

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**ÇELİK LİFLERİN FARKLI DAYANIMA SAHİP BETONLARIN MEKANİK
ÖZELİKLERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

İnş. Müh. Ebrahim SALAMI

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsünde
“ İnşaat Yüksek Mühendisi ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27.07.2009
Tezin Savunma Tarihi : 14.08.2009**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Metin HÜSEM

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Yusuf AYVAZ

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Hamdullah ÇUVALCI

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2009

ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

“Çelik Liflerin Farklı Dayanıma Sahip Betonların Mekanik Özelliklerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi” isimli bu çalışmayı bana öneren, çalışmanın her aşamasında bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan, tez danışmanım sayın Prof .Dr. Metin HÜSEM ’e en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Çalışmalarım sırasında, yakın ilgi ve yardımlarını gördüğüm , başta sayın Yrd.Doç. Dr. Selim PUL olmak üzere, Arş.Gör. Selçuk. E. GÖRKEM, Arş.Gör. M. E. ARSLAN, İnş. Yük. Mühendisleri sayın M.B. MAHDIZADEH ve Y. ZANDİ’ e en semimi saygı ve şükranlarımı sunarım.

Deneysel çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen İnşaat Mühendisliği Bölüm arkadaşlarım Mostafa MOGHANIYAN, S. TOPALOĞLU ve H.E. YILMAZ’ a, çalışmamda çelik lif malzemesini sağlayan BEKSA Firmasına ve bu firmanın Teknik Müdürü sayın Mehmet YERLİKAYA’ ya ve bana emeği geçen tüm hocalarıma ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkür sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi destekleyen ve bu günlere gelmemde neden olan ailemin tüm fertlerine, en büyük paya sahip olan baba ve anneme ithaf olunur.

Ebrahim SALAMI

Trabzon 2009

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Geleneksel ve Lifli Betonların Malzeme Özellikleri	4
1.2.1. Normal Agregaların Özellikleri	4
1.2.1.1. En Büyük Tane Boyutu	4
1.2.1.2. Tane Şekli ve Yüzey Yapısı	5
1.2.1.3. Özgül Ağırlık ve Dayanıklılık (Sağlamlık)	5
1.2.1.4. Birim Ağırlık	5
1.2.1.5. Boşluk Oranı ve Su Emme	6
1.2.1.6. Granülometrik Bileşimi ve İncelik Modülü.....	6
1.2.1.7. Dona Dayanıklılık	7
1.2.1.8. Zararlı Maddeler.....	7
1.2.2. Çimento.....	7
1.2.3. Su.....	8
1.2.4. Kür Şartları.....	8
1.2.5. Katkı Maddeler	9
1.2.6. Taze Beton Özellikleri	9
1.2.6.1. Birim Ağırlık.....	9
1.2.6.2. İşlenebilirlik ve Kıvam	10
1.2.6.3. Hava Miktarı	10
1.2.7. Sertleşmiş Beton Özellikleri	10

1.2.7.1.	Kuru Birim Ağırlık	11
1.2.7.2.	Basınç ve Çekme Dayanımları.....	11
1.2.7.3.	Elastisite Modülü ve Poisson Oranı.....	11
1.2.7.4.	Su Emme.....	12
1.3.	Beton Üretiminde Kullanılan Liflerin Bazı Özellikleri.....	12
1.3.1.	Cam Lifler	14
1.3.2.	Karbon Lifler.....	15
1.3.3.	Asbest Lifler.....	15
1.3.4.	Silikon Lifler	16
1.3.5.	Organik Lifler	16
1.3.6.	Çelik Lifler ve Özellikler	17
1.3.7.	Çelik Liflerin Üretim Yöntemleri.....	19
1.3.8.	Liflerin Mekanığı	20
1.3.9.	Lif-Matris İlişkisi.....	20
1.4.	Lifli Betonların Tanımı ve Bazı Özellikleri.	22
1.4.1.	Doğal Lifli Betonlar.....	24
1.4.2.	Cam lifli Betonlar	24
1.4.3.	Sentetik Lifli Betonlar	25
1.4.4.	Çelik Lifli Betonlar	25
1.5.	Çelik lifli Betonların Genel Özellikleri	25
1.5.1.	Çelik Lifli Taze Betonun Mekanik Özellikleri	26
1.5.1.1.	İşlenebilirlik ve Kıvam	26
1.5.1.2.	Çelik Lifli Betonların Karışım Esasları ve Üretim Teknikleri	27
1.5.1.3.	Çelik Lif Karışım Yöntemleri	28
1.5.1.4.	Çelik Lif Kullanım Oranları	29
1.5.1.5.	Çelik lifli Beton Karışımının Kalıba Yerleştirilmesi.....	30
1.5.2.	Çelik Lifli Sertleşmiş Betonun Özellikleri	30
1.5.2.1.	Çelik Lifli Betonlarda Basınç Dayanımı	30
1.5.2.2.	Çelik Lifli Betonlarda Eğilme Dayanımı	31
1.5.2.3.	Çelik Lifli Betonlarda Çekme Dayanımı	31
1.5.2.4.	Enerji Yutma Kapasitesi (Tokluk)	32
1.5.2.5.	Çelik Lifli Betonlarda Yorulma Dayanımı	32
1.5.2.6.	Çelik Lifli Betonlarda Rötreye.....	33

