

**T.C.  
BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**MİKRO ÇELİK TELLERİN YÜKSEL DAYANIMLI  
HARÇLARIN BAZI MEKANİK ÖZELLİKLERİNE  
ETKİSİ**

**Mustafa TEKİN**

**Tez Danışmanı  
Yrd. Doç. Dr. Selçuk Emre GÖRKEM**

**Yozgat 2014**



**T.C.  
BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**MİKRO ÇELİK TELLERİN YÜKSEK DAYANIMLI  
HARÇLARIN BAZI MEKANİK ÖZELLİKLERİNE  
ETKİSİ**

**Mustafa TEKİN**

**Tez Danışmanı  
Yrd. Doç. Dr. Selçuk Emre GÖRKEM**

**Yozgat 2014**

T.C.  
BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı 70110710006 numaralı öğrencisi Mustafa TEKİN' in hazırladığı "Mikro Çelik Tellerin Yüksek Dayanımlı Harçların Bazı Mekanik Özelliklerine Etkisi" başlıklı YÜKSEK LİSANS tezi ile ilgili TEZ SAVUNMA SINAVI, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 02/01/2014 Perşembe günü saat 13:00'te yapılmış, tezin onayına OY BİRLİĞİYLE karar verilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Fuat KÖKSAL



Üye : Yrd. Doç. Dr. Selçuk Emre GÖRKEM (Danışman)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Handan ADIBELLİ



ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun ...../...../20..... tarih ve ..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

...../...../20.....

Enstitü Müdürü

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
KISALTMALAR LİSTESİ .....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	5
2.1. Çelik Tel.....	5
2.1.1. Genel.....	5
2.1.2. Çelik Telli Betonların Kullanım Alanları.....	6
2.1.2.1. Hidrolik Yapılarda.....	6
2.1.2.2. Endüstriyel Zeminlerde.....	6
2.1.2.3. Betonarme Yapılarda.....	7
2.1.2.4. Tüneller ve Madenlerde.....	7
2.1.2.5. Havaalanları ve Karayolları Yol Kaplamalarında .....	7
2.1.2.6. Panel ve Borularda.....	7
2.1.2.7. Depreme Dayanıklı Yapılarda.....	8
2.1.3. Çelik Tellerin Sınıflandırılması.....	8
2.1.4. Çelik Tellerin Performansları.....	9
2.1.5. Çelik Tel Beton Karışım Esasları ve Kullanım Oranları.....	10
2.1.6. Çelik Tel Karışım Yöntemleri.....	10
2.1.7. Çelik Tel Kullanım Oranları.....	12
2.1.8. Çelik Telin Beton Özellikleri Üzerine Etkileri.....	12
2.1.8.1. İşlenebilirlik.....	13
2.1.8.2. Enerji Yutma Kapasitesi.....	13

2.1.8.3. Dayanım.....	14
2.1.8.4. Rötire.....	15
2.1.9. Çelik Telli Betonun Kırılma Mekanikği.....	15
2.2. Çelik Telli Betonun Çekme Dayanımı Tayini.....	16
2.2.1. Betonun Çekme Dayanımı Tayini Yöntemleri.....	16
2.2.1.1. Direkt Çekme Deneyi ve Numune Çeşitleri.....	16
2.2.1.2. Yarmada Çekme Dayanımı.....	18
2.2.1.3. Eğilmede Çekme Dayanımı.....	18
<b>3. DENEYSSEL ÇALIŞMA.....</b>	<b>20</b>
3.1. Kullanılan Malzemeler.....	20
3.1.1. Çimento.....	20
3.1.2. Mikro Çelik Tel.....	20
3.1.3. Agrega.....	21
3.1.4. Karışım Suyu.....	22
3.1.5. Katkı Malzemesi.....	22
3.2. Harç Karışım Oranları.....	22
3.2.1. Numune Üretimi.....	24
3.3. Deneyler.....	26
3.3.1. Taze Harç Deneyleri.....	26
3.3.1.1. Sarsma Tablası Deneyi.....	26
3.3.2. Sertleşmiş Harç Deneyleri.....	27
3.3.2.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık Deneyi.....	27
3.3.2.2. Eğilme Dayanımı.....	28
3.3.2.3. Basınç Dayanımı.....	29
<b>4. DENEYSSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....</b>	<b>30</b>
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>33</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>35</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>38</b>

# MİKRO ÇELİK TELLERİN YÜKSEK DAYANIMLI HARÇLARIN BAZI MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

**Mustafa TEKİN**

**Bozok Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**2014; Sayfa: 38**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Selçuk Emre GÖRKEM**

## ÖZET

Bu tez çalışmasında çelik teller ile üretilen, farklı basınç dayanımlarındaki ve farklı çelik tel oranlarındaki harç numunelerinin fiziksel özellikleri ve çelik tellerin eğilmede çekme ve basınç dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, iki değişik S/Ç oranına sahip karışımlar içerisine, karışımın hacimce %0,5, %1 ve %1,5'i oranında çelik lif ilave edilerek, 40 mm× 40mm ×160 mm boyutlarında dikdörtgen prizma numuneler üretilmiştir.

Numunelerin üretimi aşamasında ıslak birim hacim ağırlık değerleri ölçülmüş ve bunlar daha sonra kuru birim hacim ağırlıklarıyla karşılaştırılmıştır. Üretilen numuneler 28 gün +20 °C de kürde bekletildikten sonra, eğilmede çekme ve basınç deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerde referans olarak telsiz harcın eğilmede çekme ve basınç dayanım değerleri alınmıştır.

Çelik tellerin harçta çekme üzerine etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada, çelik tellerin harçta çekme gerilmelerine karşı direnç gösterdiği anlaşılmıştır. Ancak bu direncin belirli bir çelik tel oranına kadar hızlı artış göstermesine karşın, belirli orandan sonra artışın yavaşladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca harcın çekme gerilmesinin tel oranının yanı sıra harcın basınç dayanımına da bağlı olduğu anlaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Çelik Tel, Basınç Dayanımı, Eğilme Dayanımı.

# **EFFECT OF MICRO STEEL WIRE ON SOME MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH STRENGTH MORTAR**

**Mustafa TEKİN**

**Bozok University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering  
Master of Science Thesis**

**2014; Page: 38**

**Thesis Supervisor: Asst. Assc.Prof. Dr. Selçuk Emre GÖRKEM**

## **ABSTRACT**

In this thesis, we have investigated the physical properties and flexural strength of steel wire produced with micro steel wires, and different rates in different compressive strength of mortar specimens. For this purpose, adding 0.5% of 1% and 1.5% volume of a mixture to the steel wire ratio into the two different W/C ratio mixtures, we produced rectangular samples with dimensions of 40 mm × 40 mm × 160 mm.

During the production of the samples, wet values and unit volume weights were measured and then these values were compared with the dry unit volume. After putting these produced samples 28 days + 20 °C cure, flexural and compressive tests were done. The values from the mortar flexural and compressive wireless were taken as a reference.

In the investigation study of the effects of steel wires shrinkage on the mortar, it is understood that the steel wires in concrete had a resistance for tensile straining. However, although this rapid increase in the rate of a specific resistance of steel wire, it is observed that after a certain ratio of increase slowed down is exceeded. In addition, it is understood that both the ratio of tensile strained wire of concrete, and the concrete pressure resistance is connected.

**Keywords:** Steel Wire, Compressive Strength, Flexural Strength.



## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezimin, her aşamasında bana yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Selçuk Emre GÖRKEM'e, tecrübelerinden yararlandığım Sayın Doç. Dr. Fuat KÖKSAL'a ve İnşaat Mühendisliği Bölümünde üzerimde emeği olan bütün hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca babam Ali Osman TEKİN'i rahmetle anar ve Yüksek Lisansımın tamamlanması için bana her alanda destek olan eşim Hatice TEKİN, abim Duran TEKİN ve annem Sündüs TEKİN başta olmak üzere bütün akrabalarım da çok teşekkür ederim.

## TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
<b>Tablo 2.1:</b> Betonda Bulunması Gereken İnce Malzeme Miktarları.....	10
<b>Tablo 2.2:</b> Betona İlave Edilen Maksimum Lif Miktarı.....	12
<b>Tablo 2.3:</b> Çelik Telli Betonun Teknik Özellikleri.....	13
<b>Tablo 3.1:</b> CEM I 42,5 R Portland Çimentosunun Özellikleri.....	20
<b>Tablo 3.2:</b> Kullanılan Çelik Telin Mekanik ve Fiziksel Özellikleri.....	20
<b>Tablo 3.3:</b> Grace Redoz Xtr 109 Marka Normal Beton Akışkanlaştırıcısına Ait Bazı Teknik Bilgiler .....	22
<b>Tablo 3.4:</b> Üretilen Numunelerin Karışım Oranları.....	23
<b>Tablo 3.5:</b> Taze Harçlara Ait Birim Hacim Ağırlık ve Yayılma Deney Sonuçları.....	27
<b>Tablo 3.6:</b> Kuru Numunelere Ait Birim Hacim Ağırlık Deney Sonuçları....	27
<b>Tablo 4.1:</b> S/Ç Oranı 0,55 Olan Numunelerin Deney Sonuçları.....	29
<b>Tablo 4.2:</b> S/Ç Oranı 0,45 Olan Numunelerin Deney Sonuçları.....	30

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1:	Rüsch'ün Kullandığı Eksenel Çekme Deney Numune Geometrisi..... 17
Şekil 2.2:	Doğrudan Çekme Deneyleri İçin Kassas Tarafından Kullanılan Numune Başlık Düzeni..... 17
Şekil 2.3:	Yarma Deney Uygulama Düzeni ..... 18
Şekil 2.4:	Orta Noktasından ve Üçte Bir Noktalarından Yüklenmiş Eğilmede Çekme Deney Düzenekleri..... 19
Şekil 3.1:	Kullanılan Mikro Çelik Tel Yığını ..... 21
Şekil 3.2:	Kullanılan Agreganın Granülometrisi ..... 21
Şekil 3.3:	Mikro Çelik Tel İle Üretilmiş Harç ..... 24
Şekil 3.4:	Harcın Kalıba Yerleştirilmiş Hali..... 25
Şekil 3.5:	Vibrasyon İşlemi Uygulanan Numuneler..... 25
Şekil 3.6:	Çelik Tel İçeriğine Bağlı Taze Birim Hacim Ağırlığın Değişimi. .... 26
Şekil 3.7:	Çelik Tel İçeriğine Bağlı Kuru Birim Hacim Ağırlığın Değişimi..... 27
Şekil 3.8:	Eğilme Deneyinde Yükleme Başlığı ve Yükleme Tablası... 28
Şekil 3.9:	Eğilme Çekme Deneyi Deney Düzeneği..... 29
Şekil 3.10:	Basınç Dayanımı Deney Düzeneği..... 29
Şekil 4.1:	Çelik Tel İçeriğine Bağlı Basınç Dayanımı Değişimi ve Hata Çubukları..... 31
Şekil 4.2:	Çelik Tel İçeriğine Bağlı Eğilme Dayanımı Değişimi ve Hata Çubukları..... 32

## KISALTMALAR LİSTESİ

<b>S/Ç</b>	: Suyun Çimentoya oranı
<b>A0</b>	: S/Ç oranı 0,55 ve Çelik Tel Oranı Sıfır Olan Numune
<b>A1</b>	: S/Ç oranı 0,55 ve Çelik Tel Oranı Hacimce %0,5 Olan Numune
<b>A2</b>	: S/Ç oranı 0,55 ve Çelik Tel Oranı Hacimce %1,0 Olan Numune
<b>A3</b>	: S/Ç oranı 0,55 ve Çelik Tel Oranı Hacimce %1,5 Olan Numune
<b>B0</b>	: S/Ç oranı 0,45 ve Çelik Tel Oranı Sıfır Olan Numune
<b>B1</b>	: S/Ç oranı 0,45 ve Çelik Tel Oranı Hacimce %0,5 Olan Numune
<b>B2</b>	: S/Ç oranı 0,45 ve Çelik Tel Oranı Hacimce %1,0 Olan Numune
<b>B3</b>	: S/Ç oranı 0,45 ve Çelik Tel Oranı Hacimce %1,5 Olan Numune
<b>TS</b>	: Türk Standartları

## 1. GİRİŞ

Günümüzden 4500 yıl öncesine kadar uzanan bir yapım yöntemi olan tel kullanımının bilinen en eski uygulamalarından biri kil hamuru ile birlikte saman ve benzeri tellerin karışımı ile elde edilen kerpiç malzemesidir. Bunun yanında sıva uygulamalarında keten ve kenevir telleri ile birlikte bazı hayvan kıllarının da kullanıldığı bilinmektedir [1]. Yurdumuzdaki bazı eski eserlerde de Horasan Harcı olarak bilinen uygulamada tel kullanımına rastlanmaktadır. Bunlar yapıda kullanılan elemanların güçlendirilmesi amacıyla yönelik uygulamalardır. Çimento, su ve asbest karışımından oluşan tel takviyeli beton ilk defa Avusturya'da L. Hatschek tarafından 1901 yılında uygulanmıştır. Daha sonraları asbest tellerinin insan sağlığına zararlı etkilerinin ortaya çıkmasıyla 1960'lı ve 1970'li yıllarda asbeste alternatif bazı tel çeşitleri piyasaya sürülmüştür. Bağımsız Devletler Topluluğu (Rusya'da) 1950'lerin sonlarından itibaren, İngiltere'de de 1966'dan itibaren betonda kullanılacak cam tellerinin özelliklerinin iyileştirilmesi üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Alkali ortama dayanabilen cam teller, propilen, naylon gibi sentetik teller ile karbon tellerin uygulanabilirliği konusunda çalışmalar gerçekleştirilmiş, ancak bunların üretimi maliyetin yüksek oluşu nedeniyle cam teller kadar yaygınlaşmamıştır [2,3]. Ancak 1960'lı yılların başlarında Amerika'da çelik teller donatı olarak kullanımına başlanmıştır [4]. Çelik teller günümüzde betonda kullanılan tel türleri içinde en çok kullanılan yapı malzemesidir. Ancak bir tel türünün diğerlerine karşı mutlak üstünlüğünden bahsetmek söz konusu değildir. Birçok tel türü mevcut olup bunların üstünlükleri kullanış amaçları ile ilgili olmaktadır [5,33].

