

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

ÇELİK LİF KATKILI BETONLARA SICAKLIK ETKİSİ

**Tezi Hazırlayan
Ferhat TEKDEMİR**

**Tezi Yöneten
Yrd. Doç. Dr. Fatih ALTUN**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Şubat 2007
KAYSERİ**

Yrd. Doç. Dr. Fatih ALTUN danışmanlığında **Ferhat TEKDEMİR** tarafından hazırlanan “**Çelik Lif Katkılı Betonlara Sıcaklık Etkisi**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

23.02.2007

JÜRİ:

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Fatih ALTUN

Üye : Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR

Üye : Yrd. Doç. Dr. Kamil AYDIN

ONAY:

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

..... / /

Prof. Dr. Nusret AYYILDIZ
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Araştırmanın gerçekleşmesinde büyük bir anlayış ve sabırla bana yardımcı olan, çalışmalarımı izleyen ve yönlendiren hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Fatih ALTUN' a en içten teőekkürlerimi sunmak isterim. Ayrıca deneysel çalışmalarım sırasında emeği geçen Uzman Kamuran ARI' ya ve tüm Yapı Malzemeleri laboratuarı çalışanlarına teşekkür ederim.

FBT-06-21 proje numarası ile çalışmamıza araştırma fonunca destek verilmiştir. Bu destekten dolayı araştırma fonuna da teşekkür ederim.

Deneyletimde kullandığım çimentoyu ve agregayı temin eden imsa imento Sanayi ve Ticaret A.Ő. ' ye, elik telleri temin eden Beksa elik Kord Sanayi ve Ticaret A.Ő.'ye ve kimyasal katkıyı temin eden YKS firmasına ayrıca teşekkür ederim.

Manevi desteklerinden dolayı sevgili Babama, Anneme ve Kardeřime en içten teőekkürlerimi sunarım.

ÇELİK LİF KATKILI BETONLARA SICAKLIK ETKİSİ

Ferhat TEKDEMİR

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Şubat 2007

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Fatih ALTUN

ÖZET

Çalışmada, Dramix RC-80/60-BN tipi çelik lifler C30 sınıfında üretilen 150x300 mm 'lik silindirik ve 150x300x300 mm' lik prizmatik beton numuneler içerisinde %0.5, %1.0 ve %1.5 hacimsel oranlarda ilave edilmiştir. Ayrıca çelik lif katkısız silindir beton numuneler de kontrol amaçlı üretilmiştir. Üretilen betonun su/çimento oranı 0.58 ve slumpı 150 mm \pm 20 mm seçilmiştir. Sıcaklık deneyi, numunelerin fırına yerleştirilmesi ve seçilen sıcaklık derecelerine kadar ayrı ayrı ısıtılmaları şeklinde gerçekleştirilmiştir. Numunelere sıcaklığın etkisini belirlemek amacıyla 50 °C, 100 °C, 150 °C, 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C'lik sıcaklık değerleri uygulanmıştır.

Fırın sıcaklığının kontrollü yükselme zamanı artı kararlı durum ısıtılma zamanı, toplamda 6 saatlik ısıtma periyodunu oluşturmuştur. Deneylede numuneler 6 saat boyunca termal etkiye maruz bırakılmasından ve numunelerin oda sıcaklığına kadar soğutulmasından sonra basınç dayanımları, elastisite modülleri ve tokluk değerleri 7, 28 ve 90 günlük olarak ölçülmüştür.

Çalışma sonucunda, farklı tel oranlarına ve değişen sıcaklık etkilerine göre betonun basınç dayanımı, elastisite modülü ve tokluk değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Sonuç olarak, sıcaklığın artmasıyla basınç dayanımı genel olarak azalmıştır. 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 sağlanmıştır. Çelik lif katkılı betonlarda E-modülünün değişimi de basınç dayanımına paralellik göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Beton, Çelik Tel, Sıcaklık, Basınç Dayanımı, Çekme dayanımı.

THE EFFECT OF TEMPERATURE ON STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE

Ferhat TEKDEMİR

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M. Sc. Thesis, February 2007

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Dr. Fatih ALTUN

ABSTRACT

In this study, tests were carried out on four series of concrete specimens including the control group. Cylindrical and prismatic specimens of concrete are produced with a water/cement ratio of 0.58 and having a reference slump of 150 mm \pm 20 mm by Dramix RC 80/60 BN type steel fiber in the amounts of % 0.5, % 1.0, and % 1.5 by absolute volume. Elevated temperature exposures were accomplished by placing the specimens into an electric furnace and heating until they reached at one of seven selected temperatures, which were 50 °C, 100 °C, 150 °C, 200 °C, 400 °C, 600 °C and 800 °C.

The controlled furnace temperature rise time plus the steady state heating period amounted to a total heating period of six hours. Following this six-hour thermal exposure period, and after the concrete specimens cooled in the furnace back to room temperature, the compressive strength, modulus of elasticity and toughness of each specimen was measured at 7th, 28th and 90th days.

At the end of the study; compressive strength, modulus of elasticity and toughness of concrete are given in relation to the ratio of steel fibers and temperatures, comparatively. As a result, in general compressive strength decreases while temperature increases. But at 50 °C, compressive strength of steel fiber reinforced concrete increases. 1.5% steel fiber ratio increases compressive strength at 600 and 800 °C. Change of modulus of elasticity of steel fiber reinforced concrete is similar to change of compressive strength.

Keywords: Concrete, Steel Fiber, Temperature, Compressive Strength, Tensile Strength.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
KISALTMALAR VE SİMGELER.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
GİRİŞ 1. BÖLÜM	1
GENEL BİLGİLER 2. BÖLÜM	3
DENEYSEL ÇALIŞMALAR 3. BÖLÜM	10
3.1. Beton Karışımı.....	10
3.2. Çelik Lif Özellikleri	12
3.3. Numunelerin Üretilmesi	13
3.3.1. Çelik Lif Katkılı ve Katkısız Silindir Beton Numunelerin Üretilmesi.....	13
3.3.2. Prizmatik Beton Kiriş Numunelerin Üretilmesi	15
3.4. Numunelerin Bazı Mekanik Özelliklerinin Tespiti.....	16
3.4.1. Oda Sıcaklığı Uygulanan Silindir Beton Numunelerde Basınç Deneyi.....	16
3.4.2. Oda Sıcaklığı Uygulanan Silindirik Beton Numunelerde Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi.....	18
3.4.3. Oda Sıcaklığı Uygulanan Prizmatik Beton Numunelerde Eğilme Deneyi... ..	19
3.5. Silindir Beton Numunelere Sıcaklık Uygulanması.....	20
3.5.1. 50 ila 800 °C Sıcaklık Uygulanan Silindir Beton Numunelerde Basınç Deneyi.....	22
BULGULAR 4. BÖLÜM.....	24
4.1. Silindir Beton Basınç Deneyleri Bulguları.....	24
4.2. Silindir Beton Yarma Deneyleri Bulguları.....	32
4.3. Prizmatik Beton Deneyleri Bulguları.....	32

SONUÇ 5. BÖLÜM.....	35
KAYNAKLAR.....	37
EKLER.....	40
ÖZGEÇMİŞ.....	55

KISALTMALAR VE SİMGELER

NDB	: Normal Dayanımlı Beton.
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.

TABLULAR LİSTESİ

- Tablo 3.1. 1 m³ Beton İçin Karışım Hesabı
- Tablo 3.2. Silindir Beton Numunelerin Adedi ve Karışıma Dahil Edilen Lif Oranları
- Tablo 4.1. Silindir Numune Mekanik Özellikleri
- Tablo 4.2. Prizmatik Kiriş Beton Numune Mekanik Özellikleri

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	Karışım Agregası Granülometri Eğrisi.....	11
Şekil 3.2.	Deneylerde Kullanılan Çelik Lif.....	12
Şekil 3.3.	Çelik Lif Katkılı Beton.....	12
Şekil 3.4.	Beton Karışımının Gerçekleştirildiği Mikser.....	14
Şekil 3.5.	Kalıplara Yerleştirilmiş Silindir Numuneler.....	15
Şekil 3.6.	Kürdeki Silindir Numuneler.....	15
Şekil 3.7.	Üretilen Prizmatik Numuneler.....	16
Şekil 3.8.	3000 kN' luk Basınç Presi.....	17
Şekil 3.9.	Deplasman Ölçer.....	17
Şekil 3.10.	Yarma Deneyi-Numune Prestes.....	18
Şekil 3.11.	Yarma Deneyi-Deney Sonrası Oluşan Çatlaklar.....	18
Şekil 3.12.	Eğilme Deney Düzeneği.....	19
Şekil 3.13.	Sıcaklık Uygulanan Fırın.....	20
Şekil 3.14.	Elektrik Fırınına Yerleştirilmiş Numuneler.....	21
Şekil 3.15.	400 °C Sıcaklığa Maruz Kalmış Numuneler.....	21
Şekil 3.16.	600 °C Sıcaklığa Maruz Kalmış Numuneler.....	22
Şekil 3.17.	800 °C Sıcaklığa Maruz Kalmış Numuneler.....	22
Şekil 4.1.	7 Günlük Numunelerde Dayanım-Sıcaklık Grafiği.....	25
Şekil 4.2.	28 Günlük Numunelerde Dayanım-Sıcaklık Grafiği.....	26
Şekil 4.3.	90 Günlük Numunelerde Dayanım-Sıcaklık Grafiği.....	27
Şekil 4.4.	7 Günlük Numunelerde Elastisite Modülü-Sıcaklık Grafiği.....	28
Şekil 4.5.	28 Günlük Numunelerde Elastisite Modülü-Sıcaklık Grafiği.....	29
Şekil 4.6.	90 Günlük Numunelerde Elastisite Modülü-Sıcaklık Grafiği.....	29
Şekil 4.7.	7 Günlük Numunelerde Tokluk-Sıcaklık Grafiği.....	30
Şekil 4.8.	28 Günlük Numunelerde Tokluk-Sıcaklık Grafiği.....	31
Şekil 4.9.	90 Günlük Numunelerde Tokluk-Sıcaklık Grafiği.....	31
Şekil 4.10.	Prizmatik Numuneler İçin Ortalama Kuvvet-Deplasman Eğrileri.....	33

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Beton malzemesi kullanım ömrü boyunca, aşınma, donma çözülme, kimyasal ortamlara, dinamik yüklere ve sıcaklık etkilerine maruzdur. Özellikle saha betonları, endüstriyel zeminler ve beton yollar çok şiddetli çevre koşullarına maruz kalabilmektedir. Bu etkilerden bir tanesi de sıcaklıktır. Betonun sıcaklığı çeşitli etkenlerle biraz yükseldiği zaman, dayanımında önemli düşüşler gözlenir. Betonun içindeki çimento pastası, agrega ve su sıcaklık karşısında farklı davranışlar ortaya koyarlar. Çimento pastası sıcaklık artışıyla doğal bir genleşme göstermekte, bu arada hidratların içerdikleri suyu kaybetmesiyle de yapıda büzülme meydana gelmektedir. Bu genleşme ve büzülme aynı anda meydana geldiğinde yapıda gerilmeler oluşmakta ve bu gerilmeler etkisiyle de çatlaklar ortaya çıkmaktadır. Bu durumun doğuracağı olumsuz koşulları gidermek için çelik tel kullanımı etkili bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yapılardaki beton malzemesine sıcaklık etkisi, sıkça rastlanılan bir problemdir. Yangında önce kılcal, sonra jel boşluklarda su buharlaşır ve büzülme olur. Çatlakların belirmesi ile çekme dayanımı düşer. Artan sıcaklık ile lifsiz betonun basınç dayanımı da azalmaya başlar. Sıcaklığın daha da artması sonucunda Ca(OH)_2 bünyesindeki suyu kaybederek CaO 'ya dönüşür ve beton hacminde % 30'a varan mertebelerde büzülme meydana gelir. Söndürme ile sıcaklık azalmakta ancak bu sefer de betona su verildiği için tam tersi olarak su CaO 'yu tekrar Ca(OH)_2 'ye çevirir ve bunun sonucunda da betonda hacim genişleyerek hasar meydana gelir.

Beton da oluşan bu büzülme ve genleşme sonucunda derin çatlaklar meydana gelir. Bu da betonda istenmeyen durabilite problemlerinin oluşmasına neden olur. Projelendirmede durabilite probleminin dikkate alınmamış olması öngörülen proje ömrünün kısılmasına ve ekonomik olmayan bir yapının ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Çelik liflerin kullanım alanları oldukça yaygınlaşmıştır. Karayollarında, tünellerde, kaplamalarında, prekast elemanlarda, saha betonlarında, endüstriyel zeminlerde ve betonarme çerçevelerde, beton dayanımına olan olumlu etkileri ve enerji yutma kapasitelerini daha da artırması nedeniyle uygulama alanı bulmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, sıcaklık etkisine maruz kalan betonlarda çelik lifin katkısı ve betona sağlayacağı iyileştirmeler; deneysel verilere bağlı olarak incelemektir. Çünkü betonda oluşan büzülme ve genleşmelerde, çelik lifin çimento hamurunda oluşacak çatlakları kontrol edebilmesi önemli bir detay olarak karşımıza çıkmaktadır. Çalışmanın sonuçlarından elde edilecek verilerle, yapılardaki beton malzemesine sıcaklık etkisi durumunda, çeklik lif katılı beton kullanımının daha etkin bir hale gelip gelemeyeceği ile ilgili değerlendirmeler yapılacaktır.

2. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

Basınç etkisi altında mekanik davranışları elverişli olan beton malzemesinin, çekme ve eğilme etkisi altındaki davranışları çoğu zaman yeterli olmamaktadır. Bu durum elverişli olmayan mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için araştırmacıların uğraş alanlarının başında gelmektedir.

Beton özelliklerinin iyileştirilmesi çabaları ile mühendisler, teknolojik gelişmelere paralel olarak daha avantajlı yapı malzemeleri arama yoluna gitmişlerdir. Diğer bir deyişle hem basınç, hem çekme, hem de eğilme dayanımı yüksek olan, ancak metal yapı malzemelerinden daha ekonomik bir yapı malzemesi oluşturulmasına çalışılmaktadır. 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.

Çelik lif katkısız yapılardaki beton malzemesine sıcaklık etkisi, sıkça rastlanılan bir problemdir. Yangın, baca, füze rampaları, bazı kimyasal ürün fabrikaları malzemelerin yüksek sıcaklıklara (>600 °C) maruz kalmasına yol açarlar. Normal Portland çimentosu ile yapılmış bir beton 150 °C den, hatta 100 °C den itibaren değişime uğramaya başlar. Önce kılcal, sonra jel boşluklarda su buharlaşır ve büzülme olur. Çatlakların belirmesi ile çekme dayanımı düşer, 300 °C den itibaren basınç dayanımı da azalmaya başlar, zira alüminli ve demir oksitli bileşenlerde dehidratasyon (kristal suyunu kaybetme) başlamıştır. 400 °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 °C aşılmınca silis jelleri de parçalanmaya başlar, $600-700$ °C aşıldığında tüm öğeler harap olmuştur. Bu arada

sıcaklıktaki beton davranışına agregaların silisli kalkerli oluşlarının da etkisi vardır. Kuvartz 570 °C de allotropik formu olan tridimite % 16 hacim genişlemesiyle dönüşür ve betonu patlatır. Kalkerlerin kirece dönüşümü daha yüksek sıcaklıklarda, 800-900 °C civarındadır. Yani kalker agregalı betonlar yangına nispeten dayanır. Sıcaklık 300 °C yi aşınca beton pembemsi bir renk alır, 600 °C yi aşınca ise renk beyaz-gri olur, 600 °C yi aşan betonların mukavemeti ilk mukavemetlerinin ancak % 20' si olabilir [1].

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 [2-4].

