştır. Numunelerin basınç dayanımları, elektrik direnci ve geçirgenlikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre elektrik direnci ve basınç dayanımlarının lif ilavesiyle düştüğü gözlenmiştir.

Karahan (2006) betona uçucu kül, polipropilen ve çelik lif katılması sonucu numunelerin bazı özellikleri belirlenmek istenmiştir. Numunelere 19 mm uzunluğunda, hacimce %0,05- %0,1- %0,2 oranlarında polipropilen lif ilave edilmiştir. Çelik lif ise 35mm uzunluğunda, hacimce %0,25-%0,5-%1-%1,5 oranlarında ilave edilmiştir. Sonuçlara bakıldığı zaman, polipropilen lif artmasının betonun birim ağırlığını düşürdüğü, polipropilen liflerin çelik life göre işlenebilirliği olumsuz yönde daha az etkilediği belirlenmiştir. Basınç dayanımında polipropilen liflerin pek etki etmediği çelik liflerin ise basınç dayanımını artırdığı gözlenmiştir. Polipropilen liflerin elastisite modülünü düşürdüğü ve betona süneklik kazandırdığı belirtilmiştir.

Tokay vd (1991) tarafından yapılan çalışmada polipropilen lifli ve çelik lifli betonların basınç ve eğilme yükleri altındaki davranışları incelenmiştir. S/ç oranı 0,25 olarak alınmış ve polipropilen lif 1 kg/m³, çelik lif %1,5 (hacimce) oranında kullanılmıştır. Çalışma sonucunda her iki lif tipinin de çekme dayanımını artırdığını, basınç

değerlerinde ise polipropilen lifli numunelerle, kontrol numunelerin çok yakın değerler de olduğu, tespit edilmiştir.

Kiper (1996) tarafından yapılan çalışmada polipropilen liflerin plastik rötrenin önüne geçtiği ve beton kusmasını engellediği belirlenmiştir. Darbe dayanımında da çatlama esnasında beton parçalanmasına izin vermediği için ani göçme açısından betonu güçlendirdiği tespit edilmiştir.

Kutzing (1996) tarafından yapılan çalışmada yüksek dayanımlı betona lif katılması ile numunenin nasıl davranacağına tespiti hedeflenmiştir. Çelik lif %0,5 ile %1,5 polipropilen lif ise %0,2 oranında ilave edilmiştir. Polipropilen lif ile kontrol numunelerinin gerilme-gerinme eğrileri benzer çıkmış ve basınç dayanımında artış gözlenmiştir.

Morris *et al.* (2002) tarafından yapılan çalışmada, 19 mm uzunluğunda %0, %0,1, %0,5, oranlarında hacimce polipropilen lif ilave edilerek güçlendirilmiş plakların özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre lif miktarının artışı ile ters orantılı olacak şekilde basınç dayanımına etkisi belirlenmiştir. Darbe direncinin ise arttığı tespit edilmiştir.

Sağlık ve Kocabeyler (1998) tarafından yapılan çalışmada, %0,1- 0,3- 0,5 oranlarında polipropilen lifler katılarak betonlar incelenmiştir. Lif oranının artışının çökme değerini düşürdüğü, diğer özelliklerde ise (tokluk ve su geçirgenliği hariç) bir iyileşme sağlamadığı belirlenmiştir.

Aulia (2002) tarafından yapılan çalışmada %0,2 (hacimce) polipropilen lif kullanılmıştır. Yangın deneyine tabi tutularak, yangın direnci ölçmüş ve artış gözlemlendiğini belirtmiştir. Liflerin basınç dayanımına pek bir etki yapmadığını ancak rötrenin önüne geçtiğini tespit etmiştir.

Uğurlu (1994) tarafından yapılan çalışmada, 1m^3 betonda 600g, 900g olacak şekilde polipropilen lif ilave edilmiştir. Deney sonucunda basınç dayanımının %10 arttığı, kılcal su emmenin %35 azaldığı tespit edilmiştir.

Song *et al.* (2005) yaptıkları çalışmada betona polipropilen lif ilave edip özelliklerini incelemişlerdir. Polipropilen lifi m^3 te 600g olacak şekilde kullanmışlardır. Polipropilen lif ilavesiyle çökme değerinin azaldığı, basınç, darbe, yarmada çekme dayanımının ise arttığı sonucuna varmışlardır.

Nili and Afroughsabet (2010) tarafından yapılan çalışmada, deney parametreleri olarak s/ç ve polipropilen lif oranları değişimi kıstas alınmıştır. Ayrıca çimento ağırlığının %8'i kadar silis dumanı ile çimento yer değiştirilmiştir. 12 mm uzunluğundaki lifler %0-%0,2-%0,3-%0,5 olacak şekilde 4 farklı oranda kullanılmıştır. Bu çalışmada numunelerin basınç ve darbe dayanımları incelenmiştir. Sonuç olarak, %0,5 polipropilen lif oranına kadar basınç dayanımı artmıştır. Darbe dayanımı ise lif oranı ile doğru orantılı olacak şekilde artış göstermiştir.

Subaşı ve Emiroğlu (2008) tarafından yapılan çalışmada, kendiliğinden yerleşen betonlara farklı oranlarda polipropilen ve çelik lif katılarak basınç dayanımı ve işlenebilirlik değerleri incelenmiştir. Sonuç olarak, en düşük basınç dayanımı kontrol numunelerinde, en yüksek değer ise çelik lif katkılı betonlarda elde edilmiştir.

Can vd (2009) tarafından yapılan çalışmada, çelik ve polipropilen lif katkılı betonlarda aşınma direncine bakılmıştır. Beton sınıfı C30, s/ç oranı 0,5 alınmıştır. Sonuç olarak, aşınmanın en fazla kontrol numunelerinde, en az ise çelik lifli betonlarda olduğu gözlenmiştir.

Bahadır (2010) yapmış olduğu çalışmada polipropilen liflerin beton özelliklerine etkisini incelemiştir. Deney parametreleri olarak, farklı s/ç oranları (0,4-0,5-0,6) ve polipropilen lif katılma oranları ($0,9 \text{ kg/m}^3$ - $1,8 \text{ kg/m}^3$) alınmıştır. Sonuç olarak

polipropilen liflerin çekme dayanımını önemli ölçüde artırdığı, beton dayanıklılığına da katkı sağladığı belirlenmiştir.

Habibi (2008) tarafından yapılan çalışmada, beton basınç dayanımı ve yangın direnci altında polipropilen liflerin etkileri incelenmiştir. Çimento dozajı 350 kg/m^3 lif boyları ise mm, 12mm, 19mm olarak alınmıştır. Betona katılan lif oranları ise 1m^3 'de 0,6 kg, 1,3 kg, 2 kg ve 2,7 kg olarak belirlenmiştir. Isıtma sıcaklığı 450°C olup, 8 saat bu sıcaklıkta beklenmiştir. Deney sonucunda polipropilen lif katkılı numunelerin kontrol numunelerine göre daha iyi ısı direnci gösterdiği tespit edilmiştir. En iyi direnç ise $2,7 \text{ kg/m}^3$ lif katkılı numunelerde belirlenmiştir.

Mostofinejad *et al.* (2004) yaptıkları çalışmada polipropilen lifli betonun rötre çatlaklarına ve betonun işlenebilirliğine etkisini incelemişlerdir. Lifler %0,05- %0,1- %0,2 oranlarında 6mm, 12mm, 19mm olarak kullanılmıştır. Sonuç olarak, polipropilen liflerin rötre çatlaklarını azalttığı basınç dayanımını artırdığı, çökme değerini düşürdüğü tespit edilmiştir.

Ardehana *et al.* (2012) tarafından yapılan çalışmada, betona lif ilave edilmesiyle su yapılarında durabilite etkisini incelemişlerdir. 12 mm boyundaki polipropilen lif %0 – 0,15 – 0,2 – 0,25 – 0,3 – 0,35 – 0,4 oranlarında kullanılmıştır. Beton sınıfı C30 seçilmiştir. Deney sonucunda, durabilitenin %0,3 oranında arttığı belirlenmiştir.

Saeed *et al.* (2006) polipropilen lifli betonlar üzerine genel bir çalışma yapmışlardır. Numunelere %0,18 – %0,4 arasında polipropilen lif katılmasıyla betonun basınç dayanımı, eğilme dayanımı gibi özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda, %0,55 oranına kadar basınç dayanımında artış gözlenmiş, bu oranın üzerindeki değerlerde düşüş tespit edilmiştir. Rötre çatlaklarında ise %83 – %85 oranında bir azalma olduğu tespit edilmiştir.

Ramadevi *et al.* (2012) yapmış oldukları çalışmada çelik ve polipropilen liflerin ortak kullanılmasıyla (karma) elde edilen kirişlerin eğilme davranışını incelemişlerdir. Numunelere %0,5- %1- %1,5- %2 oranında lif katılmıştır. Lif boyutları polipropilen lif için 42 mm uzunluğunda, 1 mm çapında, çelik lif için 36 mm uzunluğunda, 0,6 mm çapında olacak şekilde tercih edilmiştir. Kullanılan çimento dozajı 445 kg, s/ç oranı 0,43 olarak sabit tutulmuştur. Sonuç olarak, karma lifli betonların eğilme yüklerine karşı direncinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Can vd (2009) tarafından yapılan çalışmada betonlara lif ilave edilmesinin aşınma direncine karşı etkileri incelemiştir. Numunelerde, çimento dozajı 340 kg, s/ç oranı 0,50, maksimum tane çapı 22 mm alınıp C30 betonu üretilmiştir. Yaptıkları çalışmada çökme değeri ortalama 14,9 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, basınç dayanımı, sırayla en yüksek çelik lif katkılı numunelerde, sonra polipropilen katkılı numunelerde en düşük ise kontrol numunelerinde belirlenmiştir. Aşınma direncinde ise kontrol numuneleriyle polipropilen katkılı numuneler çok yakın değerler göstermiştir. Çelik lif katkılı numunelerde ise en iyi aşınma direnci belirlenmiştir.

Jun *et al.* (2010) yaptıkları çalışmada polipropilen lif katkılı numunelerin travers olarak kullanılması durumunda göstermiş oldukları davranışlar incelenmiştir. Yapılan deneylerde çimento dozajı 450 kg, s/ç oranı 0,32 ve maksimum tane çapı 16 mm ve lif dozajı ise 0 kg - 0,7 kg - 0,9 kg - 1,5 kg ve 2,4 kg olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda optimum lif oranı 0,7 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Lif oranının 2 kg/m³'ü geçmesi durumunda ise mukavemet kaybı tespit edilmiştir.

Pelisser *et al.* (2010) yaptıkları çalışmada köprü bindirmelerine polipropilen lif ve silis dumanı ilave edilerek yük altındaki davranışlar incelenmiştir. Numunelere %0 - %0,1- %0,3 - %0,5 polipropilen lif ve %0 - %10 silis dumanı ilave edilmiştir. S/ç oranı 0,35 - 0,40 - 0,50 olacak şekilde üç tip, çimento dozajı ise 420 kg olarak kullanılmıştır.

Deney sonucunda, polipropilen lifli betonların basınç dayanımlarında düşüş gözlenmiştir. Çatlakların azalması açısından iyi sonuçlar vermiştir. polipropilen lifin yapılan çalışmada etkisinin olmadığı belirlenmiştir. İdeal karışım ise %10 silis dumanı ve %0,3 polipropilen lif kullanılması durumunda elde edilmiştir.

2.2.1. Polipropilen liflerin sınıflandırılması

Polipropilen elyaflar fibrilize, multifilament elyaflar olarak iki çeşit üretilmektedir. Fibrilize elyaflar kısaca F, multifilament elyaflar kısaca M ile gösterilmektedir. Multifilament elyaflar çok ince olup yüzeyde gözükmedikleri için şap kullanımlarında uygundur. Fibrilize lifler ise endüstriyel zeminlerde, tokluk aranan betonlarda ağır hizmet zeminlerinde kullanılması daha uygundur. Polipropilen lif tipleri ve teknik özellikleri Çizelge 2.1’te gösterilmiştir (Karahan 2006).

Çizelge 2.1. Polipropilen liflerin teknik özellikleri (Karahan 2006)

Tip	Fibrilize	Multifilament	Fibrilize
Polipropilen (%)	100	100	92
Ürün Tipi	Standart F	Standart M	Paint
Yoğunluk (kg/lt)	0,91	0,91	0,1
Kesit	Karesel	Yuvarlak	Karesel
Kalınlık	36	18	-
Renk	Transparent	Transparent	Renkli
Görünüm	Görünür	Görünmez	Görünür
Gerilme dayanımı(N/mm ²)	500	700	500
Uzama (%)	Maks 10	Maks 100	Maks 10
Uzunluk (mm)	3-6-9-12-15-19-25-31-37-46-51		

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada farklı oranlarda polipropilen lifler (300 g/m^3 , 600 g/m^3 , 900 g/m^3 , 1200 g/m^3) kullanılarak lif takviyeli beton üretilmiş ve yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımlarına etkileri incelenmiştir.

Çalışma için yapılan deneyler Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi ve Tatbiki Mekanik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Beton üretimi, deney numunelerinin hazırlanması

3.1. Materyal

Çalışmanın bu bölümünde, lif takviyeli beton üretiminde kullanılan agrega, çimento, polipropilen çubuk lif, polipropilen yün lif, su azaltıcı yeni nesil hiperakışkanlaştırıcı katkı malzemeleri ile deneylerde kullanılan alet ve cihazların genel özellikleri açıklanacaktır.

3.1.1. Deneylerde kullanılan malzemeler

Bu çalışmada kullanılan malzemeler çimento, polipropilen yünsü ve çubuk lif, ince agrega, iri agrega, su, akışkanlaştırıcı kimyasal katkı ve diğer malzemelerdir. Bu malzemelerinin özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

3.1.1.a. Çimento

Çimento, bileşenleri kalker ve kil olan mineral parçalarını (kum, çakıl, tuğla, biriket vb.) yapıştırmada kullanılan bir malzemedir. Çimentonun yapıştırıcı özelliğini yerine getirebilmesi için suya ihtiyaç vardır. Çimento birçok beton karışımında hacimce minimum yeri işgal eden bileşendir; ancak beton bileşenleri içinde vazgeçilmezdir (Gündeşli 2008). Kalkerli ve killi hammaddelerin yüksek sıcaklıkta pişirilmesi sonucunda elde edilen klinkere alçı taşı ilave edilip, öğütülmesiyle elde edilen çimentonun ana bileşenlerini kalsiyum silikatlar (C_3S , C_2S) ve kalsiyum alüminatlar (C_3A , C_4AF) oluşturur.

TS 10514 (1992)'e göre, çelik lif takviyeli betonda çimento dozajının belirlenmesindeki temel kriter dayanım sınıfıdır. Dayanım ve dayanıklılık açısından çimento dozajının 320 kg üstünde seçilmesinin uygun olacağı belirtilmiştir. Dozajın 500 kg'ın üzerinde olması ise rötreyi artıracığı için önerilmemektedir.

Bu çalışmada TS EN 197-1 standartlarına uygun, Aşkale Çimento Fabrikasında üretilen CEM I 42.5 R çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal analizi Çizelge 3.1'de, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Lifli betonda agrega taneleri en sağlam unsur olduğundan diğer iki unsur (çimento hamuru ve aderans) mukavemeti belirlemektedir. Çimento hamurunun mukavemeti önemli ölçüde su/çimento oranına da bağlıdır.

Çizelge 3.1. Çimentonun kimyasal analizi

Kimyasal Analizler	%
SiO ₂	17,73
Al ₂ O ₃	4,56
Fe ₂ O ₃	3,07
CaO	62,81
MgO	2,07
SO ₃	2,9
Kızdırma kaybı	3,36
K ₂ O	0,62
Na ₂ O	0,29
(Na ₂ O); Na ₂ O+0,658* K ₂ O	0,7
Cl	0,02
Ölçülemeyen	0,46
CaO (sebest kireç)	0,56
Çözünmeyen kalıntı	0,85
Toplam	100

Çizelge 3.2. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel ve Mekanik Testler	
İncelik 45 ^u m elek üstü %	8,98
Özgül ağırlık (g/cm ³)	3,14
Özgül yüzey (cm ² /g)	3807
Piriz başı (Saat-dakika)	2 sa-21 dk
Piriz sonu (Saat-dakika)	2 sa-55 dk
Hacim genleşmesi (mm)	1
Basınç dayanımı 3 Gün (MPa)	27,7
Basınç dayanımı 28 Gün (MPa)	57,2
Su ihtiyacı (%)	28,6

3.1.1.b. Betonda kullanılan lifler

Beton, yapısı itibariyle basınca karşı dayanıklı, çekme kuvvetine karşı ise zayıf bir malzemedir. Ayrıca kırılğan bir malzeme olduğu için, plastik dönemde ve priz aldıktan sonraki uzun dönemde, çatlamaya eğilimi vardır.

Erken dönem çatlakları ilk 24 saat geçtikten sonra beton priz alırken oluşan mikroskobik kılcal çatlaklardır. Uzun dönem çatlakları ise, beton döküldükten aylar, belki yıllar sonra ortaya çıkan, içinde bulunan suyun buharlaşmasıyla betonun büzülmesinden dolayı oluşan çatlaklardır. Her iki durumda da bu çatlaklar betonun genel performansını düşürmekte, sağlaması gereken teknik değerlere ulaşamamasına sebep olmaktadır.

