T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİPROPİLEN LİFLİ BETONLARIN YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİ ALTINDA BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Tezi Hazırlayan
Tamer DİRİKGİL

Tezi Yöneten
Doç. Dr. Fatih ALTUN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Temmuz 2009
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİPROPİLEN LİFLİ BETONLARIN YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİ ALTINDA BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Tezi Hazırlayan
Tamer DİRİKGİL

Tezi Yöneten
Doç. Dr. Fatih ALTUN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Bu çalışma FBY-471 araştırma projesi koduyla Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

Temmuz 2009
KAYSERİ

Doç. Dr. Fatih ALTUN danışmanlığında Tamer DİRİKGİL tarafından hazırlanan **"Polipropilen Lifli Betonların Yüksek Sıcaklık Etkisi Altında Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Deneysel Araştırılması"** adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

/ / 2009

JÜRİ:

Başkan:

Üye:

Üye:

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun …….. tarih ve …….. sayılı kararı ile onaylanmıştır.

…../……/ 2009

Prof. Dr. Nusret AYYILDIZ
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Tez araştırmalarımın gerçekleştirilmesinde bana yön vererek çalışmalarımı takip eden, yardım ve bilgi konusunda bana her türlü desteği sağlayan, büyük bir anlayış ve sabır gösteren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Fatih ALTUN' a içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel bulguların işlenmesinde kendi yazdığı yazılımları kullanmama ve çalışmalarımda bölüm laboratuarlarının imkanlarını kullanmama izin vererek desteğini esirgemeyen İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR'a ayrıca çok teşekkür ederim.

FBY-471 no' lu bu yüksek lisans tezi kapsamında gerçekleştirilen külfetli çalışmalarda gerekli maddi desteğin kolaylıkla sağlanabilmesi için tüm imkanlarını kullanımımıza sunan Erciyes Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimi' ne teşekkür ederim.

Yorucu deneysel çalışmalarımın yürütülmesinde her türlü destek ve emeklerini esirgemeyen sevgili ve saygıdeğer dostlarım İnş. Yük. Müh. Oğuz DÜĞENCİ'ye, İnş. Yük. Müh. Hakan ÖZTÜRK'e ve İnş. Müh. Savaş BAYRAM' a yardımlarından dolayı minnettarım. Çalışmalarda bütün gayretleriyle emek veren ve özverili bir şekilde çalışan Malzeme Laboratuarı stajyer öğrencilerine, isimlerini teker teker yazamamanın burukluğunu yaşayarak en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Deneysel çalışmalarımda bana laboratuar imkânlarını seferber ederek yardımlarını esirgemeyen Bozok Üniversitesi Öğretim Üyelerinden Yrd. Doç. Dr. Fuat KÖKSAL'a teşekkür ederim.

Bilimsel çalışmalara verdikleri önemin bir kanıtı olarak büyük gönüllülükle deneysel çalışmalarımda kullandığım malzemelerin temin edilmesinde yardımcı olan ve polipropilen lifleri tarafıma sağlayan Polyfibers A.Ş.' ye, çimentoyu tarafıma sağlayan Kayseri Çimsa Hazır Beton A.Ş. Genel Müdürü Mehmet ERDİNÇ'e destekleri için minnettarım.

Her daim yanımda desteklerini ve ilgilerini hissettiğim, sadece çalışmalarımda değil hayatımın her aşamasında en büyük yardımcılarım olan sevgili Babama, Anneme ve Kardeşime çok teşekkür ederim.

POLİPROPİLEN LİFLİ BETONLARIN YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİ ALTINDA BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Tamer DİRİKGİL

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2009

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Fatih ALTUN

ÖZET

Deneysel çalışmalar için üretilen beton numunelere F19 ve M12 tipi polipropilen lifler ayrı ayrı hacimce %0.0, %0.1, %0.2, %0.3, %0.4 ve %0.5 oranlarında ilave edilerek 7, 28 ve 90 günlük periyotlarda test edilmek üzere silindir ve prizmatik numuneler hazırlanmıştır. Basınç dayanımı, elastisite modülü ve yarmada çekme dayanımı değerlerini belirlemek için 150x300mm'lik silindir beton numune ve eğilmede çekme dayanımı değerlerinin tayini için de 150x150x750mm'lik prizmatik kiriş numuneler üretilmiştir. Numuneler 7, 28 ve 90 günlük kür işlemi sonrasında 24.5 ºC, 100ºC, 200ºC, 400ºC, 600ºC, 800ºC sıcaklıklara maruz bırakılarak, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri uygulanmıştır.

Yüksek sıcaklık süresi, fırın sıcaklığının deney sıcaklığına ulaşması için geçen kontrollü yükselme zamanı dahil kararlı durumdaki ısıtılma süresi olarak 6 saattir. Sıcaklık etkisine maruz bırakılan numuneler fırın içerisinde oda sıcaklığına erişinceye kadar bekletildikten sonra gerekli hazırlıklar yapılarak deneye tabi tutulmuştur.

Çalışma sonucunda, farklı lif oranlarına ve değişen sıcaklık etkilerine göre betonun basınç dayanımı, elastisite modülü ve tokluk değerleri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Sonuç olarak, yüksek sıcaklığın etkisiyle betonun basınç dayanımı, elastisite modülü ve tokluk değerlerinde önemli ölçüde azalmalar görülmüştür. Bunun yanı sıra aynı sıcaklık değerindeki numuneler için aynı bulgular lif oranlarına bağlı olarak kendi aralarında olumlu ya da olumsuz değişimler göstermiştir. Lif oranlarının artırılması ile silindir numunelerin basınç dayanımlarında azalmaların meydana geldiği, lif oranının elastisite modülüne olumlu yönde katkısının olup olmadığının söylenemeyeceği, yine

silindir numunelerin yarmada çekme dayanımlarında ve prizmatik numunelerin enerji yutma kapasitelerinde olumlu katkılarının olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Beton, Yüksek Sıcaklık, Polipropilen Lif, Basınç Dayanımı, Çekme Dayanımı

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE INFLUENCE OF HIGH TEMPERATURE ON SOME OF THE PHYSCIAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE REINFORCED WITH POLYPROPYLENE FIBER

Tamer DİRİKGİL

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M. Sc. Thesis, July 2009

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Fatih ALTUN

ABSTRACT

In order to experiment at 7th, 28th and 90th days, adding by F19 and M12 type of polypropylene fibers wtih %0.0, %0.1, %0.2, %0.3, %0.4 and %0.5 volumetrical ratio in test concrete, cylindrical and prismatic samples were produced. In oreder to determinate strength pressure, resistance of pulling on cleavage and elsticity module, cylindrical samples (150x300mm) were produced. In addition, in order to determinate strength of flexure, prismatic beam (150x150x750mm) samples were produced. The end of curve process at 7th, 28th and 90th days, these samples exposed to 24.5 ºC, 100ºC, 200ºC, 400ºC, 600ºC, 800ºC temperature effect and then performed to experiment of strength pressure, resistance of pulling on clevage and resistance of flexure.

Time of performing high temperature is 6 hours that is time of stable experiment temperature including controlled accession time passed to rise until experiment temperature to rise until from room temperature. After waiting until come up to room temprerature, samples exposed to thermal effect were experimented by making necessary preparations.

In result of study, comparative strength of pressure, elasticity module and toughness values have been exhibited with regard to different ratio of fiber and different high tempereature effects. Consequently, because of high temperature effecet, strength of pressure, elasticity module and toughness values have reduced on a large scale. On the other hand, experimental finding of samples which heve been exposed high temperature effects have shown different chancing each other. After the experimental study, these opinions have been decided to strength of pressure of cylindrical samples have

decreased and positive contribution of polypropylene fiber to elasticity module haven't been pronounced. On the other hand, positive contribution of polypropylene fiber to resistance of pulling on cleavage and toughness values of prismatic samples have been observed.

Keywords: Concrete, High Temperature, Polypropylene Fiber, Compressive Strength, Tensile Strength

İÇİNDEKİLER

KABUL ve ONAY i
TEŞEKKÜR ii
ÖZET iii
ABSTRACT v
KISALTMALAR VE SİMGELER ix
TABLOLAR LİSTESİ x
ŞEKİLLER LİSTESİ xii

1. BÖLÜM 1
GİRİŞ 1

2. BÖLÜM 3
GENEL BİLGİLER 3
2.1. Polipropilen Lif 3
2.1.1. Polipropilen Liflerin Sınıflandırılması 4
2.1.2. Polipropilen Liflerin Farklı Kullanım Alanları ve Katkıları 4
2.1.3. Polipropilen Liflerin Kullanım Oranları 5
2.1.4. Polipropilen Liflerin Performansları 6
2.2. Betonun Sıcaklık Etkisine Maruz Kalması 7
2.3. Konu ile İlgili Literatür Araştırması 9

3. BÖLÜM 13
DENEYSEL ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ 13
3.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler 13
3.1.1. Çimento 14
3.1.2. Agrega 14
3.1.3. Su 19
3.1.4. Akışkanlaştırıcı Katkı 19
3.1.5. Polipropilen Lif 19
3.2. Çalışma Metodu 20
3.2.1. Beton Karışım Oranları 21
3.2.2. Betonun Üretimi ve Kürü 22

3.2.3. Deneysel Çalışmalar 23
3.2.3.1. İşlenebilirlik Kıvam Tayini 23
3.2.3.2. Basınç Dayanımı Tayini 23
3.2.3.3. Elastisite Modülü Tayini 24
3.2.3.4. Yarmada Çekme Dayanımı Tayini 26
3.2.3.5. Enerji Yutma Kapasitesi (Tokluk) Tayini 27
3.2.3.6. Prizmatik Beton Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini 28
3.2.3.7. Prizmatik ve Silindir Numunelere Sıcaklık Uygulanması 29

4. BÖLÜM 31
BULGULAR 31
4.1.Silindir Beton Numunelerden Elde Edilen Bulgular 31
4.1.1. Basınç Dayanımı Bulguları 31
4.1.2. Elastisite Modülü Deney Bulguları 47
4.1.3. Yarmada Çekme Dayanımı Bulguları 55
4.2. Prizmatik Beton Deneyleri Bulguları 64
4.2.1. Prizmatik Beton Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanımı Bulguları 65
4.2.2. Prizmatik Beton Numunelerin Tokluk Değeri Bulguları 74

5. BÖLÜM 86
SONUÇLAR 86

KAYNAKLAR 89

EK-1 92
KUVVET-DEPLASMAN EĞRİLERİNİN SICAKLIKLA DEĞİŞİMİ 92

EK –2 98
PRİZMATİK BETON NUMUNELERİN EĞİLMEDE ÇEKME DAYANIMI BULGULARININ NÜMERİK DEĞERLERİ 98

ÖZGEÇMİŞ 100

KISALTMALAR VE SİMGELER

σ	: Gerilme, MPa (N/mm²).
ε	: Birim Deformasyon
A_c	: Yük uygulanan en kesit alanı, mm².
d	: Numunenin seçilen en kesit boyutu, mm.
E	: Elastisite Modülü, MPa (N/mm²).
F	: Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N.
f_c	: Basınç Dayanımı, MPa (N/mm²).
f_{ct}	: Yarmada Çekme Dayanımı, MPa (N/mm²).
F19	: Fibrilize 19mm polipropilen lif
FP	: Fibrilize polipropilen lif
gr.	: Gram
kg.	: Kilogram
L	: Numunenin yükleme levhasına tmas uzunluğu, mm.
lt.	: Litre
M12	: Multifilament 12mm polipropilen lif
MP	: Multifilament polipropilen lif
Pp	: Polipropilen Lif
FP 0.0	: Lif katkısız beton numune
FP 0.1	: Hacimce %0.1 oranında Fibrile polipropilen lifli numune
FP 0.2	: Hacimce %0.1 oranında Fibrile polipropilen lifli numune
FP 0.3	: Hacimce %0.1 oranında Fibrile polipropilen lifli numune
FP 0.4	: Hacimce %0.1 oranında Fibrile polipropilen lifli numune
FP 0.5	: Hacimce %0.1 oranında Fibrile polipropilen lifli numune
MFP 0.0	: Lif katkısız beton numune
MFP 0.1	: Hacimce %0.1 oranında Multifibrile Pp. lifli numune
MFP 0.2	: Hacimce %0.2 oranında Multifibrile Pp. lifli numune
MFP 0.3	: Hacimce %0.3 oranında Multifibrile Pp. lifli numune
MFP 0.4	: Hacimce %0.4 oranında Multifibrile Pp. lifli numune
MFP 0.5	: Hacimce %0.5 oranında Multifibrile Pp. lifli numune

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Polipropilen Liflerin Teknik Özellikleri 4
Tablo 2.2. Polipropilen lif kullanım dozajları 6

Tablo 3.1. Numune Üretiminde Kullanılan Cem-I PÇ 42.5 Çimentosunun Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özellikleri. 14
Tablo 3.2. Deneysel Çalışmada Kullanılan İri Agreganın Özgül Ağırlık ve Su Emme Değerleri. 15
Tablo 3.3. Deneysel Çalışmada Kullanılan İnce Agreganın Özgül Ağırlık ve Su Emme Değerleri. 16
Tablo 3.4. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kırma Kumun Özgül Ağırlık ve Su Emme Değerleri. 17
Tablo 3.5. Deneysel Çalışmada Kullanılan Agregaların Granülometri Bulguları. 18
Tablo 3.6. Deneysel Çalışmada Kullanılan Agregaları Karışım Yüzdeleri. 18
Tablo 3.7. Fibrile ve Multifibrile Polipropilen Liflere Ait Özellikler. 20
Tablo 3.8. Deneysel Çalışmalar İçin Üretilen Silindir Numune Dağılımları. 21
Tablo 3.9. Deneysel Çalışmalar İçin Üretilen Prizmatik Numune Dağılımları. 21
Tablo 3.10. 1m³ Beton İçinde Polipropilen Lif Oranından Bağımsız Olarak Bulunan Malzeme Miktarı. 22

Tablo 4.1. FP Polipropilen Lif Katkısı ve Sıcaklık Değerlerine Göre Basınç Dayanımı Değerleri. 32
Tablo 4.2. MFP Polipropilen Lif Katkısı ve Sıcaklık Değerlerine Göre Basınç Dayanımı Değerleri. 33
Tablo 4.3. Referans Betonlarına Göre FP Lif Katkılı Numunelerin Basınç Dayanımlarındaki Değişim (%). 45
Tablo 4.4. Referans Betonlarına Göre MFP Lif Katkılı Numunelerin Basınç Dayanımlarındaki Değişim (%). 45
Tablo 4.5. FP Lifli Prizmatik Numunelerin Tokluk Değerleri. 75
Tablo 4.6. MFP Lifli Prizmatik Numunelerin Tokluk Değerleri. 76

Tablo Ek-2.1. FP Lifli Prizmatik Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanımı Değerleri . 98
Tablo Ek-2.2. MFP Lifli Prizmatik Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanımı Değerleri 99

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3. 1. Çalışmada Kullanılan Agregaların Granülometri Eğrisi.....19
Şekil 3. 2. Numunelerin Kürlenmesi.....23
Şekil 3. 3. Dijital Deplasman Ölçerli Kompressometre Bağlanmış Silindir Numune.....26
Şekil 3. 4. Yarmada Çekme Deneyi.....27
Şekil 3. 5. Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyinin Deney Düzeneği.....28
Şekil 3. 6. Çalışmalarda Kullanılan Yüksek Sıcaklık Fırını.....29
Şekil 3. 7. Numunelere Yüksek Sıcaklık Uygulanması.....30
Şekil 3. 8. Yüksek Sıcaklığa Maruz Kalmış Numuneler.....30

Şekil 4. 1. FP Lifli 7 Günlük Silindir Numune Basınç Dayanımlarının Sıcaklıkla Değişimi.....34
Şekil 4. 2. FP Lifli 28 Günlük Silindir Numune Basınç Dayanımlarının Sıcaklıkla Değişimi.....36
Şekil 4. 3.FP Lifli 90 Günlük Silindir Numune Basınç Dayanımlarının Sıcaklıkla Değişimi.....38
Şekil 4. 4. MFP Lifli 7 Günlük Silindir Numune Basınç Dayanımlarının Sıcaklıkla Değişimi.....39
Şekil 4. 5. MFP Lifli 28 Günlük Silindir Numune Basınç Dayanımlarının Sıcaklıkla Değişimi.....41
Şekil 4. 6. MFP Lifli 90 Günlük Silindir Numune Basınç Dayanımlarının Sıcaklıkla Değişimi.....43
Şekil 4. 7. Silindir Numune Gerilme – Birim Kısalma Eğrisi.....48
Şekil 4. 8. 7 Günlük FP Lifli Silindir Numunelerin Sıcaklık Etkisiyle Elastisite Modülü Değişimleri.....48
Şekil 4. 9. 28 Günlük FP Lifli Silindir Numunelerin Sıcaklık Etkisiyle Elastisite Modülü Değişimleri.....50
Şekil 4. 10. 90 Günlük FP Lifli Silindir Numunelerin Sıcaklık Etkisiyle Elastisite Modülü Değişimleri.....51
Şekil 4. 11. 7 Günlük MFP Lifli Silindir Numunelerin Sıcaklık Etkisiyle Elastisite Modülü Değişimleri.....52
Şekil 4. 12. 28 Günlük MFP Lifli Silindir Numunelerin Sıcaklık Etkisiyle Elastisite Modülü Değişimleri.....53

Şekil 4. 13. 90 Günlük MFP Lifli Silindir Numunelerin Sıcaklık Etkisiyle Elastisite Modülü Değişimleri 54
Şekil 4. 14. FP Tipi Lif Katkılı 7 Günlük Silindir Numunelerin Yarmada Çekme Dayanımlarının Lif Oranı ve Sıcaklıkla Değişimi 56
Şekil 4. 15. FP Tipi Lif Katkılı 28 Günlük Silindir Numunelerin Yarmada Çekme Dayanımlarının Lif Oranı ve Sıcaklıkla Değişimi 57
Şekil 4. 16. FP Tipi Lif Katkılı 90 Günlük Silindir Numunelerin Yarmada Çekme Dayanımlarının Lif Oranı ve Sıcaklıkla Değişimi 59
Şekil 4. 17. MFP Tipi Lif Katkılı 7 Günlük Silindir Numunelerin Yarmada Çekme Dayanımlarının Lif Oranı ve Sıcaklıkla Değişimi 61
Şekil 4. 18. MFP Tipi Lif Katkılı 28 Günlük Silindir Numunelerin Yarmada Çekme Dayanımlarının Lif Oranı ve Sıcaklıkla Değişimi 62
Şekil 4. 19. MFP Tipi Lif Katkılı 90 Günlük Silindir Numunelerin Yarmada Çekme Dayanımlarının Lif Oranı ve Sıcaklıkla Değişimi 63
Şekil 4. 20. FP Lifli 7 Günlük Prizmatik Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanımı Değerlerinin Sıcaklıkla Değişimi 65
Şekil 4. 21. FP Lifli 28 Günlük Prizmatik Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanımı Değerlerinin Sıcaklıkla Değişimi 67
Şekil 4. 22. FP Lifli 90 Günlük Prizmatik Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanımı Değerlerinin Sıcaklıkla Değişimi 68
Şekil 4. 23. MFP Lifli 7 Günlük Prizmatik Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanımı Değerlerinin Sıcaklıkla Değişimi 70
Şekil 4. 24. MFP Lifli 28 Günlük Prizmatik Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanımı Değerlerinin Sıcaklıkla Değişimi 72
Şekil 4. 25. MFP Lifli 90 Günlük Prizmatik Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanımı Değerlerinin Sıcaklıkla Değişimi 73
Şekil 4. 26. 7 Günlük FP Lifli Prizmatik Beton Numunelerin Tokluk Değerlerinin Sıcaklıkla Değişimi 77
Şekil 4. 27. 28 Günlük FP Lifli Prizmatik Beton Numunelerin Tokluk Değerlerinin Sıcaklıkla Değişimi 79
Şekil 4. 28. 90 Günlük FP Lifli Prizmatik Beton Numunelerin Tokluk Değerlerinin Sıcaklıkla Değişimi 80

Şekil 4. 29. 7 Günlük MFP Lifli Prizmatik Beton Numunelerin Tokluk Değerlerinin Sıcaklıkla Değişimi 82
Şekil 4. 30. 28 Günlük MFP Lifli Prizmatik Beton Numunelerin Tokluk Değerlerinin Sıcaklıkla Değişimi 83
Şekil 4. 31. 90 Günlük MFP Lifli Prizmatik Beton Numunelerin Tokluk Değerlerinin Sıcaklıkla Değişimi 84

Şekil Ek-1. 1. FP %0.5 Lifli Prizmatik Numunenin Oda Sıcaklığında Kuvvet-Deplasman Eğrisi. 92
Şekil Ek-1. 2. FP %0.5 Lifli Prizmatik Numunenin 100ºC Sıcaklığında Kuvvet-Deplasman Eğrisi 92
Şekil Ek-1. 3. FP %0.5 Lifli Prizmatik Numunenin 200ºC Sıcaklığında Kuvvet-Deplasman Eğrisi. 93
Şekil Ek-1. 4. FP %0.5 Lifli Prizmatik Numunenin 400ºC Sıcaklığında Kuvvet-Deplasman Eğrisi. 93
Şekil Ek-1. 5. FP %0.5 Lifli Prizmatik Numunenin 600ºC Sıcaklığında Kuvvet-Deplasman Eğrisi. 94
Şekil Ek-1. 6. FP %0.5 Lifli Prizmatik Numunenin 800ºC Sıcaklığında Kuvvet-Deplasman Eğrisi. 94
Şekil Ek-1. 7. MFP%0.5 Lifli Prizmatik Numunenin Oda Sıcaklığında Kuvvet-Deplasman Eğrisi 95
Şekil Ek-1. 8. MFP %0.5 Lifli Prizmatik Numunenin 100ºC Sıcaklığında Kuvvet-Deplasman Eğrisi 95
Şekil Ek-1. 9. MFP %0.5 Lifli Prizmatik Numunenin 200ºC Sıcaklığında Kuvvet-Deplasman Eğrisi. 96
Şekil Ek-1. 10. MFP%0.5 Lifli Prizmatik Numunenin 400ºC Sıcaklığında Kuvvet-Deplasman Eğrisi. 96
Şekil Ek-1. 11. MFP%0.5 Lifli Prizmatik Numunenin 600ºC Sıcaklığında Kuvvet-Deplasman Eğrisi. 97
Şekil Ek-1. 12. MFP%0.5 Lifli Prizmatik Numunenin 800ºC Sıcaklığında Kuvvet-Deplasman Eğrisi. 97

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Yapı sektöründe kullanılan en temel ve önemli malzeme betondur. Günümüz beton üretiminde, hem malzemenin performansını artırmak hem de maliyeti azaltmak amacıyla birçok araştırmalar yapılmaktadır. Ayrıca hızlı endüstrileşme ile birlikte malzeme ve enerji tasarrufuna verilen değer de artmaktadır. Bununla birlikte atık olarak doğaya terk edilen ve doğanın daha çok kirlenmesine neden olan birçok yan ürün oluşmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda bu mevcut malzemelerin ve atıl malzemelerin inşaat sektöründe değerlendirilebilmesi, bir yandan ekonomi sağlamakta diğer yandan da çevreye verilen zararı azaltmaktadır.

Betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerini, mineral ve kimyasal katkılar ile iyileştirmenin yanı sıra birçok lif malzemesi de kullanılmaktadır. Lifler, betonun özelliklerini iyileştirmek amacıyla, taze beton içerisinde çeşitli yöntemlerle değişik oranlarda katılan polipropilen, cam, plastik ve çelik gibi değişik malzemelerden farklı tip, özellik ve boyutlarda üretilmektedir. Lifleri tanımlayan en önemli öğe, lifin sahip olduğu mekanik özellikler ile onun sayısal bir parametre gibi ifade edilmesini sağlayan biçimsel özellikleridir. Lif tipi, uzunluğu, çapı, geometrik yapısı ve lifin çekme gerilme dayanımı önemli özelliklerindendir. Lifli betonlarda beton bileşimine giren parametreler içerisinde beton özelliklerini önemli ölçüde etkileyen faktörler narinlik oranı (lif boyu/lif çapı) ve lif miktarıdır. Ayrıca katılan liflerin karışımda homojen olarak dağılması ve karışımdan sonra bu dağılımın korunmasının sağlanması da liflerin beton özellikleri üzerinde yapacağı iyileştirmeyi doğrudan etkilemektedir. Günümüzde betonda en yaygın olarak kullanılan lifler; polipropilen, çelik ve alkali dirençli camlardır. Genellikle beton karışımlarında kullanılan polipropilen liflerin boyları 12 ile

50 mm. arasında değişmektedir. Betona katılma oranları ise %0.1~0.5 arasında değişmektedir [1].

Beton kullanım ömrü boyunca aşınma, donma-çözünme, dinamik yükler, kimyasal ortamlar gibi çeşitli etkilere maruz kalabilmekte ve ayrıca yangın ve yüksek sıcaklık etkisi de söz konusu olmaktadır. Yüksek sıcaklık etkisi, havaalanları apronlarında, yüksek sıcaklık altında çalışma gösteren endüstriyel zeminler ve bacalarda, yangın riski yüksek kimyevi madde üretimi yapan veya kimyasal hammadde kullanan tesislerde ve sanayi yapılarında etkilerini göstermektedir. Beton yüksek sıcaklık etkisine maruz kaldığında dayanımında önemli düşüşler gözlenir. 200ºC sıcaklığın üzerine çıkılması durumunda betonun yapısında önemli hasarlar oluşmaya başlar [2]. Betonun sıcaklığı çeşitli etkiler nedeniyle daha yüksek değerlere ulaştığında betonu oluşturan agrega, çimento hamuru ve su, farklı fiziksel ve kimyasal davranışlarda bulunarak betonun taşıma gücünde ciddi azalmalara sebep olabilmektedir.

Sıcaklığın artmasıyla çimento pastası doğal bir genleşme gösterirken, aynı zamanda bünyedeki suyun açığa çıkmasıyla yapı elemanında büzülme de gerçekleşmektedir. Genleşme ve büzülmenin aynı anda gerçekleşmesine bağlı olarak içsel gerilmelerde ani artışlar ve bunların etkisiyle yapı elemanında çatlaklar meydana gelmektedir. Buna ilave olarak lif katkısız betonun basınç dayanımında da azalma görülür. Bu durumun engellenebilmesi için lif kullanımı önemli bir katkı olarak karşımıza çıkmaktadır.
Lifli beton, ince ve kaba agrega adı verilen mineral dolgu malzemelerinin çimento, su karışımından oluşan, bağlayıcı harç ile gerektiğinde çeşitli kimyasal ve mineral katkılarında eklenmesinden sonra katılan liflerin harç içerisinde homojen olarak dağılmasıyla elde edilen ve zamanla sertleşip dayanım kazanan bir malzeme olarak tanımlanabilir [3].

Bu tez çalışmasında, yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan ya da kalabilecek beton taşıyıcılı sistemlerde ve elemanlarda, betonda oluşacak basınç ve çekme dayanımı değişimine polipropilen lifin sağlayabileceği katkının deneysel olarak araştırılması amaçlanmaktadır.

2. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

Bu tez çalışması kapsamında iki farklı polipropilen lif tipi ile güçlendirilmiş silindir ve prizmatik beton numunelerin sıcaklık etkisi altında basınç dayanımlarının, yarmada çekme dayanımlarının, eğilmede çekme dayanımlarının, elastisite modüllerinin ve tokluk (enerji tüketimi) değerlerinin 7, 28 ve 90. gün periyotlarında değişimi incelenmiştir.

2.1. Polipropilen Lif

Polipropilen lif insanlık tarihi kadar eski olan doğal mikro donatı, saman ve hayvan kılları kullanımının günümüz teknolojisine uyarlanmış halidir. Polipropilen lif malzemesi beton, sıva, harç ve püskürtme beton uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Polipropilen elyafları %100 polipropilen esaslı olup, kullanımında ilave işçilik gerektirmeyen, kolay uygulanabilen, betonun ve sıvanın kalitesini artırmak için kullanılan ve çürümeyen bir üründür. Polimer liflerden betona katılan ve en iyi sonucu veren ayrıca yaygın olarak kullanım alanına sahip olan polipropilen liflerdir. Polipropilen lif, betonun içerisinde üç boyutlu bir mikro donatı ağı oluşturarak, betonda doğal olarak varlığı kabul edilen, eksiklik ve zaafları azaltıp betonun bazı özelliklerini iyileştirebilen bir malzemedir. Polipropilen lifler hasır demir, metal elyaf ve kümes filesi gibi alternatif donatı sistemleri ile karşılaştırıldığında, en hafif mikro donatı sistemidir. Metrekare başına ağırlığı 90 gram ila 200 gram arasındadır. Bu nedenle yapıya diğer donatı sistemleri kadar ölü donatı ağırlığı getirmemektedir [30].

2.1.1. Polipropilen Liflerin Sınıflandırılması

Polipropilen elyafları %100 homo-polipropilenden, F ve M olmak üzere iki tipte imal edilmektedir. F-fibrilize elyafları, M-multiflament elyafları temsil etmektedir. M tipi elyaflar çok ince olup, şap yüzeyinde gözükmediklerinden iç mekan şapları için iyi sonuçlar sağlamaktadır. F tipi lifler ise endüstriyel zemin uygulamalarında ve ağır hizmet zeminlerinde durabilite ve tokluk aranılan şap ile betonlar için daha uygundur. Polipropilen lif tipleri ve teknik özellikleri Tablo 2.1.' de gösterilmiştir.

Tablo 2. 1. Polipropilen Liflerin Teknik Özellikleri

Tip	Fibrilize	Multiflament	Fibrilize
Polipropilen (%)	100	100	92
Ürün Tipi	Standart F	Standart M	Paint
Yoğunluk (kg/lt)	0.91	0.91	1.00
Kesit	Karesel	Yuvarlak	Karesel
Kalınlık (μ)	36	18	-
Renk	Transparent	Transparent	Renkli
Görünüm	Visible	Invisible	Visible
Gerilme Dayanımı (N/mm²)	500	700	500
Young Modülü (N/mm²)	7161.20	7161.20	7161.20
Uzama (%)	Max 10	Min 100	-
Uzunluk (mm)	3-6-9-12-15-19-25-31-37-46-51		

2.1.2. Polipropilen Liflerin Farklı Kullanım Alanları ve Katkıları

Polipropilen lifler, kimyasal ve alkali ortamlara dayanıklıdırlar. Her tip portland çimentosu ile beraber kullanılabilirler. Organik çözücülere ve hidrokarbonlara dirençli olmalarından dolayı, petrol ürünlerinin bulunduğu benzin istasyonlarında rahatlıkla kullanılır. Elektriksel ve manyetik alanlardan etkilenmezler ve ısıl geçirgenliği son derece düşüktür. Termal uzaması ihmal edilebilir. Yerden ısıtma sistemlerinin koruma şaplarında kullanılırlar. Kayda değer su emişleri olmadığından betonun su/çimento oranını etkilemezler. Oksitleyiciler ve asitlerle reaksiyon vermezler ayrıca paslanmaz ve çürümezler[1].

Polipropilenler, kılcal çatlamaları ve beton geçirgenliğini azaltır, sıkıştırma faktörünü yükseltir. Asit, alkali ve tuzlara karşı dirençli bir tali donatıdır. Plastik rötre çatlaklarını,

beton yüzeyindeki göllenmeyi ve su geçirimini azaltır. Aşınma direnci sağlar. Köşe ve derz kırılmasını engeller. Polipropilenler, şap betonlarının uzak mesafelere ve yüksek kotlara pompalanabilirlik yeteneğini artırır. Pompa basıncını düşürerek enerji tasarrufu sağlarken, aynı zamanda kauçuk parçalarının hasar görmesini engeller. Betonun segregasyona uğramasını engeller. Betonun pompa ucundan homojen, yoğun, sürekli ve tutunganlığı yüksek bir şekilde akmasını sağlarlar.

Polipropilen ile donatılandırılmış şap betonlarında, yerleştirme ve mastarlama sonrasında beton yüzeyinde su gölcükleri oluşmaz. Bu gölcükler betonun ayrıştığının ve dayanıklılığın ortadan kalkmasının bir göstergesi olup, çatlamaya, tozmaya, ufalanmaya ve pullanmaya yol açar. Polipropilenler plastik şap betonu içerisindeki agregaların yerçekimi etkisi ile dibe çökmesini engeller ve beton yüzeyinde çimento pastası oluşmasına izin vermezler.

Polipropilen lifler, şap betonunda mikro çatlakları ve kapilariteyi azalttığından sıvı geçirgenliği düşer. Bu sayede donma çözülme çevrimine direnç kazanır. Bu özellik dış mekan şapları ile havaalanı taksi yolları, otoparklar, yürüme yolları ve benzin istasyonları için yaşamsal önem taşımaktadır. Polipropilen lifler atmosfer etkilerine dirençlidir. Dış mekan, çatı, teras ve benzeri koruma ve tesviye şaplarında da kullanılırlar.

2.1.3. Polipropilen Liflerin Kullanım Oranları

ASTM C 1116 (2000) [31] standardına göre %100 saf polipropilen ham maddesi kullanılarak üretilen lifler hacimce %0.1=1 litre varlığı 1 m³ beton için yeterlidir. Polipropilen lif ham maddesinin yoğunluğu 0.9 kg/lt olduğundan, tavsiye edilen lif miktarı en az 0.9 kg/lt olmalıdır. Bu oranlar %0.05 ila %2 arasında ve hatta %5'e kadar çıkabilir. Polipropilen lif uygulamaları, betonlar ve harçlar olmak üzere iki gruptur. İçerdiği özel katkılar sayesinde beton içerisinde topaklanmadan beton santraline, transmiksere, betoniyere, şap pompasına, püskürtme makinesine, mekanik karıştırma işleminin olduğu her tür makineye kolayca katılabilir. Polipropilen lifler su emmezler, bu nedenle beton ve harçların su/çimento oranını etkilemediğinden yeni bir karışım dizaynı ya da karışım oranlarında bir değişiklik gerektirmez. Beş dakika yüksek devirde karıştırıldıktan sonra polipropilen demetleri çözülür ve binlerce elyaf lif, betonun her

tarafına homojen bir şekilde dağılır. Polipropilen lifli betonu yerleştirmek kolay ve ekonomiktir.

Fazla karıştırmanın liflerin performansına bir mahsuru yoktur. Yüksek aşınma direnci ve mikro donatı yoğunluğu gereken yerlerde, polipropilen lif dozajı hacimce %2'ye kadar artırılabilir. Polipropilen lif sıva ve harç betonu için ton başına 2 kg ilave edilir. Özel amaçlı yapıştırıcılar, tamir harçları, derz dolguları için bu oran 5 kg düzeyine kadar çıkarılır. Kuru karışıma ilave edilecek polipropilen lifler, homojen ve topaklanmadan kolaylıkla dağılır. Lif miktarı ve uzunluğu ihtiyaca göre değişim gösterebilir. Polipropilenler için tavsiye edilen kullanım dozajları Tablo2.2.'de verilmiştir.

Tablo 2. 2. Polipropilen lif kullanım dozajları

Polipropilen	İç Mekan	Dış Mekan	Ağır Hizmet
Elyaf Tipi	M	F	F
Minimum Dozaj (gr/m³)	600	900	1800
Full Etki (gr/m³)	1200	2700	3600
Uzunluk (mm)	6-9-12-15	6-9-12-15-19-25	

2.1.4. Polipropilen Liflerin Performansları

Beton veya sıvada polipropilen lifin en önemli etkisi, sermeden sonraki ilk birkaç saat içerisinde plastik büzülmelerden dolayı oluşacak çatlakları kontrol altına almasıdır. Sertleşmenin ilk safhasında beton mukavemetinin oluşma hızı, büzülmelerden dolayı meydana gelen iç çekme gerilmelerinin oluşum hızından daha yavaştır. Bu plastik büzülme esas itibariyle su ve çimento arasında başlayan kimyasal reaksiyon ve buharlaşmanın tabii bir sonucudur [3].

Polipropilen lifler,

- Büzülme karşı bir direnç meydana getirirler.
- Büzülmeden dolayı oluşacak çatlak tehlikesini asgari düzeye indirirler,
- Beton içinde homojen olarak dağılırlar,
- Kilogram başına yüzey alanı çok geniştir,
- Betona çok iyi şekilde yapışırlar,

- Elastisite modülü değeri plastik haldeki betona oranla oldukça yüksektir,
- Polipropilen lifler sertleşmiş betonda dayanım artırıcı bir etki yaratmazlar,
- Etkileri betonun plastiklik safhasında geçerlidir.

Polipropilen lifler, çelik liflere nazaran betonun mekanik mukavemetini artırmada çok etkili olmazlar. Ancak, az da olsa betona enerji yutma özelliği kazandırırlar ve plastik rötrede çok etkili olurlar. Özellikle çok güçlü olmayan büzülmelere karşı polipropilen lifler tercih edilmektedir [1].

Polipropilen liflerin fonksiyonu betonun yumuşak ve plastik safhasıyla sınırlı iken, çelik liflerin mukavemet artırıcı etkisi, beton prizini alıp sertleştikten sonra da belirgin şekilde devam etmektedir. Betonun plastik safhasında çelik liflerin çatlak önleyici ve sınırlayıcı etkisi de mevcuttur. Ancak, betonda mükemmel şekilde dağılmış olan polipropilen liflerin etkisine göre zayıftır. Bununla birlikte sertleşmiş betonda uzun dönemde kuruma büzülmelerinden dolayı oluşacak çatlakların azaltılmasında, çelik lifler malzemeye belirli bir dayanıklılık ve tokluk vererek betonun dayanımını önemli ölçüde artırırlar [3].

2.2. Betonun Sıcaklık Etkisine Maruz Kalması

Beton bir bütün olarak düşünülürse, betonu oluşturan agrega ve çimento hamuru gibi bileşenlerin termal genleşmelerinin birbirinden farklı olduğu bilinmektedir. Bu nedenle beton sıcaklığının artırılması ile bünyedeki bileşenlerin farklı hacim değişimleri, çatlak oluşumuna ve dolayısıyla betonun dayanıklılığının azalmasına sebep olur. Bu durum betondaki bileşenlerin termal uyumsuzluğu olarak bilinmektedir. [4]

Betonarme yapıların yangına karşı direnç kabiliyeti, beton ve donatının ısınma ve soğuması sırasında oluşan, birbiriyle bağlantılı karmaşık değişikliklere bağlıdır. Bu ısınmanın neticesi gevrek yıkılmadır ve bu, bina göçmeden önce büyük deformasyonların görülmemesidir. Beton normal sıcaklıklarda süner, fakat yüksek sıcaklıklarda sünme oranı çok artar. Young modülünün azalması, hızlanarak artan sünme ve çatlak oluşumu, yüksek ısı ve yük altında mukavemetteki azalma soğuma döneminde gevrek betonun yapısını değiştirir. Betonun mukavemeti çok azalmasına rağmen yüksek sıcaklıklarda sünek hale gelir. Bir yangında, betonun içindeki su kuruyarak çekilmesi betonda büzülmelere, kristal yapısını bağlayan kuvvetlerin ve

elastikiyetinin değişmesine, mukavemet düşmesine, renkte ve kimyasal yapıda değişmelere neden olur[5].

