

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇELİK LİFLİ BETONLARIN BAZI MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİNİN
DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan
Oğuz DÜĞENCİ**

**Tezi Yöneten
Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
tarafından FBT-07-29 kodlu proje ile desteklenmiştir**

**Aralık 2008
KAYSERİ**

Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR danışmanlığında **Oğuz DÜĞENCİ** tarafından hazırlanan “**Çelik Lifli Betonların Bazı Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklık Etkisinin Deneysel Araştırılması**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

19 / 12 / 2008

JÜRİ:

Başkan: Prof. Dr. Tefaruk Haktanır

Üye : Prof. Dr. Cemal Eyyubov

Üye : Doç. Dr. Özgür Kisi

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 30.12/2008 tarih ve 2008/39-10 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

30 / 12 / 2008


N. Ayyıldız
Prof. Dr. Nusret AYYILDIZ
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Araştırmanın gerçekleşmesinde büyük bir anlayış ve sabırla bana yardımcı olan, çalışmalarımı izleyen ve yönlendiren, kendi yazdığı yazılımları bulgularımı işlemede kullanmamda izin veren hocam Sayın Prof Dr. Tefaruk HAKTANIR'a, en içten teşekkürlerimi sunmak isterim.

Deneysel çalışmalarında ve deney düzeneklerini oluşturmamda bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Fatih ALTUN'a ayrıca çok teşekkür ederim. Yorucu ve zorlu numune üretiminde emeklerini ve yardımlarını benden esirgemeyen Sayın hocam Uzm. Kamuran ARI'ya, sevgili ve saygıdeğer dostlarım Arş. Gör. Bekir AKTAŞ, İnş. Yük. Mük. Şükrü MURAT, İnş. Yük. Müh. Hakan ÖZTÜRK ve İnş. Müh. Tamer DİRİKGİL'e yardımlarından dolayı minnettarım.

FBT-07-29 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.

Deneylemin bir kısmını gerçekleştirmemde Yozgat Bozok Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Mekanik Laboratuvar imkânlarını sundukları ve gösterdikleri misafirperverlik için Sayın Yrd. Doç. Dr. Fuat KÖKSAL ve Arş. Gör. Yuşa ŞAHİN'e çok teşekkür ederim.

Azimle ve gayretle hiç zorsunmadan çalışmama sahip çıkarak emek veren kardeşlerim Malzeme Laboratuvarı stajyer öğrencilerine çok teşekkür ederim.

Deneyleimde kullandığım çimentoyu ve agregayı bilimsel çalışmalara verdiği önemin bir kanıtı olarak büyük bir gönüllülükle tarafıma sağlayan Kayseri Çimsa Hazır Beton A.Ş. Genel Müdürü Mehmet ERDİNÇ'e, çelik telleri temin eden Beksa Çelik Kord Sanayi ve Ticaret A.Ş.' yetkililerine yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Beni yetiştirdikleri ve bu seviyeme gelmemde verdikleri emek için sevgili Babama, Anneme şükranlarımı sunarım. En son olarak çalışmamda kendisinden aldığım zamana aldırmandan desteğini ve ilgisini esirgemeyen eşime çok teşekkür ederim.

ÇELİK LİFLİ BETONLARIN BAZI MEKANİK ÖZELLİKLERİNE YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Oğuz DÜĞENCİ

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Aralık 2008

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR

ÖZET

Deney betonuna Dramix RC-80 / 0.60-BN tipi çelik lifler hacimce % 0, % 0,5, % 1 ve %1,5 oranlarında ilave yapılarak 7, 28 ve 90 günlük periyotlarda test edilmek üzere numuneler hazırlanmıştır. Basınç dayanımı ve elastisite modülü değerlerini belirlemek için 150×300 mm'lik silindir ve eğilmede çekme dayanımını değerlerinin tayini için de 150×150×750 mm'lik prizmatik numuneler üretilmiştir. Ayrıca malzeme karakteristik özelliklerinden yarmada çekme mukavemetini belirlemek amacıyla 12 adet 150×300 cm boyutlarında silindir numuneler üretilerek 28 günlük kür sonunda deneye tabî tutulmuştur. Üretilen silindir numuneler 1200 °C ye kadar ısıtabilen fırında 900 °C, 1000 °C, 1100 °C ve 1200 °C sıcaklıklarına maruz bırakılmıştır.

Numuneler yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmadan 105 °C ± 5 °C'deki etüvde 6 saat bekletilmiştir. Yüksek sıcaklık uygulamasındaki süre ise, fırın sıcaklığının deney sıcaklığına ulaşması için geçen kontrollü yükselme zamanı dâhil kararlı durumdaki ısıtılma süresi olarak 6 saattir. Termal etkiye maruz bırakılan numuneler fırın içerisinde oda sıcaklığına erişinceye kadar bekletildikten sonra gerekli hazırlıklar yapılarak deneye tabi tutulmuştur.

Çalışma sonucunda, farklı tel oranlarına ve değişen sıcaklık etkilerine göre betonun basınç dayanımı, elastisite modülü ve tokluk değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Sonuç olarak, yüksek sıcaklığın etkisiyle betonun basınç dayanımı, elastisite modülü ve tokluk değerleri beklenildiği üzere büyük ölçüde azalma göstermiştir. Ancak yüksek sıcaklıklara tabi numune bulguları kendi arasında değişimler göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Beton, Yüksek Sıcaklık, Çelik Tel, Basınç Dayanımı, Çekme dayanımı, Statik Elastisite Modülü

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SOME MECHANICAL PROPERTIES
OF STEEL-FIBER-ADDED CONCRETE SUBJECTED TO HIGH
TEMPERATURES**

Oğuz DÜĞENCİ

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M. Sc. Thesis, December 2008

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR

ABSTRACT

Specimens of steel-fiber-added concrete are prepared by adding steel fibers of Dramix RC-80/0.60-BN type at ratios of 0%, 0.5%, 1%, and 1.5% by absolute volume to be tested at 7, 28, and 90 day periods after casting. Cylindrical specimens of 150×300 mm dimensions are produced to determine the compressive strength and modulus of elasticity, and prismatic specimens of 150×150×750 mm dimensions are produced to determine the flexural strength. Additionally, 12 number of 150×300 mm cylindrical specimens are prepared to determine the split strength of 28-day-old samples. The other cylindrical specimens are subjected to the high temperatures of 900°C, 1000°C, 1100°C, and 1200°C, in a special high-temperature oven whose highest temperature capacity is 1200°C.

All of the specimens are kept in a standard oven of 105°C ± 5°C for a period of 6 hours before being inserted into the high-temperature oven. The specimens are subjected to the targeted high temperature for a total period of 6 hours including the time for the inside oven temperature to become steady at the aimed value. Next to switching off its power, the specimens are kept in the oven until the inside temperature has dropped down to the room temperature, after which they are taken out and are subjected to the relevant experiments ensuing the necessary preparations.

The experimentally determined variations of compressive strength, modulus of elasticity, and toughness of steel-fiber-added concrete with respect to the steel fiber dosage and temperature are presented in a comparative way. In conclusion, when subjected to high temperatures, considerably high drops in all of compressive strength, modulus of elasticity, and toughness are observed, as expected. Yet, relative variations

in ultimate peculiarities with different steel-fiber-dosage specimens and different magnitudes of high temperature are noticed.

Keywords: Concrete, High Temperature, Steel Fibre, Compressive Strength, Tensile Strength, Static Modulus of Elasticity

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
KISALTMALAR VE SİMGELER.....	viii
TABLolar LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
 1. BÖLÜM	
GİRİŞ	1
 2. BÖLÜM	
GENEL BİLGİLER	2
2.1. Betona Yüksek Sıcaklık Etkisi.....	2
2.2. Betonda Çelik Lif Kullanımı.....	3
2.3. Literatür Araştırması	4
 3. BÖLÜM	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	11
3.1. Malzemeler.....	11
3.1.1. Agrega	11
3.1.2. Çimento	13
3.1.3. Çelik Lif	13
3.2. Beton Karışımı	14
3.3. Numune Üretimi	14
3.3.1. Silindir Numunelerin Üretilmesi.....	14
3.3.2. Prizmatik Beton Kiriş Numunelerin Üretilmesi.....	17
3.4. Deney Betonunun Bazı Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi.....	17
3.4.1. Silindir Kontrol Numunesi Deneyleri	17
3.4.1.1. Basınç Dayanımı Deneyi	18

3.4.1.2. Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi	19
3.4.2. Prizmatik Beton Numunelerde Eğilme Deneyi.....	20
3.5. Silindir Numunelere Sıcaklık Uygulanması.....	21
3.5.1. Yüksek Sıcaklık Uygulanan Silindir Numunelerde Basınç Deneyi.....	24
 4. BÖLÜM	
BULGULAR.....	26
4.1. Silindir Beton Numunelerinden Elde Edilen Bulguları	26
4.1.1. Basınç Dayanımı Bulguları	26
4.1.1.1. Çelik Lif Yüzdesi ve Yüksek Sıcaklığa Göre Bulgular	27
4.1.2. Yarmada Çekme Dayanımı Bulguları	29
4.1.3. Birim Hacim Ağırlığı Bulguları	30
4.1.4. Elastisite Modülü Bulguları	31
4.1.4.1. Elastisite Modülü Hesabında Kullanılan Programın Hesap Aşamaları	31
4.1.4.2. Teğet Elastisite Modülünün Hesaplanması	32
4.1.4.3. Kiriş Elastisite Modülünün Hesaplanması	32
4.1.5. Tokluk Değeri Bulguları	35
4.2. Prizmatik Beton Deneyleri Bulguları.....	36
 5. BÖLÜM	
SONUÇLAR	40
 KAYNAKLAR	42
EKLER.....	46
ÖZGEÇMİŞ	56

KISALTMALAR VE SİMGELER

d	: Numunenin seçilen en kesit boyutu, mm.
F	: En büyük yük, N.
f_{ct}	: Yarmada çekme dayanımı, MPa (N/mm^2).
L	: Numunenin yükleme levhasına temas çizgisi uzunluğu, mm.
SFC 0,0	: Çelik Lif katkısız beton
SFC 0,5	: Hacimsel % 0,5 çelik lif katkılı beton
SFC 1,0	: Hacimsel % 1,0 çelik lif katkılı beton
SFC 1,5	: Hacimsel % 1,5 çelik lif katkılı beton
P_u	: Taşıma Gücü Yüğü

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Çalışmada Kullanılan Agregaların Özgül Ağırlık ve Su Emme Değerleri.....	12
Tablo 3.2. Çalışmada Kullanılan Agregaların Karışım Yüzdeleri.....	12
Tablo 3.3. Kullanılan Çimentonun Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özellikleri	13
Tablo 3.4. Kullanılan Çelik Lif Özellikleri.....	13
Tablo 3.5. Beton İçin Karışım Hesabı (1 m ³).....	14
Tablo 3.6. Silindir Beton Numunelerin Adedi ve Karışıma Dâhil Edilen Lif Oranları..	15
Tablo 4.1. Sıcaklık ve Çelik Lif Katkılarına Göre Basınç Dayanımı Değerleri.	26
Tablo 4.2. Çelik Lif Oranına Göre Basınç Dayanımındaki değişim (24,5 °C).....	27
Tablo 4.3. 7 Günlük Çelik Lif Katkılı Betonun Kontrol Betonuna Göre Değişimi	28
Tablo 4.4. 28 Günlük Çelik Lif Katkılı Betonun Kontrol Betonuna Göre Değişimi.....	28
Tablo 4.5. 90 Günlük Çelik Lif Katkılı Betonu Kontrol Betonuna Göre Değişimi (%).	28
Tablo 4.6. Yarmada Çekme Dayanımı Değerleri.....	29
Tablo 4.7. Lif Yüzdesine Göre Yarmada Çekme Dayanımı Değişimi	29
Tablo 4.8. Birim Hacim Ağırlıklarının Kontrol Betonuna Göre Değişimleri.....	30
Tablo 4.9. Tanjant Elastisite Modülü Bulguları.....	34
Tablo 4.10. Kiriş Elastisite Modülü Bulguları.	34
Tablo 4.11. Sıcaklık ve Periyotlara Göre Basınç Tokluk Değerleri.	35
Tablo 4.12. Çelik Liflerle Donatılı Betonlarda Elastik Şekil Değiştirme İndekslerinin Değerleri.....	37
Tablo 4.13. Prizmatik Kiriş Beton Numune Mekanik Özellikleri.	39

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Karışım Agregası Granülometri Eğrisi.	12
Şekil 3.2. Deneylerde Kullanılan Çelik Lif.	13
Şekil 3.3. Kalıplara Yerleştirilen Silindir Numuneler.	15
Şekil 3.4. Kalıplardan Çıkartılmış Silindir Numuneler.	16
Şekil 3.5. 20 ± 2 °C Kür Havuzundaki Silindir Numuneler.	16
Şekil 3.6. Prizmatik Numuneler Üretimi.	17
Şekil 3.7. 300 ton Kapasiteli Basınç Presi.	18
Şekil 3.8. Dijital Deplasman Ölçerli Kompresometre Bağlanmış Silindir Numune.	18
Şekil 3.9. Yarmada Çekme Deneyinde Presteki Numune.	19
Şekil 3.10. Yarmada Çekme Deneyi Sonrası Numunelerde Oluşan Çatlaklar.	19
Şekil 3.11. Yüksek Sıcaklık Uygulanan Fırın.	21
Şekil 3.12. Elektrikli Yüksek Sıcaklık Fırınına Yerleştirilmiş Numuneler.	21
Şekil 3.13. Fırında Hasar Görmüş Numuneler.	22
Şekil 3.14. Etüvde Ön Kurutma Yapılan Numuneler.	22
Şekil 3.15. 900 °C Sıcaklığa Maruz Kalmış Numuneler.	23
Şekil 3.16. 1000 °C Sıcaklığa Maruz Kalmış Numuneler.	23
Şekil 3.17. 1100 °C Sıcaklığa Maruz Kalmış Numuneler.	24
Şekil 3.18. 1200 °C Sıcaklığa Maruz Kalmış Numuneler.	24
Şekil 3.19. Yüksek Sıcaklığa Maruz Kalmış Numunelerde Basınç Dayanımı Deneyi.	25
Şekil 4.1. Çelik Lif Yüzdesine Göre Yarmada Çekme Dayanımı İlişkisi.	29
Şekil 4.2. Çelik Lif Yüzdesi-Birim Hacim Ağırlığı İlişkisi.	30
Şekil 4.3. Kullanılan Program Tarafından Çizilen Gerilme-Birim Kısalma Eğrisi	33
Şekil 4.4. Prizmatik Numuneler İçin Ortalama Kuvvet-Deplasman Eğrileri.	36
Şekil 4.5. Çelik Lif Takviyeli Betonlarda Tipik Yük-Sehim Eğrisi ve İndekslerin.	37
Şekil 4.6. Yük-Sehim Eğrisi ve Öngörülen Eğilme Gerilmesi.	38
Ek-1. Periyotlara Göre Çelik Lif Dozajı – Basınç Dayanımı İlişkisi (24,5 °C).	46
Ek-2. Periyotlara Göre Çelik Lif Dozajı – Basınç Dayanımı İlişkisi (900 °C).	46
Ek-3. Periyotlara Göre Çelik Lif Dozajı – Basınç Dayanımı İlişkisi (1000 °C).	47
Ek-4. Periyotlara Göre Çelik Lif Dozajı – Basınç Dayanımı İlişkisi (1100 °C).	47
Ek-5. Periyotlara Göre Çelik Lif Dozajı – Basınç Dayanımı İlişkisi (1200 °C).	48
Ek-6. Çelik Lif Katkısına Göre Basınç Dayanımı-Sıcaklık İlişkisi-1 (7 Günlük).	49

Ek-7. Çelik Lif Katkısına Göre Basınç Dayanımı-Sıcaklık İlişkisi-2 (7 Günlük).	49
Ek-8. Çelik Lif Katkısına Göre Basınç Dayanımı-Sıcaklık İlişkisi-1 (28 Günlük).	50
Ek-9. Çelik Lif Katkısına Göre Basınç Dayanımı-Sıcaklık İlişkisi-2 (28 Günlük).	50
Ek-10. Çelik Lif Katkısına Göre Basınç Dayanımı-Sıcaklık İlişkisi-1 (90 Günlük).	51
Ek-11. Çelik Lif Katkısına Göre Basınç Dayanımı-Sıcaklık İlişkisi-2 (90 Günlük).	51
Ek-12. 900 °C Sıcaklığa Maruz Kalmış Numuneler.	52
Ek-13. 1000 °C Sıcaklığa Maruz Kalmış Numuneler.	53
Ek-14. 1100 °C Sıcaklığa Maruz Kalmış Numuneler.	54
Ek-15. 1200 °C Sıcaklığa Maruz Kalmış Numuneler.	55

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Yapı sektöründe kullanılan en önemli malzeme betondur. Beton kullanım ömrü boyunca aşınma, donma çözülme, kimyasal ortamlar, dinamik yükler gibi çeşitli etkilere maruz kalabilmektedir. Bunlardan birisi de yangın ve yüksek sıcaklıktır [1]. Yüksek sıcaklık etkisi, özellikle hava alanları 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 sıcaklıklara maruz kalınca dayanımında önemli düşüşler gözlenir. 200 °C sıcaklığın üzerine çıkılması durumunda betonun yapısında büyük hasarlar oluşmaya başlar [1]. Betonun sıcaklığı çeşitli etkenlerden dolayı yüksek seviyelere ulaştığı zaman betonun oluşturan agrega, çimento hamuru ve su yüksek sıcaklık karşısında farklı fiziksel ve kimyasal davranışlarda bulunarak betonun taşıma gücünde ciddi azalmalara sebep olabilir.