Çimento, agrega ve su karışımı olarak bilinen betonda oluşan büzülme (rötre) çatlaklarının nedeninin beton prizi esnasında oluşacak içsel gerilmelerin karşılanmaması olduğu bilinmektedir. Yapılan araştırmalara göre bu çatlaklar, betonun küründe alınan bazı önlemlerle kılcal düzeyde kalmalarına rağmen, yük altında ortaya çıkıp genişlemektedirler. Çelik teller bu çatlakları azaltıp dayanımı artırmaktadır. Çeşitli amaçlarla beton ya da betonarme elemanlarda kullanılan çelik tellerin geometrik özellikleri, imalat şekli ve kullanış amacına göre farklı farklı olabilmektedir. 1970'li yıllarda yalnızca düz çelik teller kullanılırken sonraları uçları kıvrık, çengelli ve özel şekilli çelik tellerin kullanımı ve üretimi de giderek

yaygınlaşmıştır. Çelik telli betonları daha ekonomik hale getirmek için yarım daire, dikdörtgen ve simetrik olmayan geometrilerde de teller üretilmiştir [5].

Betonun dayanım ve dayanıklılığının mineral ve kimyasal katkıları ile iyileştirilmesinin yanı sıra birçok tel de kullanılmaktadır. Teller, betonun özelliklerini değiştirerek iyileştirmek amacıyla, taze beton içersine çeşitli yöntemlerle değişik oranlarda katılan polipropilen, cam, plastik ve çelik gibi değişik malzemelerden farklı tip, özellik ve boyutlarda üretilmektedir. Telleri tanımlayan en önemli öge telin sahip olduğu mekanik özellikler ile onun sayısal bir parametre gibi ifade edilmesini sağlayan biçimsel özellikleridir. Tel tipi, uzunluğu, çapı, geometrik yapısı ve telin çekme gerilme dayanımı önemli özelliklerindedir. Telli betonlarda beton bileşimine giren parametreler içerisinde beton özelliklerini önemli ölçüde etkileyen faktörler narinlik oranı(tel boyu/tel çapı) ve tel miktarıdır. Ayrıca katılan tellerin karışımında homojen olarak dağılması ve karışımdan sonra bu dağılımın korunmasının sağlanması da tellerin betonun özellikleri üzerinde yapacağı iyileştirmeyi doğrudan etkilemektedir. Günümüzde betonda en yaygın olarak kullanılan teller; çelik, polipropilen ve alkali dirençli camlardır. Genellikle beton karışımlarında kullanılan çelik tellerin narinlik oranı 50 ile 100 ve polipropilen tellerin boyları ise 12 ile 50 mm arasında değişmektedir. Betona katılma oranları çelik teller için hacimce %0.5-%2.5 ve polipropilen teller için ise %0.1-%0.5 arasında değişmektedir [6,32].

Telli betonu, ince agrega ve kaba agrega adı verilen mineral dolgu malzemelerinin çimento, su karışımından oluşan bağlayıcı harç ile gerektiğinde çeşitli kimyasal ve mineral katkılarında eklenmesinden sonra katılan tellerin harç içerisinde homojen olarak dağılmasıyla elde edilen ve zamanla sertleşip dayanım kazanan bir malzeme olarak tanımlayabiliriz [7].

Çekme dayanımı, yorulma dayanımı, aşınma dayanımı ve çatlak sonrası yük taşıma kapasiteleri bakımından zayıf özelliklere sahip gevrek bir malzeme olan betonda, tel katkısı betonların bu özelliklerinde belirgin iyileştirmeler sağlamaktadır. Beton içerisinde süreksiz bir şekilde dağılan tellerin betonda çatlak oluşumunu önemli ölçüde azaltmakta, betonun şekil değiştirme kapasitesini, tokluğunu, çarpma ve çekme dayanımını arttırmakta ve süneklik düzeyi yüksek betonlar elde etmeyi

mümkün kılmaktadır. Teller kendi çekme dayanımına ulaşınca kadar beton matrisinde basınç ve çekme yüklerinden dolayı meydana gelecek olan çok sayıdaki kılcal çatlak oluşumunu önlemekte ve azaltmaktadır. Böylece kırılma birim uzaması tellere oranla düşük olan çimento hamurunda meydana gelebilecek kılcal çatlaklar önlenmektedir [6,32].

Dünyada 1984 yılında 20.000 ton civarında çelik telli beton üretilirken, bu üretimin 1988 yılında 60.000 ton seviyesinde olduğu, günümüzde ise milyonlarca m<sup>2</sup> alanda özellikle zemin kaplamalarında çelik telli betonun kullanıldığı bilinmektedir. Çelik telli betonların ilk kullanım alanları plaklar, yol kaplamaları, tünel kaplamaları ve değişik onarım uygulamalarıdır [3].

Teller betonun rötre çatlak genişliklerini azaltmakta ve büzülme hareketlerini sınırlamaktadır. Teller çok yönlü çatlak oluşumunu sağlar, çatlak üzerinden gerilme transferi yaparlar. Yüksek çekme dayanımları ile birlikte düşük elastisite modülüne sahip çelik tel donatılı betonların rötre çatlakları normal betonlara oranla daha az olmaktadır. Tellerin büzülme özellikleri üzerinde iyileştirme yapması için matris içerisinde etkili olacak şekilde yeterli miktarda bulunması gerekmektedir. Ayrıca uzun teller kuruma rötresinin sınırlandırılmasında daha etkili olmaktadır [6,33].

Günümüzün popüler yapı malzemelerinden biri olan beton büyük basınç kuvvetlerini taşıyabilmesi özelliği ile bilinir. Buna karşın çekme etkisi altındaki davranışı iyi değildir. Bu nedenle, yalın betonun çekme dayanımı, çatlak direnci, aşınma ve darbe dayanımı, tokluk gibi mekanik özelliklerini geliştirmek için içerisine tel malzemeleri katılmaktadır. Telli beton, donatısız betondan farklı olarak mekanik ve fiziksel özelliklere sahip bir kompozit malzemedir. Artan kullanımı ile yapı dünyasında yerine alan telli betonlar üzerine çalışmalar yoğunluk kazanmıştır [8,36].

Beton herhangi bir telle takviye edildiğinde, donatılı kompozit malzemeler sınıfına girmektedir. Bu tür kompozitler, malzemenin mekanik direncini arttırmak, çatlama ve gevrek kırılmayı önlemek gayesiyle tasarlanır. Belirli özellikleri olan tellerle homojen olarak takviye edilmiş olan telli beton, ilk görünüşte normal beton karışımına benzemesine rağmen, değişik yükler altında gösterdiği davranış ve performans açısından geleneksel betondan oldukça farklı bir özelliğe sahiptir [9,37].

Bu çalışmanın amacı, elik telli betonlarda elik tellerin görevlerini belirlemek ve betonda çekme dayanımı üzerindeki etkilerini deneysel olarak inceleyebilmektir. Bu amaçla eğilmede çekme deneyi ve gerekli irdelemeler yapılmıştır.



## 2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

### 2.1. Çelik Tel

#### 2.1.1. Genel

Çelik telli beton, çimento, su, ince ve iri agrega karışımına kısa çelik tellerin katılmasıyla üretilen kompozit bir malzemedir. Telli betonlarda karışıma gereken durumlarda mineral ve/veya kimyasal katkıları da katılmaktadır. Beton içerisine katılan çelik teller rastgele ve süreksiz olarak dağılımdadır [3].

Beton herhangi bir telle takviye edildiğinde, donatılı kompozit malzemeler sınıfına girmektedir. Bu tür kompozitler, malzemenin mekanik direncini arttırmak, çatlama ve gevrek kırılmayı önlemek gayesiyle tasarlanır. Belirli özellikleri olan tellerle homojen olarak takviye edilmiş olan telli beton, ilk görünüşte normal beton karışımına benzemesine rağmen, değişik yükler altında gösterdiği davranış ve performans açısından geleneksel betondan oldukça farklı bir özelliğe sahiptir [37,9].

Genel olarak beton yorulma dayanımı, aşınma dayanımı, çekme dayanımı, çatlama sonrası yük taşıma dayanımı ve enerji emme kapasitesi bakımından zayıf bir malzemedir. Betonun bu özelliklerini belirgin olarak artırmak amacı ile telli betonların farklı alanlarda kullanılma ihtiyacının artması, beton teknolojisinde yeni araştırmaların yapılmasına neden olmaktadır. Özellikle kompozit malzeme teorilerinin pratikte yaşanan teknolojik gelişmelerle ve yeni malzemelerin betonda kullanılmasını hedeflemektedir. Bu malzemelerden biride beton karışımlarına katılan farklı boyutlardaki çelik tellerdir [6,32].

Beton içerisindeki çelik teli, betonun yapısını değiştiren ve ona plastik davranış özelliği kazandıran bir malzeme olarak nitelendirebiliriz. Çelik telli betonun özelliği, onun arttırılmış plastik davranışı ve enerji yutma yeteneğidir [9].

Çelik tel donatılı betonlar, 60'lı yılların başında geliştirildi ve tel tipleri üzerinde yıllar boyu süregelen araştırmalar ve uygulamalar, bu malzemeyi dünya çapında çeşitli uygulamalarda bilinen bir teknoloji haline getirdi. Günümüzde halen, dizayn ve hesap metotları geliştirilmektedir. Çelik tel donatılı betonlar için ilk uygulama alanlarından biri, elastik zemine oturan beton plaklar oldu. Bugün milyonlarca

metrekare çelik tel donatılı zemin betonu dökülmektedir. Mikro çatlaklar arasında köprü görevini gördükleri ve gerilmeleri geniş bir alana transfer ettikleri için çelik teller, kırılğan beton yapısını esnek ve dayanıklı hale getirmektedir. Sonuçta gerilmelerin beton içindeki dağılımı değişmekte, yük taşıma kapasitesi belirgin bir şekilde artmaktadır [10].

Basınç etkisi altında mekanik davranışları elverişli olan yapı malzemelerinin, çekme ve eğilme etkisi altındaki davranışları çoğu zaman yeterli olmamaktadır. Bu malzemelerin elverişli olmayan mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için beton içerisine karıştırılan çelik tellerin yapısı çekme özelliğine karşı bir düzeltme ve kullanım özelliği sağlamaktadır. Çelik telli betonların üretilmesindeki ana amaç; malzeme tokluğu, darbe yüklerine karşı direnci, eğilme dayanımı gibi özelliklerin artırılmasına yöneliktir. Basınç ve eğilme-çekme gerilmeleri çelik tellerin rolünden ziyade beton kalitesine, tokluk ise tellerin performansına bağlıdır [6,10].

