

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

**ÇELİK LİF KATKILI BETONLARA DÜŞÜK SICAKLIK
ETKİSİ**

**Tezi Hazırlayan
Şükrü MURAT**

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

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Kasım 2007
KAYSERİ**

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

**ÇELİK LİF KATKILI BETONLARA DÜŞÜK SICAKLIK
ETKİSİ**

**Tezi Hazırlayan
Şükrü MURAT**

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

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından
FBT-06-20 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Kasım 2007
KAYSERİ**

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

30/ 11 / 2007

JÜRİ:

Başkan : Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR

Üye : Yrd. Doç. Dr. Fatih ALTUN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Canan YILMAZ

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 04/12/2007 tarih ve 2007/42-11.03 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

05.12.2007



N. Ayyıldız
Prof. Dr. Nusret AYYILDIZ
Enstitü Müdürü

ÇELİK LİF KATKILI BETONLARA DÜŞÜK SICAKLIK ETKİSİ

Şükrü MURAT

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Kasım 2007

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Fatih ALTUN

ÖZET

Çalışmada, Dramix RC-80/60-BN tipi çelik teller C30 sınıfında üretilen 150x300 mm'lik silindir beton numuneler içerisine %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 60 mm $\pm$ 20 mm seçilmiştir.

Düşük sıcaklık deneyi, numunelerin dolaba yerleştirilmesi ve seçilen sıcaklık derecelerine kadar ayrı ayrı soğutulmaları şeklinde gerçekleştirilmiştir. Numunelere düşük sıcaklığın etkisini belirlemek amacıyla 10 $^{\circ}$ C, 5 $^{\circ}$ C, 0 $^{\circ}$ C, -5 $^{\circ}$ C, ve -10 $^{\circ}$ C 'lik düşük sıcaklık değerleri uygulanmıştır. Soğutucu sıcaklığının kontrollü azalma zamanı artı kararlı durum soğutulma zamanı, toplamda 6 saatlik soğutma periyodunu oluşturmuştur. Numuneler, 6 saat boyunca termal etkiye maruz bırakılmasından ve oda sıcaklığına kadar soğutulmasından sonra basınç dayanımları, dolaylı çekme dayanımları(yarmada çekme dayanımı), 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, yarmada çekme dayanımı, elastisite modülü ve tokluk değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Sonuç olarak, düşük sıcaklık uygulanan numunelerde sıcaklığın düşmesiyle basınç dayanımı, elastisite modülü ve tokluk değerleri genel olarak azalmıştır. Çelik tel katkılı betonların çekme dayanımlarında ise önemli bir artış gözlenmiş, ancak sıcaklığın düşmesiyle çekme dayanımlarındaki artış oranlarında azalmalar görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Beton, Çelik Tel, Düşük Sıcaklık, Basınç Dayanımı, Çekme Dayanımı

THE EFFECT OF LOW TEMPERATURE ON STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE

Şükrü MURAT

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M. Sc. Thesis, November 2007

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Dr. Fatih ALTUN

ABSTRACT

In this study, steel fibers of type Dramix RC-80/60-BN were added to concrete specimens of C30 class at the amounts of %0.5, %1.0 and %1.5 by absolute volume, and sufficient number of cylindrical specimens of 150x300 mm dimensions were taken. A control group of the same class of concrete without steel fibers was also produced. The mixed concrete had a water/cement ratio of 0.58 and slump of 60mm+20 mm.

The specimens were subjected to low temperatures by placing them in a deep-freeze with seven different temperature levels of 10 °C, 5 °C, 0 °C, -5 °C and -10 °C. The total period of keeping the specimens in the deep-freeze was kept at six hours including the period of dropping down to the aimed temperature level which was around 1 hours. Following this six-hour thermal exposure period, and after the concrete specimens cooled in the freezer back to the room temperature, the compressive strength, modulus of elasticity and toughness of each specimen was measured at 7th, 28th and 90th days.

As the outcome of this study, the compressive strength, tensile splitting strength, modulus of elasticity and toughness of concrete are given in relation to the ratio of steel fibers and low temperatures, comparatively. As a result, in general compressive strength, modulus of elasticity and toughness decrease while temperature decreases. Besides, an increase was observed in tensile strength with increasing dosage of steel fibers. However, the rate of increase in tensile strength is further reduced by decreasing temperatures.

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

TEŞEKKÜR

Araştırmanın gerçekleşmesinde büyük bir anlayış ve sabırla bana yardımcı olan, çalışmalarımı izleyen ve yönlendiren hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Fatih ALTUN' a ve İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR hocama en içten teşekkürlerimi sunmak isterim. Ayrıca deneysel çalışmalarım sırasında emeği geçen Uzman Kamuran ARI' ya, Arş. Gör. Bekir AKTAŞ' a, Arş. Gör. Oğuz DÜĞENCİ' ye, Arş. Gör. Özgür ÖZTÜRK'e ve tüm Yapı Malzemeleri laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederim.

FBT-06-20 proje numarası ile çalışmamıza araştırma fonunca destek verilmiştir. Bu destekten dolayı araştırma fonuna da teşekkür ederim.

Deneyselerimde kullandığım çimentoyu ve agregayı temin eden Çimsa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş.' ye, ayrıca teşekkür ederim.

Manevi desteklerinden dolayı aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	v
KISALTMALAR ve SİMGELER.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix

1. BÖLÜM

GİRİŞ	1
-------------	---

2. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER	4
----------------------	---

3. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	15
3.1. Malzemeler	15
3.1.1. Çimento.....	15
3.1.2. Agrega.....	16
3.1.3. Çelik Lif	17
3.1.4. Akışkanlaştırıcı.....	17
3.2. Beton Karışımı.....	18
3.3. Deneyler.....	20
3.3.1. Çelik Lif Katkılı ve Katkısız Silindir Beton Numunelerin Üretilmesi.....	20
3.3.2. Prizmatik Beton Kiriş Numunelerin Üretilmesi	25
3.4. Numunelerin Bazı Mekanik Özelliklerinin Tespiti.....	25
3.4.1. Oda Sıcaklığı Uygulanan Silindir Beton Numunelerde Basınç Deneyi.....	25
3.4.2. Oda Sıcaklığı Uygulanan Silindirik Beton Numunelerde Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi.....	27
3.4.3. Oda Sıcaklığı Uygulanan Prizmatik Beton Numunelerde Eğilme Deneyi...	28
3.5. Silindir Beton Numunelere Sıcaklık Uygulanması.....	29

4. BÖLÜM

BULGULAR	31
4.1. Silindir Beton Basınç Deneyleri Bulguları.....	31
4.2. Silindir Beton Yarma Deneyleri Bulguları.....	45
4.3. Prizmatik Beton Deneyleri Bulguları.....	50

5. BÖLÜM

SONUÇLAR	53
KAYNAKLAR.....	56
EKLER.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	75

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.

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Çelik Tel Donatılı Betonlar İçin Belirtilen Tokluk Sınıflandırılması
Tablo 3.1.	Çalışmada Kullanılan Portland Çimentosunun Özellikleri
Tablo 3.2.	Agregaların Fiziksel Özellikleri
Tablo 3.3.	Karışımda Kullanılan Agregaların Granülometreleri
Tablo 3.4.	Kullanılan Çelik Lifin Özellikleri
Tabla 3.5.	Agrega karışım Oranları
Tablo 3.6.	1 m ³ Beton İçin Karışım Hesabı
Tablo 3.7.	Silindir Beton Numunelerin Adedi ve Karışıma Dahil Edilen Lif Oranları
Tablo 3.8.	7 Gün Boyunca Düşük Sıcaklık Etkisine Maruz Bırakılan Silindir Beton Numunelerin Adedi ve Karışıma Dahil Edilen Lif Oranları
Tablo 4.1.	Beton Numunelerde Düşük Sıcaklık Sonrası Basınç Dayanımı Değerleri
Tablo 4.2.	Beton Numunelerde 7 Gün Boyunca Düşük Sıcaklık Bakımı Sonrası Basınç Dayanımı Değerleri (N/mm ²)
Tablo 4.3.	Beton Numunelerde Düşük Sıcaklık Sonrası Elastisite Modülü Değerleri
Tablo 4.4.	Beton Numunelerde 7 Gün Boyunca Düşük Sıcaklık Bakımı Sonrası Elastisite Modülü Değerleri (N/mm ²)
Tablo 4.5.	Beton Numunelerde Düşük Sıcaklık Sonrası Tokluk Değerleri(kN.mm)
Tablo 4.6.	Silindir Numune Mekanik Özellikleri
Tablo 4.7.	Prizmatik Kiriş Beton Numune Mekanik Özellikleri

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Çelik Tel Tipleri ve Sınıfları.....	6
Şekil 2.2.	Çelik Tel Tipleri ve Sınıfları.....	6
Şekil 2.3.	Çelik Tel Tipleri ve Sınıfları.....	7
Şekil 3.1.	Deneylerde Kullanılan Çelik Lif Eğrisi.....	17
Şekil 3.2.	Karışım Agregası Granülometri	18
Şekil 3.3.	Çelik Lif Katkılı Beton.....	20
Şekil 3.4.	Beton Karışımının Gerçekleştirildiği Mikser.....	23
Şekil 3.5.	Kalıplara Yerleştirilmiş Silindir Numuneler.....	23
Şekil 3.6.	Kürdeki Silindir Numuneler.....	24
Şekil 3.7.	Soğutucudaki Silindir Numuneler.....	24
Şekil 3.8.	Üretilen Prizmatik Numuneler.....	25
Şekil 3.9.	3000 kN' luk Basınç Presi.....	26
Şekil 3.10.	Deplasman Ölçer.....	26
Şekil 3.11.	Yarma Deneyi-Numune Prestre.....	27
Şekil 3.12.	Yarma Deneyi-Deney Sonrası Oluşan Çatlaklar.....	27
Şekil 3.13.	Eğilme Deney Düzeneği.....	28
Şekil 3.14.	Düşük Sıcaklık Uygulanan Fırın.....	29
Şekil 4.1.	Yedi Günlük Numunelerde Dayanım-Sıcaklık Grafiği.....	36
Şekil 4.2.	Yirmisekiz Günlük Numunelerde Dayanım-Sıcaklık Grafiği.....	37
Şekil 4.3.	Doksan Günlük Numunelerde Dayanım-Sıcaklık Grafiği.....	37
Şekil 4.4.	Düşük Sıcaklık Bakımı Uygulan 7 Günlük Numunelerde Dayanım-Sıcaklık Grafiği.....	40
Şekil 4.5.	Düşük Sıcaklık Bakımı Uygulan 28 Günlük Numunelerde Dayanım-Sıcaklık Grafiği.....	40
Şekil 4.6.	Yedi Günlük Numunelerde Çekme Dayanımı-Sıcaklık Grafiği.....	47
Şekil 4.7.	Yirmisekiz Günlük Numunelerde Çekme Dayanımı-Sıcaklık Grafiği....	49
Şekil 4.8.	Prizmatik Numuneler İçin Ortalama Kuvvet-Deplasman Eğrileri.....	50

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddeleri kullanılarak üretilen, kalıplara yerleştirilip uygun bakım koşullarında dayanım kazanan, karma bir malzeme olarak tanımlanır [1, 2]. Beton mühendislik yapılarında çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda beton kalitesi, katkı maddesi kullanımı ve çimento kalitesinin artmasına bağlı olarak artış göstermektedir. Farklı amaçlar için üretilen betonun projede verilen dayanımına ulaşabilmesi ancak uygun karışım oranına sahip olması ile mümkündür. Beton; kalıplara dikkatlice yerleştirilmeli, sıkıştırılmalı ve uygun sıcaklıklarda üretimi gerçekleştirilmelidir[3].

Betonun dayanım kazanması, karışımda kullanılan malzemeler kadar bakımına da bağlı olup, çoğu ülkede bakım gerekenden az yapılır veya hiç yapılmaz. Bunun sonucunda, sertleşmiş beton gerekli kaliteye ve gerekli performansa ulaşamaz. Betondaki çimento hamurunda; katı parçalar, jel suyu, kapiler su ve kapiler boşluklar vardır. Kapiler su, katı hidratasyon ürünlerinin üretimi ve jel gözeneklerinin dolması sırasında tükenir. Orijinal taze karışım hamurunun hacmine nispetle sertleşmiş hamurun hacminde azalma vardır. Bu hacim azalımı ısıyla olan kimyasal büzülmeden doğar ve bu durum bölgesel kapiler boşlukların oluşmasına sebep olur[4].

Mikroskopik düzeyde yapılan incelemede, hidrate çimento pastasının kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) ve kalsiyum hidroksitten (CH) meydana geldiği, bu fazın ise (içi su ile dolu yada boş) kılcal boşluklar ve hidrate olmamış çimento taneciklerini içerdiği görülecektir. Daha alt ölçekte yapılan incelemede ise kalsiyum silikat hidrat jellerinin değişik şekil ve kimyasal yapıda kristalize olmuş zayıf partiküller ile sürekli ve kesikli jel boşluklarından ibaret olduğu tespit edilmiştir [5]. Jel boşlukları, çimento jelinin katı parçacıkları arasına karışmış küçük hava boşlukları olarak tanımlanabilen kapiler

boşluklardan farklıdır. Jel boşlukları, çimento tanesinden yaklaşık 1000 kat daha küçük olan çimento jelinin katı parçacıkları içerisinde bulunur. Çimento, hidrasyon için hamurdaki kapiler boşluk suyunu kullanır. Bu boşluklarda su olduğu zaman hidrasyon devam edebilir. Betona dayanım kazandırmak için, bu boşluklar suyla doldurulmalıdır. Başlangıçta yeterli su/çimento oranının olduğu durumda, betonun dayanım kazanması kapiler boşluklardaki suyun buharlaşmasının önlenmesiyle sağlanır. Eğer başlangıçtaki su/çimento oranı yeterli değil ise; hidrasyon için gerekli su, hidrasyon sırasındaki kimyasal reaksiyonlar sayesinde herhangi bir yolla sağlanabilir. Çimento jelindeki su azalır, bir süre sonra gerekli su betonun yüzeyinden emilir. Eğer yüzeyin suya doygunluğu sağlanmazsa, çimento hamurunun nemi azalır. Eğer çimento hamurunun nemi %80 den daha düşük ise, hidrasyon yavaşlar, %30 un altına düştüğünde en düşük seviyeye düşer [6].

Hedeflenen özelliklere sahip betonu üretmek, betona dayanım ve durabilite kazandırmada en önemli etken olan çimentonun hidrasyonuna bağlıdır. Hidrasyonun hızı, taze betonun karılma işlemi bittiğinde en yüksek seviyesine ulaşır ve beton yaşlandıkça azalır ve bazı durumlarda hidrasyon yıllarca sürebilir. Hidrasyonun devam edebilmesi için, betondaki kapiler boşluklar suyla doldurulmalıdır[6].

Betonun bakımının süresi ve yöntemi, hem taze betonun özelliklerine hem de atmosfer sıcaklığına bağlıdır. Bu nedenle, çimentonun hidrasyonunu tamamlayabilmesi için uygun bakım sıcaklığı sağlanmalıdır. 30 °C den fazla sıcak havalarda, hidrasyon için gerekli su buharlaşır. Soğuk havalarda ise, çimentodaki su donar böylece çimento hidrasyonunu tamamlayamaz ve betondan istenilen özellikler elde edilemez [7].

Beton kullanım ömrü boyunca aşınma, donma çözülme, kimyasal ortamlar, dinamik yükler ve düşük sıcaklık gibi çeşitli etkilere maruzdur. Özellikle saha betonları, endüstriyel zeminler ve beton yollar çok şiddetli çevre koşullarına maruz kalabilmektedir. Bu etkilerden bir tanesi de düşük sıcaklıktır. Betonun imalatı sonrası ortam sıcaklığı, özellikle karasal iklimlerde güneş battıktan sonra ani olarak veya zamanla azalabilmekte ve bunun sonucunda dayanımında önemli düşüşler gözlenmektedir. Betonun içindeki çimento pastası, agrega ve su soğuma karşısında farklı davranışlar(çimento pastası ve agrega, sıcaklığın azalmasıyla büzülme, su ise donmaya bağlı olarak genişlemektedir.) ortaya koyarlar. Bu genişleme ve büzülme aynı

anda meydana geldiğinde betonda 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.[8]

Bu çalışmada; düşük sıcaklık durumlarında çelik lifli betonların basınç dayanımlarındaki değişim deneysel olarak araştırılmıştır. Bu araştırma için iki farklı düşük sıcaklık uygulaması yapılmıştır. İlk uygulama ; standart bakım (oda sıcaklığı) ile 10, 5, 0, -5 ve -10 ⁰C ‘deki düşük sıcaklık etkileri, beton numunelerin bir kısmına 7. , 28. ve 90. günde uygulanmıştır. Diğer numunelere ise aynı düşük sıcaklık değerleri, numunelerin üretiminden hemen sonra 7 gün boyunca uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, düşük sıcaklık etkilerinin 7 , 28 ve 90 günlük numunelerin basınç ve çekme dayanımlarında meydana getirdiği etkiler çelik lif oranlarına bağlı olarak deneysel olarak ölçülerek verilmiştir.

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 [8].

Beton basınç dayanımları arttıkça betonun kırılması sırasında bağıl olarak daha az enerji yuttukları bilinmektedir. Betona çelik lif katkısı ile daha yüksek enerji yutma kapasitelerine sahip, kırılma anında daha sünek davranış sergileyen, çatlama riski daha az ve durabilitesi daha da yüksek malzemeler ortaya çıkmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı çelik lifli betonlara talep artmaktadır. Günümüzde beton katkı malzemesi olarak çelik lifler yaygın olarak kullanılmaktadır[9].

Beton yollarda lif içerikli betonun kullanımı 1970’li yılların ilk dönemlerinde başlamıştır. Lif içerikli beton yollar ve takviye tabakalarının sahadaki uygulamaları ve sahadaki deneysel çalışmaları rapor halinde düzenlenmiştir [10-11]. Deneysel çalışmalarda ve kaplama uygulamalarında kullanılan çelik lif miktarı en düşük 36 kg/m³, en yüksek 157 kg/m³ ve ortalama 104 kg/m³ olarak değişmektedir. Bağlayıcı malzeme (çimento, uçucu kül veya silis dumanı) oranı; en düşük 330 kg/m³ , en yüksek 575 kg/m³ olmuştur [10].

Lifli beton yapımı klasik betonunkinden farklılık göstermemektedir. Ancak liflerin miktarının saptanmasında ve beton içinde homojen dağılmasında güçlükler görülmektedir. Liflerin bir arada kalmasının, yani topaklaşmanın önlenmesi için özel önlem alınması gerekir [13].

Çelik Lif Özellikleri

Betonun zayıf özelliklerinin iyileştirilmesi için kullanılan çelik telin tanımı ACI 544 [14] göre tel boyunun eşdeğer tel çapına bölünmesiyle elde edilen boy/çap oranı olarak kabul edilmektedir. Bu oran aynı zamanda telin narinliğini ifade etmektedir. Beton takviyesinde genellikle daire kesitli çelik lifler kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra dikdörtgen kesitli çelik teller de bulunmaktadır. Boyları 30-60 mm, çapları ise 0.5- 1.0 mm arasında değişen çelik tellerin yük etkisiyle kopmadan matrinden sıyrılmasına rağmen çekme dayanımlarının en az 345 N/mm² olması istenmektedir[14]. Uçları kancalı üretilen çelik tellerin çekip çıkarma dayanımları düz olanlara oranla daha yüksek olmaktadır. Düşük karbonlu çelikten üretilen çelik teller genellikle; soğukta çekilen tellerin kesilmesi, çelik plakaların kesilmesi ve erimiş haldeki çelik potasından çıkarılması olarak üç farklı şekilde elde edilmektedir. TS 10153’e göre çelik tel sınıfları ve tipleri şu şekilde verilmektedir [15].