Sıcaklığın artmasıyla doğal bir genleşme gösteren çimento pastası, aynı zamanda hidrat içeriklerindeki suyun açığa çıkmasıyla da genleşmenin yanı sıra yapı ya da yapı elemanında büzülme de gerçekleşecektir. Genleşme ve büzülmenin aynı anda gerçekleşmesine bağlı olarak içsel gerilmelerde ani artışlar ve bunların etkisiyle yapı elemanında çatlaklar oluşmaktadır. Bunlara ilave olarak lif katkısız betonda basınç dayanımında da azalma görülür. Oluşan bu durumu engellemenin bir yolu olarak ta beton içerisinde çelik lif kullanımı önem kazanmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan ve/veya kalabilecek beton taşıyıcılı sistemlerde ve elemanlarda betonda oluşacak dayanım ve durabilite kaybına çelik lifin sağlayabileceği katkıyı deneysel olarak araştırmaktır. Yüksek sıcaklığın etkisiyle betonda oluşacak büzülme ve genleşmelerde, çimento hamurunda oluşan çatlakların önlenmesinde çelik lif önemli bir yardımcı olarak ön plana çıkmaktadır.

2. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

2.1. Betona Yüksek Sıcaklık Etkisi

Yüksek sıcaklığın etkisiyle hidrate çimento su kaybederek dehidrate olur. Betonda, hidrate yapıdaki elemanlar belli sıcaklıklarda yapılarındaki suyu kaybeder. Kalsiyum hidroksit 650 °C’ de yapısındaki suyu kaybeder. Kristalize olmayan elemanlar örneğin hidrate kalsiyum silikat jeli yapısındaki suyu sıcaklığa bağlı olarak verir. Bu dehidretasyon malzeme mukavemetinde önemli ölçüde düşmeye sebep olur. Agregalarda yüksek sıcaklık etkisiyle yapı değiştirir [2]. Kireç taşının ayrışmaya başladığı sıcaklık 900 °C iken portland çimentosunun dayanabildiği sıcaklık 200–300 °C arasında değişir. Dolayısıyla yüksek sıcaklıklardan çimentodan kaynaklı dayanım kaybı agregalardan dolayı oluşabilecek dayanım kaybına göre çok daha büyüktür [3].

Bunlardan daha farklı olarak sıcaklığın yüksek mertebelere ulaşmasıyla beton içerisindeki Ca(OH)_2 bünyesindeki suyu kaybederek CaO ’ ya dönüşür. Oluşan bu dönüşüm sonucu su açığa çıkmasıyla mevcut hacimde % 30’a varan büzölmeler meydana gelir. Bu durumun yangında yaşanması durumunda suyla söndürme müdahalesi sonucu yüksek sıcaklıkta su kaybeden beton, su verilmesinin etkisiyle tepkimenin tam tersi olarak verilen su CaO ile tepkimeye girerek tekrar Ca(OH)_2 ’ yi oluşturacaktır. Bunun sonucunda da beton hacminde genleşme meydana gelecektir [4]. Betonda oluşan bu büzölme ve genleşme sonucunda derin çatlaklar meydana gelir. Bu da betonda istenmeyen durabilite problemlerinin oluşmasına neden olur. Mevcut sistemin projelendirme aşamasında gerçekleşmesi muhtemel bu gibi durabilite problemleri düşünölmemiş ise öngörölen proje ömrü kısılacaktır.

Yangın geçirmiş yapılarda yukarıda bahsedilen kimyasal değişimler beton taşıyıcılar üzerinde dıştan içe doğru ve etkiyen sıcaklığın derecesine ve etkiye zamanına bağlı olarak görülmektedir. Ölçümler yangına maruz betonarme taşıyıcılarda dayanım kaybının dıştan içe doğru artış gösterdiğini ve kabuk diye adlandırabileceğimiz bir bölgenin oluştuğu göstermektedir [5].

2.2. Betonda Çelik Lif Kullanımı

Genel olarak yorulma, aşınma, çekme, çatlama sonrası yük taşıma dayanımları ve enerji yutma kapasiteleri bakımından zayıf olan betonun bu özelliklerini iyileştirmek amacıyla betona katkı malzemeleri ilave edilebilmektedir. Lifler de bu malzemelerden birisidir. Lifli betonun üretilmesindeki amaç; malzemenin tokluğunun, darbe yüklerine karşı direncinin, eğilme dayanımının ve diğer mekanik özelliklerinin artırılmasıdır [6].

Lif içeren betonlar normal betonlara oranla sağladıkları belirli avantajlarından dolayı oldukça geniş kullanım alanlarına sahiptir. Bu alanlar genel itibarıyla tünellerde püskürtme beton kaplamalarında, [7–8] yol kaplamalarında, [9–10], endüstri yapılarında, [11], su yapılarında, [8], şevlerin stabilizasyonu ve istinat duvarı yapımında, [12], kabuk yapılar şeklinde sıralanabilmektedir.

Beton içerisinde yaygın kullanılan lifler, çelik ve polipropilen ile alkali dirençli camlardır. Hatta son zamanlarda bitki özlü (selülozik) lifler ile ilgili birçok çalışma da yapılmıştır. 1960'lı yıllardan bu yana yapılan çalışmalarda beton içerisine konulan lifler betonda oluşan çatlakların ilerleme hızını azaltmıştır. Ayrıca; maksimum yükten sonra lifli betonlarda artan deformasyonlar sonucunda, yükün azalma hızı, normal betona göre çok daha yavaştır. Dolayısıyla lifli betonun enerji tüketim kapasitesi lifsiz betona göre daha fazladır [13]. Bunlar arasında en yaygın kullanıma sahip olan lif türü gerek maliyet gerekse kullanım kolaylığı açısından çelik liflerdir.

Betona çelik lif katkısı ile betonun kırılma anındaki sünek davranışını artırılabilen ve buna bağlı olarak yüksek enerji yutma kapasitesi sağlanmaktadır. Ayrıca betonun priz alma süresince oluşan rötre çatlakları önlenmektedir. Betonun zaman bağlı dayanıklılığı (durabilitesi) çelik lif katkısı ile artış göstermektedir. Genel olarak bu özelliklerinden dolayı çelik lifli betonlara talep artmaktadır.

2.3. Literatür Araştırması

Günlük kullanımındaki artışa bağlı olarak her çeşit lif türünün katıldığı yapı malzemesine yalnız veya bir diğer malzemeye denenerek oluşturulan yeni kompozit malzemenin normal şartlarda ve farklı ortamlardaki davranışlarını inceleyen çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Araştırmacılar mevcut yapı elemanları hakkındaki araştırmalarını benzer şekilde lif ve benzeri katkıları kullanarak gerçekleştirmektedir. 1960'lı yıllardan bu yana yapılan çalışmalarda beton içerisine konulan lifler betonda oluşan çatlakların ilerleme hızını azaltmıştır. Ayrıca; maksimum yükten sonra lifli betonlarda artan deformasyonlar sonucunda, yükün azalma hızı, normal betona göre çok daha yavaştır. Dolayısıyla lifli betonun enerji tüketim kapasitesi lifsiz betona göre daha fazladır [4].

Lif katkısı ile oluşturulan kompozit malzemeler yüksek veya düşük sıcaklıklarda farklı malzeme davranışı göstermektedir. Bu tezin konusuyla bağlantılı daha öncelerde yapılmış çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Betondaki dayanım-porozite ilişkisine sıcaklığın etkisi üzerine yapılan bir çalışmada; korumasız beton numuneleri 25 ile 280 °C arasında değişen sıcaklıklarda, basınç dayanımları ve porozitelerinin tespit edilmesi amacıyla 28 ve 90 günlük olarak beton numuneler test edilmiştir. Çalışma sonucunda, 28 günlük numunelerde 100 °C 'ye kadar basınç dayanımının azaldığı, 100–280 °C aralığında artış gösterdiği, 90 günlük numunelerde ise 200 °C 'ye kadar basınç dayanımının azaldığı, 200–280 °C aralığında artış gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır [14].

Düşük sıcaklıktaki bakımın normal betonun ve yüksek dayanımlı betonun basınç dayanımına etkisi üzerine yapılan çalışmada; normal betonun ve yüksek dayanımlı betonun düşük sıcaklıklarda bakımının basınç dayanımlarında meydana getirdiği değişim, deneysel olarak araştırılmıştır [15]. Elde edilen sonuçlara göre; 7 gün boyunca 10 °C ve altında bakılan numunelerin dayanımları standart bakıma tabi olan numunelerin dayanımlarından daha düşük çıkmıştır. 28. gün sonunda; farklı sıcaklıklarda bakıma maruz numunelerin basınç dayanımlarındaki kayıplar, standart bakıma maruz numunelerinkinden fazla olmuştur.

Yüksek sıcaklığın ve soğuma rejimlerinin yüksek performanslı betonun basınç dayanımı ve boşluk özellikleri üzerindeki etkisi ile ilgili olan bir çalışmada; farklı sıcaklık derecelerine (800 ve 1100 °C) ve farklı soğuma rejimlerine (yavaş ve hızlı soğuma) maruz kaldıktan sonra, yüksek performanslı betonun normal betona kıyasla davranışı açıklanmaktadır [16].

Sıcaklığın resin (reçine) betonunun mekanik davranışı üzerindeki etkisi ile ilgili yapılan bir çalışmada, piyasada mevcut olan 3 adet resin tipinin (iki epoksi ve bir polyester), ağırlıkça % 9, % 12, % 15 yüzdelerinde agregaya katılmıştır. Resin katkılı numunelerin 20, 100, 150 ve 200 °C sıcaklık değerlerine maruz bırakılmasıyla üretilen betondan alınan silindir numunelerin tekrarlı yüklemeler altında gerilme-deformasyon ilişkileri araştırılmıştır. Ayrıca normal basınç dayanımı, çatlamış durumdaki çekme mukavemeti, süneklik ve elastisite modülü değerleri ölçülmüştür [17].

Yüksek mukavemetli puzolanlı betonla betonarme donatısı arasındaki aderansın yangın sonrası davranışı ile ilgili yapılan bir çalışmada; doğal puzolanlı yüksek mukavemetli betonla betonarme donatısı arasındaki adreansın yangın sonrası davranış araştırılmıştır. Pullout ve küp numuneler 600 ve 800 °C sıcaklıklara maruz bırakılmadan önce, numuneler kalıplara döküldü, kalıplar alındı ve daha sonra 23 °C deki suda 40 gün bekletildi. Bu numuneler, aderans davranışı ve basınç mukavemetlerini değerlendirmek için kullanıldı. Pullout numunelerin yüzeylerindeki yangın sonrası oluşan çatlaklar incelendi. İlaveten; elde edilen sonuçlara dayanan ampirik modeller, aderans dayanımındaki azalma yüzdesini tahmin edebilmek için geliştirildi. 600°C ve 800 °C sıcaklık derecelerinde sırasıyla % 24 ve % 74 oranlarındaki aderans dayanım azalmalarından elde edilen bulgulara ek olarak; pullout yükü-sıyrılma hareketinde dramatik değişiklikler olmuştur. NP' siz HSC yangın altında en iyi aderans performansına sahip olduğu, bunu sırasıyla % 10, % 15, % 25 oranlarında NP ilaveli HSC' ler izlediği gözlenmiştir. NP' nin % 25 oranında ilavesi; özellikle 600 °C' ye kadar aderansı fazla etkilemeden çatlamaya karşı dayanımı artırmıştır [18].

800 °C' ye kadar sıcaklığa maruz kalan betonun basınç mukavemeti ve gözenek yapısı üzerine yapılan bir çalışmada; yüksek sıcaklığa maruz kalan yüksek mukavemetli betonun ve normal mukavemetli betonun; mekanik özellikleri ve gözenek yapısı incelenmiştir. Beton numuneler 800 °C sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra basınç

mukavemetleri ölçülmüştür. Deney sonucunda, basınç dayanımları, yüksek dayanımlı betonda normal betona göre daha hızlı azalmış ancak yüksek dayanımlı betonun sonuç basınç dayanımı değerleri daha fazla ölçülmüştür [19].

Çelik tel katkılı yüksek mukavemetli betonun mekanik özellikleri ile ilgili yapılan çalışmada; çelik lif katkılı yüksek mukavemetli betonun mekanik özellikleri araştırılmıştır [20]. Çelik tel katkılı betonun basınç mukavemeti, % 1,5 çelik tel ilavesinde maksimum olmuştur ve bu artış % 15,3' tür. Çelik tel katkılı betonun çatlamış haldeki çekme mukavemeti ve kırılma modülü, çelik tel oranının artmasıyla artmıştır ve % 2 çelik tel ilavesinde sırasıyla % 98,3 ve % 126,6 oranlarında artmıştır.

Çelik lif katkısız yapılardaki beton malzemesine sıcaklık etkisi, sıkça rastlanılan bir problemdir. Yangın, baca, füze rampaları, bazı kimyasal ürün fabrikaları malzemelerin yüksek sıcaklıklara ($>600\text{ }^{\circ}\text{C}$) maruz kalmasına yol açarlar. Normal Portland çimentosu ile yapılmış bir beton $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ den, hatta $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ den itibaren değişime uğramaya başlar. Önce kılcal, sonra jel boşluklarda su buharlaşır ve büzülme olur. Çatlakların belirmesi ile çekme dayanımı düşer, $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ den itibaren basınç dayanımı da azalmaya başlar, zira alüminli ve demir oksitli bileşenlerde dehidratasyon (kristal suyunu kaybetme) başlamıştır. $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ civarında Ca(OH)_2 de CaO ' ya dönüşür, hacmi % 30 mertebesinde büzülür. Söndürme sırasında püskürtülen su CaO ' yu tekrar Ca(OH)_2 ' ye çevirir, bu defa da betonda hacim genişleyerek hasar meydana gelir. $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ aşılınca silis jelleri de parçalanmaya başlar, $600\text{--}700\text{ }^{\circ}\text{C}$ aşıldığında tüm öğeler harap olmuştur. Bu arada sıcaklıktaki beton davranışına agregaların silisli kalkerli oluşlarının da etkisi vardır. Kuvartz $570\text{ }^{\circ}\text{C}$ de allotropik formu olan tridimite % 16 hacim genişlemesiyle dönüşür ve betonu patlatır. Kalkerlerin kirece dönüşümü daha yüksek sıcaklıklarda, $800\text{--}900\text{ }^{\circ}\text{C}$ civarındadır. Yani kalker agregalı betonlar yangına nispeten dayanır. Sıcaklık $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ yi aşınca beton pembemsi bir renk alır, $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ yi aşınca ise renk beyaz-gri olur, $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ yi aşan betonların mukavemeti ilk mukavemetlerinin ancak % 20' si olabilir [4].

Günümüzde betonda en yaygın olarak kullanılan lifler, çelik ve polipropilen ile alkali dirençli camlardır. 1960'lı yıllardan bu yana yapılan çalışmalarda beton içerisine konulan lifler betonda oluşan çatlakların ilerleme hızını azaltmıştır. Ayrıca; maksimum yükten sonra lifli betonlarda artan deformasyonlar sonucunda, yükün azalma hızı,

normal betona göre çok daha yavaştır. Dolayısıyla lifli betonun enerji tüketim kapasitesi lifsiz betona göre daha fazladır [21].

Çelik tel donatılı betonların mekanik davranışı ve optimum tasarımı ile ilgili yapılan bir çalışmada, yalın betonlara kıyasla belirgin olarak daha sünek davranış sergileyen çelik tel donatılı betonların (ÇTDB) optimum tasarımı için deneysel bir araştırma yapılmıştır. Optimum tasarım için, EFNARC (European Federation of Producers and Applicators of Specialist Products for Structures) deney yöntemi ile belirlenen ÇTDB'lerin toklukları ve yarma-çekme dayanımlarının maksimum ve çelik tel içeriğinin (maliyetin) ise minimum olması amaçlanmıştır. Deneysel tasarım için iki faktörlü üç-seviyeli tam faktöriyel tasarım ve Tepki Yüzeyi Yöntemi (TYY), optimum tasarım için ise çok amaçlı optimizasyon teknikleri kullanılmıştır [22].

Yüksek performanslı lifli betonun eğilme sünekliği enerjisi ve darbe enerjisi üzerine yapılan bir çalışmada; boy/en oranı 30/0,50 ve 50/0,60 olan kancalı çelik lifler kullanılmıştır. Çelik lifler % 0,5, % 1, % 1,5 ve % 2 hacimsel oranlarında betona ilave edilmiştir. Çalışma sonucunda eğilme sünekliği enerjisi ile darbe enerjisi arasında logaritmik bir bağlantı olduğu görülmüştür. Ayrıca çelik lif ilavesinin, yüksek dayanımlı betonun darbe dayanımını ve eğilme sünekliği enerjisini artırmıştır [23].

Yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmış normal dayanımlı ve yüksek dayanımlı betonun dayanımı ve gözenek yapısı ile ilgili bir çalışmada; basınç dayanımları 39, 76 ve 94 MPa olan betonlar kullanılmıştır. 1200 °C ye kadar yüksek sıcaklık uygulandıktan sonra basınç dayanımları ve çekme dayanımları ölçülmüştür. Ayrıca gözenek yapıları da incelenmiştir. Yüksek dayanımlı betonla normal dayanımlı betonun basınç dayanımı kayıpları benzer olmuştur. 400 ile 800 °C arası sıcaklık değerleri dayanım kaybı için kritiktir. Yüksek sıcaklığın, normal dayanımlı ve yüksek dayanımlı betonun gözenek yapısını büyüüttüğü sonucuna varılmıştır [24].

Sıcaklık etkisine maruz betonlarda basınç dayanımı, elastisite modülü ve eğilmede çekme dayanımlarının tahmini için bir model geliştirilmiştir. Bu model için beton numunelerde deneysel çalışmalar, oda sıcaklığı ile 50 °C arasında uygulanmıştır. Modelin uygulanabilirliğini değerlendirmek için, değişken sıcaklıklarda bırakılan betonlar test edilerek deney sonuçları ile hesaplanan sonuçların karşılaştırması

yapılmıştır. Çalışma sonucunda; geliştirilen modelin ile değişken sıcaklık değerlerine maruz bırakılan betonların mekanik özellikleri doğru olarak tahmin edilmiştir [25].

Konu ile ilgili diğer bir çalışmada yüksek sıcaklıklara maruz kalan betonun basınç mukavemeti ve dinamik Young modülü ölçülmüştür. Çalışmada yükseltilmiş sıcaklık etkisi; numunelerin elektrik fırınına yerleştirilmesi ve 4 farklı karım betonun 4 farklı sıcaklık derecesinden birine kadar ısıtılmaları şeklinde gerçekleştirilmiştir. Seçilen sıcaklıklar; oda sıcaklığı, 100 °C, 200 °C, 300 °C ve 450 °C 'dir. Fırın sıcaklığının kontrollü yükselme zamanı artı kararlı durum ısıtılma zamanı, toplamda 6 saatlik ısıtma periyodunu oluşturmuştur. Deneysel çalışmadaki 4 tip beton karımın, üç tipi yüksek performanslı beton (HPC) ve bir tanesi de normal mukavemetli betondur (NSC). Çalışma sonucunda, normal ve yüksek dayanımlı betonun ortalama basınç dayanımı azalması oda sıcaklığı ve 450 °C arasında % 50 olarak hesaplanmıştır. Normal ve yüksek dayanımlı betonun Dinamik young modülü sıcaklık sonrası ortalama % 4 oranında artmıştır [26].

Yüksek sıcaklıkların ya da yangının ağır betonların özellikleri üzerindeki etkisi ile ilgili bir çalışmada; farklı sürelerde uygulanan (1 saat, 2 saat, 3 saat) yüksek sıcaklıkların (250, 500, 750 ve 950 °C) ağır betonların fiziksel, mekanik ve radyasyon özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda; ilmenit betonun barit ya da çakıl betonuna göre yoğunluğu ve elastisite modülü daha yüksek, absorpsiyonu daha düşük, basınç, çekme, eğilme ve aderans mukavemetleri daha yüksek olduğunu sonucuna varılmıştır. Ayrıca İlmenit betonunun gama ışını geçirimsizliği daha az olduğu, sıcaklık ya da yangın uygulama süresi betonların mekanik özellikleri ile orantılı olduğu ve İlmenit betonu yüksek sıcaklıklara karşı daha fazla direnç gösterdiği varılan sonuçlar arasında verilmiştir. [27].

Yüksek sıcaklıkların yüksek mukavemetli harcın mekanik özellikleri üzerindeki etkisi ile ilgili bir çalışmada; numunelere herhangi bir yük uygulanmadan 300, 600, 900 °C sıcaklıklar uygulanmıştır. Bu sıcaklıklar uygulandıktan sonra numunelerin eğilme ve basınç dayanımları ölçülmüştür. Çalışma ile ısıtma hızının ve maksimum sıcaklığın uygulanma süresinin etkisi ve grafit tozunun rolü incelenmiştir. 600 °C ye kadar olan sıcaklıklarda mekanik özelliklerde belirgin düşüşler olmuş, 900 °C de ise numuneler dayanımlarını neredeyse tamamen yitirmişlerdir. Isıtma hızı yüksek ve maksimum sıcaklığın uygulanma süresi düşük tutulduğunda özellikler daha iyi kalmıştır [28].

Çelik lif katkılı betonlarda sıcaklık etkisi ile ilgili diğer bir çalışmada, çelik lifli betonların basınç dayanımı, gerilme-şekil değiştirme diyagramı ve enerji tüketim özellikleri incelenmiştir. Lifler betona; % 1 çelik lif, % 0,11 polipropilen lif, % 0,22 polipropilen lif ve % 1 çelik lif + % 0,22 polipropilen lif ile birlikte katılarak silindir üretilmiştir. Lifli betonlara sıcaklık uygulaması 28 günlük numunelere kararlı artım değeri olan 2,5 °C/dk. olacak şekilde oda sıcaklığında 800 °C ‘ye kadar uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, ortalama basınç dayanımları 600 ila 800 °C de verilen lif oranlı betonlarda % 45 oranında azalmıştır. Ancak enerji tüketim kapasitesi azalması sıcaklık artışı ile birlikte basınç dayanımına göre daha az olmuştur [29].

Yüksek sıcaklıklara maruz kalan yüksek performanslı lifli betonların dağılma ve geriye kalan mekanik özellikleri ile ilgili bir çalışmada, basınç dayanımı, yarıлма dayanımı ve kırılma enerjisi ölçülmüştür. Beton numuneler, normal portland çimentosu ve parçalanmış kireçtaşı ile hazırlanmıştır. Betonun kırılma enerjisini artırmak için çelik lif, polipropilen lif ve hidrid lif (polipropilen lif ve çelik lif) kullanılmıştır. 200–800 °C arası değişen sıcaklıklar uygulandıktan sonra mekanik özellikler tespit edilmiştir. Lifli betonda 400 °C üzeri sıcaklıklarda dayanım azalmasına rağmen, kırılma enerjisi sıcaklık öncesine göre belirgin bir şekilde artmıştır. Hidrid fiber ise betonun dağılmaya karşı dayanımını artırmıştır [30].

Yüksek sıcaklıklara maruz kalan hidrid fiberli betonun dayanımı ile ilgili bir çalışmada, yüksek mukavemetli betonun ve hidrid fiberli yüksek mukavemetli betonun sıcaklık etkisinden sonraki dayanımları incelenmiştir. Çalışma sonucunda, yüksek mukavemetli beton sıcaklık etkisiyle dağılmaya daha eğilimlidir ve ilk dağılma sıcaklık 400 °C ye yaklaştığında olmaktadır. Erime noktası yüksek lif ilaveli yüksek mukavemetli betonda ise ilk dağılma 800 °C de meydana gelmektedir. Erime noktası düşük polipropilen lif ilaveli betonda ise dağılma olmamaktadır. Yüksek erime noktalı lif (karbon, çelik vs.) ile düşük erime noktalı lifin (polipropilen lif) karışımı ise, yüksek mukavemetli betonun yüksek sıcaklıklara karşı dayanımını önemli ölçüde artırmıştır [31].

Tekdemir [32] çelik lifli katkılı betona yüksek sıcaklık etkisinin incelendiği çalışmasında çelik lif katkılı betonları oda sıcaklığından 800 °C ‘ye kadar sıcaklıklara maruz bırakmıştır. farklı tel oranlarına ve değişen sıcaklık etkilerine göre betonun basınç dayanımı, elastisite modülü ve tokluk değerleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda sıcaklığın artmasıyla basınç dayanımı genel olarak

azaldığı gözlenmiştir. Ancak, 50 °C sıcaklık uygulanan çelik lif katkılı numunelerin basınç dayanımında artış görülmüştür. 600 °C ila 800 °C gibi yüksek sıcaklıklarda ise % 1.5 çelik lif oranlı betonların basınç dayanımında önemli bir artış gerçekleştiği gözlenmiştir. Çelik lif katkılı betonlarda E-modülünün değişimi de basınç dayanımına paralellik göstermiştir.

3. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışma kapsamındaki deneysel çalışmalar, TS 802 'ye [33] göre hesap edilerek üretilmiş normal beton sınıfında çelik lif katkısız ve hacimsel olarak 4 farklı dozajdaki (% 0,0, % 0,5, % 1,0 ,% 1,5) değişik dozajlarda çelik lif katkılı numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Numune periyotları 7, 28 ve 90 gündür. Referans numuneler çelik lif katkısız ve çelik lif katkılı silindir numuneleri üzerinde kompressometre ölçümlü basınç dayanımı ve yarmada çekme deneyleri, eğilme karakteristiklerini belirlemek amacıyla prizmatik numuneler üzerinde eğilmede çekme deneyleri yapılmıştır. Kontrol numuneleri ise yüksek sıcaklık fırınında 900 °C, 1000 °C, 1100 °C ve 1200 °C olacak şekilde 4 farklı yüksek sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Sıcaklık uygulanan silindir numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyleri yapılarak numunelere ait basınç dayanımı, enerji tüketimi ve elastisite modülü değerleri hesaplanmıştır.

3.1. Malzemeler

Karışım hesabı yapılarak [33] normal beton sınıfında üretilen çelik lif katkısız ve katkılı silindir beton numuneler % 0,0, % 0,5, % 1,0 ve % 1,5 hacimsel oranlarında çelik lif katkısıyla üretilmiştir. Ayrıca 150×150×750 mm boyutlarında prizmatik kırış numunelerde aynı beton karışımı ve lif ilavesi kullanılarak aynı beton harmanından üretilmiştir.

3.1.1. Agregalar

Beton üretiminde iri mıcır (15–25 mm), ince mıcır (7–15 mm) ve kırma kum (0–4 mm) olmak üzere 3 tip agregalar kullanılmıştır. Kullanılan agregalara TS EN 1097-6'ya [34] göre özgül ağırlık ve su emme deneyleri yapılmıştır. Agregalar üzerinde yapılan deneyler sonucu bulunan bulgular Tablo 3.1. de verilmiştir.

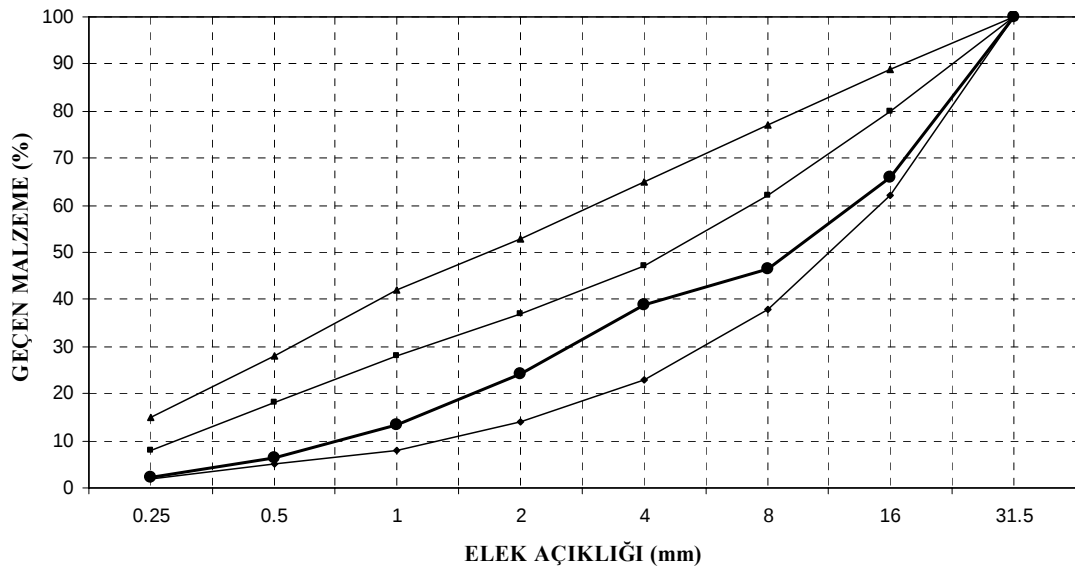
Tablo 3.1. Çalışmada Kullanılan Agregaların Özgül Ağırlık ve Su Emme Değerleri.

Agrega Cinsi	Su Emme (ağırlıkça %)	KYD Özgül Ağırlık (gr/cm^3)
15–25 İri Mıcır	1.21	2.71
7–15 İnce Mıcır	1.58	2.70
0–4 Kırma Kum	1.66	2.34

Agregalar üzerinde TS 3530 EN 933-1'e [35] göre yapılan elek analizi sonucu bulgularına göre karışım yüzdeleri Tablo 3.2.'de verilmiştir. Karışıma ait granülometrik eğri (TS 802'de $D_{mak}=32$ mm eğrisiyle) ise Şekil 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Çalışmada Kullanılan Agregaların Karışım Yüzdeleri.

Agrega Cinsi	Karışım Miktarı (%)
15–25 İri Mıcır	35
7–15 İnce Mıcır	25
0–4 Kırma Kum	40



Şekil 3.1. Karışım Agregası Granülometri Eğrisi.

3.1.2. Çimento

Deney betonu üretiminde Normal Portland PÇ 42,5 (CEM I 42,5) çimentosu kullanılmıştır. Çimento ile ilgili özellikler Tablo 3.3.' de verilmiştir.

Tablo 3.3. Kullanılan Çimentonun Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özellikleri [45].

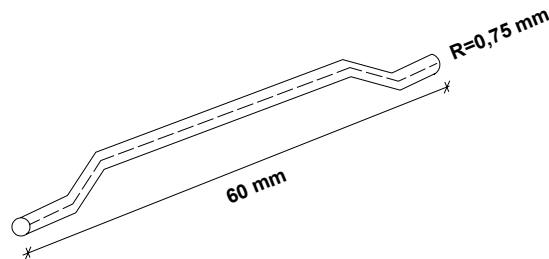
Çimento Tipi PÇ 42.5			
Çözünmeyen Kalıntı	0.2	Blaine (cm^2/g)	3082
MgO, (%)	1.67	Su / Çimento	27.4
SO ₃ , (%)	3.24	Priz başı <i>dk.</i>	170
K ₂ O, (%)	0.58	Priz sonu <i>dk.</i>	235
Kızdırma Kaybı, (%)	1.02	La Chatelier, <i>mm</i>	1
CI, (%)	0.01	Basınç dayanımı, N/mm^2	
Serbest CaO, (%)	0.4		
C ₃ A, (%)	9.2	2 gün	26.7
C ₃ S, (%)	50.7	7 gün	39.5
Özgül Ağırlık (g/cm^3)	3.16	28 gün	50.7

3.1.3. Çelik Lif

Deney numunelerine ilave edilen çelik tel RC 80/60 BN tipi kancalı tel kullanılmıştır. Çelik lif çekme dayanımı minimum $1050 N/mm^2$ 'dir. Kullanılan çelik tele ait özellikler Tablo 3.4.'de ve şematik gösterilişi ise Şekil 3.2.'de verilmiştir.

Tablo 3.4. Kullanılan Çelik Lif Özellikleri [46].

Çelik Lif Tipi	Boy (<i>mm</i>)	Çap (<i>mm</i>)	Narinlik (<i>Boy/Çap</i>)	Yoğunluk (g/cm^3)	Çekme Dayanımı (N/mm^2)
Dramix RC 80/60	60	0,75	80	7,48	<i>min</i> 1050



Şekil 3.2. Deneylerde Kullanılan Çelik Lif.

3.2. Beton Karışımı

Bu çalışmada üretilen çelik lif katkılı silindir ve prizmatik beton numunelerde, su/çimento oranı 0.60 ve çökme değeri süper akışkanlaştırıcı ile $12 \text{ cm} \pm 2 \text{ cm}$ aralığında sabit tutulmuştur. Beton karışım değerleri ve katılan lif miktarları 1 m^3 beton için Tablo 3.5.'de verilmiştir.

Tablo 3.5. Beton İçin Karışım Hesabı (1 m^3).

Karışım Malzemesi		Ağırlık (kg)
Su		205
Çimento (PÇ 42.5) TS EN 197-1-CEM I 42,5		341
İri Mıcır (15-25 mm)		613
İnce Mıcır (7-15 mm)		438
Kırma Kum (0-4 mm)		700
Akışkanlaştırıcı		3,41
Çelik Lif (hacimsel)	% 0,5	37,40
	% 1	74,50
	% 1,5	112,20

Çelik lif ilavesi yapılan numuneler üretilirken çelik lifler betonyerdeki beton karışımına 20 kg/dak. hız ile homojen karışım sağlanacak şekilde katılmış ve betonyerde homojen karışım sağlamak amacıyla karışımın en yüksek hızda 5 dakika çevrilmesi sağlanmıştır. [37, 38]

3.3. Numune Üretimi

3.3.1. Silindir Numunelerin Üretilmesi

Deneysel çalışmalarda üretilen çelik lif katkılı ve katkısız silindir numuneler Tablo 3.6. 'da karışıma hacimce ilave edilen lif yüzdeleri ve adetleri ile birlikte verilmektedir.

Tablo 3.6. Silindir Beton Numunelerin Adedi ve Karışıma Dâhil Edilen Lif Oranları.