### **2.1.2. Çelik Telli Betonların Kullanım Alanları**

Çelik tel katkılı betonlar; dayanıma olan olumlu etkileri ve enerji yutma kapasitelerinin fazla olması nedeniyle aşağıdaki yapıların inşasında kullanılmaktadır [3].

#### **2.1.2.1. Hidrolik Yapılarda**

Baraj, kanal, dinlendirme havuzu ve arıtma tesisi gibi yapılarda ve kavitasyon problemi olan yerlerde, aşınma probleminin önlenmesi veya azaltılması amacıyla çelik telli betonlar kullanılmaktadırlar [44].

#### **2.1.2.2. Endüstriyel Zeminlerde**

İyi bir döşeme bütün endüstriyel işlerin temeli ve fabrikalar için çok önemli olmaktadır. Güçlendirilme ihtiyacı olan bir fabrika zemin döşeme betonu, hem onarım maliyetini artıracak, hem de onarım süresince iş kaybına neden olacaktır. Ağır yüklemelerin maruz kaldığı döşemeler, üzerine gelen aşırı yükler ve aşırı zorlamalar etkisinde kalmaktadırlar. Özellikle dinamik etkilere karşı döşeme betonunun dayanımının arttırılması çözüm olmaktadır. Bunun içindir ki bu betonların yorulma dayanımının, darbe dayanımının ve diğer özelliklerinin iyi olması

gerekmektedir. Tellerle güçlendirilmiş betonlar, bu yükleri karşılayabilecek dayanımlara sahiptirler. Çelik teller zemin döşemelerinde hasır çelik donatılarıyla birlikte kullanıldıkları gibi esas donatı yerine de kullanılmaktadırlar [43].

#### **2.1.2.3. Betonarme Yapılarda**

Sünekliğinin ve enerji yutma kapasitesinin yüksek olması nedeniyle depreme dayanıklı konut yapılarında, endüstriyel ve nükleer atık depolanan yapılarda, koruma ve savunma amaçlı depo ve silolarda, güç santrallerinin yapımında kullanılmaktadırlar. Geleneksel betonlara göre çelik tellerle güçlendirilmiş betonlar parçalanmaya karşı daha dayanıklıdır. Çelik teller, beton dağılmadan önce büyük miktarda enerji emme kapasitesine sahip olmaları nedeniyle küçük çatlakları bir arada tutarlar [38].

#### **2.1.2.4. Tünellerde ve Madenlerde**

Tünel ve galerilerde tavan destekleri, tünel içi kaplama, tünel segmanları, püskürtme beton, istinat duvarları, şev stabilitesinde kenar ve köşelerde oluşan hasarları en aza indirmek, onarım maliyetini azaltmak, üretimde verimlilik için çekme donatısı kullanılmadan yüksek dayanımlı beton elde edilir [38,43].

#### **2.1.2.5. Havaalanları ve Karayollarının Yol Kaplamalarında**

Çelik tellerin betona ilavesinde normal plaklardan daha ince plaklar elde edilebilir. Bu tür yapılarda yorulma direncini, dinamik ve statik yüklere karşı direnci artırır ve çekme dayanımdaki artış nedeniyle derzlerin mesafeleri artar ve sayıları azalır [38,43].

#### **2.1.2.6. Panel ve Borularda**

Kafes üretiminin ortadan kalkması ile üretimin hızlanması, sıyrılmaya karşı tellerin ankrajları sayesinde üstün direnç, üretimde, taşımada, stoklamada meydana gelebilecek ufalanma, kopma ve dökülmeleri azaltmak amaçlarıyla panellerde kullanılırlar. Büyük çaplı beton borularda donatılı uygulamalardan daha ekonomik oluşu, ilk çatlama yükünü arttırması, ısı çatlaklarını ortadan kaldırması, betonarme borunun sünekliğini arttırması, borunun her tarafına dağıldığından muf kısmında

oluşabilecek çatlak ve kırılmaları ortadan kaldırılabilmemesinden dolayı beton ve betonarme borularda kullanılmaktadır [3].

### 2.1.2.7. Depreme Dayanıklı Yapılarda

Çelik telli betonlarla inşa edilen süneklik düzeyi yüksek betonarme yapıların deprem kuvvetleri altındaki davranışı olumlu yönde değişecektir. Türkiye deprem kuşağında olduğu göz önüne alındığında gevrek bir malzeme olduğu bilinen betonun bu zayıf yönünü iyileştirmenin önemli olduğu açık bir gerçektir. Bu yapıların dinamik etkilere karşı enerji emme yeteneği geleneksel yapılara göre daha yüksek olduğundan bu tür etkiler sonucu meydana gelebilecek yapısal hasarlar en alt düzeye indirilecektir. Çelik tellerin betonda kullanılmasının önemi karşı karşıya bulunduğumuz depremin, yapılarda meydana getirdiği hasarlar incelendiğinde daha iyi anlaşılacaktır [43].

### 2.1.3. Çelik Tellerin Sınıflandırılması

Ts 10513(1992)'e [11] göre çelik tellerin sınıflandırılması aşağıdaki gibidir.

**A sınıfı:** Düz, pürüzsüz yüzeyle teller,

**B sınıfı :** Bütün uzunluğu boyunca deforme olmuş teller

- Üzerinde girintiler (çentikler) açılmış teller,
- Uzunluğu boyunca dalgalı (kıvrımlı) teller,
- Ay biçimli dalgalı teller,

**C sınıfı :** Sonu kancalı teller

- İki ucu kancalı teller,
- Tek ucu kancalı teller,

Çelik teller düşük karbonlu çelikten çekme işlemi ile üretilmiş olmalı, çekme-kopma gerilmesi ortalama  $345 \text{ N/mm}^2$ , her bir tel ise  $310 \text{ N/mm}^2$  den az olmamalıdır. Çelik tellerin çapları 0.13-1.0 mm arasında olup, narinlikleri ise (uzunluk/çap oranı) 30 ile 150 arasında değişmektedir. Tel boyları 13 mm den 70 mm ye kadar, tel hacmi is genellikle %0.5 ile %3 arasında değişmektedir [6,10].

ACI 544'e [12] göre tel boyunun eşdeğer tel çapına bölünmesiyle elde edilen boy/çap oranı narinlik olarak kabul edilmektedir. Bu oran aynı zamanda telin narinliğini ifade etmektedir. Betona ilave edilecek teller genellikle daire en kesitli ve

dikdörtgen en kesitli çelik teller olarak kullanılmaktadır. Boyları 30-60 mm, çapları ise 0.5-1.0 mm arasında değişen çelik tellerin yük etkisiyle kopmadan, matrizen sıyrılmalarına rağmen çekme dayanımlarının en az 345 N/mm<sup>2</sup> olması istenmektedir. Uçları kancalı üretilen çelik tellerin sıyrılmaya dayanımları düz olanlara oranla daha yüksek olmaktadır.

Düşük karbonlu çelikten üretilen çelik tel özellikleri;

- Soğukta çekilen tellerin kesilmesiyle,
- Çelik plakaların kesilmesiyle,
- Erimiş haldeki çelik potasından çıkarılması ile elde edilmektedir. Sert çekilmiş düşük karbonlu çelik C1008 'den üretilen çelik tellerde, yüksek ve üniform çekme gerilmesiyle düşük uzama özelliği birleştirilmiştir. Beton içerisinde bulunan tellerin nihai yükleri kırılma ve kopma olmadan taşınmaları gerekir. Çelik teller 1100 N/mm<sup>2</sup> çekme mukavemeti ile bunu gerçekleştirir. Düşük elastik limitleri (%0.2), yüksek çekme gerilmesiyle birleştirilmiştir [1].

#### **2.1.4. Çelik Tellerin Performansları**

Çelik tel donatılı beton, ince çelik tellerin beton kütlesi içine homojen olarak dağıtıldığı 3 boyutta donatılı betondur. Çelik teller betonların çatlak direncini, geçirgenlik ve süneklik gibi özelliklerini artırır. Ulaşılması istenen performans seviyesi beton kalitesi, çelik tellerin narinlik oranı (uzunluk/çap) ve dozaja bağlı olarak değişir. Bu seçimde en önemli parametre yapı güvenliği ve sünekliktir. Çelik teller, taze betonda oluşmaya başlayan mikro çatlaklar arasında köprü teşkil ederek, iç gerilmeleri bütün kitle içine yayar ve servis yükleri altında çatlak yayılma ve büyümesinin önüne geçer. Servis yüklerinden başka ani etkileyen deprem gibi dinamik yüklemelere karşı enerji yutma yetenekleri nedeni ile betonun dağılmasını engellerler [1,3].

Çelik telleri en önemli özellikleri ise şunlardır.

- Eğilme mukavemeti ve tokluk: Çelik tellerin amaçlarından bir tanesi çatlak sonrası betonun enerji yutma kapasitesini artırmak ve eğilme mukavemetini belirli bir değere çekmektedir.

- Çelik teller çatlak genişliklerini, çatlak sayısını ve kirişin sehimini (düşey doğrultuda yer değiştirmesini) önemli ölçüde azaltmaktadır.
- Betona çelik tel katılması ile betonarme kirişin eğilme etkisindeki erken yaş taşıma gücü arttırılabilmektedir[14,42].

### 2.1.5. Çelik Tel Beton Karışım Esasları ve Kullanım Oranları

Çelik telli betonların karışımları için beton yapısı ve kalitesi TS 10514'de (1992) [13] verilmektedir. Buna göre:

- Çimento miktarı en az 320 kg/m<sup>3</sup> ve su/çimento oranı en çok 0.55 olmalıdır.
- Kum (0-4 mm) miktarı, toplam agrega kütlelerinin %40-%45'i olmalıdır.
- En büyük dane büyüklüğü, doğal agregalar için 28 mm, kırma taşlar için 32 mm olmalıdır. 14 mm'den büyük agrega oranı,%15-%20 ile sınırlanmalıdır.
- Betonun karakteristik basınç mukavemeti en az 20 N/mm<sup>2</sup> olmalıdır.
- Betona işlerlik sağlaması amacı ile akışkanlık verici katkıları kullanılabilir.
- Betonda bulunması gereken 0.25 mm'den küçük ince malzeme miktarı tablo 2.1'de verilmiştir.

**Tablo 2.1.**Betonda Bulunması Gereken İnce Malzeme Miktarları

Maks. Dane büyüklüğü (mm)	İnce malzeme miktarı (<0,25 mm)	
	Kg/m <sup>3</sup>	L/m <sup>3</sup>
8	525	180-185
16	450	150-155
32	400	130-135

### 2.1.6. Çelik Tel Karışım Yöntemleri

Karışıma ilk malzeme olarak tellerle başlanmamalı, çelik teller kum ve agregalarla beraber ya da hazırlanmış betona ilave edilmelidir. Karışım anında çelik tellerin bir araya gelip topaklanarak karışımı güçleştirmeleri ve karışım sırasında tellerin eğilerek deforme olmaları önlenmelidir. Bunun içinde özellikle tel miktarı aşılmalı, gerekiyorsa bağlayıcı ve ince agrega miktarı artırılarak karışımın kohezyonu artırılmalıdır. İşlenebilirliği artırmak için de akışkanlaştırıcı kimyasal

katkılar kullanılmalıdır. Demetler halindeki teller karışımda ayrılıncaya kadar karışıma devam edilmelidir [6]. Çelik telli betonların hazırlanmasında belli başlı üç yöntem vardır. Bu yöntemler ve karıştırma kuralları TS 10514’de belirtilmiştir [13].

### 1. Beton Santralında Karışım Yöntemi

- Kum, çakıl ve çelik teller bir konveyör band aracılığı ile karıştırma kazanına verilebildiği gibi, beton santralının tartı kovaasına da konabilir.
- Karışıma, çimento, su ve gerekli ise uçucu kül ilave edilmelidir.
- Bütün teller ayrılıp dağılıncaya kadar karıştırılmalıdır. Gerekli süre mikser tipine bağlı olup, bu süre 1-2 dakika olmalıdır.
- Karıştırma kazanı içinde hazırlanan betona teller en son olarak da ilave edilebilir. Bu durumda karıştırmaya teller homojen dağılıncaya kadar devam etmelidir.

### 2. Transmikserde Karışım Yöntemi

- Agregası ve teller transmikserde konarak karıştırılmalıdır.
- Çimento ve su ilave edilmelidir.
- 2-4 dakika sonra karışım kontrol edilmelidir. Homojen karışım gözle fark edilmelidir.