Çelik Sınıfları ve Tipleri;

A Sınıfı: Düz, pürüzsüz yüzeyli teller. Şekil 2.1’de tipik enkesiti görülmektedir.

B Sınıfı: Bütün uzunluğu boyunca deforme olmuş teller;

Tip 1: Üzerinde girintiler (çentikler) açılmış teller,

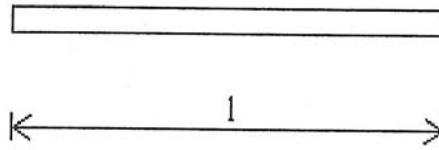
Tip 2: Uzunluğu boyunca dalgalı (kıvrımlı) teller,

Tip 3: Ay biçimli dalgalı teller. Şekil 2.2.a, şekil 2.2.b ve şekil 2.2.c’de B sınıfı çelik tellerin tipik enkesitleri görülmektedir.

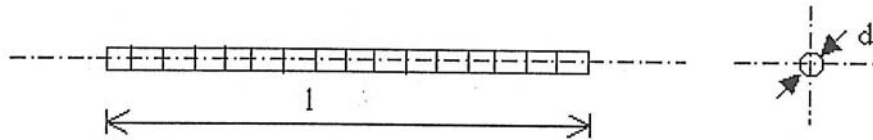
C Sınıfı: Sonu kancalı teller

Tip 1: iki ucu kancalı teller

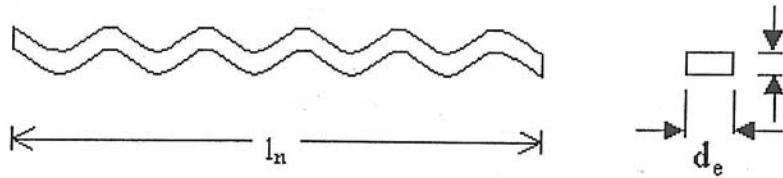
Tip 2: tek ucu kancalı teller. Şekil 2.2.a ve şekil 2.3 .b’de C sınıfı çelik tellerin tipik enkesitleri görülmektedir.



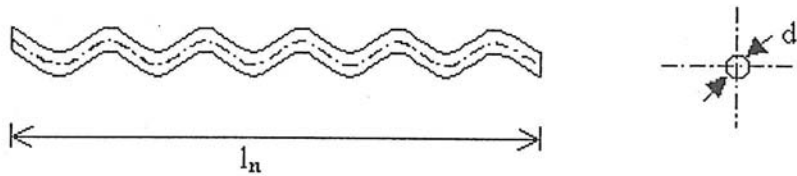
Şekil 2.1. Düz, Pürüzsüz Yüzeyle Teller.



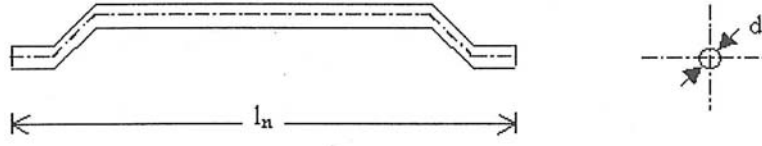
Şekil 2.2.a. Üzerinde Girintiler(Çentikler) Açılmış Teller.



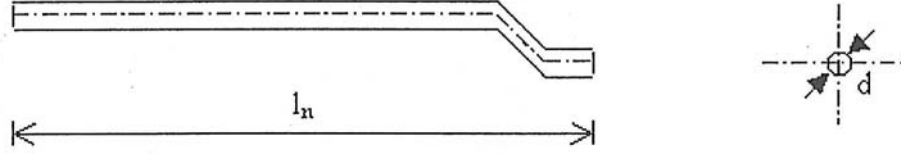
Şekil 2.2.b. Uzunluğu Boyunca Dalgalı Teller.



Şekil 2.2.c Ay Biçimli Dalgalı Teller.



Şekil 2.3.a İki Ucu Kıvrılmış Teller.



Şekil 2.3.b Bir Ucu Kıvrılmış Teller.

Lifli betonlar üzerinde ilk çalışmalar 1963'lü yıllarda beton içerisine cam liflerin katılmasıyla başlamıştır. Daha sonraları farklı lif tipleri kullanılarak beton mukavemeti üzerine liflerin etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda süreksiz dağılı bulunan liflerin genellikle betonda oluşan çatlakları en aza indirerek lifli betonun şekil değiştirme özelliğini artırmakta olduğu görülmüştür [16].

Ezeldin ve Balaguru, basınç dayanımları 35 MPa'dan 84 Mpa'a değişen basınç dayanımlı, çelik lif içerikli betonların tamamlanmış gerilme-şekil değiştirme eğrisini elde etmek için testler yapmışlardır. Matrisin, harçtan çok beton içerdiği belirtilmiştir. Araştırmacılar, üç farklı hacimsel oranda lif (30 kg/m³, 45 kg/m³, 60 kg/m³) ve üç farklı narinlik oranı (60, 75, 100) kullanmışlardır. Silis dumanı içeren ve içermeyen betonlara kancalı çelik lif ilave edilmesinin, basınç dayanımını ve tepe dayanımına karşılık gelen şekil değiştirmeyi artırdığını açıklamışlardır [17].

Otter ve Naaman, çelik lif kullanılan düşük dayanımlı betonların basınç dayanımlarındaki artış katkısız betonlarla karşılaştırıldığında daha belirgin ve bu artış doğrudan kullanılan çelik liflerin hacimsel oranıyla ilişkili olduğunu göstermiştir. Bu artış, düz çelik lifler, cam veya polipropilen liflere göre kancalı liflerde daha fazladır[18].

Barr ve arkadaşları 1982 yılında yaptıkları çalışmalarda çelik lifli betonların özellikle ilk kırılma yükünden sonra oldukça yüksek bir düktilite gösterdiğini, bu nedenle lif oranı arttıkça kırılma enerjisinde de artış olduğunu göstermişlerdir [19].

Arslan ve arkadaşları 1991 yılında çelik lifli betonun kesme dayanımının oldukça yüksek olduğunu ve kesme elemanları kullanımda avantajlı olduğunu yapmış oldukları çeşitli çalışmalarda göstermişlerdir[20].

Shah ve Rangon 1971 yılında rastgele olarak beton içerisine dağılmış farklı narinlikteki liflerden lif güçlendirme mekanizmasının pratikte kullanılan çelik çubuklar arasındaki farkları incelemişlerdir. Çekme, basınç ve erime etkileri altındaki liflerle güçlendirilmiş betonlarda liflerin matriste çatlak oluşturduktan sonra etkinliğinin daha fazla olduğu çatlama sonrası dayanımının ise lif özelliklerine bağlı olduğu sonucuna varmışlardır [21].

Bartos 1981 yılındaki çalışmalarında çimento kökenli matrislerde liflerin değişik tiplerinin kenetlenme karakteristiklerini değerlendirmişlerdir. Liflerle güçlendirilmiş betonlarda lifle beton arasındaki kenetlenmeyi açıklayan teorilerini grafiksel olarak ifade etmişlerdir. [22].

Robins ve Calder Wood 1978 yılındaki çalışmalarında çelik ve polipropilen lifli olarak imal edilen döşemelerin patlama tesirinde daha az parçalandığı gözlemlenmiştir [23].

Ezeldin ve Lowe, basınç altındaki sekant elastisite modülünü elde etmek için dayanımları 35 Mpa ile 85 Mpa arasında değişen betonlarda üç farklı miktarda (30, 45, 60 kg/m³) çelik lif kullanmışlardır. Çelik lif ilavesinin başlangıç elastisite modülünde artış sağladığı bulunmuştur [24].

Normal olarak uygulamada kullanılan hacimsel lif oranlarında, lif içerikli betonun dinamik modülü, katkısız betonunkinden çok az farklıdır. Swamy ve Mangat (1974) tarafından yapılan testler %2'den yüksek hacimsel oranda çelik lifli betonun dinamik modülünün, katkısız betonunkinden %5 farklı olduğunu göstermiştir. Bu nedenle statik elastisite modülü için kullanılan geleneksel çözümler, lif içerikli betonun dinamik modülü içinde uygulanır [25].

Lifli Betonların Kullanım Alanları

Lif içeren betonlar normal betonlara oranla sağladıkları belirli avantajlarından dolayı oldukça geniş kullanım alanlarına sahiptir. Bu kullanım alanları şu şekilde özetlenebilir:

- Tünellerde püskürtme beton kaplamalarında, [26-27].
- Yol kaplamalarında, [28-29].
- Endüstri yapılarında, [30].
- Su yapılarında, [27].
- Şevlerin stabilizasyonu ve istinat duvarı yapımında, [31-32].
- Kabuk yapılarda,
- Depreme dayanıklı yapılarda kullanılmaktadır[33].

Lifli Betonların Mekanik Davranışı

Beton, büyük basınç kuvvetlerini iyi taşıyan bir yapı malzemesidir. Betonun dayanımı tokluğu ve birim boy değişimi çekme etkisine karşı açıkça görülebilen bir düzeltme ve kullanım özelliği sağlar. Lifli beton, hidrolik çimento, agrega ve beton içerisinde çoğunlukla süresiz dağılı liflerin suyla karıştırılmasından meydana gelen bir yapıya sahiptir. Ayrıca hidrolik çimento ve liflerden oluşan bileşime de “lifli beton” adı verilmektedir. Belirli özellikleri olan liflerle homojen olarak takviye edilmiş lifli beton, ilk görüşte normal beton karışımlarına benzemesine rağmen değişik yükler altında gösterdiği davranış ve performans açısından geleneksel betondan oldukça farklı bir özelliğe sahiptir. Liflerin beton içerisinde gelişigüzel dağılmasına rağmen lifli beton yük altında homojen bir davranış gösterir.

Lifli betonların üretiminde bugüne kadar yapılan çalışmaların çoğunda portland çimentosu kullanılmıştır. Ancak çimento hamuru kırılma birim uzamasının çoğu yüklerinkinden % 0,02- % 0,06 mertebesinde düşük olması sonucu bir yükleme durumunda elastik limitin ötesinde çimento hamurunun maddesinde çatlakların oluşmasından dolayı matris olarak sadece çimento hamurunun kullanılması hacim kararsızlığı nedeni ile zararlı olduğu söylenmektedir. Lifli beton kompozitlerinde matrisin fonksiyonu, lifleri bir arada tutmak, onları korumak ve liflere veya liflerden gerilme transferini sağlamaktır.[34]

Williamson ve Naaman ve arkadaşları çalışmalarını içeren, 1988 öncesi çalışmalar, harç karışımlarında lif ilavesi ile oluşan dayanım artışı ihmal edilebilecek düzeyde olduğunu göstermiştir. Buna karşın beton karışımlardaki dayanım artışı %23 kadardır [35, 36].

Katkısız betonun büzülmesini etkileyen faktörlerle, lif içerikli betonların büzülmesini etkileyen faktörler aynıdır. Bunlar; sıcaklık, bağıl nem, malzeme özellikleri, kür süresi ve numune boyutudur. Lif ilave edilmesi, büzülmenin katkısız betonlara göre daha kısa zamanda tamamlanmasını sağlamaktadır. Kuruma büzülmesi sınırlandırıldığında liflerin etkisinin olmadığı (Lim ve ark.) veya katkısız betondan daha az büzülmeye sebep olduğu ((Paul ve ark.), Balaguru ve Ramakrishman) saptanmıştır. Sadece kuruma büzülmesini sağlamak amacı ile lif katılacaksa kısa ve rastgele dağılmış liflerin; beton hacmi içerisinde lif sayısının fazla olmasından dolayı uzun liflerden daha faydalıdır. [37-39]

Büzülme ile ilgili liflerin ilk avantajı, büzülme çatlaklarının genişliklerini azaltmasıdır [37]. Büzülme çatlakları, betonda büzülme hareketleri sınırlandırıldığında ortaya çıkmaktadır. Çelik lif kullanımı, ilk çatlağın oluşumunu geciktirmekte, birden fazla çatlak oluşmasını sağlamakta, dolayısıyla çatlak genişliğini azaltmaktadır [25]. Lif içerikli betonun sınırlandırılmış büzülme davranışı konusunda yapılan testler, az miktarda (hacimce % 0.25) çelik lif ilavesini çatlak genişliğini ortalama yaklaşık % 20 maksimum % 50 azalttığını göstermektedir [36].

Çelik lif katkılı betonun mikro yapısının üzerinde Dramix çelik liflerinin etkisi ve donma direnci üzerinde mikro yapının etkisi Vares tarafından araştırılmıştır. % 2.0 ve % 4.0 çelik lif içeren lifli betonların donma direnci suda bekletilen numunelerin mikro yapısının tokluğunun ve değişikliklerin karşılaştırılması ile beton 100 ve 200 donma-çözünme çevrimine maruz bırakıldıktan sonra belirlenmiştir. 200 donma-çözünme çevriminden sonra çelik lif içerikli betonun mikro yapısında ciddi bir hasar gözlenmemiştir [40].

Lifli betonlarda beton bileşimine giren parametreler içerisinde beton özelliklerini önemli ölçüde etkileyen faktörler narinlik oranı ile lif miktarıdır. Lifli betonun üretilmesinde karıştırma ve yerleştirme gibi aşamalarında , lifin narinlik oranı önemli olmaktadır. Genellikle beton karışımlarında kullanılan çelik liflerin narinlik oranı 50-

100 arasında değişmektedir. Bu oran ne kadar büyük olursa karışım içerisinde topaklanma oluşması ve liflerin homojen dağılmadığı yapılan çalışmalarda gözlenmiştir. Öte yandan karışıma katılan lif miktarı da betonun işlenebilme özelliğine önemli ölçüde etkilemektedir. Genellikle beton karışımlarında en uygun lif yüzdeleri toplam beton karışımının % 0.5- % 2.5 arasında değişmektedir. Beton bileşimine katılan liflerin çeşidi ne olursa olsun, liflerin homojen olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonra da bozulmaması gerekmektedir [41].

Lifli betonlarda yük iki faz tarafından taşınmaktadır. Çekme gerilmelerini karşılayan ve süreksiz dağılı faz olarak adlandırılan lif fazının, yükün sürekli fazı teşkil eden matris tarafından aktarıldığı kabul edilmektedir. Lif ile matris arasındaki aderanstan aktarılan kuvvetler meydana gelmektedir. Diğer taraftan liflerin süreksiz dağılı olmalarının yanı sıra kuvvet eksenine doğrultusuna paralel bulunmamaları halinde de etkinlikleri azalmaktadır [41].

Özellikle çelik liflerin betona belirli oranda karıştırılmasıyla elde edilen yeni betonun çekme dayanımının yanında birçok mühendislik özelliklerinde de iyileşmeler gözlenmiştir. Çelik liflerin basınç ve çekme kuvvetleri etkisi altında liflerin çekme mukavemeti tam olarak kullanılmadan önce beton matrisinde çok sayıda kılcal çatlakların meydana gelmesini önlemektedir[41].

Çelik lifli beton özellikle ilk kırılma yükünden sonra oldukça yüksek bir düktilite gösterir. Buda kırılma enerjilerinin yüksek olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle lif oranı arttıkça kırılma enerjisi de artış kaydetmektedir. Çelik lifli betonların gerilme, birim boy değişimi eğrisinin ilk kırılma yüküne kadar olan kısmının altında kalan toplam alanı tokluk indeksi olarak tanımlanmıştır. Çelik tel donatılı betonların kırılma enerjilerinin veya enerji yutma kapasitelerinin ifadesi için ortaya konulan tanımlamalar için verilen ampirik bağıntılardan en çok kullanılan Barr'ın önerdiği "Tokluk İndeksi" tanımlamasıdır. Bu tanımlamada tokluk indeksi lifli betonun eğrinin altında kalan toplam alanı oranın olarak ifade edilmektedir. Tokluk değerine kadar yutulan enerji esas alınmaktadır [19].

Yapılan çalışmalarda dairesel kesitli düz ve kancalı çelik tellerin betonun bahsedilen özelliklerinde en etkin iyileştirmeyi yaptığı gözlenmiştir. Beton karışımında kullanılan

bu tür tellerin narinlik oranı 50 ile 100 arasında ve katılma oranı ise hacimsel olarak %0.5 ile % 2.5 arasında değişebilmektedir. Katılım oranı arttıkça çelik tellerin karışım içerisinde topaklandığı ve homojen bir dağılım göstermediği, hatta basınç dayanımının normal betonun basınç dayanımına oranla düşük olduğu gözlenmiştir [26]. Basınç dayanımındaki bu düşmenin topaklaşmadan dolayı beton içerisinde meydana gelen zayıf bölgelerin ve hava boşluklarının sebep olduğu söylenebilir.

Tablo 2.1’te ise EFNARC tarafından çelik tel donatılı betonlar için belirtilen tokluk sınıflandırılması verildi[42].

Tablo 2.1 Çelik Tel Donatılı Betonlar İçin Belirtilen Tokluk Sınıflandırılması

Tokluk Sınıfı	25 mm’e Kadar Yutulan Enerji (joule)
a	500
b	700
c	1000

Çelik tel donatılı betonun mekanik özellikleri, son 20 yılda sayısız araştırmaya konu olmuştur ve şu anda oldukça iyi bilinmektedir. Buna rağmen bu incelemeler genellikle oda sıcaklığı ortamında gerçekleşmiştir. Ancak düşük sıcaklıklarda özellikle donma noktasının altında çelik lifli betonun özelliklerini kontrol eden mekanizma oldukça farklı olabilmektedir. Bunun sebebi de hem çeliğin hem de betonun mekanik özellikleri sıcaklık değişimiyle belirgin şekilde değişmektedir. Birçok katı maddede olduğu gibi çelik ve beton, sıcaklık düştükçe büzülür. Bunun sebebi atomlardaki kinetik enerjinin azalmasıdır. Bu kinetik enerji düşüşü de termal hareketin düşüşünü tetikler. Verilen bir malzemenin potansiyel enerji ile içsel atom mesafesini tanımlayan eğrideki asimetri sebebiyle, atomlar arasındaki ortalama denge mesafesi düşer ve bu düşüş atomlar arasında hiçbir hareketin kalmadığı sıcaklık noktası olan -273°C ’ ye kadar devam eder. Atomlar arasındaki mesafedeki düşüş, dayanımın yükselmesine neden olur. Çünkü atomlar arasındaki çekim kuvvetleri artar. Aderanstaki gevreklik, çekim kuvvetleri ile de artar. Bu sebeple düşük sıcaklıklarda çelik ve beton daha dayanıklı ama daha gevrekler. Betonda atomlar arasındaki mesafenin düşmesine ek olarak düşük sıcaklığın

sebebi olduğu bir önemli etki daha vardır. Sıcaklık 0°C 'nin altına düştüğünde boşluklardaki su donmaya başlar. Kapiler boşluklar yük taşıma kapasitesi olan ve sertleşmiş çimento matrisi ile güçlü aderans oluşturan bir katı madde ile dolduğu için dayanımı artırır. Şu da muhtemeldir ki donmuş su kopma (kırılma) dayanımını da artırır. Ve gerilme korozyonunu önler. Bu da dayanımı artırır. Bu nedenle düşük sıcaklıklardaki dayanım artışı büyük oranda donabilen su miktarına bağlıdır[43]. Bu konu düşük sıcaklıklardaki basınç artışının karışımdaki su içeriği ile neredeyse lineer olarak bağlantılı olduğunu gözlemleyen Muara tarafından bulunmuştur[44]. Stavena düşük sıcaklıklar altındaki eğilmeyi iki farklı dozajda, iki farklı tip çelik kullanarak 0.5 su/çimento oranındaki betonları kullanarak test etmiştir. Test sonuçları göstermektedir ki hem dayanım, hem de dayanıklılık sıcaklık düştükçe artmaktadır. Düşük sıcaklıklardaki dayanım ve dayanıklılık aynı zamanda çelik tel dozajı ile de artmaktadır[45].