Standart sıcaklık–zaman eğrisinde, sıcaklığın 10 dakika gibi kısa bir zamanda yaklaşık 600 °C' ye hızla yükseldiği ve yangın süresince de 1200 °C' ye ulaşabileceği görülmektedir. Endüstriyel fırın bacalarında ise sıcaklığın 1250 – 1300 °C' ye ulaştığı bilinmektedir. Hava alanı pistlerinde, uçakların kalkış ve inişlerindeki sürtünmeler ve jet motorlarından 260 km/saat hızla çıkan 196 °C' deki egzoz gazları, hava alanı pistlerinde sıcaklığın artmasına sebep olmaktadır. İniş ve kalkışlardaki tekrarlı ısınma ve soğuma etkisi ile pistlerde aşınma ve tozlanma görülmektedir. Beton bünyesindeki boşluklar; C-S-H (kalsiyum silikat hidrat) jeli boşlukları, kapiler boşluklar ve hava boşlukları olmak üzere üç farklı şekilde bulunmaktadır. Betonun katı fazları, çimento hamuru ve agregalar, yüksek sıcaklığa maruz kaldığında gözenek yapısını etkiler. Katı fazlarda meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişiklikler toplam porozitede ve gözenek boyutunun dağılımında değişikliklere neden olur. Genellikle, sertleşmiş çimento hamuru 20–200 °C civarında genleşir. 200 °C' nin üstünde farklı yoğunlukların etkisiyle büzülür, bu sırada da agregalar genleşir. Bütün bu değişiklikler gözenek boyutunu büyütür. 500 °C' ye kadar kapiler ve jel suyunun ayrılması toplam boşluk hacminde önemli bir artışa neden olur. 600 °C' ye kadar toplam boşluk hacmi artar. Bu artış beklenenden fazladır ve ağırlık kaybıyla benzerlik gösterir. Bunun nedeni büzülen arabölme duvarlar ve oluşan mikro çatlaklar olabilir. Yüksek sıcaklıklarda küçük boşlukların oranı azalır, bu da 900 °C' nin üzerindeki sıcaklıklarda sinterleşmeye neden olabilir[6].

Polipropilen lifler, düşük erime noktalarından dolayı yüksek sıcaklıklarda betonu iki şekilde etkilerler. Sıvılaşan lif yakınındaki boşlukları doldurur, fakat daha sonra organik bileşenlerin bir kısmının buharlaşması sonucu poroziteyi artırırlar. Porozitedeki artış kullanılan lif içeriği ile orantılıdır. Polipropilen lifler, yüksek performanslı betonlara ağırlıkça %0,05–0,1 oranında katıldıklarında parça atmaları engeller, çünkü 160 °C civarında eriyerek porozitenin gelişmesini kolaylaştırır ve açık boşluklar oluşturarak buhar basıncını azaltırlar. Yangın sırasında yüksek sıcaklık etkisinde bulunan liflerin eriyerek su buharının sınır bölgelerden çıkabileceği, böylece yüzeylerdeki dökülmelerin engellenebileceği belirtilmiştir. Çelik lifler yüksek sıcaklıklarda betonda çatlak

oluşmasına katkıda bulunurlar. 500 °C' nin üstünde okside olurlar. Okside olan çelik liflerin hacmi, çevresindeki dehidrat çimento hamuruna basınç uygular ve çatlakların ilerlemesini kolaylaştırır. Ultra yüksek dayanımlı betonlarda yüksek sıcaklıklarda patlamaların azalmasını sağlarlar[6].

2.3. Konu ile İlgili Literatür Araştırması

Bir çalışmada, polipropilen ve çelik lifli yüksek dayanımlı betonların, basınç ve çekme yükleri altındaki davranışları incelenmiştir. Çalışmada, 20 mm uzunluğundaki polipropilen 1kg/m³ kullanılmıştır. Su/çimento oranı 2-0.25 ve çökmesi 2-3 cm olan 150x300 mm boyutlarında silindir numuneler hazırlanmış ve polipropilen lifin çekme dayanımını %13 oranında artırdığı tespit edilmiştir. Çelik lifli betonlarda, yüksek çekme dayanımı ve sürtünme nedeniyle betonla aralarında oluşan aderans nedeniyle, yük eksenine dik olan liflerin yanal deformasyonları azalttığı ancak, polipropilen lifli betonlar için bu durumun söz konusu olmadığı ifade edilmiştir. Kontrol numuneleri ile polipropilen lifli numunelerin yaklaşık aynı davranışı gösterdiği gözlenmiştir. Malzemelerin tokluğu gerilme–birim deformasyon eğrisi altında kalan alan olarak tanımlandığında, kontrol numuneleri ve polipropilen lifli numunelerin birbirine çok yakın değerler verdiği gözlenmiştir. Ayrıca polipropilen ve çelik lifin basınç dayanımlarına etkilerinin olmadığı da çalışma sonucunda belirtilmiştir [7].

Diğer bir çalışmada, polipropilen liflerin beton içerisinde yaptığı davranışlar incelenmiştir. Polipropilen lif katkısının taze betonun ilk anlarında plastik rötre çatlaklarını ve kusma miktarını azalttığı, bunun yanı sıra betonun darbe dayanımında artış sağladığı ve betonun basınç altında ani göçmesini engellediği belirtilmiştir. Polipropilen liflerin yeterli oranda kullanılması ve beton içerisinde homojen bir karışım oluşturulması sonucu üç boyutlu bir mikro donatı oluşturduğunu ve farklı çap ve uzunluktaki liflerin, betonun karakteristik özellikleri üzerinde oldukça iyi performans ortaya koyduğu verilmiştir [8].

Başka bir çalışmada, yüksek performanslı betonların sünekliliğinin geliştirilmesi üzerine polipropilen liflerin etkisi araştırılmıştır. Çalışmalarda %0.2 (2 kg/m³) oranında polipropilen lif kullanılmış ve boyutları 100x300 mm olan 72 kg/m³ mikro silikalı karışımlar hazırlanmıştır. Sadece polipropilen lif kullanılmış numunelerin gerilme–şekil

değiştirme eğrisinin yüksek dayanımlı betonun gerilme–şekil değiştirme eğrisine oldukça benzer olduğu ve basınç dayanımında %40 oranında bir gelişmenin ortaya çıktığı ve lif katkısı ile numunelerde ani kırılmaların önlendiği de vurgulanmıştır [9].

Diğer bir çalışmada, farklı tiplerde polipropilen ve çelik liflerle güçlendirilmiş etriyeli ve etriyesiz kirişlerin kesme davranışları incelenmiştir. Su/çimento oranı sabit 0.45 olan yedi farklı karışımda, M42 tipi polipropilen lifler, hacimce %0.5 oranında ve 25.4 mm uzunluğundaki çelik lif ile hacimce %1.0 ve %2.0 38.1 mm uzunluğundaki çelik lif ise %0.5, %1.0 ve %2.0 oranlarında kullanılmıştır. Etriyesiz tüm kirişler kesme kırılması göstermiş ancak kullanılan liflerin kesme dayanımını %9 ila % 37 arasında artırdığı gözlenmiştir. Liflerin çatlak sonrası rijitlik artışı sağlaması ve çatlak kontrolünde daha etkili olmasından dolayı sehim değerlerini referans numunelere göre azalttığı da belirtilmiştir. Çelik ve polipropilen liflerin farklı etkileri, bunun da polipropilen liflerin daha düşük elastisite modülüne sahip olmalarından kaynaklandığı ve bu sebeple daha az etkili oldukları belirlenmiştir. Çelik liflerin betonun işlenebilirliğini azaltırken, polipropilen lifin kısmen azalttığı sonucuna da varılmıştır [10].

Yapısal eleman ile ilgili bir çalışmada, polipropilen liflerle güçlendirilmiş beton plakaların dinamik özellikleri araştırılmıştır. 19 mm uzunluğundaki fibrilize polipropilen lif hacimce %0, %0.10 ve %0,50 oranlarında karışıma eklenerek 150x300mm silindir ve 100x100x360 kiriş numuneler üretilmiştir. Bu numuneler üzerinde 28 günlük standart basınç ve eğilme deneyleri ile beton plakalar üzerinde darbe deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları ile hem basınç hem de eğilme dayanımları açısından, lif miktarları ile dayanımlar arasında ters bir ilişki olduğu gözlenmiştir. Polipropilen lif miktarının arttırılması ile basınç ve eğilme dayanımlarının azaldığı ifade edilmiştir [11].

Başka bir çalışmada, polipropilen ve çelik lifli betonlar üzerine deneysel çalışmalar yapılmıştır. Üretilen numuneleri de %52 kaba, %48 ince agrega, su/çimento oranı 0,46 ve kimyasal katkı oranı çimento dozajının %0,1 oranında sabit tutularak sadece lif oranı değiştirilmiştir. 20mm uzunluğunda M20 tipi polipropilen lif beton karışımlara sırasıyla %0.06, %0.08 ve %0.09 oranlarında katılmıştır. RC80/60BN olarak adlandırılmış boyu 60mm ve kalınlığı 0,75mm olan iki ucu kancalı çelik lifler beton karışımlara sırayla %0.5, %1.0 ve %1.5 oranlarında katılmıştır. Çalışma sonucunda, polipropilen liflerin

karışım oranlarına bağlı olarak bu betonların çelik liflere kıyasla işlenebilirlik özelliklerini daha iyi yönde etkiledikleri ve polipropilen lifler betonun eğilmede çekme dayanımını çelik lifler kadar olmasa da %50 kadar artırdığı tespit edilmiştir [12].

Lif takviyeli betonların performans özelliklerinin belirlendiği diğer bir çalışmada, F20 tipi polipropilen lif hacimsel olarak %0.1 ve RC80/60BN tipi çelik lif hacimsel olarak %0.5, %0.75 ve %1.0 oranlarında kullanılarak araştırılmıştır. 12 farklı beton numunesi üretilerek bu numuneler üzerinde diğer bir kısım deneylerin yanında sıcaklığa bağlı dayanıklılık deneyleri de yapılmıştır. Polipropilen liflerin sıcaklık etkisi sonucu betonda ağırlık kaybını hiç etkilemediği, ancak betonda dayanım kaybını az da olsa azalttığı belirtilmiştir [13].

Başka bir çalışmada, F19 tipi 19mm uzunluğundaki polipropilen lifler hacimce %0.2 (2kg/m³) kullanılmış silis duman katkılı yüksek dayanımlı betonlar üretilerek, üzerinde taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. Çalışmada, polipropilen liflerin erime noktasının 160ºC olduğu ve beton içerisinde oluşturduğu boşluklar sayesinde malzemenin direncini arttırdığı ifade edilmiştir. %0.2 lif hacminde polipropilen ilavesinin hem basınç dayanımına hem de elastisite modülüne çok az etki yaptığı, 28. günde betonlarda ortalama basınç dayanımında %5.61, elastisite modülünde ise %5.20' lik bir artış yaptığı ortaya konulmuştur [14].

Diğer bir çalışmada, cam lifli ve polipropilen lifli betonların yarma dayanımları ile basınç dayanımları arasındaki ilişkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Polipropilen lif olarak monofilament tipi 90mm çapında ve 50mm boyunda beton hacminin %1.0 ve %1.5 oranlarında kullanılarak numuneler üretilmiştir. Deney sonuçları cam ve polipropilen lif ilavesinin 7, 28 ve 90 günlük yarma dayanımlarına yaklaşık %20-%50 arasında bir artış sağladığı ayrıca yarma dayanımlarındaki artışın basınç dayanımlarına göre cam lifli numunelerde %9, polipropilen lifli numunelerde %13 olduğu görülmüştür. Polipropilen lifli betonlarda yarma ile basınç dayanımları arasındaki ilişkinin ampirik ifadesi verilmiştir [15].

Konu ile ilgili diğer bir çalışmada, 19mm uzunluğunda polipropilen lif kullanılarak, iki farklı durum için deney yapılmıştır. Birinci durumda, normal betona polipropilen lif %0.0, %0.05, %0.10, %0.20 ve %0.30 oralarında katılarak polipropilen lif ilavesinin

etkisi incelenmiştir. İkinci durumda ise %0.1 polipropilen içeren ve içermeyen puzolan katkılı betonlar incelenmiştir. Çalışmada, basınç dayanımı için silindir ve eğilme çekme dayanımı için prizmatik beton numune üretilmiştir. Polipropilen liflerin basınç dayanımı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını sadece silis dumanı içeren betonların normal betonun dayanımının %17 ve lifli betonun ise %23 arttırdığı görülmüştür. Polipropilen liflerin eğilme üzerinde etkisinin olmadığı deney sonucunda elde edilmiştir [16].

Başka bir çalışmada, polipropilen lifli yüksek performanslı betonların yangın testi sonucunda kabarıp dökülme dirençleri araştırılmıştır. Polipropilen lifler %0, %0.05 ve %0.10 oranlarında kullanılmıştır. Yangın testinin ardından kabarıp dökülme, polipropilen lifsiz düz betonlarda meydana gelirken, özellikle %0.05 üzerindeki polipropilen lif içeren betonlarda dökülmelerin tüm numunelerde önlenmiş olduğu belirtilmiştir. Polipropilen liflerin 165ºC de erimesiyle oluşan boşlukların yüksek sıcaklıkta buhar basıncının tahliye edilmesine yardımcı olması nedeniyle dökülme direncini arttırdığı verilmiştir. Ayrıca, polipropilen liflerin basınç dayanımlarını %1 ile %3 arasında arttırdığı sonucuna da varılmıştır [17].

Literatür incelemeleri ile, genel olarak polipropilen liflerin beton özelliklerine etkilerinin ortaya konulduğu ancak yüksek sıcaklık etkisi altında çalışmaların çok yapılmadığı tespit edilmiştir. Bu tez çalışması ile polipropilen liflerin iki farklı tipinin (F19 ve M12) betona etkileri yüksek sıcaklık etkisinde deneysel olarak incelenmek suretiyle ortaya konulmak istenmiştir.

3. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ

Tez çalışması kapsamında, yüksek sıcaklık etkisindeki polipropilen lif katkısının beton numunelerin basınç dayanımları, yarmada çekme ve eğilmede çekme dayanımlarında iyileşmelerin olup olmadığı araştırılmıştır.

Çalışmada %0.0, %0.1, %0.2, %0.3, %0.4 ve %0.5 hacimsel oranlarında polipropilen lif kullanılmıştır. Belirtilen 6 farklı lif dozajı kullanılarak üretilen numuneler 7, 28 ve 90 günlük periyotlarda deneye tabi tutulmak üzere 20 ± 2 ºC' de kirece doygun suda kürlenmiştir. Deney periyodunu dolduran her numune 24.5 ºC, 100 ºC, 200 ºC, 400 ºC, 600 ºC ve 800 ºC olmak üzere 6 farklı sıcaklıkta fırınlanmış ve bu sıcaklıkların numuneler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Üretilen beton numunelerin beton karışım hesabı TS 802' ye [18] göre yapılmıştır. Her polipropilen lif hacimsel oranı ve her sıcaklık değeri için 2 adet silindir ve 1 adet prizmatik kiriş numune üretilmiştir. Silindir numune boyutları 150 x 300mm, kiriş numune boyutları ise 150 x 150 x 750mm' dir. Üretilen her iki adet silindir numuneden biri basınç dayanımı, diğeri ise yarmada çekme dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Kiriş numunelere fırınlanmadan önce ve sonra ultrasonik hız okuması yapılmış, sıcaklık etkisinden sonra da eğilmede çekme dayanımı deneyi yapılmıştır.

3.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Numune üretiminde, Tablo 3.1. de verilen çimento, agrega ve süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Fibrile polipropilen (FP) ve Multifibrile polipropilen (MFP) lif olmak üzere iki farklı tip polipropilen betona ilave edilmiştir. 2 adet silindir ve 1 adet

prizmatik kiriş numune; her lif oranı, her sıcaklık değeri ve her deney periyodu için aynı beton harmanından bir döküm olarak üretilmiştir.

3.1.1. Çimento

Çalışmada Kayseri ÇİMSA hazır beton tesislerinden temin edilen TS EN 197-1 [19] ile uyumlu normal portland çimentosu PÇ 42.5 olarak bilinen CEM-I PÇ 42.5 kullanılmıştır. Üretimde kullanılan çimentoya ait fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler Tablo 3.1' de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Numune Üretiminde Kullanılan Cem-I PÇ 42.5 Çimentosunun Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özellikleri.

Özgül Ağırlık, (gr/cm³)	3.17	Serbest CaO, (%)	0.4	La Chatelier, (mm)	1
Çözünmeyen Kalıntı	0.20	C_3A, (%)	9.1	Basınç Dayanımı, (N/mm²)	
MgO, (%)	1.65	C_3S, (%)	50.7		
SO_3, (%)	3.23	Blain, (cm²/gr)	3083		
K_2O, (%)	0.58	Su / Çimento	27.3	2 gün	26.5
Kızdırma Kaybı, (%)	1.02	Priz Başlangıcı, (dk.)	170	7 gün	39.7
CI, (%)	0.01	Priz Sonu, (dk.)	235	28 gün	50.5

3.1.2. Agrega

Deneysel çalışmalarda numuneler üretilirken kullanılan agregalar Kaybeton hazır beton üretim tesislerinden temin edilmiştir. Numune üretiminde 15-25mm iri mıcır, 7-15mm ince mıcır ve 0-4mm kırma kum olmak üzere 3 farklı tip agrega kullanılmıştır. Kullanılan agregalara TS EN 1097-6' ya [20] göre su emme, özgül ağırlık ve TS 3530 EN 933-1/A1' e [28] göre granülometri deneyleri yapılmıştır. Agrega deney bulguları Tablo 3.2., Tablo 3.3., Tablo 3.4.'de; agregaların granülometri deney bulguları Tablo 3.5.' de; agregaların karışım yüzdeleri Tablo 3.6.' de verilmiştir.

Tablo 3.2. Deneysel Çalışmada Kullanılan İri Agreganın Özgül Ağırlık ve Su Emme Değerleri.

İRİ AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIK DENEYİ ÖLÇÜM VE BULGULARI			
MALZEME CİNSİ :		**İRİ AGREGA**	
1. ÖLÇÜM			
1.	Boş tava ağırlığı , (gr)	**:**	**648.5**
2.	Tava + KYD numune ağırlığı , (gr)	**:**	**2138.0**
3.	Boş tel sepetin su içindeki ağırlığı , (gr)	**:**	**547.0**
4.	Tel sepet + KYD numunesinin su içindeki ağırlığı , (gr)	**:**	**1494.5**
5.	Tava + fırında kurutulmuş numune ağırlığı , (gr)	**:**	**2125.0**
6.	Kuru Numune Ağırlığı	**:**	**1476.5**
7.	KYD Numune Ağırlığı	**:**	**1489.5**
8.	KYD halde emilmiş su ağırlığı	**:**	**13.0**
9.	KYD numunenin su içindeki ağırlığı	**:**	**947.5**
10.	KYD numunenin mutlak hacmi	**:**	**542.0**
11.	Numunenin katı madde mutlak hacmi	**:**	**529.0**
12.	Numunenin kuru Hacim Özgül Ağırlığı	**:**	**2.724**
13.	Numunenin KYD Hacim Özgül Ağırlığı	**:**	**2.748**
14.	Numunenin Zahiri Özgül Ağırlığı	**:**	**2.791**
15.	Numunenin KYD halinde Su Emme Kapasitesi	**:%**	**0.880**
2.ÖLÇÜM			
1.	Boş tava ağırlığı , (gr)	**:**	**647.0**
2.	Tava + KYD numune ağırlığı , (gr)	**:**	**2074.5**
3.	Boş tel sepetin su içindeki ağırlığı , (gr)	**:**	**546.5**
4.	Tel sepet + KYD numunesinin su içindeki ağırlığı , (gr)	**:**	**1457.0**
5.	Tava + fırında kurutulmuş numune ağırlığı , (gr)	**:**	**2062.0**
6.	Kuru Numune Ağırlığı	**:**	**1415.0**
7.	KYD Numune Ağırlığı	**:**	**1427.5**
8.	KYD halde emilmiş su ağırlığı	**:**	**12.5**
9.	KYD numunenin su içindeki ağırlığı	**:**	**910.5**
10.	KYD numunenin mutlak hacmi	**:**	**517.0**
11.	Numunenin katı madde mutlak hacmi	**:**	**504.5**
12.	Numunenin kuru Hacim Özgül Ağırlığı	**:**	**2.737**
13.	Numunenin KYD Hacim Özgül Ağırlığı	**:**	**2.761**
14.	Numunenin Zahiri Özgül Ağırlığı	**:**	**2.805**
15.	Numunenin KYD halinde Su Emme Kapasitesi	**:%**	**0.883**
	2 DENEYİN ORTALAMASI	**:**	**2.731**

Tablo 3.3. Deneysel Çalışmada Kullanılan İnce Agreganın Özgül Ağırlık ve Su Emme Değerleri.

İRİ AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIK DENEYİ ÖLÇÜM VE BULGULARI			
MALZEME CİNSİ :		**ORTA AGREGA**	
1. ÖLÇÜM			
1.	Boş tava ağırlığı , (gr)	**:**	**657.0**
2.	Tava + KYD numune ağırlığı , (gr)	**:**	**1986.5**
3.	Boş tel sepetin su içindeki ağırlığı , (gr)	**:**	**547.0**
4.	Tel sepet + KYD numunesinin su içindeki ağırlığı , (gr)	**:**	**1396.0**
5.	Tava + fırında kurutulmuş numune ağırlığı , (gr)	**:**	**1973.5**
6.	Kuru Numune Ağırlığı	**:**	**1316.5**
7.	KYD Numune Ağırlığı	**:**	**1329.5**
8.	KYD halde emilmiş su ağırlığı	**:**	**13.0**
9.	KYD numunenin su içindeki ağırlığı	**:**	**849.0**
10.	KYD numunenin mutlak hacmi	**:**	**480.5**
11.	Numunenin katı madde mutlak hacmi	**:**	**467.5**
12.	Numunenin kuru Hacim Özgül Ağırlığı	**:**	**2.740**
13.	Numunenin KYD Hacim Özgül Ağırlığı	**:**	**2.767**
14.	Numunenin Zahiri Özgül Ağırlığı	**:**	**2.816**
15.	Numunenin KYD halinde Su Emme Kapasitesi	**:%**	**0.987**
2.ÖLÇÜM			
1.	Boş tava ağırlığı , (gr)	**:**	**295.0**
2.	Tava + KYD numune ağırlığı , (gr)	**:**	**1713.5**
3.	Boş tel sepetin su içindeki ağırlığı , (gr)	**:**	**547.0**
4.	Tel sepet + KYD numunesinin su içindeki ağırlığı , (gr)	**:**	**1452.0**
5.	Tava + fırında kurutulmuş numune ağırlığı , (gr)	**:**	**1699.0**
6.	Kuru Numune Ağırlığı	**:**	**1404.0**
7.	KYD Numune Ağırlığı	**:**	**1418.5**
8.	KYD halde emilmiş su ağırlığı	**:**	**14.5**
9.	KYD numunenin su içindeki ağırlığı	**:**	**905.0**
10.	KYD numunenin mutlak hacmi	**:**	**513.5**
11.	Numunenin katı madde mutlak hacmi	**:**	**499.0**
12.	Numunenin kuru Hacim Özgül Ağırlığı	**:**	**2.734**
13.	Numunenin KYD Hacim Özgül Ağırlığı	**:**	**2.762**
14.	Numunenin Zahiri Özgül Ağırlığı	**:**	**2.814**
15.	Numunenin KYD halinde Su Emme Kapasitesi	**:%**	**1.033**
	2 DENEYİN ORTALAMASI	**:**	**2.737**

Tablo 3.4. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kırma Kumun Özgül Ağırlık ve Su Emme Değerleri.

İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIK DENEYİ ÖLÇÜM VE BULGULARI			
MALZEME CİNSİ :	**KUM**		
1. ÖLÇÜM			
1.	Boş Piknometre ağırlığı, (gr)	**:**	**163.4**
2.	Piknometre + KYD numune ağırlığı, (gr)	**:**	**287.7**
3.	Pikno + KYD Num. + İşarete kadar saf su ağırlığı, (gr)	**:**	**733.2**
4.	Boş Tava ağırlığı, (gr)	**:**	**646.3**
5.	Tava + Fırında Kurumuş Numune Ağırlığı, (gr)	**:**	**760.5**
6.	Kuru Numune Ağırlığı	**:**	**114.2**
7.	KYD Numune Ağırlığı	**:**	**124.3**
8.	KYD halde emilmiş su ağırlığı	**:**	**10.1**
9.	KYD Halde numunenin mutlak hacmi	**:**	**54.5**
10.	Numunenin katı madde mutlak hacmi	**:**	**44.4**
11.	Numunenin kuru Hacim Özgül Ağırlığı	**:**	**2.095**
12.	Numunenin KYD Hacim Özgül Ağırlığı	**:**	**2.281**
13.	Numunenin Zahiri Özgül Ağırlığı	**:**	**2.572**
14.	Numunenin KYD halinde Su Emme Kapasitesi	**:%**	**8.844**
2. ÖLÇÜM			
1.	Boş Piknometre ağırlığı, (gr)	**:**	**140.5**
2.	Piknometre + KYD numune ağırlığı, (gr)	**:**	**318.7**
3.	Pikno + KYD Num. + İşarete kadar saf su ağırlığı, (gr)	**:**	**746.3**
4.	Boş Tava ağırlığı, (gr)	**:**	**655.9**
5.	Tava + Fırında Kurumuş Numune Ağırlığı, (gr)	**:**	**824.0**
6.	Kuru Numune Ağırlığı	**:**	**168.1**
7.	KYD Numune Ağırlığı	**:**	**178.2**
8.	KYD halde emilmiş su ağırlığı	**:**	**10.1**
9.	KYD Halde numunenin mutlak hacmi	**:**	**72.4**
10.	Numunenin katı madde mutlak hacmi	**:**	**62.3**
11.	Numunenin kuru Hacim Özgül Ağırlığı	**:**	**2.322**
12.	Numunenin KYD Hacim Özgül Ağırlığı	**:**	**2.461**
13.	Numunenin Zahiri Özgül Ağırlığı	**:**	**2.698**
14.	Numunenin KYD halinde Su Emme Kapasitesi	**:%**	**6.008**
	2 DENEYİN ORTALAMASI	**:**	**2.209**

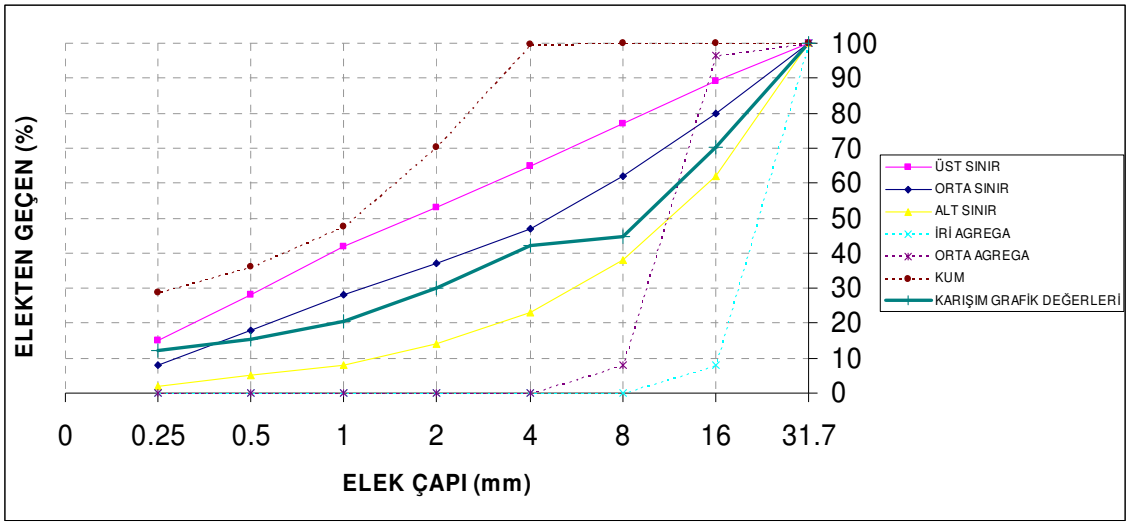
Tablo 3.5. Deneysel Çalışmada Kullanılan Agregaların Granülometri Bulguları.

GRANÜLOMETRİ TABLOSU												
MALZEME CINSI	İRİ AGREGA				ORTA AGREGA				KUM			
MALZEME ILK AGIRLIGI	3000.25				3000.5				3000.5			
ELEK ÇAPLARI	ELEKTE KALAN Ki (gr)	ELEKTEN GEÇEN Pi (gr)	%Pi	%Ki	ELEKTE KALAN Ki (gr)	ELEKTEN GEÇEN Pi (gr)	%Pi	%Ki	ELEKTE KALAN Ki (gr)	ELEKTEN GEÇEN Pi (gr)	%Pi	%Ki
31.7	0	3000.25	100.000	0.000	0	3000.5	100.000	0.000	0	3000.5	100.000	0.000
16	2763.25	237	7.899	92.101	101	2899.5	96.634	3.366	0	3000.5	100.000	0.000
8	236	1	0.033	7.866	2658	241.5	8.049	88.585	0	3000.5	100.000	0.000
4	0	1	0.033	0.000	240	1.5	0.050	7.999	12.75	2987.75	99.575	0.425
2	0	1	0.033	0.000	0	1.5	0.050	0.000	878	2109.75	70.313	29.262
1	0	1	0.033	0.000	0	1.5	0.050	0.000	677	1432.75	47.750	22.563
0.5	0	1	0.033	0.000	0	1.5	0.050	0.000	352.75	1080	35.994	11.756
0.25	0	1	0.033	0.000	0	1.5	0.050	0.000	215	865	28.829	7.165
0	1				1.5				865			

Tablo 3.6. Deneysel Çalışmada Kullanılan Agregaları Karışım Yüzdeleri.

Seçilen Elek Çapı	Karışım Oranları			Seçilen Elek Çapına Göre Karışım Yüzdesi	Karışım Grafik Değerleri	Orta Sınır	Alt Sınır
	İri Agrega	Orta Agrega	Kum				
16	1.2	1	1.625	70.22	100	100	100
					70.22	80	71
					44.59	62	50
					42.32	47	35
					29.89	37	25.5
					20.31	28	18
					15.31	18	11.5
					12.27	8	5

Malzeme özelliklerine ve büyüklüklerine bağlı olarak uygun karışım yapılarak beton karışımına esas granülometri eğrisi elde edilmiştir. Beton karışına esas granülometri eğrisi Şekil 3.1. de verilmiştir.



Şekil 3.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Agregaların Granülometri Eğrisi.

3.1.3. Su

Beton karma suyu olarak kullanılacak suyun uygunluğu hakkında, TS EN 1008' de su içilebiliyor ise, beton yapımında karma suyu olarak kullanılmaya uygundur hükmü vardır. Şehir sularının hepsi kalite olarak birbirinin benzeri olamaz [21]. Ancak, içerdikleri yabancı maddelerin miktarı beton özelliklerine zarar verebilecek kadar yüksek değildir [29]. Bundan dolayı numune üretiminde ve kür suyu olarak kullanılan su şehir şebekesinin içme suyudur.

3.1.4. Akışkanlaştırıcı Katkı

Numunelerin hazırlanmasında erken yüksek mukavemet, kusursuz yüzey görünümü ve nihai yüksek performansa gereksinim duyulan, prefabrike beton ve hazır beton endüstrisi için geliştirilmiş, yüksek oranda su ihtiyacını azaltan ve YAPKİM Yapı Kimya Sanayi A.Ş. firmasından temin edilen süper akışkanlaştırıcı katkı malzemesi kullanılmıştır. Akışkanlaştırıcı katkı, bağlayıcı ağırlığının %1'i dozajında seçilmiştir.

3.1.5. Polipropilen Lif

Polipropilen Elyaf San. ve Dış Tic. Ltd. Şti.' den temin edilen F19 ve M12 tipi 2 çeşit polipropilen lif kullanılmıştır. Çalışmalarda kullanılan polipropilen liflerle ilgili teknik özellikler Tablo 3.7.' de verilmiştir.

Tablo 3.7. Fibrile ve Multifibrile Polipropilen Liflere Ait Özellikler.

Tip	Fibrile	Multifibrile
Polipropilen (%)	100	100
Ürün Tipi	Standart F	Standart M
Yoğunluk (kg/lt)	0.91	0.91
Kesit	Karesel	Yuvarlak
Kalınlık (μ)	36	18
Renk	Transparent	Transparent
Görünüm	Visible	Invisible
Gerilme Dayanımı (N/mm²)	500	700
Young Modülü (N/mm²)	7161.20	7161.20
Uzama (%)	Max 10	Min 100
Uzunluk (mm)	19	12

3.2. Çalışma Metodu

Numuneler hacimsel olarak %0.0, %0.1, %0.2, %0.3, %0.4 ve %0.5 oranlarında F19 ve M12 polipropilen liflerle güçlendirilmiştir. Bu numuneler NŞA, 100 ºC, 200 ºC, 400 ºC, 600 ºC ve 800 ºC olmak üzere 6 farklı sıcaklık etkisine maruz bırakılarak lif oranları ve sıcaklık değerlerinin etkileri araştırılmıştır. Her lif oranı ve her sıcaklık değeri için 1 yarma silindir numunesi (150x300mm), 1 basınç dayanımı silindir numunesi (150x300mm) ve 1 eğilmede çekme dayanımı prizmatik numunesi (150x150x750mm) üretilmiştir. Ayrıca bu numuneler 7, 28 ve 90 günlük periyotlarda deneye tabi tutulmak üzere 3 grup olarak üretilmiştir. Hacimsel lif oranlarına, sıcaklık değerlerine ve gün periyotlarına göre üretilen silindir numune adedi Tablo 3.8.' de, prizmatik kiriş numune adedi Tablo 3.9.' da verilmiştir.

Tablo 3.8. Deneysel Çalışmalar İçin Üretilen Silindir Numune Dağılımları.

Silindir Numune Dağılımı							
Gün	Sıcaklık (°C)	Polipropilen Lif Yüzdeleri (% Hacimsel) FP ; MFP					
		% 0.0	% 0.1	% 0.2	%0.3	% 0.4	% 0.5
7, 28, 90	24.5 °C	2	2	2	2	2	2
	100 °C	2	2	2	2	2	2
	200 °C	2	2	2	2	2	2
	400 °C	2	2	2	2	2	2
	600 °C	2	2	2	2	2	2
	800 °C	2	2	2	2	2	2

Tablo 3.9. Deneysel Çalışmalar İçin Üretilen Prizmatik Numune Dağılımları.

Prizmatik Numune Dağılımı							
Gün	Sıcaklık (°C)	Polipropilen Lif Yüzdeleri (% Hacimsel) FP ; MFP					
		% 0.0	% 0.1	% 0.2	%0.3	% 0.4	% 0.5
7, 28, 90	24.5 °C	1	1	1	1	1	1
	100 °C	1	1	1	1	1	1
	200 °C	1	1	1	1	1	1
	400 °C	1	1	1	1	1	1
	600 °C	1	1	1	1	1	1
	800 °C	1	1	1	1	1	1

3.2.1. Beton Karışım Oranları

Deneysel çalışmalarda, numunelerin hazırlanması için yapılan beton karışımında bağlayıcı miktarı bir metreküp için 428kg, su/çimento oranı ise 0.35' de olarak sabit tutulmuştur. Karışımdaki hapsolmuş hava miktarı ise 10dm³ olarak seçilmiştir. Bütün karışımlardaki agrega oranları, %1.2 iri agrega (15-25mm), %1 7 orta agrega (15 mm) ve %1.625 kırma kum (0-4 mm) olarak belirlenmiştir. Bunların yanı sıra işlenebilirliği artırmak için süper akışkanlaştırıcı bağlayıcı malzeme miktarının %1'i oranında kullanılmıştır. Polipropilen lifler fibrile polyfibers F19 tipi ve multifibrile polyfibers M12 tipi olarak hacimce %0.0, %0.1, %0.2, %0.3, %0.4 ve %0.5 oranlarında kullanılmıştır.

Karışım hesabı TS 802 (1985)' de [18] verilen mutlak hacim metoduna göre yapılmıştır. Gerekli agrega miktarının hacmi hesaplanmış ve daha sonra ağırlıkları bulunmuştur. Yapılan hesaplamalar sonucunda malzemelerin elde edilen miktarlarda betoniyerde

karıştırılması ile C40 sınıfı beton numuneler üretilmiştir. 1m³ beton içinde polipropilen lif oranından bağımsız olarak bulunan malzeme miktarı Tablo 3.10.' da gösterilmiştir.

Tablo 3.10. 1m³ Beton İçinde Polipropilen Lif Oranından Bağımsız Olarak Bulunan Malzeme Miktarı.

MALZEME CİNSİ	1 m³ Beton için Miktar (kg.)
No1 Agrega _ (15-22) mm.	541.51 kg
No2 Agrega _ (7-15) mm.	451.26 kg
Kırma Kum _ (0.4mm)	733.29 kg
Çimento (PÇ 42,5 - CEM I)	428.57 kg
Polipropilen Lif	3.60 kg
İlk Su	150.00 kg
İlave Su	63.79 kg
Kullanılacak Su	213.79 kg
Kimyasal Katkı (Süper Akışkanlaştırıcı)	5.06 kg

3.2.2. Betonun Üretimi ve Kürü

Beton karışım hesapları sonucunda bulunan malzemeler hassas terazide ayrı ayrı tartılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler önceden nemlendirilmiş betoniyer içerisine konulmuştur. Betoniyere öncelikle agregalar konulmuş ve 1-2dk. karışması sağlanmıştır. Sonrasında çimento ilave edilerek 1-2dk. kadar tekrar karıştırılmıştır. Agrega ve çimento karışımına, daha önce karıştırılmış su–süper akışkanlaştırıcı karışımı ilave edilerek, son karışım iyice harmanlanmıştır. Elde edilen harç iyice karıştıktan sonra belirlenen hacimsel oranlara göre polipropilen lif eklenmiş ve liflerin karışım içinde homojen olarak dağılmasına özen gösterilmiştir. Her karışımda 6 adet silindir ve 3 adet prizmatik kiriş bir döküm olarak üretilmiştir.