Çelik lifli betonların kullanım alanları ve oranları gün geçtikçe artmaktadır. Kullanım alanları olarak; püskürtme beton uygulamaları, yol kaplamaları, su ve deniz yapıları, zemin kaplamaları, prefabrike elemanların üretimi, depreme ve sıcaklığa dayanıklı yapılar, kabuk ve güvenlik yapıları sıralanabilir. Çelik tel donatılı püskürtme betonlar ise tünel kaplama, şevlerin stabilitesi, kazıların ve temellerin desteklenmesi, kanal kaplamaları, köprü mesnetlerinin korunması, nükleer atıkların saklandığı büyük mağaraların kaplamaları, kanalizasyon, baraj, yüzme havuzu ve su depoları gibi birçok kullanım alanına sahiptir. Ayrıca diğer önemli bir kullanım alanı ise liman, otoyol, demiryolu ve köprüler gibi yapılarda yapı elemanlarının tamir ve onarımıdır [2, 5-7].

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 [8].

Çelik tel takviyeli betonların gerilme-şekil değiştirme davranışı ile ilgili bir çalışmada; bulanık mantık yaklaşımıyla tek eksenli basınç altındaki çelik tel takviyeli betonların gerilme-şekil değiştirme eğrisi elde edilmiştir. Sunulan model kullanılarak, çelik tel takviyeli betonların gerilme-şekil değiştirme davranışının, basınç dayanımı ve en büyük gerilmeye karşı gelen şekil değiştirme değerini çok büyük bir yaklaşıklıkla tahmin edilebildiği görülmüştür [9].

Yüksek performanslı lifli betonun eğilme sünekliği enerjisi ve darbe enerjisi üzerine yapılan bir çalışmada; boy/en oranı 30/0.50 ve 50/0.60 boy/en oranlı 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 [10].

Literatürde betona sıcaklık etkisi ile ilgili yapılan araştırmalarda, betonun sıcaklık etkisinde donatıyı korumada çok önemli bir malzeme olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ancak, sıcaklık etkisinde basınç dayanımındaki azalmalar; çimento hamuru ile agrega arasındaki ısınmadaki uyum farklılığından, agrega çimento ara yüzeyindeki bağlantı, ısınma sırasında buharlaşan suyun basıncı ve çimento hamuru ile agregadaki kimyasal yapı değişikliği gibi konular esas alınarak incelenmiştir [11, 12].

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 [13].

Başka bir çalışmada, 800 °C' ye kadar sıcaklığa maruz kalan betonun basınç dayanımı ve gözenek yapısı üzerine yapılan bir çalışmada; sıcaklığa maruz kalan yüksek ve normal mukavemetli betonun basınç dayanımı ve gözenek yapısı incelenmiştir. Deney sonucunda, basınç dayanımları, yüksek dayanımlı betonda normal betona göre daha hızlı azalmış ancak yüksek dayanımlı betonun sonuç basınç dayanımı değerleri daha fazla ölçülmüştür [14].

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 büyüttüğü sonucuna varılmıştır [24].

Betonlara sıcaklık etkisi ile ilgili diğer bir çalışmada, betona ağırlıkça %9, 12 ve 15 yüzdelerinde epoxy (reçine) katılmış numuneler oda sıcaklığı, 100, 150 ve 200 °C'lik sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda numunelerin gerilme-şekil değiştirme ilişkilerini elde etmek için 6 adet yükleme-boşaltma deneyi uygulanmıştır. Ayrıca, numunelerin uygulanan sıcaklık sonrası basınç dayanımı ve elastisite modülü değerleri tayin edilmiştir. Deney sonucunda, basınç dayanımlarının %9 ve 15 epoxy (reçine) katkılı numunelerde sıcaklıktan etkilenmeyip sabit kaldığı, ancak %12 epoxy (reçine) katkılı numunelerde sıcaklığa bağlı olarak oda sıcaklığına göre 200 °C sıcaklık sonrası %207 oranında artış göstermiştir. Elastisite modüllerinin ise, %9 epoxy (reçine) katkılı beton numunelerde sıcaklığa bağlı olarak sabit kaldığı ancak %12 ve 15 epoxy (reçine) katkılı beton numunelerde %67 oranında artış gösterdiği bulunmuştur [15].

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 [16].

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 [17].

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 yüksektir. İlmenit betonunun gama ışını geçirimsizliği daha azdır. Sıcaklık ya da yangın uygulama süresi betonların mekanik özellikleri ile orantılıdır. İlmenit betonu yüksek sıcaklıklara karşı daha dirençlidir [18].

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 [19].

Lif malzemesi bulunan betonlarda sıcaklık etkisi ile ilgili bir çalışmada, sıcaklığın ve soğuma rejimlerinin çelik ve polipropilen lifli betonun basınç dayanımı ile boşluk özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Farklı sıcaklık derecelerine (800 ve 1100 °C) ve farklı soğuma rejimlerine (yavaş ve hızlı soğuma) maruz kaldıktan sonra, yüksek performanslı betonun (HPC) normal betona (NSC) kıyasla davranışı araştırılmıştır. Betonun basınç dayanımındaki azalım ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre; yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonra HPC 'nin ve NSC 'nin dayanımları çok hızlı bir şekilde

düşmüştür. Hızlı soğumayla meydana gelen termal şokun basınç dayanımında meydana getirdiği düşüş, termal şok olmayan yavaş soğuma ile aynı olmayıp biraz fazla değerde gerçekleşmiştir [20].

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/dak. 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 [21].

Yüksek sıcaklıklara maruz kalan yüksek performanslı lifli betonların dağılma ve geriye kalan mekanik özellikleri ile ilgili bir çalışmada, dağılma olayı ile yüksek performanslı lifli betonun geriye kalan mekanik özellikleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu amaçla 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 [22].

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 [23].

Bu çalışmada ise, sabit beton sınıfında normal betona değişik oranlarda Dramix RC-80/60-BN tipi çelik lifler ilave edilerek silindir beton numuneler üretilmiştir. Bu lif tipi için üretilen beton özelliklerini belirlemek amacıyla numunelere 7., 28. ve 90. günler sonunda oda sıcaklığında, 50 °C, 100 °C, 150 °C, 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C gibi değişik sıcaklık değerleri uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, belirli çelik lif tipi için normal dayanımlı betonlarda (NDB) farklı tel oranlarına ve değişen sıcaklık etkilerine göre betonun basınç dayanımı, enerji tüketim kapasiteleri ve elastisite modülü değerlerinin değişim eğrileri deneysel sonuçlara bağlı olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürde verilen çalışma sonuçları ile kıyaslanmıştır. Sıcaklık etkisine maruz betonlara verilen lif tipi için uygun hacimsel oran değeri deneysel verilere bağlı olarak tespit edilmiş ve önerilmiştir.

3. BÖLÜM

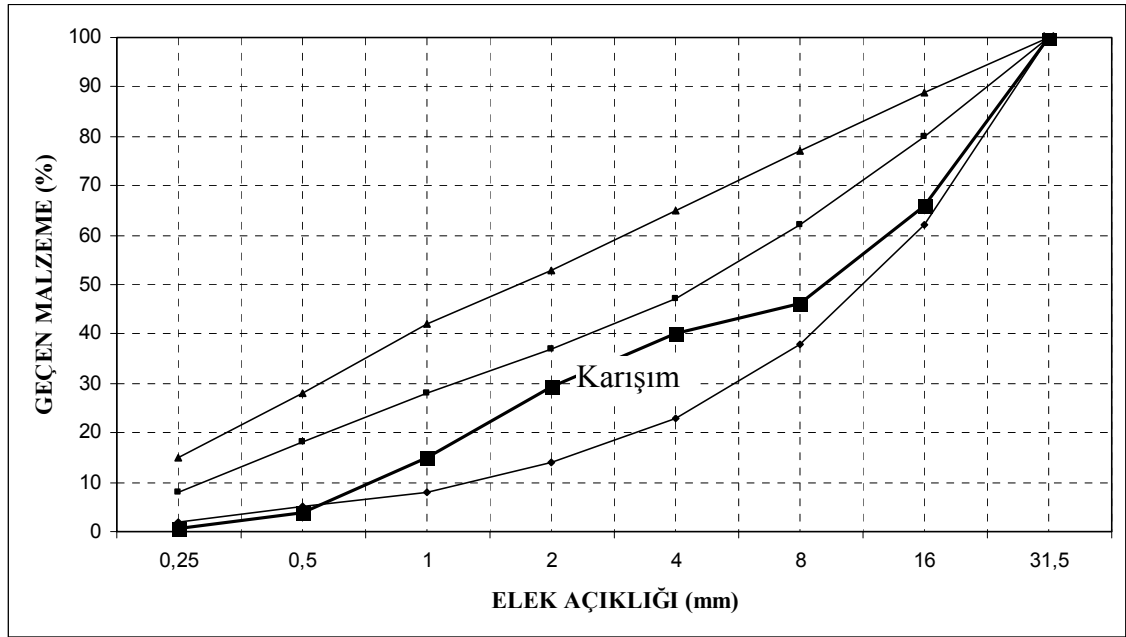
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar, normal beton sınıfında çelik lif katkısız ve değişik dozajlarda çelik lif katkılı beton deneyleri olarak, oda sıcaklığından 800 °C 'ye kadar sıcaklıklar 7, 28 ve 90 günlük silindir numunelere uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık uygulanan silindir numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyleri yapılarak enerji tüketimi ve E-modülü değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca oda sıcaklığında çelik lifli beton özelliklerini elde etmek amacıyla çelik lif katkısız ve çelik lif katkılı silindir beton numuneler üzerinde basınç ile yarmada çekme deneyi ve prizmatik beton numuneler üzerinde eğilmede çekme deneyler yapılmıştır.

3.1. Beton Karışımı

Çelik lif katkılı silindir beton numuneler normal beton sınıfında %0.0, %0.5, %1.0 ve %1.5 hacimsel oranlarında çelik lif katılarak üretilmiştir. Ayrıca prizmatik kiriş numunelerde aynı beton ve çelik lif oranlarında üretilmiştir.

Deneysel malzemelerin kuru yüzey doygun özgül ağırlıkları (KYDÖA), iri mıcır, ince mıcır ve kırma kum için sırasıyla 2.68, 2.66 ve 2.32 kg/dm³ dür. Beton üretiminde PKÇ 42,5R (CEM II/B-M(V-L) 42.5 N) çimentosu kullanılmıştır. Beton agregası olarak kum %40, ince agregası %25 ve iri agregası %35 oranlarında alınarak sonuç karışım agregası elde edilmiştir. Şekil 3.1.'deki diyagramda kesik çizgili eğriler standart eğriler olup, karışım agregası eğrisi ise koyu renkte ve sürekli bir eğri olarak gösterilmiştir [25].



Şekil 3.1. Karışım Agregası Granülometri Eğrisi

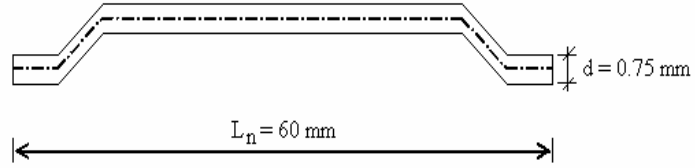
Bu çalışmada üretilen çelik lif katkılı silindirik beton numunelerde, su/çimento oranı 0.58 ve çökme değeri normal akışkanlaştırıcı ile $150 \text{ mm} \pm 20 \text{ mm}$ aralığında sabit tutulmuştur. Beton karışım değerleri ve katılan lif miktarları 1 m^3 beton için Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1. 1 m^3 Beton İçin Karışım Hesabı

Malzeme	Ağırlık (kg)
Su	200
Çimento (PÇ 42.5) (CEM II/B-M(V-L) 42,5 N)	343
İri Mıdır (15-25 mm)	661
İnce Mıdır (7-15 mm)	462
Kırma Kum (0-7 mm)	755
Akışkanlaştırıcı (Normal)	3.45
% 0.5 Çelik Tel İçin	37,40
% 1 Çelik Tel İçin	74,50
% 1.5 Çelik Tel İçin	112,20

3.2. Çelik Lif Özellikleri

Çalışmada; 60 mm boyunda, 0.75 mm çapında olan Dramix RC 80/60 BN tipi çelik lif kullanılmıştır. Çelik lif çekme dayanımı minimum 1050 N/mm^2 dir. Yoğunluğu 7.48 kg/dm^3 tür. Kullanılan çelik lif tipi şematik olarak Şekil 3.2.'te verilmiştir.



Şekil 3.2. Deneylerde Kullanılan Çelik Lif

Çelik lifler mikserde 20 kg/dak. hız ile homojen karışım sağlanacak şekilde katılmış ve karışım maksimum hızda 5 dakika çevrilmiştir [26]. İmal edilen çelik lifli beton homojen karışımı Şekil 3.3' de verilmiştir.



Şekil 3.3. Çelik Lif Katkılı Beton

Çelik liflerin fonksiyonu, beton içerisinde yeni adezyon kuvvetleri oluşturmaktır. Beton içerisinde bulunan sürtünme kuvvetleri malzeme içerisinde bulunan mikro çatlaklar nedeniyle düzensizdir. Çelik lifler betonun içerisindeki zayıf bölgelerde küçük köprüler oluşturarak çalışır. Bu nedenle çatlak oluşumu çelik lifli betonda daha düzenlidir. Karışıma giren çelik lif miktarları Tablo 3.1.' de verilmiştir.

3.3. Numunelerin Üretilmesi

3.3.1. Çelik Lif Katkılı ve Katkısız Silindirik Beton Numunelerin Üretilmesi

Çelik lif katkı ve katkısız silindirik beton numunelerin adedi ve karışıma dahil edilen lif oranları Tablo 3.2.'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Silindirik Beton Numunelerin Adedi ve Karışıma Dahil Edilen Lif Oranları

Numune Dağılımı					
Numune (gün)	Sıcaklık (°C)	Çelik Tel Yüzdeleri (% Hacimsel)			
		0.0	0.5	1.0	1.5
7 Günlük	Oda Sıcaklığı	3	3	3	3
	50	3	3	3	3
	100	3	3	3	3
	150	3	3	3	3
	200	3	3	3	3
	400	3	3	3	3
	600	3	3	3	3
	800	3	3	3	3
28 Günlük	Oda Sıcaklığı	3	3	3	3
	50	3	3	3	3
	100	3	3	3	3
	150	3	3	3	3
	200	3	3	3	3
	400	3	3	3	3
	600	3	3	3	3
	800	3	3	3	3
90 Günlük	Oda Sıcaklığı	3	3	3	3
	50	3	3	3	3
	100	3	3	3	3
	150	3	3	3	3
	200	3	3	3	3
	400	3	3	3	3
	600	3	3	3	3
	800	3	3	3	3

Betona ilave edilen çelik liflerin yoğunluğu 7.48 kg/dm^3 olup % 0.5 hacimsel lif oranı için kullanılan lif ağırlığı,

$$\begin{aligned} \text{Tel ağırlığı} &= 1000 \text{ dm}^3 \times (0.5/100) \times 7.48 \text{ (lif yoğunluğu)} \\ &= 37.40 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Beton üretiminde 1000 dm³'lük bir mikser kullanılmıştır. Üretim esnasında ilk olarak karışım suyu dökülmeye başlanmış, daha sonra su ekleme işlemi devam ederken agrega eklenmeye başlanmıştır. Agreganın % 10' u eklendikten sonra agregayla ve suyla birlikte çimento ilave edilmiştir. Agregaya, su ve çimento tamamen karıştırıldıktan sonra çelik lifler 20 kg/dk. hızla eklenmiştir. Çelik lif bittikten sonra karıştırma işlemi 5 dk. devam ettirilmiştir. Karıştırma işlemi bittikten sonra beton, su emmeyen bir yüzeye boşaltılmış ve kürekle karıştırılarak homojen bir hale getirilmiştir. Beton karışımı ile ilgili görünüm Şekil 3.4.' de verilmiştir [27].



Şekil 3.4. Beton Karışımının Gerçekleştirildiği Mikser

Taze haldeki betondan homojen karışım sonrası 150 x 300 mm silindirik beton numuneler kalıba üç aşamada doldurularak alınmıştır (Şekil 3.5.).