Pigeon ve Cantin, çelik telle güçlendirilmiş betonların düşük sıcaklıklardaki eğilme özellikleri hakkında araştırma yapmışlardır. Araştırmada, çelik lifli betonun düşük sıcaklıklardaki mekanik özelliklerini belirlemek için ASTM C1018 eğilme testleri kullanılmıştır. Bu testler, oda sıcaklığı(20°C) - 10°C ve -30°C 'de yapılmıştır. Sıcaklığa ek olarak, çimento tipi (portland çimento, silika fume çimento), su/bağlayıcı oranı (0.45, 0.30, 0.60), lif tipi(iki çok farklı çelik geometrisi seçilmiştir) ve lif dozajı (40 kg/m³ ve 60 kg/m³) değişkenleri incelenmiştir. Sonuçlar göstermektedir ki çelik lifli betonun, eğilme yükleri altındaki dayanımı, sıcaklık düştükçe artmaktadır. Bu artış, düşük sıcaklıklardaki matris dayanımındaki artışla ilgili gözükmemektedir. Bundan dolayı, liflerin kırılması için gereken enerji artmaktadır. Bu çekme dayanımı artışı hem normal, hem de yüksek performanslı betonlarda, her iki lif tipinde ve dozajında gözlenmiştir. Bu testlerde lifin geometrisinin etkisi oldukça küçük olduğu bulunmuştur[43].

Metin Hüsem ve Serhat Gözütok, yaptıkları çalışmalarda, normal ve yüksek performanslı betonlarda düşük sıcaklıklarda bakımın basınç dayanımına etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada; normal betonun ve yüksek dayanımlı betona düşük sıcaklıklarda bakımının basınç dayanımlarında meydana getirdiği değişim, deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmada, numunelerin imalatından sonra, numuneler 7 gün boyunca farklı koşullarda bakılmıştır. Sonuçta , 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[46].

Bu çalışmada; düşük sıcaklık durumlarında çelik lifli betonların basınç dayanımlarındaki değişim deneysel olarak araştırılmıştır. Bu araştırma için iki farklı düşük sıcaklık uygulaması yapılmıştır. İlk uygulamada ; standart bakım (oda sıcaklığı) ile 10, 5, 0, -5 ve -10 ⁰C ‘deki düşük sıcaklık etkileri, beton numunelerin bir kısmına 7. , 28. ve 90. günde uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, düşük sıcaklık etkilerinin 7 , 28 ve 90 günlük numunelerin basınç ve yarmada çekme dayanımlarında meydana getirdiği etkiler çelik lif oranlarına bağlı olarak deneysel olarak ölçülerek verilmiştir. Diğer numunelere ise aynı düşük sıcaklık değerleri, numunelerin imalatından sonra 7 gün boyunca uygulanmıştır. 7 gün sonunda numunelerin bir kısmı basınç deneyine tabi tutulmuş, kalanlar ise 28. güne kadar standart bakıma tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda, düşük sıcaklık değerlerinin 7 ve 28 günlük numunelerin basınç dayanımlarında meydana getirdiği etkiler çelik lif oranlarına bağlı olarak deneysel olarak ölçülerek verilmiştir.

3. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar, normal beton sınıfında çelik lif katkısız ve değişik dozajlarda çelik lif katkılı beton deneyleri olarak, oda sıcaklığı, 10 °C, 5 °C , 0 °C , -5 °C ve -10 °C düşük sıcaklıkları, 7, 28 ve 90 günlük silindir numunelere uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Diğer bir deneysel çalışma ise, beton numuneler üretildikten sonra 7 gün süreyle 10 °C, 5 °C , 0 °C , -5 °C ve -10 °C düşük sıcaklık değerleri uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca düşük sıcaklık uygulanan silindir numuneler üzerinde basınç dayanımı ve yarmada çekme 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. Malzemeler

Deney numunelerinin hazırlanmasında aşağıdaki özelliklere sahip malzemeler kullanılmıştır.

3.1.1. Çimento

Numunelerin hazırlanmasında Yibitaş Çimento fabrikasından temin edilen PÇ 42.5 Portland Çimentosu kullanıldı. Bu çimentoya ait fiziksel ve mekanik özellikler Tablo 3.1’de verilmektedir.

Tablo 3.1. Çalışmada Kullanılan Portland Çimentosunun Özellikleri.

Çimento Tipi PÇ42.5			
Çözünmeyen Kalıntı	0.2	Blaine cm^2/g .	3003
MgO, %	1.67	Su / Çimento	27.4
SO ₃ , %	3.24	Priz başı dk.	177
K ₂ O, %	0.58	Priz sonu dk.	223
Kızdırma Kaybı, %	1.02	La Chatelier, mm	1
Cl, %	0.01	Basınç dayanımı, N / mm^2	
Serbest CaO, %	0.4	1 gün	17.9
C ₃ A, %	9.2	2 gün	27.5
C ₃ S, %	50.7	7 gün	41.9
Özgül Ağırlık g/cm^3	3.16	28 gün	58.7

3.1.2 Agrega

Numunelerin hazırlanmasında Çimsa hazır beton firmasına ait kırmataş ocağından alınan kırmataş ve kırma kum kullanıldı. Agregalara ait fiziksel özellikler Tablo 3.2’de verilmektedir. Agregaların granülometri değerleri ise Tablo 3.3’de verilmektedir.

Tablo 3.2. Agregaların Fiziksel Özellikleri.

Agrega	Su emme, Ağırlıkça, %	Tane Birim Ağırlığı (kg / m^3)	Özgül Ağırlık (g / cm^3)
0 – 7 Kum	1.6	2320	2.36
7 – 15 Kırmataş	1.6	2660	2.70
15 – 25 Kırmataş	1.2	2680	2.71

Tablo 3.3. Karışımda Kullanılan Agregaların Granülometrilere.

Elek Göz Boyutu (mm)	31.5	16	8	4	2	1	0.5	0.25
0 – 7 Kum	100	100	99	99	73	37	9	1
7 – 15 Kırmataş	100	99	26	2	1	1	1	1
15 – 25 Kırmataş	100	3	0	0	0	0	0	0

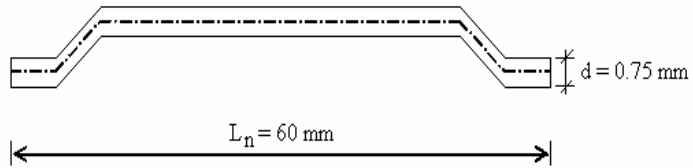
3.1.3. Çelik tel

Numunelerin hazırlanmasında RC 80/60 BN tipi iki ucu kancalı çelik teller kullanıldı. Kullanılan çelik telin özellikleri Tablo 3.4.'de verilmektedir.

Tablo 3.4. Kullanılan Çelik Telin Özellikleri.

Çelik Tel Tipi	Boy (mm)	Çap (mm)	Narinlik (Uzunluk/Çap)	Yoğunluk (g/cm ³)
Dramix RC 80/60	60	0.75	80	7.48

Çelik tel çekme dayanımı minimum 1050 N/mm² dir. Kullanılan çelik tel tipi şematik olarak Şekil 3.1.'te verilmiştir.



Şekil 3.1. Deneylerde Kullanılan Çelik Lif

3.1.4. Akışkanlaştırıcı

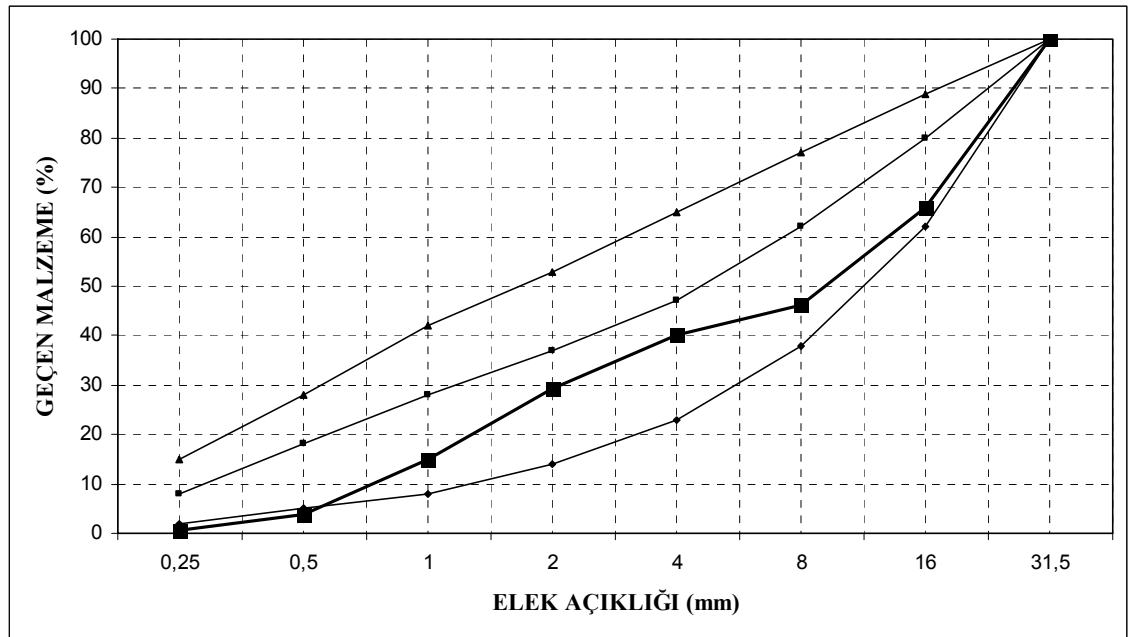
Numunelerin hazırlanmasında YKS akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Katkının miktarı 1 m³ betondaki çimento ağırlığının % 1.0'i olarak belirlenmiştir. Katkının yoğunluğu da 1.18 ± 0.02 kg/lt'dir.

3.2. Beton Karışımları

Üretilen betonlarda kullanılan agrega oranları (ağırlıkça) Tablo.3.5’de ve karışım agregasına ait tane dağılımı eğrisi Şekil 3.2’de verildi [47].

Tablo 3.5. Agrega karışım Oranları.

Agrega	Karışım %’si (Ağırlıkça)
0 – 7 Kum	40
7 – 15 Kırmataş	25
15 – 25 Kırmataş	35



Şekil 3.2. Karışım Agregası Granülometri Eğrisi.

Taze beton özellikleri ve gerçek karışım miktarları ise Tablo 3.6.’da verildi.

Tablo 3.6. 1 m³ Beton İçin Karışım Hesabı.

Malzeme	Ağırlık (kg)
Su	200
Çimento (PÇ 42.5) (CEM II/B-M(V-L) 42,5 N)	343
İri Mıcır (15-25 mm)	661
İnce Mıcır (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

Bu çalışmada, çelik lif katkılı silindirik beton numuneler, su/çimento oranı 0.58 sabit tutularak, normal beton sınıfında %0.5, %1.0 ve %1.5 hacimsel oranlarında çelik lif katılarak üretildi. Ayrıca prizmatik kiriş numunelerde aynı beton ve çelik lif oranlarında üretilmiştir.

Betonların çökme değeri ise, akışkanlaştırıcı kullanılarak 6 ± 1 cm olacak şekilde sabit tutulmuştur.

Çelik lifler mikserle 20 kg/dak. hız ile homojen karışım sağlanacak şekilde katılmış ve karışım maksimum hızda 5 dakika çevrilmiştir [48]. 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 [49]. Karışıma giren çelik lif miktarları Tablo 3.6.' de verilmiştir.

3.3. Deneyler

3.3.1. Çelik Lif Katkılı ve Katkısız Silindir Beton Numunelerin Üretilmesi

Çelik lif katkılı ve katkısız silindir beton numunelerin adedi ve karışıma dahil edilen lif oranları Tablo 3.7.' de verilmiştir.

Tablo 3.7. Silindir 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
	10	3	3	3	3
	5	3	3	3	3
	0	3	3	3	3
	- 5	3	3	3	3
	- 10	3	3	3	3
28 Günlük	Oda Sıcaklığı	3	3	3	3
	10	3	3	3	3
	5	3	3	3	3
	0	3	3	3	3
	- 5	3	3	3	3
	- 10	3	3	3	3
90 Günlük	Oda Sıcaklığı	3	3	3	3
	10	3	3	3	3
	5	3	3	3	3
	0	3	3	3	3
	- 5	3	3	3	3
	- 10	3	3	3	3

Ayrıca 7 gün boyunca düşük sıcaklık etkisine maruz bırakılan çelik lif katkılı ve katkısız silindir beton numunelerin adedi ve karışıma dahil edilen lif oranları Tablo 3.8.' de verilmiştir.

Tablo 3.8. Yedi Gün Boyunca Düşük Sıcaklık Etkisine Maruz Bırakılan Silindir 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
	10	3	3	3	3
	5	3	3	3	3
	0	3	3	3	3
	- 5	3	3	3	3
	- 10	3	3	3	3
28 Günlük	Oda Sıcaklığı	3	3	3	3
	10	3	3	3	3
	5	3	3	3	3
	0	3	3	3	3
	- 5	3	3	3	3
	- 10	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 dm^3 'lük mikser kullanılmıştır. Üretim esnasında ilk olarak iri agregaya ile karma suyunun bir bölümü betoniyere konulmuştur. Daha sonra tanbur dönerken ince agregaya, çimento, karma suyunun geri kalan bölümü ve akışkanlaştırıcı betoniyere 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 [50].



Şekil 3.4. Beton Karışımının Gerçekleştirildiği Mikser.

Taze haldeki betondan homojen karışım sonrası 150 x 300 mm silindir beton numuneler kalıba üç aşamada doldurularak alınmıştır (Şekil 3.5). [51].



Şekil 3.5. Kalıplara Yerleştirilmiş Silindir Numuneler.

Çelik lif katkılı ve katkısız silindirik numuneler üretildikten 24 saat sonra çelik kalıplardan çıkartılıp kür havuzlarına konmuştur. Kür havuzunun sıcaklığı $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ve kirece doygundur[52]. (Şekil 3.6). Numuneler burada düşük sıcaklık uygulanacak günden bir önceki güne kadar tutulmuştur.

3.3.2. Prizmatik Beton Kiriş Numunelerin Üretilmesi

Beton imalatı 3.3.1. deki gibi yapılarak beton kiriş numuneler üretilmiştir [41,42]. Üretilen 1000 dm³ 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 [53] (Şekil 3.8.).



Şekil 3.8. Üretilen Prizmatik Numuneler.

%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.

3.4. Numunelerin Bazı Mekanik Özelliklerinin Tespiti

3.4.1. Oda Sıcaklığı Uygulanan Silindirik Beton Numunelerde Basınç Deneyi

Kontrol numuneleri soğuk 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 laboratuarda 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 3.9.' da verilen 3000 kN kapasiteli beton basınç presi kullanılarak yapılmıştır.



şekil 3.9. 3000 kN' luk Basınç Presi.

Deney numunelerinin elastisite modüllerinin hesaplanması için oluşan boy kısalmalarının belirlenmesi amacı ile silindir numuneye deplasman ölçer takılmıştır (şekil 3.10.). 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 3.10. Deplasman ler.

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 6x4x2 adet silindir beton numune üretilmiştir. Silindir numune boyutları 150x300 mm olarak seçilmiştir. Numuneler, standart kür koşulları uygulanarak 7 ve 28 gün sonunda TS EN 12390-6' ya uygun yarma yükü deneyine tabi tutulmuştur [54]. Deneyler 3000 kN kapasiteli beton presinde yapılmıştır (Şekil 3.11., Şekil 3.12.).



Şekil 3.11. Yarma Deneyi-Numune Preste.



Şekil 3.12. 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 [55] 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 3.13.' de verilmiştir.



Şekil 3.13. Eğilme Deney Düzeneği

Kirişlerin orta açıklığındaki sehim ve mesnetlerdeki çökmeler kaydedilmiştir. Kiriş orta açıklık net sehim, Şekil 3.13' 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 Düşük Sıcaklık Uygulanması

Çelik lif katkısız ve çelik lif katkılı beton numuneler 2 farklı düşük sıcaklık deneyine tabi tutulmuştur. Numunelerin bir kısmı üretim tarihinden itibaren 7., 28. ve 90. günlerde düşük sıcaklık etkisine maruz bırakılmıştır. Diğer numuneler ise üretildikten 24 saat sonra kalıplardan çıkartılarak 7 gün boyunca düşük sıcaklık etkisine maruz bırakılarak, soğuk havada bakımının, basınç dayanımlarında meydana getirdiği değişim, deneysel olarak araştırılmıştır. Bu işlemler için, 0 °C – 20 °C aralığı ile -20 °C - 0 °C aralığında çalışan iki farklı soğutucu kullanılmıştır. Beton numunelere; oda sıcaklığı, 10 °C, 5 °C, 0 °C, -5 °C ve -10 °C, sıcaklıkları Şekil 3.14.te verilen soğutucularda uygulanmıştır.



Şekil 3.14. Düşük Sıcaklık Uygulanan Soğutucu.

7, 28 ve 90. günde düşük sıcaklık uygulanan numuneler soğutucuya girmeden 1 gün önce havuzdan çıkarılmış ve 24 saat doğal kurumaya bırakılmıştır. Soğutucu sıcaklığının kontrollü azalma zamanı artı kararlı durum soğutma zamanı, toplamda 6 saatlik soğutma periyodunu oluşturmuştur.

7 gün süreyle düşük sıcaklık etkisine maruz bırakılan numuneler ise, hiç kür şartlarında tutulmadan, üretildikten 24 saat sonra soğutucuya konmuştur. 7. günde soğutucudan çıkartılan numunelerin bir kısmı 7 günlük olarak basınç deneyine tabi tutulmuştur. 28 günlük numuneler ise soğutucudan çıkartıldıktan sonra deney tarihine kadar kür havuzunda bekletilmiştir.

Silindir numunelerin üretim tarihlerinden itibaren 7, 28 ve 90. günlerde toplamda 6 saat boyunca düşük termal etkiye maruz bırakılmalarından ve oda sıcaklığına kadar 24 saat soğutulmalarından sonra basınç dayanımları ölçülmüştür. Ayrıca yarmada çekme dayanımları 7 ve 28 günlük olarak ölçülmüştür. 7 gün boyunca düşük termal etkiye maruz bırakılan numuneler ise, 7 günlük olanlar soğutucudan çıkartıldıktan ve oda sıcaklığında 24 saat bekletildikten sonra, 28 günlük olanlar soğutucudan çıkartıldıktan sonra 28. güne kadar kür havuzunda bekletilmiş ve basınç dayanımları ölçülmüştür. Numunelere düşük sıcaklıklar, beton dayanımlarının farklı fazlarında ve farklı dayanım aşamalarında etkilerini incelemek amacıyla uygulanmıştır. Basınç ve yarmada çekme dayanımı deneyleri şekil 3.9.' da 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 3.10.). Deneyler sırasında, silindir numunelerde oluşan deplasmanlar her 20 kN için okunarak bilgisayara aktarılmıştır. Bu değerler yardımıyla gerilme-şekil değiştirme eğrileri düşük 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

Basınç deneyleri çelik lif katkılı ve katkısız silindir beton numunelerde yapılmıştır. Oda sıcaklığından -10°C 'ye kadar düşük sıcaklık uygulanarak basınç yüklemesi altında kırılan numunelerin 7, 28 ve 90 günlük deney sonuçları aşağıda Tablo4.1'de verilmiştir. Yine oda sıcaklığından -10°C 'ye kadar düşük sıcaklıkta bakıma maruz bırakılarak basınç yüklemesi altında kırılan numunelerin 7 ve 28 günlük deney sonuçları Tablo4.2'de verilmiştir.