### 3. Transmikserde İlave Yöntemi

- Diğer karıştırma yöntemleri mümkün olmadığında uygulanır.
- Transmikserde konan beton, mikser kapasitesinin %80’ini aşmamalıdır.
- Yüksek su/çimento oranından kaçınmak için akışkanlık verici katkı maddeleri kullanılmalıdır.

- Teller mikser 20-30 kg/dak hızı ile konmalı ve bu esnada mikser tamburu en yüksek hız ile çevrilmelidir.
- Karıştırma zamanı mikser tipine bağlıdır. Bütün teller betona karıştırıldıktan sonra mikser kısa müddet ile durdurulmalı ve tel dağılımı göz ile kontrol edilmelidir. Homojen dağılım elde edilemezse, transmiksere bu karışım yöntemi için uygun olmadığına karar verilmelidir.

### 2.1.7. Çelik Tel Kullanım Oranları

Homojen bir beton karışımı elde edebilmek için kritik çelik tel miktarı aşılmamalıdır. Çelik tel donatılı betonun karışımını kolaylaştırmak ve gerekli olduğu tel miktarına ulaşmayı sağlamak amacıyla ince agrega kullanılmalıdır. Taze betonda; homojen tel dağılımı, gözle kontrol edilmeli birbirlerine yapışık teller halinde betona karıştırılan tel demetler veya teller beton içinde tamamen dağılıp, ayrılincaya kadar beton karışımı devam etmelidir. Tel takviyeli beton, döküm yerine kamyon ve transmiksere ile nakledilebilir. Transmikserler kullanıldığında, mikser düşük hızda döndürülmelidir. Betona karıştırılacak en fazla tel miktarı, agreganın en büyük dane çapına ve uzunluk/çap oranına bağlı olarak tablo 2’de gösterilmiştir.

**Tablo 2.2.** Betona İlave Edilen Maksimum Tel Miktarı, kg/m<sup>3</sup> [13]

Tane Çapı (mm)	Uzunluk/ Çap = 60		Uzunluk / Çap =75		Uzunluk / çap = 100	
	Dökme	Pompa	Dökme	Pompa	Dökme	Pompa
32	50	40	40	30	30	25
16	85	65	70	55	55	40
8	125	95	100	75	75	55
4	160	120	125	95	95	70

İyi bir karışım için çelik tel miktarı kirişlerde beton hacmine oranla % 0.5 ila %1.5 arasında olup, %2 ve daha fazlasına çıkarmak mümkün olmakla birlikte %0.5’in altına da düşülmemelidir [13,38].

### 2.1.8. Çelik Telin Beton Özellikleri Üzerine Etkileri

Geleneksel beton içerisine farklı miktarlarda ve belirli özelliklerde çelik tellerin katılması ile normal betonun zayıf olarak bilinen bir çok özelliğini iyileştirerek



performanslarını arttırmaktadır. Bu iyileşmeler tablo 2.3’de aşağıdaki gibi özetlenmiştir [14,37].

**Tablo 2.3.** Çelik Telli Betonun Teknik Özellikleri [14]

Beton Özelliği	Artış (%)
Tokluk	100-1200
Darbe Dayanımı	100-1200
İlk Çatlak Dayanımı	25-100
Çekme Dayanımı	25-100
Nihai Eğilme Dayanımı	50-100
Yorulma Dayanımı	50-100
Deformasyon Kapasitesi	50-100
Basınç Dayanımı	+ 25
Kavitasyon Dayanımı	300
Elastisite Modülü	+ 25

#### 2.1.8.1. İşlenebilirlik

Betonun içerisine çelik tellerin katılması sonucu taze beton özelliklerinde bir takım değişiklikler görülür. Betonda çelik tel kullanımı, betonun hazırlanma, taşınma, yerleştirme ve sıkıştırma sürecini ifade eden işlenebilirliğini önemli oranda etkiler. Yapılan çalışmalarda tel kullanımının betonda işlenebilirliği azalttığı görülmüştür. Bu azalma üzerindeki en önemli parametre tel tipi, tel hacmi ve tel görünüm oranıdır. Tel hacmi ve tel görünüm oranı (l/d) artıka işlenebilirliğinin düştüğü bilinmektedir [3].

#### 2.1.8.2. Enerji Yutma Kapasitesi (Tokluk)

Çelik tel donatılı betonların karakterize eden en önemli özelliklerinden biri, onun tokluğudur, başka bir deyişle, enerji yutma kapasitesidir. Tokluk, beton içindeki çelik tellerin rolüne bağlıdır ve telli betonların işlevselliği değerlendirilirken esas alınan bir parametredir. Bu özellik çelik telli betonun tel miktarı, narinlik oranı, tel boyutu, tel geometrisi ile yükleme hızı ve numune boyutları gibi faktörlerden etkilenir. Enerji yutma kapasitesinin ölçümü TS 10515[13] standartlarında belirtilmiştir ve yük-deformasyon eğrisi altında kalan alanın hesaplanması ile bulunur. Telli betonlarda

yük tasıma, maksimum yükten sonra betonun taşıma gücü azalsa da bir süre daha sürdürülmektedir [14,35].

Yük deformasyon eğrisinde ilk çatlama görülen noktaya kadar yük-deformasyon eğrisinin altında kalan üçgenin alanı ile belirlenen tokluk indeksi, çelik telli betonların elastik-plastik davranışlarını açıklayabilmek gayesiyle belirlenmiş bir kavramdır. Bu indeksler numune indekslerinden bağımsız oldukları için değerlendirme açısından daha anlamlıdır [47].

### **2.1.8.3. Dayanım**

Çelik tellerin yüksek çekme dayanımlarından dolayı çelik telli betonların eğilme dayanımları normal betonlara göre %50-100 arasında artış göstermektedir. Betonda ilk çatlaktan sonra çelik tellerin çatlak sonlarından gerilme transferi ve dağılımı yapması sebebiyle yük ilk çatlaktan sonra bir miktar daha artar ve maksimum eğilme dayanımı telsiz betona göre daha fazla olur. Fakat çelik telli betonların basınç dayanımları, çelik tellerin beton içerisinde gelişi güzel dağılmasından dolayı her zaman olumlu etkilememektedir. Basınç dayanımlarında artışlar görülebileceği gibi bazen de basınç dayanımı kayıpları ortaya çıkabilmektedir. Diğer özellikleri ise, homojen dağılmış tel donatıya bağlı olarak etkili bir çatlak kontrolü, artan darbe, yorulma ve aşınma dayanımıdır. Ayrıca çelik teller beton kaplamaların yüzeylerinin pullanmasını önleyici etki yapmaktadır [6,33,39].

Yapıştırıcı ile tutturulmuş demetler halinde bulunan çelik tellerin karışım esnasında tek tek tanelere ayrılamamasından, topaklaşmasından ve dolayısıyla betonda boşluklar yaratmasından dolayı çelik telli betonlarda boşluk oranının artması sorunu görülebilir. Bu şekilde boşluklar içeren betonlarda geçirgenlik olumsuz etkilemektedir. Geçirgenliğin artması da çelik telin korozyona uğramasına veya oluşan kimyasal reaksiyonlar sonucunda bozulmalarına sebep olabilmektedir. Çelik telli betonlarda iyi yapılan karışım, yerleştirme, sıkıştırma ve kür işlemleri telli betonların dayanıklılık performansını yükseltmektedir [42].

Çelik tellerin, betonun donma-çözülme direncine etkisi önemli düzeyde değildir. Buna karşılık çelik teller mikro çatlak oluşumunu ve yayılmasını geciktirir. Buna bağlı olarak donma-çözülme esnasında betonun göçme ve hasar görmesini yavaşlatır.

Göçme modundaki bu iyileşme çelik telin çatlak köprüleme etkisine ve çatlak tutma becerisine bağlı olmaktadır. Dolayısıyla çelik telli betonların donma-çözülme etkisinde kütle kaybı, normal betonlardakine benzer olmaktadır. Çelik teller genel olarak betonların aşınma, erozyon ve kaviteasyon dirençlerini ise arttırmaktadır [34].

#### **2.1.8.4. Rötire**

Hacimsel büzülme anlamına gelen rötire betonda termik, plastik, kuruma ve karbonatlaşma olarak dört farklı şekilde ortaya çıkmaktadır. Rötire oluşumunun betonda değişik priz süreçlerinde farklı nedenlerle meydana gelen çatlakların artarak ve büyüyerek çoğalmasından kaynaklanır. Bu nedenle priz süreci ve daha sonraki süreçte ortaya çıkan çekme gerilmelerini beton matrisinde alabilecek ve gerilmeyi çatlak olmayan bölgelere aktarıp dağıtacak tellere ihtiyaç vardır. Kritik yapılarda ve güçlü büzülmelerin olabileceği yerlerde çelik teller kullanılmaktadır. Tel miktarlarının, narinlik oranının ve tel uzunluğunun artması ile rötirede azalmalar meydana gelmektedir [43].

#### **2.1.9. Çelik Telli Betonun Kırılma Mekanizması**

Çelik telli betonun performans artışı, tellerin beton içerisindeki davranışı, betonun bu özelliklere karşı tepkisi, betonda ilk çatlak ve nihai yükten dolayı meydana gelen kırılma veya kopma ile açıklanabilir. Telli betonda, değişik nedenlerle oluşan gerilmelerin doğurduğu çatlaklardan her biri çatlak ucuna yakın bir yerdeki bir tel ile sınırlanmış veya takviye edilmiştir. Beton içerisinde tel bulunmaması durumunda betona herhangi bir gerilme uygulandığında meydana gelen mikro çatlaklar gerilmenin artması ile birlikte çeşitli yönlerde doğru yayılarak ve gittikçe büyüyen belli bir sınır gerilme değerinde betonun taşıma gücüne ulaşmasına neden olur. Tellerle güçlendirilmiş beton (telli beton) kompozitlerde ise, betonun kırılma mekanizması değişiktir. Bu kompozitlerde, ilk çatlakın oluşmasından sonra çimento hamurundan çelik tellere doğru bir gerilme transferi meydana gelir. Ayrıca, telli betonlarda betona katılan telin miktarı ve geometrik özelliklerine bağlı olarak, rijit teller beton bünyesinde değişik nedenlerle oluşan gerilmelerin bir kısmını kendileri karşılayarak diğer bir kısmını da köprü görevi yaparak matrisin sağlam bölgelerine dağıtırlar. Böylelikle beton bünyesinde daha homojen bir gerilme dağılımı oluştururlar [46,47].

Telsiz betonda başlangıçta meydana gelen çatlağın gerilmenin artması ile yayılması için daha az enerjiye ihtiyaç vardır. Beton içerisinde tel bulunması halinde, başlangıçtaki mikro çatlağı meydana getiren enerji, teller aracılığı ile çatlağın yanındaki sağlam çimento hamuru bölgelerine taşınır. Çelik telin bu özelliği nedeniyle çatlağın yayılması için daha fazla enerjiye ihtiyaç vardır. Böyle bir enerjinin bulunması durumunda bile bu enerjinin büyük bir bölümü teller tarafından karşılanır ve taşıma tellerin çimento hamuru matrisinden çekilip sıyrılması için gerekli olan enerji seviyesine kadar devam eder. Bu enerjinin sağlanması için çok büyük bir kuvvetin uygulanması gereklidir. Nihai yüke ulaştıktan (beton kırıldıktan) sonra bile, çelik teller kırılan beton parçalarını bir arada tutarak nihai yükten azda olsa bir miktar yükün taşınmasını sağlarlar [14].

## **2.2. Çelik Telli Betonun Çekme Dayanımının Tayini**

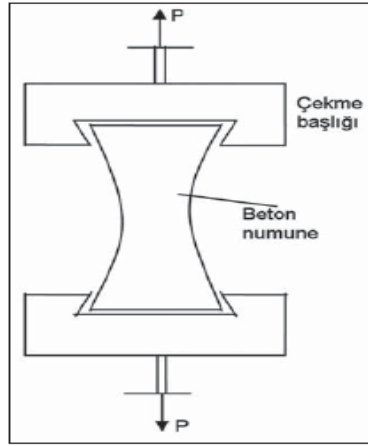
### **2.2.1. Betonun Çekme Dayanımı Tayini Yöntemleri**

Betonun çekme dayanımı, betonda çekme etkisi yaratacak kuvvetlerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı betonun gösterebileceği direnç olarak tanımlanır [19]. Genellikle yapıda bulunan betona doğrudan çekme kuvveti uygulanmamaktadır. Ancak beton elemanların üzerine gelen basınç ve/veya eğilme kuvvetleri betonun içerisinde dolaylı olarak çekme kuvvetlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Betonun çekme dayanımının tayini için kullanılan üç değişik yöntem vardır. Bunlar, direkt çekme dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı tayinidir [19,40].