Çelik lif katkılı ve katkısız silindirik numuneler üretildikten 24 saat sonra çelik kalıplardan çıkartılıp kür havuzlarına konmuştur. Kür havuzunun sıcaklığı 23 ± 2 °C' ve kirece doygundur [29]. Numuneler burada sıcaklık uygulanacak günden bir önceki güne kadar tutulmuştur.



Şekil 3.5. Kalıplara Yerleştirilmiş Silindir Numuneler



Şekil 3.6. Kürdeki Silindir Numuneler

3.3.2. Prizmatik Beton Kiriş Numunelerin Üretilmesi

Beton imalatı 3.3.1. deki gibi yapılarak beton kiriş numuneler üretilmiştir [28],[29]. Üretilen 1000 dm^3 betondan 12 adet numune alınmıştır. Çelik lif boyutu 40 mm ' den fazla olduğu için TS 10515' e göre genişlik ve yükseklik 150 mm ve açıklık 750 mm seçilmiştir. Beton numune kalıbına yerleştirilirken vibrasyon uygulanmıştır. Geniş bir mala ve kürek kullanılarak beton yüzeyi düzeltilmiştir. Beton kalıba iki tabaka halinde dökülmüştür [32].

%0,5 çelik lif ilaveli prizmaya 0,63 kg (84.37 cm³) çelik lif, %1 çelik lif ilaveli prizmaya 1.26 kg (168.75 cm³) çelik lif ve %1.5 çelik lif ilaveli prizmaya 1.89 kg (253.12 cm³) çelik lif eklenmiştir.



Şekil 3.7. Üretilen Prizmatik Numuneler

3.4. Numunelerin Bazı Mekanik Özelliklerinin Tespiti

3.4.1. Oda Sıcaklığı Uygulanan Silindirik Beton Numunelerde Basınç Deneyi

Kontrol numuneleri ısı etkisine maruz bırakılmamış sadece oda sıcaklığında kirece doymun su (23 ± 2 °C) küründe bekletildikten sonra yine 7., 28. ve 90. gün sonunda havuzdan çıkarılmış ve 1 gün laboratuvarında kurumaya bırakılmıştır. Çelik lif katkılı ve katkısız silindir beton numuneler için kırılma yükleri belirlenmiş, elastisite modülleri ve tokluk değerleri standarda uygun olarak deney sonuçlarından elde edilen eğriler yardımıyla hesaplanmıştır.

Basınç dayanımı deneyleri Şekil 3.8.' de verilen 3000 kN kapasiteli beton basınç presi kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.8. 3000 kN' luk Basınç Presi

Deney numunelerinin elastisite modüllerinin hesaplanması için oluşan boy kısaltmalarının belirlenmesi amacı ile silindir numuneye deplasman ölçer takılmıştır (Şekil 3.9.). Deneyler sırasında, silindir numunelerde oluşan deplasmanlar her 20 kN için okunarak bilgisayara aktarılmıştır. Bu değerler yardımıyla gerilme-şekil değiştirme eğrileri elde edilmiştir. Gerilme-şekil değiştirme eğrilerinden E-modülü hesaplanmıştır.



Şekil 3.9. Deplasman Ölçer

3.4.2. Oda Sıcaklığı Uygulanan Silindirik Beton Numunelerde Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi

Yarmada çekme dayanımının tayini için; %0, %0.5, %1.0 ve %1.5 hacimsel oranlarında çelik lif katkılı 6x4 adet silindir beton numune üretilmiştir. Silindir numune boyutları 150x300 mm olarak seçilmiştir. Numuneler uygun kür şartlarında bekletilerek 28 gün sonunda TS EN 12390-6' ya uygun yarma yükü deneyine tabi tutulmuştur [30]. Deneyler 3000 kN kapasiteli beton presinde yapılmıştır (Şekil 3.10., Şekil 3.11.).



Şekil 3.10. Yarma Deneyi-Numune Preste



Şekil 3.11. Yarma Deneyi-Deney Sonrası 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,

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

Burada;

f_{ct} :Yarmada çekme dayanımı, MPa (N/mm²),

F :En büyük yük, N,

L :Numunenin yükleme levhasına temas çizgisi uzunluğu, mm,

d :Numunenin seçilen en kesit boyutu, mm

3.4.3. Oda Sıcaklığı Uygulanan Prizmatik Beton Numunelerde Eğilme Deneyi

Eğilmede çekme deneyi ASTM C1018'e [31] göre 1/3 noktalarından yüklenen kiriş metodu ile prizmatik numuneler üzerinde yapılmıştır. Prizmatik beton numunelerin deneylerinde 250 kN yükleme kapasiteli sehim kontrollü-geri beslemeli yükleme çerçevesi kullanılmıştır. Deney düzeneği Şekil 3.12.' de verilmiştir.



Şekil 3.12. Eğilme Deney Düzeneği

Kirişlerin orta açıklığındaki sehim ve mesnetlerdeki çökmeler kaydedilmiştir. Kiriş orta açıklık net sehimi, Şekil 3.12 de de verildiği gibi 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 Beton Numunelere Sıcaklık Uygulanması

Çelik lif katkısız ve çelik lif katkılı beton numuneler üretim tarihinden itibaren 7., 28. ve 90. günlerde sıcaklık etkisine maruz bırakılmıştır. Bu işlem için 1500 °C sıcaklık kapasitesine sahip fırın kullanılmıştır. Beton numunelere; oda sıcaklığı, 50 °C, 100 °C, 150 °C, 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C sıcaklıkları Şekil 3.13. ve Şekil 3.14.' te verilen fırında uygulanmıştır.



Şekil 3.13. Sıcaklık Uygulanan Fırın

Numuneler fırına girmeden 1 gün önce havuzdan çıkarılmış ve 24 saat doğal kurumaya bırakılmıştır. Fırın sıcaklığının kontrollü yükselme zamanı artı kararlı durum ısıtılma zamanı, toplamda 6 saatlik ısıtma periyodunu oluşturmuştur. Sıcaklık deneyiyle ilgili olarak fırında farklı sıcaklık uygulanmış ve fırından numunenin çıkarılması ile soğumaya bırakılması resimler Şekil 3.14., 3.15, 3.16. ve 3.17.' de toplu olarak verilmiştir.



Şekil 3.14. Elektrik Fırınına Yerleştirilmiş Numuneler



Şekil 3.15. 400 °C Sıcaklığa Maruz Kalmış Numuneler



Şekil 3.16. 600 °C Sıcaklığa Maruz Kalmış Numuneler



Şekil 3.17. 800 °C Sıcaklığa Maruz Kalmış Numuneler

3.5.1. 50 ila 800 °C Sıcaklık Uygulanan Silindir Beton 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 24 saat soğutulmalarından sonra basınç dayanımları ölçülmüştür. Numunelere sıcaklıklar, beton

dayanımlarının farklı fazlarında ve farklı dayanım aşamalarında etkilerini incelemek amacıyla uygulanmıştır. Basınç dayanımı deneyleri şekil 3.7.' de görülen 3000 kN kapasiteli basınç presi kullanılarak yapılmıştır. Deney numunelerinin elastisite modüllerinin hesaplanması için oluşan boy kısaltmalarının belirlenmesi amacı ile yine silindir numuneye deplasman ölçer takılmıştır (Şekil 3.9.). Deneyler sırasında, silindir numunelerde oluşan deplasmanlar her 20 kN için okunarak bilgisayara aktarılmıştır. Bu değerler yardımıyla gerilme-şekil değiştirme eğrileri sıcaklığa maruz kalmış olan silindir beton numunelerde elde edilmiştir. Çelik lif katkılı ve katkısız silindir beton numuneler için kırılma yükleri belirlenmiş, elastisite modülleri ve tokluk değerleri standarda uygun olarak deney sonuçlarından elde edilen eğriler yardımıyla hesaplanmıştır.

4. BÖLÜM BULGULAR

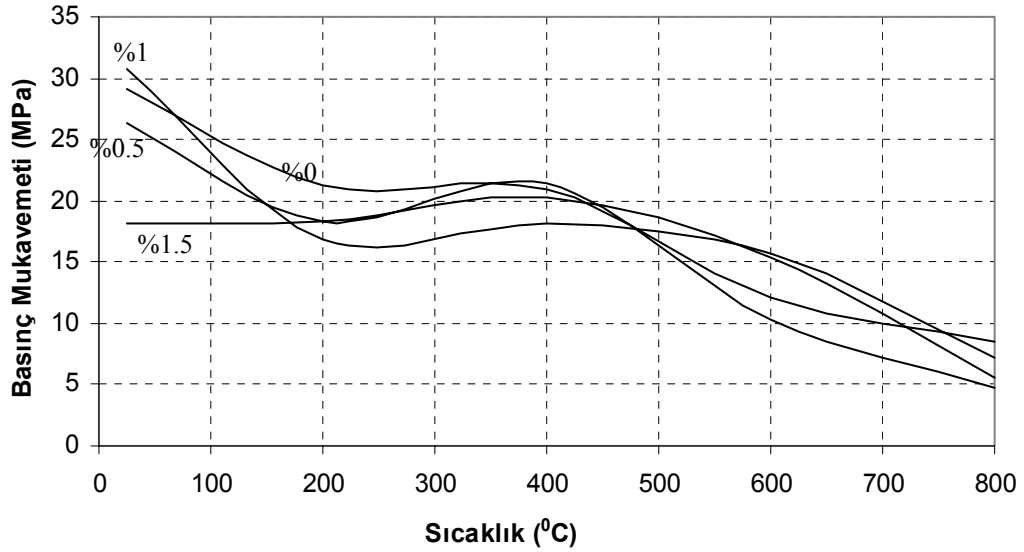
4.1. Silindir Beton Basınç Deneyleri Bulguları

Basınç deneyleri çelik lif katkılı ve katkısız silindir beton numunelerde yapılmıştır. Oda sıcaklığından 800 °C 'ye kadar basınç yüklemesi altında kırılan numunelerin 7, 28 ve 90 günlük deney sonuçları aşağıda Ek-1' de verilmiştir.

Çelik lif katkılı silindir beton numuneler tipik beton davranışı sergileyerek kırılmışlardır. Çalışma sonucunda, farklı çelik lif oranlarına ve değişen sıcaklık etkilerine göre 7, 8 ve 90 günlük silindir beton numunelerde gerilme-şekil değiştirme eğrileri çizilerek Ek-2' de oda sıcaklığı, 50, 100, 150, 200, 400, 600 ve 800 °C için verilmiştir.

Gerilme-birim kısalma eğrileri incelendiğinde; 400 °C' ye kadar maksimum gerilmenin azaldığı, birim boy değişiminin arttığı görülmüştür. 600 °C ve 800 °C' de ise maksimum gerilmenin ve birim boy değişiminin arttığı tespit edilmiştir. 7 günlük numunelerde, sıcaklık arttıkça maksimum gerilme azalmış ve birim boy değişimi artmıştır. Grafiğin altında kalan alan ise genelde artmıştır. 28 günlük ve 90 günlük numunelerde genelde benzer davranış göstermiştir.

Basınç dayanımlarının sıcaklıkla değişimini daha sağlıklı değerlendirmek için 7 günlük numunelerde için çizilerek Şekil 4.1.'de verilmiştir.



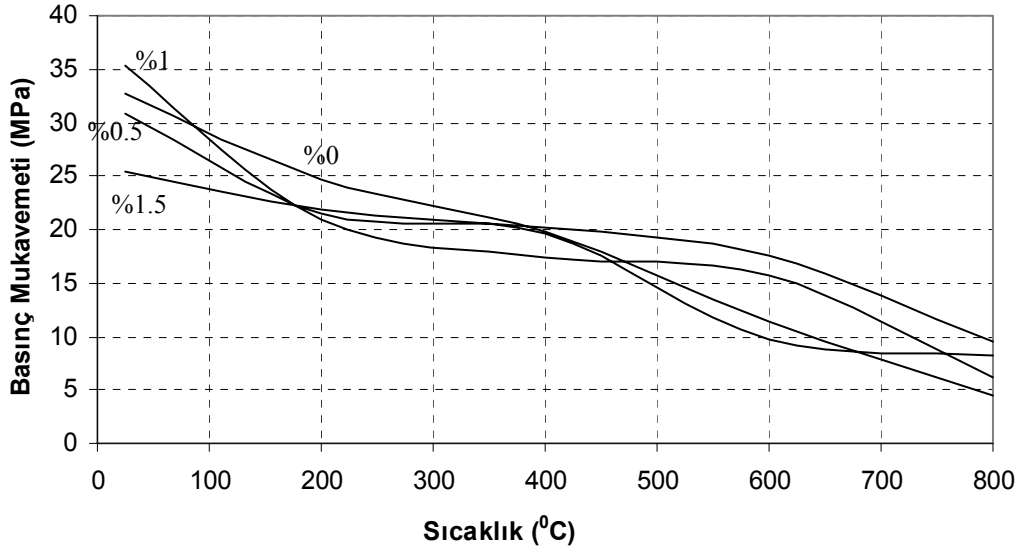
Şekil 4.1. 7 Günlük Numunelerde Dayanım-Sıcaklık Grafiği

Basınç dayanımının 7 günlük numunelerde sıcaklıkla değişimi ile ilgili olarak yapılan incelemelerde, oda sıcaklığında çelik lif oranı artışı basınç dayanımı artışını tam olarak sağlayamamıştır. Özellikle çelik lif oranı %1 olan betonlarda basınç dayanımı daha yüksek ve %1.5 çelik lif oranlı betonda dayanım daha düşüktür. Oda sıcaklığı ile 200 °C aralığındaki sıcaklıkta, çelik lif katkısız, % 0.5 ve % 1 çelik lif katkılı betonların basınç dayanımlarında azalma meydana gelmiş ancak %1.5 çelik lif katkılı betonun basınç dayanımında artan sıcaklıkla birlikte artış meydana gelmiştir. Daha yüksek olan 200 °C ile 400 °C aralığındaki sıcaklık değerlerinde, çelik lif katkısız betonların basınç dayanımı sabit kalmış ve çelik lif katkılı betonların basınç dayanımlarında ise çelik lif oranı artışına bağlı olarak artış gözlenmiştir. 400 °C ile 600 °C ve 600 °C ile 800 °C arasındaki sıcaklıklarda genel olarak uygulanan sıcaklık değerlerine bağlı olarak basınç dayanımları azalmıştır. Çelik lif katkısız betonların basınç dayanımı azalması oda sıcaklığına göre 800 °C de 7.25 kat olurken,

- %0.5 çelik lif oranlarında basınç dayanımı azalması 2.88,
- %1.0 çelik lif oranlarında basınç dayanımı azalması 4.14,
- %1.5 çelik lif oranlarında basınç dayanımı azalması 1.57 kat

olarak ölçülmüştür.

Basınç dayanımlarının sıcaklıkla değişimi 28 günlük numuneler için çizilerek Şekil 4.2' de verilmiştir.