Çelik lifler betonun içerisinde bulunan zayıf bölgeleri desteklediği için, çatlak oluşumu çelik lifli betonlarda daha düzenlidir. Bu özellik çelik liflerin beton içerisinde homojen olarak dağıtılması ile sağlanmaktadır. Çelik lif katkılı silindir beton numuneler tipik davranış sergileyerek kırılmıştır. Tepe yükü sonrası yüklemeye devam edilmesine rağmen beton numunelerde aşırı derecede parçalanma meydana gelmemiştir.

Çalışma sonucunda, farklı çelik lif oranlarına ve değişen sıcaklık etkilerine göre 7, 28 ve 90 günlük silindir beton numunelerde gerilme-şekil değiştirme eğrileri çizilerek Ek-1' de oda sıcaklığı, 10, 5, 0, -5, ve -10°C için verilmiştir. Ayrıca farklı sıcaklık değerlerinde 7 gün boyunca bakıma maruz bırakılan numunelerde gerilme-şekil değiştirme eğrileri çizilerek Ek 2' de oda sıcaklığı, 10, 5, 0, -5, ve -10°C için verilmiştir.

Tablo 4.1.Beton Numunelerde Düşük Sıcaklık Sonrası Basınç Dayanımı Değerleri.

Karışım	Lif yüzdesi	Sıcaklık (°C)	Basınç dayanımı (Mpa)		
			7. gün	28. gün	90. gün
C-0	Lifsiz	24.5	21,75	28,07	36,12
C-0.5	0.5 % çelik		20,59	27,62	32,47
C-1.0	1 % çelik		19,89	26,70	36,31
C-1.5	1.5 % çelik		18,37	22,97	30,38
C-0-10	Lifsiz	10	18,94	28,64	40,35
C-0.5-10	0.5 % çelik		19,87	27,82	37,57
C-1.0-10	1 % çelik		21,11	28,23	34,98
C-1.5-10	1.5 % çelik		21,51	24,62	32,55
C-0-5	Lifsiz	5	24,17	29,11	35,68
C-0.5-5	0.5 % çelik		21,03	27,69	30,27
C-1.0-5	1 % çelik		20,87	28,20	30,19
C-1.5-5	1.5 % çelik		19,68	26,54	30,59
C-0-0	Lifsiz	0	24,00	29,62	36,30
C-0.5-0	0.5 % çelik		19,82	27,79	32,26
C-1.0-0	1 % çelik		22,26	28,78	32,29
C-1.5-0	1.5 % çelik		19,47	26,76	30,30
C-0-(-5)	Lifsiz	-5	22,04	28,88	35,35
C-0.5-(-5)	0.5 % çelik		19,07	27,15	29,20
C-1.0-(-5)	1 % çelik		18,36	26,41	31,09
C-1.5-(-5)	1.5 % çelik		17,86	24,73	30,45
C-0-(-10)	Lifsiz	-10	18,32	28,68	40,23
C-0.5-(-10)	0.5 % çelik		19,17	25,82	38,82
C-1.0-(-10)	1 % çelik		21,31	27,70	35,36
C-1.5-(-10)	1.5 % çelik		20,02	25,81	34,32

Tablo 4.2. Beton Numunelerde 7 Gün Boyunca Düşük Sıcaklık Bakımı Sonrası Basınç Dayanımı Değerleri (N/mm²).

Karışım	Lif yüzdesi	Sıcaklık (°C)	Basınç dayanımı (Mpa)	
			7. gün	28. gün
C-0	Lifsiz	24.5	20,03	36,50
C-0.5	0.5 % çelik		17,58	32,75
C-1.0	1 % çelik		19,40	36,70
C-1.5	1.5 % çelik		17,72	30,60
C-0-10	Lifsiz	10	20,81	43,39
C-0.5-10	0.5 % çelik		16,18	33,78
C-1.0-10	1 % çelik		16,34	33,01
C-1.5-10	1.5 % çelik		19,56	36,97
C-0-5	Lifsiz	5	20,88	37,60
C-0.5-5	0.5 % çelik		21,80	38,52
C-1.0-5	1 % çelik		18,41	32,08
C-1.5-5	1.5 % çelik		20,43	34,20
C-0-0	Lifsiz	0	11,67	36,10
C-0.5-0	0.5 % çelik		11,28	32,20
C-1.0-0	1 % çelik		12,25	32,30
C-1.5-0	1.5 % çelik		11,44	30,45
C-0-(-5)	Lifsiz	-5	16,19	39,51
C-0.5-(-5)	0.5 % çelik		17,87	40,90
C-1.0-(-5)	1 % çelik		12,60	32,74
C-1.5-(-5)	1.5 % çelik		16,18	38,20
C-0-(-10)	Lifsiz	-10	15,95	44,06
C-0.5-(-10)	0.5 % çelik		9,39	36,30
C-1.0-(-10)	1 % çelik		11,03	35,52
C-1.5-(-10)	1.5 % çelik		11,38	37,44

Grafiklerin incelenmesi sonucunda, 7, 28 ve 90. günde düşük sıcaklık uygulanan numunelerde, sabit sıcaklık değerlerine göre,

- Oda sıcaklığında; 7, 28 ve 90 gün sonunda basınç dayanımlarının lif oranı artışına bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir. 7 günlük numunede, lifsiz betona göre, %0.5 çelik lif oranlarında basınç dayanımı %5, %1.0 çelik lif oranlarında basınç dayanımı %9, %1.5 lif oranında basınç dayanımı %16 azalmış olarak hesaplanmıştır. 28 günlük numunelerde, %0.5 çelik lif oranlarında basınç dayanımı %2, %1.0 çelik lif oranlarında basınç dayanımı %5, %1.5 lif oranında basınç dayanımı %18 azalmış, 90 günlük numunelerde ise; %0.5 çelik lif oranlarında basınç dayanımı %10, %1.5 lif oranlarında %16 azalırken, %1.0 lif oranlı betonda dayanımda bir miktar artış gözlenmiştir.
- 10 °C 'lık numunelerde; 7 gün sonunda lif oranı artışına bağlı olarak basınç dayanımlarında artış görülmektedir. Lifsiz betona göre, %0.5 çelik lif oranlarında basınç dayanımı artışı %5, %1.0 çelik lif oranlarında basınç dayanımı artışı %11, %1.5 lif oranında basınç dayanımı artışı %14 olarak hesaplanmıştır. 28 ve 90 günlük betonlarda ise, lif oranı artışına bağlı olarak basınç dayanımının azaldığı tespit edilmiştir. 28 günlük numunelerde %1.5 lif oranlı betonda dayanım azalımı %14 olurken, 90 günlük betonda %19 azalma görülmüştür.
- 5 °C 'lık numunelerde; 7 günlük numunede, lifsiz betona göre, %0.5 çelik lif oranlarında basınç dayanımı %13, %1.0 çelik lif oranlarında basınç dayanımı %14, %1.5 lif oranında basınç dayanımı %19 azalmış olarak hesaplanmıştır. 28 günlük numunelerde %1.5 lif oranında %9, 90 günlük numunelerde ise, her üç lif oranında da yaklaşık %15 oranında dayanım azalımı görülmüştür.
- 0 °C 'lık numunelerde; 7 gün sonunda lif oranı artışına bağlı olarak basınç dayanımlarının %0.5 lif oranında, %17, %1.0 lif oranında, %7, %1.5 lif oranında %19 azalmış olduğu hesaplanmıştır. 28 günlük numunelerde, %0.5 lif oranında, %6, %1.0 lif oranında, %3, %1.5 lif oranında %10 azalma görülürken 90 günlük numunelerde bu azalma sırasıyla %11, %11 ve %17 olarak gerçekleşmiştir.

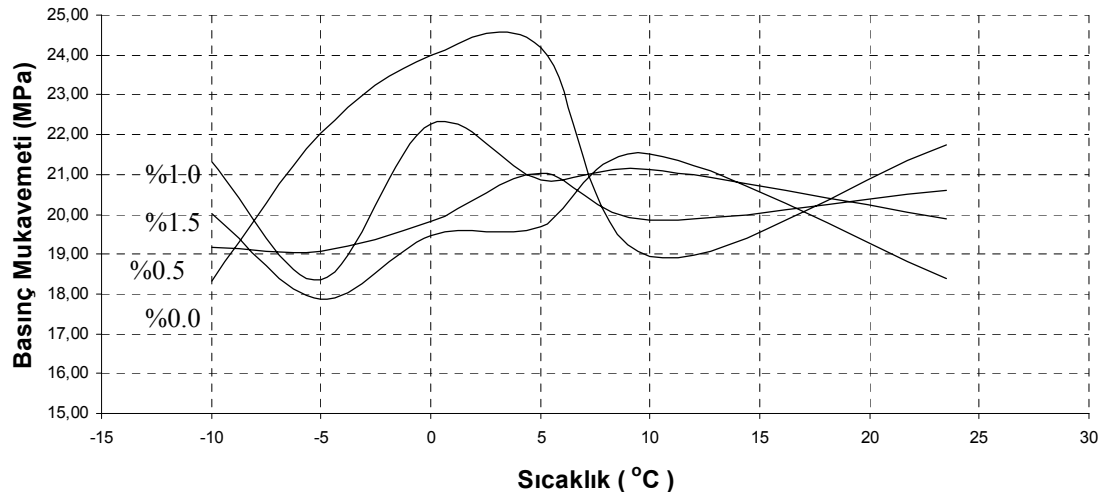
- -5 °C 'lik numunelerde; 7 gün sonunda lif oranı artışına bağlı olarak basınç dayanımlarının %0.5 lif oranında, %13, %1.0 lif oranında, %17, %1.5 lif oranında %19 azalmış olduğu hesaplanmıştır. 28 günlük numunelerde %0.5 lif oranında, %6, %1.0 lif oranında, %9, %1.5 lif oranında %14 azalma görülürken, 90 günlük numunelerde bu azalma oranı sırasıyla %17, %12 ve %14 olarak gerçekleşmiştir.
- -10 °C 'lik numunelerde; 7 gün sonunda lif oranı artışına bağlı olarak basınç dayanımlarının %0.5 lif oranında, %5, %1.0 lif oranında, %16, %1.5 lif oranında %9 artmış olduğu hesaplanmıştır. 28 günlük numunelerde ise %0.5 ve %1.5 lif oranlarında %10 oranında bir azalma görülürken, 90 günlük numunelerde %1.0 lif oranı için %12, %1.5 lif oranı için %15 oranında azalma görülmektedir.

Değişen sıcaklık değerlerine göre,

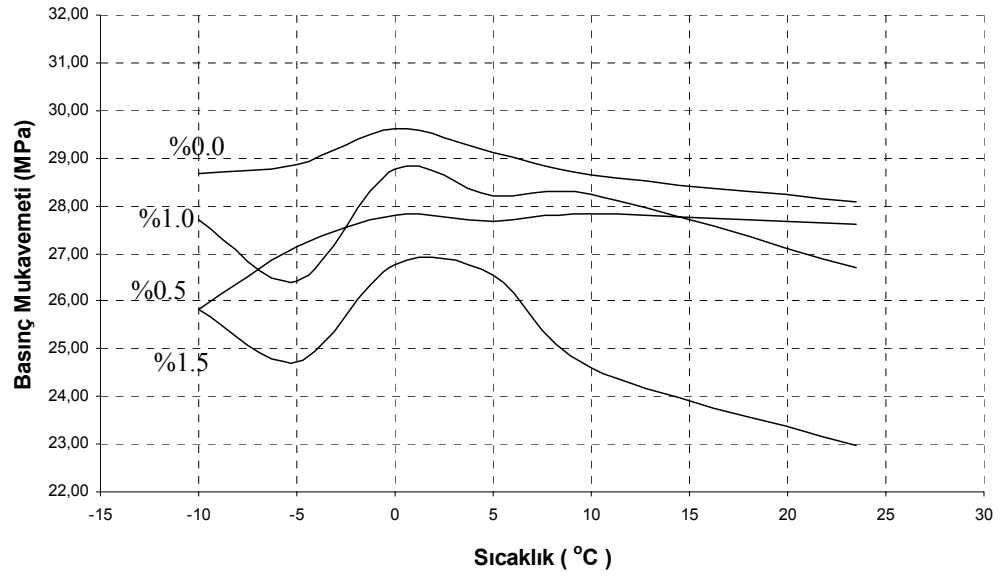
- Lifsiz betonlarda; 7 günlük numunelerde oda sıcaklığına göre 10 °C sıcaklıkta beton basınç dayanımının %13, -10 °C sıcaklıkta %16 azaldığı, ancak 5 °C ve 0 °C de azalan sıcaklıkla birlikte basınç dayanımında %11 'lik artış olduğu bulunmuştur. -5 °C sıcaklıkta ise sabit kalmıştır. 28 günlük numunelerde ise basınç dayanımları verilen sıcaklık aralığında bir miktar artış olmakla birlikte genel olarak sabit kalmıştır. 90 günlük numunelerde ise, 10 °C ve -10 °C için %10'luk bir artış olmuş, diğer sıcaklık değerlerinde ise sabit kalmıştır.
- %0.5 lif oranında; 7 ve 28 günlük numunelerde beton basınç dayanımlarının 10 °C ,5 °C ve 0 °C sıcaklık değerlerinde sabit kaldığı sonucuna ulaşılmıştır. -5 °C ve -10 °C' lerde basınç dayanımı %7 oranında azalmıştır. 90 günlük numunelerde ise, 10 °C sıcaklık değerinde %16, -10 °C sıcaklık değerlerinde %20 artış gözlenirken, 5 °C ve -5 °C sıcaklık değerlerinde %10 oranında azalma görülmüştür. 0 °C'de ise sabit kalmıştır.

- %1.0 lif oranında; 7 ve 28 günlük numunelerde -5°C sıcaklık değerinde bir miktar azalma görülmüş, diğer sıcaklık değerlerinde genel olarak bir artış görülmüştür. 90 günlük numunelerde ise beton basınç dayanımlarının farklı sıcaklık değerlerinde azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. bu azalma 5°C sıcaklık değerinde %17, 0°C sıcaklık değerinde %11, -5°C sıcaklık değerinde ise %14 oranında gerçekleşmiştir.
- %1.5 lif oranında; 7 günlük numunelerde 10°C için basınç dayanımı artmış ancak azalan sıcaklıkla birlikte sabit kalmıştır. 28 günlük numunelerde ise beton basınç dayanımlarının azalan sıcaklıkla arttığı gözlenmiştir. Bu artış oda sıcaklığına göre 10°C ' de %7, 5°C ' de %16, 0°C ' de %17, -5°C ' de %8 ve -10°C ' de %12 olarak hesaplanmıştır.

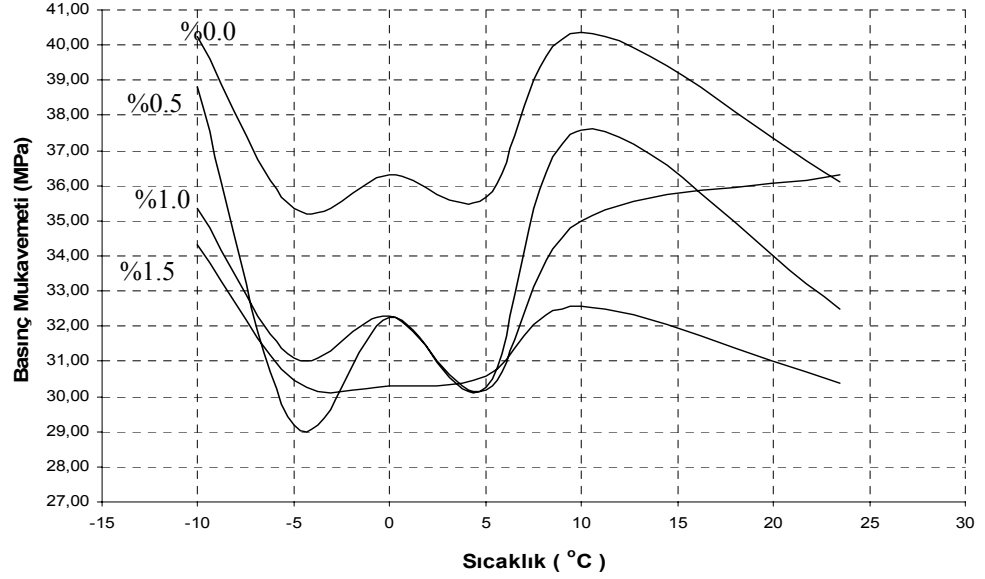
Basınç dayanımlarının sıcaklıkla değişimi 7,28 ve 90 günlük numuneler için çizilerek Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Yedi Günlük Numunelerde Dayanım-Sıcaklık Grafiği



Şekil 4.2. Yirmisekiz Günlük Numunelerde Dayanım-Sıcaklık Grafiği



Şekil 4.3. Doksan Günlük Numunelerde Dayanım-Sıcaklık Grafiği

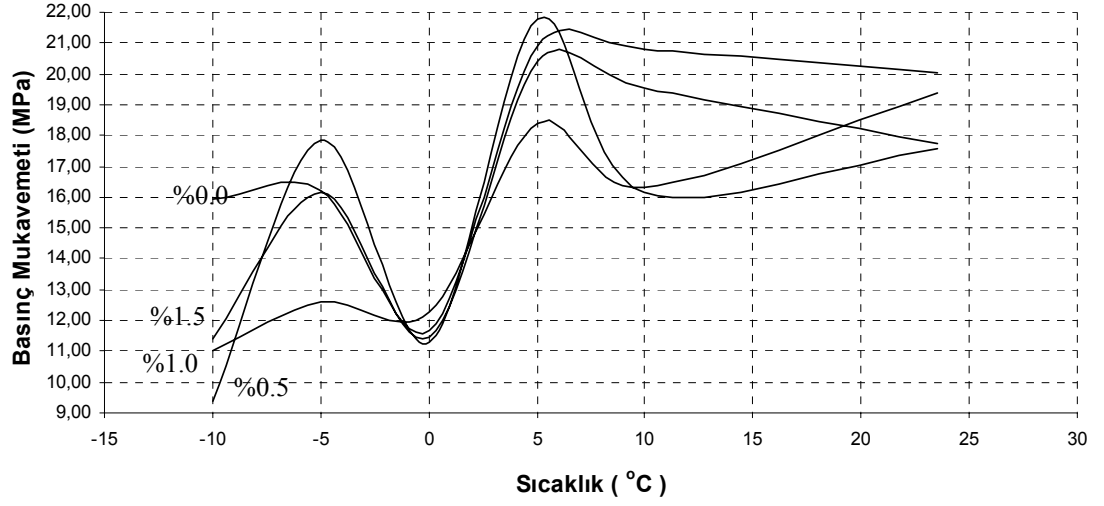
7 gün boyunca farklı düşük sıcaklık değerlerinde bakıma maruz bırakılan numunelerde, sabit sıcaklık değerlerine göre;

- Oda sıcaklığında, 7 günlük numunelerin basınç dayanımlarında lifsiz betona göre %0.5 ve %1.5 lif oranlarında %12 azalma görülürken, %1.0 lif oranında basınç dayanımı sabit kalmıştır. 28 günlük numunelerde 7 günlük numunelere paralel özellikler gözlenmiştir.
- 10 °C’de bakıma maruz bırakılan numunelerde, 7 ve 28 günlük numunelerin basınç dayanımında lifsiz betona göre %0.5 ve %1.0 lif oranlarında %20 azalma olmuştur. %1.5 lif oranında ise basınç dayanımı %14 azalmıştır.
- 5 °C’de bakıma maruz bırakılan numunelerde, 7 ve 28 günlük numunelerin basınç dayanımında lifsiz betona göre %1.0 lif oranında %12 azalma görülürken, diğer lif oranlarında basınç dayanımı sabit kalmıştır.
- 0 °C’de bakıma maruz bırakılan numunelerde, lifsiz betona göre 7 günlük numunelerin basınç dayanımı sabit kalırken, 28 günlük numunelerde %10 civarında dayanımda azalma görülmüştür.
- -5 °C’de bakıma maruz bırakılan numunelerde, 7 ve 28 günlük numunelerde lifsiz betona göre basınç dayanımında %1.0 lif oranında %20 civarında azalma görülmüştür. Diğer lif oranlarında basınç dayanımı sabit kalmıştır.
- -10 °C’de bakıma maruz bırakılan numunelerde, 7 gün sonunda lifsiz betona göre %0.5 lif içerikli betonda %40, %1.0 ve %1.5 lif içerikli betonlarda %30’lara varan dayanım azalması görülürken 28 gün sonunda bir miktar toparlanma olmuş, farklı lif oranlarında dayanım azalım oranı yaklaşık %15 civarında gerçekleşmiştir.