Numune Dağılımı (Adet)					
Numune Periyodu (Gün)	Sıcaklık (°C)	Çelik Lif (% hacimsel)			
		0,0	0,5	1,0	1,5
7 28 90	24,5	3	3	3	3
	900	3	3	3	3
	1000	3	3	3	3
	1100	3	3	3	3
	1200	3	3	3	3

Beton malzemesinin karışımında ilk olarak çalışmakta olan betoniyere ilk olarak su verilmiştir. Su verilmesi devam ederken agrega vermeye başlanmıştır. Agregaların % 10 karıştırıcıya girdikten sonra çimento harmana katılmaya başlanmıştır. Kıvam artırmak için kullanılan süper akışkanlaştırıcı katkı karışım suyu içine katılarak ilave edilmiştir [37, 38]. Agrega, su ve çimento tamamen karıştırıldıktan sonra çelik lifler 20 kg/dk. hızla eklenmiştir. Tüm malzemeler karışıma girdikten sonra karıştırma işlemi yaklaşık 5 dk devam ettirilerek homojen karışım sağlanmıştır.

Homojen beton karışımı 150 x 300 mm silindir kalıplara serbest düşme sağlanacak şekilde üç aşamada ve her aşamada standart şişleme çubuğu yardımıyla 25 kez şişlenmek suretiyle doldurulmuştur. Kalıplar bu şekilde doldurulduktan sonra hapsolmuş havanın dışarı çıkması için tokmaklanmış ve üzerleri mala yardımıyla düzeltilmiştir (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Kalıplara Yerleştirilen Silindir Numuneler.

Çelik lif katkılı ve katkısız silindirik numuneler üretildikten 24 saat sonra çelik kalıplardan çıkartılıp (Şekil 3.4.) kür havuzlarına konmuştur. Kür havuzunun sıcaklığı 20 ± 2 °C' ve kirece doygundur [36]. Numuneler burada sıcaklık uygulanacak günden bir önceki güne kadar tutulmuştur (Şekil 3.5.)



Şekil 3.4. Kalıplardan Çıkartılmış Silindir Numuneler.



Şekil 3.5. 20 ± 2 °C Kür Havuzundaki Silindir Numuneler.

3.3.2. Prizmatik Beton Kiriş Numunelerin Üretilmesi

3.2’de verilen karışım kullanılarak silindir numunelerle birlikte prizmatik numunelerde üretilmiştir.[36, 39]. Üretilen beton karışımından her bir çelik lif yüzdeli karışım için 3 adet olmak üzere toplam 12 adet prizmatik numune alınmıştır. Kullanılan çelik lif boyutunun 40 mm’ den fazla olduğu için numune genişlik ve yüksekliği 150 mm ve açıklığı 750 mm olan kalıplar kullanılarak numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Beton harcının kalıplara homojen tel dağılımını sağlamak amacıyla iki tabaka halinde konulmuş ve yerleştirme işlemi dış vibrasyon uygulanarak yapılmıştır (Şekil 3.6.). Numunelerin üzeri mala ile sıyrılıp düzeltilerek yerleştirme işlemi tamamlanmıştır. [41].



Şekil 3.6. Prizmatik Numuneler Üretimi.

3.4. Deney Betonunun Bazı Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

3.4.1. Silindir Kontrol Numunesi Deneyleri

Çelik lif katkısız (% 0,0) ve katkılı (% 0,5, % 1,0 ve % 1,5) üretilen kontrol numuneleri ısıya maruz bırakılacak numunelerin üretildiği sırada aynı beton karışımından üretilmiştir. Üretimden bir gün sonra diğer numunelerle birlikte kirece doymun su küründe (20 ± 2 °C) 6., 27. ve 89. gün bekletildikten sonra bu günler sonunda kürden çıkartılmış, bir gün laboratuarda hava kurusu hale getirilerek (oda sıcaklığı) 7 , 28 ve 90 günlük olarak deneye tabi tutulmuştur. Kontrol numuneleri üzerinde basınç dayanımı ve yarma dayanımı deneyleri yapılmıştır. Deneyler Şekil 3.7.’de gösterilen 300 ton kapasiteli Klas-1 sınıfı beton basınç presinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7. 300 ton Kapasiteli Basınç Presi.

3.4.1.1. Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanımı deneyi yapılan numunelere, üzerinde dijital göstergeli saati bulunan kompresometre monte edilmiştir (Şekil 3.8.). Numunelere yükleme yapıldığı esnada oluşan boy kısaltmaları her 20 kN yüklemede dijital saat yardımıyla ve 1 μ m hassasiyetle okunmuştur. Yapılan bu okumalar kullanılarak numunelere ait Gerilme-Şekil Değiştirme grafikleri çizilmiştir. Çizilen bu eğriler yardımıyla, maksimum yük değeriyle belirlenen basınç dayanımı değerlerinin yanı sıra üretilen betona ait elastisite modülü ve tokluk değerleri elde edilmiştir.



Şekil 3.8. Dijital Deplasman Ölçerli Kompresometre Bağlanmış Silindir Numune.

3.4.1.2. Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi

3.4.1.1’de bahsedildiği gibi üretimi ve kürü gerçekleştirilen numunelerin yarmada çekme dayanımının tayini için her bir çelik lif katkısı yüzdesi için (% 0, % 0,5, % 1,0 ve % 1,5 hacimsel) 3’er adet 150 ×300 mm silindir numunesi alınmıştır. 7, 28 ve 90 günlük periyottalardaki numuneler Şekil 3.9.’de gösterildiği gibi TS EN 12390–6’ ya uygun yarma yükü deneyine tabi tutulmuştur [42]. (Şekil 3.10.)



Şekil 3.9. Yarmada Çekme Deneyinde Presteki Numune.



Şekil 3.10. Yarmada Çekme Deneyi Sonrası Numunelerde Oluşan Çatlaklar.

Silindir şekilli deney numuneleri, uzunluğu boyunca bir levhaya, basınç yükü uygulanarak yüklenmiştir. Yükleme doğrultusuna dik doğrultuda oluşan çekme kuvveti sonucunda, numunede düşey çatlak meydana gelerek kırılmıştır. Yarmada çekme dayanımı, aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır [42].

$$f_{ct} = \frac{2 \times F}{\pi \times L \times d}$$

Burada; f_{ct} :Yarmada çekme dayanımı, $MPa (N/mm^2)$,

F :En büyük yük , N ,

L :Numunenin yükleme levhasına temas çizgisi uzunluğu, mm ,

d :Numunenin seçilen en kesit boyutu, mm

3.4.2. Prizmatik Beton Numunelerde Eğilme Deneyi

Çelik lif katkılı ve katkısız üretilen 150×150×750 mm boyutlarındaki numuneler üzerinde yapılan eğilmede çekme deneyi TS 10515'e [41] göre 1/3 noktasından yüklenen kiriş metodu ile yapılmıştır. Deneylerde 250 kN kapasiteli geri beslemeli-sehim kontrollü yükleme çerçevesi kullanılmıştır.

Kirişlerin orta açıklığındaki sehim ve mesnetlerdeki çökmeler kaydedilmiştir. Kiriş orta açıklık net sehim, mesnet çökmelerinin ortalamasının orta açıklıkta ölçülen sehimden farkı alınarak belirlenmiştir. Eğilme dayanımı yüklemesi 1 mm/dak. sehim hızında yapılmıştır. Çelik liflerle donatılı prizmatik numuneler açıklığın 1/3 noktalarında yüklenmekte ve elde edilen yük-sehim eğrisi altında kalan alanlar aracılığıyla eğilme dayanımları değerlendirilmektedir. Prizmatik numuneler için elde edilen yük-sehim eğrisi altındaki alanlar ifade edilerek belirlenen eğilme dayanımları, test numunesinin enerji emme kapasitesinin bir göstergesidir.

3.5. Silindir Numunelere Sıcaklık Uygulanması

Üretilen çelik lif katkısız ve katkılı silindir numuneler üretim tarihinden itibaren 7., 28. ve 90. günlerde sıcaklık etkisine maruz bırakılmıştır. Bu işlem için 1200 °C sıcaklık kapasitesine sahip elektrikli yüksek sıcaklık fırını kullanılmıştır (Şekil 3.12. ve Şekil 3.13.). Silindir numunelere sırasıyla 900 °C, 1000 °C, 1100 °C ve 1200 °C sıcaklıkları uygulanmıştır.



Şekil 3.11. Yüksek Sıcaklık Uygulanan Fırın.

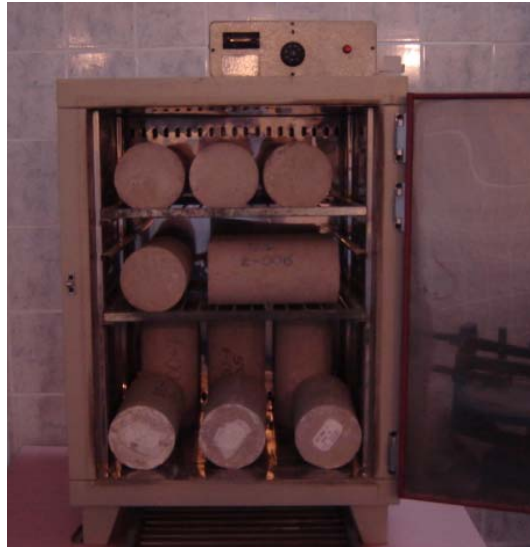


Şekil 3.12. Elektrikli Yüksek Sıcaklık Fırınına Yerleştirilmiş Numuneler.

İlk fırınlama denemelerinde yüksek sıcaklığa maruz bırakılacak silindir numuneler fırına girmeden 1 gün önce havuzdan çıkarılmış ve 24 saat doğal kurumaya bırakılmıştır. Fakat ısıtma fırınında sıcaklık artışından dolayı bünyesel suyun çıkışı sırasında aşırı genleşmeye bağlı olarak özellikle numune üstlerinde patlamaların meydana geldiği ve bu durumun fırın sıcaklığı yaklaşık 250~300 °C civarındayken gerçekleştiği gözlenmiştir. (Şekil 3.14.) Numunelerdeki bünyesel suyun meydana getirdiği zararı önlemek adına fırınlama öncesinde, numuneler kürden çıktıktan sonra bünye suyunun atılmasını sağlamak için 6 saat süreyle 105±5 °C deki etüve konulmuştur. (Şekil 3.15.). Bu işlemten sonra fırınlanan numunelerde patlamalar gözlenmemiş dolayısıyla fırınlanan tüm numunelerden ölçüm alınması sağlanabilmiştir.



Şekil 3.13. Fırında Hasar Görmüş Numuneler.



Şekil 3.14. Etüvde Ön Kurutma Yapılan Numuneler.

Yüksek sıcaklık fırınında fırınlama süresi sıcaklığının kontrollü yükselme zamanı ve kararlı sıcaklık (900 °C, 1000 °C, 1100 °C ve 1200 °C) durumundaki ısıtılma zamanı toplamı 6 saat olacak şekilde gerçekleşmiştir. Kararlı sıcaklıklar ulaşma süresindeki fark (900 °C' den sonrası için) her 100 °C için ≈ 10 dk'dır. 6 saatlik ısıtma periyodunun ardından deney numunelerini ani sıcaklık değişimi etkilerine maruz bırakmamak için fırın sıcaklığı oda sıcaklığına erişinceye kadar fırın kapağı kapalı olarak kendiliğinden soğumaya bırakılmıştır.



Şekil 3.15. 900 °C Sıcaklığa Maruz Kalmış Numuneler.



Şekil 3.16. 1000 °C Sıcaklığa Maruz Kalmış Numuneler.



Şekil 3.17. 1100 °C Sıcaklığa Maruz Kalmış Numuneler.



Şekil 3.18. 1200 °C Sıcaklığa Maruz Kalmış Numuneler.

3.5.1. Yüksek Sıcaklık Uygulanan Silindir Numunelerde Basınç Deneyi

Silindirik numunelerin üretim tarihlerinden itibaren 7, 28 ve 90. günlerde toplamda 6 saat boyunca termal etkiye maruz bırakılmalarından ve oda sıcaklığına kadar soğutulmalarından sonra basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuşlardır. Deneyler 3.4.1’de bahsedilen ve Şekil 3.7.’de gösterilen 300 ton kapasiteli basınç presi kullanılarak yapılmıştır. Deney numunelerinin basınç dayanımları tespit edilirken bunun yanı sıra elastisite modüllerinin de hesaplanması için silindir numuneye 3.4.1.1’de anlatıldığı gibi kompresometre bağlanarak numunede yük altında oluşan boy kısalmaları ölçülmüştür (Şekil 3.20.). Deplasman ölçümleri, kontrol numunelerinden farklı olarak sıcaklığa maruz numunelerdeki oluşan dayanım kaybı dikkate alınarak her 2,5 kN’luk

yük için yapılmıştır. Standarda uygun olarak elde edilen bu değerler kullanılarak yüksek sıcaklığa maruz numuneleri kontrol numuneleri ile karşılaştırılmak üzere gerilme-birim kısalma eğrileri oluşturulmuştur. Böylelikle yüksek sıcaklık etkisinde kalmış çelik lif katkılı ve katkısız silindirik beton numuneleri için basınç dayanımı, elastisite modülü ve tokluk değerleri belirlenmiştir.



Şekil 3.19. Yüksek Sıcaklığa Maruz Kalmış Numunelerde Basınç Dayanımı Deneyi.

4. BÖLÜM

BULGULAR

4.1. Silindir Beton Numunelerinden Elde Edilen Bulguları

4.1.1. Basınç Dayanımı Bulguları

Çelik lif katkılı ve katkısız üretilen 150×300 mm boyutlarındaki silindir beton numuneler üzerinde yapılan basınç deneyleri 7, 28 ve 90 günlük numune periyotlarında 24,5 °C, 900 °C, 1000 °C, 1100 °C ve 1200 °C sıcaklık etkilerine maruz kalmış numuneler üzerinde yapılmıştır. Yüksek sıcaklık etkisine bırakılmış numunelerin basınç dayanımı değerleri 24,5 °C de test edilen kontrol numunelerine ait basınç dayanımı değerleriyle kıyaslanmıştır.

Tablo 4.1. Sıcaklık ve Çelik Lif Katkılarına Göre Basınç Dayanımı Değerleri.

Basınç Dayanımı Değerleri (MPa)							
Numune Kodu	Çelik Lif (% hacim)	Numune Periyodu (Gün)	Sıcaklık (°C)				
			24,5	900	1000	1100	1200
SFC 0-7	0	7	26,19	3,91	2,97	1,69	1,78
SFC 0-28		28	29,53	5,31	2,07	1,42	1,51
SFC 0-90		90	34,05	6,02	2,83	2,72	1,64
SFC 0,5-7	0,5	7	25,38	4,49	4,12	2,03	1,81
SFC 0,5-28		28	27,50	5,87	2,54	2,03	1,63
SFC 0,5-90		90	31,66	5,92	2,78	2,87	2,48
SFC 1,0-7	1,0	7	25,48	5,79	5,93	2,51	2,64
SFC 1,0-28		28	27,05	7,86	3,68	2,78	2,37
SFC 1,0-90		90	32,28	5,15	3,79	3,84	3,04
SFC 1,5-7	1,5	7	19,68	3,60	3,35	2,36	2,26
SFC 1,5-28		28	23,43	6,42	3,99	2,46	2,10
SFC 1,5-90		90	26,45	6,03	3,92	3,36	3,16

4.1.1.1. Çelik Lif Yüzdesi ve Yüksek Sıcaklığa Göre Bulgular

Basınç deneyi sonucu elde edilen bulgular her bir sıcaklık değeri ve çelik lif katkısına göre verilmiştir. Oda sıcaklığında test edilen kontrol numuneleri değerler Tablo 4.2.'de ayrıca verilmiştir.

Tablo 4.2. Çelik Lif Oranına Göre Basınç Dayanımındaki değişim (24,5 °C).

Numune Periyodu (Gün)	Çelik Lif Katkısı (% hacim)	Referans Numunelere Göre Değişim (%)
7	0,5	-3.1
	1,0	-2.7
	1,5	-24.9
28	0,5	-6.9
	1,0	-8.4
	1,5	-20.7
90	0,5	-7.0
	1,0	-5.2
	1,5	-22.3

Basınç dayanımı sonuçlarına göre çelik lif katkısı beton basınç dayanımını düşürmektedir. Oda sıcaklığında her bir periyotta da en fazla dayanım kaybı % 1,5 çelik lif katkılı numunelerde gözlenmiştir. Bunun sebebi en yüksek dozaj olan % 1,5 lik çelik lifin yerleştirmedeki güçlük ve ve lif yoğunlundan kaynaklı çelik tellerde topaklanmadır. Bu durum beton içerisinde yerel boşluklara sebep olmuştur.

Yine çelik lif katkılarına bağlı olarak uygulanan yüksek sıcaklık değerlerine göre değişimler 7, 28 ve 90 günlük numuneler için Tablo 4.3., Tablo 4.4. ve Tablo 4.5.'de verilmiştir.