Bütün bunlara engel olmak amacıyla betonda polipropilen lifler kullanılmaktadır. Polipropilen lifler herhangi bir olefin yada poliamid katkı ilave edilmeksizin üretilen bir mühendislik ürünüdür. Polipropilen lifler ile mükemmel bir mikro donatı sistemine ulaşmak olur. Bu çalışmada kullanılan lifler BASF firmasından temin edilen polipropilen lifler kullanılmıştır.



Şekil 3.2. BASF tarafından temin edilen polipropilen lifler

3.1.1.c. Polipropilen liflerinin fiziksel özellikleri

- Enine kesit ve boyuna görünüş: Polipropilen liflerin enine kesitleri genelde yuvarlak boyuna görünüşleri ise silindiriktir. Lif yüzeyi pürüzsüz görünür.
- Renk ve parlaklık : Polipropilen lifler renksiz olarak üretilir. Üretim sırasında polimer sıvısı ile boyanarak istenilen renkte lif elde edilebilir.
- İncelik ve uzunluk: Polipropilen liflerinin çeşitli uzunluklarda üretilebilir. Kullanım alanına bağlı olarak filaman halde olabileceği gibi kesikli şekilde de olabilir.
- Mukavemet: Polipropilen liflerinin mukavemeti yüksektir. Polipropilen liflerinin mukavemeti 3–5 gr/denye arasındadır.
- Nem çekme özelliği: Polipropilen lifleri bünyelerine hiç nem çekmez. Nem çekmediği için su ile bulaşan lekelerden etkilenmez. Polimer çözeltisi renklendirildiği zaman boyanabilir.
- Sürtünmeye karşı dayanıklılık: Polipropilen liflerinin sürtünmeye karşı dayanıklılığı çok iyidir.
- Boyut değiştirmezlik: Polipropilen liflerinin boyut değiştirmezliği mükemmeldir. 120°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ürünler büzüşür.
- Esneklik ve yaylanma özelliği: Polipropilen liflerinin esneklik özelliği çok iyidir, yaylanma özelliği ise iyi değildir.
- Hacimsel yoğunluk: Polipropilen liflerinin özgül ağırlığı çok düşük olup 0,92 gr/cm³ tür. Bu lifin sudan da hafif olduğunu gösterir.

3.1.1.d. Polipropilen liflerinin kimyasal özellikleri

- Kimyasal maddelerden etkilenme: Polipropilen liflerinin asitlere ve alkalilere karşı dayanıklılığı iyidir. Kuru temizlemede kullanılan çözücüler life zarar verebilir. Bu yüzden yıkama yapılması daha iyidir ve önerilir.
- Çevresel faktörlere karşı dayanıklılık: Polipropilen lifleri uzun süre güneş ışığı etkisi altında kalırsa lif zarar görür. Bakteri, mantar, küf, güve ve diğer zararlı böcekler liflere zarar vermez.
- Elektriklenme özelliği: Polipropilen liflerinin elektrik iletme özelliği düşüktür. Nem çekmedikleri için ürünlerde statik elektriklenme problemi ile karşılaşılır.
- Isıdan etkilenme özelliği: Polipropilen liflerinin erime noktası 170°C civarındadır.
- Yanma özelliği: Polipropilen lifleri alevle karşılaştığında yanarak erir. Alev çekildikten sonrada lifler kendi kendini söndürür. Kimyasal bir koku veya parafin kokusu çıkar. Siyah bir is bırakır. Külü oldukça serttir.

3.1.1.e. Polipropilen liflerinin kullanım alanları

Polipropilen lifleri çeşitli giysilerde, döşemelik kumaş, halı ve endüstriyel alanda oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Tek başlarına veya diğer liflerle karıştırılarak kullanılabilir.

- Giyim: İç giyim, çorap, çocuk giysilerinde, çeşitli ipliklerin yapımında, özellikle lifin nem çekmemesi nedeniyle ve sürtünmeye karşı dayanıklı oluşlarından spor giysilerinde kullanılır.

- Ev tekstili: Polipropilen lifleri , battaniye, halı ve halat yapımında ve benzeri liflerin yerini almaktadır. Polipropilen lifleri özellikle halı ve döşemelik kumaş yapımında kullanılmaktadır. Battaniye yapımında yün lifleri ile karıştırılarak kullanılır.
- Endüstriyel tekstil: Çeşitli filtre kağıdı, balık ağ ve kayış yapımında kullanılmaktadır. Polipropilen liflerinden yat döşemeleri ve inşaat sektöründe de yararlanılmaktadır.

3.1.1.f. Polipropilen liflerinin inşaat sektöründe kullanım alanları

İnşaat sektöründe betonda polipropilen liflerin her zaman olumlu bir etkisi olmayıp, bazen bu malzeme olumsuz yönde de etkili olabilir. Çizelge 3.2’de polipropilen liflerinin inşaat sektöründe kullanıldığı ve kullanılmadığı alanları verilmiştir.

Çizelge 3.3. İnşaat sektöründe polipropilen liflerinin kullanıldığı alanlar

Polipropilen liflerin kullanım alanları	Polipropilen liflerin kullanmadığı alanlar
İç gerilmelerin yol açtığı rötrelere karşı	Dış kuvvetlerin yolaçtığı çatlakların önlenmesinde
Betonun geçirgeliğinin azaltılması için	Yapısal yük taşıma kapasitesinin artırılmasında
Kompaktlığın ve sıkıştırmanın artırılmasında	Kür işlemini ortadan kaldırmak için
Parçalanma direnci kazandırması için	Kolon ve kiriş sayısını azaltmak için
Kimyasal ve alkaliniteye karşı dayanım için	Yapısal taşıyıcı, ana, aktif donatı yerine
Yüzey aşınma direnci gereken yerlerde	Beton kalınlığını azaltmak için
Darbeli yüklerin olduğu yerlerde	Kolon ve kiriş kesitlerini incelemek için
Betonun tutunma yeteneğini arttırmada	Etriye yerine
Tali donatı olarak kullanılabilecek hasır yerine	Beton sınıfının azaltılması için

3.1.1.g. Polipropilen yünsü lif

Deneysel çalışmada, kullanılan polipropilen lif BASF firmasından temin edilmiştir. Üretilen karışımlarda, 19 mm uzunluğundaki yünsü polipropilen lif 1m^3 betonda 300g, 600g, 900g ve 1200g olacak şekilde kullanılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Deneylerde kullanılan polipropilen yünsü lifler

Çizelge 3.4. Polipropilen yünsü lifin teknik özellikleri

Lif Tipi	Masterfiber 15 MF
Boy (mm)	12
Özgül ağırlık	0,91
Erime noktası	160°C
Tutuşma noktası	590°C
Şekil	yünsü
Elastikiyet Modülü (KN/mm^2)	3,5

3.1.1.h. Polipropilen çubuk lif

Deneysel çalışmada, kullanılan polipropilen lif BASF'den temin edilmiştir. Üretilen karışımlarda, 40 mm uzunluğundaki çubuk polipropilen lif 1 m³ betonda 300 g, 600 g, 900 g ve 1200 g olacak şekilde kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Deneyde kullanılan polipropilen çubuk lifler

Çizelge 3.5. Polipropilen çubuk lifin teknik özellikleri

Lif Tipi	Meyco Fiber SP540
Boy (mm)	40
Çap (mm)	0,9
Narinlik (l/d)	44
Şekil	dairesel
Min.Çekme Day. (N/mm ²)	295
Birim Adet (lif/kg)	4600

3.1.1.i. Agregas

Betonun ana iskeletini oluşturan, toplam hacmin yaklaşık % 60 - 80 oranlarında yer işgal eden mineral kökenli, taneli malzeme, agrega olarak isimlendirilir. Agregalar elde edilmesine göre doğal ve yapay agrega olarak ikiye ayrılır. Agregas; suyun etkisi altında yumuşamamalı, dağılmamalı, çimentonun bileşenleri ile birlikte zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir.

Yıldız (2006), agregalarda aranan en önemli özellikleri aşağıdaki şekilde belirtmiştir:

- Sert, dayanıklı ve boşluksuz olmalı,
- Zayıf taneler içermemeli (deniz kabuğu, odun, kömür vb.)
- Basınca ve aşınmaya mukavemetli olmalı,
- Toz, toprak ve betona zarar verebilecek maddeler içermemeli,
- Yassı ve uzun taneler içermemeli,
- Çimentoyla zararlı reaksiyona girmemeli.
- Agregada silt ve kil olmamalıdır.

Diğer taraftan agrega tane çapının (D_{max}) büyük olması, genel olarak betonda iri tanelerin fazla bulunduğunu gösterir. Bu durum agrega için gerekli su miktarının azalmasına neden olur. Tane çapı büyük olan agregalar kullanılarak üretilen betonların kompasitesi büyük olur ve ayrıca bunlar az miktarda su ihtiyacı gösterirler. Böylece agrega tane çapı büyük olan betonların mukavemetinde önemli bir artış sağlanabilir. Yalnız mukavemetin yüksek olmasını sağlamak için agrega çapının arttırılması yönünde fazla ilerlemek, bu karakteristiğin işlenebilme özelliğini azaltması bakımından elverişli değildir (Postacıoğlu 1987).

Bu çalışmada, Erzurum ili sınırları içerisindeki Horasan mevkiinden temin edilen doğal kum ve çakıl kullanılmıştır. Kullanılan agrega dere malzemesi olup max. agrega tane

apı 16 mm dir. Yıkandı olarak temin edilen malzeme üzerinde yapılan agrega deneylerinin sonuçları ve hazırlanan karışımın granölometri eğrisi Araştırma Bulguları bölümünde verilmiştir.



Şekil 3.5. Çimento, ince agrega ve iri agrega

3.1.1.j. Karışım suyu

Beton karışımında kullanılan çimentonun bağlayıcılık özelliği, büyük ölçüde çimentonun kalsiyum silikat bileşenleri ile karışım suyu arasındaki kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan kalsiyum silika hidrat (C-S-H) jel ürünlerinin oluşumuna dayanmaktadır. Karışımında kullanılacak suyun içerisinde fazla miktarda bulunabilecek yabancı maddeler hidratasyon ürünlerinin oluşum hızını ve miktarını etkileyebileceğinden, çimento hamurunun katılaşma süresini ve bağlayıcılık özelliğini de etkileyeceklerdir (Erdoğan 1995).

Değişik kaynaklardan elde edilen suların içerisinde değişik türlerde ve değişik miktarlarda yabancı maddeler bulunabilmektedir. Diğer taraftan, içilebilir nitelikteki şehir suları da, bilindiği gibi, tamamen saf değildir. Bu suların içerisinde de değişik miktarlarda yabancı maddeler yer almaktadır. Beton karışımında kullanılan sular ve içerdikleri yabancı maddeleri Çizelge 3.6’da açıklanmıştır.

Çizelge 3.6. Beton karışım suyunun içerisinde bulunabilecek yabancı maddelerin müsaade edilebilir miktarları

Yabancı Madde	Bulunabilecek Maksimum Konsantrasyon
Kil ve şilt gibi katı maddeler	0,2
Yağ	Çimento ağırlığının %2’si
Yosunlu maddeler	%0,05-0,1
Şeker	%0,05
Kalsiyum ve magnezyum bikarbonatlar	%0,04
Alkali karbonatlar ve bikarbonatlar	%0,1
Kalsiyum klorür	Çimento ağırlığının %2’si
Sodyum klorür	%2,0
Magnezyum klorür	%4,0
Sodyum sülfat	%1,0
Magnezyum sülfat	%4,0
Fosfat, Arsenat, Borat	%0,05
Demir tuzları	%4,0
Hidroklorik ve sülfürik asitler	%1,0
Sodyum hidroksit	Çimento ağırlığının %0,5’si
Potasyum hidroksit	Çimento ağırlığının %1,2’si

İçilebilir nitelikteki suyun beton üretiminde kullanımının uygun olduğu kabul edildiğinden, çalışmada Atatürk Üniversitesi içme suyu şebekesinden alınan su kullanılmıştır.

3.1.1.k. Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı

Kimya alanındaki gelişmeler ve polimer teknolojisinin ilerlemesi, 1980’li yılların ortalarından itibaren çok etkili akışkanlaştırıcıların keşfine sebep olmuştur. Yüksek oranda su kesme yeteneğine sahip bu akışkanlaştırıcılar aynı zamanda taze betonun işlenebilirliğini de arttırmaktadır. Yeni nesil akışkanlaştırıcıların sağladığı bu etki, bilim adamlarını taze betonun yerleştirilmesi sırasında gereken sıkıştırma işlemini ortadan kaldırmak için araştırma yapmaya yöneltmiştir. Böylece kendiliğinden yerleşen beton kavramı ortaya çıkmıştır (Felekoğlu 2003).

Geleneksel süperakışkanlaştırıcılar, sülfone naftalin formaldehit veya sülfone melamin formaldehit esaslı iken, yeni kuşak süperakışkanlaştırıcılar ana zincirinde karboksilik grubunun bulunduğu ve polietilen glikol grubunun yan zincir olarak bağlandığı kopolimerlerdir (Houst 1999).

Gürol (1999), polikarboksilat bazlı katkıların çimentoya etkisini şöyle açıklamaktadır; Katkı, dağılım etkisi ile topaklaşmayı önler, hidrasyona giren çimento miktarı artar, topaklar arasına hapsolme potansiyeli olan su molekülleri serbest kalarak işlenebilirliği artırır ve hidrasyona katılır.

Çimento miktarı arttıkça plastik viskozite ve eşik kayma gerilmesi artacağından yüksek çimento dozajlarında akışkanlaştırıcı katkı ihtiyacı artar (Roshavelov, 2002).

Bu çalışmada lif takviyeli beton ve ASTM C 494 standartlarına uygun polikarboksilik eter esaslı klor içermeyen yüksek oranda su azaltıcı özelliğine sahip yeni nesil süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi Glenium C303 kullanılmıştır. Kullanılan kimyasal

katkının üretici firma tarafından beyan edilen (+20°C, %50 bağıl nem koşullarında) teknik özellikleri Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Glenium C303’ün teknik özellikleri

Malzemenin yapısı	Polikarboksilik eter esaslı
Renk	Açık yeşil
Yoğunluk	1,023-1,063 kg/litre
Klor içeriği % (EN 480-10)	< 0,1
Alkali içeriği % (EN 480-12)	< 3

3.1.1.m. Diğer malzemeler

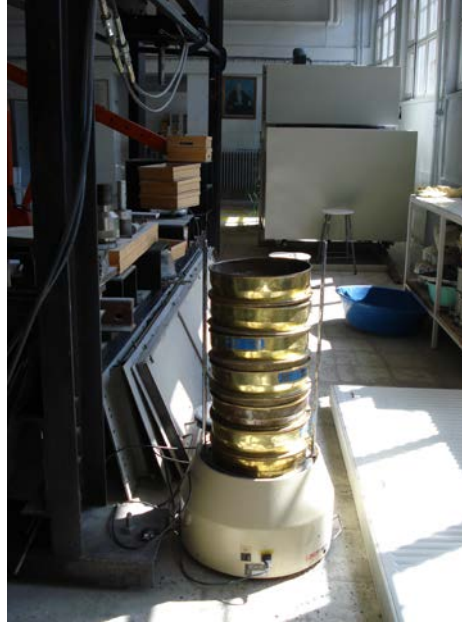
Beton numunelerinin kürü için kirece doymun su ortamının sağlanmasında söndürülmüş torba kireç ve numunelerin kalıplardan kolayca çıkmasını sağlamak için kalıplarda ince motor yağı kullanılmıştır.

3.1.2. Deneylerde kullanılan aletler

Çalışmanın bu bölümünde deneylerde kullanılan aletler (Elekler, Betonyer, Kalıplar, Pres, Su kürü havuzu, Fırın, Çökme deneyi aleti, Numunelerin Başlıklanmasının aleti) ve bu aletlerin özellikleri tanıtılacaktır.

3.1.2.a. Elekler

Deneylerde TS1227 ISO 3310-1 (2007)’ye uygun toplama kabı ile TS1226 ISO 3310-2 (2009)’ya uygun 0,25 mm, 0,50 mm, 1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm ve 16 mm göz açıklıklı kare delikli tel elekler kullanılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Agrega deneylerinde kullanılan elek takımı

3.1.2.b. Betonyer

Deneysel çalışmalardaki numune betonlarının karılması işleminde, ELE firmasının ürettiği 135° açı ile manevra yapabilen 60dm^3 kapasiteli, 25 devir/dakika karıştırma hızına sahip, düşey eksenli laboratuvar tipi betonyer kullanılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Beton üretiminde kullanılan laboratuvar tipi betonyer

3.1.2.c. Kalıplar

Deneyisel alışmalar kapsamında sertleştirilmiş plastikten imal edilmiş 10*20 cm'lik silindir kalıplar kullanılmıştır (şekil 3.8 - 3.9).