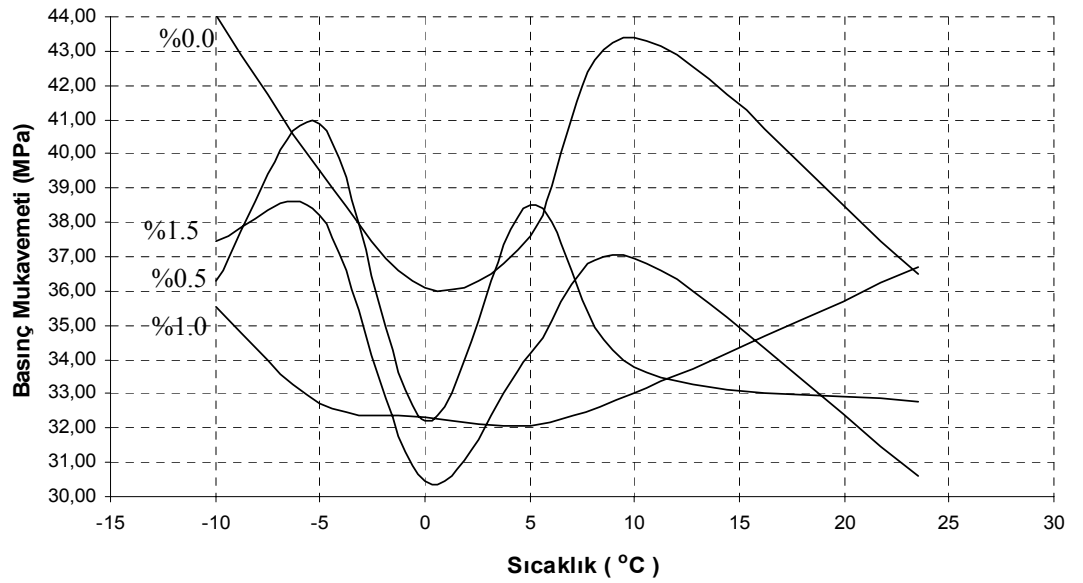
Değişen sıcaklık değerlerine göre;

- Lifsiz betonlarda; 7 günlük numunelerde oda sıcaklığında bekletilen numunelere göre 10 °C'de ve 5 °C'de bakıma maruz bırakılan numunelerde belirgin bir fark görülmezken, 0 °C'de %40, -5 °C ve -10 °C'de %20 azalma görülmüştür. 28 günlük numunelerde ise 10 °C ve -10 °C'de %20 oranında dayanım artmış, 5 °C ve 0 °C'de sabit kalmış, -5 °C'de %8 oranında bir artış olmuştur.
- %0.5 lif oranında; 7 günlük numunelerde oda sıcaklığında bekletilen numunelere göre 10 °C'de ve 5 °C'de bakıma maruz bırakılan numunelerde belirgin bir fark görülmezken, 0 °C'de %36, -10 °C'de %47 azalma olmuş, -5 °C'de sabit kalmıştır. 28 günlük numunelerde ise 0 °C'de ve 10 °C'de sabit kalmış , 5 °C'de %18, -5 °C'de %25, -10 °C'de %11 oranında bir artış olmuştur.
- %1.0 lif oranında; 7 günlük numunelerde oda sıcaklığında bekletilen numunelere göre 10 °C'de ve 5 °C'de bakıma maruz bırakılan numunelerde yaklaşık %10, 0 °C, -5 °C ve -10 °C' de yaklaşık %30 dayanım azalması saptanmıştır. 28 günlük numunelerde ise dayanım azalması farklı sıcaklıklar için yaklaşık %10 olmuştur.
- %1.5 lif oranında; 7 günlük numunelerde oda sıcaklığında bekletilen numunelere göre 10 °C' de ve 5 °C' de bakıma maruz bırakılan numunelerde yaklaşık %10 artış gözlenirken 0 °C'de ve -10 °C' de %35 , -5 °C 'de %10 dayanım azalması saptanmıştır. 28 günlük numunelerde ise 0 °C' de sabit kalırken, diğer sıcaklık değerlerinde yaklaşık %20 dayanım artışı olmuştur.

Basınç dayanımlarının sıcaklıkla değişimi 7 ve 28 günlük numuneler için çizilerek Şekil 4.4 ve Şekil 4.5 'de verilmiştir.



Şekil 4.4. Düşük Sıcaklık Bakımı Uygulan 7 Günlük Numunelerde Dayanım-Sıcaklık Grafiği.



Şekil 4.5. Düşük Sıcaklık Bakımı Uygulan 28 Günlük Numunelerde Dayanım-Sıcaklık Grafiği.

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 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında E-modüllerinin değişimi Tablo 4.3 ve Tablo 4.4' te verilmiştir.

Tablo 4.3. Beton Numunelerde Düşük Sıcaklık Sonrası Elastisite Modülü Değerleri

Karışım	Lif yüzdesi	Sıcaklık (°C)	Elastisite Modülü (Mpa)		
			7. gün	28. gün	90. gün
C-0	Lifsiz	24.5	29151,88	31223,05	33550
C-0.5	0.5 % çelik		28752,27	31085,04	32520
C-1.0	1 % çelik		28497,16	30740,13	33600
C-1.5	1.5 % çelik		27933,90	29578,54	31900
C-0-10	Lifsiz	10	28148,58	31398,26	34648,35
C-0.5-10	0.5 % çelik		28489,34	31145,75	33925,21
C-1.0-10	1 % çelik		28936,90	31271,67	33226,02
C-1.5-10	1.5 % çelik		29075,44	30128,61	32547,08
C-0-5	Lifsiz	5	29982,93	31540,15	33416,29
C-0.5-5	0.5 % çelik		28905,98	31105,34	31886,41
C-1.0-5	1 % çelik		28849,61	31262,84	31860,16
C-1.5-5	1.5 % çelik		28421,45	30747,67	31979,45
C-0-0	Lifsiz	0	29926,82	31692,90	33586,10
C-0.5-0	0.5 % çelik		28471,38	31135,66	32464,36
C-1.0-0	1 % çelik		29335,65	31437,76	32470,66
C-1.5-0	1.5 % çelik		28345,14	30816,33	31894,12
C-0-(-5)	Lifsiz	-5	29262,12	31469,52	33326,32
C-0.5-(-5)	0.5 % çelik		28195,41	30937,32	31566,27
C-1.0-(-5)	1 % çelik		27928,42	30704,36	32124,99
C-1.5-(-5)	1.5 % çelik		27736,29	30165,90	31937,65
C-0-(-10)	Lifsiz	-10	27913,96	31408,26	34617,56
C-0.5-(-10)	0.5 % çelik		28231,99	30519,61	34254,40
C-1.0-(-10)	1 % çelik		29006,36	31110,20	33330,37
C-1.5-(-10)	1.5 % çelik		28545,09	30516,06	33044,84

Tablo 4.4. Beton Numunelerde 7 Gün Boyunca Düşük Sıcaklık Bakımı Sonrası Elastisite Modülü Değerleri (N/mm²).

Karışım	Lif yüzdesi	Sıcaklık (°C)	Elastisite Modülü (N/mm ²)	
			7. gün	28. gün
C-0	Lifsiz	24.5	28544	33756
C-0.5	0.5 % çelik		27626	32648
C-1.0	1 % çelik		28314	33782
C-1.5	1.5 % çelik		27681	31918
C-0-10	Lifsiz	10	28827	35407
C-0.5-10	0.5 % çelik		27072	32888
C-1.0-10	1 % çelik		27138	32673
C-1.5-10	1.5 % çelik		28374	33761
C-0-5	Lifsiz	5	28852	33928
C-0.5-5	0.5 % çelik		29173	34170
C-1.0-5	1 % çelik		27946	32407
C-1.5-5	1.5 % çelik		28690	33007
C-0-0	Lifsiz	0	25102	33590
C-0.5-0	0.5 % çelik		24916	32475
C-1.0-0	1 % çelik		25377	32480
C-1.5-0	1.5 % çelik		24992	31898
C-0-(-5)	Lifsiz	-5	27079	34428
C-0.5-(-5)	0.5 % çelik		27740	34784
C-1.0-(-5)	1 % çelik		25538	32597
C-1.5-(-5)	1.5 % çelik		27072	34087
C-0-(-10)	Lifsiz	-10	26979	35573
C-0.5-(-10)	0.5 % çelik		23956	33582
C-1.0-(-10)	1 % çelik		24793	33369
C-1.5-(-10)	1.5 % çelik		24962	33887

7 ve 28 gün sonunda yalnızca 0 °C’de bakıma maruz bırakılan numunelerin elastisite modülünde azalma olmuş, diğer sıcaklık değerlerinde belirgin bir fark gözlenmemiştir.

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 Tablo 4.5’ te görülmektedir.

Tablo 4.5. Beton Numunelerde Düşük Sıcaklık Sonrası Tokluk Değerleri(kN.mm).

Karışım	Lif yüzdesi	Sıcaklık (°C)	Tokluk (kN.mm)		
			7. gün	28. gün	90. gün
C-0	Lifsiz	24.5	283,22	660,33	367,86
C-0.5	0.5 % çelik		297,14	487,32	384,63
C-1.0	1 % çelik		313,97	344,62	214,41
C-1.5	1.5 % çelik		248,74	292,65	391,50
C-0-10	Lifsiz	10	260,20	231,81	540,34
C-0.5-10	0.5 % çelik		368,68	247,41	562,93
C-1.0-10	1 % çelik		409,28	233,27	653,53
C-1.5-10	1.5 % çelik		346,77	317,06	608,18
C-0-5	Lifsiz	5	432,91	403,07	358,29
C-0.5-5	0.5 % çelik		281,99	317,20	523,16
C-1.0-5	1 % çelik		354,53	235,45	444,07
C-1.5-5	1.5 % çelik		431,30	345,04	484,23
C-0-0	Lifsiz	0	244,27	364,859	627,818
C-0.5-0	0.5 % çelik		213,74	338,52	305,19
C-1.0-0	1 % çelik		285,32	316,84	386,55
C-1.5-0	1.5 % çelik		597,53	442,78	336,01
C-0-(-5)	Lifsiz	-5	277,26	375,54	265,38
C-0.5-(-5)	0.5 % çelik		316,74	302,30	442,15
C-1.0-(-5)	1 % çelik		234,85	343,76	312,17
C-1.5-(-5)	1.5 % çelik		306,64	307,97	413,96
C-0-(-10)	Lifsiz	-10	359,48	345,55	389,50
C-0.5-(-10)	0.5 % çelik		338,92	288,59	310,13
C-1.0-(-10)	1 % çelik		373,93	363,13	500,30
C-1.5-(-10)	1.5 % çelik		617,25	329,06	424,29

7 günlük numunelerde oda sıcaklığında tokluk değerleri birbirine yakın değerler verirken, sıcaklık azaldıkça %1.5 çelik lif içerikli numunelerde belirgin artışlar gözlenmiştir. Bu artış 0 °C ve -10 °C’de yaklaşık 3 kat olmuştur.

28 günlük numunelerde oda sıcaklığında, lif oranı artışına bağlı olarak tokluk değerlerinde azalma görülmektedir. Sıcaklık değerlerindeki azalmaya bağlı olarak lifsiz, %0.5 lifli ve %1.0 lifli betonun tokluk değerlerinde belirgin bir azalma olmasına rağmen, %1.5 lifli betonun tokluk değerinde artış görülmektedir.

90 günlük numunelerde, sıcaklık değerlerindeki azalmaya bağlı olarak tokluk değerlerinde artış gözlenmiştir. oda sıcaklığında %1.0 lif oranlı betonda tokluk değeri en düşük iken, sıcaklıktaki azalmaya bağlı olarak en fazla artış %1.0 lif oranlı betonda görülmektedir.

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 [29]. Bulunan sonuç değerler Tablo 4.6. ’de verilmiştir.

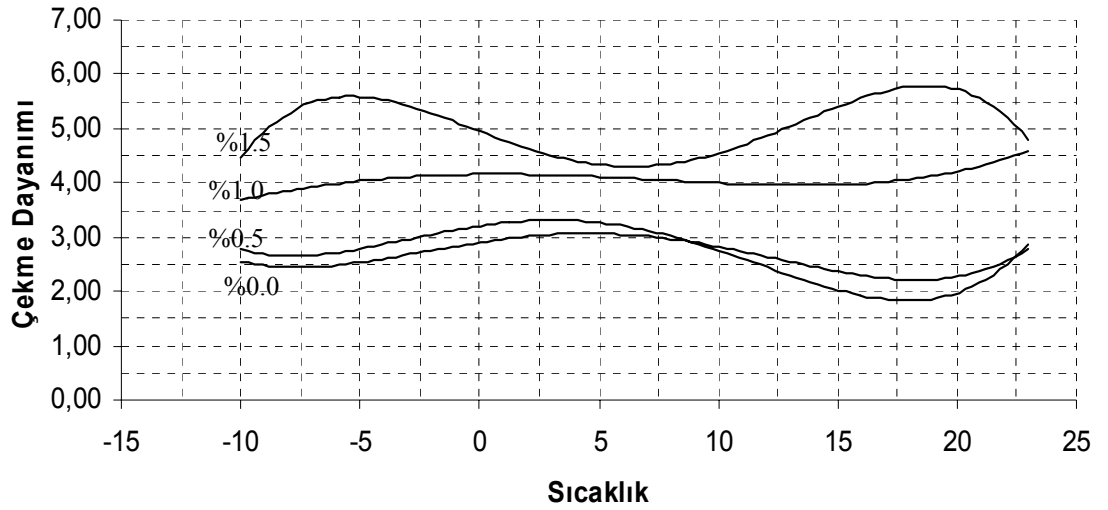
Tablo 4.6. Silindir Numunelerde Yarmada Çekme Dayanımı

Karışım	Lif yüzdesi	Sıcaklık (°C)	Yarmada Çekme Dayanımı (Mpa)	
			7. gün	28. gün
C-0	Lifsiz	24.5	2,79	3,43
C-0.5	0.5 % çelik		2,86	4,06
C-1.0	1 % çelik		4,60	5,03
C-1.5	1.5 % çelik		4,80	5,36
C-0-10	Lifsiz	10	2,83	3,60
C-0.5-10	0.5 % çelik		2,66	3,96
C-1.0-10	1 % çelik		3,96	4,37
C-1.5-10	1.5 % çelik		4,55	5,05
C-0-5	Lifsiz	5	3,04	3,58
C-0.5-5	0.5 % çelik		3,54	3,93
C-1.0-5	1 % çelik		4,22	5,31
C-1.5-5	1.5 % çelik		4,32	4,97
C-0-0	Lifsiz	0	2,94	4,16
C-0.5-0	0.5 % çelik		2,88	3,76
C-1.0-0	1 % çelik		4,03	5,10
C-1.5-0	1.5 % çelik		4,96	4,79
C-0-(-5)	Lifsiz	-5	2,52	3,57
C-0.5-(-5)	0.5 % çelik		2,96	3,82
C-1.0-(-5)	1 % çelik		4,10	5,77
C-1.5-(-5)	1.5 % çelik		5,58	6,10
C-0-(-10)	Lifsiz	-10	2,55	3,46
C-0.5-(-10)	0.5 % çelik		2,73	3,56
C-1.0-(-10)	1 % çelik		3,68	4,68
C-1.5-(-10)	1.5 % çelik		4,47	4,67

Yarmada çekme dayanımı değerlerinin çelik lif değerlerine bağlı olarak önemli artış sağladığı görülmektedir.

7 günlük numunelerde sabit sıcaklık değerlerine göre;

- Oda sıcaklığında; lifsiz betona oranla %0.5 lif içerikli betonda %3, %1.0 lif içerikli betonda %65 ve %1.5 lif içerikli betonda % 72' lik bir artış gözlenmiştir.
- 10 °C ve 0 °C'de bekletilen numunelerde, lifsiz betona göre % 0.5 lif içerikli betonda bir miktar azalma görülürken diğer numunelerde belirgin bir artış görülmektedir. En fazla artış ise -5 °C'de bekletilen %1.5 lif içerikli betonda %122 'lik bir artışla gerçekleşmiştir.



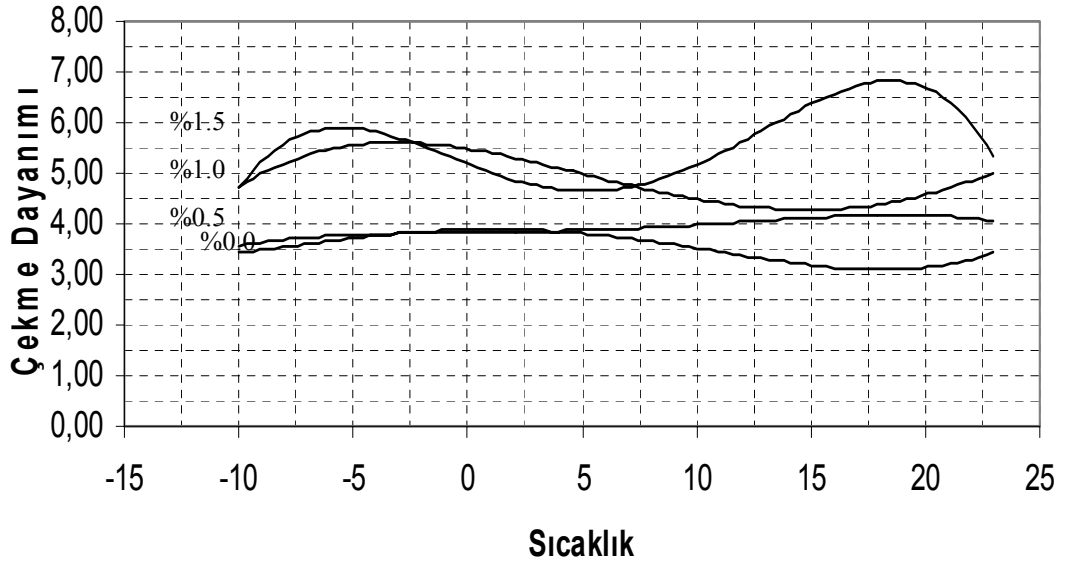
Şekil 4.6. Yedi Günlük Numunelerde Çekme Dayanım-Sıcaklık Grafiği

28 günlük numunelerde sabit sıcaklık değerlerine göre ;

En fazla dayanım artışı -5°C 'de bekletilen %1.5 lif içerikli betonda %71'lik artışla gerçekleşmiştir. En az artış ise -10°C 'de bekletilen %0.5 lif içerikli betonda %3 ile gerçekleşmiştir.