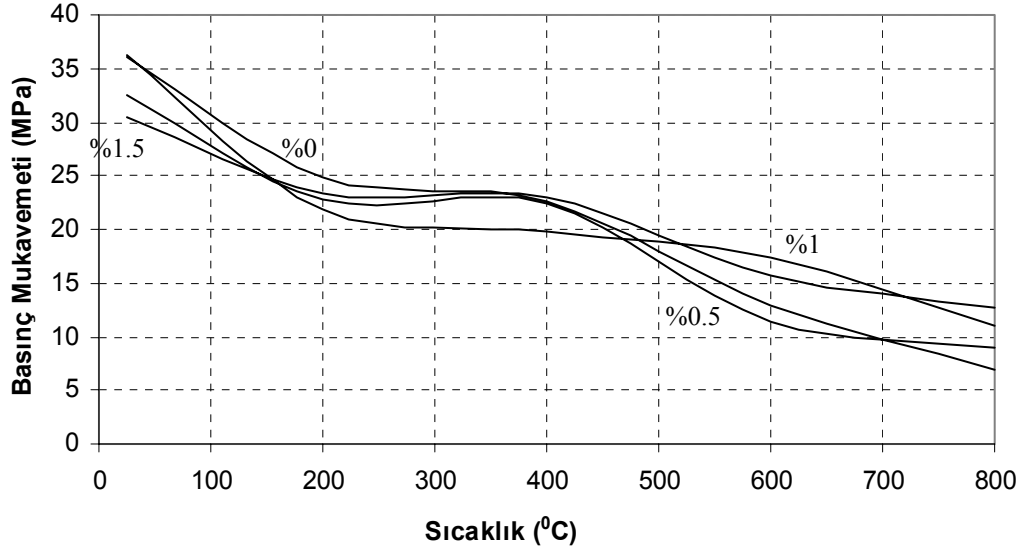
Şekil 4.2. 28 Günlük Numunelerde Dayanım-Sıcaklık Grafiği

Basınç dayanımının 28 günlük numunelerde sıcaklıkla değişimi ile ilgili olarak yapılan incelemelerde, oda sıcaklığında çelik lif oranı artışı basınç dayanımı artışını tam olarak sağlayamamıştır. Özellikle çelik lif oranı %1 olan betonlarda basınç dayanımı daha yüksek ve %1.5 çelik lif oranlı betonda dayanım daha düşüktür. Oda sıcaklığı ile 200 °C aralığındaki sıcaklıkta, çelik lif katkısız, % 0.5 ve % 1 çelik lif katkılı betonların basınç dayanımlarında azalma meydana gelmiş ancak %1.5 çelik lif katkılı betonun basınç dayanımındaki azalma daha düşük kalmıştır. 200 °C ile 400 °C aralığındaki sıcaklık değerlerinde, çelik lif katkısız ve % 1.0 çelik lif katkılı betonların basınç dayanımı azalmış, %0.5 ve %1.5 çelik lif oranlı betonlarda basınç dayanımı değerleri sabit kalmıştır. 400 °C ile 600 °C sıcaklık aralığında %1.0 ve %1.5 çelik lif oranı basınç dayanımları sabit kalırken %0 ve %0.5 betonlarında azalma ölçülmüştür. 600 °C ile 800 °C arasındaki sıcaklıklarda genel olarak uygulanan sıcaklık değerlerine bağlı olarak basınç dayanımları azalmıştır. Ancak %0.5 çelik lif oranında basınç dayanımı değeri sabit kalmıştır. Çelik lif katkısız betonların basınç dayanımı azalması oda sıcaklığına göre 800 °C de 7.15 kat olurken,

- %0.5 çelik lif oranlarında basınç dayanımı azalması 2.87,
- %1.0 çelik lif oranlarında basınç dayanımı azalması 4.15,
- %1.5 çelik lif oranlarında basınç dayanımı azalması 1.53 kat

olarak ölçülmüştür.

Basınç dayanımlarının sıcaklıkla değişimi 90 günlük numuneler için çizilerek Şekil 4.3' de verilmiştir.



Şekil 4.3. 90 Günlük Numunelerde Dayanım-Sıcaklık Grafiği

Basınç dayanımının 90 günlük numunelerde sıcaklıkla değişimi ile ilgili olarak yapılan incelemelerde, oda sıcaklığında çelik lif oranı artışı basınç dayanımı artışını tam olarak sağlayamamıştır. Özellikle çelik lif oranı %1 ve %0 olan betonlarda basınç dayanımı daha yüksek ve %1.5 çelik lif oranlı betonda dayanım daha düşüktür. Oda sıcaklığı ile 200 °C aralığındaki sıcaklıkta, çelik lif katkısız, % 0.5, %1.0 ve % 1.5 çelik lif katkılı betonların basınç dayanımlarında azalma meydana gelmiştir. 200 °C ila 400 °C aralığındaki sıcaklık değerlerinde, % 1.0 çelik lif katkılı betonların basınç dayanımı azalmış, çelik lif katkısız, %0.5 ve %1.5 çelik lif oranlı betonlarda basınç dayanımı değerleri sabit kalmıştır. 400 °C ila 600 °C sıcaklık aralığında %1.0 çelik lif oranı basınç dayanımları sabit kalırken, çelik lif katkısız, %0.5 ve %1.5 betonlarında azalma ölçülmüştür. 600 °C ila 800 °C arasındaki sıcaklıklarda genel olarak uygulanan sıcaklık değerlerine bağlı olarak basınç dayanımları azalmıştır. Ancak %0.5 ve %1.5 çelik lif oranında basınç dayanımı değerleri yaklaşık sabit kalmıştır. Çelik lif katkısız betonların basınç dayanımı azalması oda sıcaklığına göre 800 °C de 3.62 kat olurken,

- %0.5 çelik lif oranlarında basınç dayanımı azalması 2.67,
- %1.0 çelik lif oranlarında basınç dayanımı azalması 2.36,
- %1.5 çelik lif oranlarında basınç dayanımı azalması 1.31 kat

olarak ölçülmüştür.

Elastisite modülü; gerilme-birim boy değişimi eğrisinin eğimidir. Üç çeşit elastisite modülü vardır:

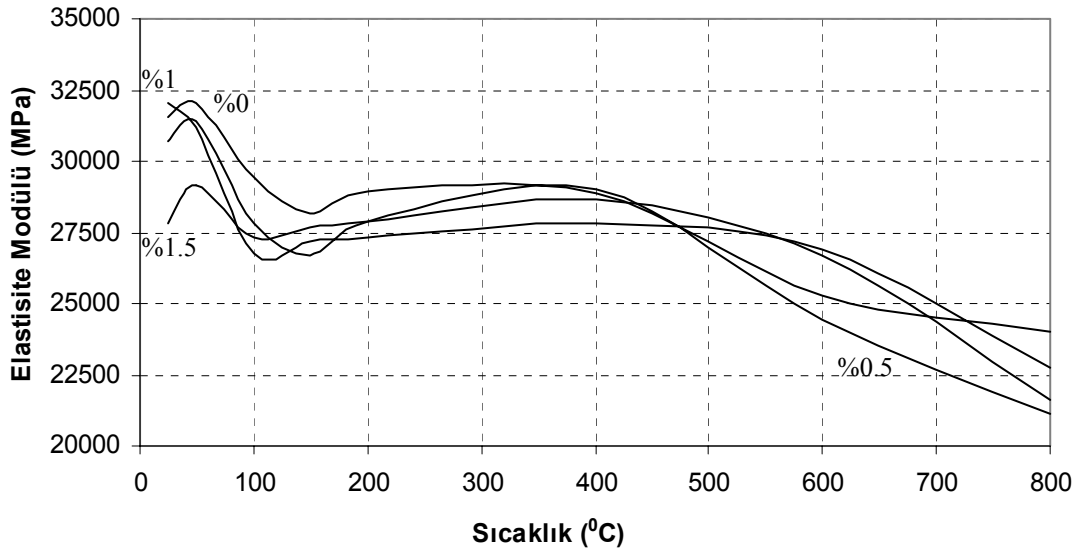
Başlangıç Elastisite Modülü: Gerilme-birim boy değişimi eğrisinin başlangıç noktasına çizilen teğetin eğimidir.

Teğet Modülü: Gerilme-birim boy değişimi eğrisine herhangi bir noktada çizilen teğetin eğimidir. Pratikte bu teğet $0,4f_c$ gerilmesi temel alınarak çizilir.

Sekant Modülü: Orijinden eğride herhangi bir gerilmeye tekabül eden noktaya çizilen sekantın eğimidir. Genelde sekant modülü $0,5f_c$ gerilmesine göre hesaplanır.

E-modüllerinin çelik lif katkılı ve katkısız silindirik beton numunelerde gerilme-şekil değiştirme eğrisi üzerinde teğet yöntemi ile hesaplanmıştır. Oda sıcaklığı ile $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında E-modüllerinin değişimi Ek-3' te verilmiştir.

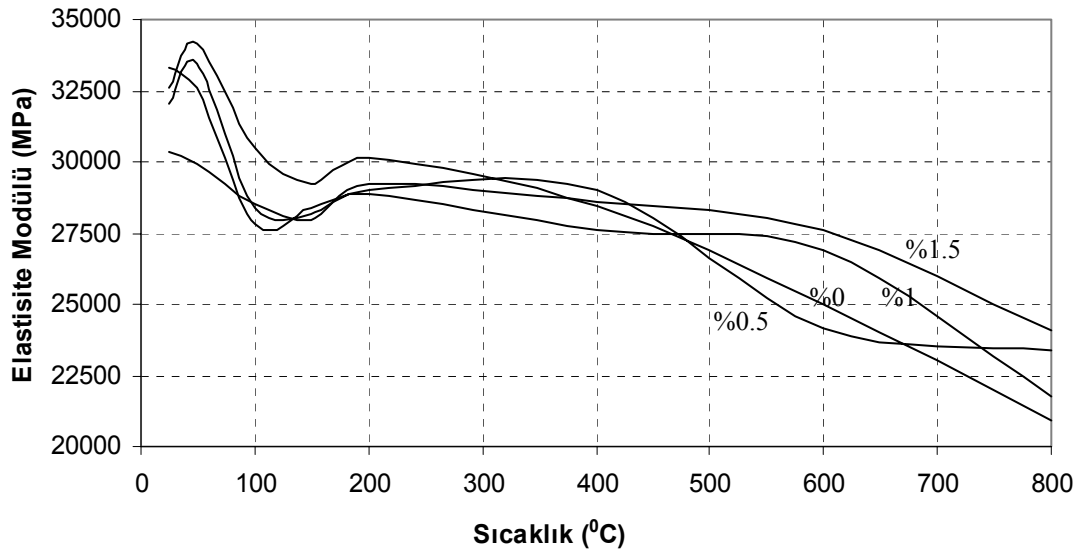
Elastisite modüllerinin sıcaklıkla değişimi 7 günlük numunelerde değişimleri Şekil 4.4' te verilmiştir.



Şekil 4.4. 7 Günlük Numunelerde Elastisite Modülü-Sıcaklık Grafiği

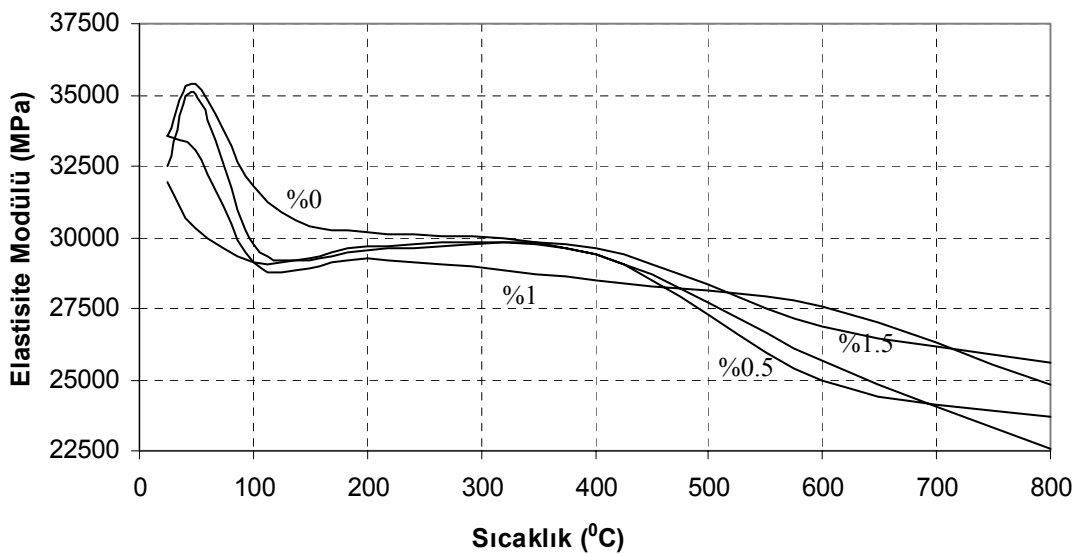
Elastisite modülü değerleri 100 °C' ye kadar azalmış, 100 °C ile 400 °C arasında artmış ve daha sonra azalma göstermiştir. Lif hacimlerindeki farklılıklara rağmen azalma eğilimindeki değişim korelasyonu aynı kalmaktadır.

Elastisite modüllerinin sıcaklıkla değişimi 28 günlük numunelerde değişimleri Şekil 4.5' te verilmiştir.



Şekil 4.5. 28 Günlük Numunelerde Elastisite Modülü-Sıcaklık Grafiği

Elastisite modüllerinin sıcaklıkla değişimi 90 günlük numunelerde değişimleri Şekil 4.6' da verilmiştir.



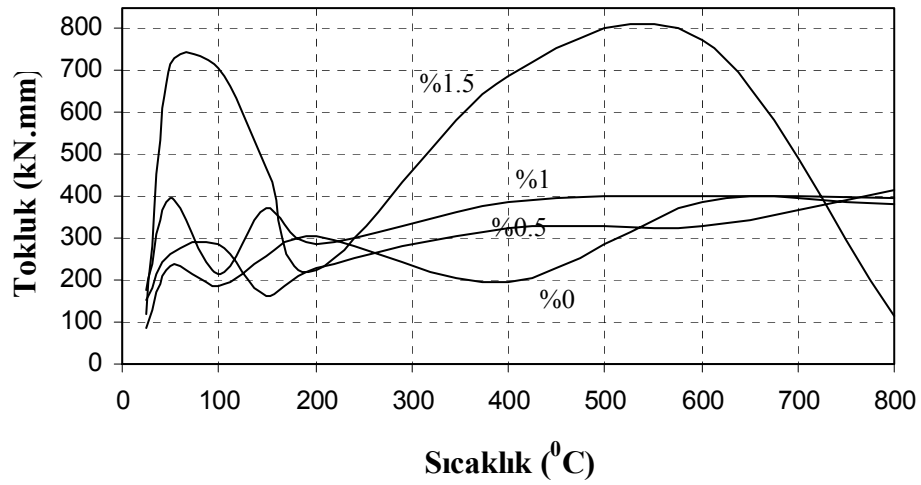
Şekil 4.6. 90 Günlük Numunelerde Elastisite Modülü-Sıcaklık Grafiği

Elastisite modülü değerleri 90 günlük numunelerde (Şekil4.6.) 7 ve 28 günlük numunelerdeki benzer davranışı göstermiştir. Görüldüğü üzere elastisite modülü değerleri sıcaklıkla genelde azalmaktadır. Lif oranının değişimi sonucunda E-modülünde bir değişim olmamıştır.

Elastisite modülü değerleri sıcaklık artıka azalmaktadır. Lif hacimlerindeki farklılıklara rağmen azalma eğilimindeki değişimin korelasyonu aynı kalmaktadır.

Kuvvet – boy değişimi altında kalan tüm alana tokluk denir. Malzeme kırılmadan ya da kopmadan birim hacim başına yapılabilecek toplam işi gösterir. Bu çalışmada tokluk (grafığın altında kalan alan) kN.mm mertebesinde hesaplanmıştır. Tokluk değerleri Ek-4' te görülmektedir.

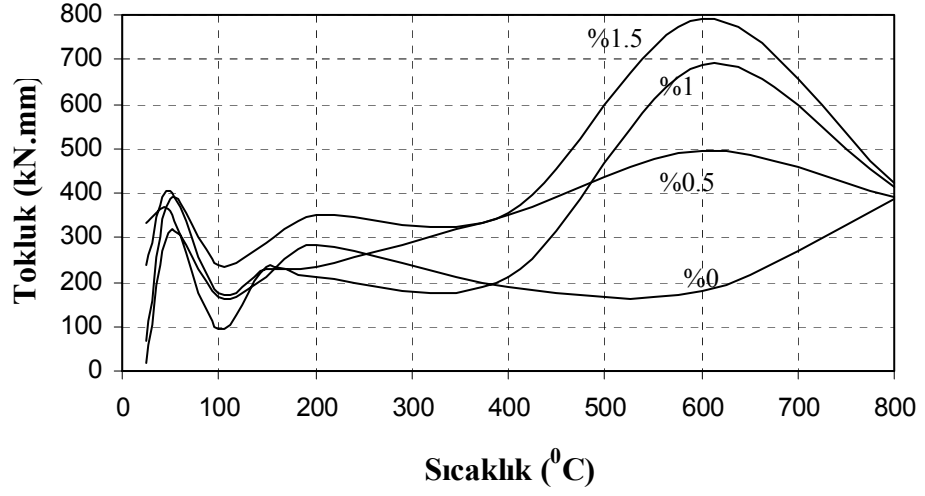
Tokluk değerlerinin sıcaklıkla değişimi 7 günlük numunelerde Şekil 4.7' de verilmiştir.