şekil 3.8. Beton numune kalıpları



şekil 3.9. Beton numune kalıpları

3.1.2.d. Pres

Sertleşmiş beton numunelerinin basınç dayanımını belirlemek amacıyla, kapasitesi 300 ton olan, ELE marka Autotest 3000 modeli hidrolik pres kullanılmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. ELE autotest 3000 pres cihazı

3.1.2.e. Su kürü havuzu

Yapılan deneysel çalışmalarda kirece doygun durumdaki suyu $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de sabit tutulabilen, çevrim pompalı tam dijital su kürü havuzu kullanılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Su kürü havuzu

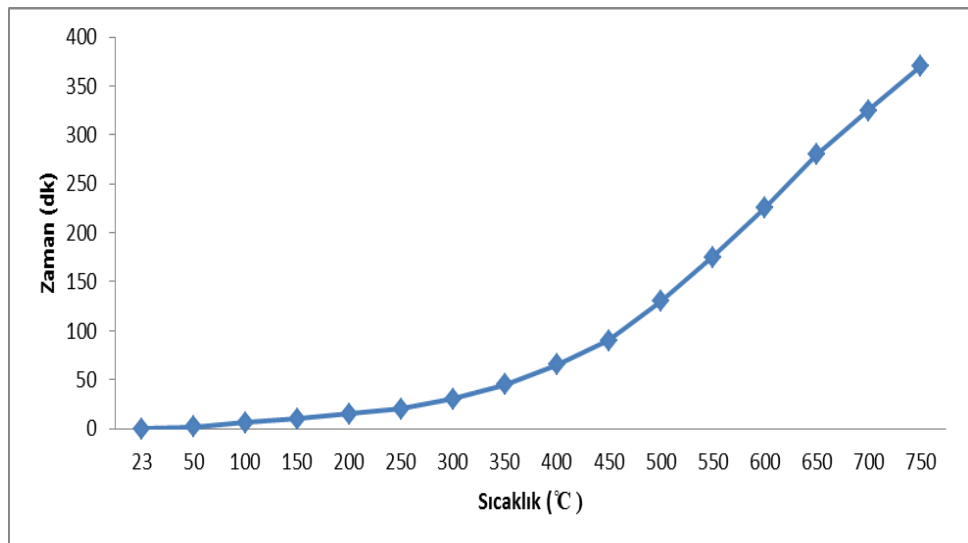
3.1.2.f. Yüksek sıcaklık fırını

Beton numunelerinin yüksek sıcaklık etkisinden sonra dayanımını belirlemek amacıyla yüksek sıcaklık fırını kullanılmıştır. Olası bir patlama da hasarın önüne geçilmesi içinde çelik kafes kullanılmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Yüksek sıcaklık fırını

Fırın sıcaklık-zaman grafiği Şekil 3.13’de gösterilmiştir. Bu şekile göre fırın 23°C ila 400°C’ye 60 dakikada ve 400°C ila 750°C’ye kadar 370 dakikada yükselemektedir.



Şekil 3.13. Fırının sıcaklık-zaman grafiği

3.1.2.g. Çökme deney aleti

Yapılan deneysel çalışmalarda, çelikten yapılmış, 800x800 mm boyutlarında bir tabla ve Abrams hunisi kullanılmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Çökme deney aleti

3.1.2.h. Numunelerin başlıklanmasının aleti

Kalsiyum alüminatlı çimento kullanılarak, kükürt karışım metodu, kum kutusu metotlarından biri ile yapılır. Bu çalışmada kükürt karışımı metodu ile silindir numuneler başlıklanmıştır.

a. Başlıklama malzemesi

Kükürt tozu, grafit tozu yaygın olarak kullanılmaktadır. Başlık için gerekli kükürt veya gerekli diğer (Kükürt başlıklamada %10 kükürt tozu kullanılır. Kükürt - grafit tozundan yapılan başlıklamada yaklaşık %70 kükürt, %30 grafit veya uygun fillerden meydana gelen karışım) malzemeleri kullanılır (Şekil 3.15).

Hazır kükürt karışımlar genellikle uygundur. Alternatif olarak, başlık malzemesi, kütlege eşit oranda kükürt ve silisli ince kumun (çoğunluğu, ISO 3310-1'e uygun 250 μ m göz açıklıklı örgülü elekten geçen ve 125 μ m göz açıklıklı örgülü elekte kalan) karıştırılmasıyla hazırlanabilir. Karışıma, %2'ye kadar küçük oranlarda karbon siyahı da ilave edilebilir. Bu çalışmada sadece kükürt tozu, grafit tozu şekil 3.16'da ki alet le eritilmiş ve başlıklama yapılmıştır.



Şekil 3.15. Grafit tozu (Siyah), kükürt tozu (Sarı)



Şekil 3.16. Başlıklama aleti

b. Başlıklama şekli

Başlıklama öncesinde, numunenin başlık yapılacak yüzeyleri kuru ve temiz olmalı, yüzeylerdeki bütün gevşek parçacıklar uzaklaştırılmış olmalıdır.

Başlık, mümkün olduğu kadar ince olmalı, kalınlığı 5 mm'yi geçmemelidir. Ancak küçük mertebede bölgesel kalınlık sapmalarına izin verilebilir.

Karışım, tedarikçinin önerdiği veya gerekli kıvamın sağlandığı sıcaklığa ($\sim 125^{\circ}\text{C}$ 'a) kadar, sürekli karıştırılarak ısıtılır.

Gerekli sıcaklığa ulaşıldıktan sonra da karışım, homojenliğinin sağlanması ve eritme potasının tabanında katı birikiminin önlenmesi için sürekli olarak karıştırılmalıdır.

Numunenin alt yüzeyi, yatay plaka/kalıp üzerindeki, erimiş kükürt karışımıyla dolu çukura, numune düşey konumda kalacak şekilde yerleştirilir. Aynı işlem karışım yeterli sertliğe ulaşınca kadar bekletildikten sonra, üst yüzeye de uygulanmalıdır. Başlıklanmış her iki yüzeyin de birbirine paralel kalmasını sağlamak üzere, başlıklama çerçevesi kullanılmalı ve plaka/kalıp yüzeyine, kalıp ayırıcı olarak madeni yağ sürülmelidir.

Numune kenarlarından taşan fazla başlık malzemesi tıraşlanarak temizlenmelidir.

Numunenin her iki uç yüzeyine yapılan başlıkların, numune yüzeyine tam olarak yapışıp yapışmadığı kontrol edilmelidir. Yapılan muayenede, başlıktan, başlık altında boşluk olduğunu belirten ses gelmişse, başlık sökülmeli ve numune yeniden başlıklanmalıdır.

En son başlık yapıldıktan sonra, basınç dayanımı deneyi yapılincaya kadar en az 30 dakika geçmiş olmalıdır.

3.2. Agregada Deneylerinde Uygulanan Yöntemler

Deneylerde kullanılmak üzere Erzurum Beton A.Ş. den temin edilerek laboratuara getirilen yıkanmış ve elenmiş dere agregaları üzerinde yapılacak agregada deneyleri için numune alınması işleminde, TS EN 1097-3 (1999)'da belirtilen dörde bölerek küçültme (çeyrekleme) metodu kullanılmıştır. Bu metot gereği, laboratuardaki malzemenin tümünü temsil etmesi için yığının her tarafından alınan örnekler düz bir zemin üzerine her tarafı eşit ve çapı yüksekliğinin dört katı olan bir daire oluşturacak şekilde serilmiştir. Daha sonra bu dairesel yığın kürekle dörde bölünmüş, karşılıklı iki parçası atılıp, deneyler için yeterli miktarda örnek kalıncaya kadar çeyrekleme işlemine devam edilmiştir.

Her bir deney için, numuneler üzerinde üçer defa agregada deneyleri yapılmış ve sonuçların aritmetik ortalamaları alınmıştır.

3.2.1. Tane dağılımı (Elek analizi)

Agreganın tane büyüklüğü dağılımı, TS 3530 EN933-1/A1 (2007)'ye uygun olarak belirlenmiştir. Bu standarda göre yapılan deneyde yıkanmış ve kurutulmuş malzeme elek takımına dökülmüştür. Elek takımı, TS EN 1227 ISO 3310-1 (2007) ve TS EN 1227 ISO 3310-2 (2009)'ye uygun toplama kabı, 0.25 mm, 0.5 mm, 1 mm, 2 mm 4 mm, 8 mm, 16 mm göz açıklıklı kare delikli düzenlenmiş elekler, tava ve kapaktan ibarettir.

Elek takımı düzenlenirken yukarıdan aşağıya elek göz açıklıkları düzenli bir biçimde azalacak şekilde birbirine geçirilmiştir. Tüm ince tanelerin yıkama ile uzaklaştırılmadığı bilindiğinden, 63µm göz açıklıklı deney eleği de elek takımına ilave edilmiştir. Malzeme kaybına meydan vermemek için elek takımı tava ve kapak

kullanılarak makine ile sarsılmıştır. Daha sonra sırayla büyük göz açıklıklı elekten başlamak üzere altına tava ve üzerine kapak konularak her bir elek takımından ayrılarak, elle tek tek eleme işlemine devam edilmiştir.

Her elekten geçen malzeme elek setinde bulunan bir sonraki elek üzerine konularak işleme devam edilmiştir. Standarda göre eleme işlemi esnasında, bir dakika süre içerisinde elek üstü malzemede kütlece %1'den daha fazla değişiklik olmuyorsa eleme işleminin tamamlandığı kabul edilebilir. En büyük göz açıklığına sahip elek üzerinde kalan kısım tartılıp, kütlesi %1 hassasiyette R_1 olarak kayıt edilmiştir. Altındaki elekte kalan kısım için aynı işleme devam edilmiş ve kütlesi R_2 olarak kayıt edilmiştir.

Elek takımındaki bütün eleklerde aynı işleme devam edilerek her bir elek üzerinde kalan numunelerin kütlesi $R_3, R_4 \dots R_i$ kayıt altına alınarak tartma işlemine devam edilmiştir. Tavada kalan malzemede tartılıp kütlesi P olarak kayıt edilmiştir. Her bir elek fraksiyonunun kütlesi (R_i), orijinal kuru kütlenin (M_1) yüzdesi olarak hesaplanmıştır. $63\mu\text{m}$ kadar her bir elekten geçen orijinal kuru kütlenin kümülatif yüzdesi hesaplanmıştır.

Yukarıda anlatıldığı şekilde standarda uygun olarak iki farklı tane sınıfına ayrılmış olan agregalar üzerinde yapılan elek analizi deneylerinin sonuçları Araştırma Bulguları Bölümü'nde verilmiştir.

3.2.2. Birim ağırlık

Birim ağırlık deneyleri TS 3529 (1980)'a göre yapılmıştır. Standartta belirtildiği üzere maksimum agrega çapına bağlı olarak, iç çapı ile yüksekliği 155 mm ve hacmi yaklaşık 3dm^3 olan standart birim ağırlık kabı kullanılmıştır. Sıkışık birim hacim ağırlık tayininde bu kaba yaklaşık üç eşit tabaka halinde doldurulan agregaların her bir tabakası 25 defa şişlenmiştir. Gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık deney sonuçları Araştırma Bulguları Bölümü'nde verilmiştir.

3.2.3. Tane yoğunluğu ve su emmesi

Deneylerde her bir agrega tane sınıfı için TS EN1097-6/A1 (2007)'ye uygun olarak tane yoğunluğu ve su emme deneyleri yapılmıştır. Bu standart gereğince ince ve iri agregaların tane yoğunlukları ve su emmeleri farklı yöntemlerle belirlenir. Uygulanan yöntemler aşağıda kısaca özetlenmiştir:

3.2.3.a. İnce agrega için tane yoğunluğu ve su emme miktarlarının belirlenmesi

Hazırlanan deney numunesi, piknometrede bulunan, $(22\pm3)^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki suya daldırılmış ve hapsedilmiş hava uzaklaştırılmıştır. Piknometre, su banyosu içerisinde düşey hale getirilmiş ve deney numunesi, $(22\pm3)^{\circ}\text{C}$ 'de, $(24\pm0,5)$ saat süreyle bekletilmiştir. Islatma süresinin sonunda, piknometre su banyosundan çıkarılmıştır. Daha sonra piknometreye, su ilâve edilerek tamamen doldurulmuş ve kap içerisinde hiç hava kalmayacak şekilde kapak kapatılmıştır. Piknometrenin dış kısmı silinerek kurutulduktan sonra tartılmış ve tartım değeri kaydedilmiştir (M_2). Deney numunesi kısmını kaplayan su süzülerek, piknometre bir tepsiye boşaltılmıştır. Piknometre, tekrar su ile doldurularak, kapak tekrar kapatılmıştır. Yine piknometrenin dış kısmı silinerek kurutulmuş ve tartılarak değeri kaydedilmiştir (M_3). Islak deney numunesi, tepsinin tabanına üniform bir tabaka hâlinde yayılarak, yüzey rutubetini buharlaştırmak amacıyla, agrega taneleri, hafif bir sıcak hava akımına maruz bırakılmıştır. Agrega taneleri, üniform bir kurumanın elde edilmesi amacıyla, hiçbir yüzey nemi görülmeyinceye ve taneler artık birbirlerine yapışmayıncaya kadar, sık aralıklarla karıştırılmıştır. Yüzey kuruluşunun sağlanıp sağlanmadığının tespiti için, metal koni kalıbı, tepsinin tabanına gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Koni kalıbı, bir miktar kuru deney numunesi kısmıyla gevşek olarak doldurulmuş ve kalıbın üst kısmındaki delikten geçirilen bir sıkıştırıcıyla agrega yüzeyine hafifçe vurularak sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma işleminden sonra, metal koni kalıbı numune üzerinden dikkatlice kaldırılmıştır. Elde edilen agrega konisinde çökme olayı meydana gelene kadar, kurutmaya devam edilerek koni deneyi tekrarlanmıştır.

Doygun ve yüzeyi kurutulmuş deney numunesi de tartılarak, tartım değeri kaydedilmiştir (M_1). Daha sonra numune kısmı, hava dolaşımli etüvde, $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 'de 24 saat kurutularak tartılıp değeri kaydedilmiştir (M_4). Kaydedilen bu değerler yardımıyla standartta verilen eşitliklerden tane yoğunlukları (ρ_a , ρ_{rd} ve ρ_{ssd}), hesaplanmıştır. Hesaplanan tane yoğunlukları değerleri detaylı şekilde Araştırma Bulguları Bölümü'nde verilmiştir.

3.2.3.b. İri agrega için tane yoğunluğu ve su emme miktarlarının belirlenmesi

Hazırlanan deney numunesi kısmı, tel sepete yerleştirilerek ve tel sepet suya daldırılarak, $(22\pm 3)^{\circ}\text{C}$ deneye başlanmıştır. Daldırmadan hemen sonra sepet su içerisinde birkaç kez tabana düşürölüp hapsölmuş hava deney numunesi kısmından uzaklaştırılmıştır. Sepet ve agrega, $(24\pm 0,5)$ saat süreyle $(22\pm 3)^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki suda bekletilmiştir. Sepet ve deney numunesi kısmı $(22\pm 3)^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki suda tartılarak değeri kaydedilmiştir (M_2). Sepet ve agrega, sudan çıkarılıp, suyun suyun süzölmesi için birkaç dakika bekletilmiştir. Daha sonra agrega, kuru bir bez üzerine boşaltılarak üzerleri doygun kuru yüzey haline getirilinceye kadar silinmiştir.

Agregalar ikinci bir bez üzerine yayılarak görölabilir bütün su filmleri uzaklaştırılana kadar, güneş ışığının ve herhangi bir ısı kaynağın bulunmadığı bir noktada atmosfere maruz bırakılmıştır. Agregataneleri tartılarak elde edilen değeri kaydedilmiştir (M_1). Tartılan agregalar, bir tepsiye aktararak etüvde, $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta, 24 saat bekletilmiştir. Kuruyan numuneler etüvden çıkarılarak tartılmış ve tartıdan elde edilen değeri kaydedilmiştir (M_4).

Bu arada agregaların çıkarıldığı boş sepet, tekrar suya daldırılarak, su içinde tartılmış ve tartımdan elde edilen değeri kaydedilmiştir (M_3). Kaydedilen bu değerler yardımıyla standartta verilen eşitliklerden tane yoğunlukları (ρ_a , ρ_{rd} ve ρ_{ssd}), hesaplanmıştır. Hesaplanan tane yoğunlukları değerleri detaylı şekilde Araştırma Bulguları Bölümü'nde verilmiştir.

3.2.4. Organik madde tayini

Organik madde tayini deneyi TS EN 1744-1 (2011)'e göre yapılmıştır. Bu deneyde 8 mm göz açıklıklı kare gözlü tel elekten elenen malzeme %3'lük NaOH (Sodyum hidroksit) çözeltisi içinde 24 saat bekletilerek gözlem yapılmıştır.

Standart, içinde bekletilen numuneden kaynaklı sıvının renk değişiminin gözlemini kapsamaktadır. Bekletilen süre sonunda sıvının renksiz veya açık sarı olması malzeme içerisinde beton üretimi için zararlı oranda organik madde bulunmadığına, koyu sarı, kahverengi veya kırmızımsı bir renk alması durumunda ise beton üretimi için zararlı organik madde bulunduğunu belirtmektedir. Yapılan deney sonucundaki gözlem Araştırma Bulguları Bölümü'nde verilmiştir.