Karışım işlemi tamamlandıktan sonra, daha önce temizlenmiş ve yağlanmış olan beton numune kalıplarına taze beton karışımı 3 aşamada konulmuştur. Her aşamada standart demir şiş ve plastik tokmak yardımıyla harcın kalıp içine yerleşmesi sağlanmıştır. Deney numunelerinin hazırlanması ve kürlenmesi TS EN 12390-2 (2002) [22] standardına göre yapılmıştır (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Numunelerin Kürlenmesi.

3.2.3. Deneysel Çalışmalar

Silindir numunelerden biri yarmada çekme, diğeri ise basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Prizmatik kiriş numune, deplasman kontrollü cihaz ile çekme deneyine tabi tutulmuştur. Kiriş numunelere ısıl işlem öncesinde ve sonrasında ultrasonik hız ölçümü (pundit) yapılmış ve elde edilen değerler karşılaştırılmıştır.

3.2.3.1. İşlenebilirlik Kıvam Tayini

Taze betonun işlenebilirliği TS EN 12350-2 (2002)' ye [23] göre, çökme hunisi (slump) metoduyla yapılmıştır. Huni tamamen doldurulduktan sonra harcın üst kısmı düzlenmiş ve huni yavaş, aynı zamanda dik bir şekilde yukarı doğru çekilmiştir. Çökme değeri olarak bahsedilen, huni ile çöken taze beton arasındaki yükseklik farkı (mm) cinsinden betonun işlenebilirliğini vermektedir.

3.2.3.2. Basınç Dayanımı Tayini

Basınç dayanımı deneyi yapılacak olan silindir numuneler başlıklaşmıştır. Deney dijital göstergeli 300 ton kapasiteli, kalibrasyonu TSE standardına uygun pres yardımıyla yapılmıştır. Basınç dayanımı deneyi yapılan numunelere, üzerinde dijital göstergeli saati

bulunan kompressometre monte edilmiştir. Numunelere uygulanan yük artırılırken oluşan yatay ve düşey deplasman değerleri her 10 kN yükte dijital saat yardımıyla ve 1µm hassasiyetle okunmuştur.

3.2.3.3. Elastisite Modülü Tayini

Betonda elastisite modülü, beton deney numunelerinde elastik bölgede uygulanan kuvvetin oluşturduğu basınç gerilmelerinin, numunelerde boyuna kısalmaya oranı olarak ifade edilmektedir. Betondaki gerilme–birim deformasyon ilişkisi TS 3502 (1981)' ye [24] uygun olarak belirlenmiştir. Deney yapılırken, yükün artması ile her 10 kN yükte, numunede oluşan deformasyonlar kaydedilmiş ve bu işleme numune dayanımına ulaşılana kadar devam edilmiştir. Kaydedilen değerlerden gerilme–birim deformasyon eğrisi elde edilmiştir. Betonların σ-ε eğrisi üzerinde herhangi bir nokta belirlenmiş, teğet ve sekant modülü yöntemleri yardımıyla elastisite modülü tayini yapılmıştır.

Rijitliğin veya deformasyona uğrayan malzemelerin direncinin bir ölçüsüdür. Elastisite modülü değerlerinin bulunmasında Windows işletim sistemi altında Visual Fortran derleyicisiyle çalışan program kullanılmıştır [27].

Basınç deneyi sırasında 150x300 silindir numuneler üzerine takılan kompresometre deney aleti üzerinde (Şekil 3.3.) bulunan µm hassasiyetli deplasman ölçer kullanılarak alınan deplasman okumaları, program içerisine her bir deplasmana karşılık gelen yük değeri ile birlikte yazılmıştır. 150x300mm'lik silindirik beton numunelerden alınan kompresometre deneyinin dataları her bir silindir numune için farklı bir dosyada okunmaktadır. Data dosyaları edit ile yazılır ve ASCII kodundadır.

Program çalıştırıldığında girilen her data dosyasından okunan kuvvet-deplasman değerlerine karşılık gelen gerilme ve birim kısalma (σ-ε) değerleri hesaplanarak programcının adlandırdığı dosyaya yazılır.
Birim Kısalma Değeri;

$$\varepsilon = \frac{def(j)}{Lo}$$

ifadesiyle hesaplanmaktadır. Lo değeri kompresometrenin bağlantı noktaları arasındaki mesafe olarak 200mm'dir. Gerilme değeri ise her bir yük değerine göre

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

ifadesiyle MPa (N/mm²) biriminde hesaplanmaktadır. Hesaplanan σ ve ε değerleri kullanılarak σ-ε eksen takımları üzerinde σ_0=0 ve ε_0=0 noktalarından başlayarak okuma alınan her bir yük değerine karşılık gelen σ_1 σ_2 σ_3, …, σ_n ve ε_1, ε_2, ε_3, ..., ε_n değerleri noktalar halinde belirlenmiştir.

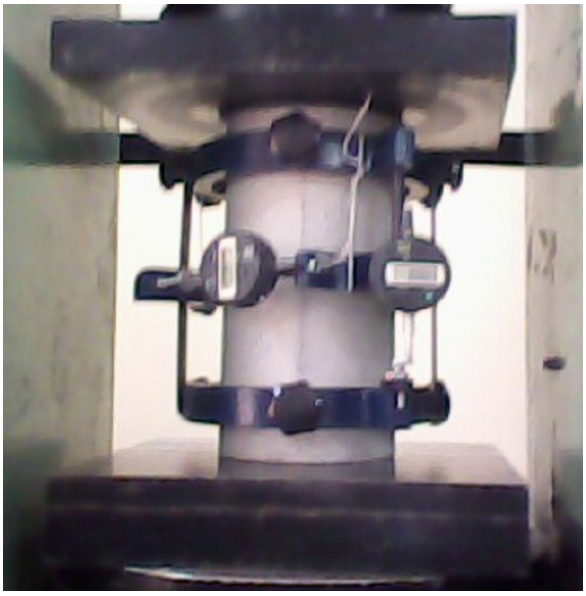
Program belirlenen bu noktaları kullanarak, bu noktalara bağlı ikinci dereceden regresyon polinomları uydurmaktadır. Bu regresyon polinomlarının sırası, çizilen σ-ε değer çiftleri noktalarından, önce σ_0= 0 ile σ_{maks}'a kadar, sonra σ_0= 0 ile σ_{maks-2} (σmaks'tan bir önceki nokta) noktasına kadar ve bu şekilde devam ederek en son 0,7x σ_{maks}'a eşit nokta olaçak şekilde uydurulmaktadır. σ_{maks}'tan itibaren alınan bu eksen, nokta çiftlerine en küçük kareler yöntemiyle uydurulan regresyon polinomlarının determinasyon katsayıları (R²) hesaplanmaktadır. Bütün polinomlar orjinden geçmektedir ve analitik yapısı

$$\sigma = bx\varepsilon + cx\varepsilon^2$$

biçimindedir. σ-ε noktalarına uydurulan ikinci dereceden regresyon polinomlarından R²'si en büyük olan polinom ile hesaplanan gerilme-birim kısalma değerleri kullanıcı tarafından isimlendirilen ayrı bir dosyaya yazdırılmaktadır. R²'si en büyük olan polinom esas alınarak tanjant ve kiriş elastisite modülü değerleri hesaplanmaktadır.

Teğet elastisite modülünün hesaplanmasında en büyük determinasyon katsayısı (R²) değerine sahip polinom değerleri kullanılarak y koordinatı $y = 0{,}40x\sigma_{maks}$ olan noktanın (x) koordinatı hesaplanır. Program belirlenen bu noktadan daha önce oluşturulan ikinci dereceden polinom eğrisine teğet çizmektedir. Çizilen bu teğetin başlangıç ve son noktalarının koordinatları ayrı bir dosyaya yazdırılmaktadır. Sonra program bu teğet dosyasının yatayla yaptığı açıyı hesaplayarak, tanjant elastisite modülünü çıkış dosyasında MPa birimiyle vermektedir.

Kiriş elastisite modülünün hesaplanmasında en büyük R² değerine sahip polinom değerleri kullanılarak y koordinatı $y = 0{,}50x\sigma_{maks}$ olan noktanın (x) koordinatı hesaplanır. Program belirlenen bu nokta ile başlangıç ($\sigma_0 = 0$, $\varepsilon_0 = 0$) noktasını birleştirerek önceden oluşturulan ikinci dereceden polinom eğrisine kiriş teşkil edecek şekilde bir doğru çizmektedir. Çizilen bu doğrunun başlangıcı (0,0) ve son noktasının koordinatları ayrı bir dosyaya yazdırılmaktadır. Sonra program bu kiriş doğrusunun yatayla yaptığı açıyı hesaplayarak kiriş elastisite modülü olarak çıkış dosyasında MPa birimiyle vermektedir [27].



Şekil 3.3. Dijital Deplasman Ölçerli Kompressometre Bağlanmış Silindir Numune.

3.2.3.4. Yarmada Çekme Dayanımı Tayini

Üretimi ve kürü gerçekleştirilen numunelerde yarmada çekme dayanımı deneyi 7, 28 ve 90. günlerde her polipropilen lif hacimsel oranı ve her sıcaklık değeri için ayrı ayrı yapılmıştır. Numuneler Şekil 3.4.' de gösterildiği gibi TS EN 12390-6' ya [25] uygun olarak yarma yükü deneyine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.4. Yarmada Çekme Deneyi.

Silindir deney numunelerinin alt ve üst kısımlarına uzunlukları boyunca levha konulmuş ve basınç yükü bu levhalar aracılığıyla numunelere aktarılmıştır. Yükleme doğrultusuna dik doğrultuda oluşan çekme kuvveti sonucunda, numunede düşey çatlak meydana gelerek kırılmıştır.

3.2.3.5. Enerji Yutma Kapasitesi (Tokluk) Tayini

Silindir numunelere dijital saat göstergeli kompressometre bağlanarak, her 10kN yük değerinde numunedeki deformasyon datalarının okuması kaydedilmiştir. Bu değerler yardımıyla gerilme-şekil değiştirme grafikleri elde edilmiş ve eğri altında kalan alanlar hesaplanarak numunelerin enerji yutma kapasiteleri tayin edilmiştir.

Prizmatik numuneler ise numune uzunluğunun 2/3'ü açıklık mesafesi olacak şekilde mesnetlere oturtulmuştur. Numunenin orta noktasından strok kontrollü olarak dakikada 0.5mm sehim yapacak şekilde yükleme yapılmış ve elde edilen datalar bilgisayara aktarılmıştır. Datalar yardımıyla yük-deformasyon grafiği çizilmiş ve gerilme-şekil değiştirme eğrisi elde edilmiştir. Bu eğrinin altındaki alanın hesaplanmasıyla enerji yutma kapasitesi bulunmuştur.

3.2.3.6. Prizmatik Beton Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini

Polipropilen lif katkılı ve katkısız 150x150x750mm boyutlarındaki prizmatik kiriş numuneler orta noktadan yüklenen kiriş metodu ile eğilmede çekme deneyi yapılmıştır. Deneylerde 250 kN kapasiteli geri beslemeli–sehim kontrollü yükleme çerçevesi kullanılmıştır [26]. Prizmatik numunelere eğilmede çekme dayanımı deneyinin uygulanması ve deney düzeneği Şekil 3.5.' de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyinin Deney Düzeneği.

Kirişlerin orta açıklığındaki sehim, yükleme düzeneğine yerleştirilmiş strok yardımıyla belirlenmiştir. Deney, numunenin açıklık ortasındaki sehimi dakikada 0.5mm olacak şekilde yapılmıştır. Yükleme başlangıcından, numunenin eğilme dayanımına ulaşıp kırılmasına kadar yük ve sehim arasındaki ilişki bilgisayar yardımıyla takip edilmiş ve datalar kaydedilmiştir. Deney sonucunda yük–sehim eğrisi çizilerek elde edilen eğrinin altında kalan alan yardımıyla eğilme dayanımları değerlendirilmiştir. Prizmatik numuneler için elde edilen yük-sehim eğrisi altındaki alanlar ifade edilerek belirlenen eğilme dayanımları, test numunesinin emme kapasitesinin bir göstergesidir. FP %0.5 ve MFP %0.5 lifli prizmatik numunelerin kuvvet-deplasman eğrileri her bir sıcaklık etkisi için Ek-1' de verilmiştir.

3.2.3.7. Prizmatik ve Silindir Numunelere Sıcaklık Uygulanması

Polipropilen lif katkılı ve katkısız olarak üretilen silindir numuneler ile prizmatik numuneler üretim tarihlerinden itibaren 7., 28. ve 90. günlerde sıcaklık etkisine maruz bırakılmıştır. Sıcaklık etkisi, 1200 ºC sıcaklık kapasitesine sahip elektrikli yüksek sıcaklık fırını kullanılarak uygulanmıştır. Fırının genel görünümü Şekil 3.6.' da verilmiştir.



Şekil 3.6. Çalışmalarda Kullanılan Yüksek Sıcaklık Fırını.

Sıcaklık etkisine maruz bırakılacak silindir numuneler fırına konulmadan 1 gün önce havuzdan çıkarılmış ve 24 saat doğal kurumaya bırakılmıştır. Bu kuruma sonrasında numunelere sırasıyla NŞA, 100 ºC, 200 ºC, 400 ºC, 600 ºC ve 800 ºC sıcaklıkları uygulanmıştır. (Şekil 3.7.).



Şekil 3.7. Numunelere Yüksek Sıcaklık Uygulanması.

Yüksek sıcaklık fırınında fırınlama süresi, sıcaklığın kontrollü yükselme zamanı ve kararlı sıcaklık (100 ºC, 200 ºC, 400 ºC, 600 ºC ve 800 ºC) durumundaki ısıtılma zamanı toplamı 6 saat olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Isıtma periyodunun ardından deney numunelerinin ani sıcaklık değişimi etkilerine maruz kalmaması için fırın sıcaklığı oda sıcaklığına erişinceye kadar kapağı kapalı olarak kendiliğinden soğumaya bırakılmıştır [27]. Sıcaklık uygulanmış numunelerden bir görünüm Şekil 3.8.' de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Yüksek Sıcaklığa Maruz Kalmış Numuneler.

4. BÖLÜM
BULGULAR

4.1.Silindir Beton Numunelerden Elde Edilen Bulgular

4.1.1. Basınç Dayanımı Bulguları

Basınç dayanımı tayini 150x300mm boyutlarındaki silindir beton numuneler üzerinde yapılmıştır. Beton numunelerin zamana bağlı olarak göstereceği dayanım artışları için 7, 28 ve 90 günlük dayanımları ölçülmüştür. Ayrıca numuneler FP ve MFP polipropilen lif katkılı ve katkısız olarak üretilerek sıcaklık etkisine maruz bırakılmıştır.

Farklı lif tipi ve hacimsel oranları ile üretilen numunelerden, 24.5ºC' de test edilen kontrol numunelerine ait basınç dayanımı değerleri ile 100ºC, 200ºC, 400ºC, 600ºC ve 800ºC' de sıcaklık etkisi sonrası test edilen beton numunelere ait basınç dayanımı değerleri kıyaslanmıştır. Böylece lif tipi ve oranı ile sıcaklık etkisinin basınç dayanımı değerleri üzerindeki etkisi ortaya konulmuştur. Bunun yanı sıra 7, 28, ve 90. günler sonunda elde edilen bulgular aynı zamanda beton yaşına göre basınç dayanımına etkisini göstermiştir. Aşağıda basınç dayanımının sıcak etkisi altında değişimi FP tipi polipropilen lifler için Tablo 4.1' de ve MFP tipi polipropilen lifler için ise Tablo 4.2.'de nümerik olarak verilmiştir.

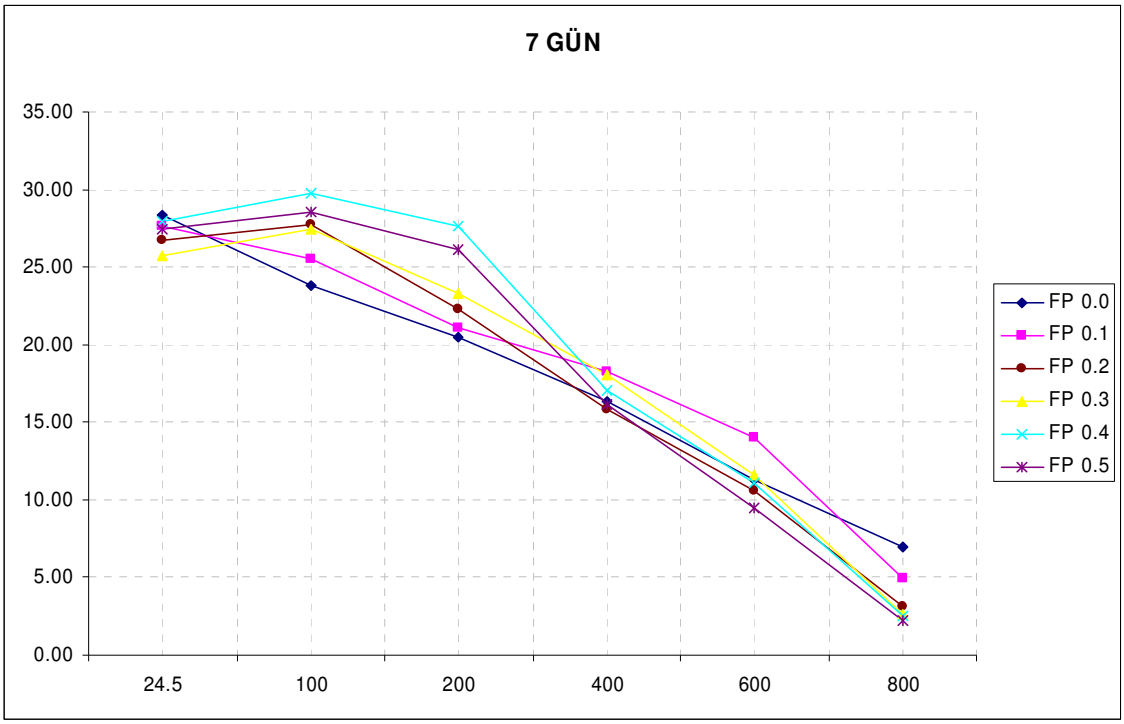
Tablo 4.1. FP Polipropilen Lif Katkısı ve Sıcaklık Değerlerine Göre Basınç Dayanımı Değerleri.

BASINÇ DAYANIMI DEĞERLERİ (MPa)								
LİF TİPİ	**Polipropilen Lif Yüzdesi *(% hacim)***	**Numune Periyodu *(Gün)***	**Sıcaklık *(°C)***					
			24.5	**100**	**200**	**400**	**600**	**800**
FP	0,0	**7**	28.36	23.81	20.51	16.35	11.29	6.92
		28	44.61	38.59	26.57	22.07	13.64	6.84
		90	49.22	44.89	40.43	13.23	11.95	7.39
	0,1	**7**	27.65	25.53	21.12	18.26	14.04	4.92
		28	41.03	35.24	32.29	20.06	12.37	8.03
		90	49.52	45.51	41.08	13.62	13.19	9.10
	0,2	**7**	26.77	27.70	22.25	15.82	10.57	3.16
		28	39.84	33.58	30.17	19.24	12.42	5.27
		90	44.67	39.77	35.64	11.12	10.57	9.46
	0,3	**7**	25.70	27.40	23.34	18.09	11.55	2.66
		28	40.44	34.99	27.52	16.90	16.30	5.22
		90	47.88	47.58	37.97	15.15	11.45	7.42
	0,4	**7**	27.96	29.72	27.66	17.04	11.07	2.47
		28	43.97	39.07	31.92	17.27	11.27	7.54
		90	47.58	40.26	39.24	14.69	13.63	5.82
	0,5	**7**	27.46	28.58	26.12	16.17	9.49	2.25
		28	41.63	36.25	31.08	19.66	10.75	6.38
		90	46.23	41.92	32.74	13.52	10.93	7.01

Tablo 4.2. MFP Polipropilen Lif Katkısı ve Sıcaklık Değerlerine Göre Basınç Dayanımı Değerleri.

BASINÇ DAYANIMI DEĞERLERİ (MPa)								
LİF TİPİ	**Polipropilen Lif Yüzdesi *(% hacim)***	**Numune Periyodu *(Gün)***	**Sıcaklık *(°C)***					
			24.5	**100**	**200**	**400**	**600**	**800**
MFP	0,0	**7**	36.21	25.97	21.49	15.58	12.47	6.85
		28	44.31	40.41	31.66	20.70	14.53	7.19
		90	48.36	42.63	38.10	25.21	12.91	10.11
	0,1	**7**	33.46	36.34	22.88	18.71	13.51	5.02
		28	43.22	40.92	32.03	18.91	14.93	8.83
		90	48.48	42.94	38.45	22.45	13.69	9.03
	0,2	**7**	34.37	27.01	24.71	16.72	13.49	3.19
		28	41.98	39.66	30.04	22.24	12.32	7.84
		90	46.41	40.70	36.18	19.43	12.72	9.16
	0,3	**7**	34.37	28.20	25.91	17.79	14.01	3.70
		28	40.50	38.23	29.12	19.65	13.14	8.66
		90	45.59	39.50	34.98	26.20	15.70	8.21
	0,4	**7**	34.68	31.25	26.53	19.26	12.08	5.25
		28	44.53	39.71	30.43	21.70	14.11	8.16
		90	52.95	43.34	36.50	24.87	12.74	9.23
	0,5	**7**	32.70	29.06	26.85	18.92	11.08	4.71
		28	41.41	41.68	30.53	19.19	13.31	7.65
		90	47.58	40.49	36.06	24.78	12.62	8.28

FP tipi polipropilen lif katkılı ve katkısız, 7 günlük silindir beton numunelerin lif oranına bağlı olarak basınç dayanımı–sıcaklık değişimleri Şekil 4.1.' de grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.1. FP Lifli 7 Günlük Silindir Numune Basınç Dayanımlarının Sıcaklıkla Değişimi.

7 günlük FP lifli silindir numuneler üzerinde uygulanan basınç dayanımı deney bulgularına göre;

Oda sıcaklığında referans numunelere göre, polipropilen lif katkısının basınç dayanımını azaltıcı yönde bir etkisinin olduğu görülmüştür. Ancak bu azalma oldukça küçük değerlerde olup, referans betonunun basınç dayanımı değerleriyle eşdeğerdir. En büyük dayanım azalması değeri FP %0.3 lif oranında % 10 olarak görülürken, FP % 0.1 için % 2.5, FP %0.2 için %5.6, FP %0.4 için 1.4 ve FP %0.5 için %3.1 olarak hesaplanmıştır.

100ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde, tüm lif oranlarının referans betonuna göre dayanımda artış sağladıkları görülmüştür. Sıcaklık etkisiyle referans betonunda oda sıcaklığına göre % 16' lık bir dayanım azalması görülürken, polipropilen lifli betonlarda dayanım azalması daha küçük mertebelerde gerçekleşmiş ve hatta FP%0.2-0.5 arasında dayanımda artışlar olduğu saptanmıştır. En belirgin dayanım artışı FP %0.4 lif oranında %6.3 olarak tespit edilmiştir. FP% 0.1 lif oranında ise %8.3' lük bir dayanım azalması olmuştur.

200ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde, lif katkılı betonlardaki sıcaklık etkisiyle meydana gelen dayanım azalması değerlerinin lif katkısız kontrol betonuna göre yine küçük olduğu görülmüştür. Aynı sıcaklığa maruz bırakılmış lif katkısız kontrol numunelerinde sıcaklık etkisiyle % 27,7 oranında bir dayanım azalması görülürken, lif katkılı numunelerde en büyük dayanım azalması değeri FP %0.1 lif oranında % 25.7 olarak hesaplanmıştır. Diğer lif oranlarındaki dayanım azalması daha küçük oranlarda meydana gelmiştir. FP %0.2 için %16.9, FP %0.3 için %9.2, FP %0.4 için % 2 ve FP %0.5 için %5 dayanım kaybı tespit edilmiştir.

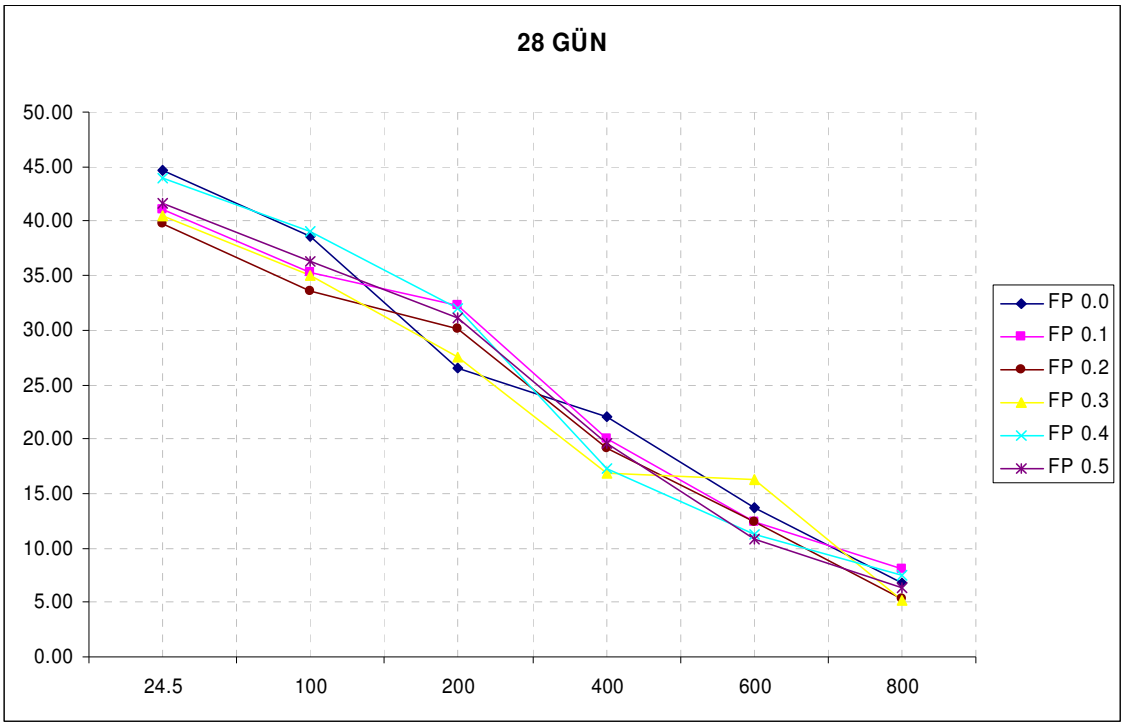
400ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde, referans betonunda sıcaklık etkisiyle beklenen dayanım azalması normal olarak gerçekleşmiştir. Ancak bu sıcaklık değerinde polipropilen lif katkılı numunelerdeki dayanım kaybı daha belirgin bir şekilde artmıştır. Referans betonundaki dayanım azalması %25.4 mertebesindeyken, lif katkılı betonlarda lif oranının artması ile dayanım kaybının daha büyük mertebelere ulaştığı belirlenmiştir. Dayanım azalması değerleri oda sıcaklığındaki referans betonlarına göre FP %0.1 için %15.7, FP %0.2 için %40.7, FP %0.3 için %29, FP %0.4 için %62.4 ve FP %0.5 için %61.5 olarak tespit edilmiştir. Bu sıcaklık değeri için en büyük basınç dayanımı kayıplarının FP %0.4 ve FP %0.5 lif katkılı numunelerde yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür. Ancak lif katkılı betonların basınç dayanımı değerleri lif katkısız numunelerin basınç dayanımı değerlerinin altına düşmemiştir.

600ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde, yüksek sıcaklık etkisiyle basınç dayanımı oldukça azalan betonlardan lif katkılı olanlarında 200-400ºC arasındaki dayanım azalmasının yaklaşık aynı hızla devam ederek oldukça azaldığı görülmüştür. Dolayısıyla bu sıcaklık değerinde lif katkılı betonların basınç dayanımı değerleri, lif katkısız kontrol betonunun basınç dayanımı değerlerinin altına düşmüştür. Ancak en düşük lif oranı olan FP %0.1 lif oranındaki dayanım kaybının diğer lif oranlarındaki kadar büyük olmadığı ve bu numunenin basınç dayanımı değerinin referans betonunun altına düşmediği de görülmüştür.

800ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde, referans betonunun basınç dayanımı değeri diğer tüm lif katkılı numunelerin basınç dayanımlarının üstündedir. Bu sıcaklık değerindeki en düşük basınç dayanımı değerleri FP %0.4 ve FP %0.5 lif katkılı betonlarda ölçülmüştür. Özellikle 400ºC' de ve sonrasında lif katkılı numunelerdeki

dayanım azalmasının daha yüksek mertebelerde olduğu ve sıcaklık artarken lif oranının da artmasıyla dayanımdaki azalmanın hız kazandığı tespit edilmiştir.

FP tipi polipropilen lif katkılı ve katkısız, 28 günlük silindir beton numunelerin lif oranına bağlı olarak basınç dayanımı–sıcaklık değişimleri Şekil 4.2.' de grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.2. FP Lifli 28 Günlük Silindir Numune Basınç Dayanımlarının Sıcaklıkla Değişimi.

28 günlük FP lifli silindir numuneler üzerinde uygulanan basınç dayanımı deney bulgularına göre;

Oda sıcaklığında referans numunelerin basınç dayanımı değerlerinin lif katkılı beton numunelerin basınç dayanımı değerlerinden daha büyük olduğu görülmüştür.

100ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde, dayanım azalması FP% 0.4 lif katkılı beton numune dışındaki diğer tüm numunelerde yaklaşık aynı oranlarda olmuştur. Kontrol betonunda sıcaklık etkisiyle %15.6 oranında bir azalma görülürken, FP % 0.4 lif katkılı beton numunede bu oran %12.5' de kalmıştır. Dolayısıyla bu sıcaklık değerinde FP %0.4 lif katkılı numunenin basınç dayanımı değeri kontrol

betonuna göre iyileşme göstermiştir. Bunun yanı sıra FP %0.5 lif katkılı numunenin basınç dayanımında ise % 14.9 oranında bir azalma olmuştur. Buradan yola çıkarak bu sıcaklık değerinde lif oranı yüksek olan numunelerdeki dayanım kaybının daha az olduğu tespit edilmiştir.

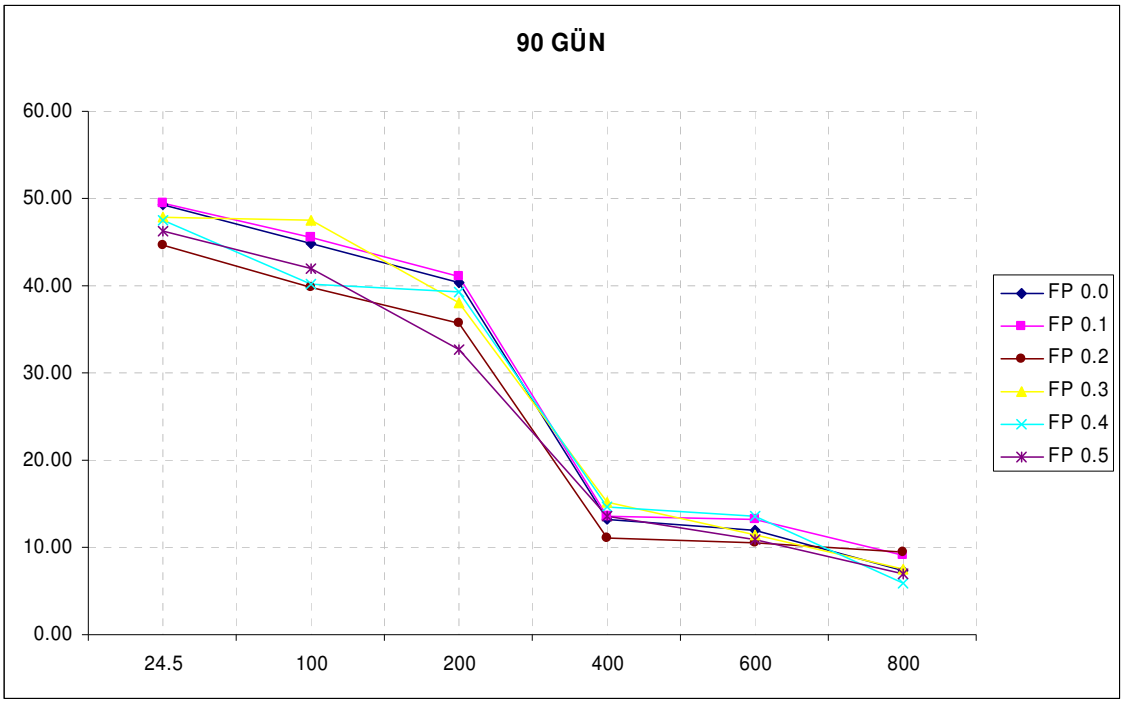
200ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde, lifsiz betondaki azalma lif katkılı betonlara oranla daha fazla olmuş ve en düşük basınç dayanımı değeri lif katkısız betonlarda elde edilmiştir. En az dayanım kaybı FP %0.1 lif katkılı numunede % 24.3 olarak tespit edilmiştir. Diğer lif oranlarında dayanım azalması, referans betonuna göre birbirine yakın oranlarda olurken, bunlardan farklı olarak FP %0.3 lifli numunede %32' lik bir dayanım kaybı söz konusu olmuştur.

400ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde, lifli betonlardaki basınç dayanımı kaybı oranları kontrol betonuna göre daha fazla artmıştır. Bu sıcaklık değerinde en yüksek basınç dayanımı değeri kontrol betonunda elde edilmiştir.

600ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde, sıcaklık etkisiyle basınç dayanımlarındaki artış devam ederken lifsiz kontrol betonundaki dayanım azalmasının FP %0.3 lifli beton numune dışında, diğer lif katkılı numunelerden daha az dayanım kaybına uğradığı gözlenmiştir. FP %0.3 lif katkılı beton numune de 400ºC' deki değerine göre %3.6 oranında bir azalma görülmüştür.

800ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde, lif katkılı ve katkısız beton numune basınç dayanımı değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlenmiştir. FP %0.1 ve FP %0.4 lif katkılı beton numunelerde kontrol betonuna göre bir iyileşme söz konusudur.

FP tipi polipropilen lif katkılı ve katkısız, 90 günlük silindir beton numunelerin lif oranına bağlı olarak basınç dayanımı–sıcaklık değişimleri Şekil 4.3.' de grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.3.FP Lifli 90 Günlük Silindir Numune Basınç Dayanımlarının Sıcaklıkla Değişimi.

90 günlük FP lifli silindir numuneler üzerinde uygulanan basınç dayanımı deney bulgularına göre;

Oda sıcaklığındaki beton numunelerin 90 günlük basınç dayanımı değerleri de 7 ve 28. günlerde olduğu gibi lif katkısı ile azalmıştır. Referans betonuna en yakın basınç dayanımı değeri en düşük lif oranı olan FP %0.1 lif katkısında elde edilmiştir.

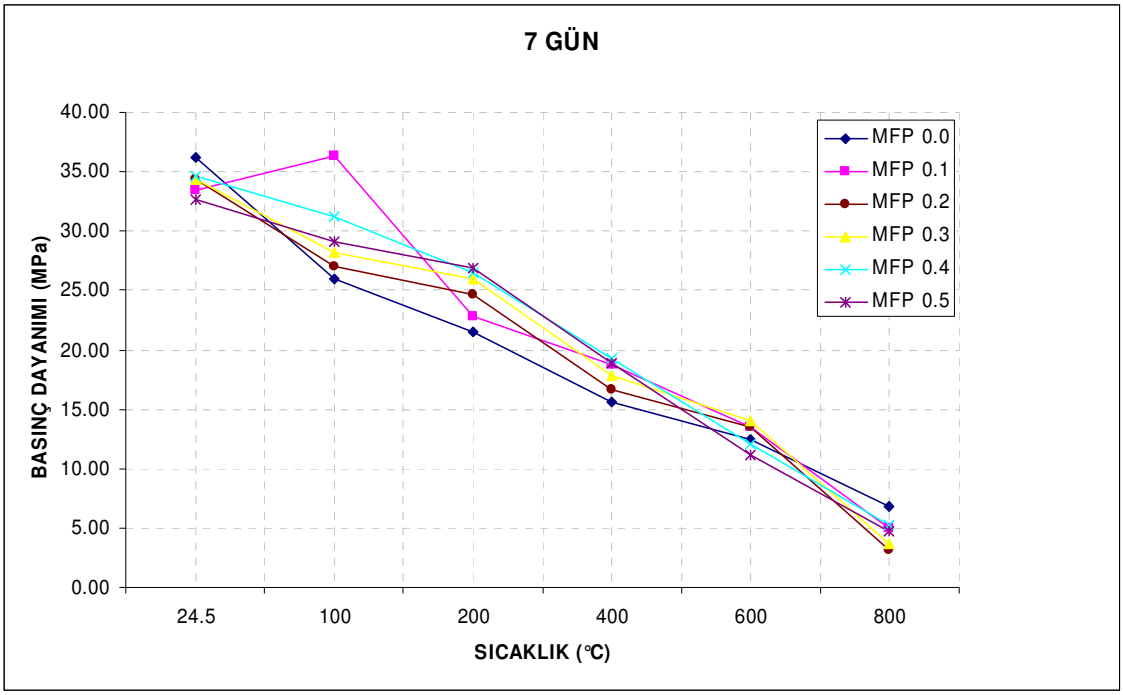
100ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde, en düşük dayanım kaybı FP %0.1 ve FP %0.3 lifli numunelerde görülmüştür. Bu sıcaklık değerinde numunelerin basınç dayanımı değerleri de kontrol betonuna göre daha yüksektir.

200ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde, lifli betonların basınç dayanımı değerleri kontrol betonuna oranla daha hızlı artmış ve FP 0.1 lifli numune hariç, diğer lif katkılı numunelerin basınç dayanımı değerleri kontrol betonunun altında kalmıştır. FP %0.1 lifli beton numunenin basınç dayanımı değeri kontrol betonundan %1.4 oranında daha büyüktür.

400ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde, basınç dayanımı değerlerinde sıcaklık etkisiyle azalmalar görülmüştür. Bu sıcaklık için, basınç dayanımı değerleri lif oranından bağımsız olarak birbirine oldukça yakın sonuçlar vermiştir.

600ºC ve 800ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde, basınç dayanımı değerleri birbirine oldukça yakındır. 600ºC' den 800ºC' ye geçerken en büyük dayanım kaybı FP %0.4 lifli numunede görülmüştür. 800ºC değerinde FP 0.1 lifli numunenin basınç dayanımı değeri kontrol betonu değerinin altına düşmemiştir.