Sabit lif oranı ve değişen sıcaklık değerlerine göre 7 günlük numunelerde;

- Lifsiz betonda normal kür koşullarında bekletilen betona oranla 10°C , 5°C ve 0°C ' de bir miktar artış olurken -5°C ve -10°C 'de % 10 oranında azalma olmuştur.
- %0.5 lif içerikli betonda , 5°C ' de bekletilen betonda % 24 oranında bir artış görülürken, -10°C 'de % 5 azalma olmuştur.
- %1.0 lif içerikli betonda sıcaklıktaki düşmeye bağlı olarak yarmada çekme dayanımlarında düşüş görülmüştür. -10°C 'de bekletilen numunede dayanımdaki azalma %20 olmuştur.
- % 1.5 lif içerikli betonda, -5°C 'de bekletilen betonda %14 oranında bir dayanım artışı görülürken diğer betonlarda yarmada çekme dayanımlarında azalma görülmüştür.



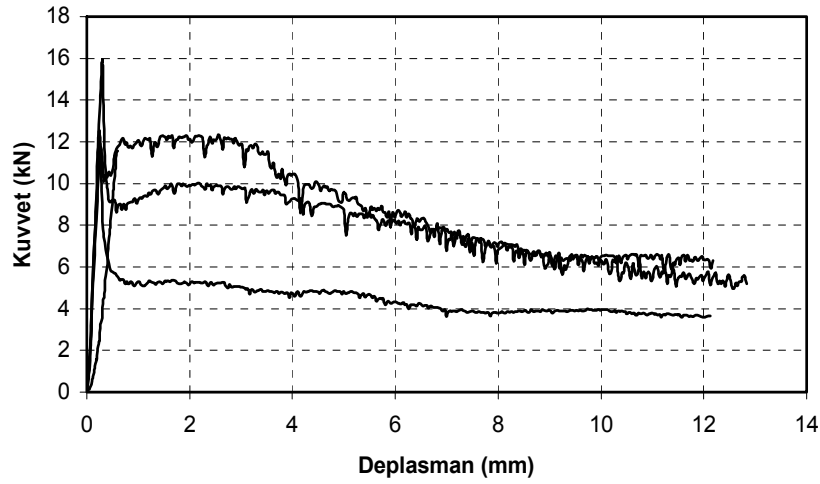
Şekil 4.7. Yirmisekiz Günlük Numunelerde Çekme Dayanım-Sıcaklık Grafiği

Sabit lif oranı ve değişen sıcaklık değerlerine göre 28 günlük numunelerde;

- Lifsiz betonda normal kür koşullarında bekletilen betona oranla 10°C , 5°C ve 0°C ' de bir miktar artış olurken -5°C ve -10°C 'de yarma dayanımı sabit kalmıştır.
- %0.5 lif içerikli betonda sıcaklık düştükçe yarma dayanımında da azalmalar görülmüştür. Bu azalma -10°C ' de % 12 oranında gerçekleşmiştir.
- %1.0 lif içerikli betonda normal kür koşullarında bekletilen betona oranla -5°C ' de bekletilen betonda % 15 artış olurken -10°C ' de bekletilen betonda % 7 oranında azalma olmuştur.
- % 1.5 lif içerikli betonda, -5°C ' de bekletilen betonda % 14 artış olurken -10°C ' de bekletilen betonda % 13 oranında azalma olmuştur.

4.3. Prizmatik Beton Deneyleri Bulguları

Her bir seri için 3 adet prizmatik beton kiriş numunesi denenmiştir. 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 4.14 'de verilmiştir.



Şekil 4.8. 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 sehim 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 [46].

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 [32]. 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 4.7. 'de verilmektedir.

Tablo 4.7. 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

SONUÇLAR

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 düşük sıcaklıklardaki basınç dayanımı değişimleri incelenmiştir. Çalışma ile elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Beton içerisine katılan çelik tel miktarı arttıkça basınç dayanımının azaldığı görülmüştür. Bu azalma % 0.5 ve % 1.0 çelik telli betonlarda %6- %8 mertebelerinde iken , %1.5 çelik tel katkılı betonlarda %16 olmaktadır. Bu dayanım azalması, hem normal koşullarda bekletilen betonlarda, hem de düşük sıcaklık uygulanan beton numunelerde benzer olarak gerçekleştirilmiştir. Bu durum, çelik liflerin beton içerisinde homojen dağılmamasının ve artan oran ile birlikte topaklaşma sonucunda betonda boşluk oluşmasının, bir sonucu olarak değerlendirilmiştir.
- 7., 28., ve 90. gün sonunda düşük sıcaklık etkisine maruz bırakılan numunelerde, basınç dayanımının sıcaklıkla değişimi ile ilgili olarak yapılan deneysel sonuçların incelemelerinde; sıcaklıktaki azalmaya bağlı olarak ;
 - o 7 günlük numunelerde ,10 °C ‘nin altındaki sıcaklıklarda,
 - o 28 günlük numunelerde,0 °C ‘nin altındaki sıcaklıklarda,
 - o 90 günlük numunelerde , 5 °C ‘nin altındaki sıcaklıklarda,

bekletilen numunelerde dayanım azalması görülmüştür. Ancak, % 1.5 çelik tel içerikli numunelerde 7, 28 ve 90 günün sonunda tüm düşük sıcaklık uygulamaları ile beton dayanımında azalma gözlenmemiş, aksine % 16- 17' lere varan dayanım artışları gözlenmiştir.

- Beton bakımı (kür) ile ilgili yapılan deneysel çalışma sonucunda, basınç dayanımının azalan sıcaklıkla değişimi incelendiğinde,
 - o 7. gün sonunda numunelerin basınç dayanımlarında önemli oranlarda azalmalar görülmektedir. Bu azalma özellikle 0 °C' nin altında %40 'lara kadar çıkmaktadır.
 - o 28. gün sonunda yapılan deneylerde, beton basınç dayanımında artma gözlenmiştir. Dayanım azalması sadece %1.0 çelik telli betonlarda % 10 mertebelerinde olurken, diğer numunelerde basınç dayanımlarında artış gözlenmiştir. Bu artış % 1.5 çelik tel içerikli betonlarda ortalama % 20 civarında ölçülmüştür.
- Yarmada çekme dayanımı ise, 7 ve 28 günlük numunelerde, çelik lif miktarına bağlı olarak belirgin oranlarda artış göstermiştir. En fazla artış % 1.5 lif içerikli betonda gerçekleşmiştir.
- Yarmada çekme dayanımının sıcaklıkla değişimi incelendiğinde;
 - o lifsiz betonların yarmada çekme dayanımlarının düşük olduğu, ancak sıcaklıktaki azalmaya bağlı olarak çekme dayanımında azalma olmadığı hatta bir miktar artış olduğu saptanmıştır.
 - o % 0.5, % 1.0 ve % 1.5 lif içerikli betonun yarmada çekme dayanımında belirgin bir artış görülmektedir. Genel olarak sıcaklıktaki düşüşle birlikte çekme dayanımında azalma görülürken, -5 °C'de %1.0 ve %1.5 lif içerikli betonda % 15 oranında çekme dayanımı artışı görülmüştür.

Genel olarak bu araştırma kapsamında elde edilen deney sonuçları değerlendirildiğinde;

- Çelik tel katkısının basınç dayanımını azalttığı, enerji tüketim kapasitesini artırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

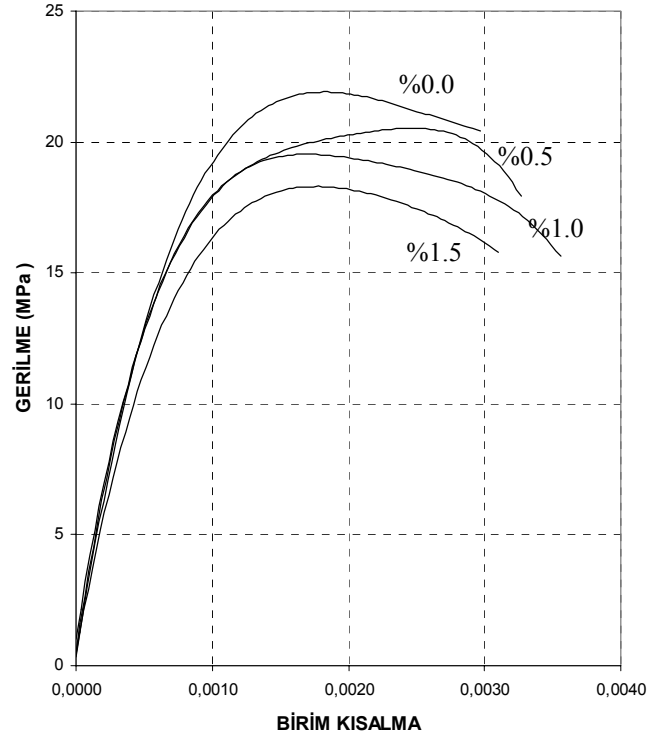
- Çelik tel oranındaki artışa bağlı olarak betonun yarmada çekme dayanımında önemli ölçüde artışlar gözlenmektedir. Ancak uygulanan düşük sıcaklıkla çekme dayanımında genel olarak azalma olurken -5°C 'de %1.0 ve %1.5 çelik tel içerikli betonda % 15 oranında çekme dayanımı artışı görülmüştür.
- Betona, uygun bakım koşulları uygulanmadığında önemli ölçüde dayanım kaybı olduğu gözlenmiştir. Literatürde betonun, önlem alınmadan 5°C 'nin altında bulundurulmaması gerektiği söylenir. Ancak 10°C 'de bile basınç dayanımında azalma görülmektedir.
- Beton belli bir dayanıma ulaştıktan sonra düşük sıcaklığın olumsuz etkileri azalmaktadır. Özellikle 28 ve 90 günlük numunelerde düşük sıcaklıkla birlikte dayanım artışları da gözlenmektedir.
- Basınç dayanımlarının azalan sıcaklıkla değişimini veren eğrilerde, tasarıma yönelik olarak özellikle Endüstriyel zeminlerin betonunda, farklı lif oranlarına göre betonun hangi sıcaklık aralığında üretilmesinin uygun olacağını vermesi yönünden, tasarıma yönelik olarak belirtilen lif tipi için kullanımı önerilmektedir.
- Yapılan deneysel çalışmalarda, farklı düşük sıcaklıklara maruz çelik telli betonlarda, en önemli tel katkısının % 1.5 oranı olduğu saptanmıştır. Genel olarak ,7 gün boyunca farklı düşük sıcaklık etkisine maruz bırakılan, % 1.5 çelik tel oranlı betonların basınç dayanımlarında ve 7., 28. ve 90. gün sonunda farklı düşük sıcaklık etkisine maruz bırakılan % 1.5 çelik tel oranlı betonların basınç ve yarmada çekme dayanımlarında azalma olmadığı hatta uygulanan düşük sıcaklık etkisiyle, basınç ve çekme dayanımlarında önemli ölçüde artmalar olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle düşük sıcaklık etkisine maruz yapılarda, % 1.5 çelik tel içerikli betonların kullanılması önerilmektedir. .

Ek-1

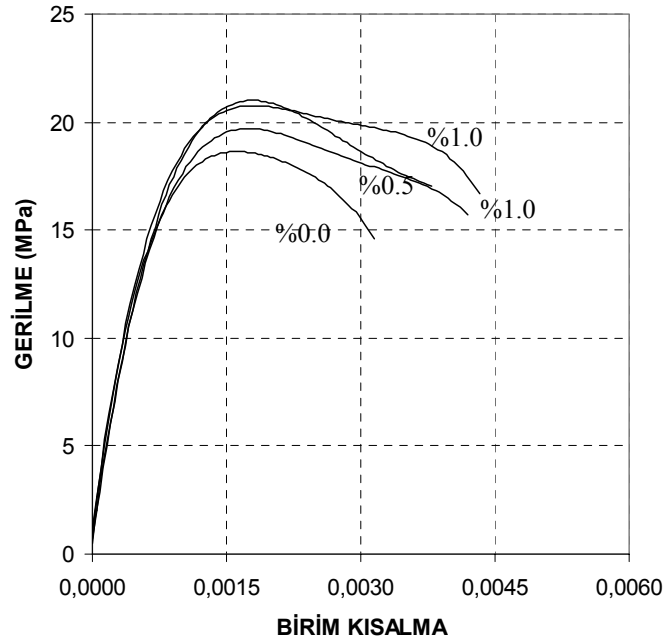
**Düşük Sıcaklık Etlisine Maruz 7. 28. ve 90. Günlük
Betonların Gerilme – Birim Boy Değişimi Grafikleri**

EKLER

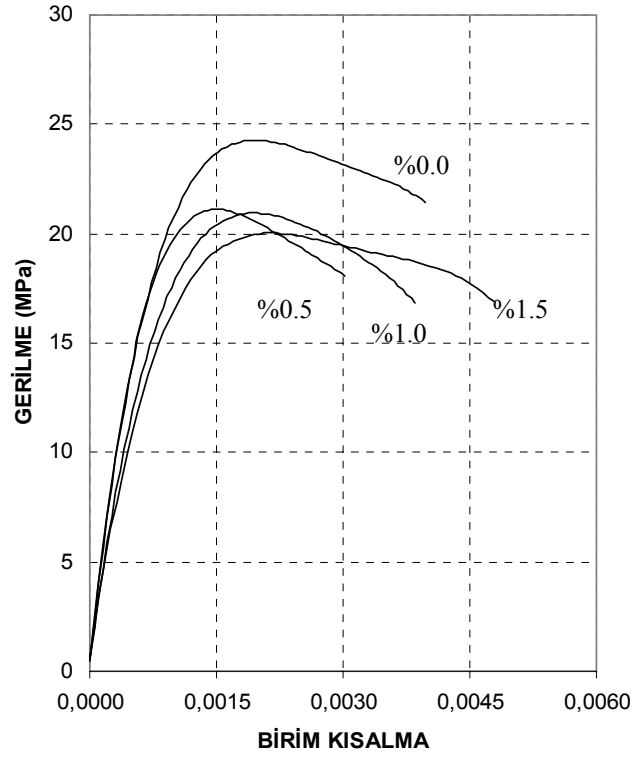
Ek-1: Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafikleri



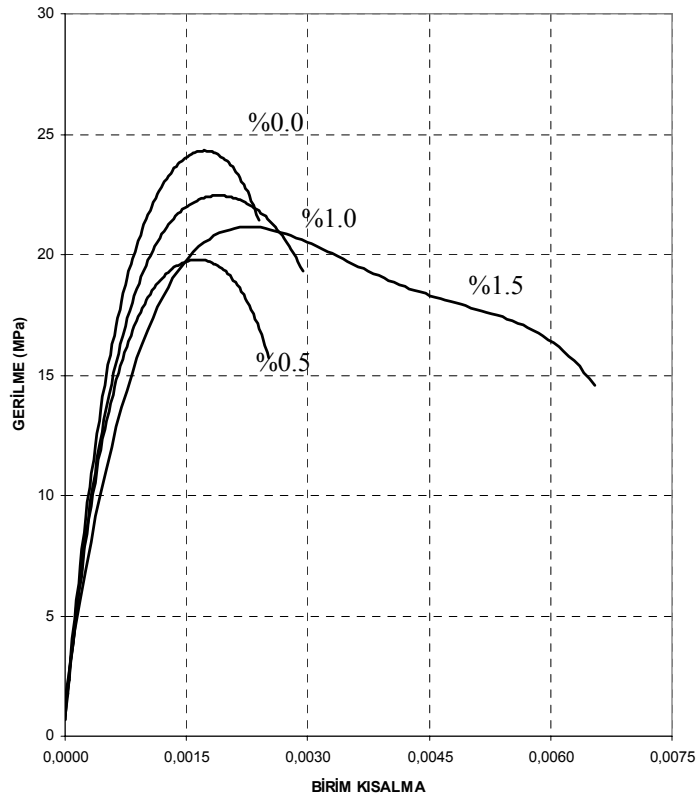
Ek-1a. Yedi Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (24.5 °C).



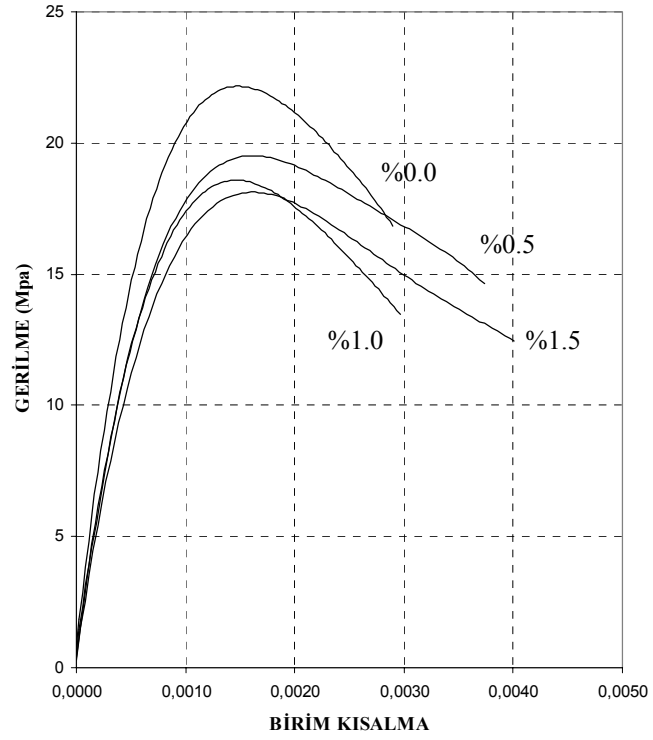
Ek-1b. Yedi Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (10 °C).



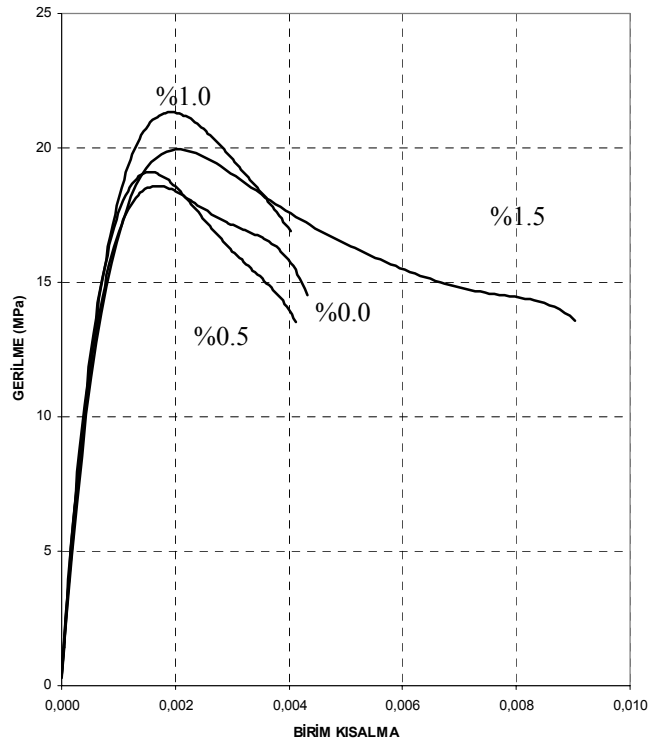
Ek-1c. Yedi Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (5 °C).