Şekil 4.7. 7 Günlük Numunelerde Tokluk-Sıcaklık Grafiği

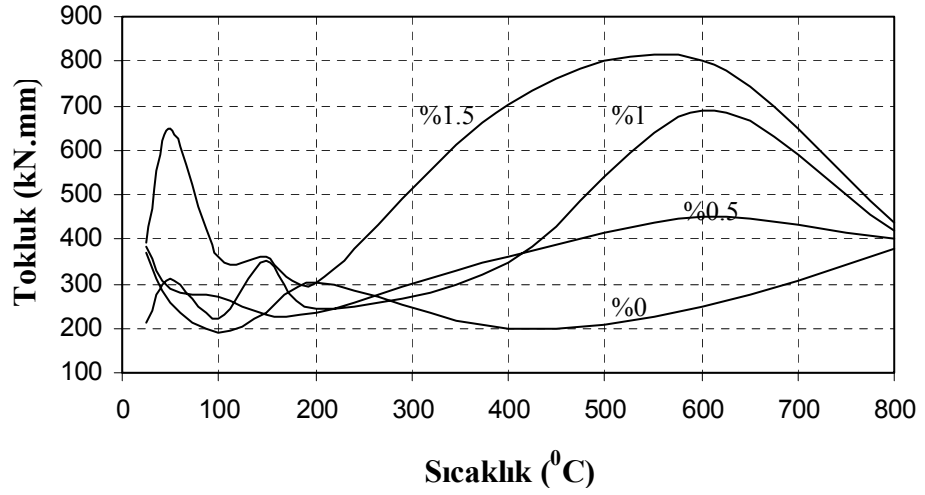
7 günlük numunelerde tokluk değerleri 200 °C ye kadar düzensiz değişim göstermiştir. 200 °C den sonra ise % 1.5 çelik lif katkılı betonda önce artmış, sonra azalmıştır. %1 ve % 0.5 çelik lif oranlarında sabit kalmıştır. % 0 çelik lif oranında ise azalmış ve daha sonra artmıştır.

Tokluk değerlerinin sıcaklıkla değişimi 28 günlük numunelerde Şekil 4.8' de verilmiştir.



Şekil 4.8. 28 Günlük Numunelerde Tokluk-Sıcaklık Grafiği

28 günlük numunelerde tokluk değerleri 200 °C ye kadar düzensiz değişim göstermiştir. 200 °C den sonra ise % 1.5, %1 ve%0.5 çelik lif katkılı betonlarda önce artmış, sonra azalmıştır. %0 çelik lif oranında azalmış, daha sonra artmıştır kalmıştır. Tokluk değerlerinin sıcaklıkla değişimi 90 günlük numunelerde Şekil 4.9' da verilmiştir.



Şekil 4.9. 90 Günlük Numunelerde Tokluk-Sıcaklık Grafiği

90 günlük numunelerde tokluk değerleri 200 °C ye kadar düzensiz değişim göstermiştir. 200 °C den sonra ise % 1.5, %1 ve%0.5 çelik lif katkılı betonlarda önce artmış, sonra azalmıştır. %0 çelik lif oranında azalmış, daha sonra artmıştır kalmıştır.

4.2. Silindir Beton Yarma Deneyi Bulguları

Silindir numunelerde yarmada çekme dayanımları hesabında farklı hacimsel oranlardaki çelik lif katkılı beton silindirlerin kırılma yükleri TS EN 12390-6 ifadesi kullanılarak elde edilmiştir [30]. Bulunan sonuç değerler Tablo 4.1. 'de verilmiştir.

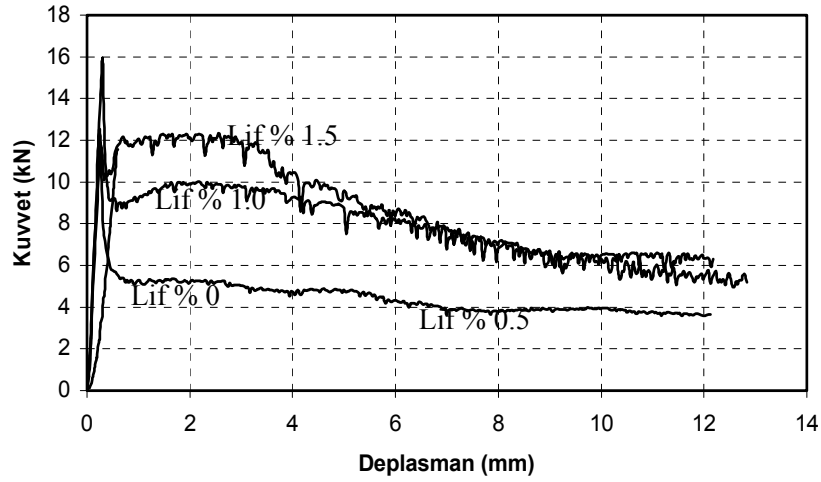
Tablo 4.1. Silindir Numune Mekanik Özellikleri

Çelik tel (%)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)
0	2.08
0.5	3.01
1.0	3.34
1.5	4.22

Yarmada çekme dayanımı değerlerinin çelik lif değerlerine bağlı olarak önemli artış sağladığı görülmektedir. Yarmada çekme dayanımları % 0 çelik lif oranına göre; %0.5 çelik lif oranında % 45, % 1 çelik lif oranında %61 ve % 1.5 çelik lif oranında %103 artmış olduğu hesaplanmıştır.

4.3. Prizmatik Beton Deneyle Bulguları

Her bir seri için 3 adet prizmatik beton kiriş numunesi denenmiştir. Kirişlerin orta açıklığındaki sehimi ve mesnetlerdeki çökmeler kaydedilmiştir. Kiriş orta açıklık net sehimi, mesnet çökmelerinin ortalamasının orta açıklıkta ölçülen sehimden farkı alınarak belirlenmiştir. Eğilmede çekme dayanımı yüklemesi 1 mm/dak. sehimi hızında yapılmıştır. Prizmatik beton numunelere ait farklı lif oranları için ortalama kuvvet-deplasman eğrileri Şekil 4.10 'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Prizmatik Numuneler İçin Ortalama Kuvvet-Deplasman Eğrileri

Prizmatik numuneler üzerinde üçte bir noktadan yapılan yükleme deneyi sonucunda elde edilen yük sehim eğrisi üzerinde ilk çatlakın meydana geldiği sehim değeri, ilk çatlak sehimini 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 çatlak 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 çatlak kadaraki eğri altındaki alana bölerek elde edilen sayı olarak tanımlanmaktadır [32].

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 çatlak 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 [33]. 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 elde edilmiştir. Tokluk değerleri numunede oluşan 12 mm 'lik sehimlere kadar oluşan eğri altındaki alan esas alınarak hesaplanmıştır. Deney sonuçları Tablo 4.2. 'de verilmektedir.

Tablo 4.2. Prizmatik Kiriş Beton Numune Mekanik Özellikleri

Çelik lif (%)	Kırılma Yüğü (N)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Tokluk (kN.mm)
0.0	10760 13540 14090	2.66	5.10
0.5	12490 11660 15840	2.77	54.27
1.0	12060 15970 18030	3.19	97.33
1.5	17130 12310 14570	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.

5. BÖLÜM

SONUÇ

Çelik lif katkılı betonlarda kompleks bir yapıdan dolayı davranışı tanımlamak genellikle zordur. Çünkü beton içerisindeki çelik lifler genellikle homojen olmayan bir dağılım göstermektedir. Bu zorluk çelik lifli betonlara sıcaklık uygulaması ile daha da karmaşık bir hal almaktadır. Çalışmada verilen çelik lif tipi ve oranları için belirtilen sıcaklıklardaki basınç dayanımı değişimleri incelenmiştir. Çalışma ile elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Basınç dayanımı oda sıcaklığında 7, 28 ve 90 günlük beton numunelerde, çelik lif miktarına bağlı olarak C30 beton sınıfı için artış göstermemiştir. Özellikle katkısız betonlara göre, çelik lif oranı %1 olan betonlarda basınç dayanımı % 8 artmış, çelik lif oranı % 1.5 olan betonlarda ise % 25 azalmıştır. Bu durum, çelik liflerin beton içerisinde homojen dağılmamasının ve artan oran ile birlikte topaklaşma sonucunda betonda boşluk oluşmasının bir sonucu olarak değerlendirilmiştir.

Basınç dayanımının 7, 28 ve 90 günlük numunelerde sıcaklıkla değişimi ile ilgili olarak yapılan incelemelerde,

- Oda sıcaklığı ile 200 °C aralığında, artan sıcaklıkla birlikte lifli ve lifsiz betonlarda basınç dayanımı azalmış,
- 200 °C ile 400 °C aralığında, artan sıcaklıkla birlikte lifli ve lifsiz betonlarda basınç dayanımı sabit kalmış,
- 400 °C ila 800 °C aralığında, artan sıcaklıkla birlikte basınç dayanımı azalma eğilimi göstermiş olup, çelik lif katkısı %1.5 olan betonlarda lifsiz betonlara göre basınç dayanımı % 44 oranında artmıştır. Özellikle

800 °C sıcaklık uygulanan bazı lifsiz beton numunelerde basınç yüklemesi altında dayanım alınamamıştır.

Elastisite modülünün 7, 28 ve 90 günlük numunelerde sıcaklıkla değişimi ile ilgili olarak yapılan incelemelerde,

- Oda sıcaklığı ile 200 °C aralığında, artan sıcaklıkla birlikte lifli ve lifsiz betonlarda elastisite modülü azalmış,
- 200 °C ile 400 °C aralığında lifli ve lifsiz betonlarda elastisite modülü sabit kalmış,
- 400 °C ila 800 °C aralığında, artan sıcaklıkla birlikte elastisite modülü azalmıştır.

Sadece oda sıcaklığı uygulanan çelik lifli betonlarda yarmada çekme ve eğilme de çekme dayanımları da ölçülmüştür. Her iki çekme dayanımı deneyleri sonucunda, %0 katkısız betonlarda yarmada çekme dayanımının eğilmede çekme dayanımına oranları 0.78, % 0.5 lif katkılı betonlarda 1.09, % 1.0 lif katkılı betonlarda 1.05, % 1.5 lif katkılı betonlarda 1.39 olarak ölçülmüştür. Deneylerde araştırılmış olan beton sınıfı ve çelik lif tipi için, çelik lif oranı %0.5 ile %1.0 arasında olması halinde yarmada çekme veya eğilmede çekme dayanımının tayini için herhangi bir deneyin yapılması çekme dayanımı değeri tespiti için yeterli olacağı kanaatindeyiz.

Prizmatik beton numune sonuçlarına göre; özellikle enerji yutma kapasiteleri açısından %0 orana göre %0.5 lif kullanımı enerji tüketim kapasitesini 10.64 kat, %1.0 lif kullanımı enerji tüketim kapasitesini 19.08 kat, %1.5 lif kullanımı enerji tüketim kapasitesini 21.16 kat artırmıştır.

Sonuç olarak; oda sıcaklığı ile 600 °C arasında sıcaklık uygulanan çelik lif katkılı ve katkısız betonlarda basınç dayanımının ve E-modülünün genel olarak azaldığı görülmüştür. 600 °C ila 800 °C arasında sıcaklık uygulanan beton numunelerde basınç dayanımı % 1.5 çelik lif katkılı betonlar için % 44 artış göstermiştir. Bu sonuç yüksek sıcaklıklara maruz betonlarda % 1.5 çelik lif katkısının bir sonucu olarak değerlendirilmiştir. Yüksek sıcaklıklara maruz kalabilecek stratejik yapı betonlarında çelik lif için bu oran önerilmektedir. Oda sıcaklığındaki % 0.5 ila % 1.0 aralığında çelik lif katkılı betonlarda yarmada ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri yerine sadece tek bir deneyin yapılması ile çekme dayanımının tespiti yeterli görülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Akman, S., Yapı Malzemeleri, s. 83-84, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1990.
2. Taşdemir, M.A., Bayramov, F., Yüksek Performanslı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı, İTÜ Dergisi, 1(2), 125-144, 2002.
3. Balaguru, P.N., Narahari, R., Patel, M., Flexural Toughness of Steel Fiber Reinforced Concrete, ACI Materials Journal, 89(6), 541-545, 1992.
4. Soroushian P., Bayasi, Z., Fiber Type Effects on The Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete, ACI Materials Journal, (88)2, 129-134, 1991.
5. Bayramov, F., İlki, A., Taşdemir, C., Taşdemir, M.A., Yerlikaya, M., SFRCs For Concrete Roads in Heavily Trafficked Situations, 9th International Symposium on Concrete Roads, Istanbul , Turkey, 73-82, April 4-7, 2004.
6. Taşdemir, M.A., İlki, A., Yerlikaya, M., Mechanical Behaviour of Steel Fiber Reinforced Concrete Used In Hydraulic Structures, Proceedings of HYDRO 2002: International Conference of Hydropower and Dams, Antalya, Turkey, 159-166, November 4-7, 2002.
7. Arslan, A., Aydın, A.C., Lifli Betonların Darbe Etkisi Altında Genel Özellikleri, Çelik Tel Donatılı Beton Sempozyumu, Sabancı Center, İstanbul, 44-53, 24 Kasım, 1999.
8. Köksal, F., Çelik Tel Donatılı Betonların Mekanik Davranışı ve Optimum Tasarımı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2004.
9. Demir, F., Gençoğlu, M., Güler K., Çelik Tel Takviyeli Betonların Gerilme-Şekil Değiştirme Davranışı İçin Bir Bulanık Mantık Yaklaşımı, Türkiye İnşaat Mühendisliği XVII. Teknik Kongre ve Sergisi, İstanbul, 42-46, 15-16-17 Nisan, 2004.
10. Marar, K., Çelik, T., Flexural Toughness Energy And Impact Energy Of High Strenght Fiber Reinforced Concrete, Advances In Civil Engineering 4th International Congress, Gazimağusa, Turkish Republic of Northern Cyprus, 1305-1314, November 1-3, 2000.
11. Yüzer, N., Aköz, F., Öztürk, L.D., Compressive Strength-Color Change Relation in Mortars at High Temperature, Cement and Concrete Research, 34, 1803-1807, 2004.

12. Cülfik, M.S., Deterioration of Bond Between Cement Paste and Aggregate at High Temperatures, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2001.
13. Vodák, F., Trtík, K., Kapičková, O., Hošková, Š. and Demo, P., The Effect of Temperature On Strength-Porosity Relationship For Concrete”, Construction and Building Materials, 18, 529-534, 2004.
14. Chan, S.Y.N., Luo, X. and Sun, W., Compressive Strength and Pore Structure of High Performance Concrete after exposure to High Temperature up to 800 °C, Cement and Concrete Research, 30, 247-251, 2000.
15. El-Hawary, M.M., Abdel-Fattah, H., Temperature Effect on the mechanical Behavior of Resin Concrete, Construction and Building Materials, 14, 317-323, 2000.
16. 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.
17. 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.
18. Sakr, K., El-Hakim, E. Effect of High Temperature or Fire On Heavy Weighted Concrete Properties, Cement and Concrete Research, 35, 590-596, 2005.
19. Cülfik, M.S., Özturan, T., Effect of Elevated Temperatures On The Residual Mechanical Properties of High Performance Mortar, Cement and Concrete Research, 32, 809-816, 2002.
20. 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.
21. 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.
22. 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.