7 günlük numunelerde en büyük dayanım kaybı % 0,0 ve % 0,5 çelik lif katkılı numunelerde gerçekleşmiştir. Uygulanan yüksek sıcaklıkların hepsinde beklenildiği üzere katkısız betonunda en yüksek dayanım kaybının gerçekleştiği görülmektedir. 1100 °C ve 1200 °C sıcaklıklarda dayanım kayıpları birbirine çok yakın çıkmıştır. Dolayısıyla 1000 °C'den yüksek sıcaklıklarda çelik lifin katkısı tamamen ortadan kalmaktadır. 900 °C ve 1000 °C'lerinde ise çelik lif katkılı numuneler arasındaki fark daha belirgindir. Yani bu sıcaklıklarda çelik lif katkısı çok küçükte olsa kendisini göstermektedir. 900 °C ve 1000 °C sıcaklıklarında en az dayanım kaybı % 1,0 çelik lif

katkılı numunelerde gözlenmiştir. Aynı sıcaklıklardaki katkısız numunelere oranla 900 °C için % 10, 1000 °C için % 15 lik dayanım katkısı sağladığı saptanmıştır.

Tablo 4.3. 7 Günlük Çelik Lif Katkılı Betonun Kontrol Betonuna Göre Değişimi (%).

Çelik Lif Yüzdesi (% hacim)	Sıcaklık (°C)			
	900	1000	1100	1200
0,0	-85	-89	-91	-93
0,5	-82	-84	-92	-93
1,0	-77	-77	-90	-90
1,5	-82	-83	-88	-89

28 günlük numunelerde (Tablo 4.4.) dayanım kayıpları arasındaki en büyük fark 900 °C de gözlenmiştir. 1000 °C’de ki fark 7 günlük numunelere göre daha küçük kalmaktadır. % 1,0 çelik lif katkısı 900 °C’de % 15’lik bir dayanım kazancı sağlarken bu değer 1000 °C’de % 8 olmuştur. 1000 °C için en yüksek dayanım kazancını % 12 ile % 1,5 çelik lif katkılı numuneler sağlamıştır. 1100 °C ve 1200 °C’ler yine birbirine yakın değerler ortaya çıkarmıştır.

Tablo 4.4. 28 Günlük Çelik Lif Katkılı Betonun Kontrol Betonuna Göre Değişimi (%).

Çelik Lif Yüzdesi (% hacim)	Sıcaklık (°C)			
	900	1000	1100	1200
0,0	-82	-93	-95	-95
0,5	-79	-91	-93	-94
1,0	-71	-86	-90	-91
1,5	-73	-83	-90	-91

90 günlük numunelerde (Tablo 4.5.) 7 ve 28 günlük numunelerin aksine 900 °C ve 1000 °C içinde için en az dayanım kaybı % 1,5 çelik lif katkılı numunelerde gerçekleşmiştir. Katkısız numunelere göre dayanım değerlerinde 900 °C için % 6, 1000 °C için % 8 olmuştur. % 1,5 çelik lif katkılı beton 900 °C’de % 1,0 çelik lif katkılı betona göre % 9 fazla dayanım değeri göstermiştir.

Tablo 4.5. 90 Günlük Çelik Lif Katkılı Betonu Kontrol Betonuna Göre Değişimi (%).

Çelik Lif (% hacim)	Sıcaklık (°C)			
	900	1000	1100	1200
0,0	-82	-92	-92	-95
0,5	-81	-91	-91	-92
1,0	-84	-88	-88	-91
1,5	-77	-85	-87	-88

4.1.2. Yarmada Çekme Dayanımı Bulguları

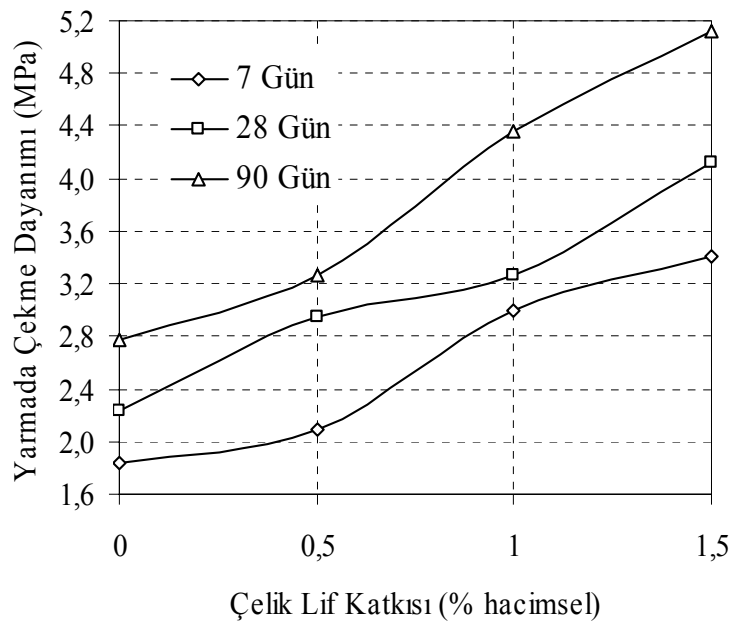
Tablo 4.6. Yarmada Çekme Dayanımı Değerleri.

Numune Kodu	Çelik Lif (% hacim)	Yarmada Çekme Dayanımı (MPa)		
		7 Gün	28 Gün	90 Gün
SFC 0	0,0	1,83	2,23	2,77
SFC 0,5	0,5	2,09	2,95	3,25
SFC 1	1,0	3,00	3,27	3,98
SFC 1,5	1,5	3,40	4,12	4,75

Yarmada çekme dayanımı sonuçları (Tablo 4.6.) incelendiğinde üç ayrı numune periyodu için çelik lif miktarı arttıkça dayanım değerlerinin de arttığı belirlenmiştir. Her 7 ve 90 günlük numunelerdeki değerler birbirine paralellik göstermektedir. 28 günlük numunelerde ise % 1,0 çelik lif katkılı numunelerin 7 ve 28 günlük numunelere göre daha az artış gösterdiği görülmektedir. Kontrol numunesine göre dayanım değişimi değerleri Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7. Lif Yüzdesine Göre Yarmada Çekme Dayanımı Değişimi

Numune Kodu	Çelik Lif (% hacim)	Yarmada Çekme Dayanımı Değişimi (% artış)		
		7 Gün	28 Gün	90 Gün
SFC 0,5	0,5	14	32	17
SFC 1	1,0	64	47	44
SFC 1,5	1,5	85	85	71



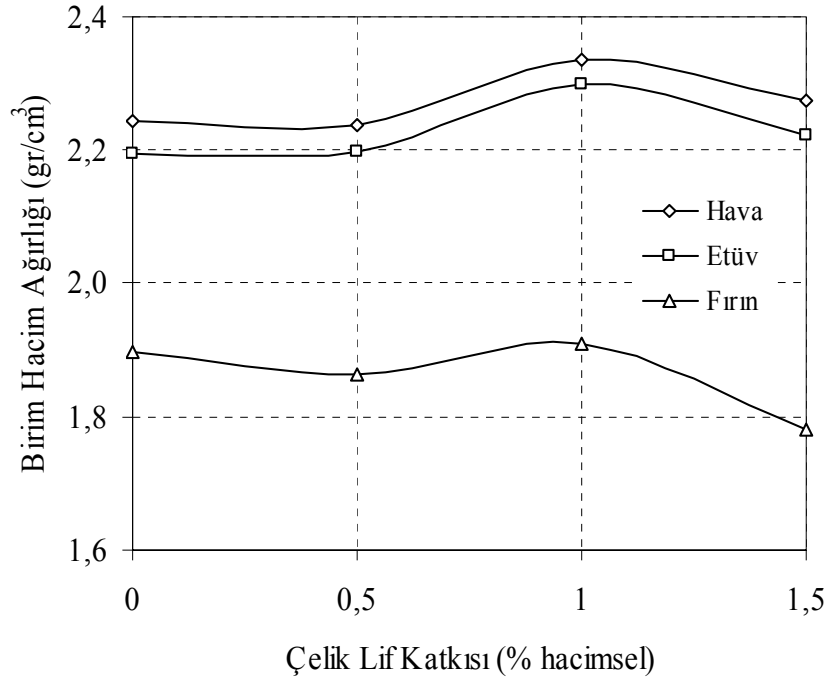
Şekil 4.1. Çelik Lif Yüzdesine Göre Yarmada Çekme Dayanımı İlişkisi.

4.1.3. Birim Hacim Ağırlığı Bulguları

Birim hacim ağırlığı ölçümlerinde (Tablo 4.7.) % 1,0 çelik lif katkılı betonda her durumda artış göstermekte iken, % 1,5 çelik lif katkılı beton yüksek sıcaklığa tabi tutulmasından sonra % 6'lık ağırlık kaybına uğramıştır. % 0,5 çelik lif katkılı beton üretim sonrası ve etüv kurusu ağırlıklarda kontrol betonuna yakın değerler gösterse de yüksek sıcaklık etkisine maruz kaldıktan sonra % 1,8'lik bir dayanım kaybına uğramıştır. Her üç durumda da değişimler birbirine hemen hemen paralel değişimler göstermiştir (Şekil 4.2.)

Tablo 4.8. Birim Hacim Ağırlıklarının Kontrol Betonuna Göre Değişimleri.

Numune Kodu	Üretim 24 saat sonra	Etüv Kurusu	Fırınlanmış
SFC 0,5	% 0,3 azalma	% 0,1 artma	% 1,8 azalma
SFC 1	% 4 artma	% 4,6 artma	% 1,6 artma
SFC 1,5	% 1,3 artma	% 1,3 artma	% 6 azalma



Şekil 4.2. Çelik Lif Yüzdesi-Birim Hacim Ağırlığı İlişkisi.

4.1.4. Elastisite Modülü Bulguları

Silindir numuneler üzerinde gerçekleştirilen basınç dayanımı deneyi esnasında numuneler üzerine monte edilen kompresometre deney cihazı ile numuneler üzerinde gerçekleşen düşey deplasmanlar kaydedilmiş, elde edilen yük-deformasyon değerleri kullanılarak numunelerin elastisite modülü değerleri hesaplanmıştır.

Hesaplama Prof. Dr. Tefaruk Haktanır tarafından yazılan Windows işletim sistemi altında Visual Fortran derleyicisiyle çalışan sürümü kullanılarak yapılmıştır.

4.1.4.1. Elastisite Modülü Hesabında Kullanılan Programın Hesap Aşamaları

Basınç deneyi sırasında 15×30 silindir numuneler üzerine takılan kompresometre deney aleti üzerinde bulunan µm hassasiyetli deplasman ölçer (komparat) kullanılarak alınan deplasman okumaları program içerisine her bir deplasmana karşılık gelen yük değeri ile birlikte yazılmıştır. 15×30 cm'lik silindirik beton numuneler üzerinde yapılan kompresometre deneyinin dataları, her bir silindir numune için farklı bir dosyadan 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;

$$\varepsilon = \frac{def(j)}{L_0}$$

ifadesiyle hesaplanmaktadır. L_0 değeri kompresometrenin bağlantı noktaları arasındaki mesafe olarak 200 mm dir. Gerilme değerleri ise her bir yük değerine göre

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

ifadesiyle MPa (N/mm^2) biriminde hesaplanmaktadır.

Hesaplanan σ ve ε değerleri kullanılarak σ - ε eksen takımları üzerinde $\sigma_0=0$ ve $\varepsilon_0=0$ noktalarında başlayarak okuma alınan her bir yük değerine karşılık gelen $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_n$ ve $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots, \varepsilon_n$ değerleri noktalar halinde belirlenmiştir.

Kullanılan program belirlenen bu noktaları kullanarak bu noktalara bağlı 2.nci dereceden regresyon polinomları uydurulmaktadır. Bu regresyon polinomlarının sırası, çizilen σ - ε değer çiftleri noktalarından, önce $\sigma_0=0$ ile σ_{maks} 'a kadar, sonra, $\sigma_0=0$ ile σ_{maks-1} (σ_{maks} 'tan bir önceki nokta) noktasına kadar, sonra $\sigma_0=0$ ile σ_{maks-2} (σ_{maks} 'tan bir önceki nokta) noktasına kadar ve bu şekilde devam ederek en son $0,7 \times \sigma_{maks}$ 'a eşit nokta olacak şekilde uydurulmaktadır. σ_{maks} 'ta itibaren alınan bu eksen noktaları çiftlerine en küçük kareler yöntemiyle uydurulan regresyon polinomlarının determinasyon katsayıları (R^2) hesaplanmaktadır. Bütün polinomlar orijinden geçmektedir ve analitik yapısı

$$\sigma = b \cdot \varepsilon + c \cdot \varepsilon^2$$

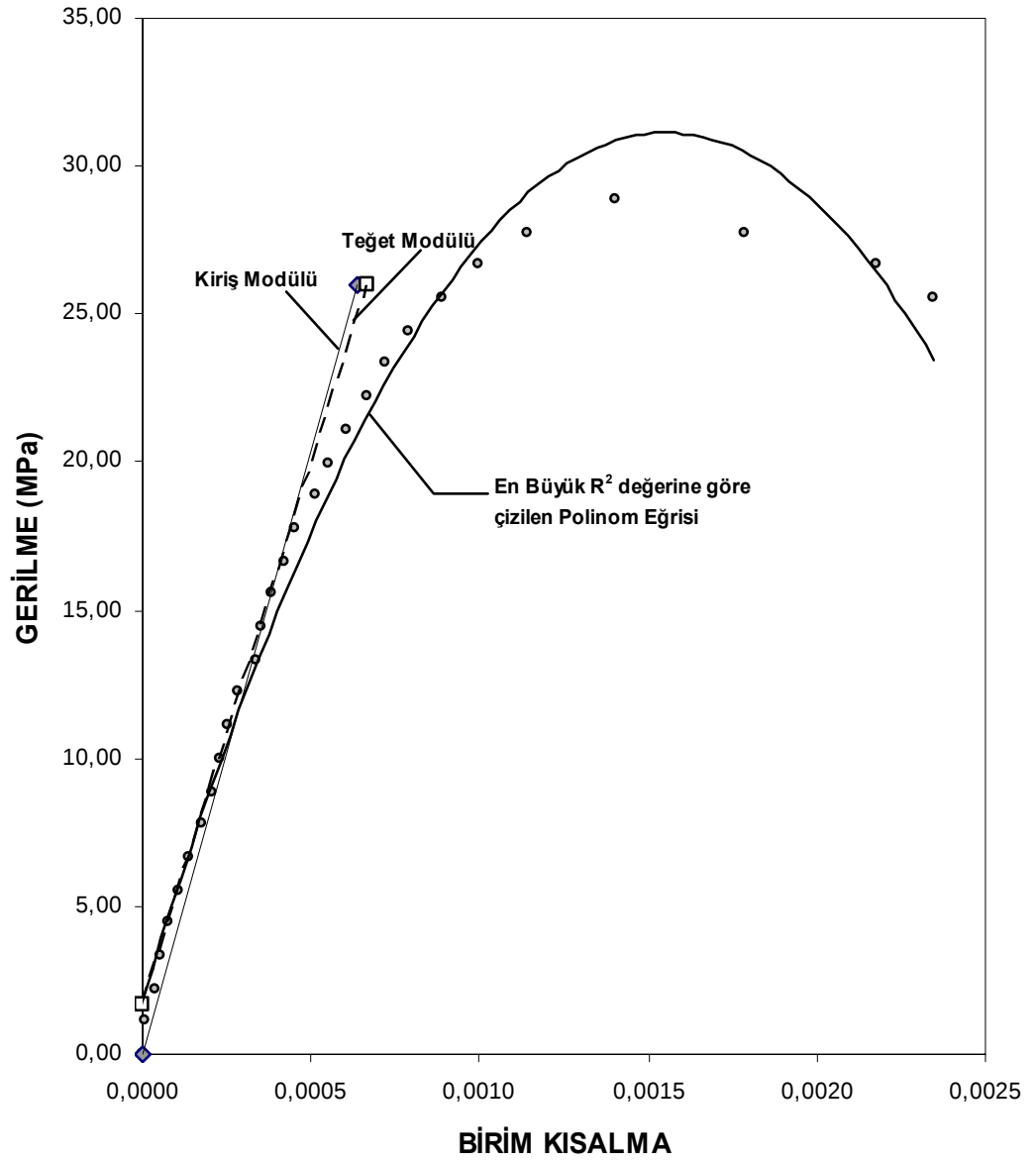
biçimindedir. σ - ε noktalarına uydurulan 2.nci dereceden regresyon polinomlarından R^2 'si en büyük olan polinom ile hesaplanan gerilme - birim kısalma değerleri kullanıcı tarafından isimlendirilen ayrı bir dosyaya yazdırılmaktadır. R^2 'si en büyük olan polinom esas alınarak tanjant ve kiriş elastisite modülü değerleri hesaplanmaktadır.

4.1.4.2. Teğet Elastisite Modülünün Hesaplanması

Ayrı bir dosyaya kaydedilen en büyük determinasyon katsayısı (R^2) değerine sahip polinom değerleri kullanılarak y koordinatı $y = 0,40 \times \sigma_{maks}$ olan noktanın x koordinatı hesaplanır. Program belirlenen bu noktadan daha önce oluşturulan 2. dereceden polinom eğrisine teğet çizmektedir. Çizilen bu teğetin başlangıç ve son noktalarının koordinatları ayrı bir dosyaya yazdırılmaktadır. Sonra program bu teğet doğrusunun yatayla yaptığı açıyı hesaplayarak tanjant elastisite modülü olarak çıkış dosyasında MPa birimiyle vermektedir. Hesaplanan teğet elastisite modülü değerleri Tablo 4.9.'da verilmiştir.