#### **2.2.1.1. Direkt Çekme Deneyi ve Numune Çeşitleri**

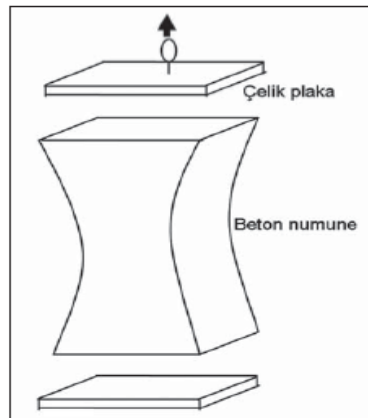
İnşaat sektörünün ana malzemelerinden biri olan betonun artan kullanımı ile birlikte beton içine ikinci faz olarak adlandırılan elemanların katılması, mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar yoğunluk kazanmıştır. Özellikle betona süneklik kazandırabilme çalışmalarına ağırlık verilmiştir. Bu amaçla, çelik, sentetik, cam ve ahşap esaslı tel malzemelerinin beton içerisine katılması sonucu süneklik, çekme dayanımı, tokluk vb. özelliklerinde önemli artışlar gözlenmiştir. Basınç dayanımı tayini TS-EN 12390-3'e [16] göre silindir ve küp numuneler kullanılarak yapılır. Ancak betonun direkt çekme dayanımı altındaki davranışının incelenmesi ve direkt çekme dayanımının tayini kolay değildir.

Önceleri beton numunelere direkt çekme uygulanması ile yapılan deneylerde karşılaşılan çekme numunesinin çekme cihazının çenelerine bağlandığı zaman kesit değişimi olan bölgelerdeki gerilme nedeni ile numunenin kırılarak, çenelerden ayrılması gibi olumsuzluklar araştırmacıları kiriş numuneler ile yapılan dolaylı çekme dayanımı tayini deneylerine yöneltmiştir. Betonun direkt çekme altındaki dayanımını ölçmek için yapılan çalışmalar bu nedenle azdır [14,32].



**Şekil 2.1.** Rüşch'ün kullandığı aksel çekme deney numune geometrisi [17]

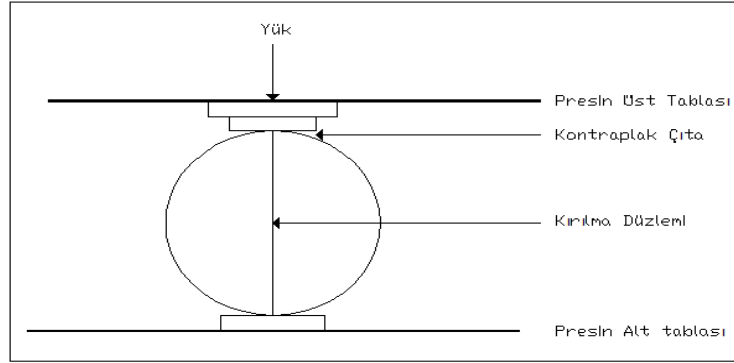
Rüşch'ün kullandığı deney numune geometrisi şekil 2.1'de gösterilmiştir. Prizma ve silindirik şeklindeki bu deney numunesinde pres çenesinin numuneyi kavradığı yerdeki yerel kırılmayı önlemek için iki uca kesit büyütülmüştür. Yük beton deney numunesine yüksek dayanımlı yapıştırıcılar ile tutturulan, çelik plakalardan yararlanarak uygulanmıştır.



**Şekil 2.2.** Doğrudan Çekme Deneyleri İçin Kassar Tarafından Kullanılan Numune Başlık Düzeni [18,38]

Kassas ve Erdoğan tarafından yürütülen bir araştırmada, beton numunelere şekil 2.2’de görülen metal başlık düzeni takılmıştır. Numunelerin alt ve üst yüzeyleri, metal başlık düzenine çok kuvvetli bir yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır.

### 2.2.1.2. Yarmada Çekme Dayanımı



**Şekil 2.3.** Yarma Deney Uygulama Düzeni [19]

Genellikle silindir şeklindeki numunelerin kullanıldığı deney yöntemi TS 3129 [20] ve ASTM C 496 [21] ya göre yapılmaktadır. Şekil 2.3’de görüldüğü gibi numune, deney presinin üzerine numune eksenini presin alt tablasına paralel olacak şekilde yatırılmaktadır. Uygulanacak basınç yükü altında numune kırılır ve kırılma yükü ölçülür. Silindir numunenin kırılma şekli ortadan ikiye yarılarak gerçekleşmektedir. Basınç yükü uygulanması ile, yük ekseninde kısalma, yük eksenine dik doğrultuda uzama yani çekme gerilmeleri oluşacaktır. Numune üzerindeki çekme gerilmesi aşağıdaki denklem ile hesaplanır [19,40].

$$\sigma_{\text{çekme}} = \frac{2xP}{\pi xLxD} \quad (2.1)$$

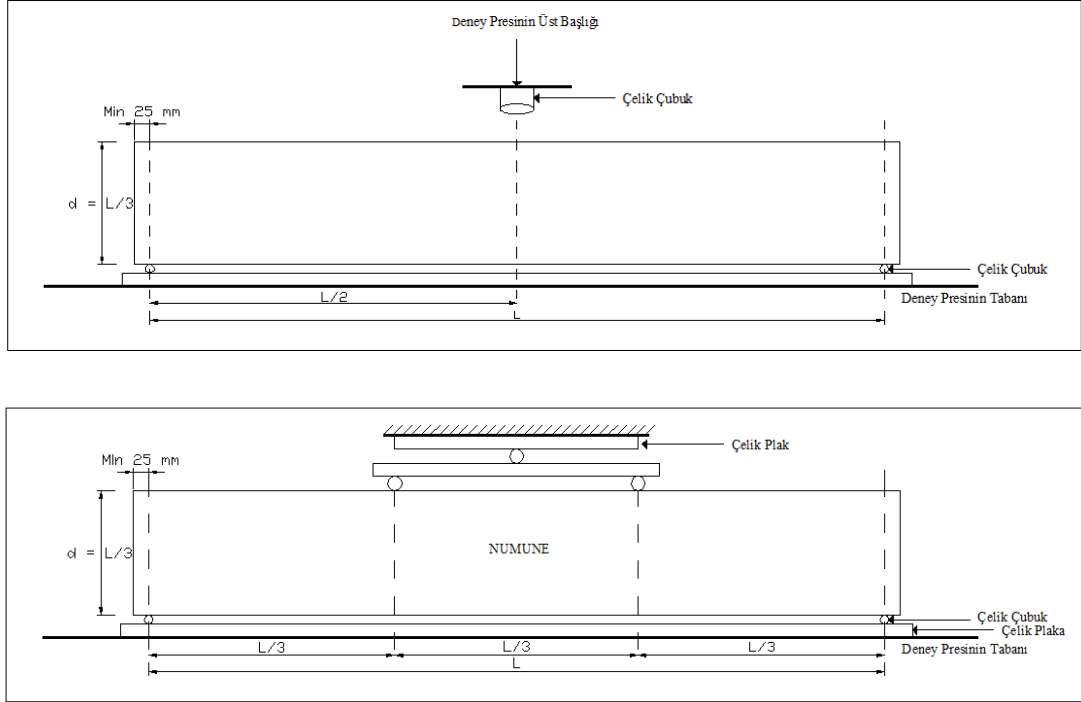
Bu denklemde P, kırılmaya neden olan basınç yükü, L silindir numune boyu, D silindir numunenin çapıdır.

### 2.2.1.3. Eğilmede Çekme Dayanımı

Betonun eğilmede çekme dayanımının tayini için kiriş numuneler hazırlanmaktadır. Ts 3285 [23] ve ASTM C 293 [22] beton kirişin oturtulduğu mesnetlerin arasındaki

mesafenin orta noktasından yüklenmesi durumundaki deney yöntemini anlatır. Bu deney yöntemi ile çekme dayanımı aşağıdaki denklemdeki gibi hesaplanır [23,40].

$$\sigma_{\text{çekme}} = \frac{3PxL}{2xbx d^2} \quad (2.2)$$



**Şekil 2.4.** Orta Noktasından ve Üçte Bir Noktalarından Yüklenmiş Eğilmede Çekme Deneyi Düzenekleri [19]

TS 3284 [24] ve ASTM C 78'de [25], beton kirişin oturduğu mesnetlerden L/3 uzaklıktaki iki noktadan yüklenmesi durumunda deney yöntemi anlatılmaktadır. Bu yöntem ile çekme dayanımı, aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir [19,34].

$$\sigma_{\text{çekme}} = \frac{PxL}{bx d^2} \quad (2.3)$$

Genellikle eğilmede çekme dayanımı deneylerinde kare kesitli prizmatik numuneler kullanılır.

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde, deney çalışmasında kullanılan malzemelerin özelliklerini, çalışmada kullanılan harç karışım oranlarını, deneylerin yapım metotlarını ve çalışmalardan elde edilen sonuçlar anlatılmaktadır.

#### 3.1. Kullanılan Malzemeler

##### 3.1.1. Çimento

Deney çalışmasında, Cimpor Yibitaş Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş.'nin Yozgat Çimento fabrikasında üretilen CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır. Çimentoya ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 3.1' de verilmiştir.

**Tablo 3.1.** CEM I 42,5 R Portland çimentosunun özellikleri [30]

Kimyasal Bileşim	
Bileşen	Bileşen Yüzdesi(%)
MgO	2.75
SiO <sub>2</sub>	19.12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.63
FeO <sub>3</sub>	2.39
Na <sub>2</sub> O	-
CaO	63.17
SO <sub>3</sub>	2.74
K <sub>2</sub> O	1.00
Kızdırma Kaybı	2.33
Çözünmeyen Kalıntı	0.49
Fiziksel Özellikler	
Özgül Ağırlık g/cm <sup>3</sup>	3.09
Özgül Yüzey cm <sup>2</sup> /g	3114

##### 3.1.2. Mikro Çelik Tel

Deneyisel çalışmada 6 mm uzunluğunda, 0,16 mm çapında Micro OL tip çelik tel kullanılmıştır. Kullanılan çelik tele ait mekanik ve fiziksel özellikler Tablo 3.2'de verilmiştir. Kullanılan çelik tel Şekil 4.2'de verilmiştir.

**Tablo 3.2.** Kullanılan Çelik Telin Mekanik ve Fiziksel Özellikleri [31]

	Uzunluk mm (l)	Çap mm (d)	Narinlik (l/d)	Çekme Dayanımı Mpa	Özgül Ağırlık t/m <sup>3</sup>
Micro OL	6	0,16	37,5	2000	7,17

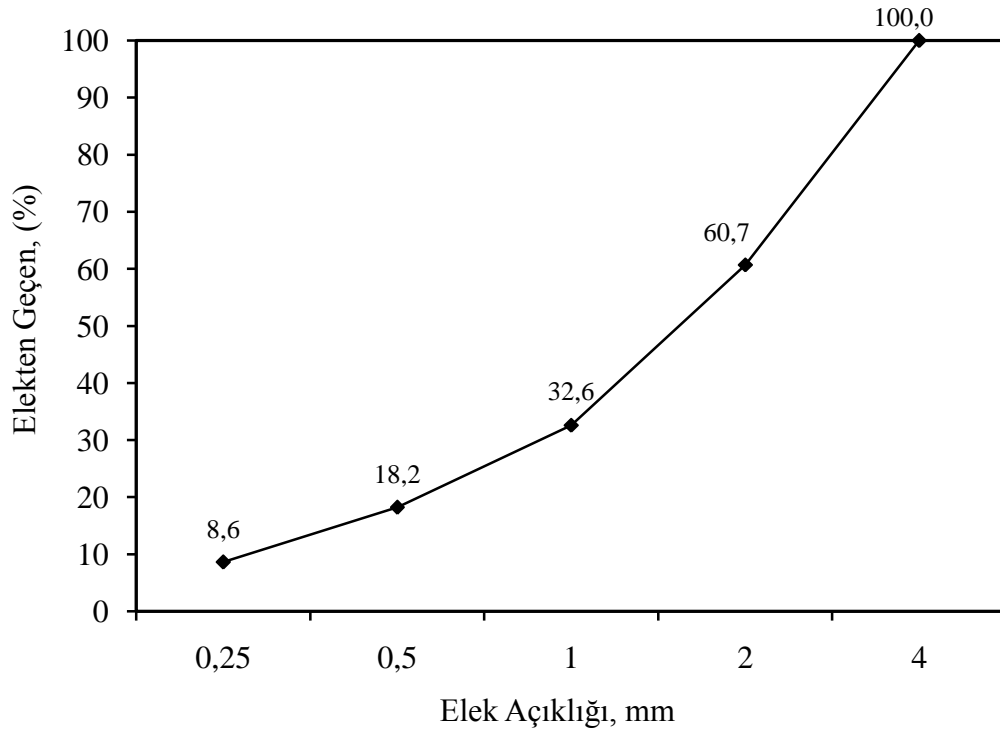




**Şekil 3.1.** Kullanılan Mikro Çelik Tel Yığı

### 3.1.3. Agrega

Yozgat İli Sorgun İlçesi hızlı tren şantiyesinden elde edilen bazalt kumu kullanılmıştır. Kullanılan agreganın granülometrisi Şekil 3.2’de verilmektedir. Birim hacim ağırlığı  $2640 \text{ kg/m}^3$  ve su emmesi % 0,45’ dir.