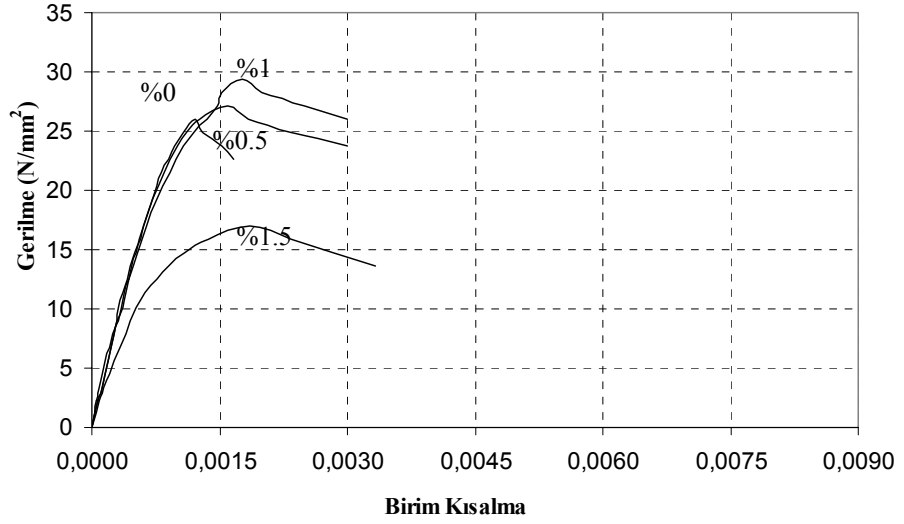
23. Chen, B., Liu, J.Y., Residual Strength of Hybrid Fiber Reinforced High Strength Concrete After Exposure to High Temperatures, Cement and Concrete Research, 34, 1065-1069, 2004.
24. Chan, Y.N., Peng, G.F., Anson, M., Residual Strength And Pore Structure Of High Strength Concrete and Normal Strength Concrete After Exposure To High Temperatures, Cement and Concrete Composites, 21, 23-27, 1999.
25. TS 706 EN 12620, Beton Agregaları, 2003.
26. RILEM TC162-TDF, Test And Design Methods For Steel Fibre Reinforced Concrete: Design Method, Materials and Structures, 33, 75-81, 2000.
27. TS 1247, Beton Yapım, Döküm ve Bakım Kuralları (Normal Hava Koşullarında), 1984.
28. [TS EN 12350-1, Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 1: Numune Alma, 2002.
29. TS EN 12390-2, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Kürlenmesi, 2002.
30. TS EN 12390-6, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini, 1992.
31. ASTM C1018, Standart Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fibre-Reinforced Concrete , American Society for Testing and Materials, 1992.
32. TS 10515, Beton-Çelik Tel Takviyeli-Eğilme Mukavemeti Deney Metodu, 1992.

EKLER

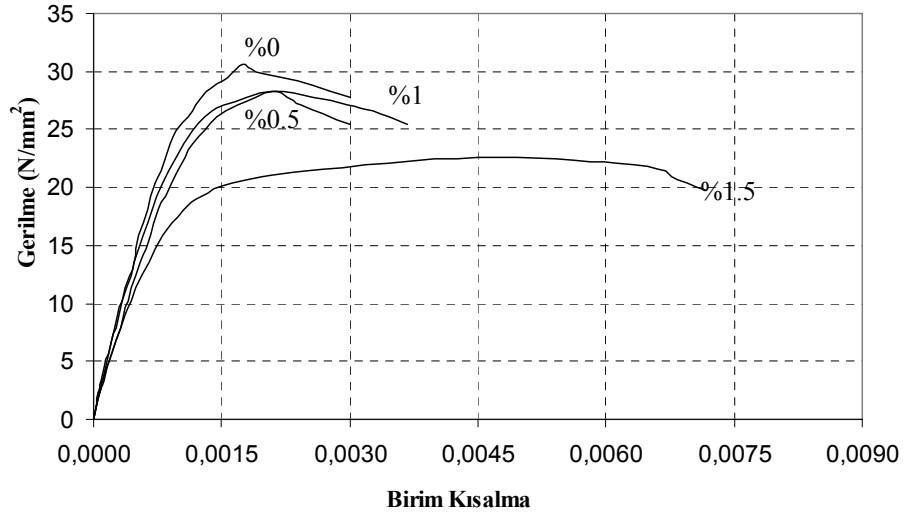
Ek-1: Beton Numunelerde Sıcaklık Sonrası Basınç Dayanımı Değerleri

Karışım	Lif yüzdesi	Sıcaklık (°C)	Basınç dayanımı (Mpa)		
			7. gün	28. gün	90. gün
C-0-0	Lif yok	24.5	29.18	32.73	36.12
C-1-0	0.5 % çelik		26.38	30.76	32.47
C-2-0	1 % çelik		30.71	35.33	36.31
C-3-0	1.5 % çelik		18.11	25.41	30.38
C-0-50	Lif yok	50	30.80	38.55	43.31
C-1-50	0.5 % çelik		28.63	35.95	42.03
C-2-50	1 % çelik		27.94	32.86	34.46
C-3-50	1.5 % çelik		21.78	24.10	25.23
C-0-100	Lif yok	100	22.66	25.73	30.08
C-1-100	0.5 % çelik		18.03	19.64	23.45
C-2-100	1 % çelik		15.46	18.14	21.57
C-3-100	1.5 % çelik		16.78	19.97	21.55
C-0-150	Lif yok	150	18.93	21.86	25.52
C-1-150	0.5 % çelik		15.29	19.05	21.80
C-2-150	1 % çelik		16.44	19.56	21.14
C-3-150	1.5 % çelik		17.75	18.49	22.09
C-0-200	Lif yok	200	21.22	24.73	24.88
C-1-200	0.5 % çelik		18.26	21.42	22.88
C-2-200	1 % çelik		16.89	20.92	21.95
C-3-200	1.5 % çelik		18.33	21.92	23.38
C-0-400	Lif yok	400	20.99	19.92	22.55
C-1-400	0.5 % çelik		21.41	21.36	22.40
C-2-400	1 % çelik		18.09	17.44	19.89
C-3-400	1.5 % çelik		20.27	20.11	23.07
C-0-600	Lif yok	600	12.08	11.45	12.81
C-1-600	0.5 % çelik		10.32	9.72	11.43
C-2-600	1 % çelik		15.68	15.75	17.45
C-3-600	1.5 % çelik		15.33	17.54	15.67
C-0-800	Lif yok	800	3.84	4.53	6.99
C-1-800	0.5 % çelik		4.80	8.29	8.91
C-2-800	1 % çelik		7.21	5.66	11.04
C-3-800	1.5 % çelik		5.53	9.56	12.79

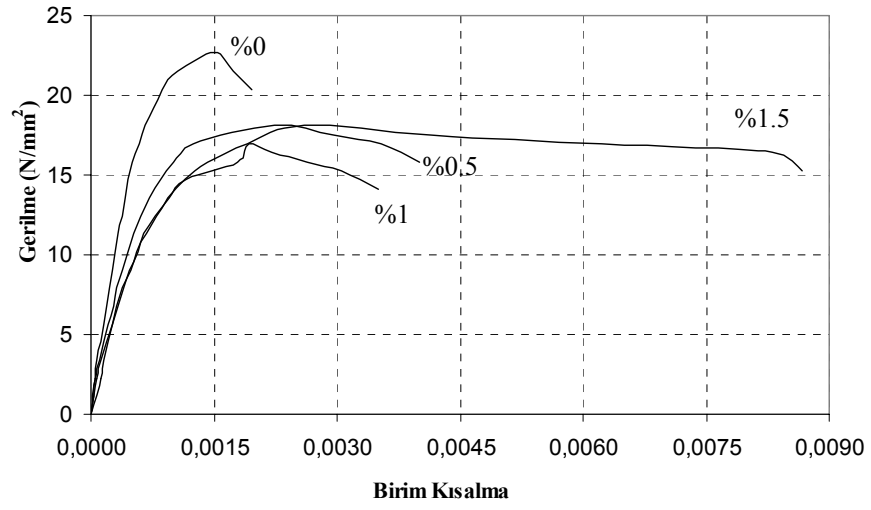
Ek-2: Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafikleri



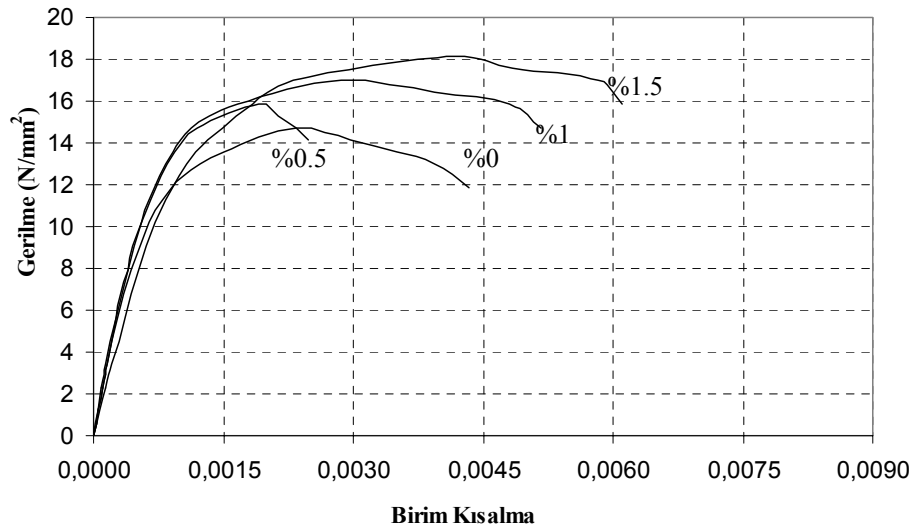
Ek-2a. 7 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (24.5 °C)



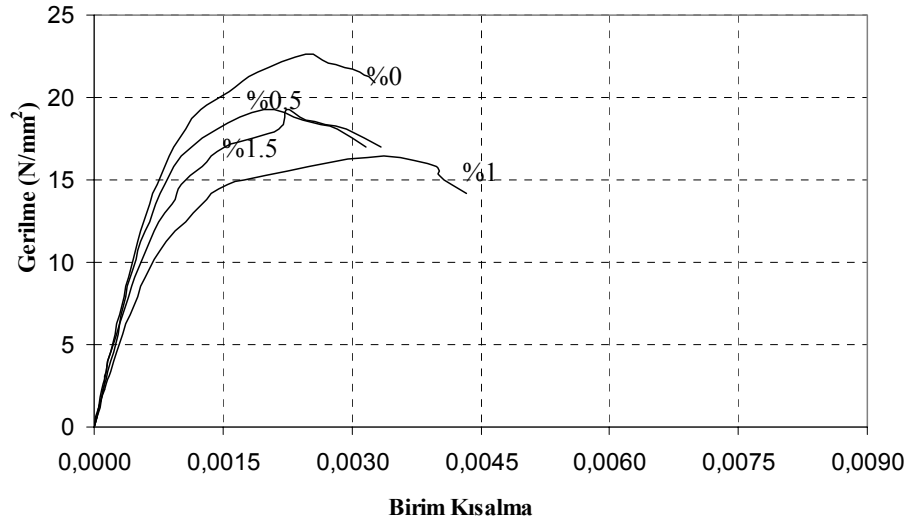
Ek-2b. 7 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (50 °C)



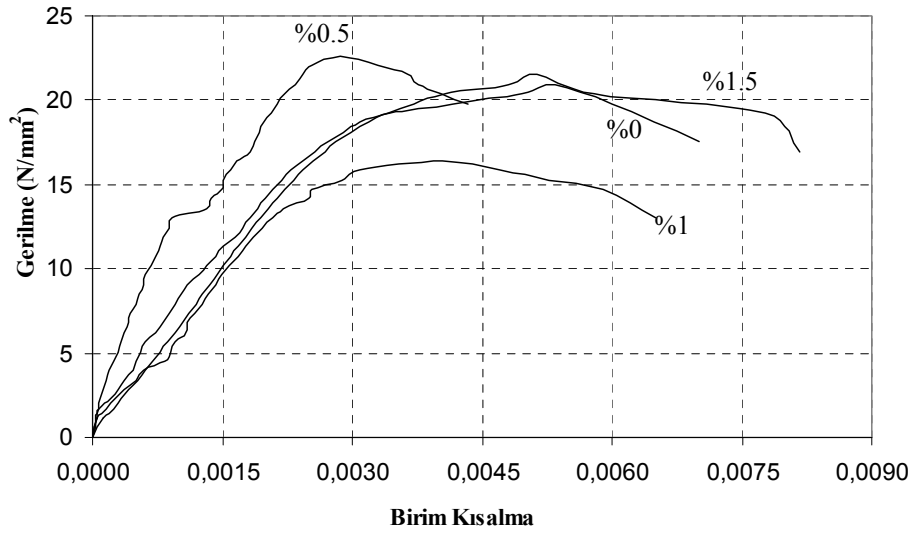
Ek-2c. 7 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (100 °C)



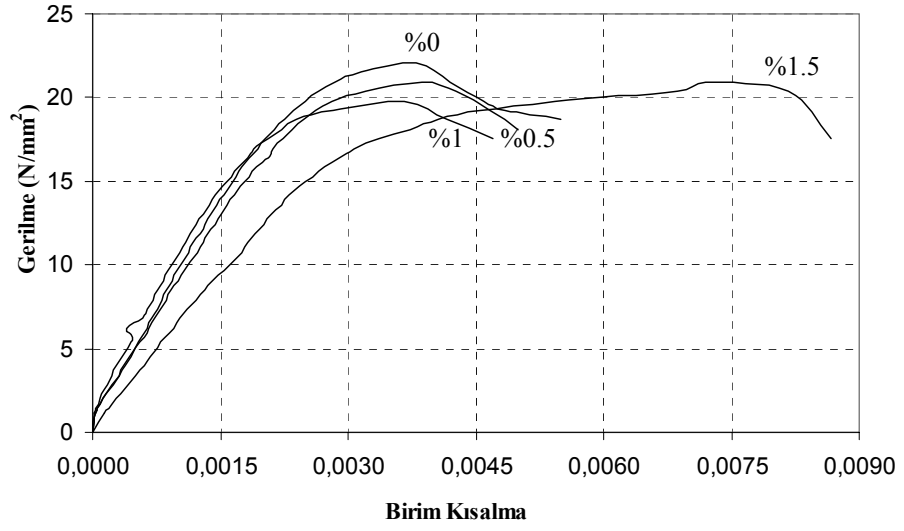
Ek-2d. 7 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (150 °C)



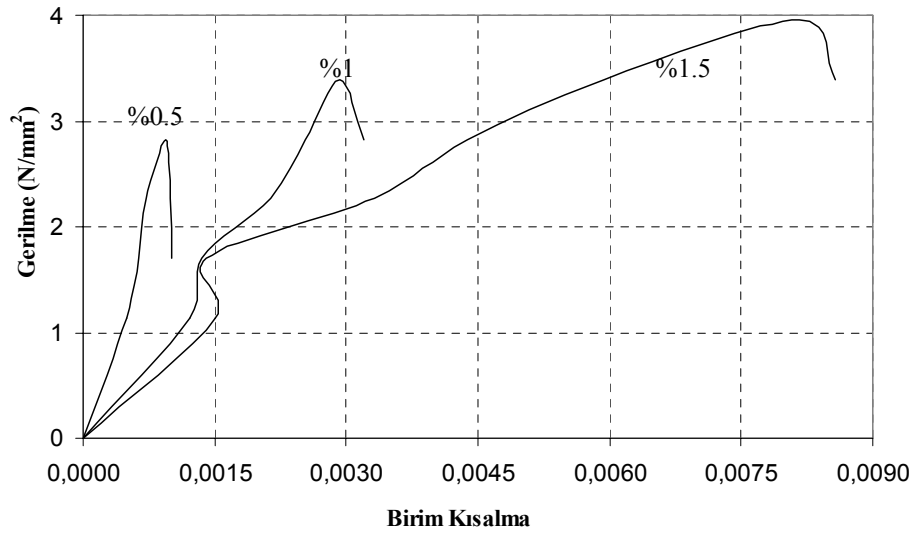
Ek-2e. 7 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (200 °C)