MFP tipi polipropilen lif katkılı ve katkısız, 7 günlük silindir beton numunelerin lif oranına bağlı olarak basınç dayanımı–sıcaklık değişimleri Şekil 4.4.' de grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.4. MFP Lifli 7 Günlük Silindir Numune Basınç Dayanımlarının Sıcaklıkla Değişimi.

7 günlük MFP lifli silindir numuneler üzerinde uygulanan basınç dayanımı deney bulgularına göre;

Oda sıcaklığında MFP lif katkısının da basınç dayanımında azalmalara neden olduğu görülmüştür. Bu şartlardaki numunelerden en yüksek lif katkılı numune olan MFP %0.5 lifli numune en düşük basınç dayanımı sonucunu vermiştir.

100ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde, kontrol betonundaki dayanım kaybının diğer lif katkılı beton numunelere oranla daha fazla olduğu görülmüştür. Referans betonuna göre kontrol betonundaki dayanım kaybı %28.3 değerine ulaşırken bu oran, MFP %0.1 için %8.6' lık bir artış olarak, MFP %0.2 için %21.5, MFP %0.3 için %18, MFP %0.4 için %9.9 ve MFP %0.5 için %11. 1' lik bir dayanım azalması olarak tespit edilmiştir. Dolayısıyla oda sıcaklığında basınç dayanımlarının yakın olması nedeniyle de, en düşük basınç dayanımı değeri lif katkısız kontrol betonunun değeridir. MFP %0.4 ve MFP %0.5 lif katkılı beton numunelerdeki dayanım kaybı diğer lif oranlarına göre oldukça küçük değerlerde kalmıştır.

200ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde, kontrol betonundaki ve lif katkılı numunelerdeki dayanım azalması azalarak artmıştır. Dolayısıyla yine en düşük basınç dayanımı değeri kontrol betonunun değeridir. MFP %0.4 ve MFP %0.5 lif katkılı numunelerdeki dayanım azalması diğer lif katkılı numunelere oranla daha küçük mertebelerde kalmış ve en yüksek basınç dayanımı değerleri de yine bu lif oranlarında elde edilmiştir. Ayrıca bu sıcaklık değerinde MFP %0.1 lif katkılı numunede oldukça büyük dayanım kaybının meydana geldiği görülmüştür.

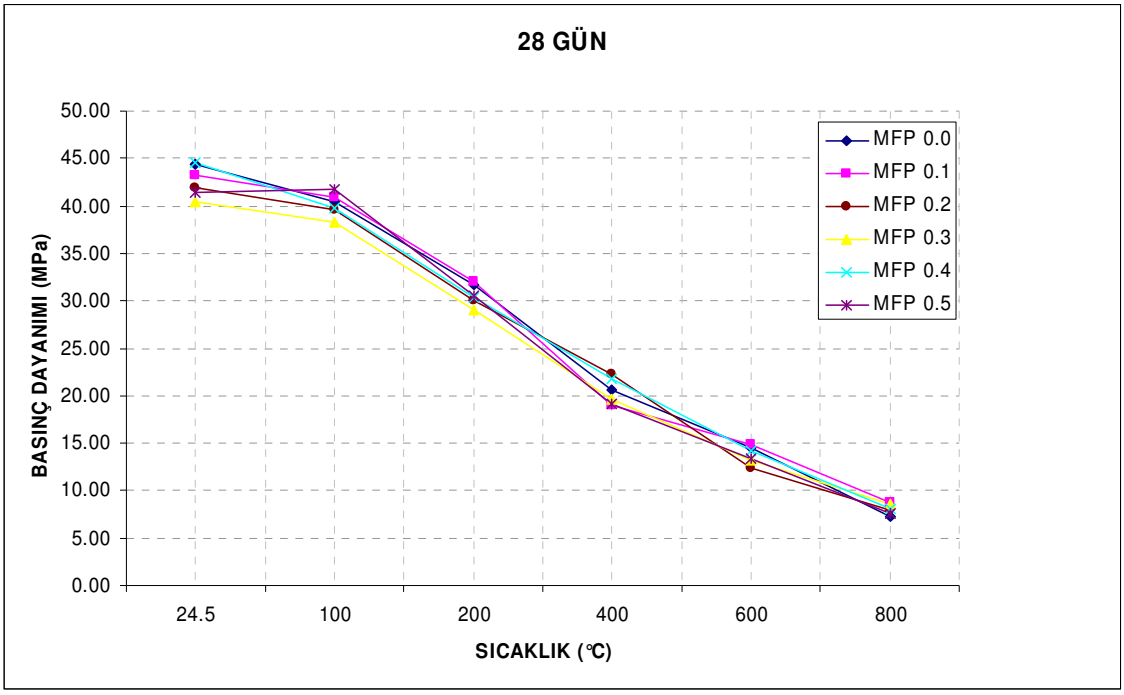
400ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde, önceki sıcaklık geçişine göre (100ºC - 200ºC) artan bir dayanım kaybı görülmektedir. Bu sıcaklık değerinde MFP %0.2 ve MFP % 0.3 lif katkılı beton numunelerdeki dayanım azalmasının diğer numunelere oranla daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra MFP %0.1 lif katkılı beton numunenin basınç dayanımı ise diğer numunelere göre daha küçük oranda meydana gelerek yüksek lif oranlı MFP%0.4 ve MFP %0.5 numunelerinin değerini yakalamıştır.

600ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde, basınç dayanımındaki en büyük kaybın MFP %0.4 ve MFP %0.5 lifli beton numunelerin basınç dayanımlarında olduğu görülmüştür. Bunun sonucu olarak bu lif oranlarında en düşük basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Diğer lif oranlarındaki sıcaklığa bağlı dayanım kaybı yaklaşık

aynı düzeyde kalmış, MFP %0.1, MFP %0.2 ve MFP %0.3 lif katkılı beton numunelerin basınç dayanımı değerleri kontrol betonunun basınç dayanımı değerinden büyük olduğu görülmüştür.

800ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde, lif katkılı beton numunelerin basınç dayanımlarındaki kaybın kontrol betonuna göre daha hızlı gerçekleştiği ve kontrol betonunun basınç dayanımı değerinin bu sıcaklık değeri için en büyük değer olduğu görülmüştür.

MFP tipi polipropilen lif katkılı ve katkısız, 28 günlük silindir beton numunelerin lif oranına bağlı olarak basınç dayanımı – sıcaklık değişimleri Şekil 4.5.' de grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.5. MFP Lifli 28 Günlük Silindir Numune Basınç Dayanımlarının Sıcaklıkla Değişimi.

28 günlük MFP lifli silindir numuneler üzerinde uygulanan basınç dayanımı deney bulgularına göre;

Oda sıcaklığında MFP lif katkısının basınç dayanımında azalmalara neden olduğu görülmüştür. Referans betonunun basınç dayanımı değerinin bu şartlarda diğer beton numunelerin basınç dayanımı değerlerinden büyük olduğu görülmüştür.

100ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde, lifli betonların basınç dayanımlarında sıcaklık etkisiyle azalma görülse de kontrol betonuna göre bir iyileşme söz konusudur. Lifli numunelerdeki dayanım kaybı kontrol numunesinin dayanım kaybından daha az olmuştur. Dolayısıyla basınç dayanımı değerleri birbirine yakın değerlerdedir. MFP %0.1 lifli beton numunelerde kontrol betonuna göre %1,3 oranında bir iyileşme görülmüştür. Bunun yanı sıra MFP %0.5 lifli betonda bir önceki şartlara göre iyileşme görülmüş ve bu sıcaklık değeri için bu numunenin basınç dayanımı değeri kontrol numunesinin basınç dayanımı değerinden %3.2 daha yüksektir.

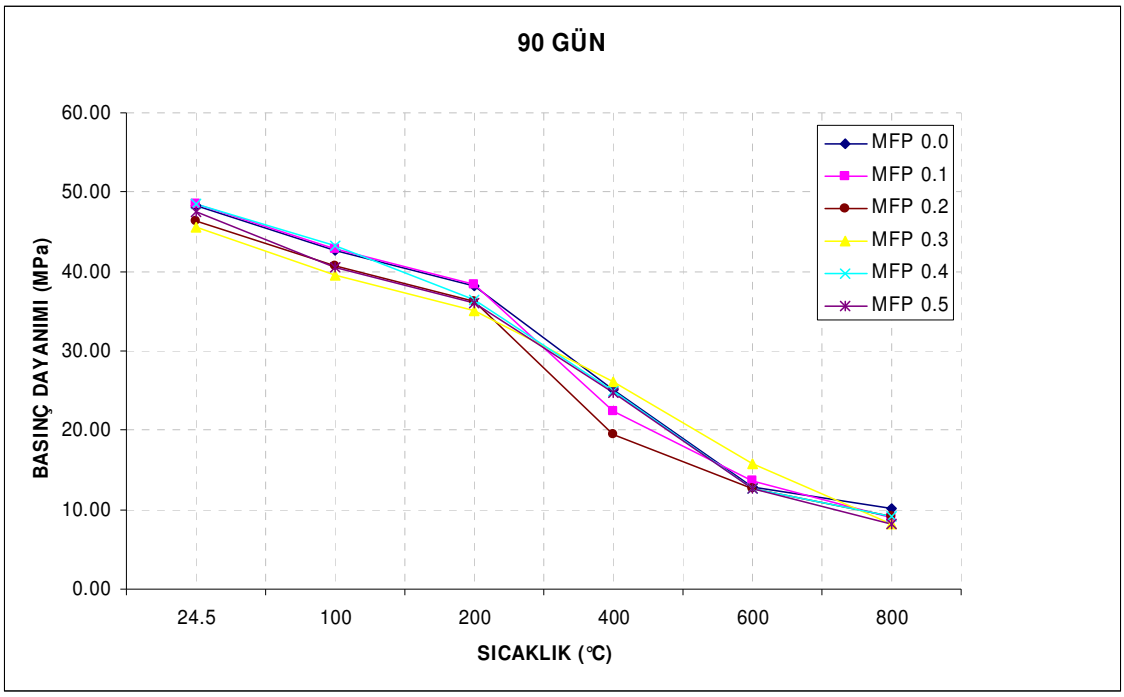
200ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde, sıcaklık etkisiyle basınç dayanımındaki azalmalar lineer olarak devam etmiştir. Bu sıcaklık değerinde MFP %0.1 lif katkılı numunenin basınç dayanımı değerinde kontrol betonuna göre %1.2 oranında bir iyileşme olduğu saptanmıştır. En yüksek basınç dayanımı değeri MFP %0.1 lifli numuneye ait basınç dayanımı değeri iken, diğer lif katkılı numunelerin basınç dayanımlarının kontrol betonundan daha düşük olduğu görülmüştür.

400ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde, sıcaklık etkisiyle daha büyük dayanım kayıpları meydana gelmiştir. MFP %0.2 lifli beton numunenin kontrol betonundan %7.4, MFP %0.4 lifli numunenin ise %4.8 daha yüksek dayanımlara sahip oldukları görülmüştür. Bu sıcaklık değeri için diğer lif katkılı beton numunelerde, kontrol betonuna göre bir iyileşme söz konusu olmamıştır.

600ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde, MFP %0.1 lif katkılı beton numune dışında lineer olarak sıcaklık etkisiyle basınç dayanımı kaybı devam etmiştir. MFP %0.1 lifli numunenin dayanım kaybı diğer numunelere oranla daha az olmuştur. Lif katkılı numunelerin basınç dayanımı değerleri kontrol numunesinin dayanımından daha küçük iken, MFP %0.1 lifli numunenin değeri %2.8 oranında daha yüksek değer elde edilmiştir.

800ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde, lif katkılı numunelerin basınç dayanımı değerlerinin kontrol betonunun basınç dayanımına yakın değerlerde ve daha yüksek olduğu görülmüştür. MFP %0.1 lifli beton %22.8, MFP %0.2 lifli beton %9.1, MFP %0.3 lifli beton %20.5, MFP %0.4 lifli beton %13.5 ve MFP %0.5 lifli beton %6.5 oranında daha yüksek değerler vermiştir.

MFP tipi polipropilen lif katkılı ve katkısız, 90 günlük silindir beton numunelerin lif oranına bağlı olarak basınç dayanımı – sıcaklık değişimleri Şekil 4.6.' da grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.6. MFP Lifli 90 Günlük Silindir Numune Basınç Dayanımlarının Sıcaklıkla Değişimi.

90 günlük MFP lifli silindir numuneler üzerinde uygulanan basınç dayanımı deney bulgularına göre;

Oda sıcaklığındaki numunelerden MFP %0.1 ve MFP %0.4 lif katkılı numunelerin basınç dayanımı değerlerinin referans betonun basınç dayanımı değerine oldukça yakın ve %1' in altında daha iyi olduğu görülmüştür. Diğer lif katkılı numunelerin basınç dayanım değerleri kontrol betonu değerinden daha düşüktür.

100ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde, sıcaklık etkisiyle lif katkılı ve katkısız numunelerin dayanımlarındaki azalma yaklaşık aynı oranlarda gerçekleşmiştir. MFP %0.1 lif katkılı beton numunenin basınç dayanımında aynı sıcaklıktaki kontrol betonuna göre %0.7 ve MFP %0.4 lif katkılı betonda ise %1.7' lik bir dayanım iyileşmesi görülürken, diğer lif katkılı numunelerde %7' ye varan dayanım azalması görülmüştür.

200ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde, sıcaklık etkisiyle beton numunelerdeki dayanım kaybı daha hızlı gerçekleşmiştir. Bu sıcaklık değerinde MFP %0.1 lif katkılı numunenin basınç dayanımı kontrol betonununkiyle hemen hemen aynı olduğu görülmüştür. Diğer lif katkılı numunelerin dayanımları kontrol betonunkinden düşük değerlerdedir. MFP%0.1 lif katkılı numunenin basınç dayanımı kontrol betonundan %1 civarında daha yüksek iken, MFP %0.3 lif katkılı numunenin basınç dayanımı değeri %8 oranında daha düşüktür.

400ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde, dayanım kaybı önceki sıcaklık değerine göre oldukça hızlı gerçekleşmiştir. Lif katkılı numunelerin basınç dayanımlarının bu sıcaklık değerinde kontrol betonunun basınç dayanımı değerinden daha düşük olduğu görülmüştür. Ancak MFP %0.3 lif katkılı numunenin önceki sıcaklık değerinden bu sıcaklık değerine geçilirken en az miktarda dayanım kaybına uğraması nedeniyle, kontrol betonuna göre %3.9' luk bir iyileşme söz konusu olmuştur.

600ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde, basınç dayanımı değerleri birbirine yaklaşmıştır. MFP %0.1 ve MFP %0.3 lif katkılı beton numunelerde kontrol betonuna göre bir iyileşme söz konusudur.

800ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde lif katkılı beton numunelerin tümünün basınç dayanımı değerleri, kontrol betonunun basınç dayanımı değerinden daha düşük olduğu görülmüştür.

Oda sıcaklığında test edilen FP ve MFP tipi polipropilen lif katkılı kontrol numunelerinin basınç dayanımlarının referans numunelerine göre değişimi yüzdesel olarak Tablo 4.3. ve Tablo 4.4.' de verilmiştir.

Tablo 4.3. Referans Betonlarına Göre FP Lif Katkılı Numunelerin Basınç Dayanımlarındaki Değişim (%).

Lif Tipi	Numune Periyodu (Gün)	Polipropilen Lif Katkısı (Hacimsel %)	Referans Betonuna Göre Değişim (%)
FP	7	0.1	-2.5
		0.2	-5.6
		0.3	-9.4
		0.4	-1.4
		0.5	-3.1
	28	0.1	-8.0
		0.2	-10.7
		0.3	-9.4
		0.4	-1.4
		0.5	-6.7
	90	0.1	0.6
		0.2	-9.2
		0.3	-2.7
		0.4	-3.3
		0.5	-6.1

Tablo 4.4. Referans Betonlarına Göre MFP Lif Katkılı Numunelerin Basınç Dayanımlarındaki Değişim (%).

Lif Tipi	Numune Periyodu (Gün)	Polipropilen Lif Katkısı (Hacimsel %)	Referans Betonuna Göre Değişim (%)
MFP	7	0.1	-7.6
		0.2	-5.1
		0.3	-5.1
		0.4	-4.2
		0.5	-9.7
	28	0.1	-2.5
		0.2	-5.3
		0.3	-8.6
		0.4	0.5
		0.5	-6.5
	90	0.1	0.3
		0.2	-4.0
		0.3	-5.7
		0.4	0.1
		0.5	-1.6

Basınç dayanım sonuçlarına göre polipropilen lif katkısı beton basınç dayanımını düşürmektedir. Elde edilen bulgulara göre basınç dayanımındaki azalmanın lif oranları ile orantılı bir şekilde gerçekleşmediği görülmektedir. Lif katkılı betonlardaki dayanım azalmasının, numune bünyesindeki lifler tarafından oluşturulan boşluklar nedeniyle meydana geldiği söylenebilir.

7 günlük numunelerde 100ºC ve 200ºC sıcaklık uygulanması durumunda en büyük dayanım kaybı lif katkısız numunelerde olmuştur. Bu sıcaklıklarda lif oranı arttıkça dayanım kaybında azalma görülmüştür. Sıcaklığın daha da artması ile 400ºC, 600ºC ve 800ºC' lerde en büyük dayanım kayıplarının lif oranı yüksek olan numunelerde meydana geldiği görülmüştür. Çünkü polipropilen lif her ne kadar yüksek sıcaklık değerlerinde eriyerek kılcal boşluklar oluşturup iç basıncın tahliyesine yardımcı olsa da, bu sadece numunenin patlamasını engellemektedir. Bu kılcal boşluklar dayanım kaybında artışlara neden olmuştur.

28 günlük numunelerde dayanım kayıpları arasındaki en büyük farklar 400ºC, 600ºC ve 800ºC' lerde görülmüştür. Bazı lif oranlarındaki ani değişimlerin, diğer değerlere bakılarak lifin homojen dağılmamasından kaynaklandığı söylenebilir. Basınç dayanımındaki en belirgin azalma lif oranının da artması ile 200ºC - 400ºC sıcaklık geçişinde olduğu gözlenmiştir. Bu durum numune bünyesindeki polipropilen lifin 400ºC' de tamamen eriyip yok olmasından kaynaklanmıştır.

90 günlük numunelerde de basınç dayanımında en belirgin değişim 200ºC - 400ºC arasında gerçekleşmiştir. Her bir sıcaklık değerinde, lif oranının artması ile basınç dayanımındaki değişim için net bir ifade kullanmak güçtür. Ancak sıcaklığın artması durumu göz önünde bulundurulduğunda, lif oranı arttıkça basınç dayanımındaki değişim azalma göstermiş, ayrıca 7, 28 ve 90 günlük %0.1 hacimsel lif oranının özellikle 100ºC ve 200ºC' de olumlu katkısı görülmüştür.

MFP lif tipi için 7 günlük numunelerde 100ºC, 200ºC ve 400ºC sıcaklık değerlerinde basınç dayanımlarındaki azalma lif oranının artması ile iyileşme göstermiştir. Bunun yanı sıra 600 ºC ve 800 ºC' de lif oranındaki değişimin dayanıma katkısı olmamıştır. Bunun sebebi 7 gün içinde basınç dayanımını zaten tamamlayamamış numunelerin bir de yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılması böylece liflerin de erimesi ile yerel

boşlukların oluşması olduğu söylenebilir. Hem dayanımın tamamlanmamış olması hem de yüksek sıcaklık etkisi ile dayanımın azalması ve lif boşluklarının oluşması dayanımı tabii bir şekilde büyük ölçüde azaltmıştır. Bunun yanı sıra, 7 günlük numunelerde MFP lif oranının artması ile %0.0 lif katkısız numunelere göre 100ºC, 200ºC ve 400ºC sütunlarında iyileşmeler olmuştur.

28 günlük numunelerde, 100ºC' de lif oranının artması ile basınç dayanımında iyileşme görülmüştür. Ancak diğer sıcaklık değerleri için aynı yorumun yapılması güçtür. Sıcaklığı değişmesi ile %0.1, %0.2 ve %0.3 lif oranlarında genel olarak %0.0 lif katkısız numunelere göre bir iyileşmenin olduğu gözlenmiştir.

90 günlük numunelerde her sıcaklık değeri için, lif oranının arttırılması basınç dayanımına belirgin bir katkıda bulunmamıştır. Ayrıca her lif oranı için, sıcaklığın artması durumunda da, sıcaklığa bağlı olarak orantılı bir dayanım azalması görülmüştür.

4.1.2. Elastisite Modülü Deney Bulguları

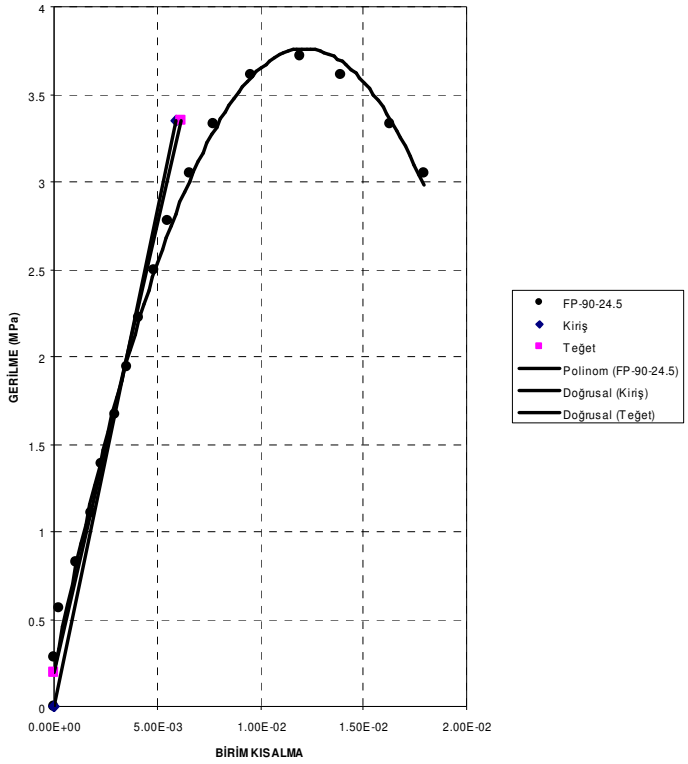
Polipropilen lif katkılı beton gruplarının elastisite modülü tayini deneyleri 7, 28 ve 90 günlük 150x300mm'lik silindir beton numuneler üzerinde ölçülmüştür. Elastisite modülünün hesaplanmasında, σ-ε eğrisine belirli noktalardan çizilen teğetin eğimini göz önüne alan iki yöntem kullanılmıştır.

Teğet Elastisite Modülü: Gerilme-birim deformasyon eğrisine herhangi bir noktada çizilen teğetin eğimidir. Pratikte bu teğet $0.4 f_c$ gerilmesi temel alınarak çizilir.

Kiriş (Sekant) Elastisite Modülü: Orijinden eğride herhangi bir gerilmeye karşılık gelen noktaya çizilen kirişin eğimidir. Genelde kiriş elastisite modülü $0.5 f_c$ gerilmesine göre hesaplanır.

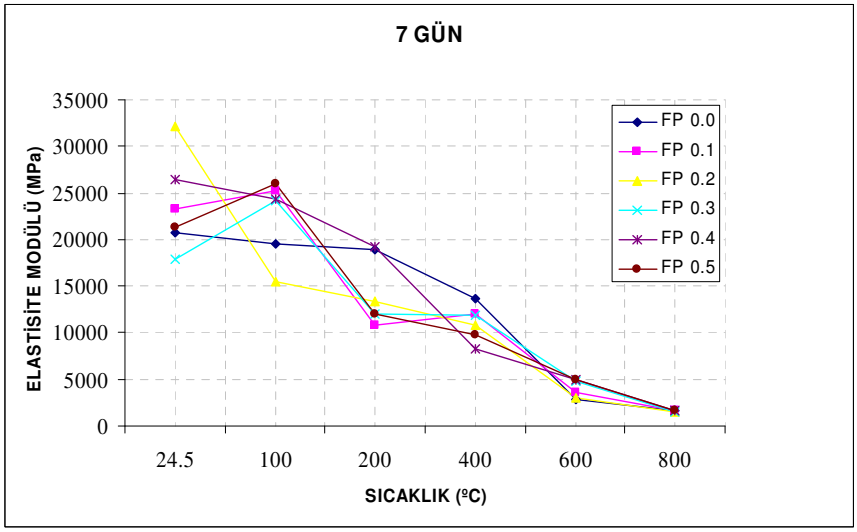
Deney esnasında kaydedilen deplasman değerleri bilgisayara aktarıldıktan sonra bir bilgisayar yazılımı yardımıyla bu değerlere en uygun polinom uydurularak σ-ε eğrisi çizilmiştir. Elde edilen eğrinin $0.4 f_c$ ve $0.5 f_c$ noktalarına çizilen teğetin ya da kirişin eğimi yardımıyla elastisite modülü değerleri her silindir numune için ayrı ayrı tespit

edilmiştir. Örnek teşkil etmesi için bir numunenin gerilme-birim kısalma eğrisi ve bu eğriye çizilen teğetlerin gösterimi Şekil 4.7' de verilmiştir.



Şekil 4.7. Silindir Numune Gerilme – Birim Kısalma Eğrisi.

FP tipi polipropilen lif katkılı ve katkısız 7 günlük beton silindir numunelerin kiriş elastisite modülü değerlerinin sıcaklıkla değişimi grafiksel olarak Şekil 4.8' de verilmiştir.

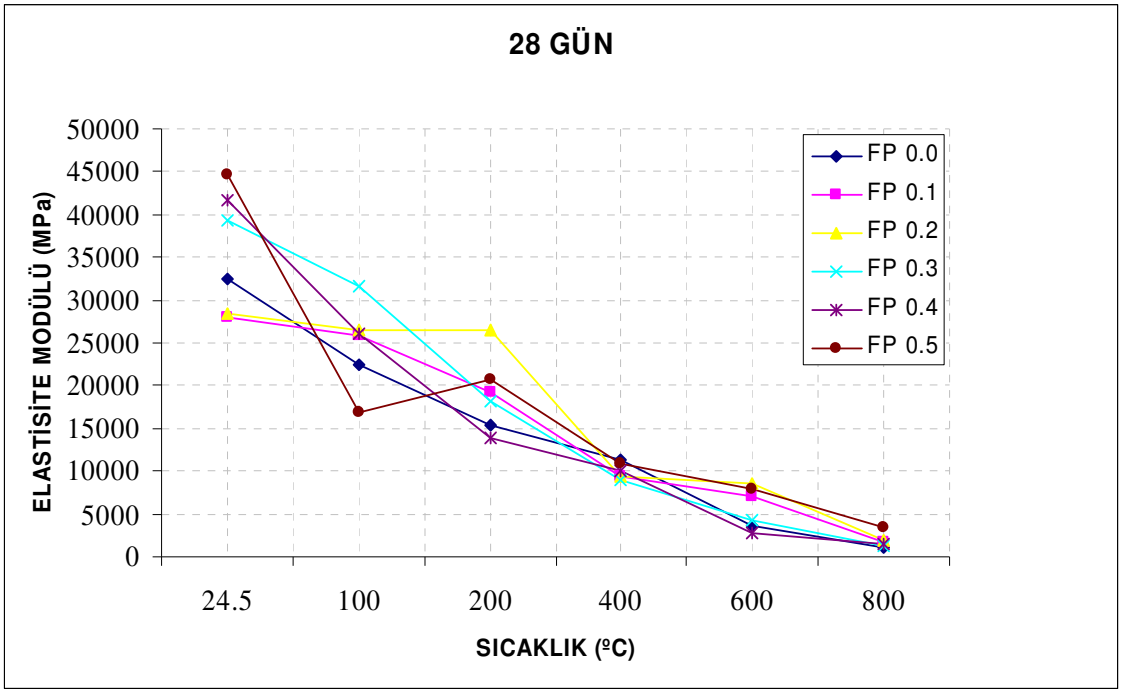


Şekil 4.8. 7 Günlük FP Lifli Silindir Numunelerin Sıcaklık Etkisiyle Elastisite Modülü Değişimleri

7 günlük FP lifli beton silindir numunelerin basınç dayanımı deneyi sonrası elde edilen kiriş elastisite modülü bulgularına göre;

Oda sıcaklığında FP %0.4 lif katkılı numune dışındaki tüm lif katkılı numunelerin elastisite modülü değerlerinin referans betonunun elastisite modülü değerinden büyük olduğu görülmüştür. 100ºC sıcaklığa maruz kalmış numunelerde ise FP %0.3 lif katkılı numunenin elastisite modülü değeri büyük bir azalma göstererek kontrol betonunun elastisite modülü değerinin altına düşmüştür. Ayrıca bu sıcaklık değerinde FP %0.3 lifli beton dışındaki tüm numunelerin elastisite modülü değerleri oda sıcaklığındaki değerlerine göre iyileşme göstermiştir. Lif katkısız kontrol betonun elastisite modülü değerinde ise oda sıcaklığındaki değere göre bir azalma söz konusu olmuştur. 200ºC sıcaklığa maruz kalmış numunelerin elastisite modülü değerlerinde büyük azalmalar meydana gelmiştir. Özellikle lif katkılı numunelerin elastisite modülü değerleri büyük ölçüde azalma göstermiştir. Bunun yanın sıra kontrol betonun elastisite modülündeki azalma lineer olarak devam etmiştir. 400ºC sıcaklığa maruz kalmış numunelerde lifli beton numunelerin elastisite modülü değerlerindeki azalma, kontrol betonuna oranla daha küçük mertebelerde olmuş ve elastisite modülü değerleri birbirine yaklaşmıştır. Bu sıcaklık değeri için en büyük elastisite modülü değerinin kontrol betonuna ait olduğu görülmüştür. 600ºC sıcaklığa maruz kalan numunelerde, lif katkılı numunelerin elastisite modülü değerleri yaklaşık olarak aynı oranlarda azalırken, kontrol betonunu elastisite modülü değerindeki azalma daha büyük mertebelerde meydana gelmiştir. Bununla birlikte elastisite modülü değerleri birbirine daha da yaklaşmıştır. 800ºC sıcaklığa maruz kalmış numunelerin elastisite modülü değerleri daha da azalarak yaklaşık olarak aynı değerlere ulaşmıştır.

FP tipi polipropilen lif katkılı ve katkısız 28 günlük beton silindir numunelerin kiriş elastisite modülü değerlerinin sıcaklıkla değişimi grafiksel olarak Şekil 4.9’ da verilmiştir.

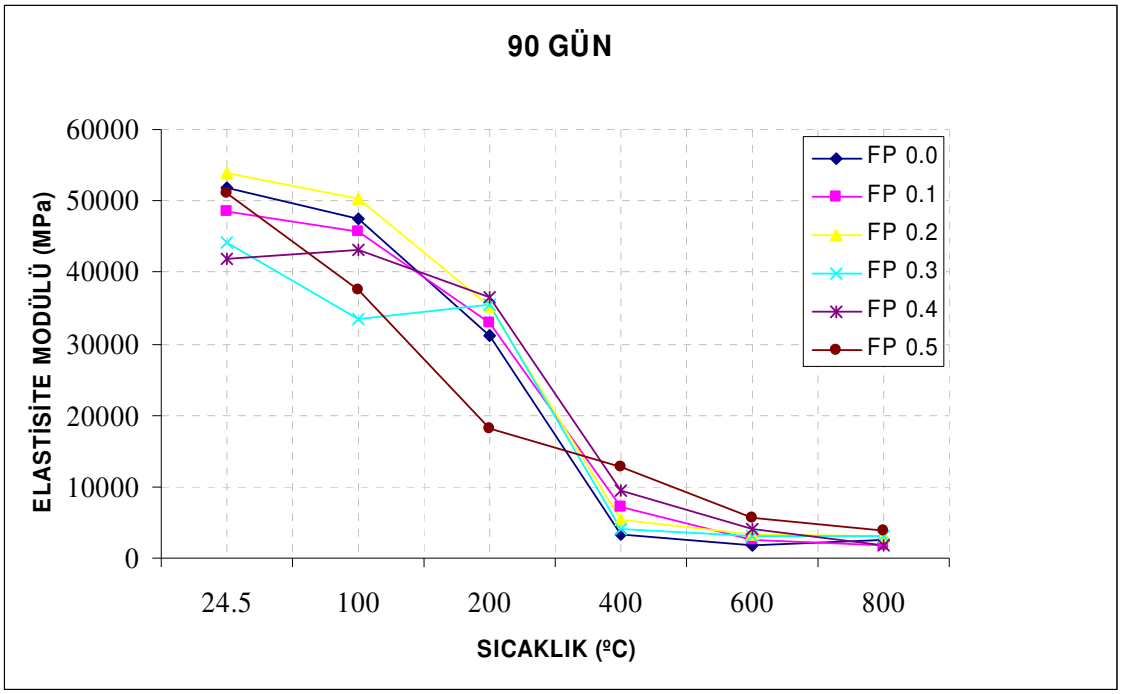


Şekil 4.9. 28 Günlük FP Lifli Silindir Numunelerin Sıcaklık Etkisiyle Elastisite Modülü Değişimleri

28 günlük FP lifli beton silindir numunelerin basınç dayanımı deneyi sonrası elde edilen kiriş elastisite modülü bulgularına göre;

Oda sıcaklığında FP %0.1 ve FP % 0.3 lif katkılı beton numunelerin elastisite modülü değerleri, kontrol betonuna göre daha düşük iken, diğer lif katkılı numunelerin elastisite modülü değerleri daha yüksek olmuştur. Artan sıcaklık etkisiyle lif katkılı numunelerin elastisite modülü değerlerinde daha küçük mertebelerde azalmalar olmuş ve 100ºC sıcaklığında lif katkılı numunelerin elastisite modülü değerleri aynı sıcaklıktaki kontrol betonuna göre iyileşme göstermiştir. Bu sıcaklık değerinden sonra lif katkılı numunelerin elastisite modülü değerlerinde de daha büyük azalmalar meydana gelmiş ve 400ºC ve sonrasında elastisite modülü değerleri arasındaki farkın oldukça küçük olduğu görülmüştür.

FP tipi polipropilen lif katkılı ve katkısız 90 günlük beton silindir numunelerin kiriş elastisite modülü değerlerinin sıcaklıkla değişimi grafiksel olarak Şekil 4.10' da verilmiştir.

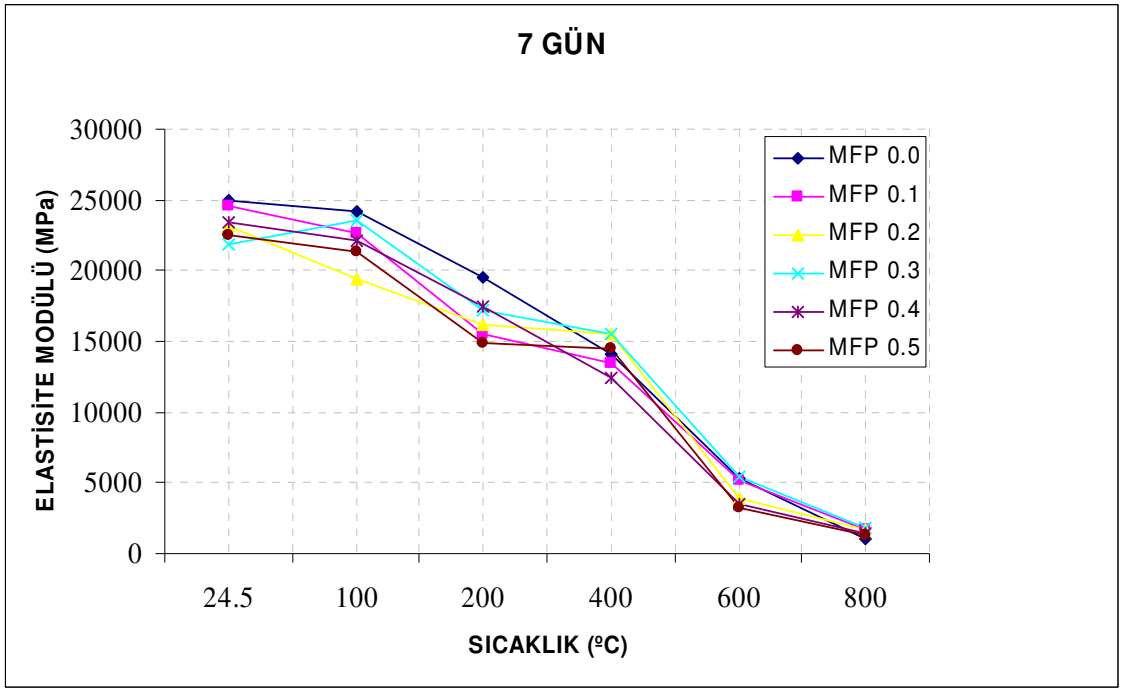


Şekil 4.10. 90 Günlük FP Lifli Silindir Numunelerin Sıcaklık Etkisiyle Elastisite Modülü Değişimleri

90 günlük FP lifli beton silindir numunelerin basınç dayanımı deneyi sonrası elde edilen kiriş elastisite modülü bulgularına göre;

Oda sıcaklığında ve 100ºC sıcaklığında FP %0.2 lif katkılı numune dışındaki numunelerin elastisite modülü değerlerinin, kontrol betonun elastisite modülü değerinden daha küçük olduğu görülmüştür. 200ºC değerinde elastisite modülü değerleri birbirine yaklaşmıştır. 400ºC sıcaklıkta elastisite modülü değerleri oldukça büyük mertebelerde azalma göstermiştir. 600ºC ve 800ºC sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerin elastisite modülü değerleri iyice azalarak birbirine yakın değerlere ulaşmıştır.

MFP tipi polipropilen lif katkılı ve katkısız 7 günlük beton silindir numunelerin kiriş elastisite modülü değerlerinin sıcaklıkla değişimi grafiksel olarak Şekil 4.11' de verilmiştir.