3.2.5. Çok ince malzeme miktarı tayini

Çok ince malzeme miktarı tayini TS706 EN12620 (2009) ve TS3530 EN933-1/A1 (2007)'e uygun olarak yapılmıştır. TS 706 EN 12620+A1'de çok ince malzeme muhtevası 63 µm göz açıklıklı elekten geçen agrega tane sınıfı olarak tanımlanmaktadır. Bu standarda göre çok ince malzeme, aşağıda belirtilen dört durumdan birinin söz konusu olması halinde zararsız olarak kabul edilmelidir:

- İnce agreganın toplam çok ince malzeme muhtevasının, %3'ten veya agreganın kullanıldığı yerde geçerli olan mevzuata göre belirtilmiş olan başka bir değerden daha az olması.
- EN933-8'e uygun olarak deneye tabi tutulduğunda, kum eş değerinin, belirtilen alt sınırı aşması.

- EN933-9'a uygun olarak deneye tabi tutulduğunda, metilen mavisi deneyinin, belirtilen alt sınır değerinden daha küçük bir değer vermesi.
- Bilinen bir performans yeterliliğine sahip agreganıninkine eşit performansın elde edilmesi veya herhangi bir problemle karşılaşılmadan kullanım performans yeterliliğinin kanıtlanması.
- Standarda uygun olarak yapılan deneyde bir miktar malzeme etüve atılarak, $(110\pm5)^{\circ}\text{C}$ 'de 24 saat beklenmiş ve malzemelerin kuruması sağlanmıştır. Etüvden çıkarılan malzemelerden, iri agregadan 5000g, ince agregadan da 2000g malzeme alınarak bu malzemeler 63 μm göz açıklıklı deney eleği üzerinde yıkanmış elek üzerinde kalan malzemeler tekrar etüve atılarak, $(110\pm5)^{\circ}\text{C}$ 'de 24 saat beklenmiş ve malzemelerin kuruması sağlanmıştır. Etüvden çıkarılan malzemelerin tartımı yapılarak değerler kaydedilmiş ve çok ince malzemenin ince malzemeye oranı belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen değerler Araştırma Bulguları Bölümü'nde verilmiştir.

3.3. Lifli Beton Karışım Hesapları

Lifli betonlar için yapılacak karışım hesapları için belirlenmiş bir standart bulunmamaktadır. Yapılan bu çalışmada, karışıma girecek agrega (iri-ince), çimento ve akışkanlaştırıcı kimyasal katkıların seçimi ile karışımda kullanılacak bu malzemelerden hangi oranda kullanılması gerektiğinin tespiti için lifli betonlar üzerinde yapılan çalışmalardan yararlanılmıştır.

Çalışmada, Erzurum ili Horasan ilçesi civarından temin edilen doğal dere agregası, Aşkale Çimento Fabrikasından temin edilen CEM I 42,5 R tipi çimento, ve BASF firmasının üretilmiş olan polikarboksilik eter esaslı klor içermeyen yüksek oranda su azaltıcı özelliğine sahip yeni nesil süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi Glenium C303 kullanılmıştır.

Agrega tane sınıflarının oranları belirlenirken ayarlanmış granülometri eğrisi kullanılmış, 0-4 tane sınıfı ince agregadan %52 ve 4-16 tane sınıfı iri agregadan %48 oranlarında malzeme karışıma katılmıştır. Polipropilen lif takviyeli olarak hazırlanan karışımlarda, çimento dozajı 350 kg, su/bağlayıcı oranı ise 0,46 olarak sabit tutulmuştur. Polipropilen lif 1m³'te 300g, 600g, 900g, 1200g oranlarında hazırlanan taze beton karışımlarına eklenmiştir. Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı başlangıçta tüm seriler için %0,8 oranında sabit tutulmuştur.

Belirlenmiş olan sabit dozaj ve su/çimento oranından yola çıkılarak karışım suyu miktarı 1m³ için 160 kg olarak hesaplanmıştır. Su miktarlarına, bağlayıcı hacmi ve bütün karışımlar için seçilen %10 hava hacmi eklenmiş ve 1000dm³'den çıkarılarak 1m³ betondaki toplam agrega hacmi hesaplanmıştır. Elde edilen agrega hacmi ince ve iri tane sınıflarına ayrılmıştır. Tüm seriler için karışıma giren malzeme miktarları hesaplanmış ve karışımlar hazırlanmıştır. Karışıma giren malzeme miktarları Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Lifli betonlar için malzeme miktarları (1 m³ beton için)

Malzeme	Çimento	İnce	İri	Su	Akış.	Lif miktarı
Grup	(kg)	Agr. (kg)	Agr. (kg)	(kg)	Katkı (kg)	(kg)
KONTROL	350	930	858	160	2,8	0
300 g P.P.(yün)	350	930	858	160	2,8	0,3
600 g P.P.(yün)	350	930	858	160	2,8	0,6
900 g P.P.(yün)	350	930	858	160	2,8	0,9
1200 g P.P.(yün)	350	930	858	160	2,8	1,2
300 g P.P.(çub.)	350	930	858	160	2,8	0,3
600 g P.P.(çub.)	350	930	858	160	2,8	0,6
900 g P.P.(çub.)	350	930	858	160	2,8	0,9
1200g P.P.(çub.)	350	930	858	160	2,8	1,2

Karışımındaki malzeme miktarları, karışıma ağırlık olarak konularak deney numuneleri üretilmiştir. Bu işlem sırasında malzeme kayıpları göz önünde bulundurularak gerekli miktarlar %10 oranında artırılmıştır. 9 grup için toplam 162 numune dökülmüş ve bu numuneler üzerinde deneyler yapılmıştır. Betonyer kapasitesi dikkate alınarak bir seferde yaklaşık 23 dm³ beton üretilmiştir.

3.4. Lifli Taze Betonda Çökme Deneyi

Polipropilen, kontrol numunelerinde çökme deneyi yapılmış ve deney sonuçları Çizelge 3.9'da gösterilmiştir (Şekil 3.18).

Çizelge 3.9. Polipropilen lifli numunelerin çökme deneyi sonuçları

BETON GURUBU	ÇÖKME MİKTARI (mm)
KONTROL	17
300 g Ç.P.P.	16
600 g Ç.P.P.	18
900 g Ç.P.P.	19
1200 g Ç.P.P.	16
300 g Y.P.P.	13
600 g Y.P.P.	11
900 g Y.P.P.	11
1200 g Y.P.P.	10



Şekil 3.18. Polipropilen lifli betonun çökme deneyi

3.5. Basınç Dayanımı Tayini Yöntemi

Basınç dayanımları tüm numunelerde su kürü sonrası 28 inci günde belirlenmiştir. Beton zamana bağlı olarak şekil değiştirme gösteren bir malzeme olduğundan, yükleme hızı, betonun basınç mukavemeti üzerinde etkili bir parametredir (Han *et al.* 2005).

Bu nedenle tüm numuneler sabit bir yükleme hızı altında deneye tabi tutulmuşlardır. TS12390-3 (2010)'e göre bu değer 0,2 MPa/s ile 1,0 MPa/s arasında olmalıdır. Beton numunelerin kırılması işlemi, yükleme hızı 0,4 MPa/s seçilerek yapılmıştır. Farklı lif oranlarında polipropilen lif içeren numunelerde, liflerin basınç dayanımına etkileri incelenmiştir.

3.6. Sonuçlar Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntem

Bu çalışmada kontrol numuneleri ve ağırlıkça polipropilen lif (çubuk ve yün), 300g, 600g, 900g, 1200g oranlarında üretilen 9 gurup lifsiz ve lifli beton numunesi üzerinde basınç dayanımı tespiti yapılmıştır. Liflerin farklı oranları için, yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımına etkilerinin incelendiği araştırmada, deneylerden elde edilen sonuçlar en güvenilir metotlardan birisi olan karşılaştırma metodu ile değerlendirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde, agrega ve beton deneylerinden (taze ve sertleşmiş) elde edilen sonuçlar verilmiş, çizelge ve şekillerle desteklenerek teknik literatür ışığında yorumlanmıştır.

Karşılaştırma, farklı oranlarda lif katılarak üretilen lifli beton numuneleri ile kontrol numuneleri arasında yapılmıştır. Yapılan çalışmada, polipropilen lifli beton numunelerinin sıcaklık etkisiyle ağırlık değişimi ve basınç dayanımına etkileri incelenmiştir.

4.1. Agrega Deneyleri

4.1.1. Elek analizi (Granülometri)

Standart kare açıklıklı eleklerle, etüv kurusu durumundaki numuneler üzerinde yapılan elek analizi deneyi sonucunda, iri (4–16 mm) ve ince (0–4 mm) agregalar için ayrı ayrı elde edilen tane dağılımlarına ait değerler yığışımlı ağırlık yüzdesi olarak Çizelge 4.1 ve 4.2’de verilmiştir.

Lifli beton numunelerinin üretimi için, iri agregadan %52, ince agregadan %48 oranında malzeme alınarak karışıma katılmıştır. Oluşturulan yeni agrega karışımının tane dağılımına ait değerler yığışımlı ağırlık yüzdesi olarak Çizelge 4.3’de, granülometri eğrisi ise TS 802 (1985)’de verilen standart eğrilerle birlikte Şekil 4.1’de verilmiştir.

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi lifli numunelerinin üretimi için %52 iri agrega, %48 ince agrega oranlarıyla hazırlanan karışımının granülometri eğrisi A16 ve B16 eğrileri arasında kalmıştır. Lifli beton üretiminde karışıma girecek agregalar için kullanılan bu oranın uygun olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.1. İri agrega için elek analizi deneyi sonuçları

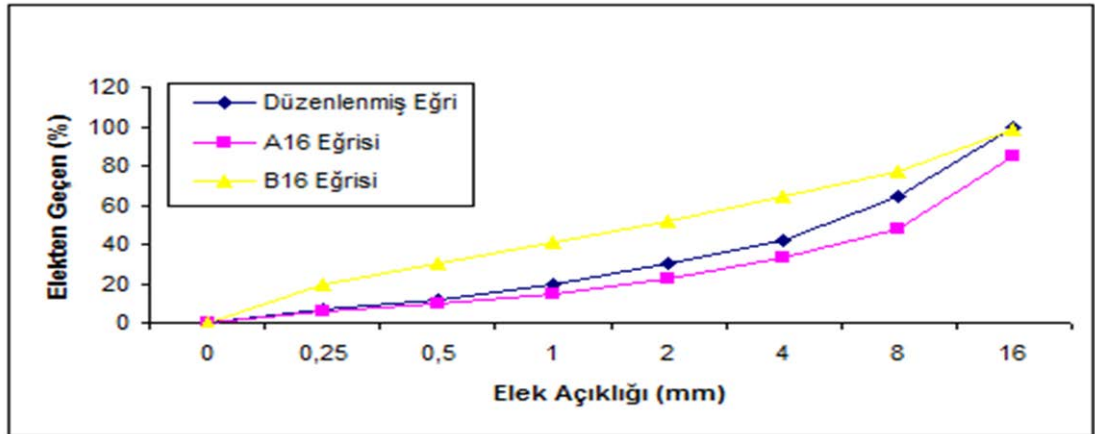
Elek açıklığı (mm)	Elek üzerinde kalan (g)	Kümülatif toplam (g)	% Kalan	% Geçen
16	0	0	0	100
8	1718	1718	68,72	31,28
4	744	2462	98,48	1,52
2	24	2486	99,44	0,56
1	3	2489	99,56	0,44
0,50	2	2491	99,64	0,36
0,25	2	2493	99,72	0,28
Elek altı	7	2500	100	0

Çizelge 4.2. İnce agrega için elek analizi deneyi sonuçları

Elek açıklığı (mm)	Elek üzerinde kalan (g)	Kümülatif toplam (g)	% Kalan	% Geçen
16	0	0	0	100
8	0	0	0	100
4	203	203	13,53	86,47
2	361	564	37,6	62,4
1	344	908	60,53	39,47
0,50	351	1259	83,93	16,07
0,25	180	1439	95,93	4,03
Elek altı	61	1500	100	0

Çizelge 4.3. Karışımda kullanılan agreganın tane dağılımları

Elek açıklığı (mm)	İri agreg % Geçen	İnce agreg % Geçen	Karışım oranları (%52+%48)
16	100	100	100
8	31,28	100	67,02
4	1,52	86,47	45,69
2	0,56	62,4	32,72
1	0,44	39,47	20,74
0,50	0,36	16,07	8,52
0,25	0,28	4,03	2,23
Tava	0	0	0

**Şekil 4.1.** Karışımda kullanılan agreganın granülometri eğrisi

4.1.2. Birim ağırlık

Standart birim ağırlık kabının kullanıldığı bu deneyde, ince ve iri agregaların, birim ağırlık değerleri ayrı ayrı bulunmuştur. Birim ağırlık deneyleri hava kurusu durumunda bulunan agregalar üzerinde yapılmıştır. Agregada deneylerinden elde edilen gevşek birim

ağırlık değerlerinin ortalaması Çizelge 4.4'te, sıkışık birim ağırlık değerlerinin ortalaması ise, Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Gevşek birim ağırlık deneyi sonuçları

Agrega Sınıfı		
Ölçülen değer	İnce (0 – 4 mm)	İri (4 – 16 mm)
Ölçü kabı boş ağırlığı (w_1), g	6705	6705
Ölçü kabı hacmi (v), cm^3	2148	2148
Kap + Numune ağırlığı (w_2), g	9756	9863
Numune ağırlığı ($w_2 - w_1$), g	3051	3158
Gevşek Birim ağırl. ($w_2 - w_1$)/ v , kg/m^3	1420	1470

Çizelge 4.5. Sıkışık birim ağırlık deneyi sonuçları

Agrega sınıfı		
Ölçülen değer	İnce (0 – 4 mm)	İri (4–16 mm)
Ölçü kabı boş ağırlığı (w_1), g	6705	6705
Ölçü kabı hacmi (v), cm^3	2148	2148
Kap + Numune ağırlığı (w_2), g	10335	10099
Numune ağırlığı ($w_2 - w_1$), g	3630	3394
Sıkışık Birim ağırl. ($w_2 - w_1$)/ v , kg/m^3	1690	1580

4.1.3. Organik madde tayini

İnce agregadan alınan malzeme üzerinde yapılan organik madde tayini deneyinde ölçü silindirlerindeki malzeme üzerinde kalan sıvıda herhangi bir renk değişimi gözlenmemiştir. Yani sıvı renksizdir. TS EN 1744-1 (2011)'e göre bekletilen süre sonunda sıvının renksiz veya açık sarı olması malzeme içerisinde beton üretimi için zararlı oranda organik madde bulunmadığını, koyu sarı, kahve rengi veya kırmızımsı bir renk alması durumunda ise beton üretimi için zararlı organik madde bulunduğunu belirtmektedir.



Şekil 4.2. Karışımda kullanılan agregada organik madde tayini deneyi

Karışımda kullanılan agreganın bünyesinde barındırdığı organik madde yapılan gözlemsel değerlendirmeye göre kullanılan agregaların beton üretimi için uygun olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.2).

4.1.4. İnce madde oranı tayini

Bu deney kullanılan agreganın ince ve iri kısımları için ayrı ayrı yapılmış ve elde edilen ortalama sonuçlar; ince agrega için Çizelge 4.6, iri agrega için Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.6. İnce agrega için ince madde oranı tayini deney sonuçları

Numunenin etüv kurusu ağır. (w), g	Yıkandıktan sonra 0,063 mm elek üstünde kalan numunenin etüv kurusu ağır. (w ₁), g	İnce malzeme oranı $w-w_1/w$ (%)
2000	1962	1,9
TS706 EN 12620 ’ye göre beton agregalarında ince madde oranı ince agrega için %3’ten küçük olmalıdır		

Çizelge 4.7. İri agrega için ince madde oranı tayini deney sonuçları

Numunenin etüv kurusu ağır. (w), g	Yıkandıktan sonra 0,063 mm elek üstünde kalan numunenin etüv kurusu ağır. (w ₁), g	İnce malzeme oranı $w-w_1/w$ (%)
5000	4957	0,86
TS706 EN 12620 ’ye göre beton agregalarında ince madde oranı ince agrega için %3’ten küçük olmalıdır		

Beton agregalarında ince maddelerin (kil-silt) fazla miktarda olması, agrega taneleri ile çimento hamuru arasındaki aderansın zayıflamasına ve çimentonun prizini geciktirmesine neden olduğundan istenmeyen bir durumdur (Postacıoğlu 1987; Bingöl 2002). Deneylerden elde edilen sonuçlar ilgili standartlar ile karşılaştırıldığında kullanılan agregalarda betona zarar verecek oranda ince taneli malzeme bulunmadığı

belirlenmiştir. Bu sebeple agregaların beton üretimin için kullanılabilir olduğuna karar verilmiştir.