1.5.2.7.	Çelik Lifli Betonlarda Dayanıklılık	34
1.5.3.	Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Betonun Yük Altındaki Davranışı.....	34
1.5.4.	Çelik Liflilerin Çatlak Yayılmasını Önlemesi.....	37
1.6.	Çelik Lifli Betonların Kullanım Alanları.....	38
1.7.	Çelik Lifli Betonlar ile İlgili Yapılan Bazı Çalışmalar.....	43
1.8.	Çalışmanın Amacı	47
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEMELER	48
2.1.	Geleneksel ve Çelik Lif Katkılı Betonlar Üzerinde Gerçekleştirilen Çalışmalar.....	48
2.2.	DeneySEL Çalışmalarda Kullanılan Malzemelerin Özellikleri.....	48
2.2.1.	Agrega Özellikleri.....	48
2.2.1.1.	Mineralojik ve Petrografik Özellikleri.....	48
2.2.1.2.	Fiziksel Özellikler.....	49
2.2.1.3.	Mekanik Özellikleri.....	50
2.2.1.4.	Granulometrik Bileşim.....	50
2.2.2.	Çimento	52
2.2.3.	Karma Suyu	53
2.2.4.	Katkı Maddesi	53
2.2.5.	Çelik Lifler	53
2.3.	Betonların Bileşimi.....	54
2.4.	Betonların Üretimi, Yerleştirilmesi, Bakım ve Deney Anındaki Yaşları.....	56
2.4.1.	Betonların Üretimi ve Yerleştirilmesi.....	56
2.4.2.	Betonların Bakım ve Deney Anındaki Yaşlar.....	58
2.4.3.	Deney Numuneleri ve Gerçekleştirilen Deneyler	60
2.4.3.1.	Deney Numuneleri	60
2.4.3.2.	Beton Numuneleri İçin Merkezi Basınç Deneyleri	61
2.4.3.3.	Beton Numuneleri İçin Yarmada Çekme Deneyi	65
2.4.3.4.	Eğilmede Çekme Deneyi.....	80
2.5.	Betonlarda Yarmada Çekme, Eğilmede Çekme Dayanımları ile Merkezi Çekme Dayanımlarının Karşılaştırılması.....	90
2.5.1.	Betonlarda Yarmada Çekme Dayanımları ile Merkezi Çekme Dayanımlarının Karşılaştırılması.....	90
2.5.2.	Betonlarda Eğilmede Çekme Dayanımları ile Merkezi Çekme Dayanımlarının Karşılaştırılması.....	94

3.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	98
4.	KAYNAKLAR.....	102
	ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Günümüzde beton farklı katkı maddeleri kullanılarak farklı dayanım sınıflarında üretilebilmektedir. Betonun mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla farklı türde katkıları kullanılmaktadır. Bunların başında çelik lifler gelmektedir. Ancak çelik liflerin betonun özelliklerine etkisi, farklı çalışmalarda farklı şekillerde ortaya çıkmaktadır. Bu da çelik lifler betonların davranışlarını araştıran çalışmaların yeterli düzeyde olmadığını göstermektedir.