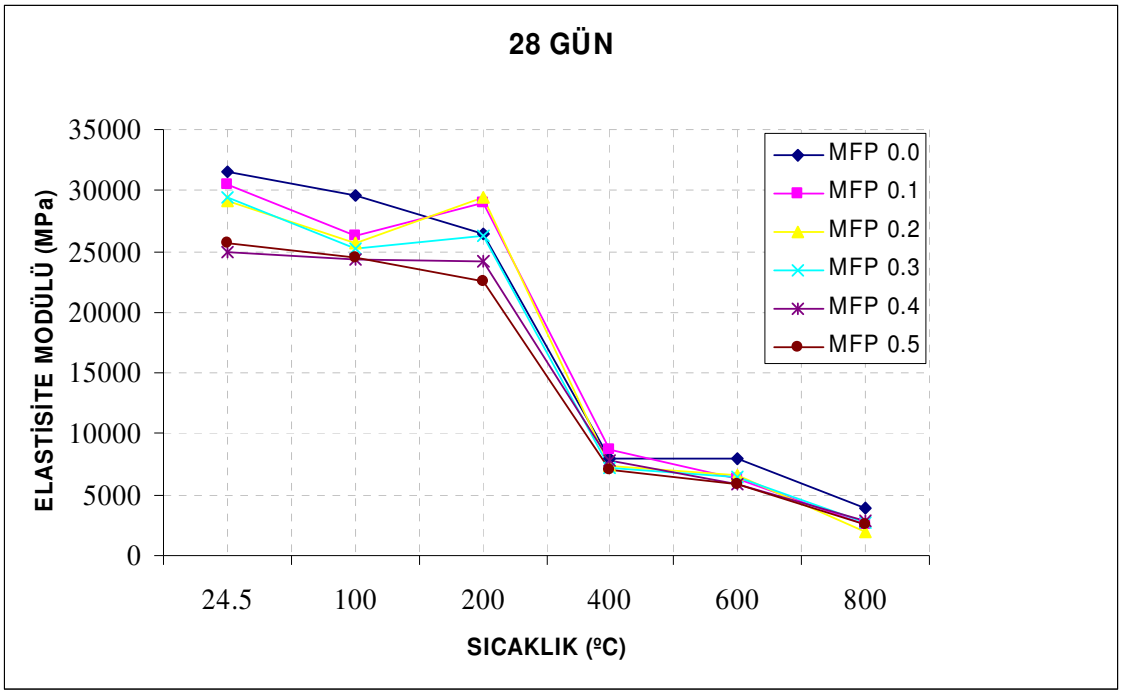


Şekil 4.11. 7 Günlük MFP Lifli Silindir Numunelerin Sıcaklık Etkisiyle Elastisite Modülü Değişimleri

7 günlük MFP lifli beton silindir numunelerin basınç dayanımı deneyi sonrası elde edilen kiriş elastisite modülü bulgularına göre;

Oda sıcaklığında, 100ºC ve 200ºC sıcaklıklarda lif katkılı beton numunelerin elastisite modülü değerleri, referans betonunun elastisite modülü değerinden daha düşüktür. 400ºC ve 600ºC sıcaklıklarda kontrol betonunun elastisite modülü değerindeki azalma lif katkılı numunelere oranla daha büyüktür. Bu sıcaklıklarda elastisite modülü değerleri birbirine yakın değerlere ulaşmış, 800ºC sıcaklık değerlerinde ise her numune türü için yaklaşık aynı elastisite modülü değerleri elde edilmiştir.

MFP tipi polipropilen lif katkılı ve katkısız 28 günlük beton silindir numunelerin kiriş elastisite modülü değerlerinin sıcaklıkla değişimi grafiksel olarak Şekil 4.12' de verilmiştir.

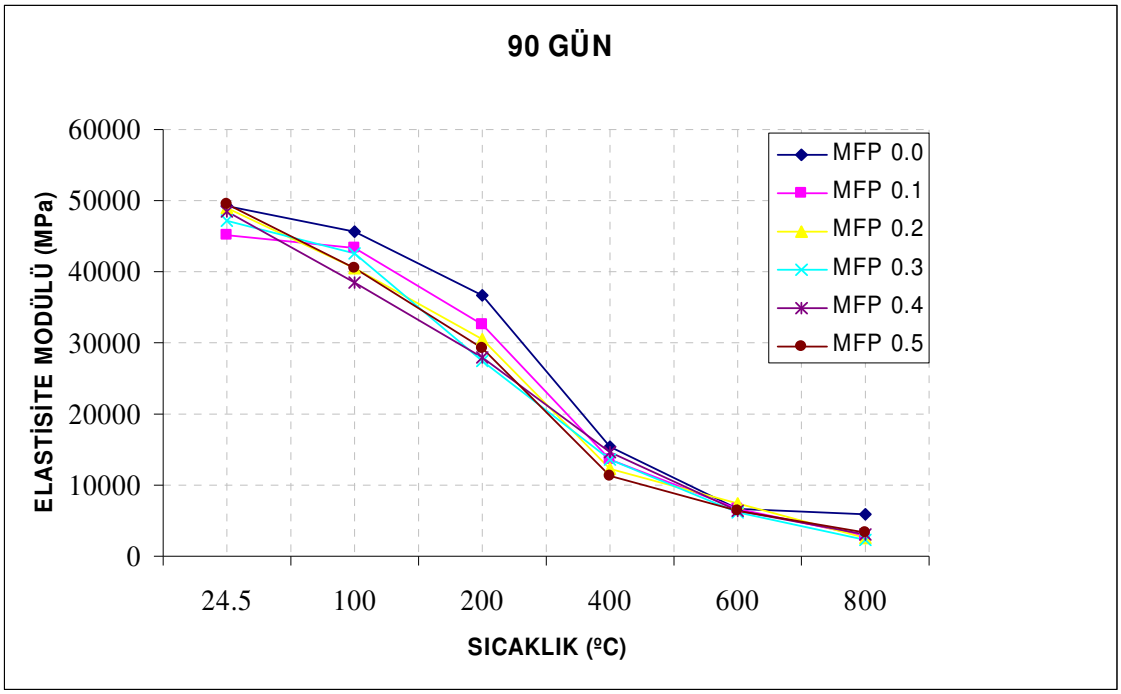


Şekil 4.12. 28 Günlük MFP Lifli Silindir Numunelerin Sıcaklık Etkisiyle Elastisite Modülü Değişimleri

28 günlük MFP lifli beton silindir numunelerin basınç dayanımı deneyi sonrası elde edilen kiriş elastisite modülü bulgularına göre;

Oda sıcaklığında ve 100ºC' de lif katkılı numunelerin elastisite modülü değerlerinde lif oranının artmasıyla, kontrol betonuna göre bir azalma olduğu görülmüştür. 200ºC sıcaklıkta MFP %0.1 ve MFP %0.2 lif katkılı numunelerin elastisite modülü değerlerinde önceki sıcaklık değerine göre iyileşme olmuş ve bu numunelerin elastisite modülü değerleri, kontrol betonunun elastisite modülü değerinden daha büyük elde edilmiştir. 400ºC sıcaklıkta tüm numunelerde oldukça büyük elastisite modülü değeri azalması gözlenmiştir. Bu sıcaklık sonrasındaki değerlerde elastisite modülü değerleri birbirine oldukça yakın olmuştur.

MFP tipi polipropilen lif katkılı ve katkısız 90 günlük beton silindir numunelerin kiriş elastisite modülü değerlerinin sıcaklıkla değişimi grafiksel olarak Şekil 4.13' de verilmiştir.



Şekil 4.13. 90 Günlük MFP Lifli Silindir Numunelerin Sıcaklık Etkisiyle Elastisite Modülü Değişimleri

90 günlük MFP lifli beton silindir numunelerin basınç dayanımı deneyi sonrası elde edilen kiriş elastisite modülü bulgularına göre;

Oda sıcaklığında, 100ºC ve 200ºC sıcaklıklarda lif katkılı numunelerin elastisite modülü değerlerinin, aynı sıcaklıklardaki kontrol betonlarının elastisite modülü değerlerinden daha düşük olduğu görülmüştür. Yine bu sıcaklık değerleri kendi aralarında incelendiğinde sıcaklığın artmasıyla, en düşük elastisite modülü değerlerinin yüksek lif oranlarına sahip MFP %0.3, MFP % 0.4 ve MFP %0.5 lifli numunelerden elde edildiği görülmüştür. 400ºC sıcaklığa ulaşıldığında elastisite modülü değerlerinde önemli ölçüde azalmalar olmuş ve değerler arasındaki fark oldukça azalmıştır. 600ºC ve 800ºC sıcaklık değerlerinde ise elastisite modülü değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür.

FP tipi lif katkılı beton silindir numunelerin oda sıcaklığında, 100ºC ve 200ºC sıcaklık değerlerinde, aynı sıcaklıktaki kontrol betonlarına göre elastisite modülü değerlerinde iyileşmeler olduğu söylenebilir. Ancak artan sıcaklık etkisi ile lif katkılı numunelerin elastisite modülü değerlerindeki azalma, kontrol betonuna oranla daha büyük olmuştur. Bu durum lif oranı yüksek olan numunelerde daha belirgin olarak ortaya çıkmıştır.

200ºC - 400ºC sıcaklık geçişinde liflerin herhangi bir faydası olmamış ve bu aralıkta sıcaklık etkisiyle elastisite modülü değerinde büyük ölçüde azalmalar olmuştur.

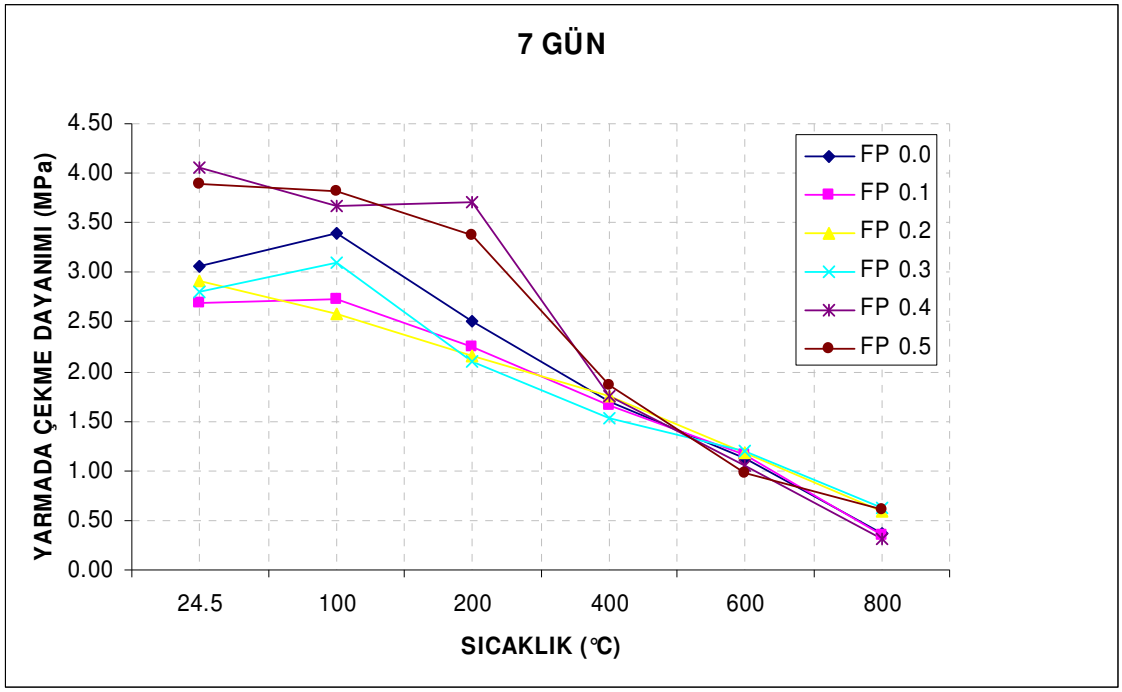
MFP tipi lif katkılı beton silindir numunelerin elastisite modülü değerlerinin ise oda sıcaklığında, 100ºC ve 200ºC sıcaklıklardaki elastisite modülü değerlerinin, yine aynı sıcaklıktaki kontrol betonunun elastisite modülü değerlerinden düşük olduğu görülmüştür. Dolayısıyla MFP lif katkısı betonun elastisite modülünü azaltıcı yönde etki sağlamıştır. Ancak 400ºC sıcaklık değerine ulaşıldığında elastisite modülü değerlerinde önemli ölçüde azalmanın, lif katkılı numunelerde daha küçük mertebelerde olduğu gözlenmiştir.

Her iki lif tipi için elde edilen bulgulara göre 400ºC ve üstü sıcaklık değerlerinde lif tipinin ya da oranın elastisite modülüne herhangi bir etkisinin bulunmadığı söylenebilir. Ayrıca bahsi geçen sıcaklık değerlerinde, tüm numune türlerinin elastisite modülü değerlerinin sıcaklık etkisiyle azalarak birbirine çok yakın değerlerde seyrettiği görülmüştür. Dolayısıyla polipropilen liflerin, beton silindir numunelerin elastisite modülü değerlerine olumlu yönde kayda değer bir katkısının olduğu söylenemez.

4.1.3. Yarmada Çekme Dayanımı Bulguları

Yarmada çekme dayanımı deneyleri; 24.5ºC, 100ºC, 200ºC, 400ºC, 600ºC, 800ºC sıcaklık etkisine maruz kalmış 7,28 ve 90 günlük 150x300mm boyutlarındaki silindir numuneler üzerinde yapılmıştır.

FP tipi lif katkılı 7 günlük beton silindir numunelerin lif oranına ve sıcaklığa bağlı olarak yarmada çekme dayanımlarındaki değişim grafiksel olarak Şekil 4.14’ de verilmiştir.



Şekil 4.14. FP Tipi Lif Katkılı 7 Günlük Silindir Numunelerin Yarmada Çekme Dayanımlarının Lif Oranı ve Sıcaklıkla Değişimi

FP tipi lif katkılı 7 günlük silindir numunelerin yarmada çekme dayanımı deney bulgularına göre;

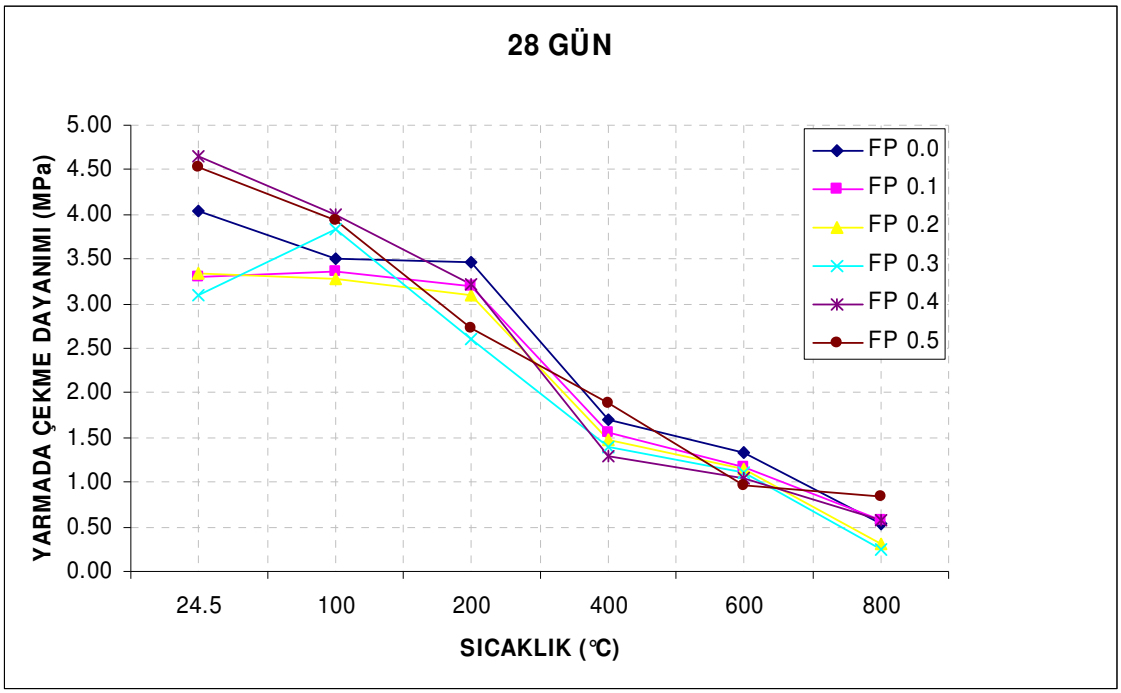
Oda sıcaklığında FP %0.4 ve FP %0.5 lif katkılı numunelerin yarmada çekme dayanımlarının referans betonuna göre artış göstermiş olduğu görülmüştür. Bu numunelerin yarmada çekme dayanımı değerlerinde referans betonuna göre, FP %0.4 için %32.4 ve FP %0.5 için %27.3 oranında bir dayanım artışı elde edilmiştir. Ancak diğer lif oranlarına sahip numunelerin yarmada çekme dayanımı değerleri referans betonundan küçük kalmıştır.

100ºC ve 200ºC sıcaklık değerlerinde de FP%0.4 ve FP%0.5 lifli numunelerin yarmada çekme dayanımlarının sıcaklık artışı ile önemli ölçüde azalmadığı ve aynı sıcaklıklardaki kontrol betonuna göre dayanımlarının yüksek olduğu görülmüştür.

400ºC sıcaklık değerine ulaşıldığında bu numunelerin yarmada çekme dayanımlarında önemli azalmalar görülmüştür. Bu sıcaklık değerinde yarmada çekme dayanımı değerleri birbirlerine yakın olmuştur.

600ºC ve 800ºC sıcaklıklarda yarmada çekme dayanımı değerleri lif oranından bağımsız olarak yaklaşık aynı oranlarda azalmış ve birbirine yakın değerler elde edilmiştir.

FP tipi lif katkılı 28 günlük beton silindir numunelerin lif oranına ve sıcaklığa bağlı olarak yarmada çekme dayanımlarındaki değişim grafiksel olarak Şekil 4.15' de verilmiştir.



Şekil 4.15. FP Tipi Lif Katkılı 28 Günlük Silindir Numunelerin Yarmada Çekme Dayanımlarının Lif Oranı ve Sıcaklıkla Değişimi

FP tipi lif katkılı 28 günlük silindir numunelerin yarmada çekme dayanımı deney bulgularına göre;

Oda sıcaklığında FP%0.4 ve FP%0.5 lif katkılı numunelerin yarmada çekme dayanımı değerleri, referans betonuna göre sırasıyla %15.1 ve %12.1 oranında iyileşme göstermiştir. Diğer lif katkılı numunelerin yarmada çekme dayanımı değerleri referans betonunun yarmada çekme dayanımından düşüktür.

100ºC sıcaklığa maruz kalmış numunelerde; kontrol betonunun yarmada çekme dayanımında sıcaklığa bağlı olarak bir azalma görülürken, FP%0.4 ve FP%0.5 lifli

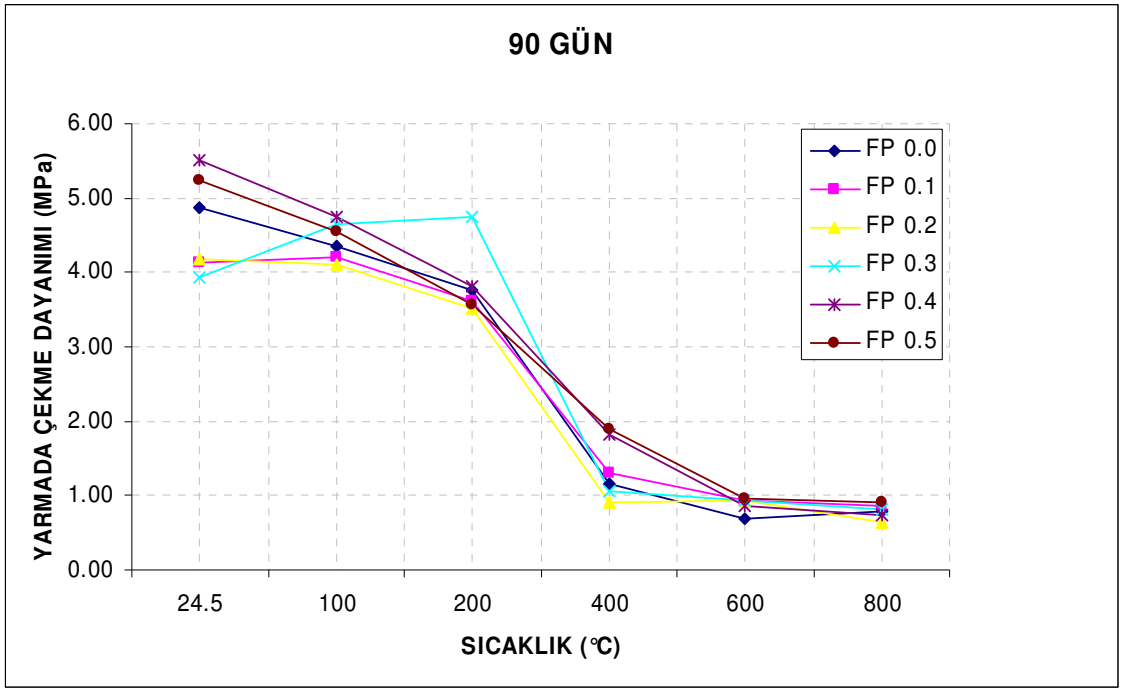
numunelerde de yaklaşık aynı oranda bir azalma meydana gelmiştir. FP%0.1 lifli numunede önceki sıcaklık değerine göre %1.8'lik bir artış gözlenirken, FP%0.2 lifli numunede ise dayanım kaybı oldukça küçük mertebede kalmıştır. Bu sıcaklık değeri için en büyük yarmada çekme dayanımı değeri FP%0.4 lifli numunelerden elde edilmiştir.

200ºC sıcaklığa maruz kalmış numunelerde; yüksek lif oranına sahip FP%0.4 ve FP%0.5 lifli numunelerin yarmada çekme dayanımları hızla azalmış ve kontrol betonunun yarmada çekme dayanımı değerinin altına düşmüştür. Düşük lif oranlarına sahip FP%0.1 ve FP%0.2 lifli numunelerin yarmada çekme dayanımı değerleri ise artan sıcaklık etkisinden bu noktada oldukça az etkilenmiştir.

400ºC sıcaklığa maruz kalmış numunelerde; FP%0.5 lifli numunenin yarmada çekme dayanımı kontrol betonuna göre %10.4 oranında fazla iken, diğer lif katkılı numunelerin dayanım değerleri kontrol betonundan daha düşük değerlerdedir. Bu noktada FP%0.4 lifli numunenin yarmada çekme dayanımında oldukça büyük bir kaybın meydana geldiği görülmektedir.

600ºC ve 800ºC sıcaklığa maruz kalmış numunelerde; yüksek sıcaklık etkisiyle yarmada çekme dayanımı değerleri oldukça azalmış ve lif katkılı numunelerin yarmada çekme dayanımı değerleri kontrol betonunun dayanım değerinin altına düşmüştür.

FP tipi lif katkılı 90 günlük beton silindir numunelerin lif oranına ve sıcaklığa bağlı olarak yarmada çekme dayanımlarındaki değişim grafiksel olarak Şekil 4.16' da verilmiştir.



Şekil 4.16. FP Tipi Lif Katkılı 90 Günlük Silindir Numunelerin Yarmada Çekme Dayanımlarının Lif Oranı ve Sıcaklıkla Değişimi

FP tipi lif katkılı 90 günlük silindir numunelerin yarmada çekme dayanımı deney bulgularına göre;

Oda sıcaklığındaki numunelerde, FP%0.4 ve FP%0.5 lif katkılı numunelerin yarmada çekme dayanımı değerleri, referans betonuna göre sırasıyla %12.7 ve %7.2 oranında daha yüksektir. Diğer lif katkılı numunelerin yarmada çekme dayanımları, referans betonunun dayanım değerinden düşüktür. Bu sıcaklık için en düşük yarmada çekme dayanımı değeri FP%0.3 lifli numunede elde edilmiştir.

100ºC sıcaklığa maruz kalmış numunelerde; referans betonunun ve FP%0.4 ile FP%0.5 lifli numunelerin yarmada çekme dayanımlarında azalmalar meydana gelirken, FP%0.1 ve FP%0.2 lifli numunelerin yarmada çekme dayanımı değerlerinde az da olsa artış meydana geldiği görülmüştür. Bu sıcaklık değeri için en yüksek yarmada çekme dayanımı değeri FP%0.4 lif katkılı numunede elde edilirken, en düşük değer ise FP%0.2 lif katkılı numuneden elde edilmiştir.

200ºC sıcaklığa maruz kalmış numunelerde; sıcaklık etkisiyle yarmada çekme dayanımı değerleri daha da azalmıştır. Yüksek lif oranlı numunelerde bu azalmanın diğer

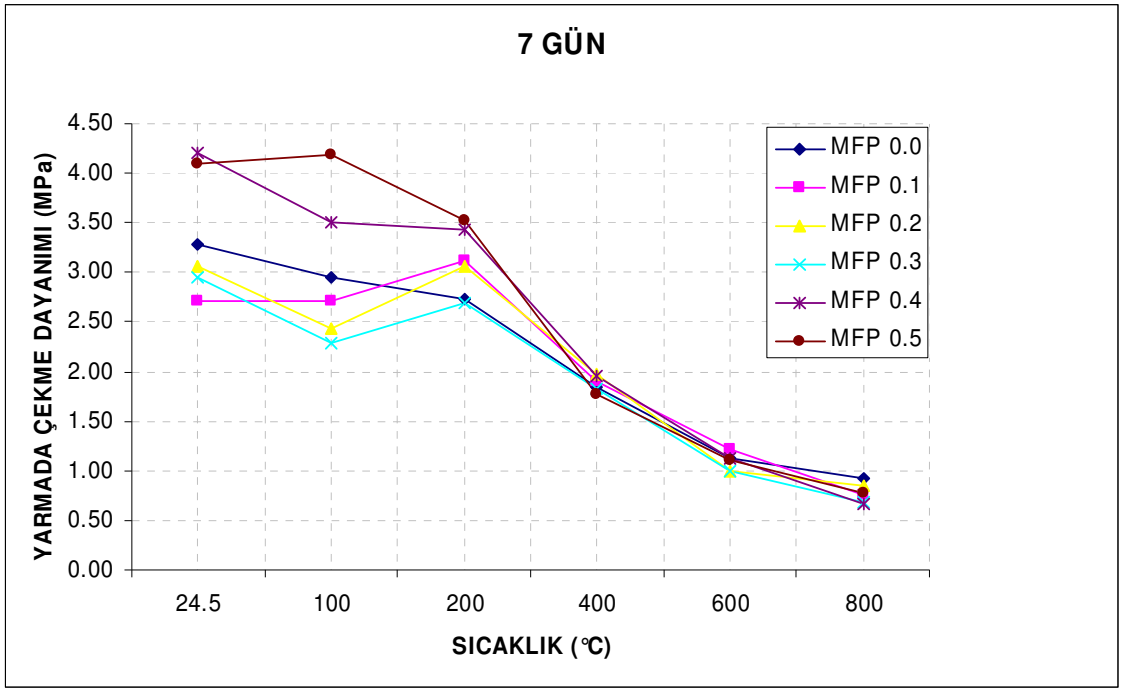
numunelere göre biraz daha fazla olması, bu sıcaklık değerinde yarmada çekme dayanımı değerlerinin birbirine iyice yaklaşmasını sağlamıştır.

400ºC sıcaklığa maruz kalmış numunelerde; düşük lif oranına sahip numuneler ile kontrol numunesinin yarmada çekme dayanımlarında daha büyük azalmalar görülmüştür. FP%0.4 ve FP%0.5 lifli numunelerde bu azalma daha az oranlarda olmuş, dolayısıyla bu sıcaklık değeri için en büyük yarmada çekme dayanımı değerleri yine FP%0.4 ve FP%0.5 lifli numunelerden elde edilmiştir.

600ºC ve 800ºC sıcaklığa maruz kalmış numunelerde; lif katkılı numunelerin yarmada çekme dayanımı değerlerinin birbirine oldukça yakın değerlerde olduğu görülmüştür. 24.5ºC' deki değerlerle karşılaştırıldığında, bu sıcaklıktaki en büyük yarmada çekme dayanımı kaybının FP%0.4 ve FP%0.5 lif katkılı numunelerde gerçekleşmiş olduğu görülmüştür.

FP%0.1, %0.2 ve %0.3 lif oranları yarmada çekme dayanımına katkıda bulunmak için yeterli olmazken, %0.4 ve %0.5 lif oranlarında kayda değer bir iyileşme görülmektedir. Ancak sıcaklığın artırılması ile yarmada çekme dayanımındaki en büyük kayıpların lif oranı yüksek numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Bunun yanında, yarmada çekme dayanımı değerleri incelendiğinde, FP%0.4 lif katkılı numunelerin performansının FP%0.5 lif katkılı numunelerden daha iyi olduğu görülmüştür. bu da yarmada çekme dayanımındaki iyileşme için optimum lif oranının %0.4 civarında olduğunu göstermektedir.

MFP tipi lif katkılı 7 günlük beton silindir numunelerin, lif oranına ve sıcaklığa bağlı olarak yarmada çekme dayanımlarındaki değişim grafiksel olarak Şekil 4.17' de verilmiştir.



Şekil 4.17. MFP Tipi Lif Katkılı 7 Günlük Silindir Numunelerin Yarmada Çekme Dayanımlarının Lif Oranı ve Sıcaklıkla Değişimi

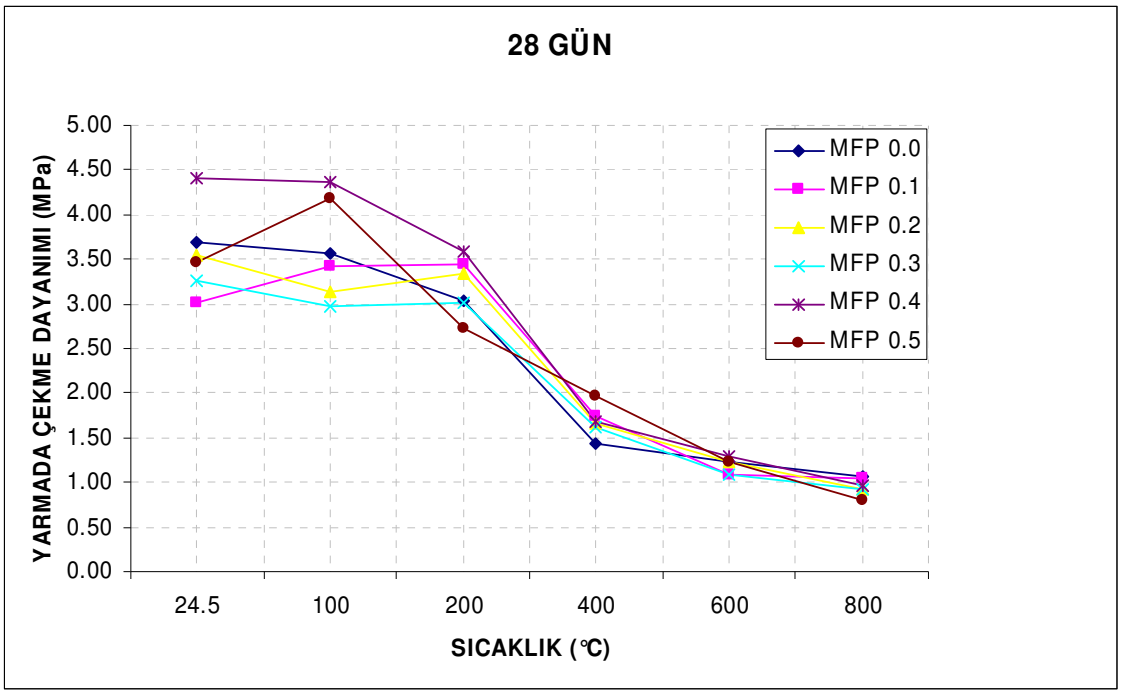
MFP tipi lif katkılı 7 günlük silindir numunelerin yarmada çekme dayanımı deney bulgularına göre;

Oda sıcaklığında ve 100ºC sıcaklığında en büyük yarmada çekme dayanımı değerleri MFP%0.4 ve MFP %0.5 lifli numunelerin değerleridir. Bu numunelerin yarmada çekme dayanımı değerlerinin bu sıcaklık değerlerinde referans betonuna göre iyileşme gösterdiği görülmektedir.

200ºC sıcaklığa maruz kalmış numunelerde, MFP%0.3 lifli numunenin dışında diğer lif katkılı numunelerin yarmada çekme dayanımı değerleri kontrol betonunun dayanımından büyüktür. Önceki sıcaklık değeri göz önüne alındığında MFP%0.1, MFP%0.2 ve MFP%0.3 lifli numunelerin bu sıcaklıktaki yarmada çekme dayanımlarında artış olduğu görülmektedir.

400ºC, 600ºC ve 800ºC sıcaklığa maruz kalmış numunelerde, yarmada çekme dayanımı değerleri sıcaklığında etkisiyle birbirine oldukça yaklaşmıştır. 400ºC' de meydana gelen dayanım azalması lif oranından bağımsız olarak lineer bir şekilde diğer sıcaklıklarda devam etmiştir.

MFP tipi lif katkılı 28 günlük beton silindir numunelerin, lif oranına ve sıcaklığa bağlı olarak yarmada çekme dayanımlarındaki değişim grafiksel olarak Şekil 4.18' de verilmiştir.



Şekil 4.18. MFP Tipi Lif Katkılı 28 Günlük Silindir Numunelerin Yarmada Çekme Dayanımlarının Lif Oranı ve Sıcaklıkla Değişimi

MFP tipi lif katkılı 28 günlük silindir numunelerin yarmada çekme dayanımı deney bulgularına göre;

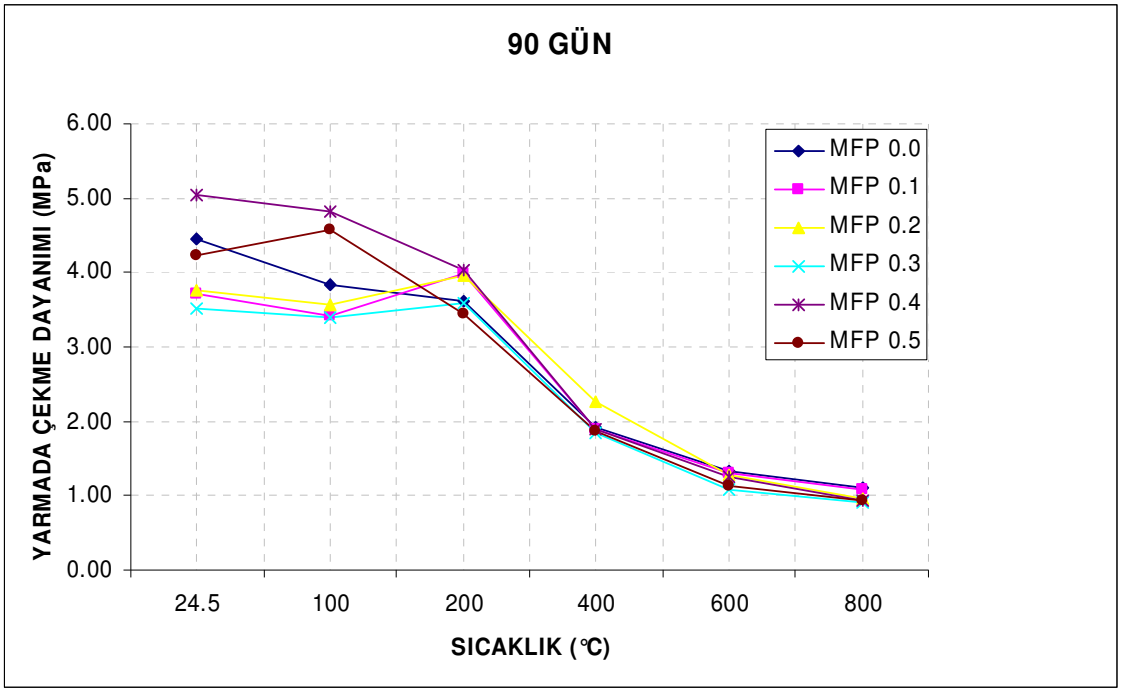
Oda sıcaklığındaki yarmada çekme dayanımı değerlerinden en büyüğü MFP%0.4 lif katkılı numunenin dayanım değeridir.

100ºC sıcaklığa maruz kalmış numunelerde, MFP%0.5 ve MFP%0.1 lifli numunelerin yarmada çekme dayanımı değerleri artış göstermiştir. Bu sıcaklık değerinde MFP%0.4 ve MFP%0.5 lifli numunelerin yarmada çekme dayanımı değerleri kontrol betonunun dayanım değerinden, sırasıyla %28.3 ve %25 oranında daha fazladır. Diğer lif katkılı numunelerin yarmada çekme dayanımı değerleri kontrol betonundan düşüktür.

200ºC sıcaklığa maruz kalmış numunelerde, MFP%0.5 lifli numune dışındaki tüm numuneler kontrol betonuna göre iyileşme gösterirken, 400ºC' de tüm lif oranları

kontrol betonundan daha iyi sonuçlar vermiştir. 600ºC ve 800ºC sıcaklık değerlerinde ise, yarmada çekme dayanımında lif katkısının etkili olmadığı görülmüştür.

MFP tipi lif katkılı 90 günlük beton silindir numunelerin, lif oranına ve sıcaklığa bağlı olarak yarmada çekme dayanımlarındaki değişim grafiksel olarak Şekil 4.19' da verilmiştir.



Şekil 4.19. MFP Tipi Lif Katkılı 90 Günlük Silindir Numunelerin Yarmada Çekme Dayanımlarının Lif Oranı ve Sıcaklıkla Değişimi

MFP tipi lif katkılı 90 günlük silindir numunelerin yarmada çekme dayanımı deney bulgularına göre;

Oda sıcaklığında MFP.%0.4 lifli numunenin yarmada çekme dayanımı değeri referans betonuna göre %13.1 oranında daha fazladır. Diğer lif oranlarına sahip numunelerin yarmada çekme dayanımlarında referans betonuna göre bir iyileşme görülmemiştir.

100ºC sıcaklığa maruz kalmış numunelerde, MFP%0.5 lifli numunenin yarmada çekme dayanımında artış gözlenmiştir. Bu sıcaklık değeri için en büyük yarmada çekme dayanımı değerleri, lif oranı yüksek olan MFP%04 ve MFP%0.5 lifli numunelerin

yarmada çekme dayanımı değerleridir. Diğer lif oranlarına sahip numunelerin yarmada çekme dayanımı değerleri kontrol betonunun dayanımından düşüktür.

200ºC sıcaklığa maruz kalmış numunelerde, MFP%0.1, MFP%0.2 ve MFP%0.3 lifli numunelerin yarmada çekme dayanımı değerlerinde artış görülmüştür. Kontrol betonu, MFP%0.4 ve MFP%0.5 lifli numunelerde ise azalma olmuştur.