4.1.4.3. Kiriş Elastisite Modülünün Hesaplanması

Ayrı bir dosyaya kaydedilen en büyük R^2 değerine sahip polinom değerleri kullanılarak y koordinatı $y = 0,50 \times \sigma_{maks}$ olan noktanın x koordinatı hesaplanır. Program belirlenen bu nokta ile başlangıç ($\sigma_0=0, \varepsilon_0=0$) noktası ile birleştirilerek önceden oluşturulan 2. dereceden polinom eğrisine kiriş teşkil edecek şekilde bir doğru çizmektedir. Çizilen bu doğrunun başlangıç (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.



Şekil 4.3. Kullanılan Program Tarafından Çizilen Gerilme-Birim Kısılma Eğrisi (28 Günlük Referans Numune)

Tablo 4.9. Teget Elastisite Modülü Bulguları.

Tanjant Elastisite Modülü Değerleri (MPa)						
Numune Kodu	Çelik Lif (% hacim)	Numune Periyodu (Gün)	Sıcaklık (°C)			
			900	1000	1100	1200
SFC 0-7	0	7	659	322	197	294
SFC 0-28		28	1160	357	300	236
SFC 0-90		90	772	291	293	279
SFC 0,5-7	0,5	7	619	520	200	222
SFC 0,5-28		28	758	283	354	239
SFC 0,5-90		90	799	263	325	330
SFC 1,0-7	1,0	7	594	961	181	243
SFC 1,0-28		28	961	406	247	322
SFC 1,0-90		90	478	374	527	486
SFC 1,5-7	1,5	7	347	254	261	255
SFC 1,5-28		28	879	465	320	215
SFC 1,5-90		90	426	280	357	376

Tablo 4.10. Kiriş Elastisite Modülü Bulguları.

Kiriş Elastisite Modülü Değerleri (MPa)						
Numune Kodu	Çelik Lif (% hacim)	Numune Periyodu (Gün)	Sıcaklık (°C)			
			900	1000	1100	1200
SFC 0-7	0	7	716	334	214	327
SFC 0-28		28	1264	395	340	259
SFC 0-90		90	728	320	332	310
SFC 0,5-7	0,5	7	667	569	211	244
SFC 0,5-28		28	837	312	387	252
SFC 0,5-90		90	614	293	355	368
SFC 1,0-7	1,0	7	638	734	189	239
SFC 1,0-28		28	986	449	269	355
SFC 1,0-90		90	536	423	609	541
SFC 1,5-7	1,5	7	381	272	291	285
SFC 1,5-28		28	967	517	322	225
SFC 1,5-90		90	473	308	394	415

4.1.5. Tokluk Değeri Bulguları

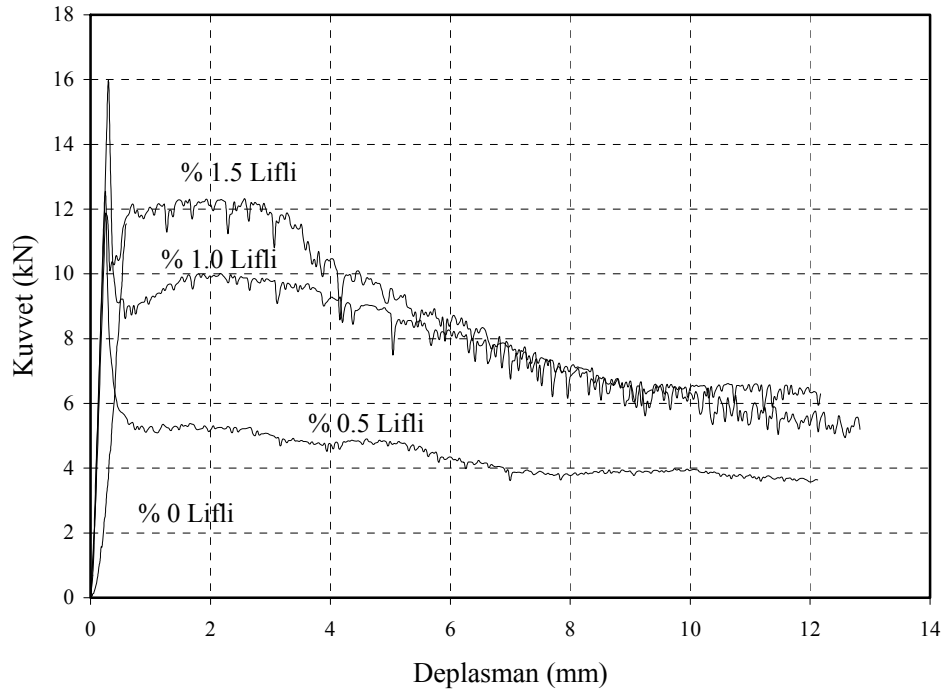
Silindir numuneler üzerinde gerçekleştirilen basınç dayanımı deneyi esnasında numuneler üzerine monte edilen kompresometre deney cihazı ile numuneler üzerinde gerçekleşen düşey deplasmanlar kaydedilmiş, elde edilen yük-deformasyon değerleri kullanılarak numunelere ait yük-şekil değiştirme eğrileri çizilmiştir. Elde edilen bu eğrilerin altında kalan alan malzemeye ait basınç tokluğu değerlerini vermektedir.

Tablo 4.11. Sıcaklık ve Periyotlara Göre Basınç Tokluk Değerleri.

Tokluk Değerleri ($kN.mm$)							
Numune Kodu	Çelik Lif (% hacim)	Numune Periyodu (Gün)	Sıcaklık ($^{\circ}C$)				
			24,5	900	1000	1100	1200
SFC 0-7	0	7	172	162	255	108	99
SFC 0-28		28	170	127	133	32	105
SFC 0-90		90	162	388	160	145	142
SFC 0,5-7	0,5	7	177	273	370	177	127
SFC 0,5-28		28	153	456	193	98	134
SFC 0,5-90		90	232	380	209	220	206
SFC 1,0-7	1,0	7	112	371	397	184	205
SFC 1,0-28		28	160	366	302	159	134
SFC 1,0-90		90	147	567	434	422	286
SFC 1,5-7	1,5	7	250	598	316	206	243
SFC 1,5-28		28	159	400	330	215	169
SFC 1,5-90		90	851	743	279	213	312

4.2. Prizmatik Beton Deneyleri Bulguları

Üretilen lifliz ve lifli numunelerde her bir lif oranı için 3 adet numune malzemenin eğilme dayanımını ve tokluğunu belirlemek üzere eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Kirişlerin orta açıklığındaki sehim ve mesnetlerdeki çökmeler kaydedilmiştir. Kiriş orta açıklık net sehim, mesnet çökmelerinin ortalamasının orta açıklıkta ölçülen sehimden farkı alınarak belirlenmiştir. Eğilmede çekme dayanımı yüklemesi 1 mm/dak. sehim hızında yapılmıştır. Prizmatik beton numunelere ait farklı lif oranları için ortalama kuvvet-deplasman eğrileri Şekil 4.3.'da verilmiştir.[32]

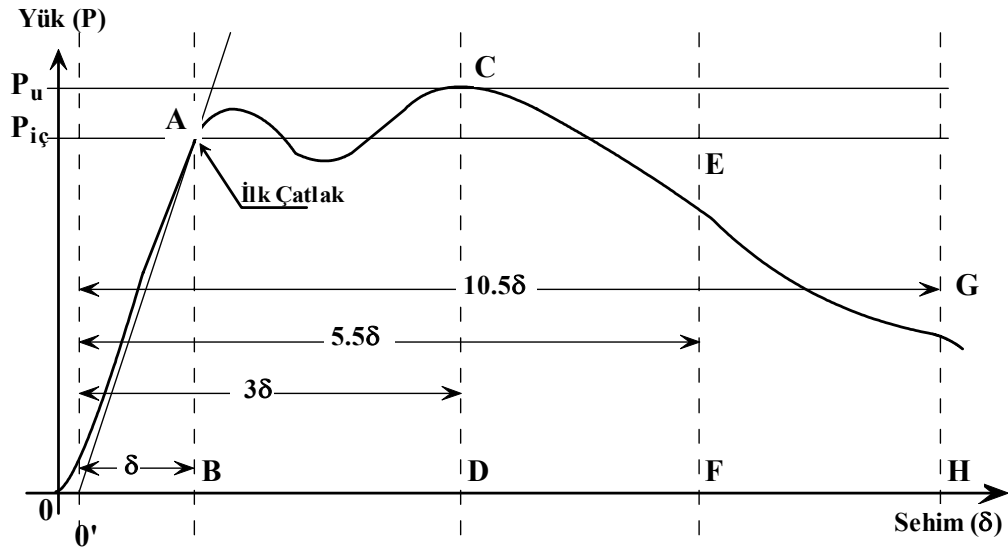


Şekil 4.4. Prizmatik Numuneler İçin Ortalama Kuvvet-Deplasman Eğrileri.

Prizmatik numuneler üzerinde üçte bir noktadan yapılan yükleme deneyi sonucunda elde edilen yük sehim eğrisi üzerinde ilk çatlağın meydana geldiği sehim değeri, ilk çatlak sehimine diye adlandırılır. TS 10515' te "Elastik şekil değiştirme, yük-sehim eğrisi altında belirtilen sehime kadar olan alana eşdeğer enerjidir." şeklinde tanımlanmaktadır. Çelik liflerle donatılı betonlarda elastik şekil değiştirme indeksler aracılığıyla değerlendirilmektedir. Yine aynı standartta elastik şekil değiştirme indeksleri, "belirtilen sehime kadar olan eğri altında kalan alanın, ilk çatlağa kadar olan alana bölünmesi ile elde edilen sayılardır" şeklinde açıklanmaktadır. Burada, I_5 , I_{10} ve I_{20} olmak üzere üç indeks yer almaktadır. İndeksler I_5 , I_{10} ve I_{20} sırasıyla, ilk çatlak sehiminin 3,5, 5 ve 10,5

katı sehime kadar eğri altındaki alanı ilk çatlağa kadarki eğri altındaki alana bölerek elde edilen sayı olarak tanımlanmaktadır [41].

Elastik şekil değiştirme indeksleri, I_5 , I_{10} ve I_{20} , fiili performansın, kolayca anlaşılabilir performans referans düzeyiyle karşılaştırılmasını sağlamaktadır. I_5 , I_{10} ve I_{20} 'ye ait olan 5, 10 ve 20 değerleri, birinci çatlağa kadar lineer elastik malzeme hareketine, daha sonra mükemmel plastik davranışa karşılık düşmektedir. Yüksek ölçüde elastik mukavemet gerektiren uygulamalar için bu davranış önerilir ve sadece lif tipinin, lif miktarının ve beton basınç mukavemetinin özenle seçilmesi yoluyla bu plastik davranışa ulaşılabilir. Elastik şekil değiştirme indeksleri TS 10515 de düz beton, elastik-plastik malzeme ve telli beton için tanımlanmıştır (Şekil 4.4.) [41].



Şekil 4.5. Çelik Lif Takviyeli Betonlarda Tipik Yük-Sehim Eğrisi ve İndekslerin Saptanmasında Kullanılan Sehim Değerleri.

Çelik lif katkılı betonlarda elastik şekil değiştirme indekslerinin değerleri Şekil 4.4. ile ilişkilendirilerek Tablo 4.12.'de verilmiştir.[41,49]

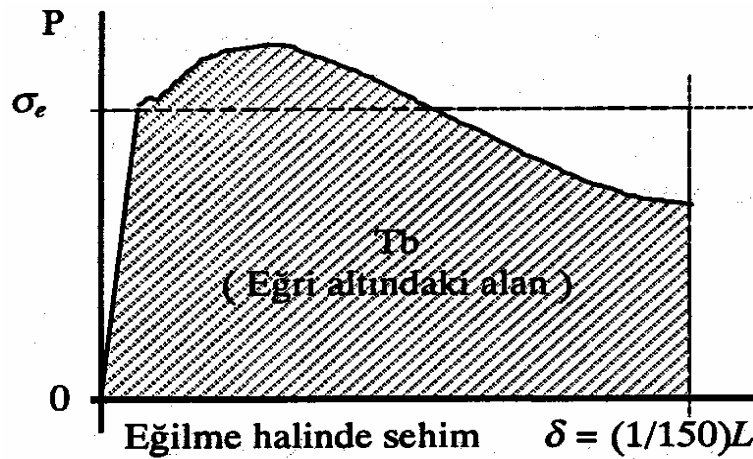
Tablo 4.12. Çelik Liflerle Donatılı Betonlarda Elastik Şekil Değiştirme İndekslerinin Değerleri.

Baz Alan	İndeks	Eğilme Kriteri	Normal Beton	Elastik-Plastik Malzeme	Çelik Lif Katkılı Beton
OACD	I_5	3	1,0	5,0	1–6
OAEF	I_{10}	5,5	1,0	10,0	1–12
OAGH	I_{20}	10,5	1,0	20,0	1–25

Çelik liflerle donatılı betonlarda malzeme için öngörülen eğilme gerilmesi (σ_e), sehmin numune mesnet açıklığının yüzelliye oranı ile ($\delta = L/150$) ulaştığı sınır dikkate alınarak,

$$\sigma_s = \frac{T_b L}{\delta_{tb} b h^2}$$

bağıntısıyla elde edilmektedir. Bu ilişki, yük-sehim eğrisi ile birlikte Şekil 4.5'da verilmektedir.



Şekil 4.6. Yük-Sehim Eğrisi ve Öngörülen Eğilme Gerilmesi.

Deneysel çalışmalar sonucunda, tokluk indeksi değerleri 0 lif oranında 1.0, 0.5 lif oranında $I_5 = 1.60$, $I_{10} = 1.70$ ve $I_{20} = 1.86$, 1.0 lif oranında $I_5 = 1.31$, $I_{10} = 1.60$ ve $I_{20} = 2.64$, 1.5 lif oranında $I_5 = 1.54$, $I_{10} = 1.63$ ve $I_{20} = 2.07$, olarak hesaplanmıştır. Tokluk indeksi değerleri elastik şekil değiştirme indeksi değerleri aralıklarını sağlamaktadır.

Prizmatik kiriş numunelerde ayrıca çelik lif katkısız beton ile değişik hacimsel oranlarda çelik lif katkılı betonun eğilmede çekme dayanımları ve tokluk değerleri de elde edilmiştir. Tokluk değerleri numunede oluşan 12 mm 'lik sehimlere kadar oluşan eğri altındaki alan esas alınarak hesaplanmıştır. Deney sonuçları Tablo 4.13. 'de verilmektedir.

Tablo 4.13. Prizmatik Kiriş Beton Numune Mekanik Özellikleri.

Çelik Lif (%)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Eğilme Tokluğu (kN.mm)
0,0	2,66	5,10
0,5	2,77	54,27
1,0	3,19	97,33
1,5	3,04	107,91

Eğilme dayanımının çelik lif katkısına bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Bu artış % 1,0 oranlı çelik lifli prizmatik beton numunesinde % 17, % 1,5 çelik lifli prizmatik numunede % 12 olarak gerçekleşmiştir. Bu sonuçlara göre prizmatik beton numune eğilmede çekme dayanımında en uygun lif oranının kullanılan lif tipi ve beton özellikleri için % 1,0 değerlerinde uygun olabileceği söylenebilir. [32].

5. BÖLÜM

SONUÇLAR

Üretilen silindir numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı sonuçlarına göre 7 günlük numunelerde en büyük dayanım kaybı % 0,0 ve % 0,5 çelik lif katkılı numunelerde gerçekleşmiştir. Uygulanan yüksek sıcaklıkların hepsinde beklenildiği üzere katkısız betonda en yüksek dayanım kaybının gerçekleştiği görülmüştür. 1100 °C ve 1200 °C sıcaklıklarda dayanım kayıpları birbirine çok yakın çıkmıştır. Dolayısıyla 1000 °C'den yüksek sıcaklıklarda çelik lifin katkısı tamamen ortadan kalkmaktadır. 900 °C ve 1000 °C'lerinde ise çelik lif katkılı numuneler arasındaki fark daha belirgindir. Yani bu sıcaklıklarda çelik lif katkısı çok küçük de olsa kendisini göstermektedir. 900 °C ve 1000 °C sıcaklıklarında en az dayanım kaybı % 1,0 çelik lif katkılı numunelerde gözlenmiştir. Aynı sıcaklıklardaki katkısız numunelere oranla 900 °C için % 10, 1000 °C için % 15 lik dayanım katkısı sağladığı saptanmıştır.

28 günlük numunelerde (Tablo 4.4.) dayanım kayıpları arasındaki en büyük fark 900 °C de gözlenmiştir. 1000 °C'deki fark 7 günlük numunelere göre daha küçük kalmaktadır. % 1,0 çelik lif katkısı 900 °C'de % 15'lik bir dayanım kazancı sağlarken bu değer 1000 °C'de % 8 olmuştur. 1000 °C için en yüksek dayanım kazancını % 12 ile % 1,5 çelik lif katkılı numuneler sağlamıştır. 1100 °C ve 1200 °C'lerde yine birbirine yakın değerler ortaya çıkarmıştır.

90 günlük numunelerde (Tablo 4.5.) 7 ve 28 günlük numunelerin aksine 900 °C ve 1000 °C için en az dayanım kaybı % 1,5 çelik lif katkılı numunelerde gerçekleşmiştir.