Çelik liflerin farklı dayanıma sahip betonların mekanik özelliklerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi için gerçekleştirilen bu çalışma 3 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm, genel bilgiler bölümü olup, geleneksel beton, lif katkılı beton ve davranış özellikleri verilmektedir. İkinci bölüm, çalışmanın amacına uygun olarak farklı lif oranlarında ve farklı su/çimento oranlarında üretilen betonlar üzerinde gerçekleştirilen deneyleri ve bu deneylerden elde edilen bulguların karşılaştırmalı olarak incelenmesinden oluşmaktadır. Yapılan çalışmanın bütününden çıkarılabilecek sonuç ve öneriler üçüncü bölümde özetlenmekte ve bu bölümü kaynaklar dizini izlemektedir.

Elde edilen sonuçlar çelik lif katkısının betonun basınç dayanımına, literatürde de belirtildiği gibi, arzu edilen dayanım artışını kazandırmadığı, çekme davranışını olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Ayrıca yarmada çekme dayanımından merkezi çekme dayanımına geçişte standardın önerdiği katsayı ile geçilebileceği, eğilme deneyi ile elde edilen çekme dayanımlarının merkezi çekme dayanımına dönüştürebilmesinde bu katsayının kullanılması durumunda hata oranının artacağını ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Geleneksel Beton, Merkezi Basınç Dayanımı, Eğilmede Çekme Dayanımı, Çelik Lifler.

SUMMARY

Experimental Study on the Effect of Steel Fibers on Mechanical Properties of Concrete with Different Strength

Today, concrete by additional materials and with different strength are produced. These materials were produced and investigated for improvement of concrete mechanical properties. One of them is steel fibers. Many researches have been done about effect of steel fibers on concrete properties. The investigated researches about the behavior of reinforced concrete by steel fibers show the deficiency of this subject.

This experimental research under the title of “The effect of steel fibers on mechanical properties of concrete with different strength” was studied in three sections.

First section includes definitions, properties of steel fiber reinforced concrete and their behavior. Second section presents the research aims about making concrete samples with different proportion of steel fiber and different water cement ratio and discussion about obtained results. In third section, results, conclusion and some suggestion have summarized. After this section references were attached.

As per the obtained results from this experimental work, adding the steel fiber to concrete can not increase the compressive strength of concrete. But it increases the tensile strength of concrete.

Due to Turkish standard, for converting the results of indirect tensile test and bending strength test into central tensile strength “K” coefficient is used. by using this coefficient the magnitude of risk is increased.

Key Words: Concrete, Indirect Tensile Strength, Compressive Strength, Bending Strength, Steel Fiber

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1.	Lif betonların üretiminde kullanılan lif çeşitleri.....13
Şekil 1.2.	Lif – matris ilişkisi.....21
Şekil 1.3.	Değişik tipteki lifli betonların çekme etkisi altındaki davranışlar.....23
Şekil 1.4.	Çelik lifli betonun yük-deplasman grafiği.....35
Şekil 1.5.	Çelik liflerle güçlendirilmiş beton ile lifsiz betonun yük-deplasman davranışlarının karşılaştırılması.....36
Şekil 1.6.	Çelik lifli betonlarda liflerin çatlak sonlarını takviye etmesi sonucu çatlak yayılmasının durdurulması.....37
Şekil 1.7.	Çelik lif takviyeli betonlarda lifler aracılığı ile gerilmenin dağıtılması.....38
Şekil 1.8.	Çelik lifli betonla şev stabilizesi.....39
Şekil 1.9.	Endüstri yapıların döşemelerinde lif kullanımı.....40
Şekil 1.10.	Baraj ve limanda çelik lifli beton kullanımı.....40
Şekil 1.11.	Ağır yükler altındaki yollar da ve havaalanında lifli betonun kullanımı.....41
Şekil 1.12.	Tünellerde lifli betonun püskürme de kullanımı.....42
Şekil 1.13.	Çelik liflerin ön yapım beton elemanlarda kullanımı.....42
Şekil 2.1.	Beton üretiminde kullanılan kalker agregalar49
Şekil 2.2 .	Agregaların granülometrik bileşimi ve sınır eğrileri.....52
Şekil 2.3.	Deneyleerde kullanılan çelik lifler54
Şekil 2.4.	Betonların üretiminde kullanılan eğik eksenli betonyer57
Şekil 2.5.	Deneyleerde kullanılan 2.800 devir/dakika frekanslı sarsıma tablası58
Şekil 2.6.	Beton numunelerin kalıptan çıkarılması.....58
Şekil 2.7.	Beton numunelere kür uygulamasının yapıldığı havuzu ve tankı.59
Şekil 2.8.	Beton numunesinin başlıklama işlemi61
Şekil 2.9.	Beton numunelerinin basınç deneyi makinesi.....62
Şekil 2.10.	Merkezi basınç deneyine hazırlanan beton numuneler.....63
Şekil 2.11.	Merkezi basınç deneyine tabi tutulmuş lifsiz beton numuneler.....63
Şekil 2.12.	Merkezi basınç deneyine tabi tutulmuş lifli beton numuneler.....63