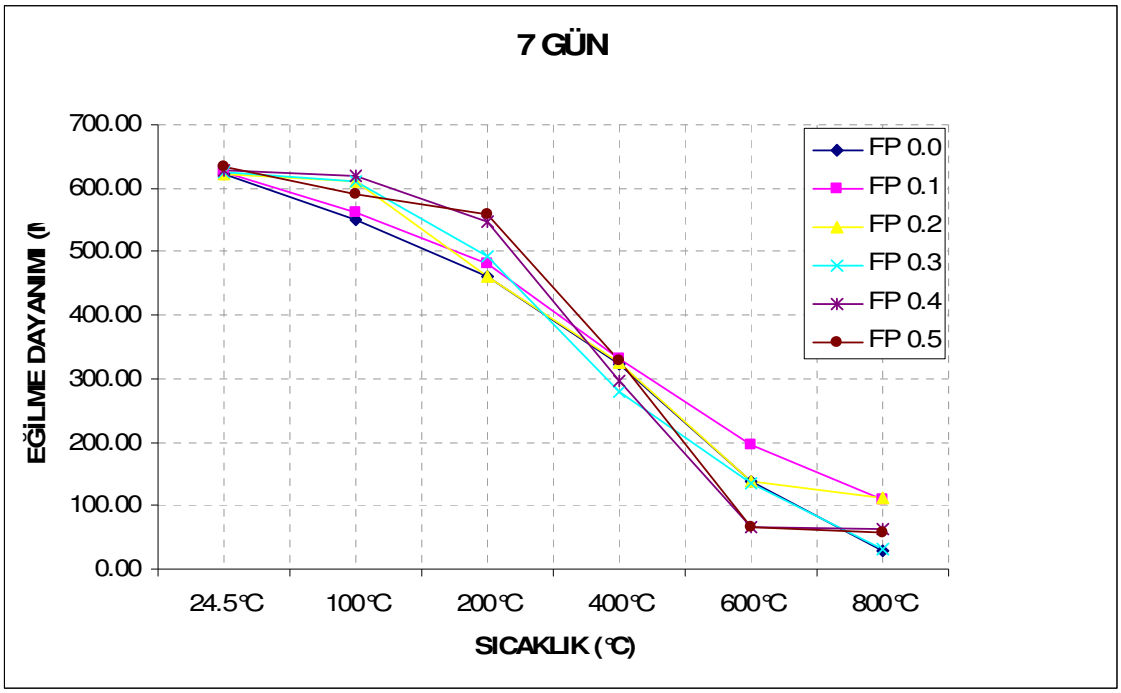
400ºC, 600ºC ve 800ºC sıcaklığa maruz kalmış numunelerde, yarmada çekme dayanımlarındaki değişimin sıcaklık etkisiyle lif oranından bağımsız olarak azalma gösterdiği gözlenmiş ve bu sıcaklıklardaki yarmada çekme dayanımı değerlerinin birbirine oldukça yakın değerlerde olduğu görülmüştür.

4.2. Prizmatik Beton Deneyleri Bulguları

Deney için 150x150x750mm boyutlarında FP ve MFP tipi polipropilen lif katkılı prizmatik numuneler kullanılmıştır. Prizmatik beton numuneler deney düzeneğine açıklığı numune boyunun 2/3' si olacak şekilde yerleştirilmiştir. Eğilmede çekme dayanımı yüklemesi 0.5 mm/dk. sehim hızıyla strok kontrollü olarak yapılmıştır. Polipropilen lifli numunelerin dayanımlarına ulaştıktan sonraki davranışları lif katkısız gevrek numunelerinkine yakındır. Ancak dayanıma ulaşıldıktan sonra lif katkısız numunelerde olduğu gibi tamamen göçme gerçekleşmemektedir. Bu aşamada yük ani bir şekilde azalmakta ve ardından numune yüklemenin devam etmesi ile birlikte sehim yapmaya devam etmektedir. Bu durum 24.5ºC ile 100ºC' deki %0.1, %0.2 ve %0.3 lif katkılı numunelerde daha küçük mertebelerde iken; özellikle %0.4 ve %0.5 hacimsel oranlarında FP tipi polipropilen lif katkılı numunelerde önemli ölçüde olmaktadır ve bu malzemenin enerji yutma kapasitesini artırıcı bir durumdur. Bunun yanı sıra daha yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmış numunelerde lif oranı ne olursa olsun bu durum gerçekleşmemiş ve tüm numuneler lifsiz numunelerde olduğu gibi gevrek bir şekilde kırılmıştır.

4.2.1. Prizmatik Beton Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanımı Bulguları

FP lifli 7 günlük beton prizmatik numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerlerinin lif oranlarına ve sıcaklık değerlerine göre değişimi Şekil 4.20.' de grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.20. FP Lifli 7 Günlük Prizmatik Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanımı Değerlerinin Sıcaklıkla Değişimi

FP lifli 7 günlük prizmatik numunelerin eğilmede çekme dayanımı deneyi bulgularına göre;

Prizmatik beton numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerleri artan sıcaklık değerleri etkisiyle azalma göstermiştir. 24.5ºC' de 650 MPa dolaylarında eğilmede çekme dayanımı değerleri görülürken, 800ºC sıcaklık etkisiyle 100 MPa ve altında eğilmede çekme dayanımı bulguları elde edilmiştir.

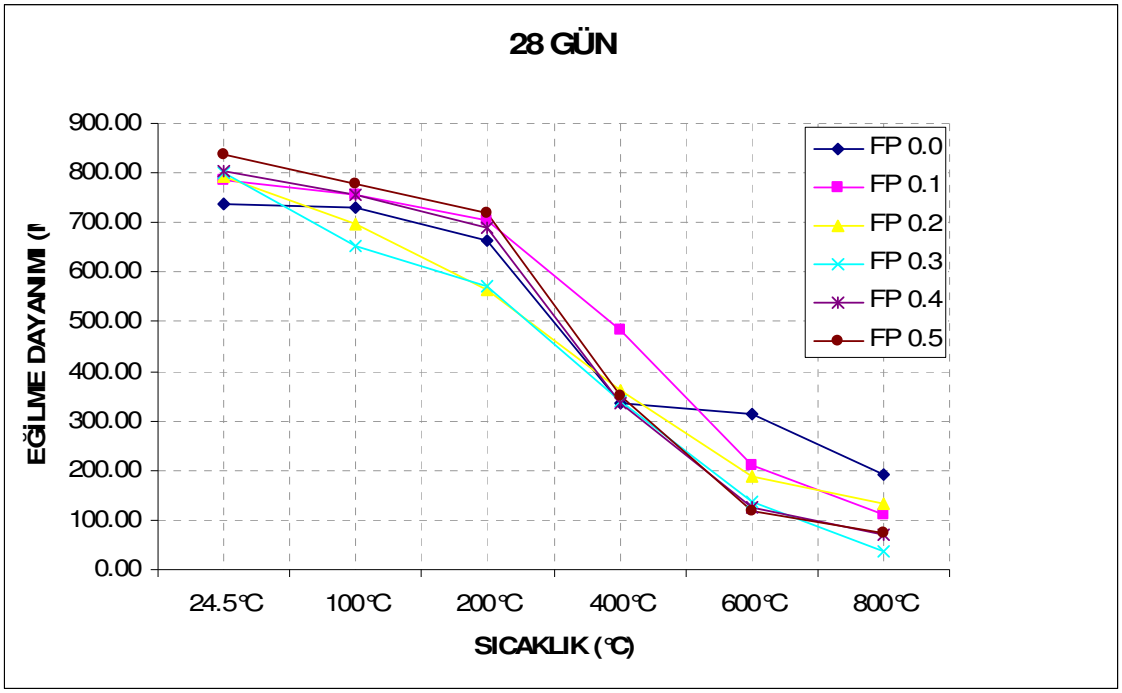
24.5ºC' de FP tipi lif katkılı prizmatik numuneler ile lifsiz numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerleri birbirine çok yakındır. Lif katkısının eğilmede çekme dayanımına etkisi oldukça küçük oranlarda olmuştur.

100ºC' de referans betonunun eğilmede çekme dayanımındaki kayıp, lifli numunelere oranla daha büyüktür. Dolayısıyla lifli numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerleri aynı sıcaklıktaki kontrol betonunun eğilmede çekme dayanımı değerinden daha büyüktür. Bu sıcaklık değerindeki en büyük eğilmede çekme dayanımı değeri FP%0.4 lif katkılı numunenin eğilmede çekme dayanımı değeridir. FP%0.4 lif katkılı numunenin eğilmede çekme dayanımı değeri, kontrol betonunun eğilmede çekme dayanımı değerinden %12.6 oranında daha büyüktür.

200C' de yüksek lif oranına sahip prizmatik numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerlerindeki azalma, düşük lif oranına sahip numuneler ile kontrol betonunun dayanım kaybından daha küçük mertebelerde gerçekleşmiştir. Dolayısıyla yüksek lif oranına sahip numuneler ile kontrol betonu arasındaki eğilmede çekme dayanımı farkı artmıştır. Bu sıcaklık değerinde FP%0.1, FP%0.2 ve FP%0.3 lifli numuneler kontrol betonunun eğilmede çekme dayanımına yakın değerler verirken, FP%0.4 lifli numunede %18.7, FP%0.5 lifli numunede ise %20.8 oranında iyileşme görülmüştür.

400ºC' de eğilmede çekme dayanımı değerlerinde önemli ölçüde azalmalar görülmüştür. FP%0.1, FP%0.2 ve FP%0.5 lifli numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerleri, kontrol betonundan büyük olsa da, aradaki fark oldukça küçük mertebelerdedir.

FP lifli 28 günlük beton prizmatik numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerlerinin lif oranlarına ve sıcaklık değerlerine göre değişimi Şekil 4.21.' de grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.21. FP Lifli 28 Günlük Prizmatik Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanımı Değerlerinin Sıcaklıkla Değişimi

FP lifli 28 günlük prizmatik numunelerin eğilmede çekme dayanımı deneyi bulgularına göre;

Prizmatik beton numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerlerinde artan sıcaklık etkisiyle azalmalar görülmüştür. Başlangıçta 850 MPa' ya ulaşan eğilmede çekme dayanımı bulguları, 800ºC sıcaklık etkisinden sonra 100MPa' nın altına kadar düşmüştür.

24.5ºC' de lif oranının artmasıyla eğilmede çekme dayanımı değerlerinde iyileşmeler olmuştur. Bu şartlarda en büyük eğilmede çekme dayanımı değeri FP%0.5 lifli numunenin eğilmede çekme dayanımı değeridir. FP%0.5 lifli numunenin eğilmede çekme dayanımı, referans betonuna göre %13.6 oranında daha büyüktür.

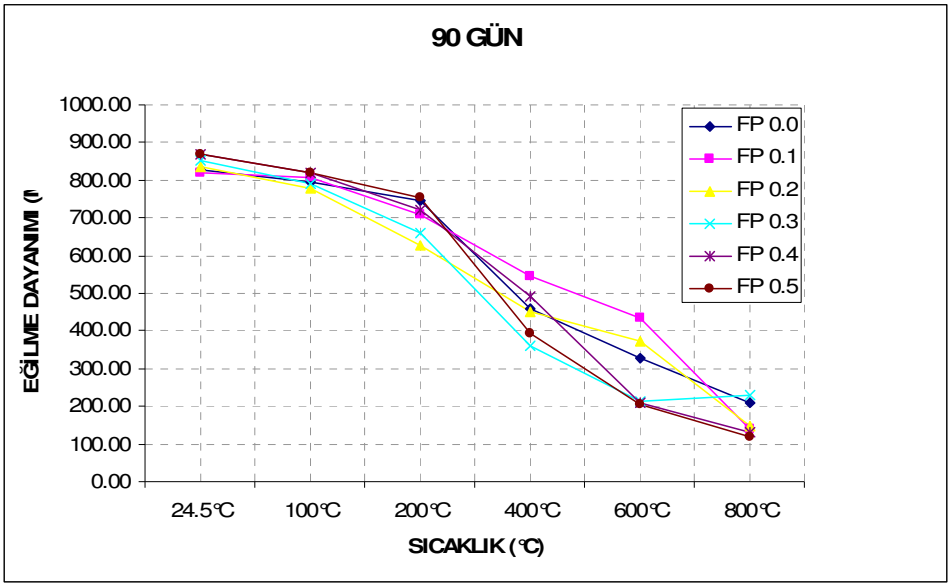
100ºC' de FP%0.2 ve FP%0.3 lifli numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerleri kontrol betonu dayanım değerinin altına düşmüştür. FP%0.5 lifli numunenin eğilmede çekme dayanımı değeri bu sıcaklıktaki en büyük değer olup kontrol betonundan %6.6 oranında daha büyüktür.

200ºC' de FP%0.1 ve FP%0.2 lif katkılı numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerlerinde diğer numunelere oranla daha büyük mertebelerde azalma görülmüştür. Bunun yanında diğer eğilme dayanımı değerleri birbirine yakındır. Bu sıcaklık değerinde de FP%0.5 lifli numunenin eğilmede çekme dayanımı değeri en büyük dayanım olup, kontrol betonundan %8.2 oranında daha büyüktür. FP%0.1ve FP%0.4 lifli numunelerin eğilme dayanımları, kontrol betonundan sırasıyla %6.3 ve %3.9 oranında daha büyüktür.

400ºC' de en yüksek eğilmede çekme dayanımı değeri FP%0.1 lif katkılı numunede görülmektedir. Bu numunenin eğilmede çekme dayanımı aynı sıcaklıktaki kontrol betonundan %44.4 oranında daha büyüktür.

600ºC ve 800ºC' de lif katkılı numunelerin eğilmede çekme dayanımları kontrol betonunun dayanım değerlerinin altında kalmıştır. Lif katkısının olumlu yönde etkisi bu sıcaklık değerlerinde olmamıştır. Aksine yüksek lif oranına sahip numunelerin bu sıcaklık değerlerinde en düşük eğilme dayanımına sahip oldukları görülmüştür.

FP lifli 90 günlük beton prizmatik numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerlerinin lif oranlarına ve sıcaklık değerlerine göre değişimi Şekil 4.22.' de grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.22. FP Lifli 90 Günlük Prizmatik Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanımı Değerlerinin Sıcaklıkla Değişimi

FP lifli 90 günlük prizmatik numunelerin eğilmede çekme dayanımı deneyi bulgularına göre;

Prizmatik beton numunelerin eğilme dayanımları sıcaklığın artması ile azalma eğilimi göstermiştir. Başlangıç sıcaklığında 900MPa değerlerine ulaşan eğilme dayanımları, 800ºC sonrasında yaklaşık 100MPa değerine kadar düşmüştür.

24.5ºC' de eğilme dayanımı bulguları birbirine yakın değerlerdedir. FP%0.3, FP%0.4 ve FP%0.5 lif katkılı numunelerin eğilme dayanımları referans betonundan daha büyüktür. Dolayısıyla bu lif oranlarında eğilme dayanımı için iyileşme kaydedilmiştir. En büyük eğilme dayanımı FP%0.5 lifli numunede görülmüştür. Bu numunenin eğilme dayanımında %4.8 oranında iyileşme olmuştur.

100ºC' de eğilme dayanımı değerleri birbirine iyice yaklaşmıştır. FP%0.1 lif katkılı numunenin de kontrol betonundan az da olsa daha büyük eğilme dayanımına sahip olduğu görülmektedir. FP%0.5 lifli numunenin eğilme dayanımı, aynı sıcaklıktaki kontrol betonuna göre %3.3 oranında daha büyüktür.

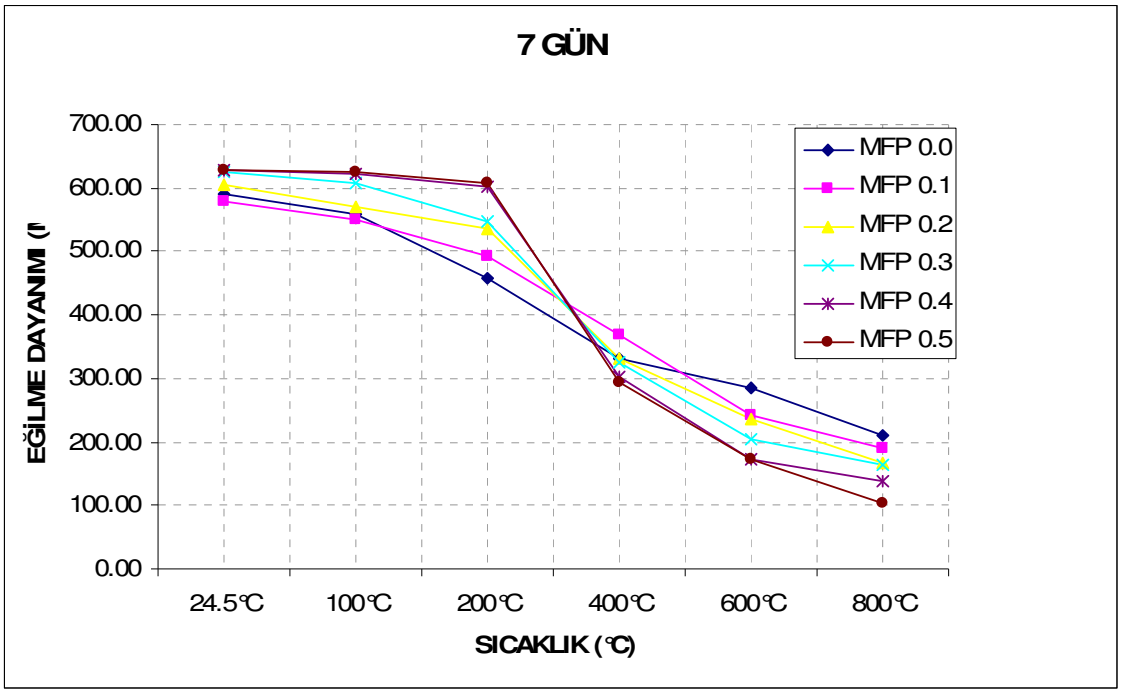
200ºC' de FP%0.5 lif katkılı numune dışında, eğilme dayanımları kontrol betonunun eğilme dayanımından küçük değerlerdedir. FP%0.5 lifli numunenin eğilme dayanımı kontrol betonundan %1 civarında artış göstermiştir.

400ºC' de FP%0.1 ve FP%0.4 lifli numunelerin eğilme dayanımları kontrol betonunun üstünde değer verirken, FP%0.5 lifli betonun eğilme dayanımı kontrol betonu dayanımının altına düşmüştür.

600ºC' de yüksek lif oranına sahip numunelerin eğilme dayanımları en düşük eğilme dayanımı değerleri iken, FP%0.1 ve FP%0.2 lifli numunelerin eğilme dayanımları kontrol betonundan daha yüksektir.

800ºC' de lif katkılı numunelerin eğilme dayanımı değerleri kontrol betonu eğilme dayanımından düşük değerlerdedir.

MFP lifli 7 günlük beton prizmatik numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerlerinin lif oranlarına ve sıcaklık değerlerine göre değişimi Şekil 4.23.' de grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.23. MFP Lifli 7 Günlük Prizmatik Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanımı Değerlerinin Sıcaklıkla Değişimi

MFP lifli 7 günlük prizmatik numunelerin eğilmede çekme dayanımı deneyi bulgularına göre;

Sıcaklık artışı ile eğilme dayanımında azalmalar görülmüştür. Başlangıçta 600MPa' ya ulaşan eğilmede çekme dayanımı değerleri yüksek sıcaklık etkisi sonrası 100 MPa' ya kadar düşmüştür. En büyük dayanım azalmaları lif katkılı numunelerde görülmüştür.

24.5ºC' de lif katkısının eğilmede çekme dayanımını artırdığı görülmüştür. FP%0.1 düşük lif oranlı numune dışında diğer numunelerde dayanım artışı gözlenmiştir. En yüksek eğilme dayanımı MFP%0.5 lifli beton numunede, referans betonuna göre %6.4 oranında gerçekleşmiştir.

100ºC' de referans betonunun eğilme dayanımındaki azalma yüksek lif katkılı numunelerin dayanım azalma miktarına göre büyük olduğundan aradaki fark

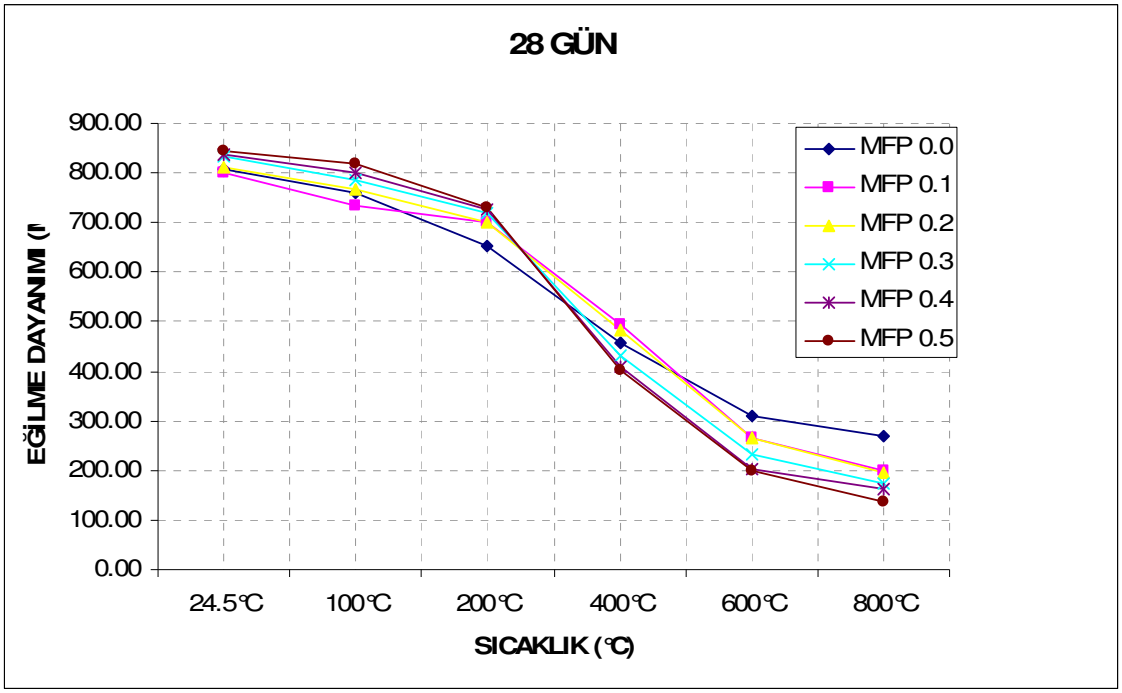
belirginleşmiştir. MFP%0.3, MFP%0.4 ve MFP%0.5 lif katkılı numunelerdeki iyileşmeler %9.1-11.9 arasında görülmektedir.

200ºC' de MFP%0.4 ve MFP%0.5 lifli numunelerin eğilme dayanımları az miktarda azalırken, kontrol betonundaki dayanım azalması lineere yakın bir şekilde devam etmiştir. Dolayısıyla bu numunelerin eğilme dayanımları ile kontrol betonun eğilme dayanımı arasındaki fark artmıştır. Aynı sıcaklıktaki kontrol betonu eğilme dayanımına göre, MFP%0.4 lifli numunenin eğilme dayanımında %31.2, MFP%0.5 lifli numunenin eğilme dayanımında %32.5 oranında artış olduğu görülmüştür.

400ºC' de yüksek sıcaklık etkisi ile lif katkılı numunelerin eğilme dayanımlarında büyük kayıplar görülmüştür. MFP%0.1 lifli numune dışındaki numunelerin eğilme dayanımları aynı sıcaklıktaki kontrol betonunun eğilme dayanımının altında kalmıştır. MFP%0.1 lifli numunenin eğilme dayanımının, kontrol betonunun eğilme dayanımından %11.1 oranında daha büyük olduğu görülmüştür.

600ºC ve 800ºC' de lif katkılı numunelerin eğilme dayanımlarının aynı sıcaklıktaki kontrol betonunun eğilme dayanımının altında olduğu, özellikle yüksek lif oranlarına sahip olan MFP%0.4 ve MFP%0.5 lif katkılı numunelerin en düşük eğilme dayanımına sahip oldukları görülmüştür.

MFP lifli 28 günlük beton prizmatik numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerlerinin lif oranlarına ve sıcaklık değerlerine göre değişimi Şekil 4.24.' de grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.24. MFP Lifli 28 Günlük Prizmatik Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanımı Değerlerinin Sıcaklıkla Değişimi

MFP lifli 28 günlük prizmatik numunelerin eğilmede çekme dayanımı deneyi bulgularına göre;

24.5ºC' de lif katkılı numunelerin eğilme dayanımları kontrol betonunun eğilme dayanımına yakın olmakla birlikte, küçük mertebelerde iyileşmeler görülmüştür.

100ºC' de MFP%0.1 lif katkılı numune dışındaki numunelerin eğilme dayanımlarının aynı sıcaklıktaki kontrol betonundan daha büyük olduğu görülmüştür. Önceki sıcaklık değerindeki fark biraz daha artmıştır. Bu noktada en büyük eğilme dayanımı MFP%0.5 lif katkılı beton numunede görülmüştür. Bu numunenin eğilme dayanımında kontrol betonuna göre %7.8 oranında bir iyileşme söz konusudur.

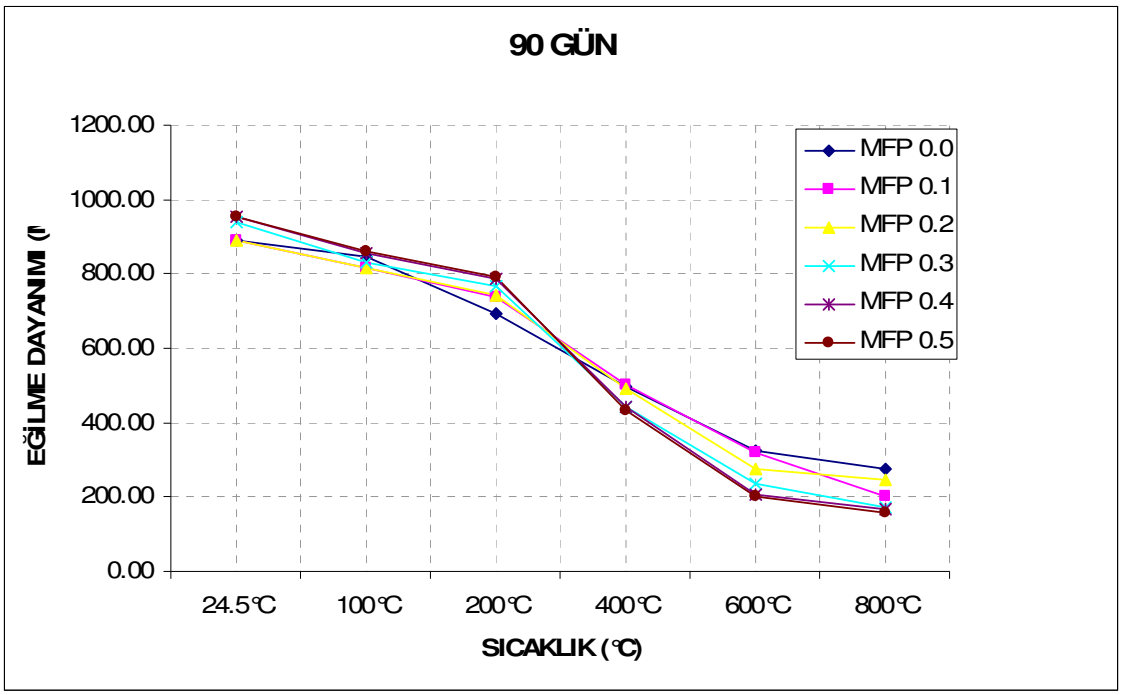
200ºC' de MFP%0.1 lif katkılı numunenin eğilme dayanımı da kontrol betonunun dayanımından büyüktür. Lif oranı yükseldikçe ufak dayanım artışları görülmüş, ancak dayanım değerleri birbirine çok yakın elde edilmiştir. MFP%0.5 lifli numunenin eğilme dayanımı kontrol betonundan %11.8 daha büyüktür.

400ºC' de artan yüksek sıcaklık etkisiyle yüksek lif oranlarına sahip numunelerin eğilme dayanımlarındaki azalma daha büyük mertebelerde gerçekleşmiştir. Bu durum

sebebiyle MFP%0.3, MFP%0.4 ve MFP%0.5 lifli numunelerin eğilme dayanımlarının, bu sıcaklık değerinde kontrol betonunun dayanımından düşük olduğu görülmüştür. MFP%0.1 ve MFP%0.2 lifli numunelerde %8' e varan iyileşme olduğu görülmüştür.

600ºC ve 800ºC' de lif katkılı numunelerin eğilme dayanımlarının kontrol betonunun eğilme dayanımının altına düştüğü görülmüştür. Lif oranı arttıkça bu yüksek sıcaklık değerlerinde eğilme dayanımlarının azaldığı görülmektedir.

MFP lifli 90 günlük beton prizmatik numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerlerinin lif oranlarına ve sıcaklık değerlerine göre değişimi Şekil 4.25.' de grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4. 25. MFP Lifli 90 Günlük Prizmatik Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanımı Değerlerinin Sıcaklıkla Değişimi

MFP lifli 90 günlük prizmatik numunelerin eğilmede çekme dayanımı deneyi bulgularına göre;

Sıcaklık artışı ile birlikte eğilme dayanımlarında azalmalar olduğu görülmüştür. Başlangıç sıcaklığında 1000MPa değerine ulaşan eğilme dayanımlarının, yüksek sıcaklık etkisi sonunda 200MPa' nın altına kadar düştüğü saptanmıştır.

24.5ºC' de lif oranı yüksek numunelerin eğilme dayanımlarında küçük mertebelerde iyileşme görülmüştür. 100ºC' de eğilme dayanımı değerleri birbirine oldukça yakın iken, 200ºC' de aradaki fark biraz daha artmış ve lif oranı yüksek olan numunelerin bu sıcaklık değerinde daha iyi sonuç verdiği saptanmıştır. 400ºC' de yüksek lif oranına sahip numunelerin eğilme dayanımları kontrol betonunun dayanımından küçük değerlerdedir. 600ºC ve 800ºC' de lif katkılı numunelerin eğilme dayanımlarının, aynı sıcaklıktaki kontrol betonunun eğilme dayanımının altında olduğu görülmüştür. Özellikle yüksek lif oranlarına sahip numunelerinden yüksek sıcaklıklarda en düşük eğilme dayanımı değerleri elde edilmiştir.

FP ve MFP lif katkılı numunelerin eğilmede çekme dayanımı deneyleri sonucu elde edilen nümerik değerler Ek 2'de verilmiştir.

4.2.2. Prizmatik Beton Numunelerin Tokluk Değeri Bulguları

Tokluk hesaplamalarında, deney sonucu elde edilen kuvvet – deplasman eğrisinin altındaki alan hesaplanırken, deplasman değerleri 7.2mm ile sınırlandırılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan multifibrile liflerin numunelerin tokluk değerlerine katkısı olmamış, multifibrile lif oranı arttıkça toklukta azalmalar görülmüştür. Ancak multifibrile lifli numunelerin 200ºC' den sonraki yüksek sıcaklıklarda tokluk değerlerinin fibrile numunelerinkine göre daha iyi olduğu görülmüştür.
Her lif oranı ve sıcaklık değeri için prizmatik numunelerin enerji yutma kapasitesi değerleri Tablo 4.5 ve Tablo 4.6' da verilmiştir.

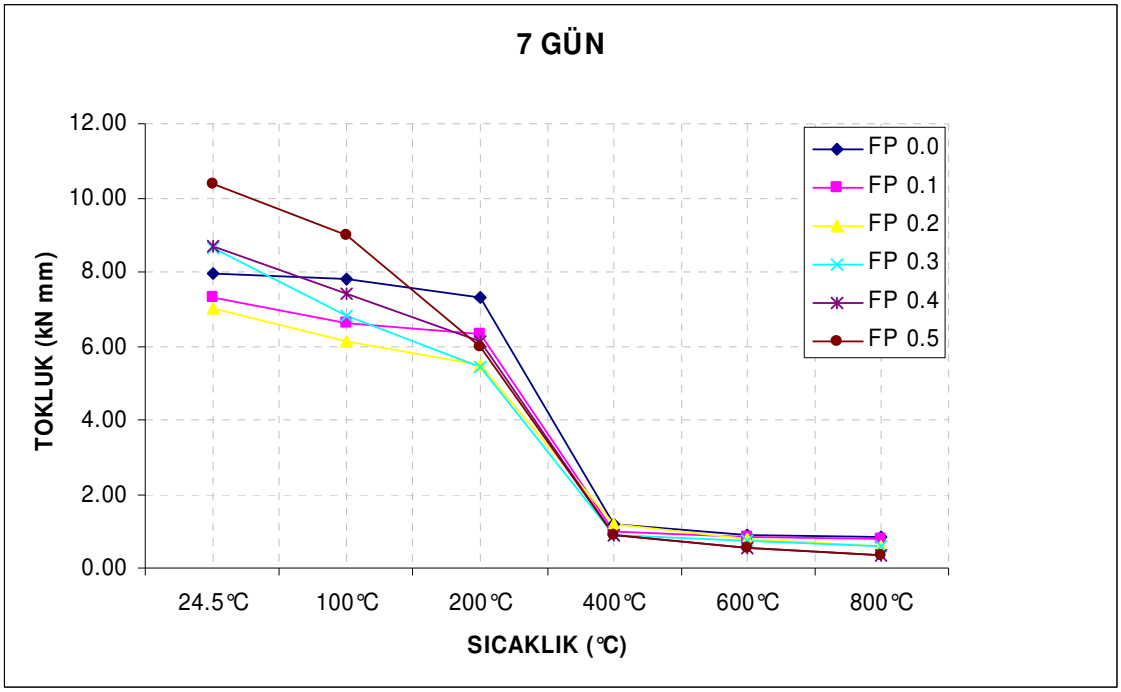
Tablo 4.5. FP Lifli Prizmatik Numunelerin Tokluk Değerleri.

Prizmatik Numune Tokluk Değerleri *(kN.mm)*								
Numune Kodu	Polipropilen Lif (% hacim)	Numune Periyodu (Gün)	Sıcaklık (°C)					
			NŞA	**100**	**200**	**400**	**600**	**800**
FP-0-7	**0**	7	**7.96**	**7.80**	**7.33**	**1.20**	**0.91**	**0.83**
FP-0-28		28	**14.11**	**10.99**	**8.01**	**2.84**	**1.17**	**1.02**
FP-0-90		90	**17.35**	**15.89**	**10.97**	**3.01**	**1.21**	**1.19**
FP-0,1-7	**0,1**	7	**7.31**	**6.64**	**6.31**	**1.01**	**0.83**	**0.81**
FP-0,1-28		28	**11.27**	**10.79**	**7.45**	**2.73**	**1.12**	**0.93**
FP-0,1-90		90	**18.73**	**15.05**	**10.16**	**2.86**	**1.23**	**0.99**
FP-0,2-7	**0,2**	7	**7.01**	**4.28**	**5.47**	**1.17**	**0.81**	**0.57**
FP-0,2-28		28	**11.59**	**10.97**	**7.59**	**2.49**	**0.97**	**0.75**
FP-0,2-90		90	**18.61**	**15.73**	**11.83**	**3.17**	**1.16**	**0.83**
FP-0,3-7	**0,3**	7	**8.63**	**6.81**	**5.44**	**0.91**	**0.72**	**0.58**
FP-0,3-28		28	**15.64**	**10.73**	**7.45**	**2.31**	**0.95**	**0.72**
FP-0,3-90		90	**19.57**	**16.19**	**12.07**	**2.83**	**1.09**	**0.77**
FP-0,4-7	**0,4**	7	**8.71**	**7.41**	**6.12**	**0.87**	**0.53**	**0.33**
FP-0,4-28		28	**17.02**	**13.73**	**7.43**	**2.09**	**0.81**	**0.51**
FP-0,4-90		90	**22.77**	**17.75**	**12.16**	**2.19**	**0.88**	**0.53**
FP-0,5-7	**0,5**	7	**10.35**	**9.01**	**5.97**	**0.89**	**0.52**	**0.37**
FP-0,5-28		28	**19.81**	**16.43**	**8.03**	**1.81**	**0.73**	**0.45**
FP-0,5-90		90	**23.83**	**18.10**	**12.11**	**1.99**	**0.80**	**0.49**

Tablo 4.6. MFP Lifli Prizmatik Numunelerin Tokluk Değerleri.

Prizmatik Numune Tokluk Değerleri *(kN.mm)*								
Numune Kodu	Polipropilen Lif (% hacim)	Numune Periyodu (Gün)	Sıcaklık (°C)					
			NŞA	**100**	**200**	**400**	**600**	**800**
MFP-0-7	**0**	7	**9.16**	**7.47**	**4.96**	**1.83**	**1.47**	**1.06**
MFP-0-28		28	**14.31**	**10.35**	**8.20**	**4.11**	**3.03**	**2.57**
MFP-0-90		90	**17.47**	**16.86**	**11.13**	**6.47**	**4.21**	**3.97**
MFP-0,1-7	**0,1**	7	**8.27**	**7.14**	**6.43**	**4.11**	**2.26**	**1.94**
MFP-0,1-28		28	**13.13**	**10.11**	**7.97**	**4.13**	**2.25**	**2.16**
MFP-0,1-90		90	**17.03**	**16.07**	**10.53**	**5.27**	**5.19**	**3.49**
MFP-0,2-7	**0,2**	7	**8.44**	**8.13**	**8.04**	**2.93**	**1.17**	**1.10**
MFP-0,2-28		28	**12.56**	**11.47**	**10.03**	**3.97**	**2.21**	**1.47**
MFP-0,2-90		90	**15.24**	**13.24**	**10.99**	**5.01**	**3.56**	**3.28**
MFP-0,3-7	**0,3**	7	**7.56**	**6.57**	**5.23**	**2.47**	**1.49**	**1.36**
MFP-0,3-28		28	**12.47**	**12.21**	**9.73**	**3.18**	**2.53**	**2.55**
MFP-0,3-90		90	**16.06**	**13.04**	**9.96**	**4.01**	**3.10**	**3.05**
MFP-0,4-7	**0,4**	7	**7.17**	**6.46**	**5.21**	**2.13**	**1.17**	**0.60**
MFP-0,4-28		28	**12.23**	**10.60**	**8.37**	**5.74**	**3.85**	**2.38**
MFP-0,4-90		90	**16.44**	**11.86**	**10.05**	**5.87**	**4.16**	**3.26**
MFP-0,5-7	**0,5**	7	**7.01**	**6.47**	**5.03**	**1.43**	**1.01**	**1.07**
MFP-0,5-28		28	**12.77**	**9.75**	**6.47**	**2.16**	**1.18**	**1.26**
MFP-0,5-90		90	**17.13**	**12.89**	**10.75**	**6.41**	**2.71**	**1.54**

FP lifli 7 günlük beton prizmatik numunelerin lif oranlarına ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak tokluk değerlerinin değişimi Şekil 4.26' da grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.26. 7 Günlük FP Lifli Prizmatik Beton Numunelerin Tokluk Değerlerinin Sıcaklıkla Değişimi

FP lifli 7 günlük beton prizmatik numunelerden farklı sıcaklıklarda elde edilen tokluk değeri bulgularına göre;

Sıcaklık artışıyla birlikte prizmatik numunelerin tokluk değerlerinde azalmalar olduğu ve yüksek sıcaklık değerlerinde tokluk değerlerinin birbirinden önemli derecede fark göstermediği görülmüştür.