Ek-2f. 7 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (400 °C)

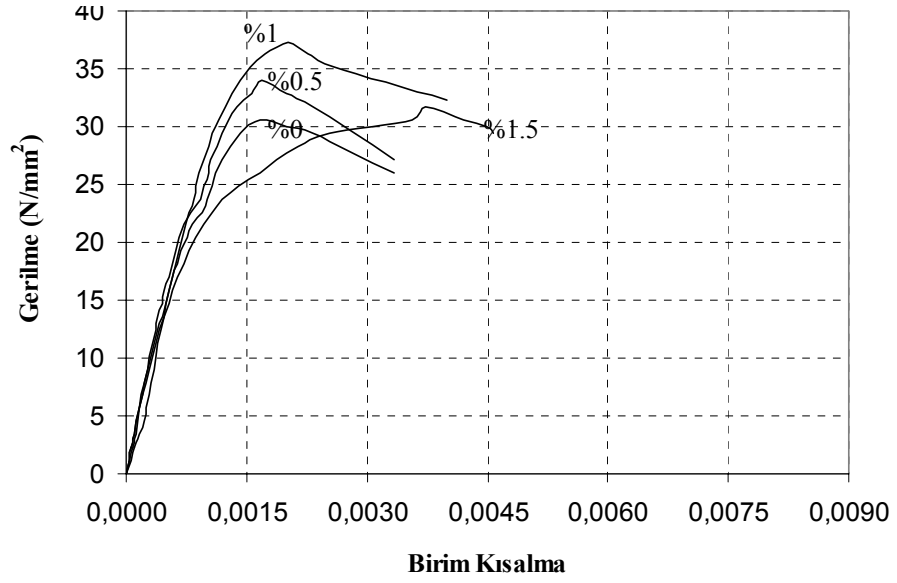


Ek-2f. 7 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (600 °C)

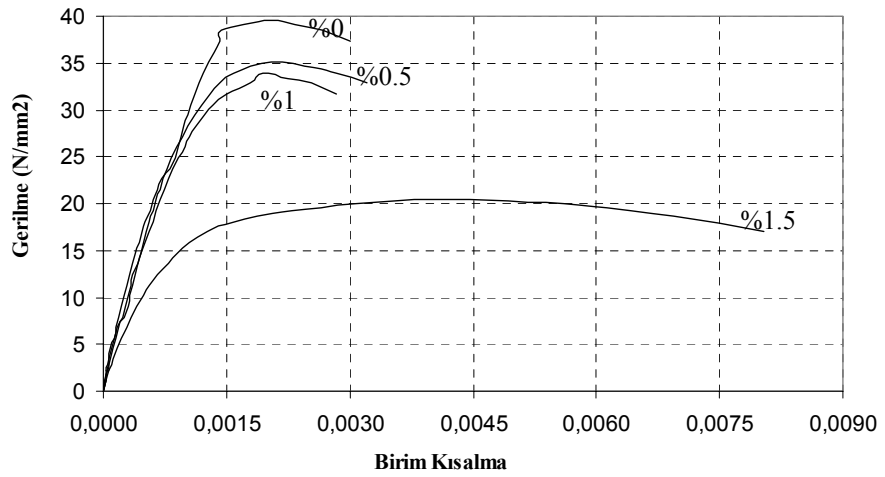


Ek-2g. 7 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (800 °C)

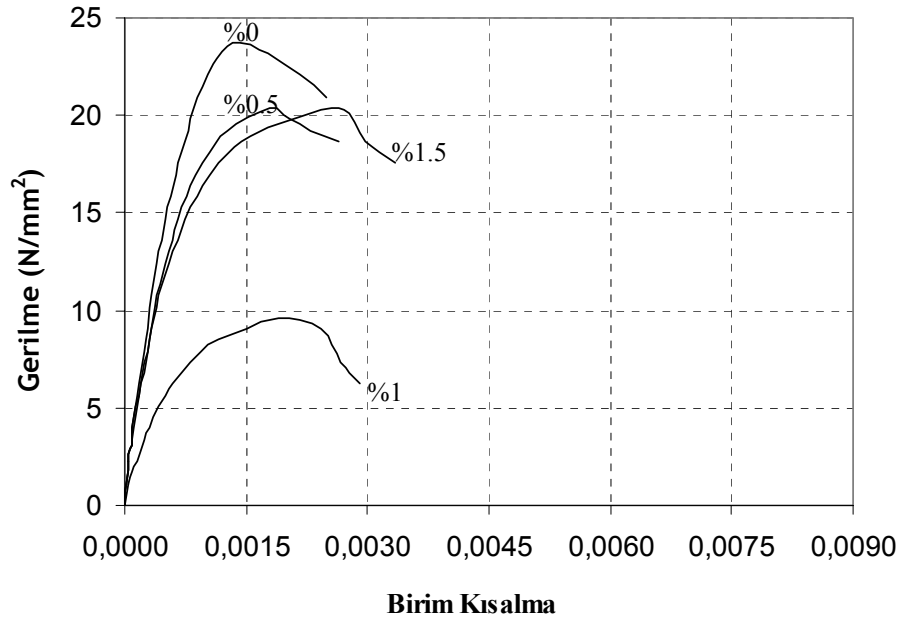
Not: % 0 çelik lif ilaveli numune sıcaklık etkisiyle patlamıştır.



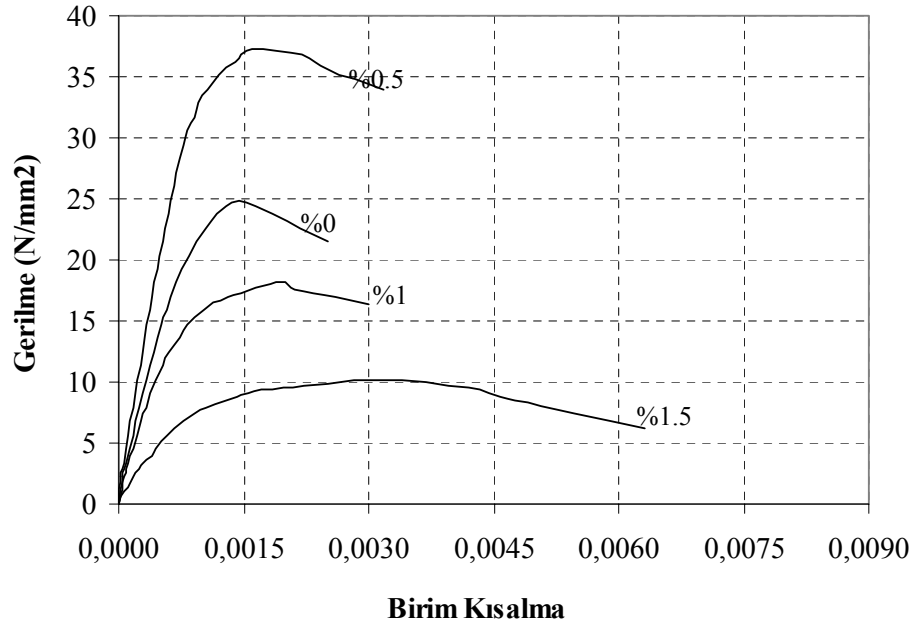
Ek-2ğ. 28 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (24.5 °C)



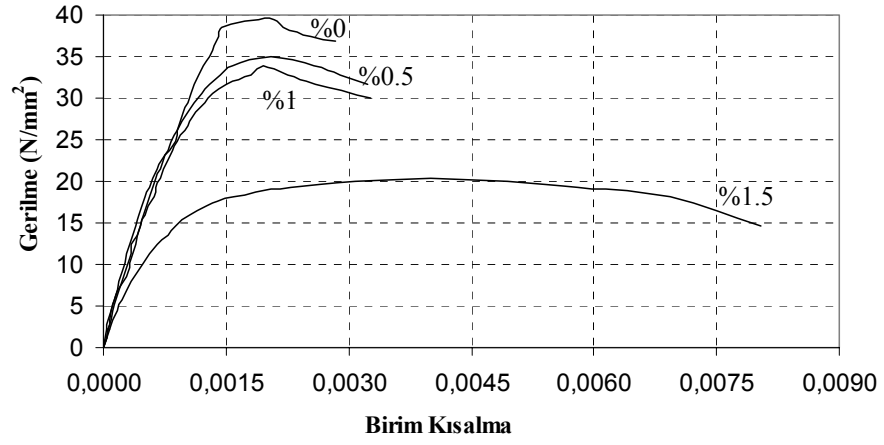
Ek-2h. 28 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (50 °C)



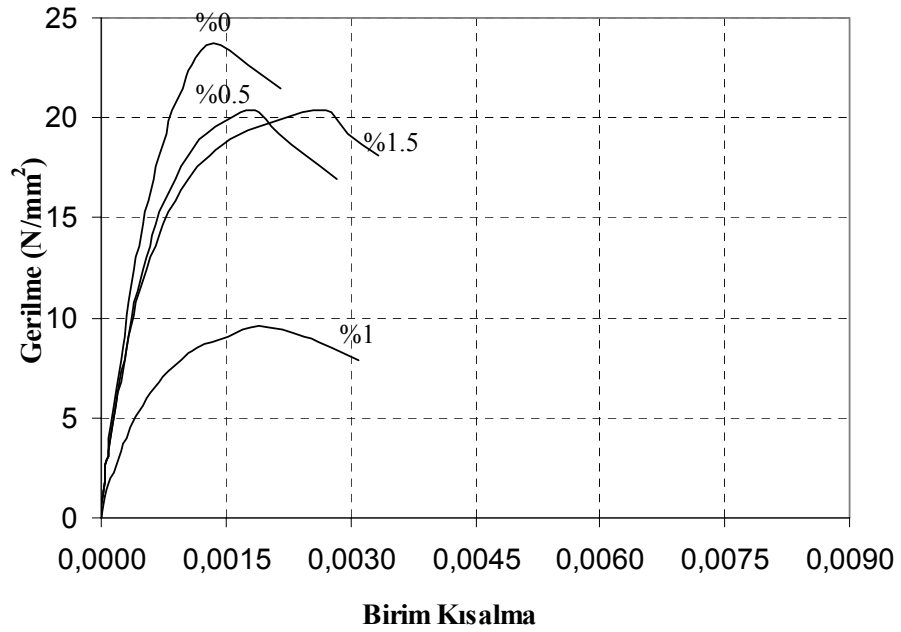
Ek-2i. 28 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (100 °C)



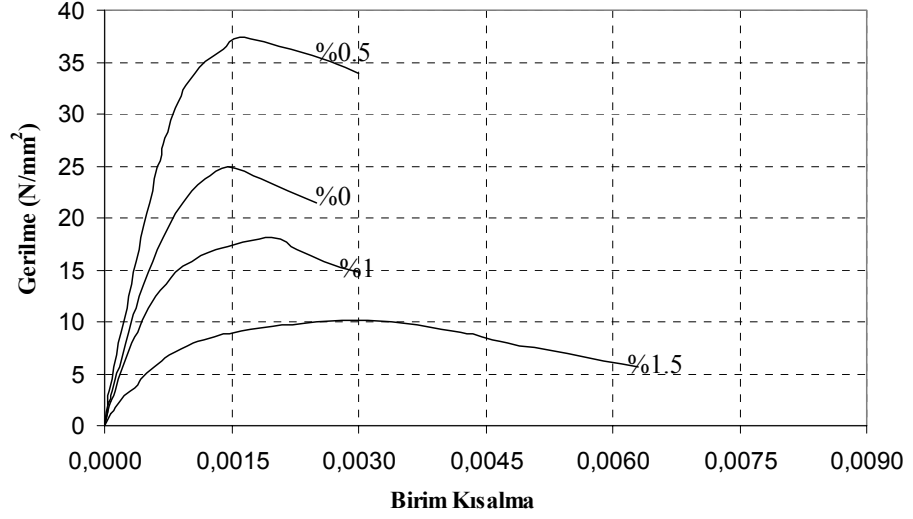
Ek-2i. 28 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (150 °C)



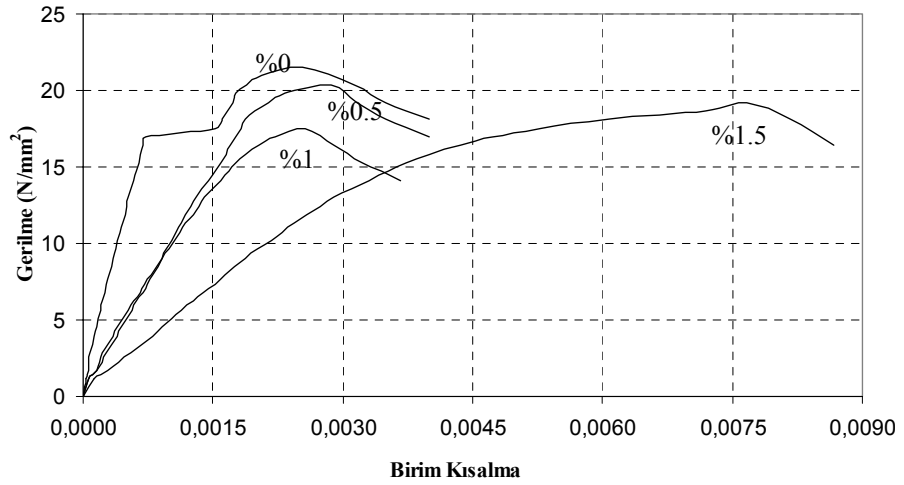
Ek-2j. 28 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (200 °C)



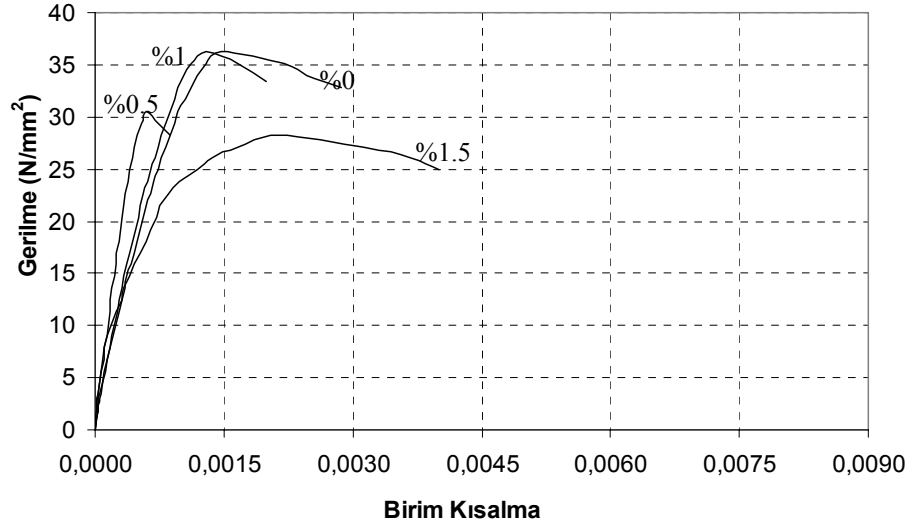
Ek-2k. 28 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (400 °C)