Şekil 4.3. Karışımında kullanılan agreganın çökeltme yöntemi ile ince madde tayini deneyi

4.1.5. Tane yoğunluğu ve su emme oranı tayini

Agregaların tane yoğunluğu ve su emme oranının belirlendiği bu deneyde kuru özgül ağırlık, doymun kuru yüzey özgül ağırlık, görünen özgül ağırlık ve 24 saatlik su emme oranları tayini iri ve ince agrega için ayrı ayrı yapılmıştır. TS EN1097-6/A1 (2007)'ye göre yapılan bu deneyde ince agrega için ölçülen değerler Çizelge 4.8'de, hesaplanan tane yoğunluğu ve su emme oranları Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Tane yoğunlukları (ρ_a , ρ_{rd} ve ρ_{ssd}), aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır:

Görünür tane yoğunluğu: $\rho_a = M_4 / M_4 - (M_2 - M_3)$

Etüvde kurutulmuş esasta tane yoğunluğu: $\rho_{rd} = M_4 / M_1 - (M_2 - M_3)$

Doygun ve yüzeyi kurutulmuş esasta tane yoğunluğu: $\rho_{ssd} = M_1 / M_1 - (M_2 - M_3)$

Su emme oranı: $WA_{24} = 100 \times (M_1 - M_4) / M_4$

Burada;

M_1 : Doygun ve havada yüzeyi kurutulmuş agreganın kütlesi (g),

M_2 : Doygun agrega numunesini ihtiva eden piknometrenin kütlesi (g),

M_3 : Sadece su ile doldurulmuş piknometrenin kütlesi (g),

M_4 : Etüvde kurutulmuş deney numunesi kısmının kütlesi (g)'dir.

Çizelge 4.8. İnce agrega tane yoğunluğu ve su emme deneyi için ölçülen değerler

Ölçülen değerler	Ağırlık (g)
Su + piknometre (M_3)	1520
Su + piknometre + Numune (M_2)	1878
DKY numune (M_1)	599
Etüv kurusu numune (M_4)	579

Çizelge 4.9. İnce agrega tane yoğunluğu ve su emme deneyi için hesaplanan değerler

Hesaplanan değerler	Yoğunluk (g/cm^3)
Görünür tane yoğunluğu (ρ_a)	2,62
Etüvde kurutulmuş tane yoğunluğu (ρ_{rd})	2,40
Doygun ve yüzeyi kurutulmuş tane yoğunluğu (ρ_{ssd})	2,49
Su emme oranı (WA_{24})	3,45

TS EN1097-6/A1 (2007)'e göre yapılan bu deneyde iri agregâ için ölçülen değerler Çizelge 4.10'da, hesaplanan tane yoğunluğu ve su emme oranları Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Tane yoğunlukları (ρ_a , ρ_{rd} ve ρ_{ssd}), aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır:

Görünür tane yoğunluğu: $\rho_a = M_4 / (M_4 - M_3)$

Etüvde kurutulmuş esasta tane yoğunluğu: $\rho_{rd} = M_4 / (M_1 - M_3)$

Doygun ve yüzeyi kurutulmuş esasta tane yoğunluğu: $\rho_{ssd} = M_1 / (M_1 - M_3)$

Su emme oranı: $WA_{24} = 100 \times (M_1 - M_4) / M_4$

Burada;

M_1 : Doygun ve havada yüzeyi kurutulmuş agreganın kütlesi (g),

M_2 : Doygun agregâ numunesini ihtiva eden sepetin sudaki görünür kütlesi (g),

M_3 : Boş sepetin sudaki görünür kütlesi (g),

M_4 : Etüvde kurutulmuş deney numunesi kısmının kütlesi (g)'dir.

Çizelge 4.10. İri agregâ tane yoğunluğu ve su emme deneyi için ölçülen değerler

Ölçülen değerler	Ağırlık (g)
Boş sepet (M_3)	434
Sepet + Numune (M_2)	1405
DKY numune (M_1)	1550
Etüv kurusu numune (M_4)	1522

Çizelge 4.11. İri agrega tane yoğunluğu ve su emme deneyi için hesaplanan değerler

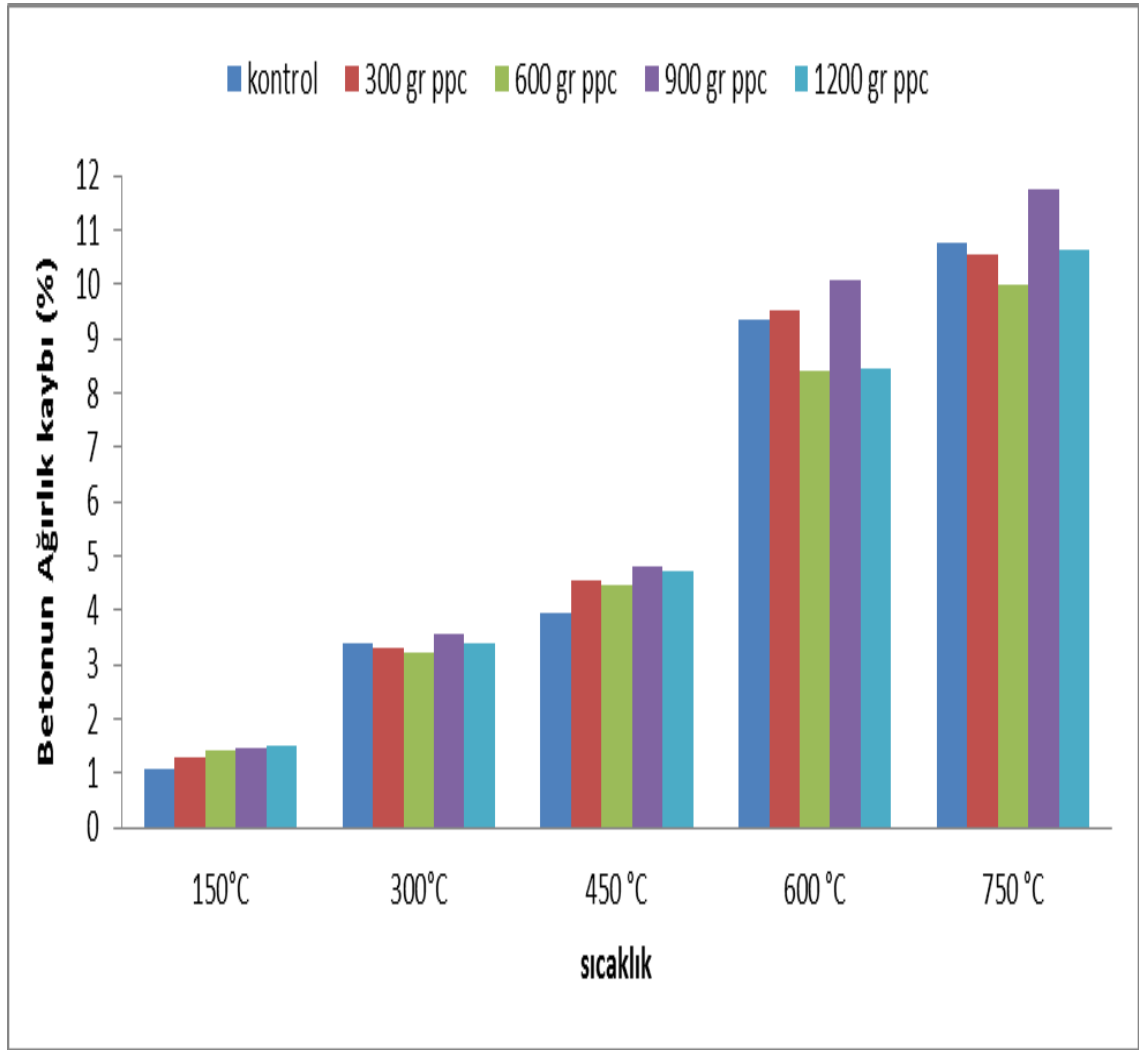
Hesaplanan değerler	Yoğunluk (g/cm ³)
Görünür tane yoğunluğu (ρ_a)	2,76
Etüvde kurutulmuş tane yoğunluğu (ρ_{rd})	2,63
Doygun ve yüzeyi kurutulmuş tane yoğunluğu (ρ_{ssd})	2,68
Su emme oranı (WA_{24})	1,84

4.2. Lifli Betonların Sıcaklık Etkisiyle Ağırlık Değişimi

Bu çalışmada beton numuneleri 150°C, 300°C, 450°C, 600°C ve 750°C sıcaklıklardan önce ve sonrası tartılmış ve Çizelge 4.12’de ısıtma öncesi ve sonrası ağırlıkları topluca verilmiştir.

Çizelge 4.12. Beton numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrasının ağırlıkları

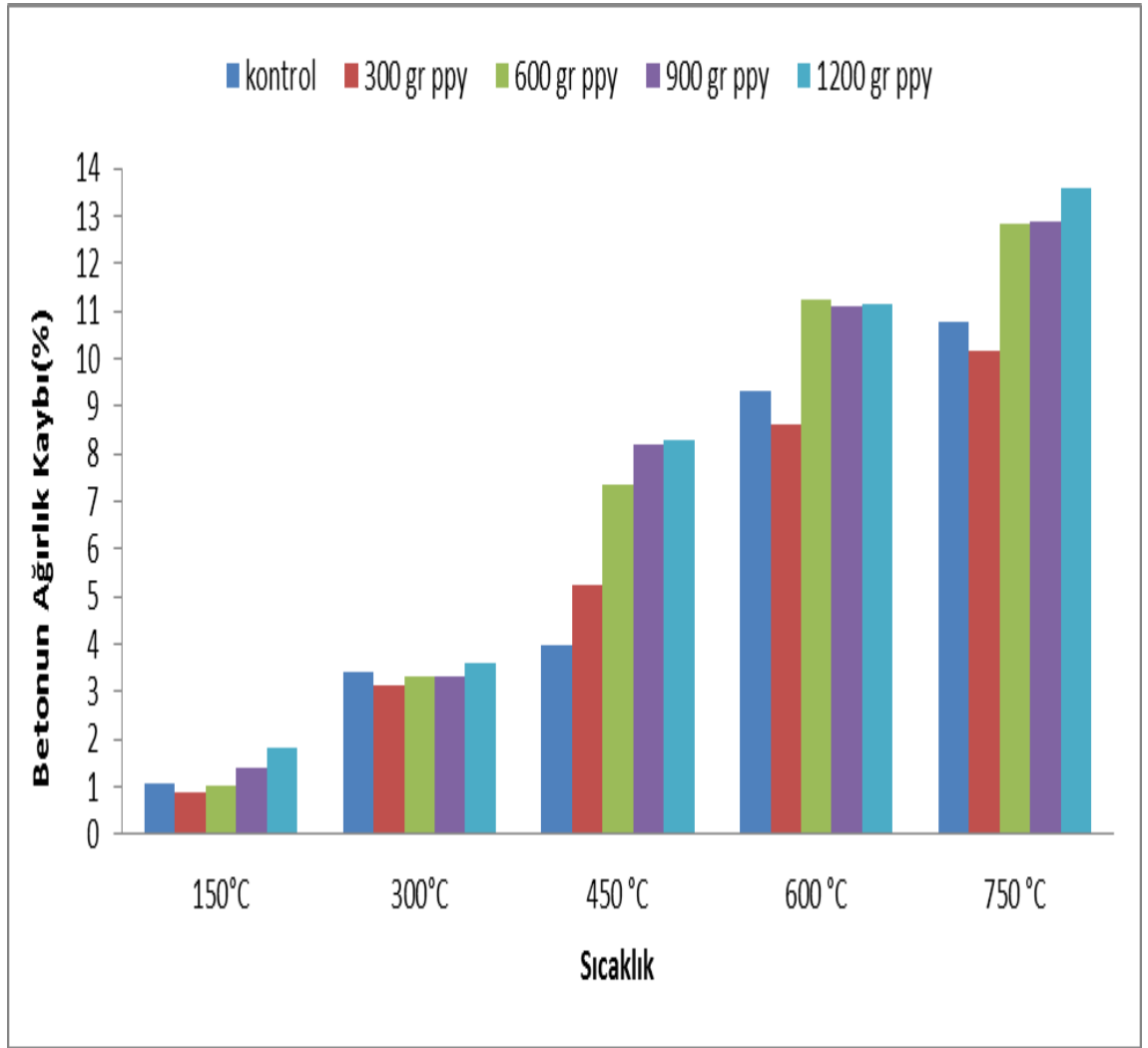
Sıcaklık	150°C		300°C		450°C		600°C		750°C	
Beton türü	önce (gr)	sonra (gr)	önce (gr)	sonra (gr)	önce (gr)	sonra (gr)	önce (gr)	sonra (gr)	önce (gr)	sonra (gr)
kontrol	3418	3381	3605	3486	3446	3307	3577	3261	3466	3095
300 g p.p ç.	3547	3501	3526	3410	3508	3355	3510	3193	3521	3151
600 g p.p ç.	3346	3296	3356	3245	3564	3411	3478	3187	3493	3139
900 g p.p ç.	3396	3347	3511	3391	3539	3372	3473	3122	3511	3101
1200 g p.p ç.	3433	3381	3493	3370	3505	3342	3384	3094	3446	3088
300 g p.p y.	3575	3543	3526	3416	3362	3185	3322	3036	3512	3155
600 g p.p y.	3529	3493	3439	3325	3421	3169	3452	3064	3536	3082
900 g p.p y.	3387	3339	3356	3244	3465	3181	3479	3092	3491	3041
1200 g p.p y.	3415	3353	3611	3481	3435	3151	3424	3042	3372	2914



Şekil 4.4. Çubuk polipropilen lifli betonların yüksek sıcaklıklardan sonra ağırlık kaybı

Çizelge 4.12 ve Şekil 4.4’de çubuk polipropilen liflerin yüksek sıcaklıklarda ağırlık kayıpları gösterilmiştir. Buna göre 150°C’da en fazla ağırlık kaybı 1200g polipropilen lifi betona ve en az kayıp ise kontrol gurubunda görülmüştür. 300°C sıcaklığında en fazla ağırlık kaybı 900g polipropilen lif içeren numunelerde ve en az kayıp 600g polipropilen numunelerde belirlenmiştir.

450°C sıcaklığında kontrol numuneler en az ve 900g polipropilen lifli betonlar en fazla ağırlık kaybı belirlenmiştir. 600°C ve 750°C sıcaklıklarında 600g polipropilen lifli beton en az ve 900g polipropilen lifli numuneler en fazla ağırlık kaybı görülmüştür.



Şekil 4.5. Yünlü polipropilen lifli betonların yüksek sıcaklıklardan sonra ağırlık kaybı

Çizelge 4.12 ve Şekil 4.5’de yünlü polipropilen liflerin yüksek sıcaklıklarda ağırlık kayıpları gösterilmiştir. Buna göre 150°C ve 300°C’da en fazla ağırlık kaybı 1200g polipropilen lifli betona ve en az kayıp ise 300g polipropilen lifli betonda görülmüştür.

450°C sıcaklığında kontrol numuneler en az ve 1200g polipropilen lifli betonlar en fazla ağırlık kaybı belirlenmiştir. 600°C sıcaklıklarında 300g polipropilen lifli beton en az ve 600g polipropilen lifli numuneler en fazla ağırlık kaybı ve 750°C sıcaklıklarında 300g polipropilen lifli beton en az ve 1200g polipropilen lifli numuneler en fazla ağırlık kaybı görülmüştür.

4.3. Polipropilen Liflerin Yüksek Sıcaklık Sonrası Basınç Dayanımına Etkisi

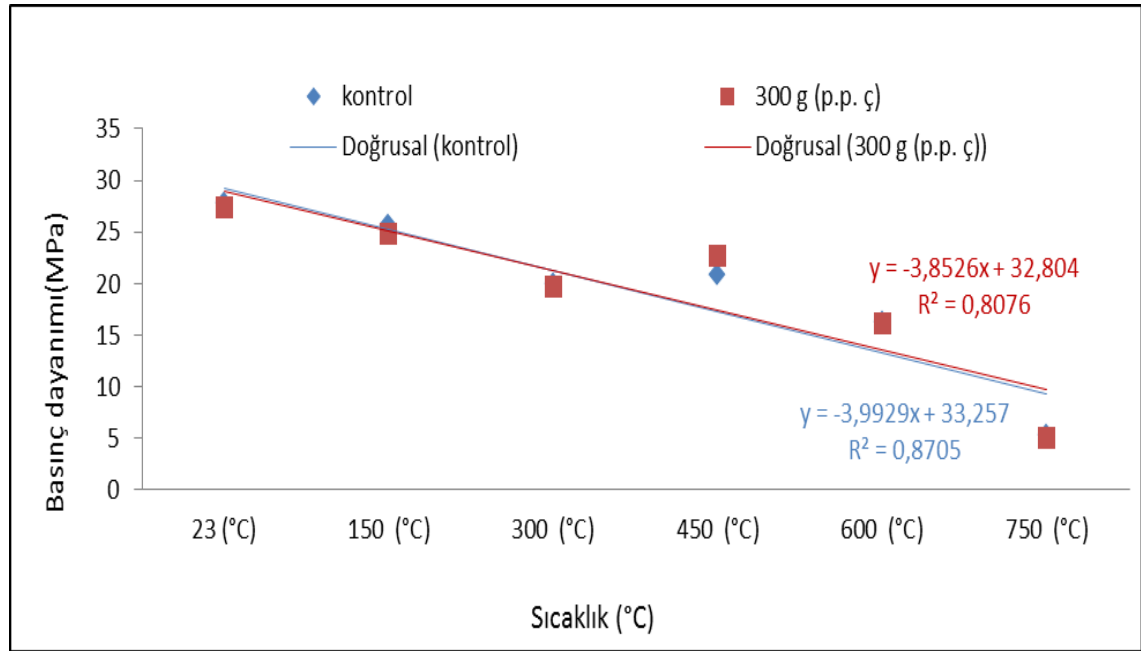
Yöntem kısmında anlatıldığı şekilde standartlara uygun olarak yapılan deneyler ile basınç dayanım belirlenmiştir. Kontrol grubu ve farklı oranlarda lif kullanılarak üretilen lifli beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14’de sunulmuş ve Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.12, Şekil 4.14, Şekil 4.16, Şekil 4.17’de grafik ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. Beton numunelerin yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımları

Basınç Dayanımı (Mpa)										
Sıcaklık	Numune No	Kontrol	Polipropilen Lif (çubuk)				Polipropilen Lif (yünsü)			
			300 gr	600 gr	900 gr	1200 gr	300 gr	600 gr	900 gr	1200 gr
		Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
23°C	1	28,88	26,72	26,95	27,05	26,55	28,33	27,07	28,38	26,26
	2	26,93	26,85	26,72	27,06	28,31	29,86	29,58	18,65	24,55
	3	27,38	28,57	28,60	26,66	26,50	28,66	26,96	22,06	22,74
150°C	1	24,77	26,75	27,05	24,47	25,88	24,27	27,74	23,81	26,54
	2	24,51	21,98	28,26	27,21	24,91	22,87	26,28	20,18	27,85
	3	27,68	25,91	26,14	28,94	28,07	24,60	22,45	23,46	26,47
300°C	1	18,43	22,32	21,63	23,20	25,01	17,14	20,70	17,8	18,52
	2	19,93	20,01	19,59	23,30	24,48	19,00	22,26	17,49	16,29
	3	21,52	16,46	23,92	21,68	20,19	21,05	23,26	15,63	15,24
450°C	1	21,17	20,61	23,34	22,67	23,23	15,22	11,74	19,74	13,40
	2	18,74	24,02	24,28	19,75	20,96	14,43	12,09	18,23	13,36
	3	22,46	23,57	22,68	21,81	20,96	15,46	12,66	19,44	13,18
600°C	1	15,86	16,84	14,98	14,69	15,71	8,79	7,59	7,96	7,70
	2	16,08	16,34	16,47	13,45	11,43	10,54	9,62	8,02	10,17
	3	16,81	15,29	13,22	12,94	14,70	11,00	7,39	10,87	7,72
750°C	1	5,54	4,98	4,39	4,59	5,74	5,53	5,79	4,33	4,77
	2	5,19	5,05	5,69	5,12	6,02	6,01	4,94	4,90	4,57
	3	5,10	5,14	5,87	4,59	5,50	5,51	5,75	5,14	4,85

Çizelge 4.14. Beton numunelerin yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımları

Basınç Dayanımı (Mpa)									
Sıcaklık	Kontrol	Polipropilen Lif (çubuk)				Polipropilen Lif (yünsü)			
		300 gr	600 gr	900 gr	1200 gr	300 gr	600 gr	900 gr	1200 gr
23 (°C)	27,74	27,39	27,43	26,93	27,14	28,97	27,88	23,04	24,53
150 (°C)	25,66	24,89	27,16	26,89	26,30	23,92	25,51	22,5	26,97
300 (°C)	19,97	19,69	21,72	22,75	23,24	19,08	22,09	16,98	16,70
450 (°C)	20,80	22,74	23,44	21,42	21,73	15,04	12,17	19,15	13,32
600 (°C)	16,25	16,16	14,89	13,70	13,95	10,11	8,20	8,95	8,53
750 (°C)	5,27	5,05	5,31	4,77	5,74	5,69	5,49	4,79	4,73

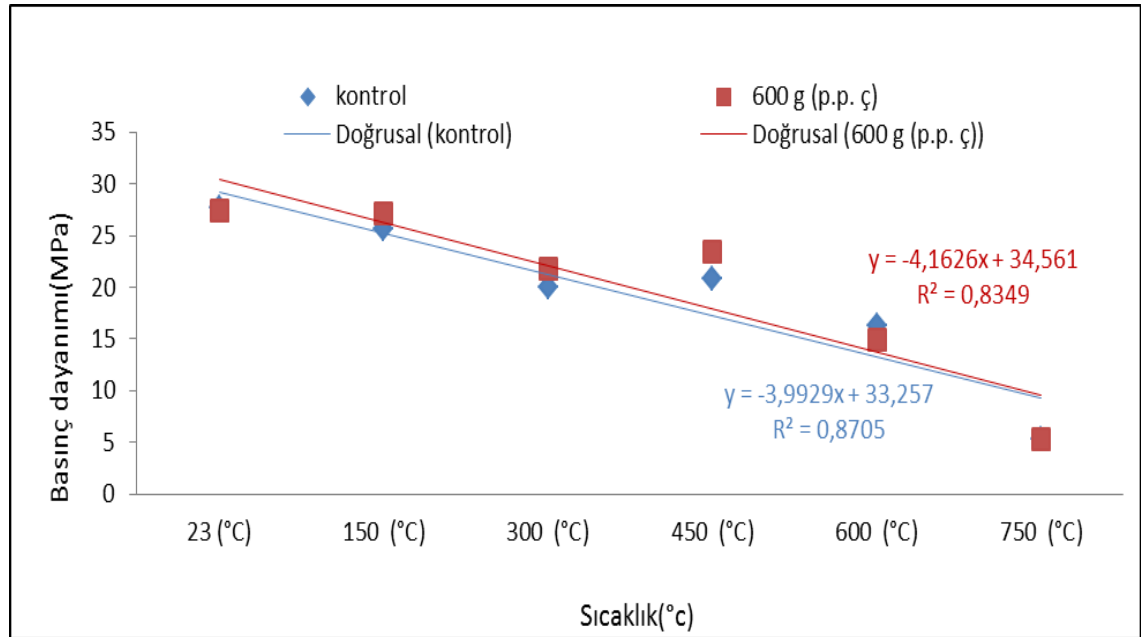
**Şekil 4.6.** Polipropilen çubuk lifli betonların (300g) basınç dayanımı sonuçları

Çizelge 4.14'a göre, 300g polipropilen (çubuk) ilave edilen betonların 150°C, 300°C, 450°C, 600°C, 750°C'de ısıtıldıktan sonra elde edilen basınç dayanımları gösterilmiştir. Basınç dayanımına normal şartlar altında da polipropilen liflerin pek etki etmediği

literatür taramasında gözlenmiştir. Yapılan inceleme sonucu lifli betonların basınç dayanımlarının 450°C hariç kontrol gurubu ile hemen hemen aynı değerlerde olduğu belirlenmiştir. 450°C’de lif katkılı betonların basınç dayanımları kontrol numunesine göre daha fazla çıkmıştır.

Şekil 4.6’da farklı sıcaklık etkilerinden sonra beton numunelerinin basınç dayanımları gösterilmiş ve $y=ax+b$ ile ifade edilen doğrusal eğilim çizgileri ile belirtilmiştir. Grafik incelendiğinde kontrol numunelerine ait R^2 değeri 0,8705 ve 300g polipropilen çubuk lifli betonlar için ise $R^2=0.8076$ olarak elde edilmiştir. Bu değerler numunelerin sonuçları arasında anlamlı bir ilişki kurulduğunu göstermektedir.

Yapılan çalışmalarda polipropilen lifli betonların basınç ve eğilme yükleri altındaki davranışları incelenmiştir. Çalışma sonucunda basınç değerlerinde ise polipropilen lifli numunelerle, kontrol numunelerin çok yakın değerler de olduğu, tespit edilmiştir (Tokyay vd 1991).



Şekil 4.7. Polipropilen çubuk lifli betonların (600g) basınç dayanımı sonuçları

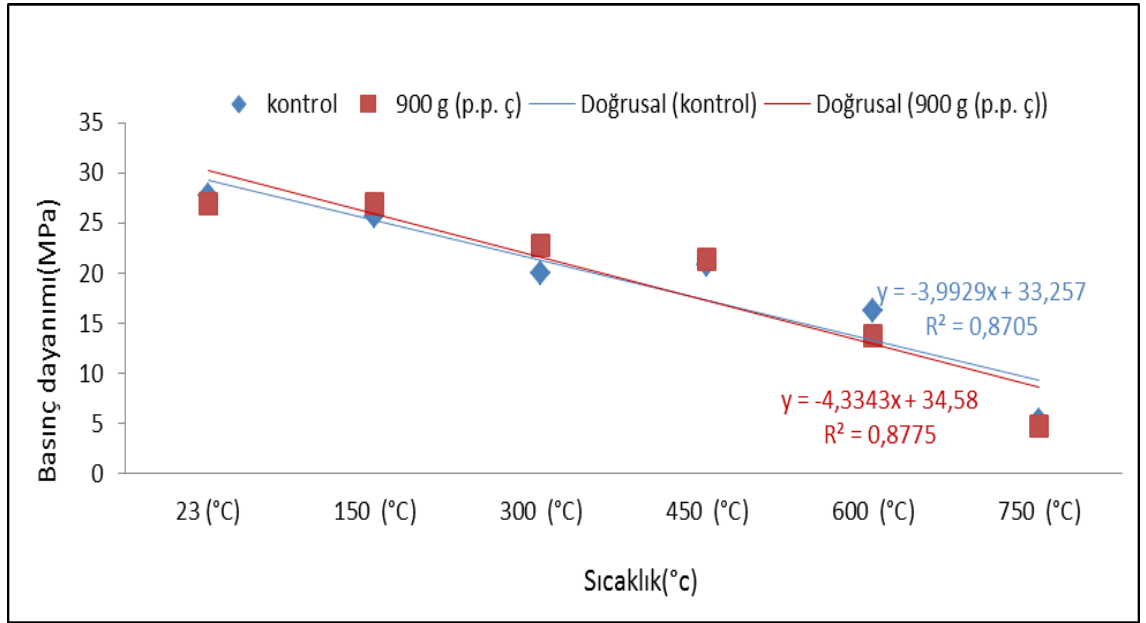
Çizelge 4.14’de, 600g polipropilen (çubuk) ilave edilen betonların yüksek sıcaklıklar sonrası basınç dayanımı sonuçları gösterilmiştir. Oda sıcaklığında lifli ve lifsiz betonlarda yaklaşık olarak aynı değerler tespit edilmiştir. 600°C–750°C hariç polipropilen lifli betonların basınç dayanımları kontrol numunesine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Kontrol numunesine nazaran en iyi sonuç 450°C’de %13 oranında artış ile tespit edilmiştir.

Şekil 4.7’de farklı sıcaklık etkilerinden sonra beton numunelerinin basınç dayanımları gösterilmiş ve $y=ax+b$ ile ifade edilen doğrusal eğilim çizgileri ile belirtilmiştir. Grafik incelendiğinde kontrol numunelerine ait $R^2=0,8705$ ve 600g polipropilen yünsü lifli betonlar için ise $R^2=0.8349$ olarak elde edilmiştir. Bu değerler numunelerin sonuçları arasında anlamlı bir ilişki kurulduğunu göstermektedir.

Yapılan çalışmalarda $1m^3$ betonda 600g ve 900g olacak şekilde polipropilen lif ilave edilmesiyle, deney sonucunda basınç dayanımının %10 arttığı tespit edilmiştir (Uğurlu 1994).



Şekil 4.8. Isıtılmış 600g polipropilen numunelerde 600°C sıcaklık etkisiyle oluşan çatlaklar ve polipropilen çubuk liflerin erimesi (yüklemeden sonra)

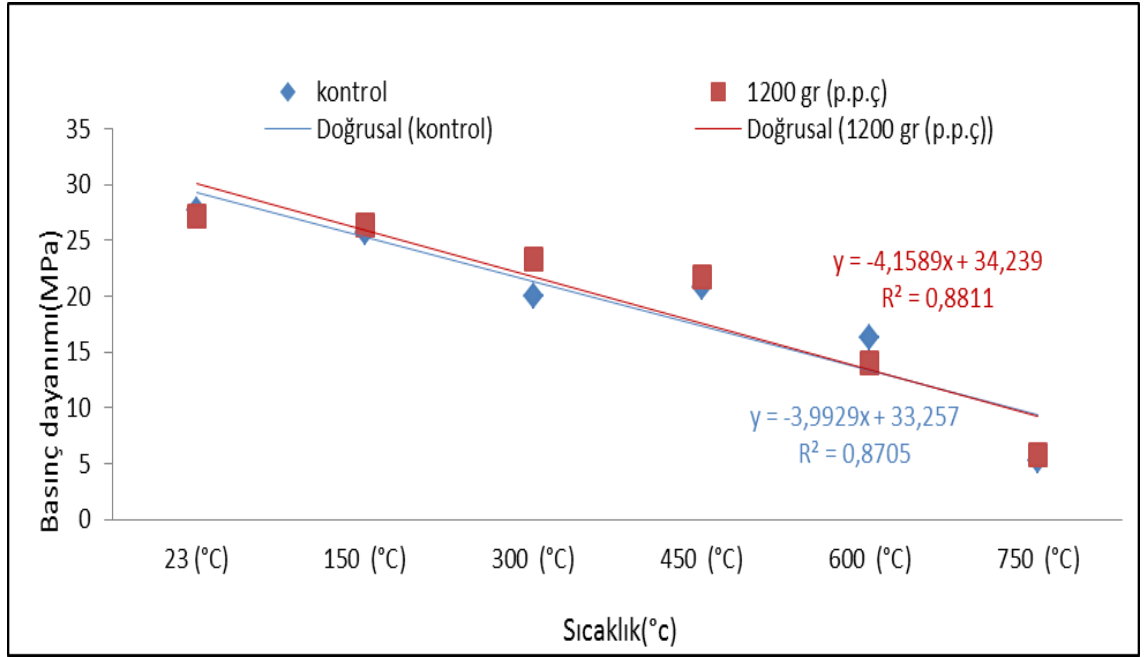


Şekil 4.9. Polipropilen çubuk lifli betonların (900g) basınç dayanımı sonuçları

Çizelge 4.14’de, betona 900g polipropilen (çubuk) lif katılmasıyla elde edilen numunelerin farklı sıcaklıklarda ısıtılması sonrası elde edilen basınç dayanımları gösterilmiştir. 300°C’de ısıtılan yakılan numuneler aynı sıcaklıklarda ısıtılan kontrol numunelerine göre %14 daha iyi sonuç vermişlerdir. 600°C’de kontrol numuneleri lifli numunelere nazaran daha iyi sonuç vermişlerdir.

Şekil 4.9’da farklı sıcaklık etkilerinden sonra beton numunelerinin basınç dayanımları gösterilmiş ve $y=ax+b$ ile ifade edilen doğrusal eğilim çizgileri ile belirtilmiştir. Grafik incelendiğinde kontrol numunelerine ait $R^2=0,8705$ ve 900g polipropilen çubuk lifli betonlar için ise $R^2=0,8775$ olarak elde edilmiştir. Bu değerler numunelerin sonuçları arasında anlamlı bir ilişki kurulduğunu göstermektedir.

Habibi (2008) tarafından yapılan çalışmada, beton basınç dayanımı ve yangın direnci altında polipropilen liflerin etkileri incelenmiştir. Deney sonucunda polipropilen lif katkılı numunelerin kontrol numunelerine göre daha iyi ısı direnci gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.10. Polipropilen çubuk lifli betonların (1200g) basınç dayanımı sonuçları

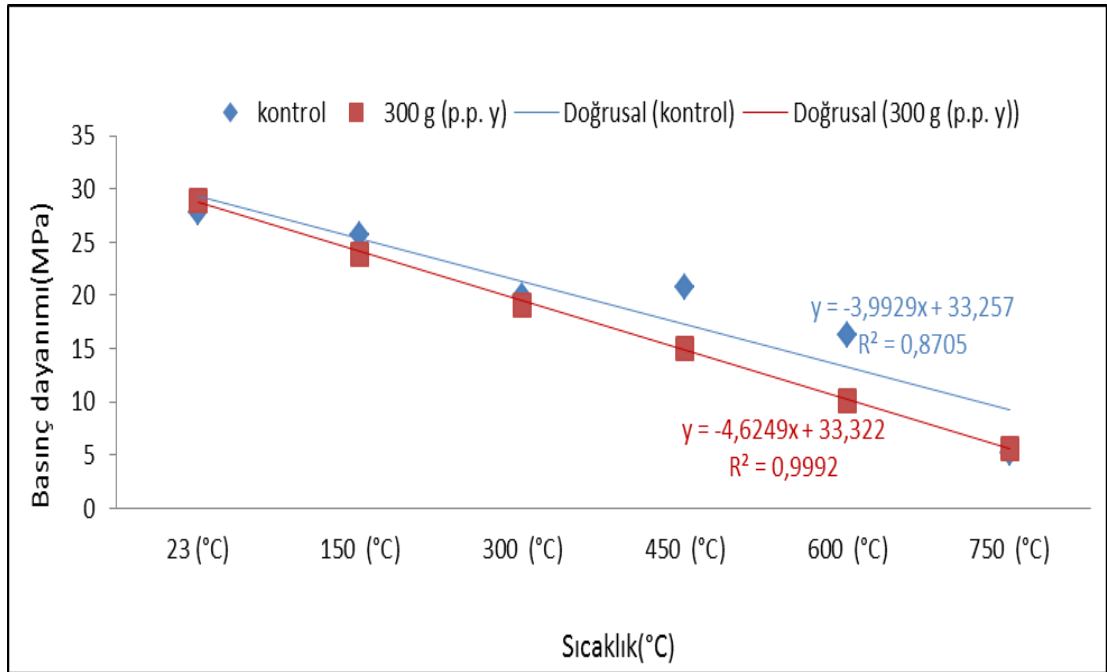
Çizelge 4.14’de, betona 1200g polipropilen lif (çubuk) katılmasıyla elde edilen numunelerin yüksek sıcaklıklarda yakılması sonrası, basınç dayanımları gösterilmiştir. 300°C’de yakılan numuneler kontrol numunelere nazaran %16 daha yüksek basınç dayanımları belirlenmiştir.