**Şekil 3.2.** Kullanılan Agreganın Granülometrisi

### 3.1.4. Karışım Suyu

Çalışmada karışım suyu olarak ortalama +20 °C deki şebeke suyu kullanılmıştır.

### 3.1.5. Katkı Malzemesi

Grace redoz xtr 109 marka normal harç akışkanlaştırıcısı kullanılmıştır. Kullanım amacı, harç kıvamını su ilavesi yerine kıvam artırıcı madde ile sağlayarak başlangıç su/çimento oranı korumuş olmak ve böylece basınç dayanımında herhangi bir düşüşe sebep olmamaktır.

**Tablo 3.3.** Grace redoz xtr 109 marka normal harç akışkanlaştırıcısına ait bazı teknik bilgiler [27]

<b>İçeriği</b>	Naftalin Sülfanat
<b>Form</b>	Sıvı
<b>Homojenite</b>	Homojen
<b>Renk</b>	Kahverengi
<b>Yoğunluk(@ 20°C)</b>	1.115 ± 0.010 g/ cm <sup>3</sup>
<b>Donma Noktası</b>	Yaklaşık -1 °C
<b>pH ( @ 20°C)</b>	9.5 ± 1.0
<b>Toplam Klor Miktarı</b>	< 0,10 M. -%
<b>Suda Çözünen Klor Miktarı</b>	< 0,10 M. -%
<b>Alkali Miktarı</b>	Yaklaşık 5.0 m.-%
<b>Önerilen Dozaj</b>	Toplam Çimento Miktarının 0.4-1.0 %

### 3.2. Harç Karışım Oranları

Deneye başlamadan önce hızlı tren Sorgun şantiyesinden elde edilen bazalt agregalar 10 gün boyunca kurutulmuştur. Öncelikle agrega ve çimento birlikte karıştırılmıştır. Daha sonra su ilave edilmiştir. Katkı malzemesi kullandığımız karışımlarda ise katkı malzemesini suyla karıştırdıktan sonra karışımına ilave edilmiştir. Çelik tel kullandığımız karışımlarda, karışıma su ilave edilmeden önce çelik tel karışıma eklenmiş ve daha sonra su ilave edilerek numuneler her grup için 6'şar adet olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin harç karışımları TS 802 [41] 'de belirtilen mutlak hacim yöntemine göre hazırlanmıştır. Buna göre,  $W_c$ ,  $W_a$ ,  $V_w$ ,  $V_h$ , sırasıyla, yerine yerleştirilmiş 1 m<sup>3</sup> harçdaki çimento miktarını (kg/m<sup>3</sup>), agrega miktarını (kg/m<sup>3</sup>), su hacmini (dm<sup>3</sup>), hava miktarını (dm<sup>3</sup>) göstermektedir.  $\gamma_c$  çimentonun özgül kütlelerini,  $\gamma_a$  ise agreganın doygun kuru yüzeyli özgül kütlelerini göstermektedir (kg/dm<sup>3</sup>). Bu bilgiler doğrultusunda 1 m<sup>3</sup> harç için mutlak hacim,

$$\frac{W_a}{\gamma_a} = 1000 - \left( \frac{W_c}{\gamma_c} + v_w + V_h \right) \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu agreganın gerçekte iadet ayrı agrega dane sınıfını içerdiği dikkate alınır, bu durumda,  $\beta_i$  ve  $\gamma_{ai}$ , her bir dane sınıfının kütlece oranı ile birim kütlelerini göstermek üzere, gerçek durumdaki agrega miktarı,

$$\Sigma \left( \frac{\beta_i W_a}{\gamma_{ai}} \right) = 1000 - \left( \frac{W_c}{\gamma_c} + v_w + V_h \right) \quad (3.2)$$

bağlantısı ile belirlenebilmektedir. Burada söz edilen agrega miktarı, doymun kuru yüzeyli agrega miktarıdır. Buradan, doğal nem durumundaki agrega miktarına geçmek için, SE ve DN sırasıyla, agreganın su emme ve doğal nem oranlarını göstermek üzere,

$$DS = (SE - DN)W_a \quad (3.3)$$

bağıntısı ile hesaplanan doyma suyu miktarını ( $\text{kg/m}^3$ ), yukarıdaki 3.1 nolu bağıntı ile belirlenen  $W_a$  değerinden eksiltmek ya da artırmak gerekmektedir. Agrega miktarı (3.1) bağıntısı ile hesaplandığı takdirde, doyma suyunun da buna bağılı olarak, her bir agrega dane sınıfı için hesaplanması, dolayısı ile doyma suyu miktarının,

$$DS = \Sigma [(SE)_i - (DN)_i] W_{ai} \quad (3.4)$$

olması gerekmektedir. Ayrıca tahmini hava içeriği %1 'dir.

**Tablo 3.4.** Üretilen Numunelerin Karışım Oranları

Seri Kodu	S/Ç Oranı	Su $\text{Kg/m}^3$	Çimento $\text{Kg/m}^3$	Tel Oranı (Hacmen) % $V_f$	Bazalt Kum $\text{Kg/m}^3$	Kimyasal Katkı Miktarı $\text{Kg/m}^3$
A0	0,55	290	527	0	1390	0
A1	0,55	290	527	0,5	1377	0
A2	0,55	290	527	1,0	1364	0
A3	0,55	290	527	1,5	1351	0
B0	0,45	270	600	0	1578	6
B1	0,45	270	600	0,5	1563	6
B2	0,45	270	600	1	1548	6
B3	0,45	270	600	1,5	1533	6



**Şekil 3.3.** Mikro Çelik Tel İle Üretilmiş Harç

### **3.2.1. Numune Üretimi**

2 farklı harç sınıfı ve 3, kontrol grubu ile 4 farklı çelik tel oranı için toplamda 48 adet numune çelik kalıplar (40x40x160 mm boyutlarında) yardımıyla üretilmiştir. Üretilen numuneler, bir gün sonra kalıptan çıkarılmış ve 28 gün boyunca  $20 \pm 2$  °C sıcaklıktaki su içerisinde kür edilmiştir.

Üretilen numunelerdeki kodlama sistemi, su/çimento oranı, çelik tel oranına göre yapılmıştır. Örneğin, A12 numunesi;su/çimento oranı 0,55, çelik tel oranı 0,5 olan 2. numunedir. Şekil 3.3’de harcın kalıba yerleştirilmesi, Şekil 3.4’de ise numunenin kalıpta sıkılaştırılması gösterilmiştir.



**Şekil 3.4.** Harcın Kalıba Yerleştirilmiş Hali

### **3.3. Deneyler**

#### **3.3.1. Taze Harç Deneyleri**

##### **3.3.1.1. Sarsma Tablası Deneyi**

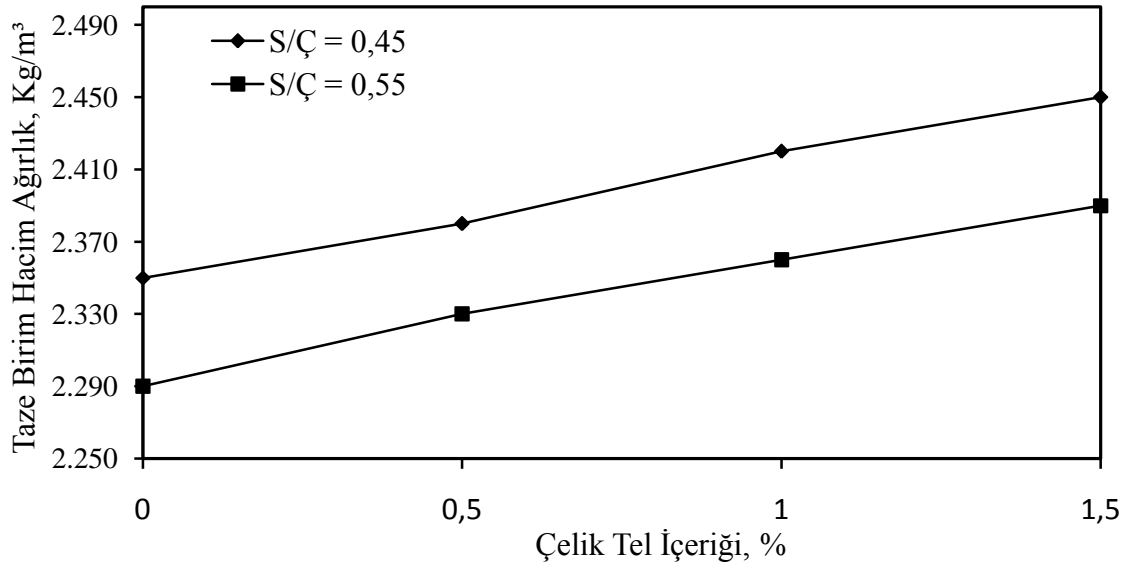
Çalışmada hazırlanan harçlar üzerinde, taze halde TS EN 1015-3'te [28] belirtilen şartlara uygun olarak sarsma tablası ölçümleri yapılmıştır. Deney sonuçları, su/çimento ve çelik tel oranlarına göre hazırlanan Tablo 3.5 te gösterilmiştir.



**Şekil 3.5.** Yayılma Deneyi Aleti

**Tablo 3.5.** Taze harçlara ait birim hacim ağırlık ve yayılma deney sonuçları.

S/Ç Oranı	Çelik Tel Oranları (%)	Yayılma cm	Taze Birim Hacim Ağırlık(kg/m <sup>3</sup> )
0,55	0	16	2290
	0,5	15	2330
	1	14,5	2360
	1,5	14	2390
0,45	0	14	2350
	0,5	14	2380
	1	13	2420
	1,5	12,5	2450



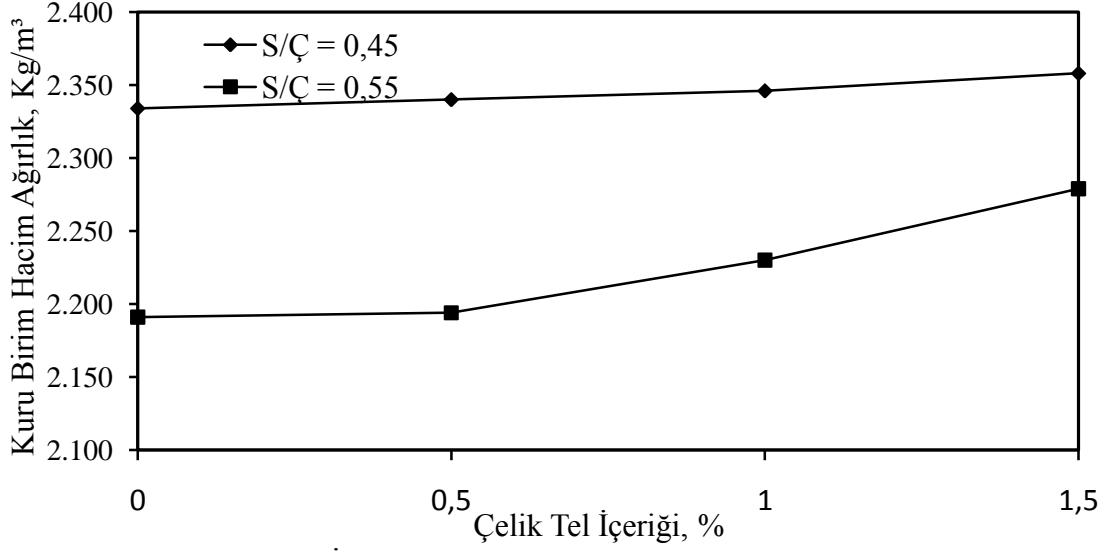
**Şekil 3.6.** Çelik Tel İçeriğine Bağlı Taze Birim Hacim Ağırlığının Değişimi