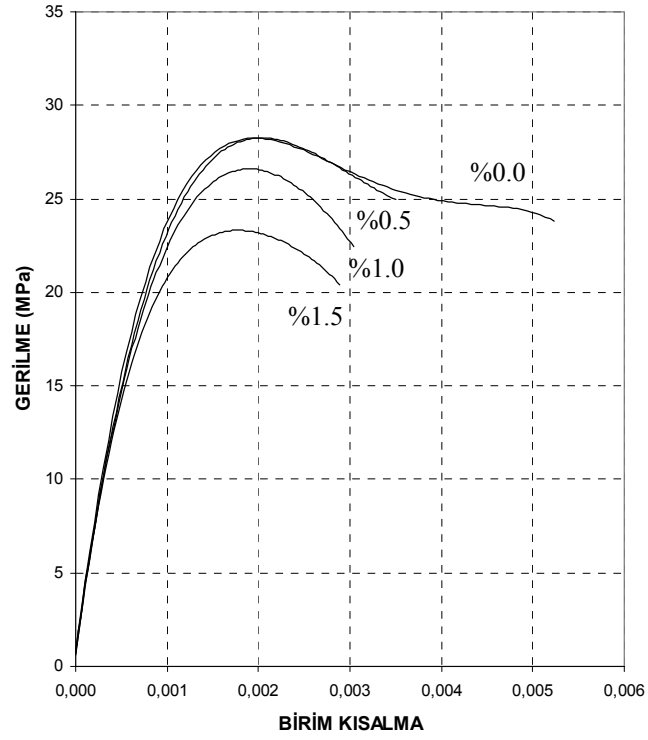
Ek-1d. Yedi Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (0 °C).



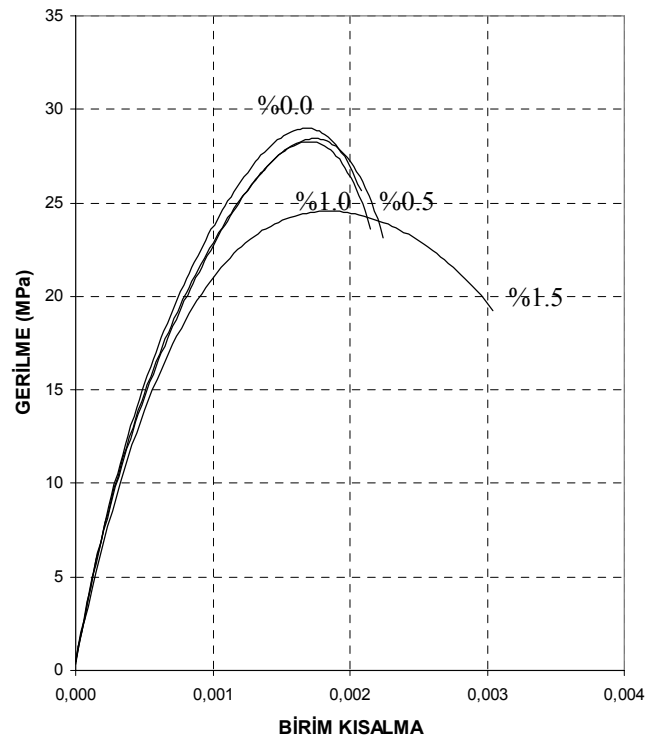
Ek-1e. Yedi Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (-5°C).



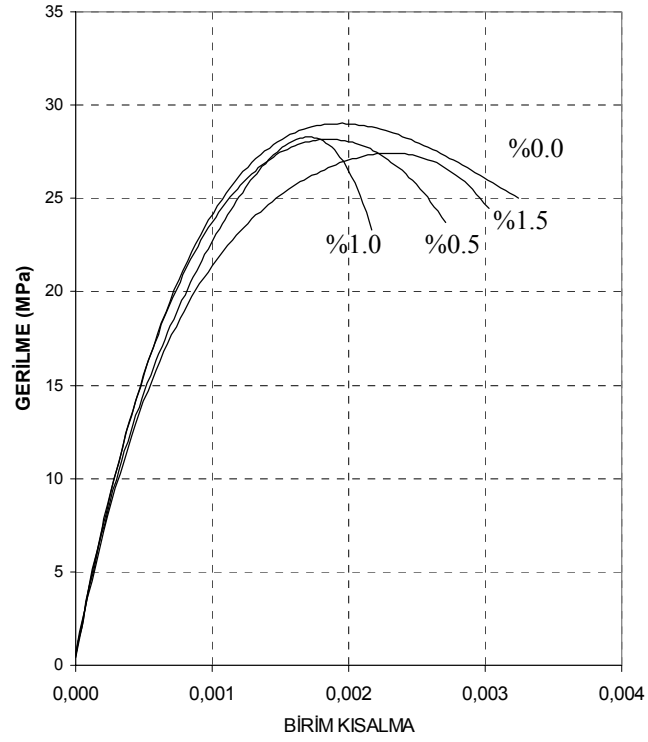
Ek-1f. Yedi Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (-10°C).)



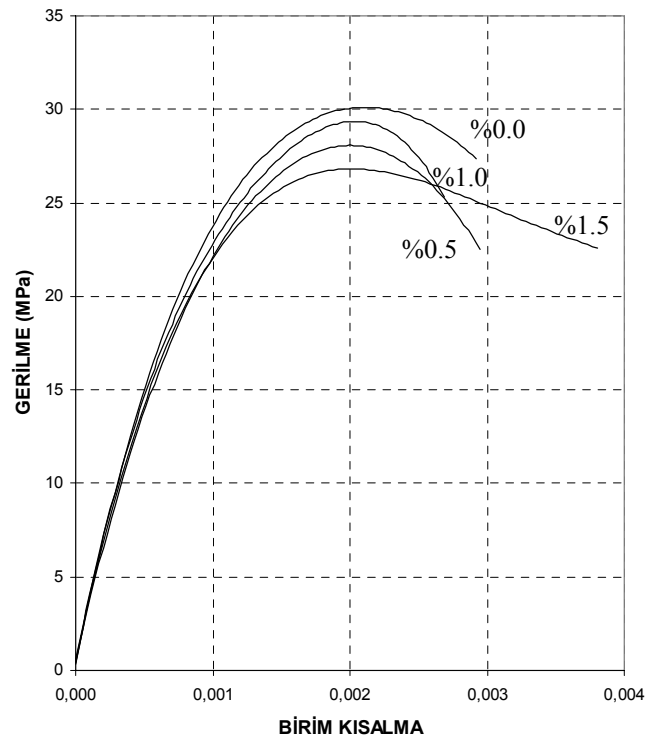
Ek-1g. Yirmisekiz Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (24.5 °C)



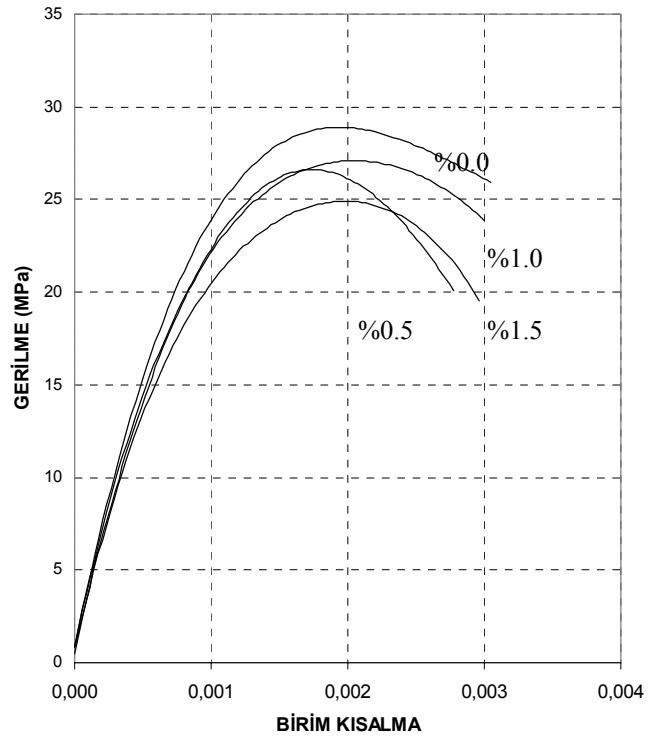
Ek-1h. Yirmisekiz Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (10 °C).



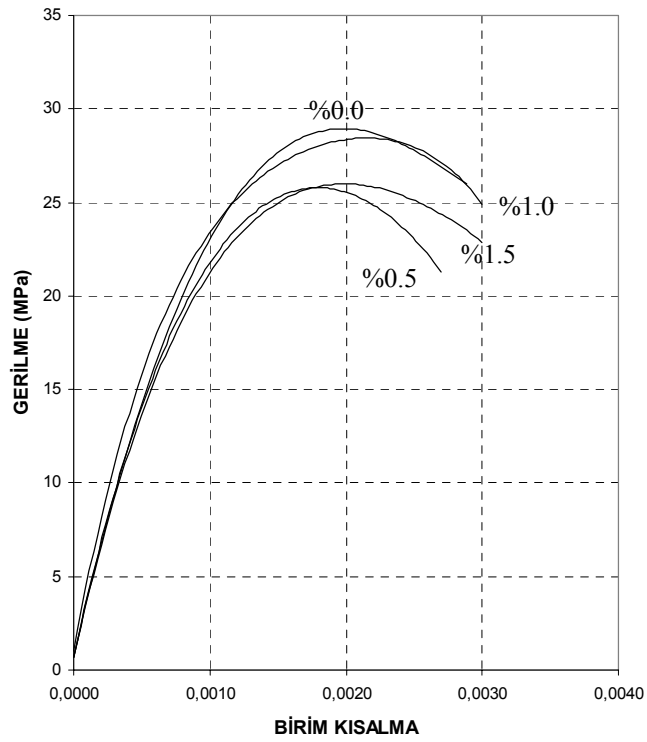
Ek-1h. Yirmisekiz Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (5 °C).



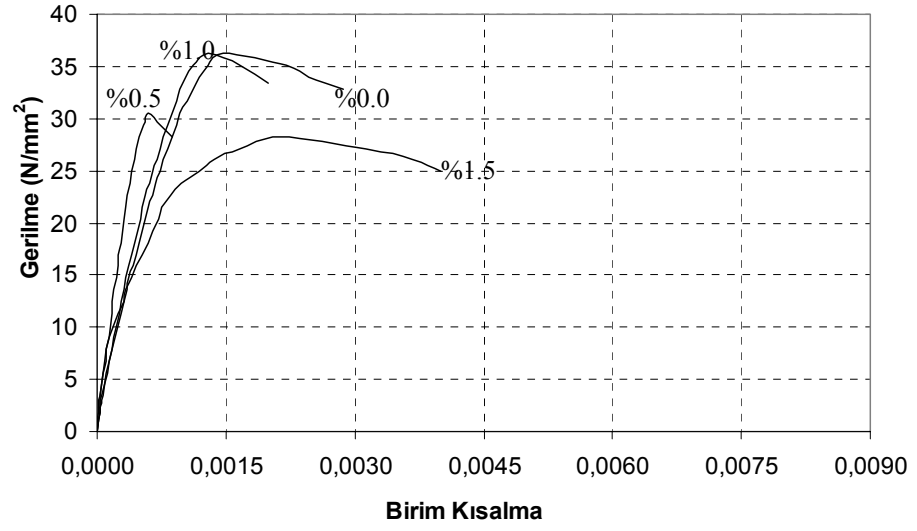
Ek-1i. Yirmisekiz Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (0 °C).



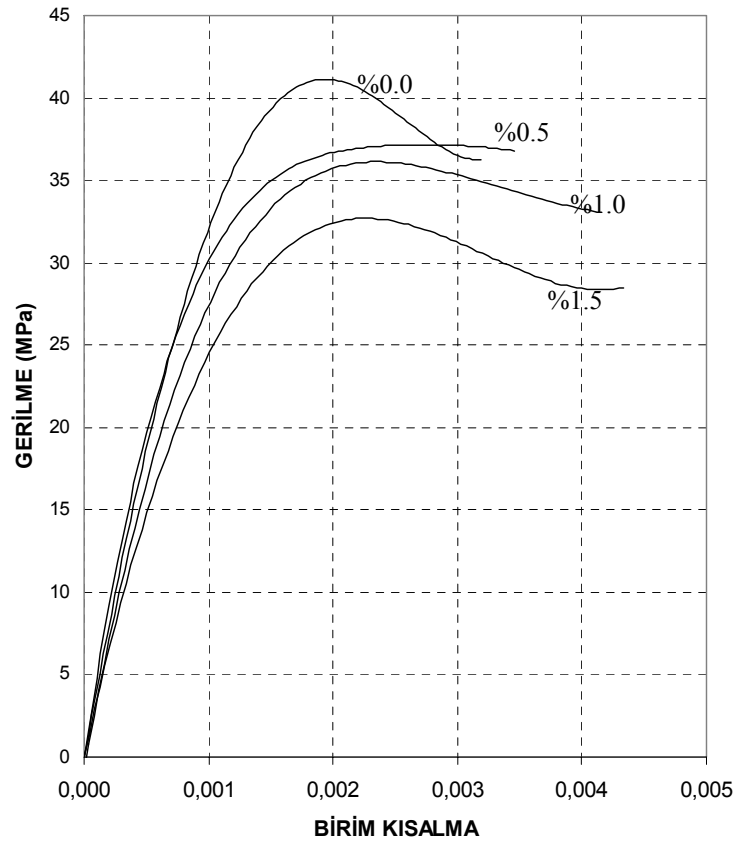
Ek-1i. Yirmisekiz Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (-5 °C).



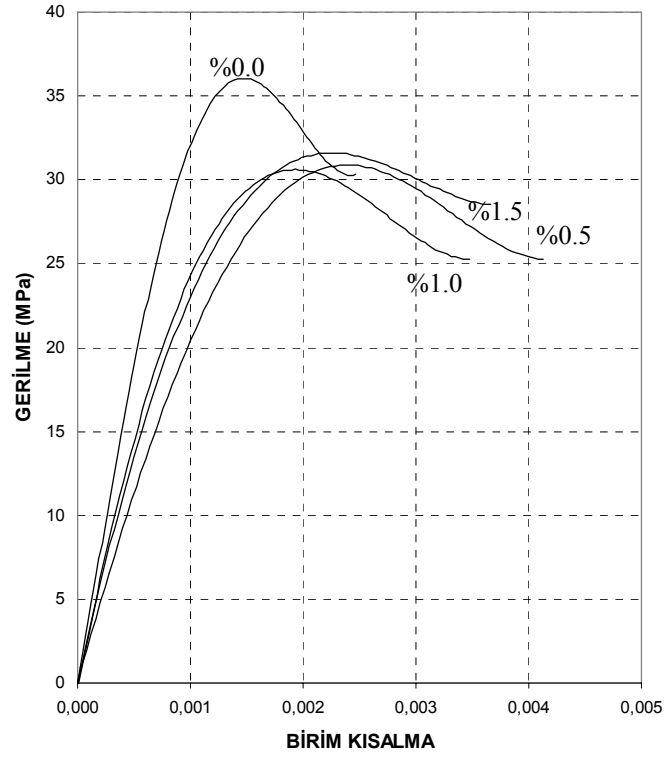
Ek-1j. Yirmisekiz Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (-10 °C).



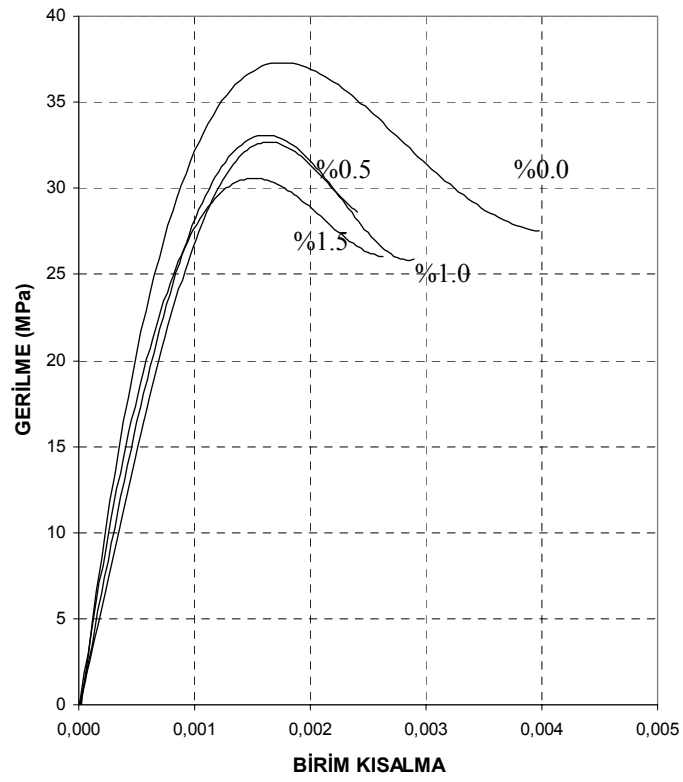
Ek-1k. Doksan Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (24.5°C).



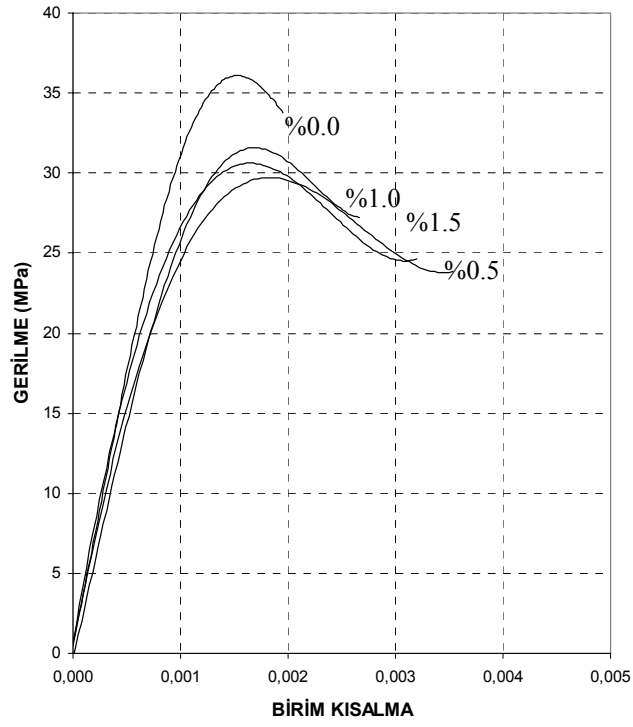
Ek-1k. Doksan Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (10°C).



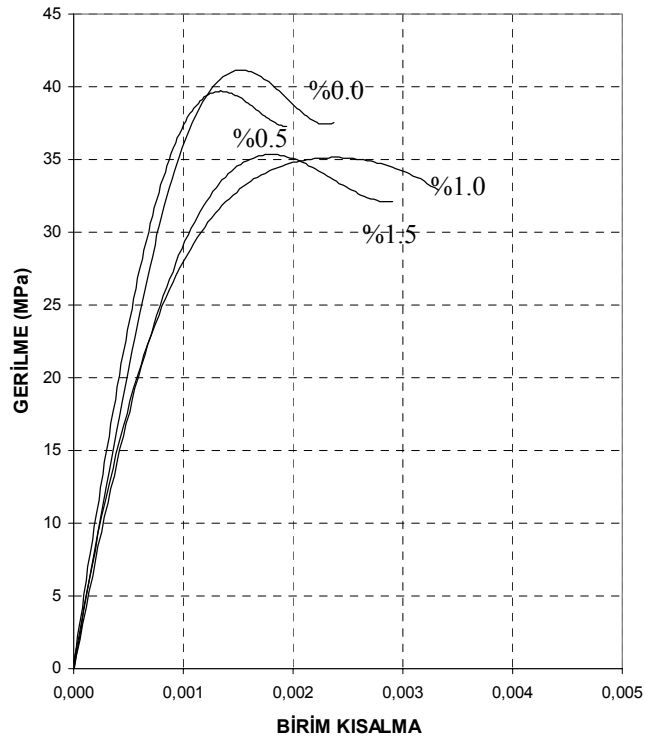
Ek-1k. Doksan Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (5 °C).)