Şekil 4.10’da farklı sıcaklık etkilerinden sonra beton numunelerinin basınç dayanımları gösterilmiş ve $y=ax+b$ ile ifade edilen doğrusal eğilim çizgileri ile belirtilmiştir. Grafik incelendiğinde kontrol numunelerine ait R^2 değeri 0,8705 ve 1200g polipropilen çubuk lifli betonlar için ise $R^2=0.8811$ olarak elde edilmiştir. Bu değerler numunelerin sonuçları arasında anlamlı bir ilişki kurulduğunu göstermektedir.

Song *et al.* (2005) yaptıkları çalışmada betona polipropilen lif ilave edip özelliklerini incelemişlerdir. Polipropilen lif ilavesiyle çökme değerinin azaldığı, basınç, darbe, yarmada çekme dayanımının ise arttığı sonucuna varmışlardır.



Şekil 4.11. Isıtılmış 1200g polipropilen numunelerde 600°C sıcaklık etkisiyle oluşan çatlaklar ve polipropilen çubuk liflerin erimesi (yüklemeden önce)



Şekil 4.12. Polipropilen yünsü lifli betonların (300g) basınç dayanımı sonuçları

Çizelge 4.14’de, betona 300g polipropilen (yünsü) lif katılmasıyla elde edilen numunelerin yüksek sıcaklıklarda yakılması sonrası, basınç dayanımları gösterilmiştir.

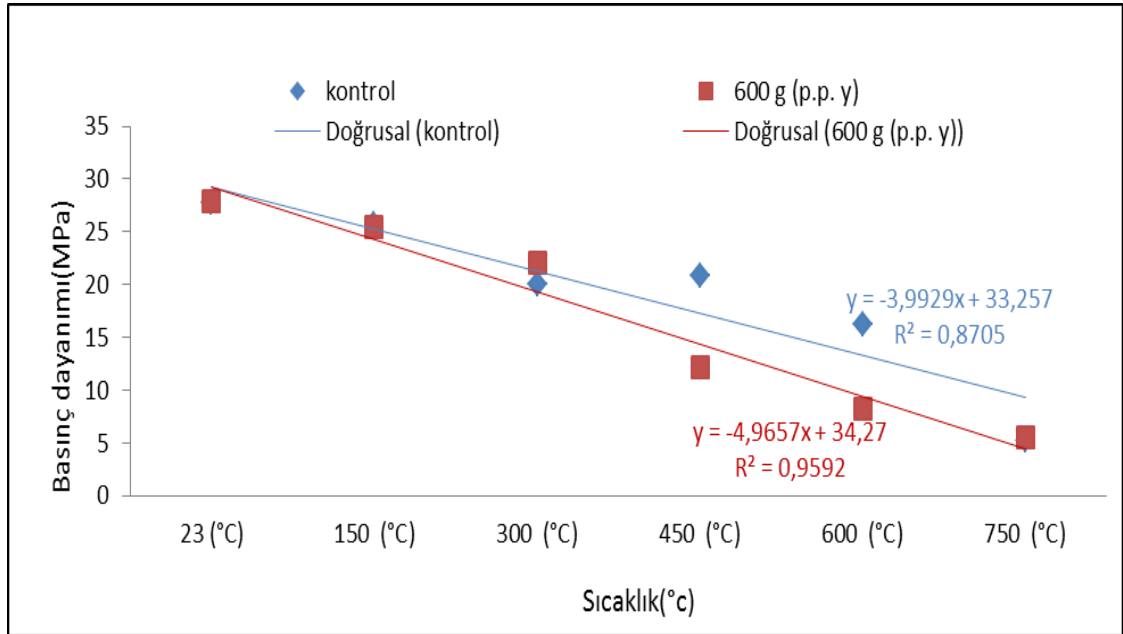
Grafikte de belirtildiği gibi lifli numunelerin basınç dayanımları kontrol numunelerine nazaran daha düşük sonuçlar vermiştir.

Şekil 4.12’de farklı sıcaklık etkilerinden sonra beton numunelerinin basınç dayanımları gösterilmiş ve $y=ax+b$ ile ifade edilen doğrusal eğilim çizgileri ile belirtilmiştir. Grafik incelendiğinde kontrol numunelerine ait $R^2=0,8705$ ve 300g polipropilen yünsü lifli betonlar için ise $R^2=0.9992$ olarak elde edilmiştir. Bu değerler numunelerin sonuçları arasında anlamlı bir ilişki kurulduğunu göstermektedir.

Aulia (2002) tarafından yapılan çalışmada %0,2 (hacimce) polipropilen lif kullanılmıştır. Yangın deneyine tabi tutularak, yangın direnci ölçmüş ve artış gözlemlendiğini belirtmiştir. Liflerin basınç dayanımına pek bir etki yapmadığını ancak rötrenin önüne geçtiğini tespit etmiştir.



Şekil 4.13. Isıtılmış 300g polipropilen numunelerde 750°C sıcaklık etkisiyle oluşan çatlaklar (yüklemeden önce ve sonra)



Şekil 4.14. Polipropilen yünsü lifli betonların (600g) basınç dayanımı sonuçları

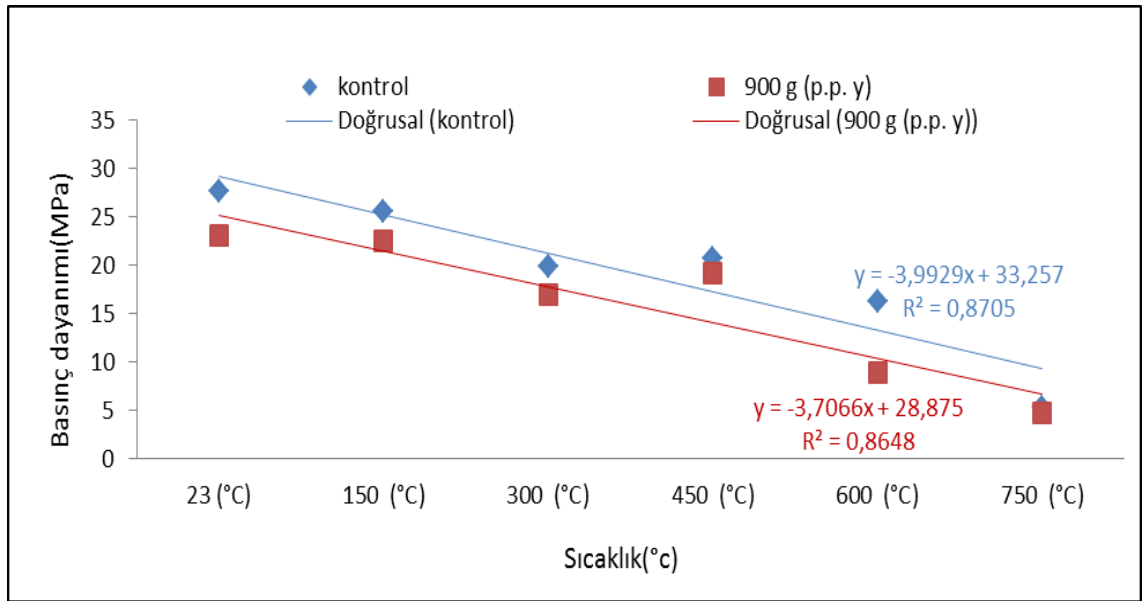
Çizelge 4.14’de, betona 600g polipropilen (yünsü) lif katılmasıyla elde edilen numunelerin yüksek sıcaklıklarda ısıtılması sonrası, basınç dayanımları gösterilmiştir. Grafikte de belirtildiği gibi 300°C’de %11 artış görülmesine rağmen diğer sıcaklık değerlerinde daha düşük sonuçlar elde edilmiştir.

Şekil 4.14’da farklı sıcaklık etkilerinden sonra beton numunelerinin basınç dayanımları gösterilmiş ve $y=ax+b$ ile ifade edilen doğrusal eğilim çizgileri ile belirtilmiştir. Grafik incelendiğinde kontrol numunelerine ait R^2 değeri 0,8705 ve 600g polipropilen yünsü lifli betonlar için ise $R^2=0.9592$ olarak elde edilmiştir. Bu değerler numunelerin sonuçları arasında anlamlı bir ilişki kurulduğunu göstermektedir.

Yapılan çalışmalarda betona uçucu kül, polipropilen ve çelik lif katılması sonucu numunelerin bazı özellikleri belirlenmek istenmiştir. Basınç dayanımında polipropilen liflerin pek etki etmediği belirtilmiştir (Karahan 2006).



Şekil 4.15. Isıtılmış 600g polipropilen numunelerde 750°C sıcaklık etkisiyle oluşan çatlaklar (yüklemeden önce ve sonra)

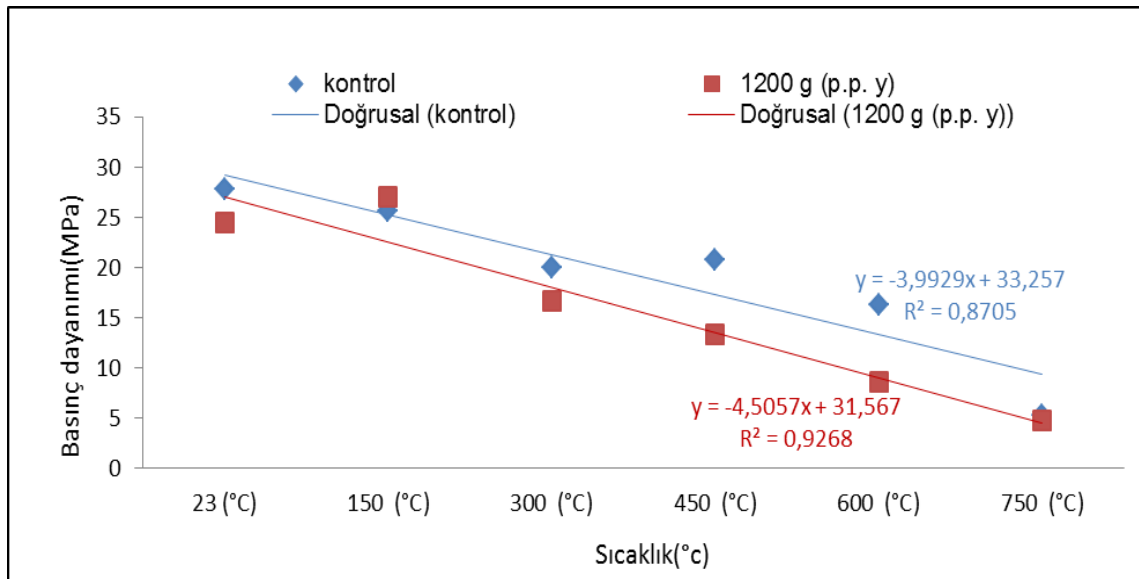


Şekil 4.16. Polipropilen yün lifli betonların (900g) basınç dayanımı sonuçları

Çizelge 4.14’de, betona 900g polipropilen (yünsü) lif katılmasıyla elde edilen numunelerin yüksek sıcaklıklarda ısıtılması sonrası basınç dayanımları gösterilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi lifli numunelerin basınç dayanımları kontrol numunelerine nazaran daha düşük sonuçlar vermiştir.

Şekil 4.16’da farklı sıcaklık etkilerinden sonra beton numunelerinin basınç dayanımları gösterilmiş ve $y=ax+b$ ile ifade edilen doğrusal eğilim çizgileri ile belirtilmiştir. Grafik incelendiğinde kontrol numunelerine ait $R^2=0,8705$ ve 900g polipropilen yünsü lifli betonlar için ise $R^2=0.8648$ olarak elde edilmiştir. Bu değerler numunelerin sonuçları arasında anlamlı bir ilişki kurulduğunu göstermektedir.

Yapılan çalışmalarda polipropilen lifli betonlarda, polipropilenin etkisini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre elektrik direnci ve basınç dayanımlarının lif ilavesiyle düştüğü gözlenmiştir (Saeid and Kakooei 2012).



Şekil 4.17. Polipropilen yünsü lifli betonların (1200g) basınç dayanımı sonuçları

Çizelge 4.14’de betona 1200g polipropilen (yünsü) lif katılmasıyla elde edilen numunelerin yüksek sıcaklıklarda ısıtılması sonrası, basınç dayanımları gösterilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi 150°C’de %5 daha yüksek değer belirlenmesine rağmen diğer sıcaklıklarda daha düşük sonuçlar elde edilmiştir.

Şekil 4.17’de farklı sıcaklık etkilerinden sonra beton numunelerinin basınç dayanımları gösterilmiş ve $y=ax+b$ ile ifade edilen doğrusal eğilim çizgileri ile belirtilmiştir. Grafik

incelendiğinde kontrol numunelerine ait $R^2=0,8705$ ve 1200g polipropilen yünsü lifli betonlar için ise $R^2=0.9268$ olarak elde edilmiştir. Bu değerler numunelerin sonuçları arasında anlamlı bir ilişki kurulduğunu göstermektedir.

Yapılan çalışmalarda, 19 mm uzunluğunda %0-%0,1-%0,5 oranlarında hacimce polipropilen lif ilave edilerek güçlendirilmiş plakların özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre lif miktarının artışı ile ters orantılı olacak şekilde basınç dayanımına etkisi belirlenmiştir (Morris *et al.* 2002).



Şekil 4.18. Isıtılmış 1200g polipropilen numunelerde 750°C sıcaklık etkisiyle oluşan çatlaklar (yüklemeden önce ve sonra)

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan çalışmanın asıl amacı, farklı oranlarda betona ilave edilen polipropilen (yünsü ve çubuk) liflerin, taze beton özellikleri ve yüksek sıcaklık etkilerinden sonra basınç dayanımları incelenmesidir. Bu nedenle, sırasıyla betonlara belli oranlarda çubuk ve yünsü polipropilen lif katılarak deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

1. Polipropilen çubuk liflerin işlenebilirliği fazla etkilemediği tespit edilmiştir. Buna göre polipropilen lifin pompa betonun da kullanılmasının uygun olabileceği düşünülmektedir. Fakat yünsü polipropilen lifler işlenebilirliği olumsuz yönde etkilemişlerdir. Kontrol numunelerine göre 1200g yünsü polipropilen katkılı numunelerde %31 oranında çökme azalması tespit edilmiştir.
2. Polipropilen liflerin basınç dayanımını fazla etkilemediği bunun yanı sıra 1200g polipropilen katkılı numunelerde olumsuz yönde etki yaptığı gözlenmiştir.
3. Basınç dayanımında en yüksek değer 300g yünsü polipropilen katkılı numunelerde tespit edilmiştir. Bu grup için dayanım artışı kontrol gurubuna göre %8 olarak belirlenmiştir.
4. Yüksek sıcaklık etkilerinden sonra basınç dayanımında çubuk polipropilen lifler yünsü polipropilen liflere göre daha iyi sonuçlar göstermiştir.
5. Sıcaklıklar ele alındığının da 150°C'de 600g çubuk polipropilen lif katkılı numunelerde 27,16 MPa ile en yüksek sonuç elde edilmiştir. 300°C'de en yüksek sonuç 23,24 MPa ile 1200g çubuk polipropilen lif katkılı numunelerde elde edilmiştir. 450°C'de 23,44 MPa ile 600g çubuk polipropilen lif katkılı numunelerde en yüksek dayanım tespit edilmiştir. 600°C'de 16,25 MPa ile kontrol numunelerinde en iyi sonuç

elde edilirken, 750°C’de 5,27MPa ile kontrol numunelerinde yüksek dayanım elde edilmiştir.

6. Veriler göstermiştir ki her iki lif grubu için 600°C’den sonra lifsiz numuneler daha iyi sonuç vermiştir. Bunun nedeni olarak 500°C’den yüksek sıcaklıklarda polipropilen liflerin erimesiyle betonun patlamasına engel olmasının yanı sıra, boşluklu bir ortam oluşumuna sebep olması düşünülebilir.