24.5ºC' de lif oranının artması ile tokluk değerlerinin artış gösterdiği tespit edilmiştir. FP%0.3, FP%0.4 ve FP%0.5 lifli numunelerin tokluk değerlerinde, referans betonuna göre iyileşme söz konusudur. Bu numunelerin tokluk değerleri referans betonu ile karşılaştırıldığında, FP%0.3 lifli numunenin %8.4, FP%0.4 lifli numunenin %9.4 ve FP%0.5 lifli numunenin %30 oranında daha yüksek tokluk değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Bu şartlarda FP%0.1 ve FP%0.2 lifli numunelerin tokluk değerlerinin ise referans betonunun altında kalmaktadır.

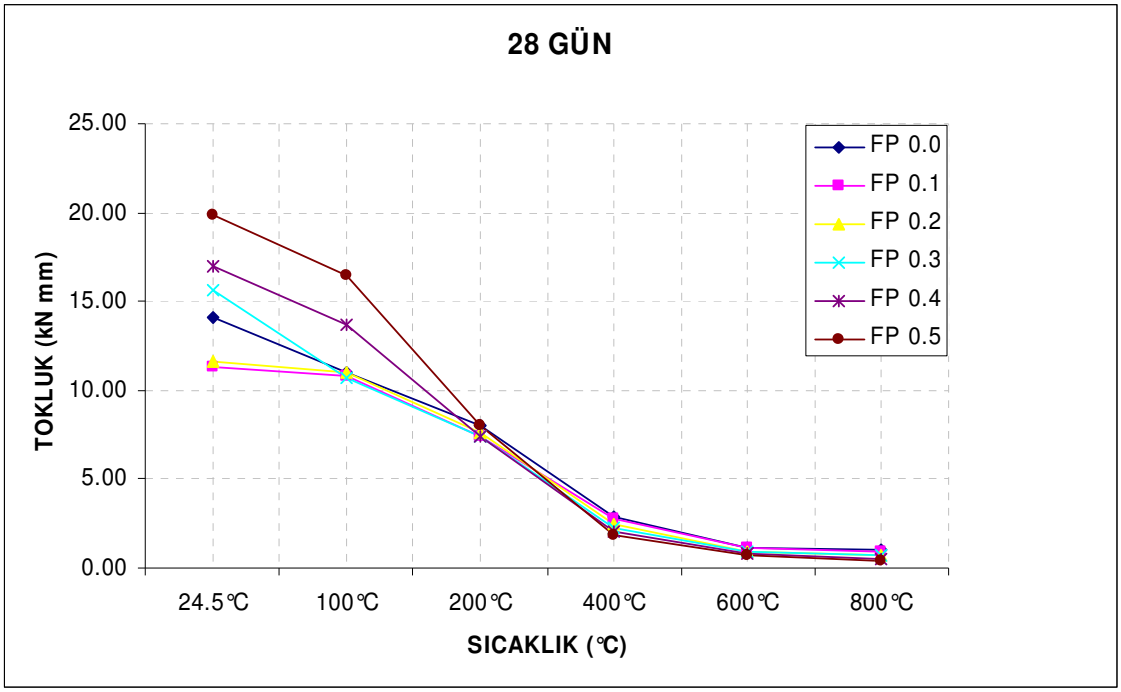
100ºC' de FP%0.3 ve FP%0.4 lifli numunelerin referans betonuna göre daha hızlı dayanım kaybı yaşadığı görülmektedir. Dolayısıyla bu sıcaklık değerinde, tokluk değerlerinin kontrol betonunun tokluk değerinin altına düştüğü görülmektedir. FP%0.5 lifli numunedeki dayanım kaybı o kadar hızlı olmamış ve tokluk değeri kontrol

betonunun tokluk değerinin %15.1' i oranında daha yüksek değer vermiştir. Bu sıcaklıkta en düşük dayanım kaybı kontrol betonunda görülmüştür. Özellikle lif oranı yüksek numunelerde daha hızlı bir değer kaybı yaşandığı görülmektedir.

200ºC' de kontrol betonundaki dayanım azalması, lifli betonlarla karşılaştırıldığında daha küçük mertebelerde kalmıştır. FP%0.1 ve FP%0.2 lifli numunelerin tokluk değerlerindeki azalma da küçük mertebelerde olmuştur. Ancak daha yüksek lif oranına sahip numunelerin tokluk değerlerindeki azalma önceki sıcaklık değerlerine göre %26' lara varan oranlarda gerçekleşmiştir. Bu sıcaklık değerinde tokluk değerleri açısından en iyi performansın kontrol betonuna ait olduğu görülmektedir.
400ºC' de, oldukça büyük azalmalar olmuştur. Tokluk değerlerinin birbirine oldukça yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Bu noktada polipropilen liflerin tokluk değerlerine katkıda bulunduğu söylenemez.

600ºC ve 800ºC' de sıcaklığın artmasıyla birlikte tokluk değerleri de azalmıştır. Bu sıcaklık değerlerinde lifsiz kontrol betonunun ve düşük lif oranına sahip FP%0.1 lifli numunenin tokluk değerleri diğer numunelere göre biraz daha yüksektir.

FP lifli 28 günlük beton prizmatik numunelerin lif oranlarına ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak tokluk değerlerinin değişimi Şekil 4.27' de grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.27. 28 Günlük FP Lifli Prizmatik Beton Numunelerin Tokluk Değerlerinin Sıcaklıkla Değişimi

FP lifli 28 günlük beton prizmatik numunelerden farklı sıcaklıklarda elde edilen tokluk değeri bulgularına göre;

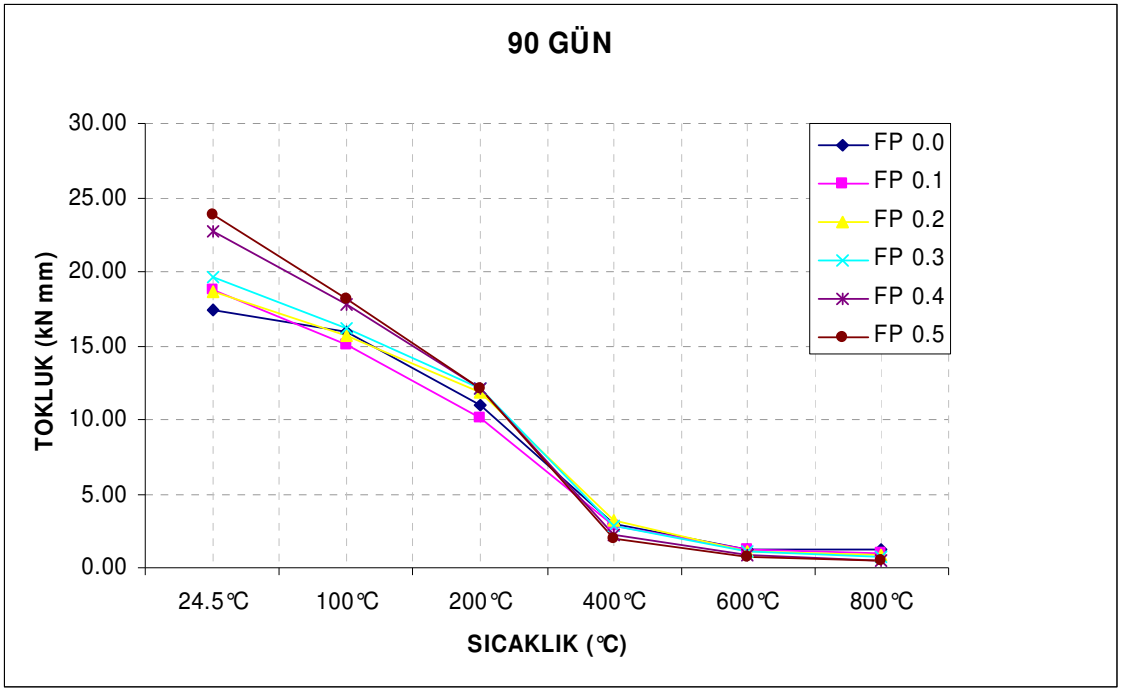
24.5ºC' de lif oranının artması ile tokluk değerlerinde de artışların olduğu görülmüştür. En iyi tokluk performansı lif oranı en yüksek olan FP%0.5 lifli numuneden alınmıştır. Tokluk bulguları referans betonu değerleriyle karşılaştırıldığında, F%0.3 lifli numunede %10.8, FP%0.4 lifli numunede %20.6 ve FP%0.5 lifli numunede %40.4 oranında iyileşmeler olduğu saptanmıştır. FP%0.1 ve FP%0.2 lif katkılı numunelerde ise iyileşme olmamış, bu numunelerin tokluk değerleri referans betonunun tokluk değerinin altında birbirleriyle benzerlik göstermiştir.

100ºC' de sıcaklık değerinin artması nedeniyle önceki sıcaklık değerinin tokluk değeri bulgularına göre azalmalar olmuştur. Bu değer kayıpları lif oranı yüksek olan numunelerde daha yüksek mertebelerde olmuştur. FP%0.1 ve FP%0.2 lifli numunelerin tokluk değerleri önceki sıcaklık değeri bulgularına göre küçük mertebelerde azalma gösterirken, FP%0.3, FP%0.4 ve FP%0.5 lifli numunelerde, sırasıyla %31.4, %19.3 ve %17.1 oranlarında azalmalar görülmüştür. Kontrol betonunda ise bu oran %22 olarak tespit edilmiştir.

200ºC' de sıcaklık artışı nedeniyle tokluk değerlerinde önemli azalmalar meydana gelmiştir. Tokluk değerleri arasındaki fark oldukça küçük değerlerdedir ve bu noktada tokluk değerine lifin olumlu yönde bir etkisi görülmemektedir.

400ºC, 600ºC ve 800ºC' de tokluk değerleri sıcaklık etkisiyle iyice azalmış ve bulgular birbirine yakın değerlerde seyretmiştir. Bu sıcaklık değerlerinde lif katkısının kayda değer bir etkisi görülmemiştir.

FP lifli 90 günlük beton prizmatik numunelerin lif oranlarına ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak tokluk değerlerinin değişimi Şekil 4.28' de grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.28. 90 Günlük FP Lifli Prizmatik Beton Numunelerin Tokluk Değerlerinin Sıcaklıkla Değişimi

FP lifli 90 günlük beton prizmatik numunelerden farklı sıcaklıklarda elde edilen tokluk değeri bulgularına göre;

24.5ºC' de, tüm lif oranlarının tokluk değerlerinin referans betonundan daha iyi olduğu görülmüştür. Yüksek lif oranına sahip numunelerin tokluk değerlerinde en yüksek değerler elde edilmiştir. Tokluk değerleri referans betonu değerleriyle karşılaştırıldığında, FP%0.1 için %8, FP%0.2 için %7.3, FP%0.3 için %12.8, FP%0.4

için %31.2 ve FP%0.5 için %37.3 oranlarında değer artışları saptanmıştır. Bu sıcaklık değeri için en iyi tokluk performansı FP%0.5 lifli numuneden elde edilmiştir.

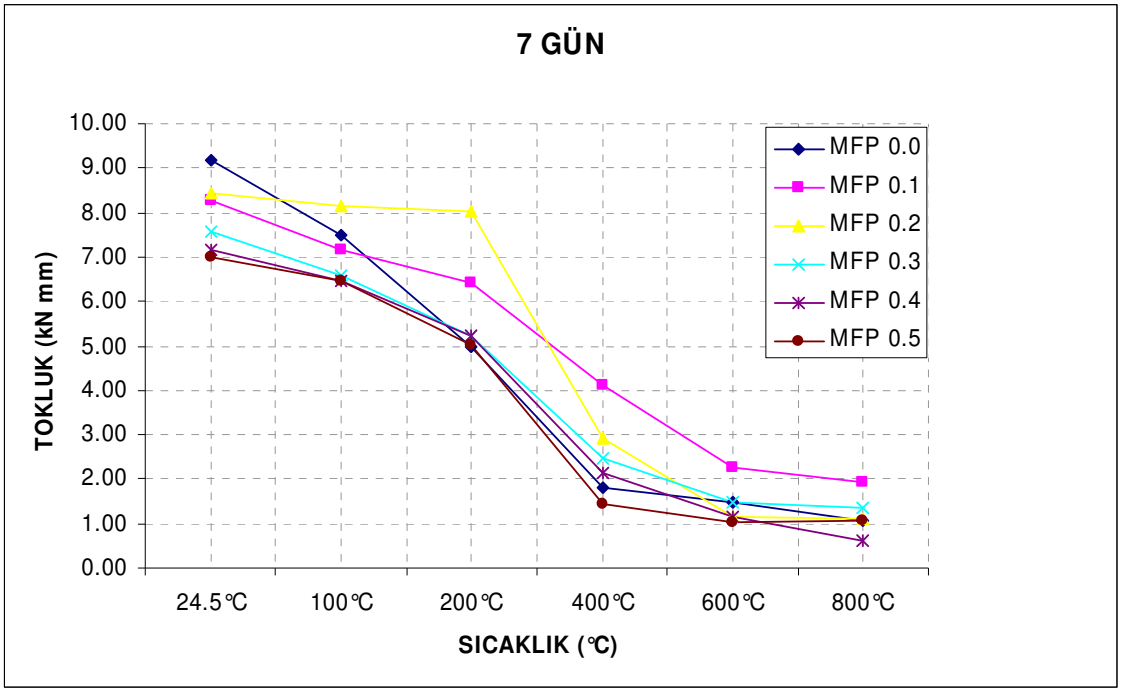
100ºC' de, lif katkılı numunelerin tokluk değerlerinin referans betonuna oranla daha hızlı azaldığı görülmektedir. Önceki sıcaklık değerinde tokluk değeri referans betonununkine yakın olan düşük lifli FP%0.1 ve FP%0.2 lifli numunelerin tokluk değerlerinin, bu sıcaklık değerinde referans betonunun altına düştüğü görülmüştür. Yüksek lifli numune değerlerindeki azalmanın da fazla olmasıyla referans betonu ile lifli numune tokluk değerleri birbirine yaklaşmıştır. Bu noktada FP%0.4 ve FP%0.5 lifli numunelerin tokluk değerleri kontrol betonuna göre, sırasıyla %11.7 ve %13.9 oranında daha yüksektir.

200ºC' de FP%0.1 lifli numune dışındaki numunelerin tokluk değerlerinin az da olsa kontrol numunesinin tokluk değerinden yüksek olduğu görülmüştür. Ancak lifli numunelerin tokluk değerleri birbirine çok yakın değerlerdedir.

400ºC' de artan sıcaklık etkisiyle tokluk değerlerinde önemli ölçüde azalmalar olmuştur. Lif katkılı numunelerin tokluk değerleri yine aynı sıcaklıktaki kontrol betonu değerinin altına düşmüştür. Bu sıcaklık değerinde elde edilen tokluk değerlerinin en düşük olanları yüksek lif oranına sahip FP%0.4 ve FP%0.5 lifli numunelere ait değerlerdir.

600ºC ve 800ºC' de tokluk değerleri birbirine çok yakındır. Lif katkılı numunelerin tokluk değerlerinin kontrol betonun değerlerinin altında olduğu görülmektedir.

MFP lifli 7 günlük beton prizmatik numunelerin lif oranlarına ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak tokluk değerlerinin değişimi Şekil 4.29' da grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.29. 7 Günlük MFP Lifli Prizmatik Beton Numunelerin Tokluk Değerlerinin Sıcaklıkla Değişimi

MFP lifli 7 günlük beton prizmatik numunelerden farklı sıcaklıklarda elde edilen tokluk değeri bulgularına göre;

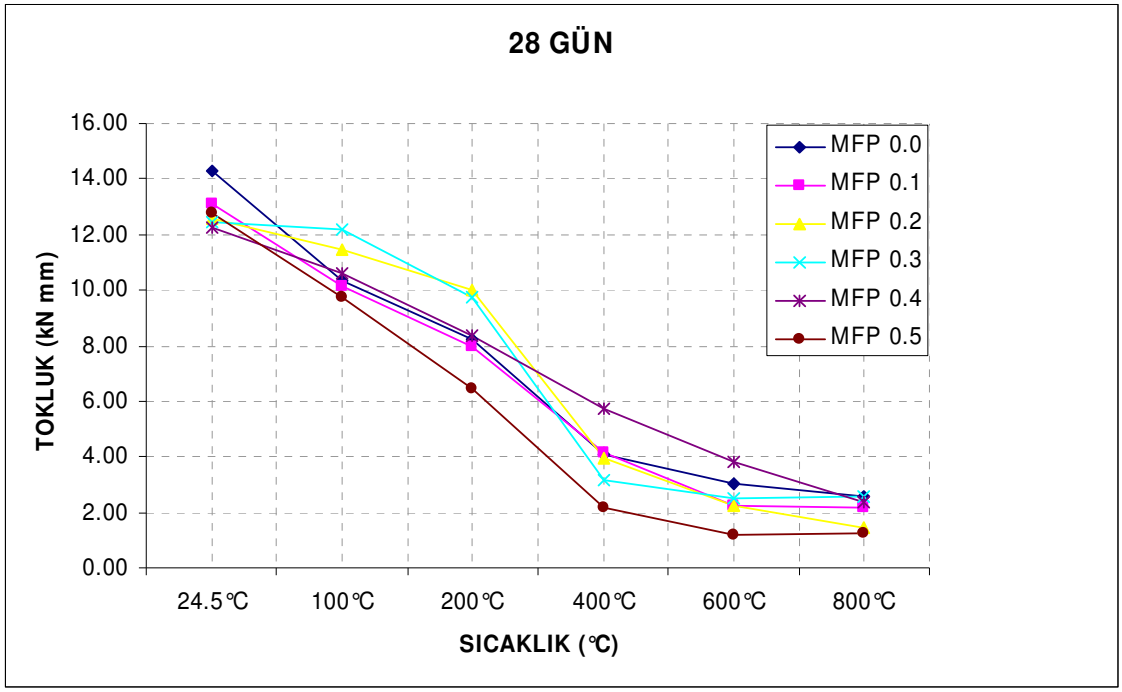
24.5ºC' de lif katkısının olumlu bir katkısı görülmemektedir. Lif oranı yüksek numunelerin bu noktada en düşük tokluk değerlerine sahip oldukları görülmektedir.

100ºC' de tokluk değerleri azalmıştır. MFP%0.2 lifli numune dışında diğer lif oranları için tokluk değerleri kontrol betonu değerinin altında kalmıştır.

200ºC' de kontrol betonunun tokluk değerindeki azalma lifli numunelerin tokluk değerlerindeki azalmadan daha hızlı geçekleşmiştir. FP%0.1 ve FP%0.2 lifli numunelerin tokluk değerleri en az azalma gösteren tokluk değerleridir. Dolayısıyla bu numunelerin tokluk değerleri kontrol betonu tokluğundan, FP%0.1 için %29.6, FP%0.2 için %62.1 oranlarında daha yüksek değerler vermiştir. Diğer lif katkılı numunelerin tokluk değerleri kontrol betonu değerine yakındır.

7 günlük numunelerden elde edilen bulgulara göre 400ºC, 600ºC ve 800ºC sıcaklıklarda genel olarak lifli numunelerin tokluk değerlerinin kontrol betonuna oranla daha iyi olduğu görülmüştür.

MFP lifli 28 günlük beton prizmatik numunelerin lif oranlarına ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak tokluk değerlerinin değişimi Şekil 4.30' da grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.30. 28 Günlük MFP Lifli Prizmatik Beton Numunelerin Tokluk Değerlerinin Sıcaklıkla Değişimi

MFP lifli 28 günlük beton prizmatik numunelerden farklı sıcaklıklarda elde edilen tokluk değeri bulgularına göre;

24.5ºC' de lif katkısının tokluk değerini olumsuz etkilediği görülmektedir. Referans betonunun tokluk değerinde %14.5 oranına varan bir azalma olduğu saptanmıştır.

100ºC' de MFP%0.2 ve MFP%0.3 lifli numunelerin tokluk değerlerinin aynı sıcaklıktaki kontrol betonuna göre, sırasıyla %10.8 ve %18 oranlarında yüksek olduğu tespit edilmiştir.

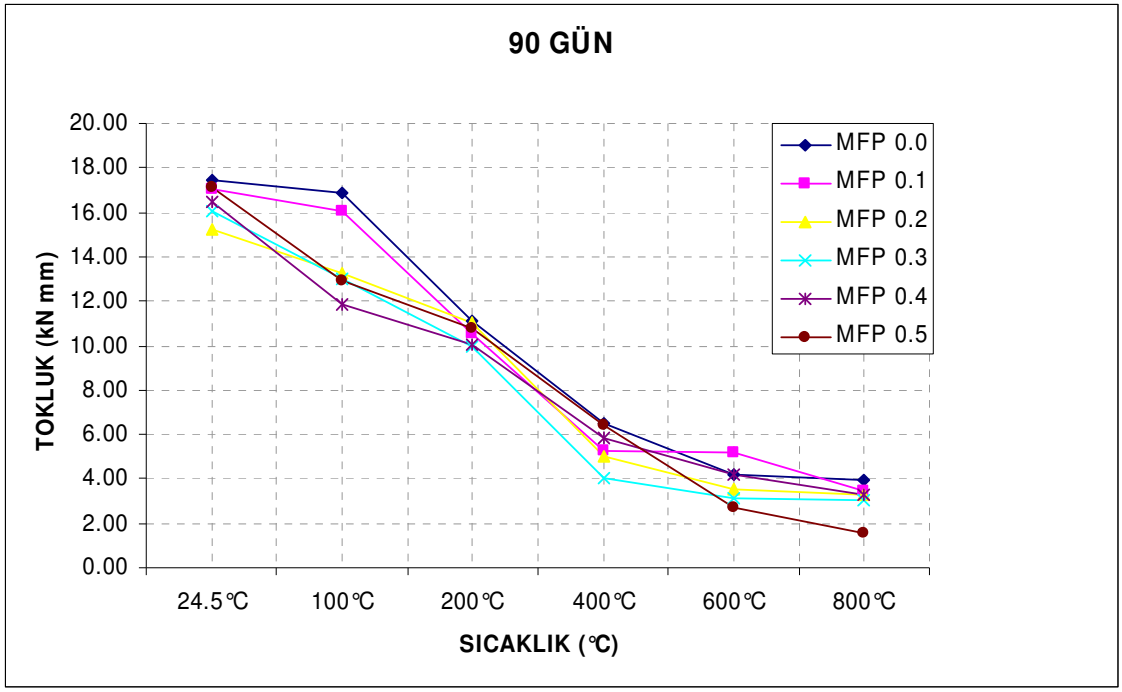
200ºC' de MFP%0.5 lifli numunede hızlı bir tokluk değeri azalması görülmektedir. MFP%0.1 ve MFP%0.4 lifli numuneler kontrol betonunun tokluk değerine yakın değerler verirken, MFP%0.2 ve MFP%0.3 lifli numunelerin tokluk değerleri %22.3 ile %18.7 oranında daha iyi sonuçlar vermiştir.

400ºC' de tokluk değerlerinde artan sıcaklıkla birlikte tokluk değerlerinde büyük ölçüde azalmalar olmuştur. MFP%0.4 lifli numunenin tokluk değeri kontrol betonuna göre %39.7 daha yüksek iken, diğer lif oranlarına ait tokluk değerleri kontrol betonu değerinin altında kalmıştır.

600ºC' de MFP%0.4 lifli numunenin tokluk değeri kontrol betonundan %27 daha iyidir. Diğer lif katkılı numunelerden MFP%0.5 lifli en düşük tokluk değerini verirken, MFP%0.1, MFP%0.2, MFP%0.3 lifli numuneler kontrol betonu tokluk değerinin altında birbirine yakın değerler vermiştir.

800ºC' de kontrol betonunun tokluk değeri lifli numunelerin tokluk değerlerinden daha yüksek sonuç vermiştir.

MFP lifli 90 günlük beton prizmatik numunelerin lif oranlarına ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak tokluk değerlerinin değişimi Şekil 4.31' de grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.31. 90 Günlük MFP Lifli Prizmatik Beton Numunelerin Tokluk Değerlerinin Sıcaklıkla Değişimi

MFP lifli 90 günlük beton prizmatik numunelerden farklı sıcaklıklarda elde edilen tokluk değeri bulgularına göre;

Lif katkısının bütün sıcaklık değerleri için iyileşme sağlamadığı görülmüştür. Yüksek lif oranına sahip numunelerin tokluk değerleri artan sıcaklık etkisi ile daha hızlı azalmış ve nitekim 800ºC' de en düşük tokluk değeri MFP%0.5 lifli numunede görülmüştür. 200ºC ile 400ºC arasındaki sıcaklık geçişinde tokluk değerlerinin önemli ölçüde azaldığı görülmüştür.

5. BÖLÜM
SONUÇLAR

Basınç dayanımı deneyleri sonuçlarına göre polipropilen lif katkısının numunelerin basınç dayanımlarını genel itibariyle düşürdüğü görülmüştür. 7 günlük numunelerde özellikle 100ºC ve 200ºC sıcaklık uygulanması durumunda en büyük dayanım kaybı lif katkısız numunelerde olmuştur. Bu sıcaklıklarda lif oranı arttıkça dayanım kaybında azalma görülmüştür. Sıcaklığın daha da artması ile 400ºC, 600ºC ve 800ºC' lerde en büyük dayanım kayıplarının lif oranı yüksek olan numunelerde meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca 200ºC ile 400ºC arasındaki sıcaklık geçişlerinde sıcaklık etkisiyle büyük oranda dayanım kayıplarının meydana gelmiştir.

Polipropilen liflerin, betonun elastisite modülü değerlerine olumlu yönde katkıda bulunup bulunmadığı konusunda bir yargıya varılamamıştır. Genel olarak lifli numunelerle lifsiz numunelerin elastisite modülü değerleri, her iki lif tipi için de benzerlikler göstermektedir. Yüksek sıcaklık değerlerinde lifli numunelerin elastisite modülü değerleri lifsizlere göre daha yüksek gibi görünse de değerler arasındaki dalgalanmalar nedeniyle kesin bir yargıya ulaşılması güçtür. Genel itibariyle hem FP tipi hem de MFP tipi polipropilen lif katkısı ile elastisite modülünde bir iyileşmenin olduğu söylenemez.

Yarmada çekme dayanımı deney sonuçlarına göre, oda sıcaklığında %0.1, %0.2 ve %0.3 FP tipi lif katkılı silindir numunelerin yarmada çekme dayanımı değerleri kontrol betonlarının değerleriyle karşılaştırıldığında, bu lif oranlarının yarmada çekme dayanımına katkısının olmadığı görülmüştür. Ancak lif katkısı ile önce azalma eğilimi gösteren yarmada çekme dayanımı değerleri lif oranının artması ile artış göstermiş ve %0.4 ile %0.5 lif oranlı numunelerin kontrol betonlarına göre yarmada çekme dayanımlarında artış olmuştur. Lif miktarının fazla olmasının da numune bünyesinde

boşluklar oluşturarak çekme dayanımı azalmalarına neden olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Nitekim %0.4 lif oranı değerleri ile %0.5 değerleri karşılaştırıldığında lif oranının bu noktadan sonra artırılması ile çekme dayanımı azalmalarının başladığı görülmektedir. 400ºC, 600ºC ve 800ºC sıcaklık değerlerinde numune bünyesindeki polipropilen liflerin tamamen erimiş olması nedeniyle lif oranındaki değişimin yarmada çekme dayanımına katkısı olmamıştır. Aksine lif oranının artması, sıcaklık etkisiyle eriyen polipropilen liflerin oluşturacağı boşluk hacmini de artıracağından çekme dayanımında azalmalara neden olabilmektedir.

Eğilme deneyinde polipropilen lifli prizmatik numunelerin nihai dayanımlarına ulaştıktan sonra gevrek kırıldıkları görülmüştür. Ancak dayanıma ulaşıldıktan sonra lif katkısız numunelerde olduğu gibi tamamen göçme gerçekleşmiş ve lif oranına bağlı olarak numunenin enerji yutma kapasitesini az da olsa artırmıştır.

Prizmatik beton numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerlerinde 24.5ºC, 100ºC ve 200ºC sıcaklık için iyileşmeler olduğu görülmüştür. Ancak sıcaklığın daha da artırılması ile lif katkılı numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerlerinin lif katkısız numunelerin dayanım değerlerinin altına düşmüştür. Özellikle lif oranı arttıkça 400ºC ve üstü sıcaklık değerlerinde eğilmede çekme dayanımı kayıpları daha da artan değerlerde olmuştur.

Polipropilen lif katkısının 200ºC sıcaklığa kadar numunenin enerji yutma kapasitesinde iyileşme sağlamış, ancak daha yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmış numunelerde lif oranındaki değişimin numunenin tokluğuna katkısı olmamıştır. Bunun nedeni polipropilen lifin 160ºC dolaylarında erimesidir. 400ºC ve üstü sıcaklıklarda erimiş olan polipropilen lifin eğilmede çekme durumunda numunenin sehim yapabilmesine katkıda bulunması söz konusu değildir. Prizmatik numunelerin enerji yutma kapasitesi değerleri karşılaştırıldığında yüksek sıcaklık değerlerinde lif oranının da artması ile tokluk değerlerinin azalma eğilimi gösterdiği gözlenmiştir. Bu sebeple, numune bünyesinde eriyen polipropilen liflerin oluşturduğu yerel boşlukların eğilme durumunda malzemenin aleyhine bir faktör oluşturduğu söylenebilir. 200ºC' de sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde dayanıma ulaşıldıktan sonra göçme durumu hemen gerçekleşmemiş ve numune oldukça küçük mertebelerde sehim yapabilmiştir. Buna sebep olarak da 200ºC' de fırınlanan numunelerin iç kısımlarındaki sıcaklığın lifin

tamamen yok olmasını sağlayacak değerlere ulaşamamış olması gösterilebilir. 200ºC' den 400ºC' ye geçişlerde hem sıcaklık nedeniyle hem de polipropilen liflerin tamamen erimesi nedeniyle numunenin enerji yutma kapasitesinde ciddi azalmalar olduğu görülmüştür. Oda sıcaklığında ve 100ºC sıcaklık değerlerinde, çalışmalarda kullanılan MFP lifin numunelerin tokluk değerlerine katkısı FP lifler kadar olmamış, multifibrile lif oranı arttıkça toklukta azalmalar görülmüştür. Ancak multifibrile lifli numunelerin 200ºC' den sonraki yüksek sıcaklıklarda tokluk değerlerinin fibrile numunelerinkine göre daha iyi olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, bu tez çalışması kapsamında elde edilen deney sonuçları değerlendirildiğinde; polipropilen lifler, basınç dayanımı ihtiyacı olan yapı elemanlarından çok özellikle sıcaklığa maruz kalan yapılarda, çekme dayanımı ihtiyacı olan kısımlarda tercih edilmelidir. Özellikle uygulama için FP ve MFP liflerinin hacimsel olarak %0.4 oranlarında kullanımı tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Karahan,O., Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana,2006.

2. Arı, K., Erdinç, M., Haktanır, T., Kasiyum Alüminatlı Çimentonun Refrakter Olarak Kullanılması, Kayseri, 2004.

3. Bekaert, Çelik Teller Hakkında Genel Bilgiler Klavuzu, Belçika, 2001.

4. Sancak, E., Şimşek O., Yüksek Sıcaklığın Silis Dumanı ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkılı Hafif Betona Etkileri, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21(3), 443-450, 2006.

5. Bilal, F., Yangın ve Beton, Himerpa A.Ş., http://izoder.org.tr

6. Mahsanlar, N., Yüksek Sıcaklık Etkisinde Beton Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2006.

7. Tokyay, M., Ramyar, K., Turanlı, L., Polipropilen ve Çelik Lifli Yüksek Dayanımlı Betonların Basınç ve Çekme Yükleri Altındaki Davranışları, 2. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, 303-311, 1991.

8. Kiper, M., Polipropilen Liflerin Özellikleri ve Kullanım Olanakları, İMO İzmir Şubesi Haber Bülteni, İzmir, 64:21-22, 1996.

9. Kutzing, L., Influence of Fibres on the Improving of Ductility of High Performance Concrete (HPC), LACER No.1, 1996.

10. Furlan, JR.S., Hanai, J.B., Shear Behaviour of Fiber Reinforced Concrete Beams, Cement and Concrete Composites, 19:359-366, 1997.

11. Manolis, G.D., Gareis, P.J., Tsonos, A.D., Neal, J.A., Dynamic Properties of Polypropylene Fiber –Reinforced Concrete Slabs, Cement and Concrete Composites, 19:341-349, 1997.

12. Acun, S., Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Dizayn Parametrei Olarak Lifsel Katkıların İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2000.

13. Yıldırım S.T., Lif Takviyeli Betonların Performans Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2002.

14. Aulia, T.B., Effects of Polypropylene Fibers on the Properties of High-Strength Concretes,Lacer No. 7:43-59, 2002.

15. Choi, Y., Yuan, R.L., Experimental Relationship Between Splitting Tensile Strength and Compressive Strength of GFRC and PFRC, Cement and Concrete Research, 35:1587-1591, 2005.

16. Alhozaimy, A.M., Soroushian, P., Mirza, F., Mechanical Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete and the Effects of Puzzolanic Materials, Cement and Concrete Composites, 18:85-92, 1996.

17. Han, C-G., Hwang, Y-S., Yang, S-H., Gowripalan, N., Performance of Spalling Resistance of High Performance Concrete With Polypropylene Fiber Contents and Lateral Confinement, Cement and Concrete Research, 35:1747-1753, 2005.

18. TS 802, Beton Karışım Hesap Esasları, TSE, Ocak, 1985.

19. TS EN 197-1, Çimento-Bölşüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, TSE, Ankara, 2002.

20. TS EN 1097-6, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, TSE, Ankara, 2002.

21. TS EN 1008, Beton Karma Suyu-Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su da Dahil Olmak Üzere Suyun Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları, TSE, Ankara, 2003.

22. TS EN 12390-2, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Kürlenmesi, TSE, Ankara, 2002.

23. TS EN 12350-2, Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi, TSE, Ankara, 2002.

24. TS 3502, Betonda Statik Elastisite Modülü ve Poisson Oranı Tayini, TSE, Ankara, 1981.

25. TS EN 12390-6, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini, TSE, Ankara, 2002.
26. TS EN 12390-5, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini, TSE, Nisan, 2002.

27. Düğenci, O., Çelik Lifli Betonların Bazı Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklık Etkisinin Deneysel Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2008.

28. TS 3530 EN 933-1/A1, Agregaların Granülometrik Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini- Eleme Metodu, TSE, Şubat, 2007.

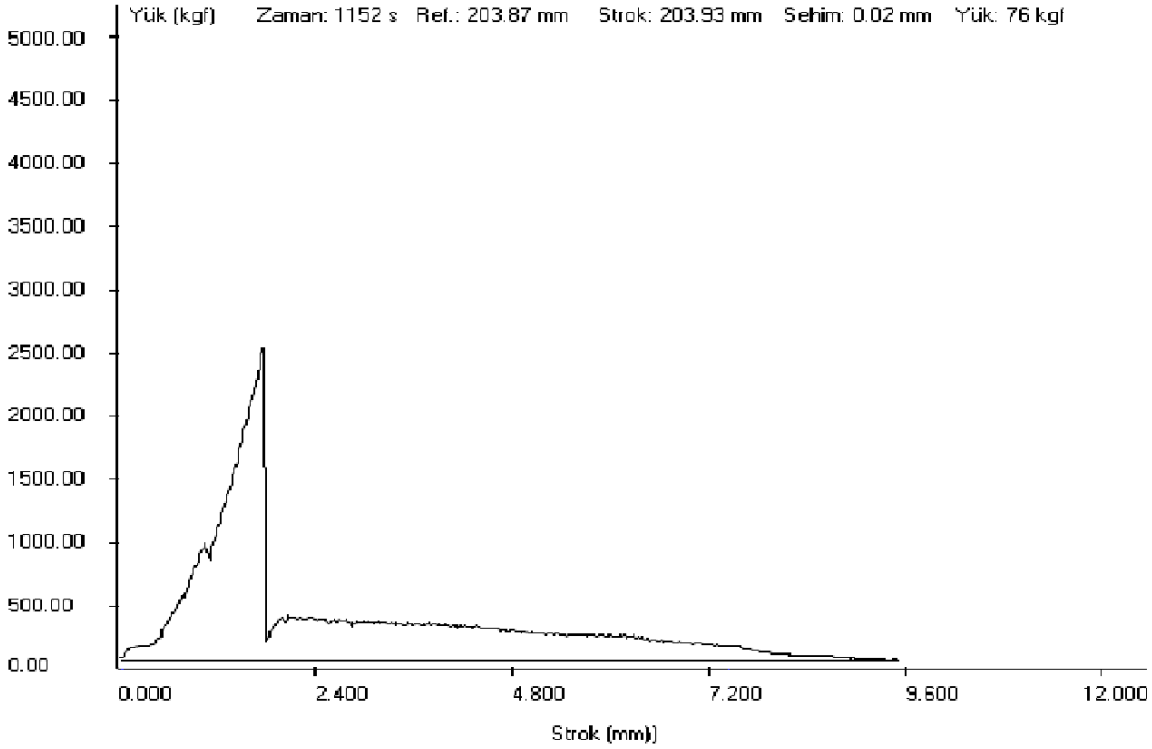
29. Erdoğan, T.Y., Sorular ve Yanıtlarıyla Beton Malzemeleri, Çimentolar, Agregalar, Su, s277, Türkiye Hazır Beton Birliği, Ankara, 2004.

30. Polyfibers A.Ş., Polipropilen Lifler – Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özellikleri, http://www.polyfibers.com/, Kasım, 2008.