Katkısız numunelere göre dayanım değerlerinde 900 °C için % 6, 1000 °C için % 8 olmuştur. % 1,5 çelik lif katkılı beton 900 °C'de % 1,0 çelik lif katkılı betona göre % 9 daha fazla dayanım değeri göstermiştir.

Yarmada çekme dayanımındaki artış miktarları % 0,5, % 1,0 ve % 1,5 çelik lif katkıları için sırasıyla 7 günlük numunelerde % 14, % 64, % 85, 28 günlük numunelerde % 32, % 47, % 85, 90 günlük numunelerde ise % 17, % 44 ve % 71 şeklinde gerçekleşmiştir.

Tanjant ve kiriş elastisite modüllerindeki değişim genel itibariyle basınç dayanımına paralel gerçekleşmiştir. Fakat uygulama sıcaklıkları içerisinde değişimler göstermektedir. 900 °C ve 1000 °C'deki değerler 1100 °C ve 1200 °C'de ölçülen elastisite modülü değerlerine göre daha yüksektir. 1100 °C ve 1200 °C'deki değerler birbirine paralel seyretmektedir.

Eğilme dayanımının çelik lif katkısına bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Bu artış % 1.0 oranlı çelik lifli prizmatik beton numunesinde %17, %1.5 çelik lifli prizmatik numunede %12 olarak gerçekleşmiştir. Bu sonuçlara göre lif katkısı oranının % 1.0 değerinde en uygun olabileceği söylenebilir.

KAYNAKLAR

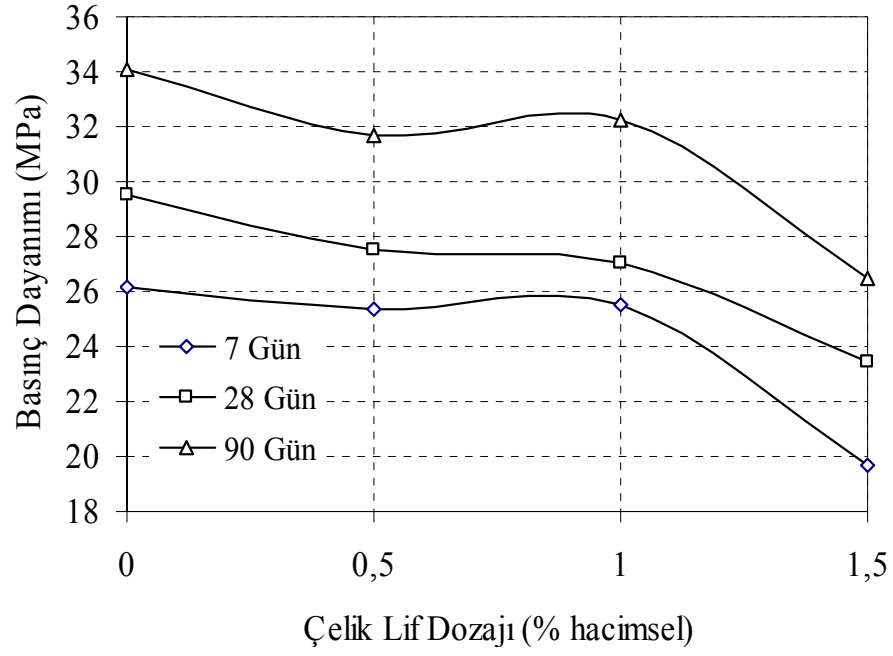
1. Arı, K., Erdiñç, M., Haktanır, T., Kalsiyum Alüminatlı Çimentonun Refrakter Olarak Kullanılması, Kayseri, 2004.
2. Beton Terimleri Sözlüğü, http://www.as-beton.com/pdf/beton_teknik_terimleri.pdf, Kasım 2007.
3. Cilasın, N., Aksoy, N., Beton Yapı Hasarları Onarım Ve Korunması Ve Sıcak İklimlerde Beton s. 15, İstanbul, 2000.
4. Akman, S., Yapı Malzemeleri, s. 83-84, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1990.
5. Altun F, Arı K, Düğenci O, Haktanır T, Yangına Maruz Hasarlı Prefabrike Yapıda Malzeme Kalitesinin Belirlenmesi ve Onarım Detayları, Yapısal Onarım Ve Güçlendirme Sempozyumu, Denizli, 159-168, 7-8 Aralık, 2006
6. Altun F., Arı K., Murat Ş., Karahan O., Düvenci O., Düşük Sıcaklık Etkisine Maruz Çelik Lifli Betonların Basınç Dayanımı Etkisi, ACE 2006.
7. Altun, F. ve T. Haktanır, “A Comparative Experimental Investigation of Steel Fiber Added Reinforced Concrete Beams”, Materials De Construcción, 54(276), 5-15, (2004).
8. Altun, F., T. Haktanır ve K. Ari, “Experimental Investigation of Steel Fiber Reinforced Concrete Box Beams Under Bending”, Materials and Structures, 39(4), 491-499, (2006).
9. Haktanır, T., K. Ari, F. Altun, C.D. Atış ve O. Karahan, “Effects of Steel Fibers and Mineral Filler on the Water-tightness of Concrete Pipes”, Cement & Concrete Composites, 28(9), 811-816, (2006).
10. Altun, F., T. Haktanır ve K. Ari, “Effects of Steel Fiber Addition on Mechanical Properties of Concrete and RC Beams”, Construction and Building Materials, 21(3), 654-661, (2007).
11. Haktanır, T., K. Ari, F. Altun ve O. Karahan, “A Comparative Experimental Investigation of Concrete, Reinforced-concrete and Steel-fibre Concrete Pipes Under Three-edge-bearing Test”, Construction and Building Materials, 21(8), 1702-1708, (2007).
12. Köksal, F., F. Altun, İ. Yiğit ve Y. Şahin, “Combined Effect of Silica Fume and Steel Fiber on the Mechanical Properties of High Strength Concretes”, Construction and Building Materials, (2008).

13. Chan, S.Y.N., Luo, X., Sun, W., Effect of High Temperature and Cooling Regimes On the Compressive Strength and Pore Properties of High Performance Concrete, *Construction and Building Materials*, 14, 261-266, 2000.
14. Vodák, F., Trtík, K., Kapičková, O., Hošková, S., Demo, P., The Effect Of Temperature On Strength – Porosity Relationship For Concrete, Czech Republic, *Construction and Building Materials*, 18 (7), 529–534, 2004.
15. Husem, M., Gozutok, S., The Effects Of Low Temperature Curing On The Compressive Strength Of Ordinary And High Performance Concrete, Turkey, *Construction and Building Materials*, 19 (1), 49-53, 2005.
16. Chan, S. Y. N., Luo, X., Sun, W., Effect Of High Temperature And Cooling Regimes On The Compressive Strength And Pore Properties Of High Performance Concrete, China, *Construction and Building Materials*, 14 (5), 261-266, 2000.
17. Moetaz, M. El-Hawary, Hisham, Abdel-Fattah, Temperature Effect On The Mechanical Behavior Of Resin, Kuwait, Concrete, *Construction and Building Materials*, 14,(6–7), 317–323, 2000.
18. Haddad R.H., Shannis L.G., Post-Fire Behavior Of Bond Between High Strength Pozzolanic Concrete And Reinforcing Steel, Jordan , *Construction and Building Materials*, 18 (6), 425-435, 2004.
19. Luo, X., Sun W., Chan, S. Y. N., Effect Of Heating And Cooling Regimes On Residual Strength And Microstructure Of Normal Strength And High-Performance Concrete, China, *Cement and Concrete Research*, 30 (3), 379-383 2000.
20. Gai-Fei Peng, Wen-Wu Yang, Jie Zhao, Ye-Feng Liu, Song-Hua Bian and Li-Hong Zhao, Explosive Spalling And Residual Mechanical Properties Of Fiber-Toughened High-Performance Concrete Subjected To High Temperatures, China, *Cement and Concrete Research*, 36 (4), 723–727, 2006.
21. Taşdemir, M.A., Bayramov, F., Yüksek Performanslı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı, *İTÜ Dergisi*, 1(2), 125-144, 2002.
22. Köksal, F., Çelik Tel Donatılı Betonların Mekanik Davranışı ve Optimum Tasarımı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2004.
23. Marar, K., Çelik, T., Flexural Toughness Energy And Impact Energy Of High Strength Fiber Reinforced Concrete, *Advances In Civil Engineering 4th International Congress*, Gazimağusa, Turkish Republic of Northern Cyprus, 1305-1314, November 1-3, 2000.

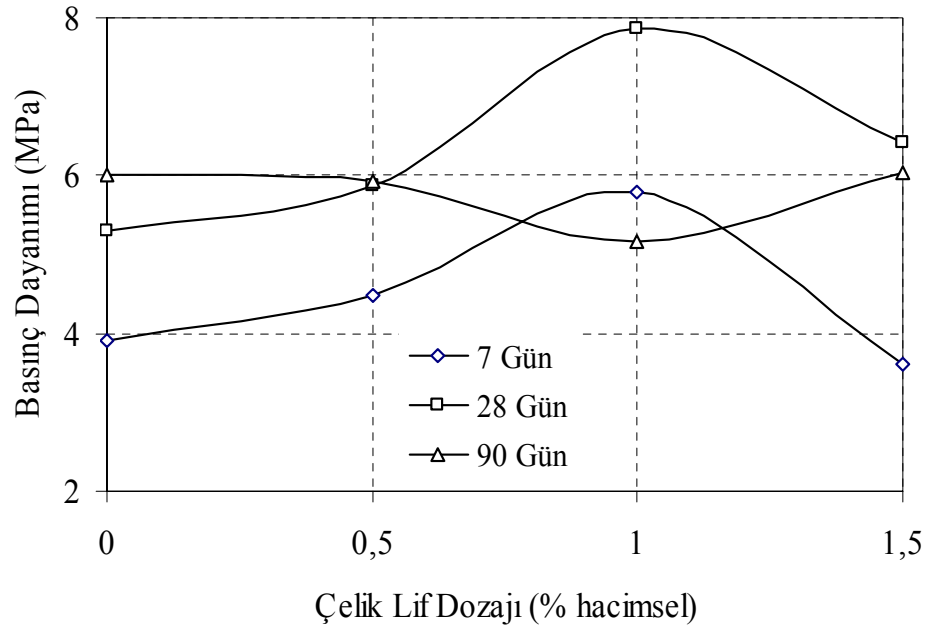
24. Chan, Y.N., Peng, G.F., Anson, M., Residual Strenght And Pore Structure Of High Strenght Concrete and Normal Strenght Concrete After Exposure To High Temperatures, Cement and Concrete Composites, 21, 23-27, 1999.
25. Kim, J.K., Han, S.H. and Park, S.K., Effect of Temperature And Aging On The Mechanical Properties Of Concrete Part II. Prediction Model, Cement and Concrete Research, 32, 1095-1100, 2002.
26. Lawson, R.J., Phan, L.T., Davis. F., Mechanical Properties of High Performance Concrete after Exposure to Elevated Temperatures, United States Department of Commerce Technology Administration, National Institute of Standards and Technology, NISTIR 6475, 40, 2000.
27. Sakr, K., El-Hakim, E. Effect of High Temperature or Fire On Hevy Weighted Concrete Properties, Cement and Concrete Research, 35, 590-596, 2005.
28. Cľfik, M.S., zturan, T., Effect of Elevated Temperatures On The Residual Mechanical Properties of High Performance Mortar, Cement and Concrete Research, 32, 809-816, 2002.
29. Poon, C.S., Shui, Z.H., Lam, L., Compressive Behavior of Fibre Reinforced High-Performance Concrete Subjected to Elevated Temperatures, Cement and Concrete Research, 34, 2215-2222, 2004.
30. Peng, G.F., Yang, W.W., Zhao, J., Liu, Y.F., Bian, S.H., Zhao, L.H., Explosive Spalling and Residual Mechanical Properties of Fiber Toughened High Performance Concrete Subjected to High Temperatures, Cement and Concrete Research, 36, 723-727, 2006.
31. Chen, B., Liu, J.Y., Residual Strenght of Hybrid Fiber Reinforced High Strenght Concrete After Exposure to High Temperatures, Cement and Concrete Research, 34, 1065-1069, 2004.
32. Tekdemir F., elik Lif Katkılı Betonlara Sıcaklık Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2007
33. TS 802, Beton Karışım Hesap Esasları, TSE, Ocak 1985.
34. TS EN 1097-6/A1, Agregaların Mekanik Ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 6: Tane Yoğunluğu Ve Su Emme Oranının Tayini, TSE, Ocak 2007.
35. TS 3530 EN 933-1/A1, Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini - Eleme metodu, TSE, Şubat 2007.

36. TS EN 12390–2, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Kürlenmesi, TSE, Nisan 2002.
37. RILEM TC162-TDF, Test And Design Methods For Steel Fibre Reinforced Concrete: Design Dethod, Materials and Structures, 33, 75-81, 2000.
38. TS 1247, Beton Yapım, Döküm ve Bakım Kuralları (Normal Hava Koşullarında), 1984.
39. TS EN 12350–1, Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 1: Numune Alma, TSE, Nisan 2002.
40. TS EN 12350–2, Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi, TSE, Nisan 2002.
41. TS 10515, Beton-Çelik Tel Takviyeli-Eğilme Mukavemeti Deney Metodu, Aralık 1992.
42. TS EN 12390–6, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini, TSE, Nisan 2002.
43. EN 14651, Test Method for Metallic Fibered Concrete-Measuring the Flexural Tensile Strength, June, 2005.
44. TS EN 12390–3, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, TSE, Nisan 2002.
45. <http://www.yibitas-lafarge.com.tr>, 2006.
46. http://www.beksa.com.tr/docs/RC-80_60-BN_geel_GB.pdf, 2006.
47. prEN 1992 Eurocode 2:Design of concrete structure - Part 1.2:General rules – Structural fire design, July 2003.
48. TS EN 12390–5, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini, TSE, Nisan 2002.
49. Aktaş B, Çelik Lifli Hafif Beton İle İmal Edilmiş Betonarme Kirişlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2007

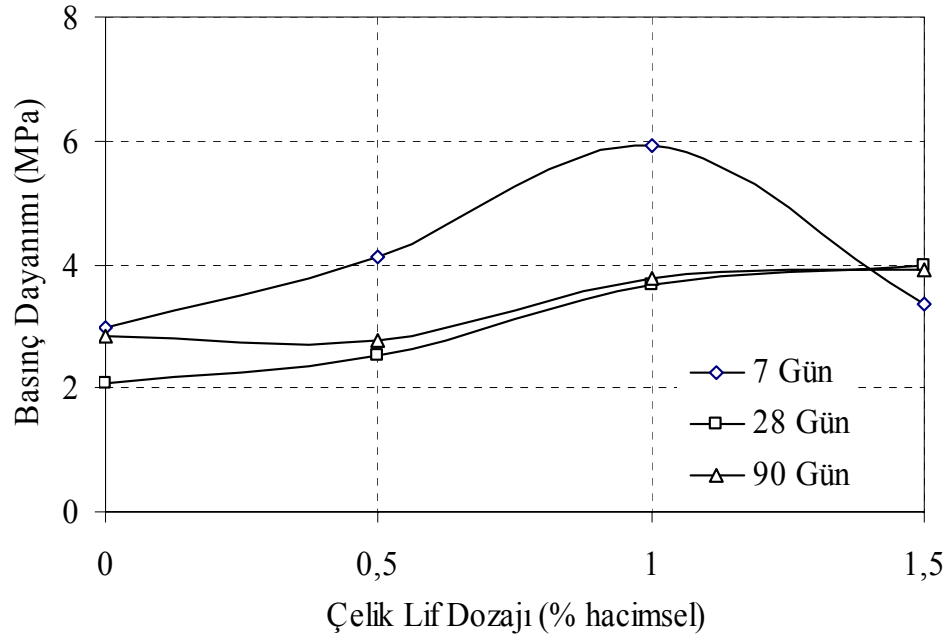
EKLER



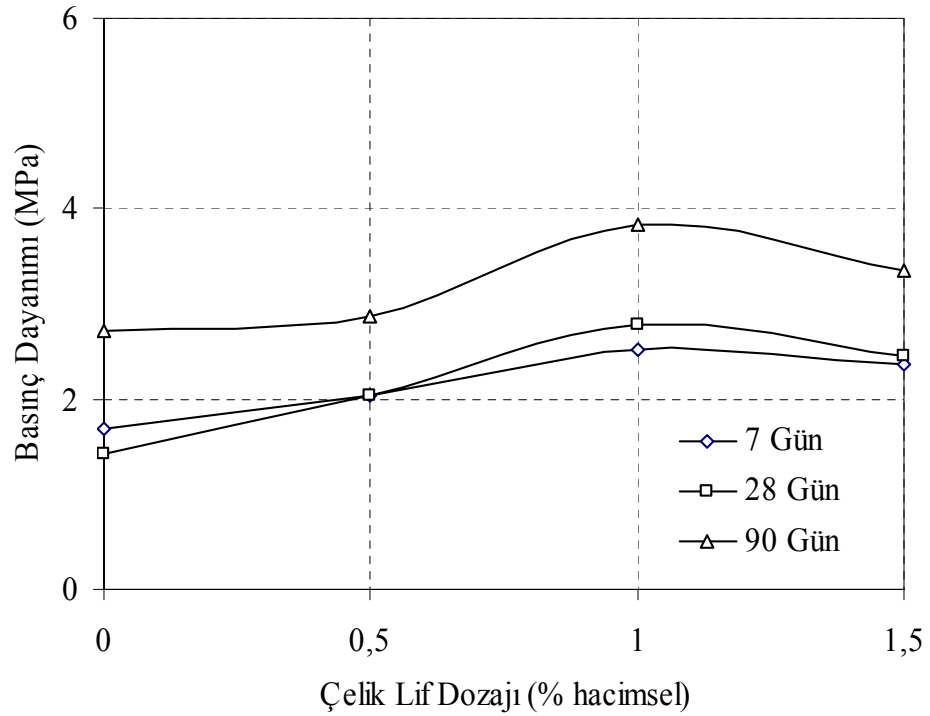
Ek-1. Periyotlara Göre Çelik Lif Dozajı – Basınç Dayanımı İlişkisi (24,5 °C).