Ek-1l. Doksan Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (0 °C).)



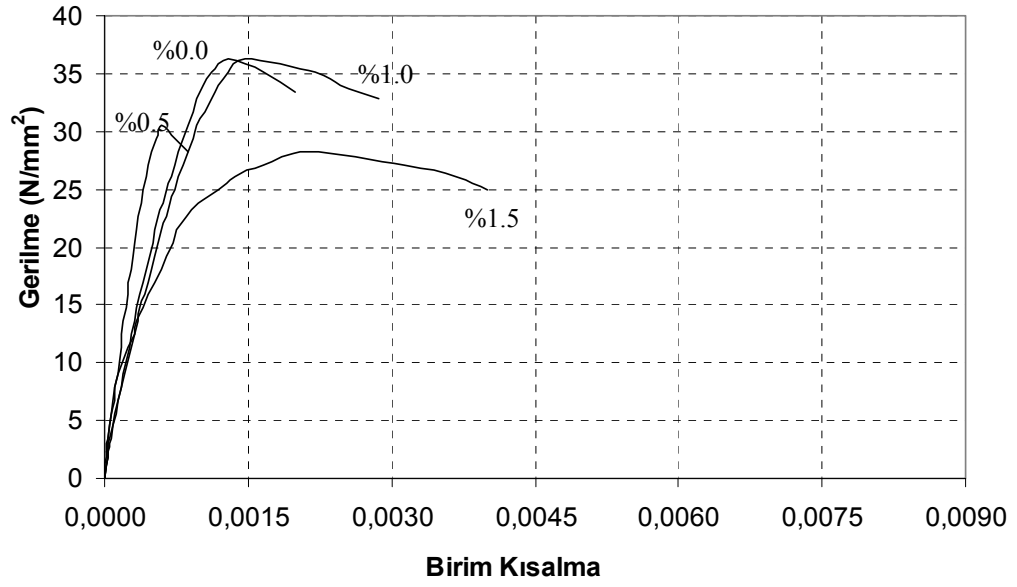
Ek-1m. Doksan Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (-5 °C).)



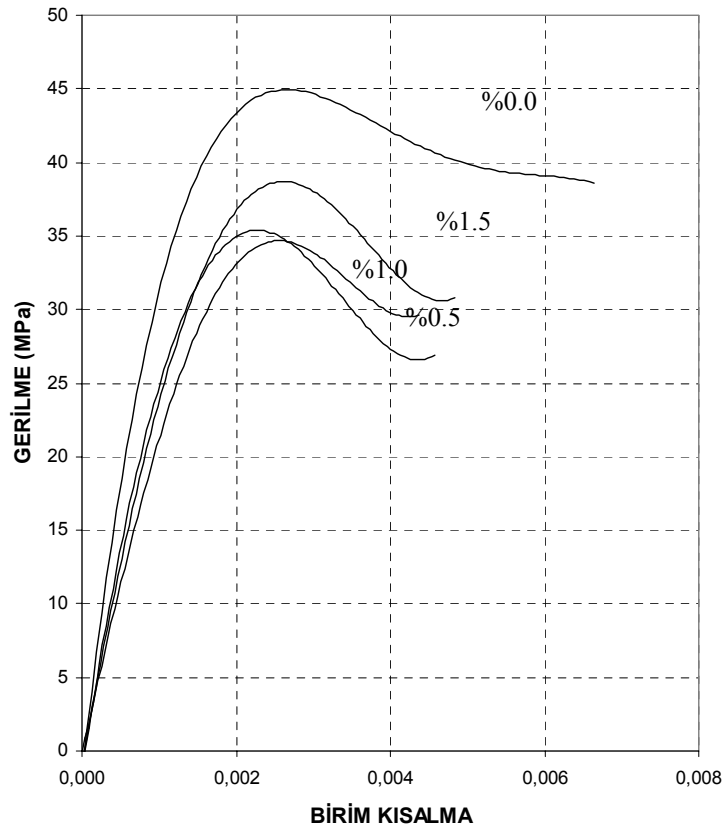
Ek-1n. Doksan Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (-10 °C).

Ek-2

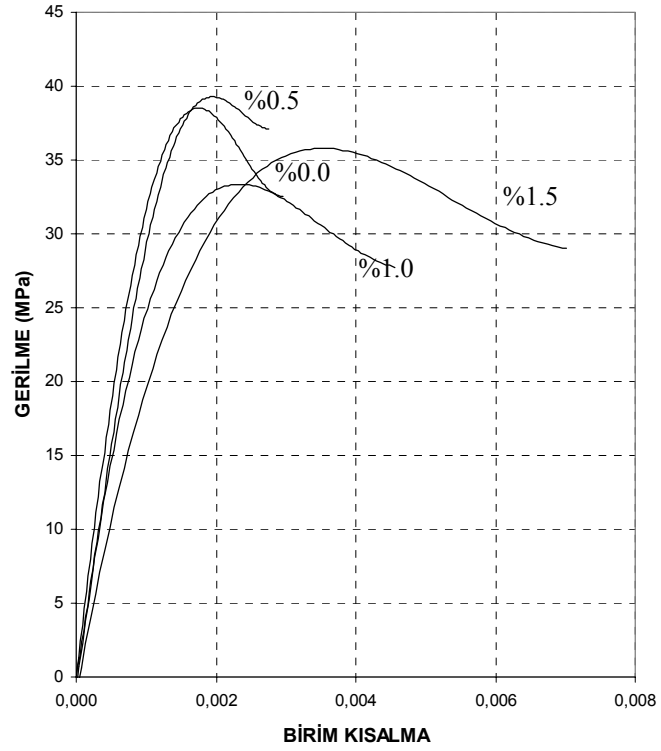
**Düşük Sıcaklıkta Bakıma Maruz 28. Günlük
Betonların Gerilme – Birim Boy Değişimi Grafikleri**



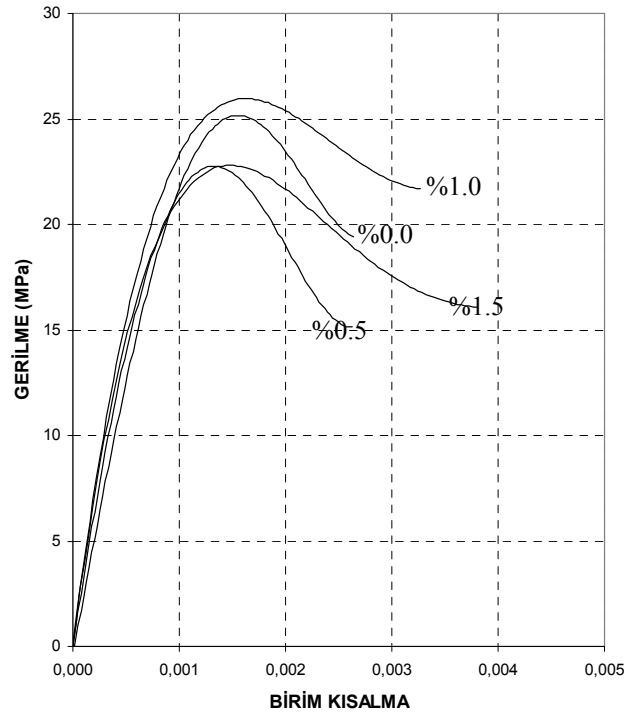
Ek-2a. Düşük Sıcaklıkta Bakıma Maruz 28 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (24.5 °C).



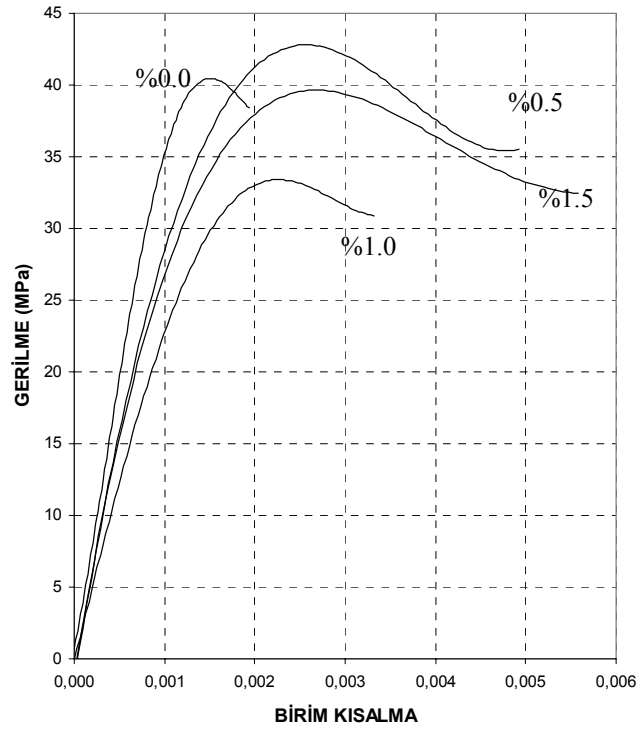
Ek-2b. Düşük Sıcaklıkta Bakıma Maruz 28 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (10 °C).)



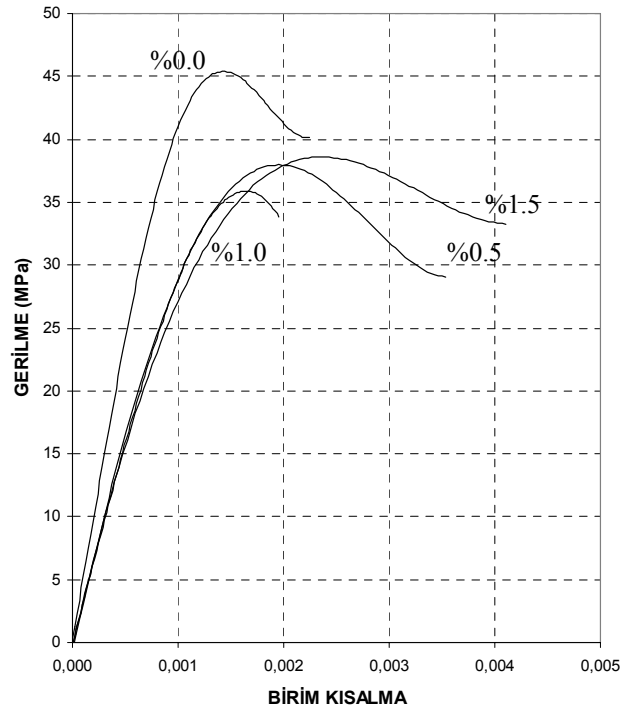
Ek-2b. Düşük Sıcaklıkta Bakıma Maruz 28 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (5 °C).



Ek-2c. Düşük Sıcaklıkta Bakıma Maruz 28 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (0 °C).)



Ek-2d. Düşük Sıcaklıkta Bakıma Maruz 28 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (-5 °C).)



Ek-2e. Düşük Sıcaklıkta Bakıma Maruz 28 Günlük Numunelerde Gerilme-Birim Boy Değişimi Grafiği (-10 °C).

KAYNAKLAR

1. Neville, A.M., Properties Of Concrete. 4th Ed. New York: Wiley, (1996)
2. Akman M.S., Construction Materials, Istanbul: ITU Published, (1987)
3. Hilsdorf HK, Criteria For The Duration Of Curing. In: Malhotra VM, Editors. Proceedings Of The Adam Neville Symposium On Concrete Technology, Las Vegas: 1995. P. 129–46.
4. Neville A.M., Suggestions Of Research Areas Likely To Improve Concrete. Concrete Int. 18 (45): 44–49, (1996)
5. Uğurlu A., Agregat-Çimento Hamuru Bağı Üzerine, 2. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul , 1999
6. Meeks KW, Carion NJ, Curing of high-performance concrete: Report of the state-of-the-art. Building and Fire Research Laboratory; National Institute of Standards and Technology, (1999)
7. Pinto RCA, Hover KC, Further studies on the utilization of maturity functions to a high strength concrete mixture. In: 4th International Symposium on the Utilization of High Strength/High Performance Concrete; 711–718., (1996)
8. Altun F., Arı K., Murat Ş., Karahan O., Dövençi O., Düşük Sıcaklık Etkisine Maruz Çelik Lifli Betonların Basınç Dayanımı Etkisi, ACE 2006.
9. Ocean Concrete Products, (1999). Ocean Heidelberg Cement Group, Steel Fibre Reinforcement, Working Together to Build Our Communities Report.
10. ACI Committee 544, State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete (ACI 544.1R- 82), Concrete International , May , 4(5) , 9-30, 1982
11. ACI Committee 544, Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete (ACI 544.4R-88), Manual of Concrete Practice , Part 5, American Concrete Institute , Detroit , 18, 1988.
12. Lankard, D., R., Shrader E., K., Inspection and Analysis of Curl in Steel Fiber Reinforced Concrete Airfield Pavement, Bekaert Steel Wire Corp., Pittsburgh, 1983.
13. AğarE., Sütaş İ., Öztaş G., Beton Yollar , s.1-2 , İTÜ Yayınları , İstanbul , 1998
14. ACI 544 Committee 544, State of The Art-Report Fiber Reinforced Concrete, Concrete International, 9-25, 1982.

15. TS 10153 Çelik Teller- Beton Takviyesinde Kullanılan, TSE, 1992.
16. Cimili, T., Donatılı Betonlarda Matrix- Lif Aderansı, Türkiye İnş. Müh. 7. Teknik Kongresi, Ankara, 1978.
17. Ezeldin, A.S. Balaguru, P., N., Normal and High Strength Fiber-Reinforced Concrete Under Compression, Journal of Materials in Civil Engineering, 4(4), 415-429, 1992.
18. Otter, D., E., Naaman, A., E., Fiber Reinforced Concrete Under Cyclic and Dynamic Compression Load, Research Report, 88-9, Development of Civil Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, s.178, 1988
19. Barr B. I. G., Liv, K, Dowers, R., C., A., Toughness Index Measure The Energy Absorption of Fiber Reinforced Concrete, Int. Cement, Composites and Lightweight Concrete, 4(4), 221-227, 1982,
20. Arslan, A., Hughes, T.G., Barr, B.I.G., Mixed- Mode Fracture-Including Torsion in a New Compact Test Specimen Geometry, Proc. Int. Conf. on Fracture Processes in Concrete, Rock and Seramics, London, s.737, 1991
21. Shah, S.P., Rangan, B.V., Fiber Reinforced Concrete Properties, ACI Journal, Feb, 68(2), 126-135, 1971.
22. Bartos, P., Review Paper, Band in Reinforced Composites, 3(3), 159-177, 1981
23. Robins, P.J., Colderwood, R.W., Explosive Testing of Fiber Reinforced Concrete, pp 26-28, 1978.
24. Ezeldin, A.S., Lowe, S.R., Mechanical Properties of Steel Fiber Reinforced Rapid-Set Materials, ACI Materials Journal, 88(4), 384-389, 1991.
25. Swamy, R., N., Mangat, P., S., Influence of Fibers Geometry on the Properties of Steel Fiber Reinforced Concrete, Cement and Concrete Research, 4(3), 451-465, 1974.
26. Altun, F. ve T. Haktanır, "A Comparative Experimental Investigation of Steel Fiber Added Reinforced Concrete Beams", Materials De Construcción, 54(276), 5-15, (2004).
27. 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).

28. 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).
29. Altun, F., T. Haktanır ve K. Arı, “Effects of Steel Fiber Addition on Mechanical Properties of Concrete and RC Beams”, *Construction and Building Materials*, 21(3), 654-661, (2007).
30. 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).
31. 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*, Yayınlanmak üzere kabul edildi-baskıda, (2008).
32. Altun, F., Ö. Kişi ve K. Aydın, “Predicting the Compressive Strength of Steel Fiber Added Lightweight Concrete Using Neural Network”, *Computational Materials Science*, Yayınlanmak üzere kabul edildi-baskıda, (2008).
33. Dramix, Çelik Tel Donatılı Endüstriyel Zeminler, Broşür, BEKAERT, 2002
34. Ünal B., Çelik Tel ve Polipropilen Lif İçerikli Beton Yolların Mekaniksel Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2003
35. Naaman, A., E., Moavenzadeh, F., McGarry, F., Probabilistic Analysis of Fiber Reinforced Concrete, *Journal of Engineering Mechanics*, 100(EM2), 397-413, 1974.
36. Williamson, G.R., The Effect of Steel Fibers on The Compressive Strength of Concrete, *Fiber Reinforced Concrete*, American Concrete Institute, Detroit, MI, 195-207, 1974.
37. Lim, T.Y., Paramavisam, P., Lee S.L., Analytical Model for Tensile Behavior of Steel Fiber Concrete, *ACI Materials Journal*, 84(4), 286-298, 1987.
38. Paul, K., Polivka, M., Mehta, M.K., Properties of Fiber Reinforced Shrinkage-Compensating Concrete, *ACI Journal*, 78(6), 488-492, 1981.

39. Balaguru, P.N., Ramakrishnan, V., Properties of Fiber Reinforced Concrete: Workability, Behavior Under Long- Term Loading, Air-Void Characteristics, ACI Materials Journal 85(3), 189-196, 1988.
40. Vares, S., Frost Resistance of Steel Fiber High Strength Concrete, Nordic Concrete Reaserch, Publication No 15, 75-88, 1994.
41. Ünal, O., Isıl İşlem Uygulamasının Lifli Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması, Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu, İstanbul, 1999.
42. EFNARC, Specification for Sprayed Concrete, The European Federation of National Associations of Specialist Contractions and Material Suppliers for Construction Industry, Hampshire, s.35, 1993.
43. Pigeon, M., Cantin, R., Flexural Properties of Steel Fiber- Reinforced Concretes At Low Temperatures, Cement and Concrete Composites, 20 , 365-375, 1998
44. Miura, T., The Properties of Concrete at Very Low Temperatures, Materials Structures, 20, 243-254, 1989
45. Stavena, P., Flexural Behavior of Steel Fiber Reinforced Concrete Under Low TEMperatures, Proc. Japan Concrete Institutes, 1992
46. Husem, M., Gözütok, S., The Effects of Low Temperature Curing on The Compressive Strength of Ordinary and High Performance Concrete, Construction and Building Materials,19, 49-53, 2005
47. TS 706 EN 12620, Beton Agregaları, 2003.
48. RILEM TC162-TDF, Test And Design Methods For Steel Fibre Reinforced Concrete: Design Dethod, Materials and Structures, 33, 75-81, 2000.
49. Tekdemir F. , Çelik Lif Katkılı Betonlara sıcaklık Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2007.
50. TS 3068, Laboratuarda Beton Deney Numunelerinin Hazırlanması Ve Bakımı, 1974.
51. TS EN 12390-1, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 1: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Kürlenmesi, 2002.
52. TS EN 12390-2, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Kürlenmesi, 2002.

53. TS 10515, Beton-Çelik Tel Takviyeli-Eğilme Mukavemeti Deney Metodu, 1992.
54. TS EN 12390-6, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini, 1992.
55. ASTM C1018, Standart Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fibre-Reinforced Concrete , American Society for Testing and Materials, 1992.

ÖZGEÇMİŞ

11 Ağustos 1979’ da Kayseri’ de doğdu. 1990’da Servet Akaydın İlköğretim Okulu’ nu, 1995’ de Kayseri 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 : F.Çakmak Mah. Yeşilırmak Cad.No:4/13 Kocasinan/KAYSERİ
Telefon : 0535 283 21 08
E-posta : smurat@dsi.gov.tr