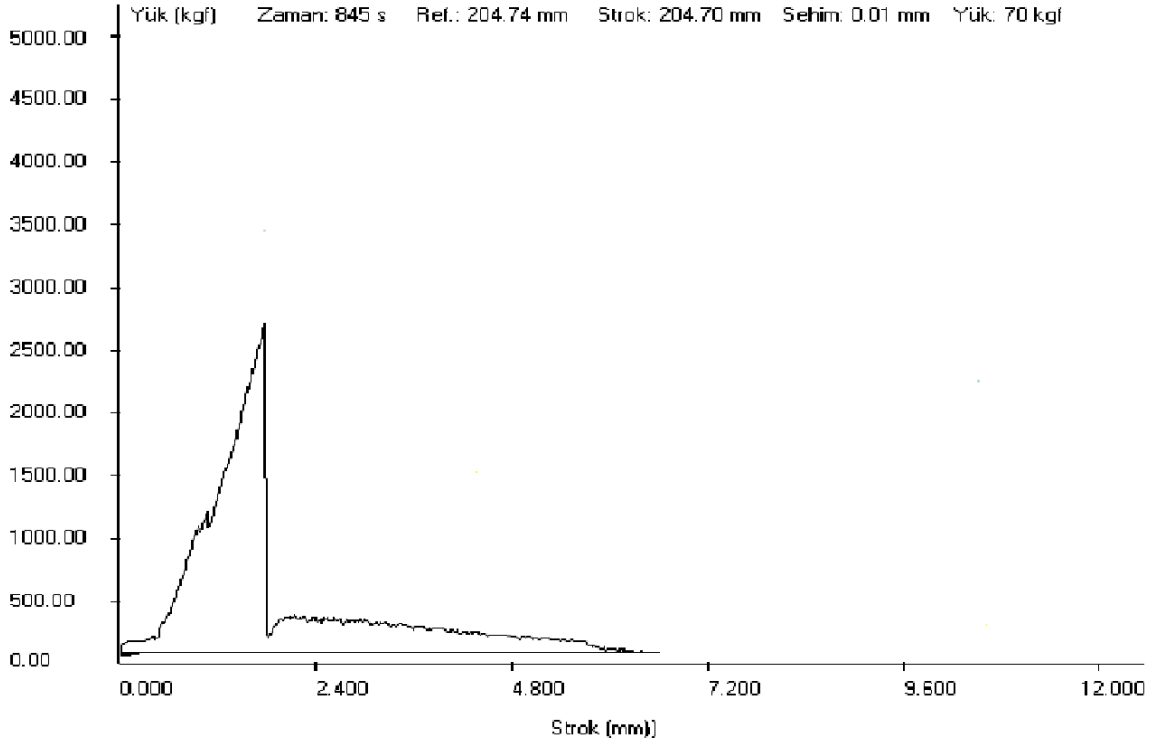
31. ASTM C 1116-00, Standard Specification fo Fiber Reinforced Concrete and Shotcrete, Annual Book ASTM Standards, 4(04.02), 2000.

EK-1

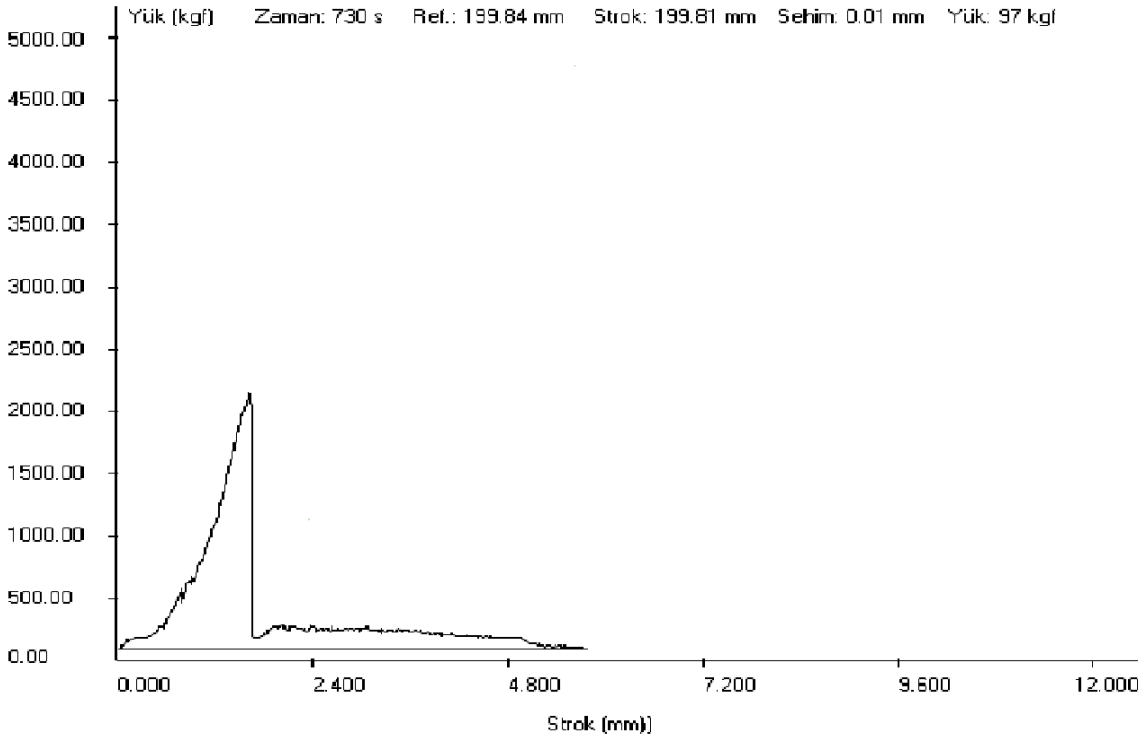
KUVVET-DEPLASMAN EĞRİLERİNİN SICAKLIKLA DEĞİŞİMİ



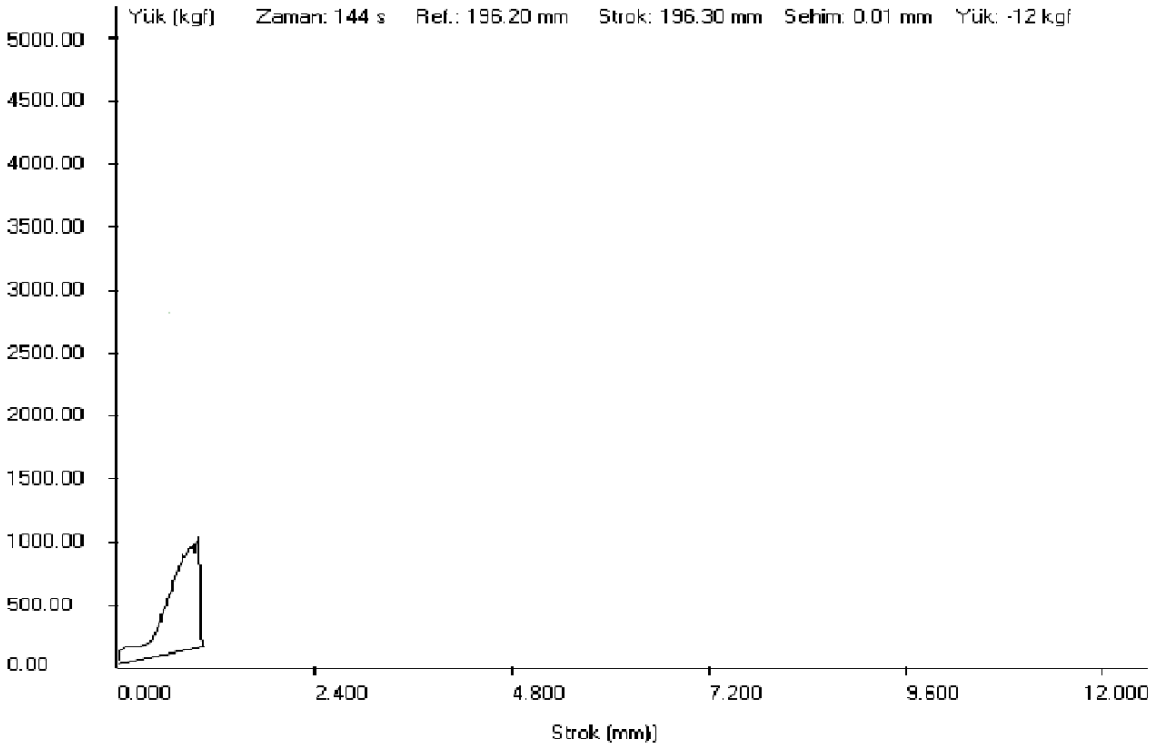
Şekil Ek-1.1. FP %0.5 Lifli Prizmatik Numunenin Oda Sıcaklığında Kuvvet-Deplasman Eğrisi.



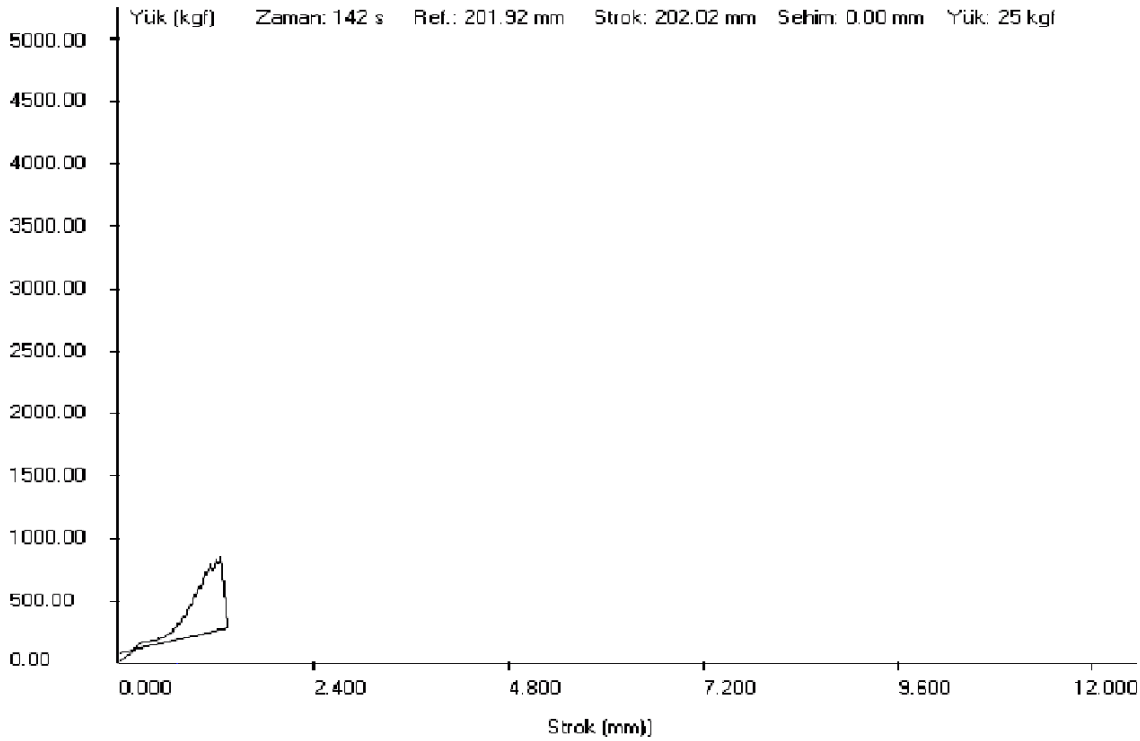
Şekil Ek-1.2. FP%0.5 Lifli Prizmatik Numunenin 100ºC Sıcaklığında Kuvvet-Deplasman Eğrisi.



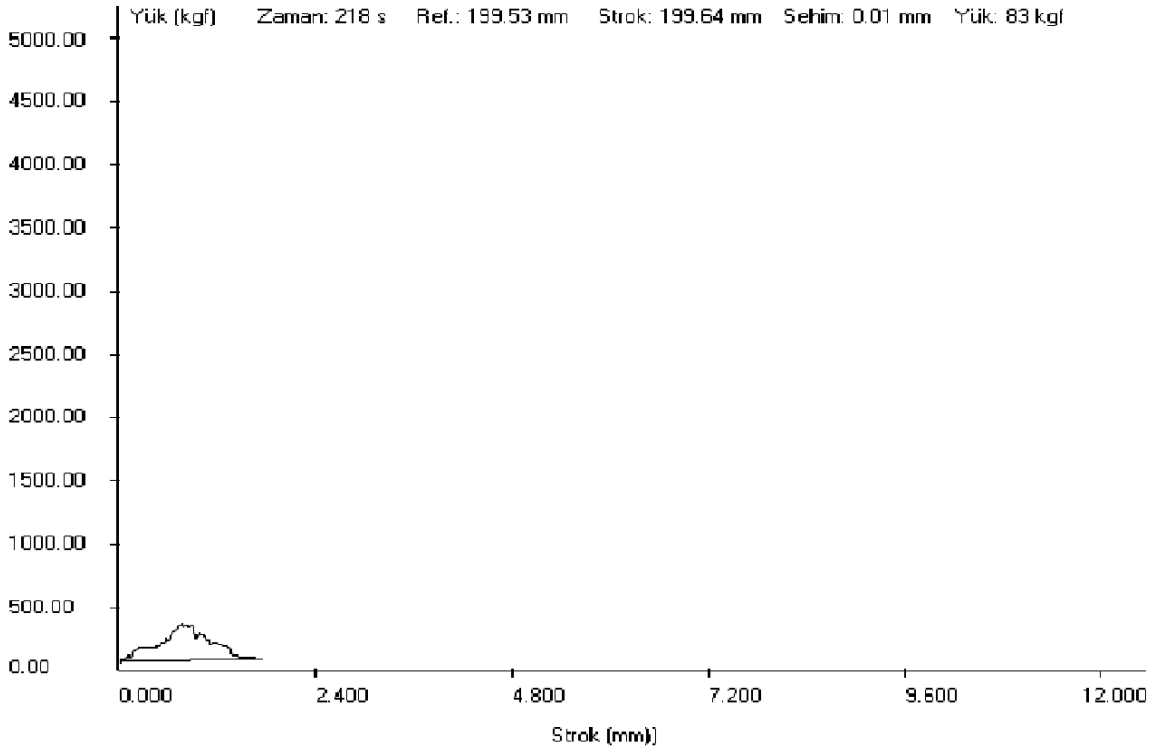
Şekil Ek-1.3. FP %0.5 Lifli Prizmatik Numunenin 200^{o}C Sıcaklığında Kuvvet-Deplasman Eğrisi.



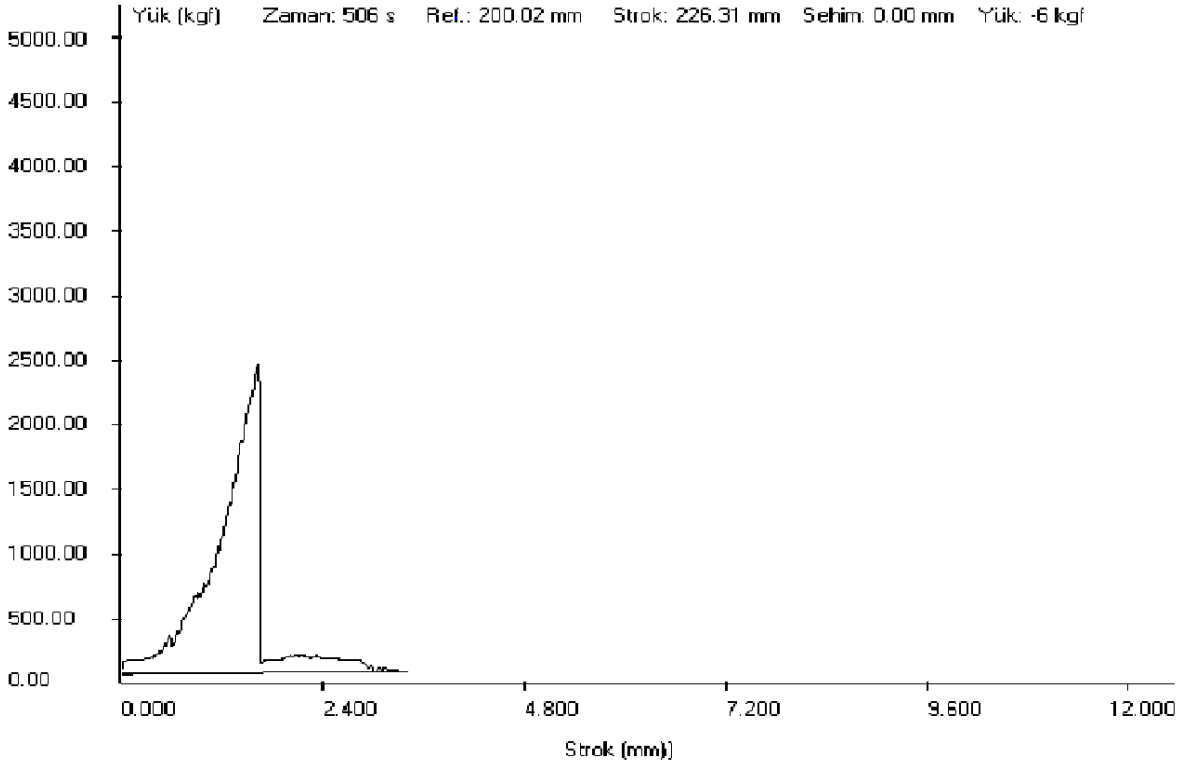
Şekil Ek-1.4. FP %0.5 Lifli Prizmatik Numunenin 400^{o}C Sıcaklığında Kuvvet-Deplasman Eğrisi.



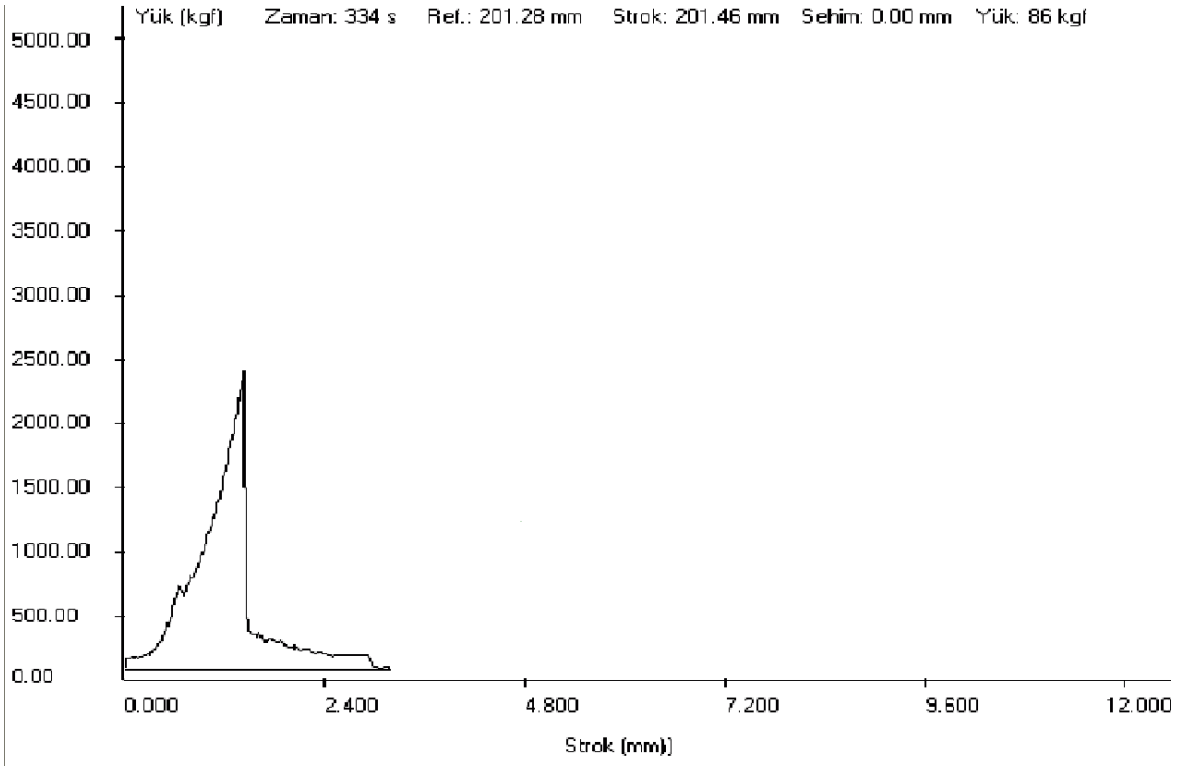
Şekil Ek-1.5. FP %0.5 Lifli Prizmatik Numunenin 600^{o}C Sıcaklığında Kuvvet-Deplasman Eğrisi.



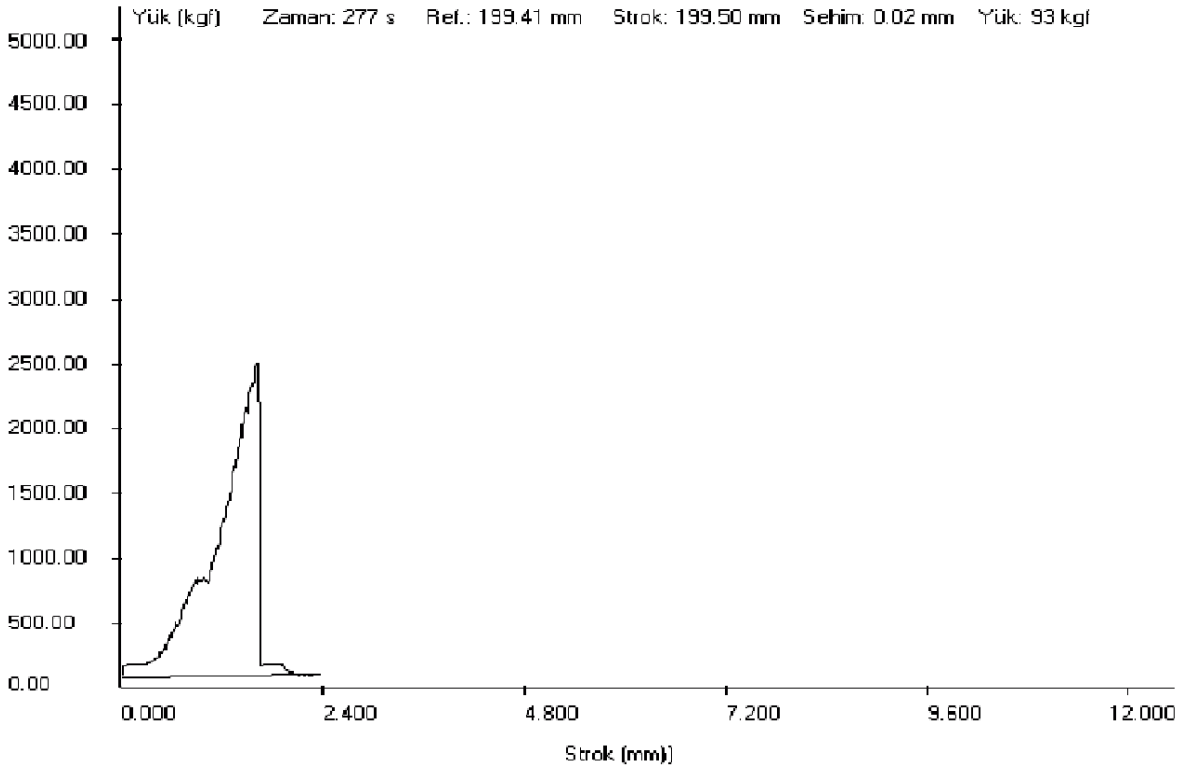
Şekil Ek-1.6. FP %0.5 Lifli Prizmatik Numunenin 800^{o}C Sıcaklığında Kuvvet-Deplasman Eğrisi.



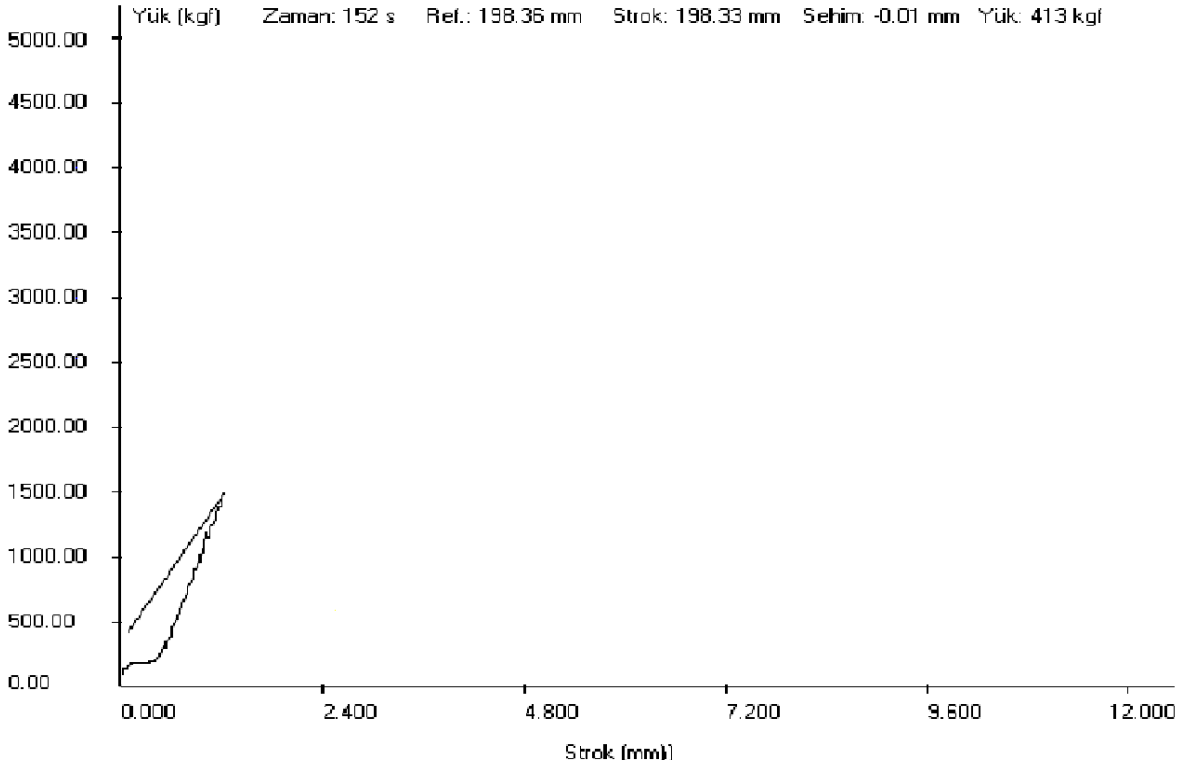
Şekil Ek-1.7. MFP%0.5 Lifli Prizmatik Numunenin Oda Sıcaklığında Kuvvet-Deplasman Eğrisi



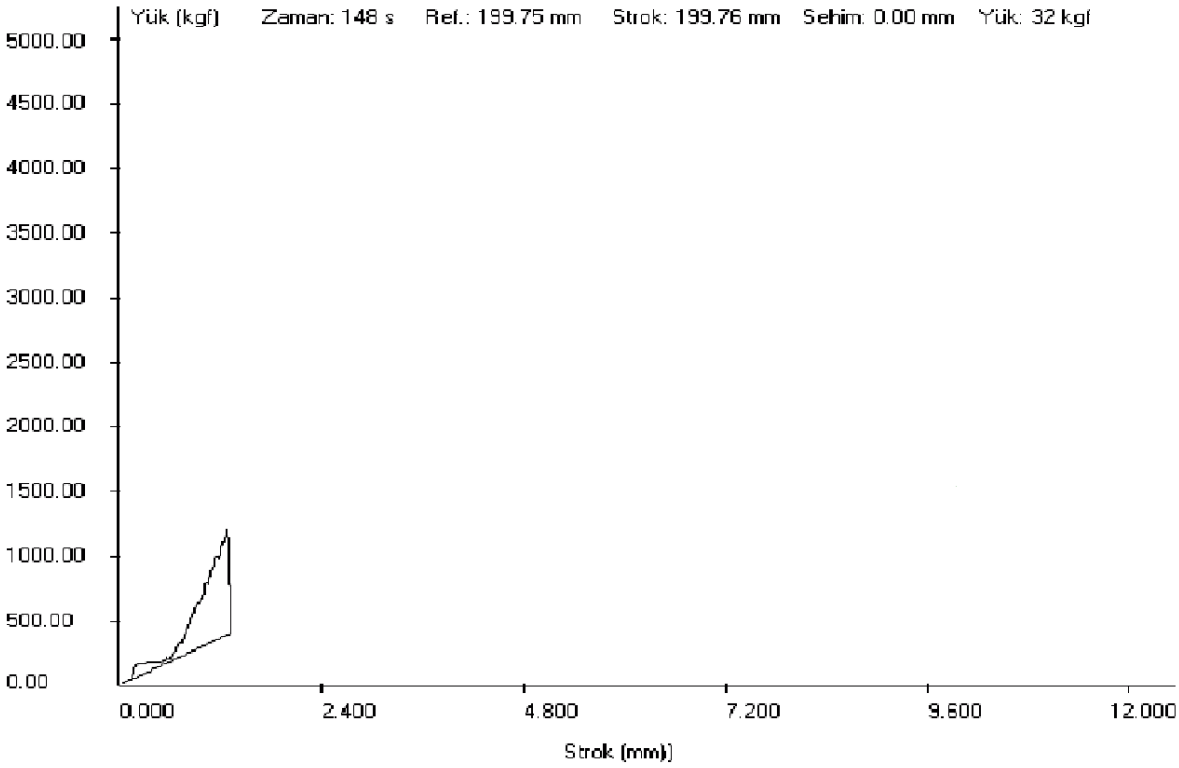
Şekil Ek-1.8. MFP %0.5 Lifli Prizmatik Numunenin 100^{o}C Sıcaklığında Kuvvet-Deplasman Eğrisi.



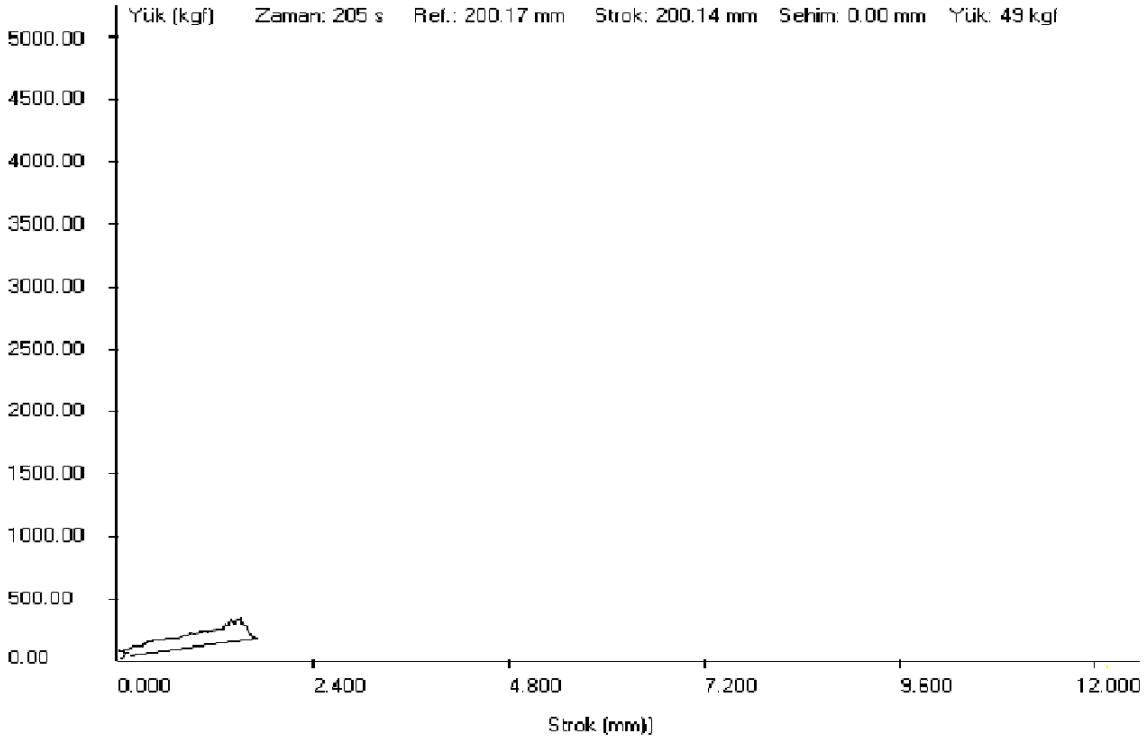
Şekil Ek-1.9. MFP %0.5 Lifli Prizmatik Numunenin 200ºC Sıcaklığında Kuvvet-Deplasman Eğrisi.



Şekil Ek-1.10. MFP%0.5 Lifli Prizmatik Numunenin 400ºC Sıcaklığında Kuvvet-Deplasman Eğrisi.



Şekil Ek-1.11. MFP%0.5 Lifli Prizmatik Numunenin 600ºC Sıcaklığında Kuvvet-Deplasman Eğrisi.



Şekil Ek-1.12. MFP%0.5 Lifli Prizmatik Numunenin 800ºC Sıcaklığında Kuvvet-Deplasman Eğrisi.

EK – 2

PRİZMATİK BETON NUMUNELERİN EĞİLMEDE ÇEKME DAYANIMI BULGULARININ NÜMERİK DEĞERLERİ

Tablo Ek-2. 1. FP Lifli Prizmatik Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanımı Değerleri

Prizmatik Numune Eğilmede Çekme Dayanımı Değerleri *(kN.mm)*								
Numune Kodu	Polipropilen Lif (% hacim)	Numune Periyodu (Gün)	Sıcaklık (°C)					
			24.5°C	**100°C**	**200°C**	**400°C**	**600°C**	**800°C**
FP-0-7	**0**	7	**621.63**	**549.03**	**461.40**	**321.44**	**137.34**	**29.76**
FP-0-28		28	**738.04**	**729.86**	**664.14**	**335.50**	**314.90**	**193.58**
FP-0-90		90	**829.27**	**793.30**	**746.54**	**460.09**	**329.29**	**210.26**
FP-0,1-7	**0,1**	7	**624.57**	**560.81**	**479.71**	**330.92**	**195.22**	**109.22**
FP-0,1-28		28	**787.42**	**755.70**	**705.99**	**484.61**	**210.59**	**110.85**
FP-0,1-90		90	**820.12**	**807.69**	**709.92**	**543.47**	**433.93**	**137.67**
FP-0,2-7	**0,2**	7	**622.61**	**610.18**	**460.42**	**326.02**	**139.63**	**113.14**
FP-0,2-28		28	**791.67**	**696.18**	**566.04**	**363.30**	**186.72**	**131.45**
FP-0,2-90		90	**837.45**	**778.59**	**627.51**	**449.63**	**372.78**	**147.48**
FP-0,3-7	**0,3**	7	**625.55**	**611.49**	**492.14**	**279.26**	**134.40**	**30.74**
FP-0,3-28		28	**801.80**	**654.33**	**570.29**	**338.45**	**136.69**	**36.62**
FP-0,3-90		90	**854.45**	**791.67**	**658.25**	**362.32**	**211.57**	**231.52**
FP-0,4-7	**0,4**	7	**627.51**	**618.36**	**547.73**	**297.90**	**67.04**	**63.11**
FP-0,4-28		28	**804.09**	**755.70**	**690.30**	**335.18**	**123.93**	**70.31**
FP-0,4-90		90	**868.19**	**818.48**	**722.34**	**490.50**	**209.61**	**133.09**
FP-0,5-7	**0,5**	7	**633.40**	**591.22**	**557.54**	**327.33**	**66.05**	**56.57**
FP-0,5-28		28	**838.76**	**777.93**	**718.42**	**349.56**	**116.74**	**72.27**
FP-0,5-90		90	**869.17**	**819.46**	**752.43**	**394.69**	**203.72**	**120.66**

Tablo Ek-2. 2. MFP Lifli Prizmatik Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanımı Değerleri

Prizmatik Numune Eğilmede Çekme Dayanımı Değerleri *(kN.mm)*								
Numune Kodu	Polipropilen Lif (% hacim)	Numune Periyodu (Gün)	Sıcaklık *(°C)*					
			24.5°C	**100°C**	**200°C**	**400°C**	**600°C**	**800°C**
MFP-0-7	**0**	7	**590.89**	**557.86**	**458.78**	**330.92**	**284.82**	**211.57**
MFP-0-28		28	**807.36**	**760.28**	**654.33**	**459.11**	**308.03**	**268.47**
MFP-0-90		90	**892.38**	**847.26**	**692.91**	**497.37**	**324.38**	**273.37**
MFP-0,1-7	**0,1**	7	**580.43**	**549.69**	**492.79**	**367.55**	**242.31**	**189.99**
MFP-0,1-28		28	**802.13**	**735.42**	**701.09**	**495.73**	**266.83**	**198.16**
MFP-0,1-90		90	**888.46**	**817.17**	**736.73**	**499.98**	**319.15**	**200.12**
MFP-0,2-7	**0,2**	7	**604.30**	**569.63**	**536.93**	**332.56**	**235.11**	**168.41**
MFP-0,2-28		28	**811.94**	**766.49**	**702.07**	**484.29**	**265.85**	**195.22**
MFP-0,2-90		90	**889.77**	**818.48**	**741.31**	**493.77**	**276.97**	**247.87**
MFP-0,3-7	**0,3**	7	**626.53**	**608.55**	**547.07**	**325.04**	**205.03**	**164.81**
MFP-0,3-28		28	**832.22**	**783.82**	**719.73**	**431.31**	**231.19**	**172.98**
MFP-0,3-90		90	**937.51**	**830.91**	**766.82**	**440.47**	**238.38**	**174.29**
MFP-0,4-7	**0,4**	7	**628.82**	**623.59**	**602.01**	**302.80**	**173.64**	**139.63**
MFP-0,4-28		28	**837.45**	**799.84**	**725.61**	**407.77**	**203.72**	**163.83**
MFP-0,4-90		90	**953.53**	**856.41**	**787.09**	**444.39**	**204.70**	**165.79**
MFP-0,5-7	**0,5**	7	**628.82**	**624.24**	**607.89**	**294.63**	**172.98**	**103.33**
MFP-0,5-28		28	**845.95**	**819.79**	**731.50**	**403.85**	**199.80**	**136.36**
MFP-0,5-90		90	**955.49**	**861.97**	**789.71**	**430.66**	**202.74**	**157.29**

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Ankara' da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ankara' da tamamladı. 2000 yılında Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde öğrenimine başladı. 2005 yılında lisans öğrenimini tamamladı. 2006 yılında DPT (Devlet Planlama Teşkilatı) destekli Yaygınlaştırılmış Ulusal ve Uluslararası Projeler (YUUP) kapsamındaki ve Prof. Dr. Ergin Atımtay' ın yürütücüsü olduğu "Depremden Hasar Görmüş Yapıları Güçlendirilmesi-Dış Perde Duvar Uygulaması" isimli projede 2 yıl Proje Asistanı olarak görev aldı. Yine aynı yıl içinde Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

Sürekli Adres : Erciyes Üniv. Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
38039 Kayseri
Telefon : 0535 659 5254
e-posta : dirikgil@gmail.com