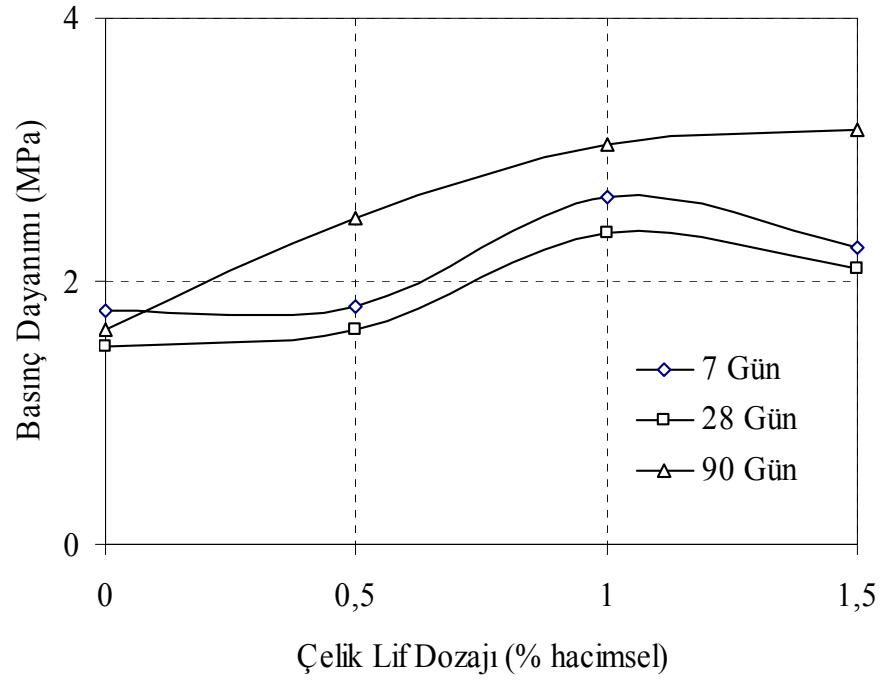
Ek-2. Periyotlara Göre Çelik Lif Dozajı – Basınç Dayanımı İlişkisi (900 °C).



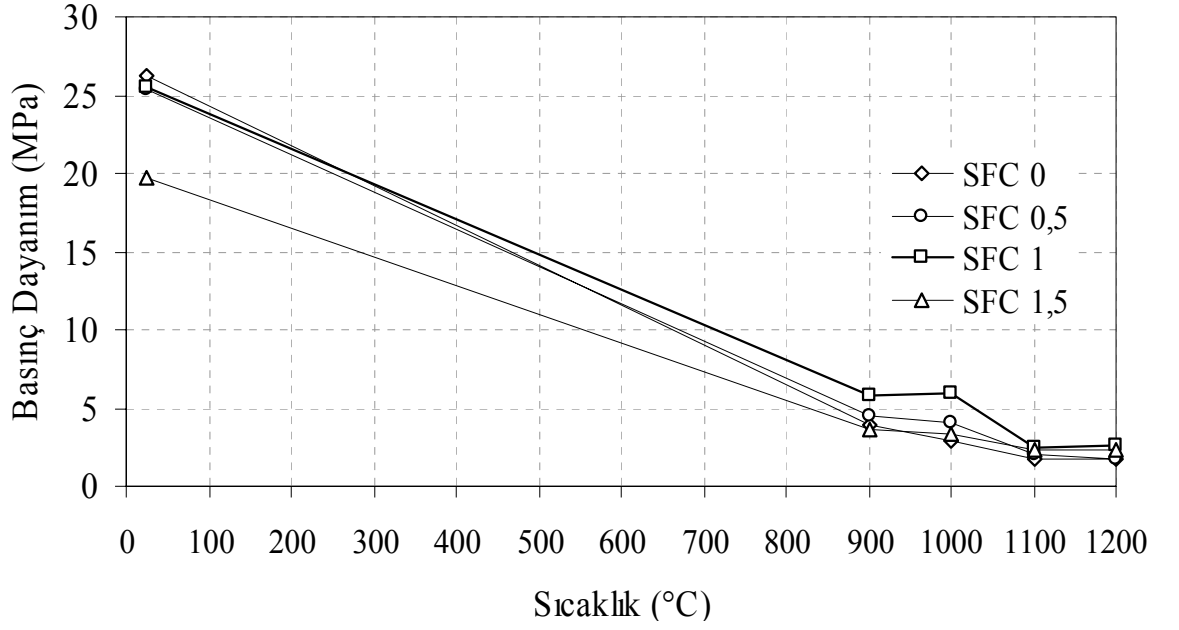
Ek-3. Periyotlara Göre Çelik Lif Dozajı – Basınç Dayanımı İlişkisi (1000 °C).



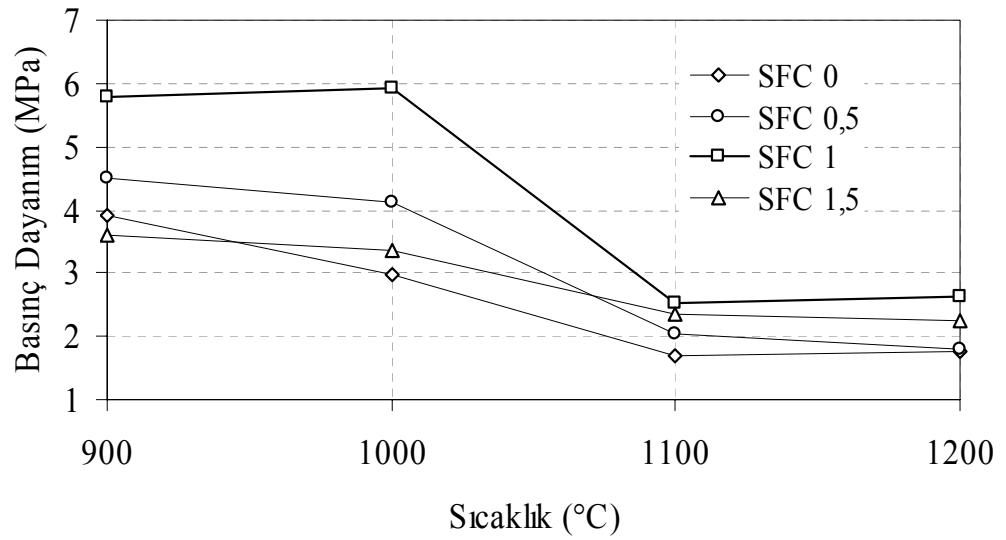
Ek-4. Periyotlara Göre Çelik Lif Dozajı – Basınç Dayanımı İlişkisi (1100 °C).



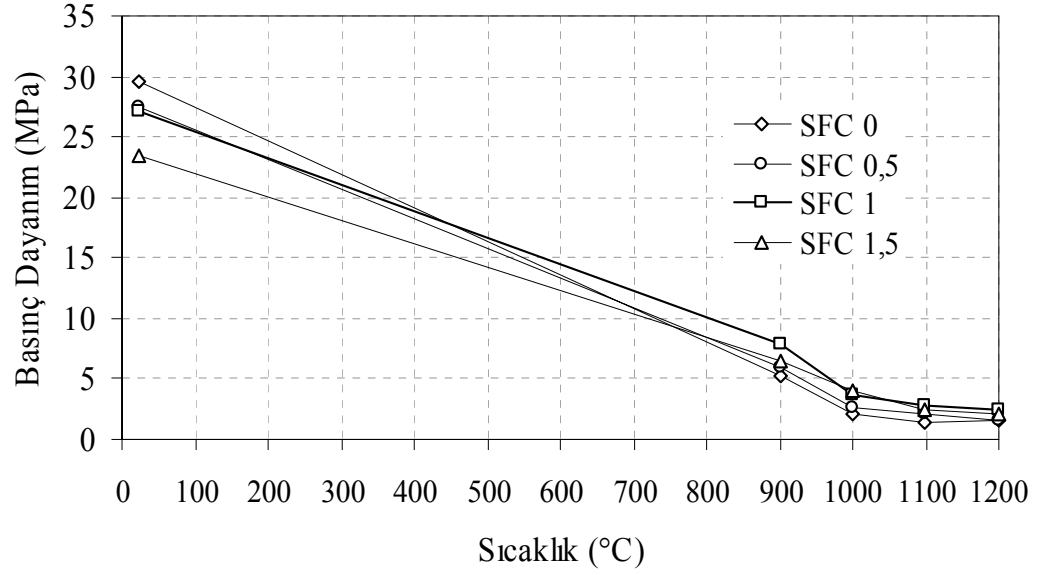
Ek-5. Periyotlara Göre Çelik Lif Dozajı – Basınç Dayanımı İlişkisi (1200 °C).



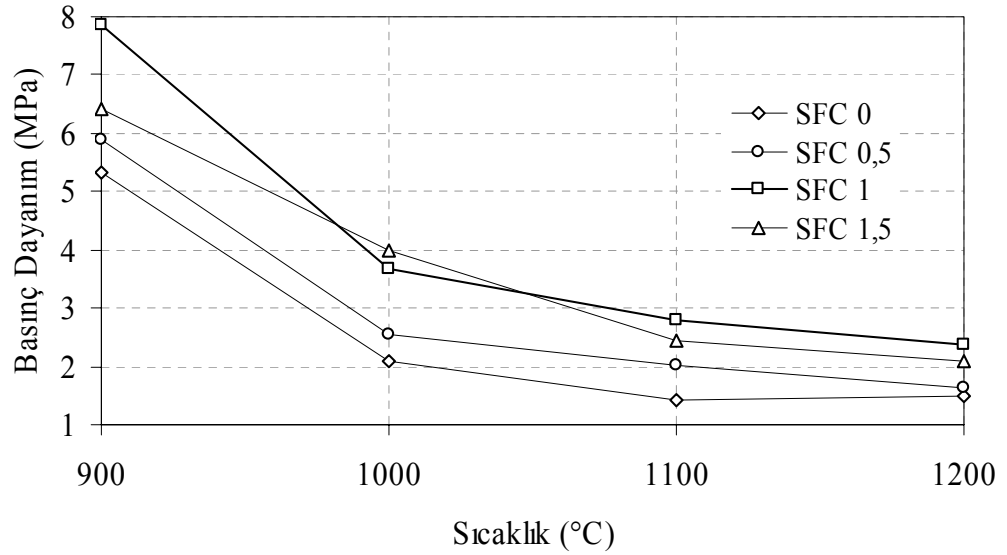
Ek-6. Çelik Lif Katkısına Göre Basınç Dayanımı-Sıcaklık İlişkisi-1 (7 Günlük).



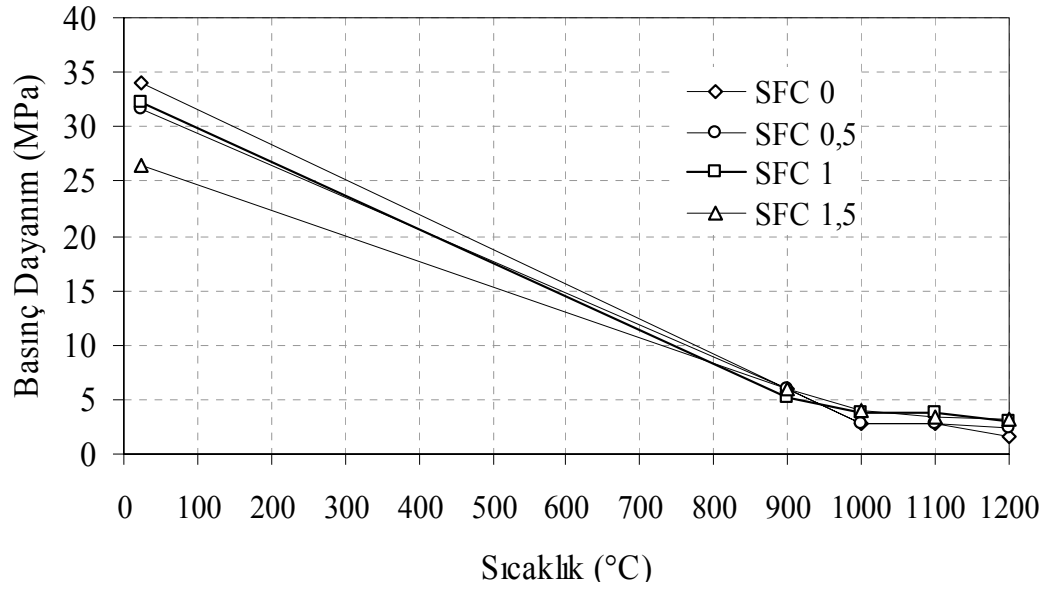
Ek-7. Çelik Lif Katkısına Göre Basınç Dayanımı-Sıcaklık İlişkisi-2 (7 Günlük).



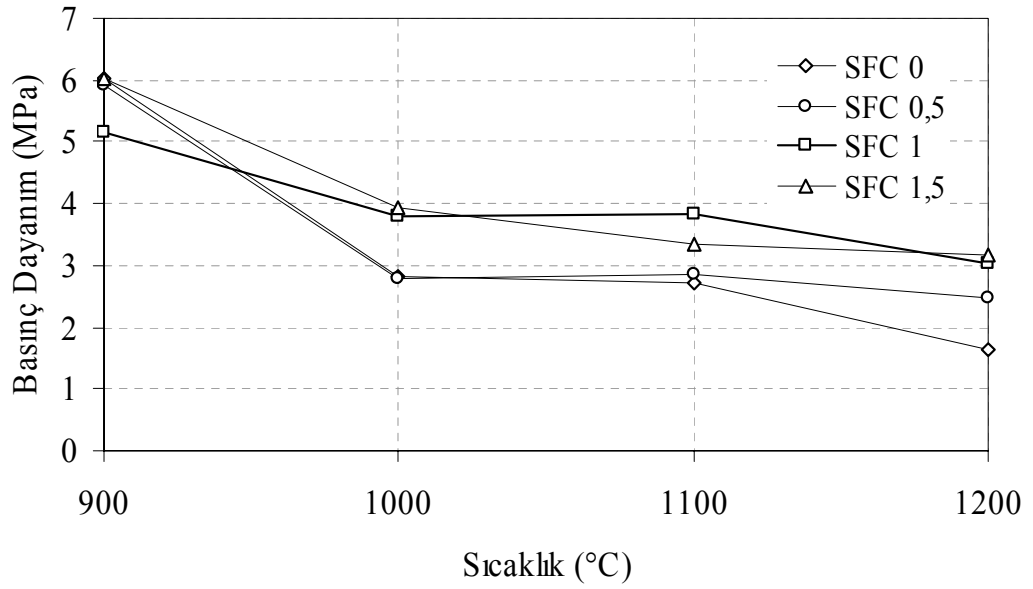
Ek-8. Çelik Lif Katkısına Göre Basınç Dayanımı-Sıcaklık İlişkisi-1 (28 Günlük).



Ek-9. Çelik Lif Katkısına Göre Basınç Dayanımı-Sıcaklık İlişkisi-2 (28 Günlük).



Ek-10. Çelik Lif Katkısına Göre Basınç Dayanımı-Sıcaklık İlişkisi-1 (90 Günlük).



Ek-11. Çelik Lif Katkısına Göre Basınç Dayanımı-Sıcaklık İlişkisi-2 (90 Günlük).



Ek-12. 900 °C Sıcaklığa Maruz Kalmış Numuneler.



Ek-13. 1000 °C Sıcaklığa Maruz Kalmış Numuneler.



Ek-14. 1100 °C Sıcaklığa Maruz Kalmış Numuneler.



Ek-15. 1200 °C Sıcaklığa Maruz Kalmış Numuneler.

ÖZGEÇMİŞ

1980’ de Kayseri’ de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini yine Kayseri’de tamamladı. 1998 yılında Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2004 yılında mezun oldu ve aynı bölümde DPT destekli YUUP Yaygınlaştırılmış Ulusal ve Uluslar Arası Projeler (YUUP) kapsamındaki ve Prof. Dr. Ergin ATIMTAY başkanlığındaki “Depremden Hasar Görmüş Yapıların Güçlendirilmesi-Dış Perde Duvar Uygulaması” isimli projede 3 yıl proje asistanı olarak çalıştı. Ağustos 2007’de yine aynı bölümde Araştırma Görevliliği sınavını kazanarak göreve başladı.

Sürekli Adres : Erciyes Üniv. Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
38039 Kayseri

Telefon : (0352) 4374937/ 32383

E-posta : dugenci@erciyes.edu.tr