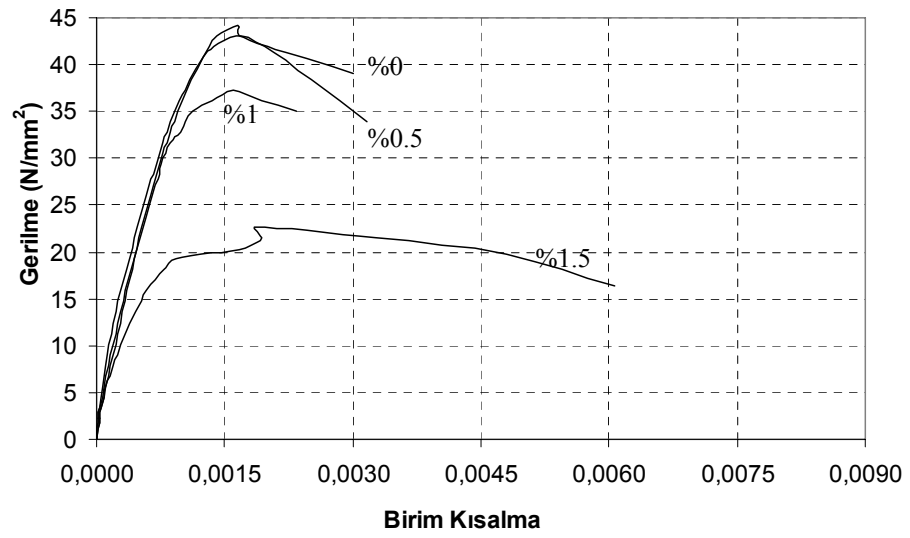
Ek-21. 28 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (600 °C)



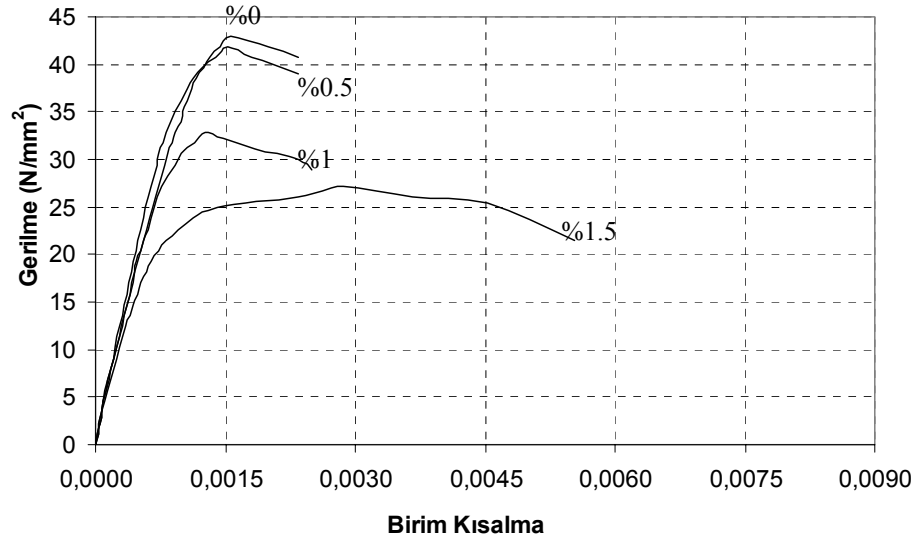
Ek-2m. 28 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (800 °C)



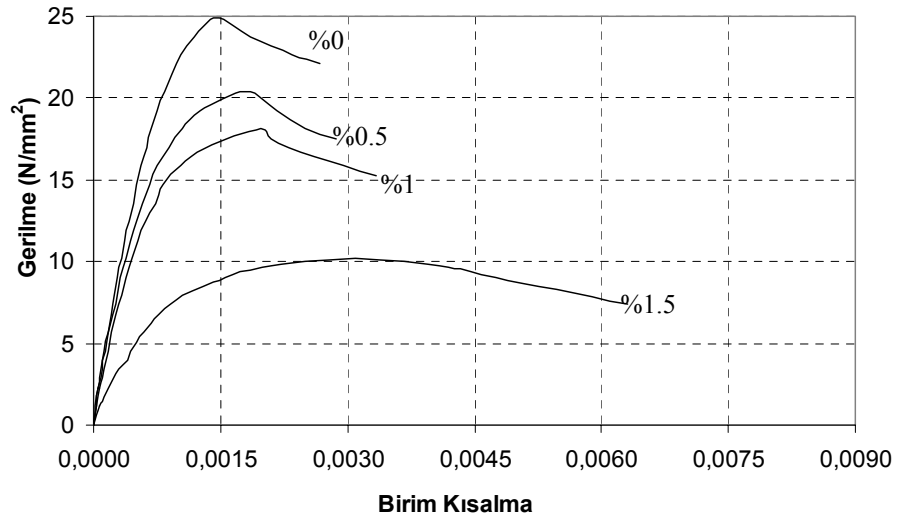
Ek-2n. 90 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (24.5 °C)



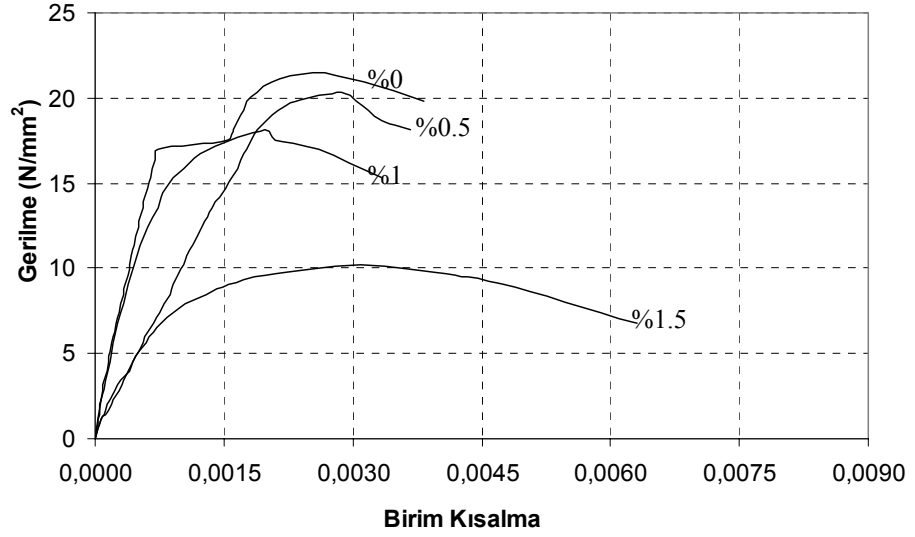
Ek-2o. 90 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (50 °C)



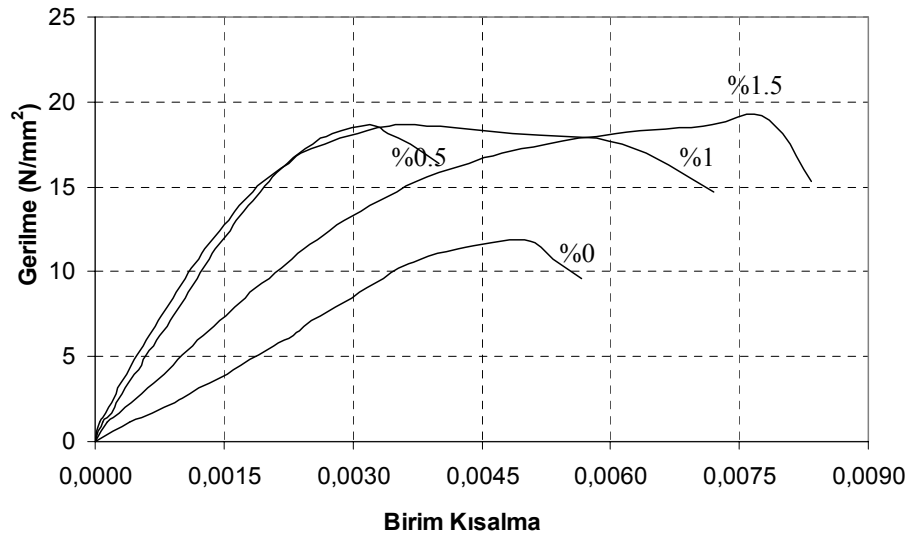
Ek-2ö. 90 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (100 °C)



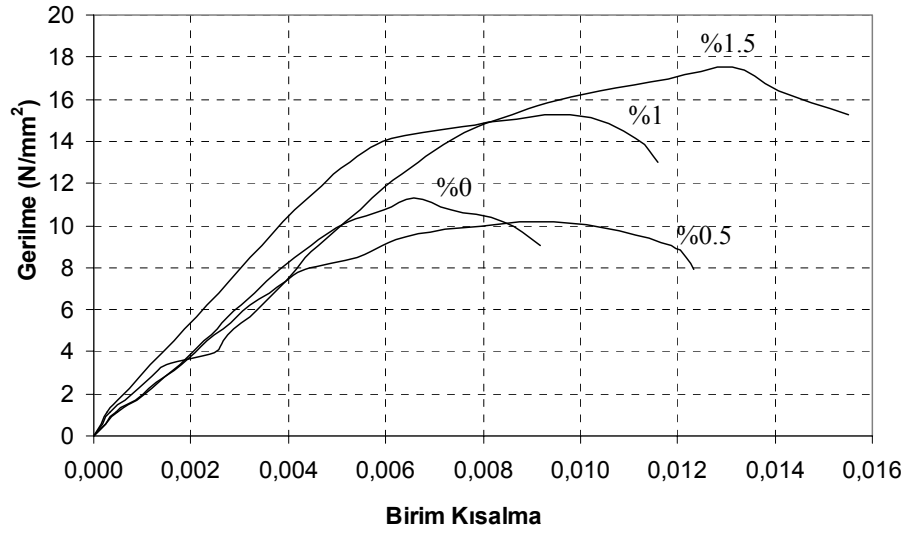
Ek-2p. 90 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (150 °C)



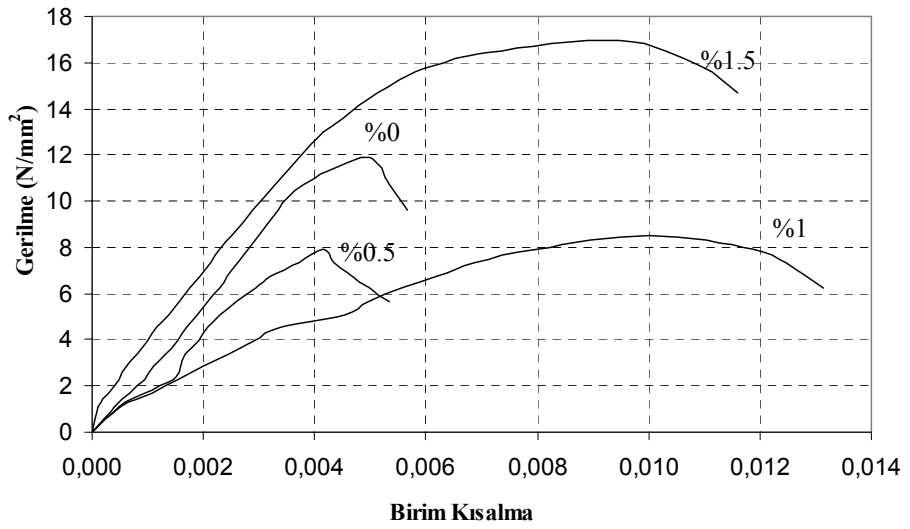
Ek-2r. 90 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (200 °C)



Ek-2s. 90 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (400 °C)



Ek-2ş. 90 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (600 °C)



Ek-2t. 90 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (800 °C)

Ek-3: Beton Numunelerde Sıcaklık Sonrası Elastisite Modülü Değerleri (24.5-800 °C)

Karışım	Lif yüzdesi	Sıcaklık (°C)	Elastisite Modülü (Mpa)		
			7. gün	28. gün	90. gün
C-0-0	Lif yok	24.5	31550	32600	33550
C-1-0	0.5 % çelik		30700	32050	32520
C-2-0	1 % çelik		32000	33300	33600
C-3-0	1.5 % çelik		27850	30400	31900
C-0-50	Lif yok	50	32050	34200	35400
C-1-50	0.5 % çelik		31400	33500	35100
C-2-50	1 % çelik		31200	32600	33100
C-3-50	1.5 % çelik		29200	29950	30350
C-0-100	Lif yok	100	29450	30500	31850
C-1-100	0.5 % çelik		27800	28400	29750
C-2-100	1 % çelik		26800	27850	29100
C-3-100	1.5 % çelik		27300	28500	29100
C-0-150	Lif yok	150	28150	29200	30400
C-1-150	0.5 % çelik		26700	28200	29150
C-2-150	1 % çelik		27200	28350	28950
C-3-150	1.5 % çelik		27700	27950	29300
C-0-200	Lif yok	200	28950	30150	30200
C-1-200	0.5 % çelik		27900	29050	29550
C-2-200	1 % çelik		27350	28850	29250
C-3-200	1.5 % çelik		27900	29200	29700
C-0-400	Lif yok	400	28850	28450	29450
C-1-400	0.5 % çelik		29050	29000	29400
C-2-400	1 % çelik		27800	27550	28500
C-3-400	1.5 % çelik		28650	28550	29600
C-0-600	Lif yok	600	25300	25000	25650
C-1-600	0.5 % çelik		24450	24150	25000
C-2-600	1 % çelik		26850	26900	27600
C-3-600	1.5 % çelik		26700	27600	26850
C-0-800	Lif yok	800	00000	20900	22600
C-1-800	0.5 % çelik		21100	23350	23700
C-2-800	1 % çelik		22700	21750	24800
C-3-800	1.5 % çelik		21650	24050	25600

Ek-4: Beton Numunelerde Sıcaklık Sonrası Tokluk Değerleri (24.5-800 °C)

Karışım	Lif yüzdesi	Sıcaklık (°C)	Tokluk (kN.mm)		
			7. gün	28. gün	90. gün
C-0-0	Lif yok	24.5	85.20	18.25	367.86
C-1-0	0.5 % çelik		155.44	236.80	384.63
C-2-0	1 % çelik		176.40	334.14	214.41
C-3-0	1.5 % çelik		119.08	65.18	391.50
C-0-50	Lif yok	50	232.37	314.87	256.09
C-1-50	0.5 % çelik		264.34	405.24	286.69
C-2-50	1 % çelik		396.55	360.17	309.78
C-3-50	1.5 % çelik		717.28	385.98	646.50
C-0-100	Lif yok	100	185.88	165.59	191.85
C-1-100	0.5 % çelik		287.27	174.54	268.74
C-2-100	1 % çelik		216.75	96.39	220.97
C-3-100	1.5 % çelik		706.17	238.58	362.51
C-0-150	Lif yok	150	256.50	212.55	233.10
C-1-150	0.5 % çelik		163.88	228.96	230.45
C-2-150	1 % çelik		372.40	234.25	350.45
C-3-150	1.5 % çelik		470.02	286.58	360.87
C-0-200	Lif yok	200	308.02	284.59	300.87
C-1-200	0.5 % çelik		229.14	233.43	235.45
C-2-200	1 % çelik		285.52	212.16	241.78
C-3-200	1.5 % çelik		224.95	350.79	300.45
C-0-400	Lif yok	400	195.49	189.75	200.87
C-1-400	0.5 % çelik		324.29	351.64	360.45
C-2-400	1 % çelik		386.08	212.16	345.23
C-3-400	1.5 % çelik		689.39	355.84	700.83
C-0-600	Lif yok	600	387.45	178.66	250.48
C-1-600	0.5 % çelik		331.01	494.34	450.78
C-2-600	1 % çelik		402.65	685.84	690.45
C-3-600	1.5 % çelik		771.29	788.84	800.30
C-0-800	Lif yok	800	384.46	387.15	380.01
C-1-800	0.5 % çelik		415.11	392.52	400.36
C-2-800	1 % çelik		396.84	415.54	421.34
C-3-800	1.5 % çelik		115.41	420.45	435.04

ÖZGEÇMİŞ

17 Şubat 1981' de Kayseri' de doğdu. 1993'te 60. Yıl Cumhuriyet İlköğretim Okulu' nu, 1998' de Sümer Lisesi' ni bitirdi. 2004 yılında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Yine 2004 yılında Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans yapmaya hak kazandı.

Sürekli Adres : Yeni Mah. 14.Cad. No:157/6 Kocasinan/KAYSERİ
Telefon : 0532 681 89 13
E-posta : FTekdemir@dsi.gov.tr