### 3.3.2. Sertleşmiş Harç Deneyleri

#### 3.3.2.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık

**Tablo 3.6.** Kuru numunelere ait birim hacim ağırlık deney sonuçları.

S/Ç Oranı	Çelik Tel Oranı (%)	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )
0,55	0	2191
	0,5	2194
	1	2230
	1,5	2279
0,45	0	2334
	0,5	2340
	1	2346
	1,5	2358

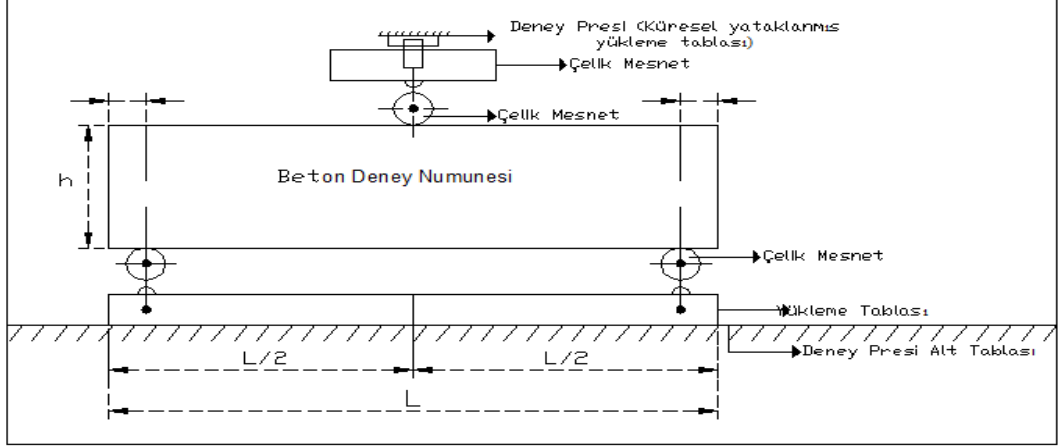


Şekil 3.7. Çelik Tel İçeriğine Bağlı Kuru Birim Hacim Ağırlığın Değişimi

### 3.3.2.2. Eğilme Dayanımı

Çalışmada üretilen 40 x 40x160 mm boyutundaki 48 adet numune, 28 gün boyunca  $20 \pm 2$  °C sıcaklıktaki kür havuzunda bekletilmiştir. Sertleşmiş karışımın basınç ve eğilme dayanımı tayini [29] deneyinde belirtilen şartlara uygun olarak eğilme dayanımı deneyi yapılmıştır.

Numunelerin eğilme dayanımının bulunması için altı adet prizmatik numune üzerinde TS EN 1015-11'de [29] belirtildiği gibi üç noktalı eğilme deneyi yapılmıştır. Her numune, ara mesafesi 100 mm olan silindirik mesnet üzerine oturtulmakta ve numunenin üst yüzeyinin orta noktasına maksimum 30 N/s hızla aynı büyüklükteki bir prizmatik numune kırılıncaya kadar yükleme yapılmaktadır. Şekil 4.8'de gösterilen duruma göre elde edilen kırılma yükü ile eğilme gerilmesi hesaplanmaktadır.



Şekil 3.8. Eğilme Deneyinde Yükleme Başlığı ve Yükleme Tablası



Şekil 3.9. Eğilmede Çekme Deneyi Deney Düzenegi

### 3.3.2.3. Basınç Dayanımı

Eğilme dayanımı deneyinde, yaklaşık olarak ortasından kırılan numuneler 2 parçaya ayrılmıştır. Bu sayede 6 adet benzer numuneden 12 adet parça elde edilmiştir. Elde edilen bu parçalar TS EN 1015-11 [29]'de belirtilen duruma uygun olarak yüklenmiştir. Kırma başlıkları arasındaki prizmanın boyutları 40x40x40 mm'lik bir küp işlevi yapmaktadır. 12 adet numune için cihazdan elde edilen basınç değerlerinin ortalaması alınmıştır.





**Şekil 3.10.** Basınç Dayanımı Deney Düzeneği

#### 4. DENEYSEL SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

S/Ç oranı 0,45 ve 0,55 olan, farklı çelik tel içeriklerindeki numunelerin eğilme ve basınç dayanımı deney sonuçları sırasıyla Tablo 4.1 ve Tablo 4.2 de verilmektedir.

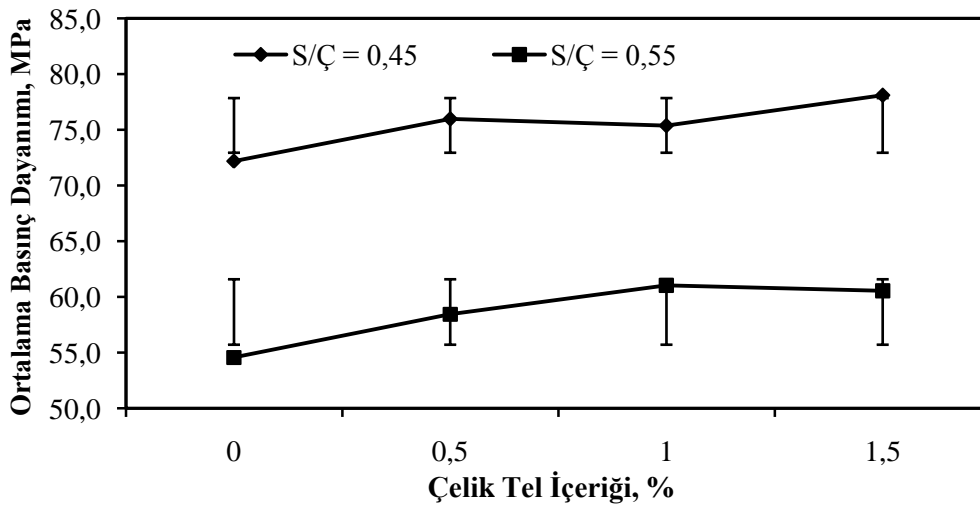
**Tablo 4.1.** S/Ç Oranı 0,55 olan numunelerin deney sonuçları.

S/Ç Oranı	Çelik Tel Oranı (%)	Eğilme Dayanımı (MPa)		Basınç Dayanımı (MPa)	
		Değerler	Ortalama	Değerler	Ortalama
0,55	0	6,45	6,90	54,34	54,58
		6,70			
		6,82			
		7,05			
		6,56			
		7,80			
	0,5	7,85	7,97	60,72	58,46
		8,11			
		7,38			
		8,16			
		8,02			
		8,32			
	1	8,09	8,02	61,34	61,04
		8,32			
		8,20			
		8,02			
		7,80			
		7,69			
	1,5	8,25	8,93	59,87	60,54
		8,42			
		8,74			
		9,21			
		9,85			
		9,12			

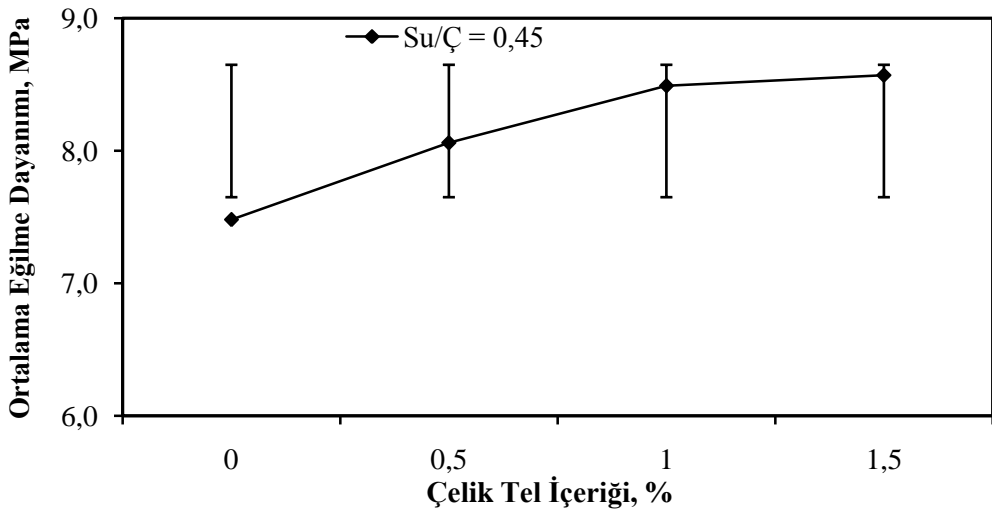
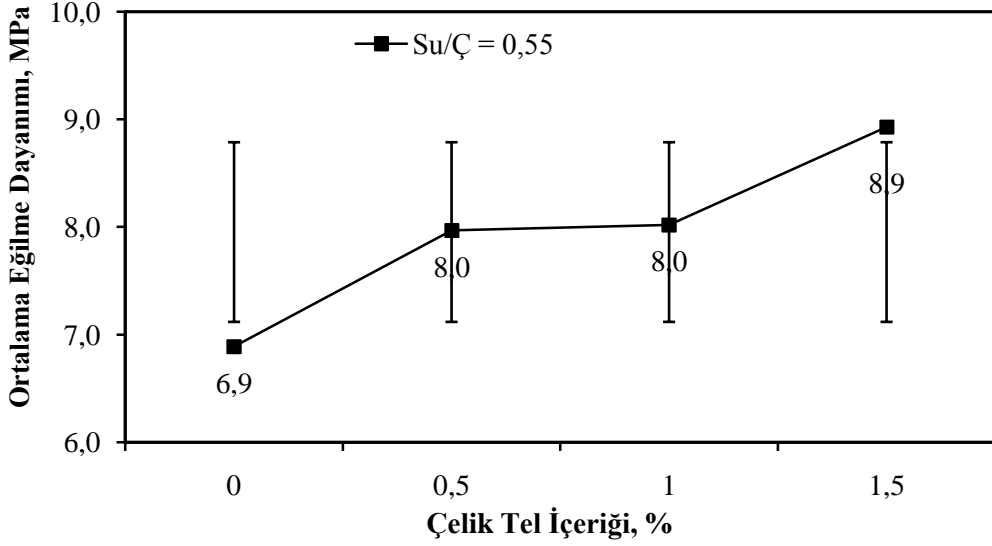
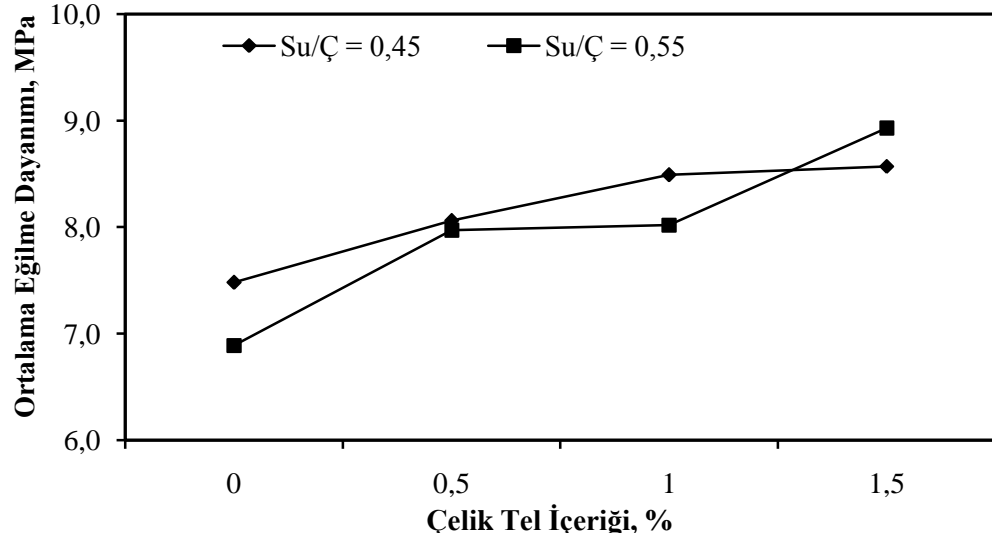
**Tablo 4.2.** S/Ç Oranı 0,45 olan numunelerin deney sonuçları.