KAYNAKLAR

- ACI 544.3R.,1998,Guide for Specifying Mixing ,Placing and Finishing Fiber Reinforced Concrete, ACI Manual of Concrete Practice.Michigan, American Concrete Institute.
- ACI Committe 544,4R-88, 1988. Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete. ACI Structural Journal, Committe Report, USA.
- ACI-44.1R , 1988, State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete, ACI Manual of Concrete Practice. Michigan: American Concrete Institute.
- Acun, S., 2000. Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Dizayn Parametresi Olarak Lifsel Katkıların İrdelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 153s.
- Akkaş, A., Alpaslan, L., ArabacıI, S., Başıyigit, C., 2010. Polipropilen Lif Katkılı Yarı Hafif Betonların Basınç Dayanım Özellikleri,
- Alonso C, Andrade C, González J. ,1988.Relation between resistivity and corrosion rate of reinforcements in carbonated mortar made with several cement types. Cem Concr Res,687–98.
- American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association, 2006. Concrete ties, Arema manual for Railway Engineering Part 4. Derekwood Lane, Suite 210, American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association.
- Angst U, Elsener B, Larsen CK, 2009,Vennesland, Critical chloride content in reinforced concrete – a review. Cem Concr Res;39:1122–38.Ankara, 741s.
- Ardeshana A.L., 2012, Durability of Fiber Reinforced Concrete of Marine Structures, International Journal of Engineering Research and Applications, Gujarat, India, Vol. 2, Issue 4, pp.215-219.
- Arslan, A., Aydın, A., 1999. Lifli Betonların Darbe Etkisi Altında Genel Özellikleri, Beksa Lifli Beton Semineri, Sabancı Center, İstanbul.
- ASTM C131. , 2004. Standard test method for resistance to degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles Machine, Barr Harbor, American Society for Testing and Materials.
- ASTM C289 , 2004. Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method), Barr Harbor: American Society for Testing and Materials.
- ASTM C33 / C33M - 11, 1991. Standard Specification for Concrete Aggregates, 2011.
- Ataman, R.,1991. Beton Yapıların Yangın Dayanımlarının İncelenmesi. Y.Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Ateş, A., 2008, Çelik Lif Donatılı Betonlar, Kırıkkale Fen Bşlşmlerş Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi, Kırıkkale.
- Aulia, T.B., 2002. Effects of Polypropylene Fibers on the Properties of High Strength
- Aveldano R, Ortega N., 2010. Characterization of concrete cracking due to corrosion of reinforcements in different environments.
- Aydın,F., 2008. <http://www.yapi-inaat.com/rotre.html>.(18.1.2013)
- Bahadır, F., 2010. Polipropilen Lifli Betonların Mekanik Özellikleri, Eskişehir, Y. Lisans Tezi.

- Banthia N, Gupta R. ,2006, Influence of polypropylene fiber geometry on plastic shrinkage cracking in concrete. *Cem Concr Res*,36:1263–7.
- Banthia, N., Nandakumar, N., 2003, Crack Groth Resistance of Hybrid Fiber Reinforced Cement Composites. *Cement and Concrete Composites*.
- Bazant Z, Kazemi M.,1990, Size effect in fracture of ceramics and its use to determine fracture energy and effective process zone length. *J Am Ceram Soc*;73:1841–53.
- Bingöl, A.F., Gül, R., 2004. Pomza İle Üretilen Hafif Betonların Yangına Karşı Dayanımı. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Can, Ö, 2009. lif Katkılı Betonların Aşınma Direnci Üzerindeki Etkileri, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Yapı Eğitimi Bölümü, Ankara, Türkiye.
- Can, Ö., Durmuş, G., Subaşı, S., Yıldız, K., Arslan, M. , 2009. Lif Katkılı Betonların Aşınma Direnci Üzerindeki Etkileri, Karabük.
- Chan, S.Y.N., Luo, X. and Sun, W., 2000. Effect of high temperature and cooling regimes on the compressive strength and pore properties of high performance concrete. *Construction and Building Materials*, 14, 261-266.
- Chan, Y. N., Peng, G. F. and Anson, M., 1999. Residual strength and pore structure of high-strength concrete and normal strength concrete after exposure to high temperatures. *Cement and Concrete Composites*, 21, 23-27.
- Chan, Y.N., Luo, X. and Sun, W., 2000. The Compressive strength and pore structure of high-performance concrete after exposure to high temperature up to 800°C. *Cement and Concrete Research*, 30, 247-251.
- Chandramouli K, Rao P, Pannirselvam N, Sekhar T., 2010, Long term durability studies on glass fibre reinforced concrete using rapid chloride permeability test. *Int J Appl Eng Res*,5:557–64.
- Custaferra J., 1971, Deterioration of concrete due to reinforcement steel corrosion. *Cem Concr Compos*,18:47–59.
- Çakıroğlu, M. A., Kasap, S., Erenoğlu, E., 2011, Betona Değişik Geometrik Formlarda Çelik Lif Eklenmesinin Basınç Dayanımına Etkisi, ElazığDayanıklılığına Etkisi.
- DIN EN 13230-2., 2003. EN-Railway applications - Track - Concrete sleepers and bearers - Part 2: Prestressed monoblock sleepers . Deutsches Institut für Normung.
- Düğenci, O., 2008. Çelik Lifli Betonların Bazı Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklık Etkisinin Deneysel Araştırılması, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 153s.
- Erdoğan, T.Y., 1995. Beton Karışım ve Beton Suları. Türkiye Hazır Beton Birliği, S 1,3,9,12, İstanbul.
- Erdoğan, T.Y., 2003. Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş.
- Eren, Ö., Çelik, T., 1997. Effect of Silica Fume and Steel Fibers on Some Properties of High-Strength Concrete. *Construction and Building Materials*, 11:373-382.
- Felekoğlu, B., 2003. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Ferreira RM, 2010. NDT measurements for the prediction of 28-day compressive strength. *NDT & E Int*;43:55–61.
- Gustaferro, A.H., Abrams, M.S. and Litvin, A., 1971. Fire Resistance of Lightweight Insulating Concrete. *Lightweight Concrete*, ACI Publication SP29, 161-180.

- Gümüştaş, 2010. <http://www.sarbeton.com.tr/?detay=urunlerimiz/urun&icdetay=lifli-beton>. (17.1.2013)
- Gündeşli, U., 2008. Uçucu Kül, Silis Dumanı ve Yüksek Fırın Cürufunun Beton ve Çimento Katkısı Olarak Kullanımı Üzerine Bir Kaynak Taraması. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- Gürol G., 1999. Ekonomik beton için beton bileşenleri çimento/su/ince ve kaba agrega/kimyasal ve mineral katkıları, Dizayn ve Konstrüksiyon Dergisi, 164
- Habibi S. , 2008. Polipropilen Liflerin Etkisi Yüksek Sıcaklıklarda Betonun Dayanımına Nedir, University of AZAD , Tehran, İran.
- Han C, Hwang Y, Yang S, Gowripalan N., 2005. Performance of spalling resistance of high performance concrete with polypropylene fiber contents and lateral confinement. *Cem Concr Res*,35:1747–53.
- Hau and Zhou , 2009. Application study of polypropylene fiber reinforced concrete railway tunnel lining structure within hard rock mass using wet-sprayed technique, *Trans Tech Publications*, Vol. 22 No.1, pp.76-80.
- Houst, Y.F., Maeder, U., Flatt, R.J., Widmer, J., Bowen P., Hoffmann, H., Sulser, U. and Buerge, T.A., 1999. New Superplasticizers From Research to Application, Creating With Concrete, International Conf. on Modern Concrete Materials Binders, additives and admixtures, 445-456, Scotland.
- Jaffer SJ, Hansson C., 2009. Chloride-induced corrosion products of steel in cracked concrete subjected to different loading conditions. *Cem Concr Res*; 39:116–25.
- Jun Z, Guang-hui L, Ying Z., 2010. Study on mechanical properties of polypropylene fiber reinforced fine aggregate concrete under action of freeze–thaw. *Concrete*.
- Karahan, O., 2006, Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu küllü Betonların Özellikleri, Adana, Doktora Tezi.
- Kırca, Ö., Şahin, M., 2003. Polipropilen Lif Kullanımının Beyaz Beton Dayanıklılığına Etkisi. 5. Ulusal Beton Kongresi, Betonun Dayanıklılığı, İstanbul, s.375-382.
- Kiper O, 1996. Some characteristics of high strength fiberreinforced lightweight aggregate concrete. *Cem Concr Compos*;25:207–13.
- Kurtz S. and Balaguru P., 2000. Postcrack creep of polymeric fiber-reinforced concrete in flexure, *Journal of Cement and Concrete Research*, Elsevier Science, Vol. 22, No.1, pp. 183-190.
- Kutzing, L., 1996. Influence of Fibres on the Improving of Ductility of High Performance Concrete (HPC). *LACER* No.1.
- Morris W, Vico A, Vazquez M, 2002. De Sánchez S. Corrosion of reinforcing steel evaluated by means of concrete resistivity measurements. *Corros Sci*;44:81–99.
- Mostofinejad D. 2004, Polipropilen Liflerin Etkisi Betonun Rötire Çatlaklarında ve İşlenebilirliğinde, İsfahan inşaat Mühendislik Fakültesi, İsfahan, İran.
- Naaman A, Wongtanakitcharoen T, Hauser G., 2005. Influence of different fibers on plastic shrinkage cracking of concrete. *ACI Mater J*:102.
- Naaman A., 2008. High performance fiber reinforced cement composites. *Highperformance construction materials*. *Sci Appl*:91–153.
- Nagarkar P, Tambe S, Pazare D., 1987. Study of fibre reinforced concrete. *Sci Appl*: 17–53.

- Natajara, M.C., Dhang, N., Gupta, A.P., 1999, Variations in Impact Resistance of Steel Reinforced Concrete Subjected to Drop Weight. *Cement and Concrete Research* 989-995.
- Nili, M., Afroughsabet, V., 2010, Combined Effect of Silica Fume and Steel Fibers on the Impact Resistance and Mechanical Properties of Concrete. *International Journal of Impact Engineering*, 879-886.
- Nili, M., Afroughsabet, V., 2010, The Effects of Silica Fume and Polypropylene Fibers on the Impact Resistance and Mechanical Properties of Concrete. *Construction and Building Materials*, 927-933.
- Pelisser F, Neto A, Rovere H, Pinto R., 2010. Prediction of time dependent chloride transport in concrete structures exposed to a marine environment. *Constr Build Mater*.
- Peng Z, Qing-fu L., 2008. Experiment and study on tensile strength of polypropylene fiber reinforced cement stabilized macadam.
- Phan S. and Carino M., 1998. Effect of the addition of synthetic fibers to concrete thin slabs on plastic shrinkage cracking.
- Poon, C.S., Anson, M. and Wong, Y.L., 2001. Comparison of the strength and durability performance of normal- and high-strength pozzolanic concretes at elevated temperatures. *Cement and Concrete Research*, 31, 1291-1300.
- Poon, C.S., Shui, Z.H. and Lam, L., 2004. Compressive behavior of fiber reinforced high-performance concrete subjected to elevated temperatures. *Cement and Concrete Research*, 34, 2215-2222.
- Postacıoğlu, B., 1987. Beton, (Bağlayıcı Maddeler, Agregalar ve Beton). 177-402, İstanbul. Laboratory, USA.
- R. Brown, A. Shukla and K.R. Natarajan, 2002. Fiber Reinforcement of Concrete Structures, University of Rhode Island.
- Ramadevi. K., Azhar, S., Jalali S., 2012. Flexural Behavior of Hybrid (Steel-Polypropylene) Fibre Reinforced Concrete Beams, *European Journal of Scientific Research*, Tamilnadu, India, ISSN 1450-216X Vol.70 No.1, pp. 81-87
- Roshavelov, T., 2002. Concrete Mixture Proportioning Based on Rheological Approach, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete.
- Saeed A., 2006, Electrical resistivity measurements for quality control during concrete construction. *ACI Mater J* 2008:105.
- Saeed A., 1996. A Study on Properties of Polypropylene Fiber. *ACI Mater K* 2005:75.
- Sağlık, A., Kocabeyler, M.F., 1998. Polipropilen Lifle Güçlendirilmiş Betonların Performans Özellikleri. *Beton-Çimento ve Boya Sempozyumu*, Ankara.
- Shah S., Swartz S., Ouyang C., 1995. Fracture mechanics of concrete: applications of fracture mechanics to concrete, rock and other quasi-brittle materials. Wiley-Interscience.
- Shah, S.P., Batson, G.P., 1987. Fiber Reinforced Concrete Properties and Applications, Michigan : American Concrete Institute.
- Shannag, M.J., Brincker, R. and Hansen, W., 1997. Pullout behavior of steel fibers from cement-based composites. *Cement and Concrete Research*, 27 (6), 925-936.
- Shoemaker C, Quiroga P, Whitney D, Jirsa J, 2004. Wheat H, Fowler D. Detailed evaluation of performance FRP wrapped columns and beams in a corrosive environment.

- Song P, Hwang S, Sheu B., 2005. Strength properties of nylon-and polypropylenefiber-reinforced concretes. *Cem Concr Res*;35:1546–50.
- Song, P.S., Hwang, S., 2004. Mechanical Properties of High-Strength Steel Fiber-Reinforced Concrete. *Construction and Building Materials*, 18:669 - 673. Strength Concretes. *Lacer No.7*:43-59.
- Subaşı, S. ve Emiroğlu, M., 2008. Lif Kullanılan Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda İşlenebilirlik ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki Analizi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bil. Dergisi*, 20(3), 527-539, Elazığ.
- Şimşek, O., 2004. Beton ve Beton Teknolojisi. Seçkin Yayıncılık, Ankara, 247s.
- Tokay, M., Ramyar, K., Turanlı, L., 1991. Polipropilen ve Çelik Lifli Yüksek Dayanımlı Betonların Basınç ve Çekme Yükleri Altındaki Davranışları. 2. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, s.303-311.
- Topçu B, Canbaz M., 2007. Effect of different fibers on the mechanical properties of concrete containing fly ash. *Constr Build Mater*;21:1486–91.
- Tou R, Anson G., 2006. A method for the rapid determination of the coefficient of permeability of the “covercrete”. In: International symposium non-destructive testing in civil engineering (NDT-CE), Berlin, Germany.
- TS 10513, 1992. Çelik Teller-Beton Takviyesinde Kullanılan. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS 10514, 1992. Beton-Çelik Tel Takviyeli-Çelik Telleri Betona Karıştırma ve Kontrol Kuralları. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS 10515, 1992. Beton-Çelik Tel Takviyeli-Eğilme Mukavemeti Deney Metodu. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3529, 1980. Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS 706 EN 12620, 2003. Beton Agregaları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-6, 2002. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler -. Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-3, 2003. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- Uğurlu, A., 1994. Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton. DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Dairesi Başkanlığı, Yayın No: MLZ-878, Ankara, 175s.
- Uygunoğlu T., Ünal, O., Gençel, O., 2006. Çelik Liflerin Beton Basınç ve Eğilme Özelliklerine Etkisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, s.23-30.
- Ünal. O., 1994. Isıl İşlem Uygulamasının Lifli Beton Özelliklerine Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 129s.
- Wang H., Belarbi A., 2010. Static and fatigue bond characteristics of FRP rebars embedded in fiber-reinforced concrete. *J Compos Mater*;44:1605.
- Won J, Park C, Lee S, Jang C, Won C., 2008. Effect of crimped synthetic fibre surface treatments on plastic shrinkage cracking of cement-based composites. *Mag Concr Res*;60:421–8.
- Xiao, J. and Falkner, H., 2006. On residual strength of high-performance concrete with and without polypropylene fibres at elevated temperatures. *Fire Safety Journal*, 41, pp 115-121.

- Yao, A., 2000. Flexural strength and behavior of polypropylene fiber reinforced concrete beams, *Journal of Wuhan University of Technology -Mater. Sci. Ed.*, pp.251-260.
- Yazıcı, Ş., Sezer, G., 2008, Çelik Lifli Betonların Darbe Direncine Agrega Maksimum Boyutunun Etkisi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, s 237.
- Yerlikaya, M., 2003. Çelik Tel Donatılı Betonların Deprem Etkisi Altında Davranışları. *Kocaeli Deprem Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, s.302-304.
- Yıldırım, S.T., 2002. Lif Takviyeli Betonların Performans Özelliklerinin Araştırılması. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Elazığ, 193s.
- Yıldız, E., 2006.Farklı Tipteki Puzolanların Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Zeiml M, Leithner D, Lackner R, Mang H., 2006. How do polypropylene fibers improve the spalling behavior of in situ concrete? *Cem Concr Res*;36:929–42.
- Zeynal, E., 2008, Çelik lif ve s/ç oranlarının Çelik Lifli Betonların Darbe Mukavemetine Mekanik Özelliklerine etkisi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Zhang J, Qiao G, Hu S, Yan Y, Ren Z, Yu L., 2010.Theoretical evaluation of corrosion inhibition performance of imidazoline compounds with different hydrophilic groups. *Corros Sci*;53:147–52.
- Zhang L, Wang X, Zheng G., 2009. Effect of polypropylene fibers on the strength and elastic modulus of soil-cement. *Geosynthetics Civil Environ Eng*;386–91.
- Zhong and Yao, 2007. Effect of polypropylene fibers on the long-term tensile strength of concrete, *Journal of Wuhan University of Technology- Mater. Sci. Ed.*, Vol. 22 No.1, pp 62-73.

ÖZGEÇMİŞ

Majid ATASHAFRAZEH, 1980 yılında İran/Tebriz’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Tebriz’de tamamladı. 1999 yılında yüksek öğrenimine başladığı Tebriz Azad Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Programını 2003 yılında tamamladı.

2003-2008 arasında İran’da farklı şirketlerde ve farklı görevlerde çalıştı ve inşaat sektöründe tecrübelerine sahip oldu. 2008 yılında Tebriz’de kendi şirketini açtı ve çalışma hayatına devam etti. Halen bu şirketin CEO'su olarak görevini devam ettirmektedir.

İyi derecede Farsça, İngilizce ve Türkçe bilmektedir. AUTO CAD, SAP, SAFE, ETABS, ABAQUS, MS PROJECT ve PRIMAVERA bilgisayar programlarını kullanabilmektedir.