Şekil 2.13.	Lifli ve lifsiz betonların ortalama merkezi basınç dayanımlarının su/çimento oranının (a) 0.65, (b) 0.55 (c) 0.45 olması durumunda değişimi.....	66
Şekil 2.14.	Merkezi beton basınç dayanımlarının (a) birinci tip, (b) ikinci tip ve(c) üçüncü tip lifli betonlar için lif oranı ile değişimi	67
Şekil.2.15.	Merkezi beton basınç dayanımlarının (a) birinci tip, (b) ikinci tip ve(c) üçüncü tip lifli betonlar için su/çimento oranı ile değişimi.....	68
Şekil 2.16.	Merkezi beton basınç dayanımlarının (a) birinci tip, (b) ikinci tip ve (c) üçüncü tip lifli betonlar için lifsiz beton merkezi basınç dayanımına göre rölatif değişimi.....	69
Şekil 2.17.	Yarmada çekme deneyine hazırlanan beton numuneler.....	70
Şekil 2.18.	Beton numunelerin yarmada çekme deneyinden bir görünüm.....	70
Şekil 2.19.	Lifli ve lifsiz betonların ortalama yarmada çekme dayanımlarının su/çimento oranı (a) 0.65, (b) 0.55 (c) 0.45 olması durumunda değişimi.....	73
Şekil 2.20.	Ortalama yarmada çekme dayanımlarının (a) birinci tip, (b) ikinci tip ve (c) üçüncü tip lifli betonlar için lif oranı ile değişimi	74
Şekil 2.21.	Ortalama yarmada çekme dayanımlarının a) 1. tip, b) 2. tip ve c) 3.tip lifli betonlar için su/çimento oranı ile değişimi.....	75
Şekil 2.22.	Ortalama yarmada çekme dayanımlarının a) 1. tip, b) 2. tip ve c) 3. tip lifli betonlar için lifsiz betonun yarmada çekme dayanımına göre rölatif değişimi.....	76
Şekil 2.23.	Yarmada çekme deneyinde lifsiz beton numunen kırılma şekli.....	77
Şekil 2.24.	Yarmada çekme deneyinde lifli beton numune kırılma şekli.....	78
Şekil 2.25.	Yarmada çekme deneyine tabi tutulmuş lifsiz beton numuneler	79
Şekil 2.26.	Yarmada çekme deneyine tabi tutulmuş çelik lifli beton numuneler.....	79
Şekil 2.27.	Eğilmede çekme deneyine hazırlanan beton numuneler.....	81
Şekil 2.28.	Eğilmede çekme deneyinden bir görünüm.....	81
Şekil 2.29.	Lifli ve lifli betonların eğilmede çekme dayanımlarının su/çimento oranının (a) 0.65, (b) 0.55 ve (c) 0.45 olması durumunda değişimi.....	84
Şekil 2.30.	Eğilmede çekme dayanımlarının (a) birinci tip , (b) ikinci tip ve (c) üçüncü tip lifli betonlar için lif oran ile değişimi	85
Şekil 2.31.	Ortalama eğilmede çekme dayanımlarının a) 1. tip, b) 2. tip ve c)3. tip lifli betonlar için su/çimento oranı ile değişimi	86
Şekil 2.32.	Ortalama eğilmede çekme dayanımlarının a) 1. tip, b) 2. tip ve c)3. tip lifli betonlar için lifsiz betonun yarmada çekme dayanımına göre rölatif değişimi.....	87
Şekil 2.33.	Eğilmede çekme deneyinde lifsiz beton numunenin kırılma şekli	88