S/Ç Oranı	Çelik Tel Oranı (%)	Eğilme Dayanımı (MPa)		Basınç Dayanımı (MPa)	
		Değerler	Ortalama	Değerler	Ortalama
0,45	0	7,95	7,49	73,31	72,17
		6,91			
		7,64			
		7,34			
		7,92			
		7,15			
	0,5	8,23	8,06	77,13	75,98
		8,11			
		8,13			
		7,17			
		8,51			
		8,23			
	1	8,34	8,50	74,50	75,36
		8,70			
		9,06			
		7,37			
		9,11			
		8,39			
	1,5	8,09	8,58	78,53	78,11
		9,40			
		8,46			
		8,13			
		8,25			
		9,12			

Çelik tellerin, basınç dayanımlarına ve eğilme dayanımlarına etkilerinin araştırılmasının hedeflendiği bu deneyin sonuçlarında, aşağıdaki grafiksel veriler elde edilmiştir.



**Şekil 4.1.** Çelik Tel İçeriğine Bağlı Basınç Dayanımı Değişimi ve Hata Çubukları



Şekil 4.2. Çelik Tel İçeriğine Bağlı Eğilme Dayanımı Değişimi ve Hata Çubukları

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma sonucunda aşağıdaki çıkarımlar yapılmaktadır,

1. Çelik tel kullanımıyla harçların işlenebilirliğinin azaldığı ve çelik tel içeriği arttıkça taze harcın sarsma tablası yayılma değerlerinin azaldığı görüldü.
2. Çelik tel içeriğinin harcın basınç dayanımına kayda değer bir ölçüde etki etmediği söylenebilir.
3. Çelik tel içeriğinin artmasıyla harçların eğilme dayanımında belirgin artışlar olduğu gözlemlenmiştir.
4. Aynı tel oranlarında farklı S/Ç oranına sahip harçların genelde yüksek basınç dayanımına sahip olan harcın eğilme dayanımı diğerine oranla daha yüksek elde edilmiştir.
5. Üretilen numunelerin kuru birim ağırlıkları 2191-2358 kg/m<sup>3</sup> arasında değiştiği ve karışımlarda çelik tel miktarının artışı ile numunelerin kuru birim ağırlık değerlerinin arttığı belirlenmiştir.
6. Su/çimento oranı 0.55, hacimce çelik tel oranları %0, %0.5, %1.0, %1.5 olan numuneler için eğilme dayanımları sırasıyla ortalama 6.90 MPa, 7.97 MPa, 8.02 MPa, 8.93 MPa olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0.5, %1.0, %1.5 oranlarında çelik tel içeren numunelerin eğilme dayanımları çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %15.64, %16.32, %29.56 oranında arttığı belirlenmiştir.
7. Su/çimento oranı 0.45, hacimce çelik tel oranları %0, %0.5, %1.0, %1.5 olan numuneler için eğilme dayanımları sırasıyla ortalama 7.49 MPa, 8.06 MPa, 8.50 MPa, 8.58 MPa olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0.5, %1.0, %1.5 oranlarında çelik tel içeren numunelerin eğilme dayanımları çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %7.73, %13.49, %14.56 oranında arttığı belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda aşağıdaki öneriler yapılmaktadır,

1. Harçta tek tip ve aynı boyutta tel kullanımının yerine birden fazla tip ve farklı boyutlarda teller kullanılarak üretilecek harç ve/veya harçlar üzerinde eğilme dayanımı kırılma enerjisi ve tellerin rötreye üzerindeki etkileri araştırılabilir.

2. Çelik tellerin harç veya harçlarda toklukların kırılma enerjilerine etkisi araştırılabilir.
3. Optimizasyon teknikleri kullanılarak farklı su/çimento oranı için çelik tel tipi ve çelik tel oranı için en uygun çözümler araştırılabilir.

Deney sonuçlarının regresyon analizi,

Bir değişkenin davranışının bir model olarak tahmin edilmesi regresyondur. Birden fazla değişkenin kullanılması gereken durumlarda tekli regresyon yerine çoklu regresyon kullanılır. Çok sayıda değişken bir araya gelerek bir diğer değişkeni ve/veya birbirlerini etkileyebilirler. Bu bilgiler kullanılarak elde edilen regresyon formülünde  $f_f$  eğilme dayanımını,  $f_c$  harcın basınç dayanımını,  $V_f$  lif içeriğini göstermek üzere,

S/Ç 0,45 olan numuneler için,

$$f_f = 6,7210 + 0,0121 f_c + 0,7004 V_f \quad (5.1)$$

S/Ç 0,55 olan numuneler için,

$$f_f = 6,9455 + 0,0016 f_c + 1,2215 V_f \quad (5.2)$$

olarak elde edilebilir.

## KAYNAKLAR

1. Arslan, A., Aydın, C., Lifli Betonların Genel Özellikleri, Hazır Beton Dergisi, 6, 36 (1999) 67-75.
2. Tokyay, M., Ramyar, K., Turanlı, L., Polipropilen ve Çelik Lifli Yüksek Dayanımlı Betonların Basınç ve Çekme Yükleri Altındaki Davranışları, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 2. Ulusal Beton Kongresi, 27-30 Mayıs 1991, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 174-190.
3. Bentur, A., Mindness, S., Fibre Reinforced Cementitious Composites, Elsevier Applied Science, 1990.
4. ACI Committee 544, State of the art Report on Fiber Reinforced Concrete, ACI 544-1R-96, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1997.
5. Görkem, S. E., Yüksek Dayanımlı Betonarme ve Çelik Lifli Beton Döşeme Davranışlarının Plastik Mafsallı Çizgileri Yöntemine Göre İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2009.
6. Karahan, O., Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 2006.
7. Bekaert, Çelik Teller Hakkında Genel Bilgiler Klavuzu, Belgium, 2001.
8. Çivici, F., Çelik Lifli Donatılı Betonun Eğilme Tokluğu, 12 (2), 183-188, 2006.
9. Şimşek, O., Beton ve Beton Teknolojisi, s. 247, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2004.
10. Yerlikaya M., Çelik Tel Donatılı Betonların Deprem Etkisi Altında Davranışları, s.302-304, Kocaeli Deprem Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Kocaeli, 2010.
11. Ts 10513, 1992, Çelik Liflerin Şekilleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
12. ACI Commitee, Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete, ACI Structural Journal, Committee Report, USA, 544-4R-88.
13. Ts 10514, 1992, Çelik Lifli Betonların Karışımları İçin Beton Yapısı ve Kalitesi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
14. Uğurlu, A., Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton, Dsi Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Dairesi Başkanlığı, Ankara, s. 175, MLZ-878, 1994.
15. Ts 10515, 1992, Beton-Çelik Tel Takviyeli-Eğilme Mukavemeti Deney Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
16. Ts 12390-3, 2003, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

17. U., Betonarme Temel ilkeler Taşıma Gücü Hesabı Cilt 1, Evrim Yayınevi,1985.
18. Kassas, A.A., Studies On the Tensile Strenght of Concrete, M.S. Thesis, Metu, Ankara, 1976.
19. Çivici, F., Eren, İ., Çelik Lifli Betonun Direkt Çekme Dayanımının Ölçülmesi Üzerine Deneysel Bir Çalışma, Türkiye Mühendislik Haberleri, 434,6,2004.
20. Ts 3129, 1978, Betonda Yarmada Çekme Dayanımı Tayini Deneyi (Silindir Yarma Metodu), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
21. ASTM C 496, 1994, Standart Test Method for Split Tensile Strenght of Cylindrical Concrete Specimens, Annual Book of ASTM Standarts.
22. ASTM C 293, 1994, Standart Test Flexural Strenght of CMethod Concrete Specimens, Annual Book of ASTM Standarts.
23. Ts 3285, 1979, Betonda Eğilmede Çekme Dayanımını Tayini Deneyi (Orta Noktasından Yüklenmiş Basit Kiriş Metodu İle), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
24. Ts 3284, 1979, Betonda Eğilmede Çekme Dayanımını Tayini Deneyi (Üçte Bir Noktalarından Yüklenmiş Basit Kiriş Metodu İle), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
25. ASTM C 78, 1994, Standart Test Method For Flexural Strenght of Concrete(Using Simple Beam with Third-Point Loading),Annual Book of ASTM Standarts.
26. Kaya, M., Genleştirilmiş Vermikülit Kullanılarak Üretilen Silis Dumanı Katkılı Çimento Esaslı Kompozitlerin Yüksek Sıcaklık Dirençleri, Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi, Yozgat, 2011.
27. [http://www.tr.graceconstruction.com/Beton\\_Kimyasallar\\_/download/REDOZ\\_I\\_XT\\_R\\_109.pdf](http://www.tr.graceconstruction.com/Beton_Kimyasallar_/download/REDOZ_I_XT_R_109.pdf).
28. TS En 1015-3,2000, Taze Harcın Kıvamının Tayini.
29. TS En 1015-11,2000, Sertleşmiş harcın basınç ve eğilme dayanımının tayini.
30. <http://yibitasyozgat.com/urunler/cimento/>
31. <http://www.bekaert.com/en/Products%20and%20Applications%20Search/ExtendSearcallh/Wire%20and%20fiber.aspx>
32. Acun, S., Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Dizayn Parametresi Olarak Lifsel Katkıların İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2000.



33. Arslan, A. Aydın, A., Lifli Betonların Darbe Etkisi Altında Genel Özellikleri. Beksa Lifli Beton Semineri, 1999, İstanbul.
34. Ersoy, H.Y., Kompozit Malzeme, s.227. Literatür Yayıncılık Dağıtım Pazarlama San. Ve Tic. Ltd. Şti., İstanbul, 2001.
35. Tabak, V., Çelik Lifli Betonda Lif ve Lif Boy/Çap Oranlarının Değişiminin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2004.
36. Taşdemir, M.A., Yerlikaya, M., “Çelik Tel Donatılı Betonlar” Seminer, İMO Ankara Şubesi, Ankara, 2003.
37. Uyan, M., “Lifli Betonların Genel Özellikleri ve Gelişimi” Seminer, İTÜ İnşaat Fakültesi Malzeme Semineri, İstanbul, 1985.
38. Yazıcı, S., İnan, G., Tabak, V., “Effect of Aspect Ratio and Volume Fraction of Steel Fiber on the Mechanical Properties of SFRC” Construction and Building Materials, 2007.
39. Zeynal, E., Çelik Lif ve S/Ç Oranlarının Çelik Lifli Betonların Darbe Mukavemetine ve Mekanik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2008.
40. Altun, F., Çelik Lifli Hafif Betonun Deneysel Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2006.
41. TS 802, Ocak 1985, Beton Karışımı Hesap Esasları, TSE, Ankara.
42. Uyan, M., Lifli Betonların Genel Özellikleri ve Gelişimi, s. 121-132 İTÜ İnşaat Fakültesi Malzemesi Semineri, İstanbul, 1985.
43. Taşdemir, M.A., Bayramov, F., Kocatürk, A.N., Yerlikaya, M., Betonun Performansa Göre Tasarımında Yeni Gelişmeler, Beton Kongresi Kongresi Bildirileri, İstanbul, 2004.
44. Düzgün, O. A., Çelik Lifler İle Üretilen Hafif Betonların Bazı Özelliklerinin Araştırılması. Türkiye, 5, 26-35, 2013.
45. Aktaş, B., Çelik Lifli Hafif Beton İle İmal Edilmiş Betonarme Kirişlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2007.
46. Tasdemir, M.A., Yerlikaya, M., Çelik Tel Donatılı Betonlar, Seminer, İMO Ankara Subesi, 2003.
47. Yiğiter, H., Yüksek Performanslı Betonun Süneklik Özelliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2002.

## ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Ankara’da doğan Mustafa TEKİN, ilköğrenim ve lise öğrenimini sırasıyla Ankara Abidinpaşa İlköğretim okulunda ve Ankara Çankaya Anıttepe Lisesinde tamamlamıştır. 2005 yılında kazandığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü 2009 yılında başarıyla bitirmiştir.

2010 yılından beri Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yozgat İl Müdürlüğünde İnşaat Mühendisi olarak çalışmaktadır.

2011 yılında yüksek lisans eğitimine Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalında başlamıştır. Yrd. Doç. Dr. Selçuk Emre GÖRKEM danışmanlığında hazırladığı “Mikro Çelik Tellerin Yüksek Dayanımlı Harçların Bazı Mekanik Özelliklerine Etkisi” başlıklı bu bitirme tezi ile Yüksek Lisans öğrenimini tamamlayacaktır.

### İletişim Bilgileri

Adres: Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü Sivas Yolu 3. km.

YOZGAT

Telefon: (354) 212 10 62

E-posta: tekinfb@yahoo.com