- Şekil 2.34. Eğilmede çekme deneyinde lifli beton numunenin kırılma şekli88
- Şekil 2.35. Eğilmede çekme deneyine tabi tutulmuş çelik lifli beton numuneler89

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo1.1.	Değişik cinsten liflere ait bazı fiziksel özellikler.....	12
Tablo 1.2.	Farklı çelik lif tipi örnekleri.....	19
Tablo 1.3.	Betonda bulunması gereken ince malzeme miktarı	27
Tablo 1.4.	Betona ilave edilen maksimum çelik lif miktarı.....	29
Tablo 2.1.	Agrega üretiminde kullanılan kayaların mineralojik bileşimleri.....	48
Tablo 2.2.	Beton üretiminde kullanılan kalker agregasının fiziksel özellikleri	49
Tablo 2.3.	Beton üretiminde kullanılan kalker agreganın mekanik özellikleri.....	50
Tablo 2.4.	Deneylerde kullanılan agregaların elek analizi	51
Tablo 2.5.	Betonda kullanılan çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri...52	
Tablo 2.6.	Beton üretiminde kullanılan liflerin bir takım özellikleri.....	53
Tablo 2.7.	Deneylerde kullanılan geleneksel ve çelik lifli betonların bileşimi.....	56
Tablo 2.8.	Lif ve su/çimento oranına bağlı olarak lifli ve lifsiz beton numunelerinin adlandırılması.....	60
Tablo 2.9.	Ortalama merkezi basınç dayanımı değerleri	64
Tablo 2.10.	Ortalama yarmada çekme dayanımı değerleri	72
Tablo 2.11.	Ortalama eğilmede çekme dayanımı değerleri	83
Tablo 2.12.	Su/çimento oranı 0.65 olan betonların basınç dayanımı ile Yarmada çekme dayanımının ilişkisi.....	91
Tablo 2.13.	Su/çimento oranı 0.55 olan betonların basınç dayanımı ile yarmada çekme dayanımının ilişkisi.....	92
Tablo 2.14.	Su/çimento oranı 0.45 olan betonların basınç dayanımı ile yarmada çekme dayanımının ilişkisi.....	93
Tablo 2.15.	Su/çimento oranı 0.65 olan betonların basınç dayanımı ile eğilmede çekme dayanımının ilişkisi.....	95
Tablo 2.16.	Su/çimento oranı 0.55 olan betonların basınç dayanımı ile eğilmede çekme dayanımının ilişkisi.....	96
Tablo 2.17.	Su/çimento oranı 0.45 olan betonların basınç dayanımı ile eğilmede çekme dayanımının ilişkisi.....	97

SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Numunenin üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı; m ²
d	: Lif çapı
DNİ	: Doyma suyu miktarı
DS	: Toplam doyma suyu
DSİ	: Agregası sınıflarının doyma suyu
DKY	: Doygun kuru yüzey
E	:Elastisite modülü
F	: Kırılma anında ulaşılan en büyük yük
f _c	: Betonun Basınç Dayanımı
f _{ctk}	: Beton yarmada çekme dayanımı
f _{ck}	: Betonun karakteristik basınç dayanımı
f _{ct}	: Betonun merkezi çekme dayanımı
f _{cte}	: Betonun eğilmede
f _e	: Betonun eğilme dayanımı
f _{yç}	: Numunelerin yarmada çekme dayanımı
h:	: Silindirin ölçülen uzunluğu
l _m	: Lifin minimum etki uzunluğu
l _c	: Lifin kritik uzunluğu
L	: Deney numunesinin iki mesnet arasındaki uzunluk çekme dayanımı
LZ1	: Su/çimento oranı 0.65 olan lifsiz
LZ2	: Su/çimento oranı 0.55 olan lifsiz
LZ3	: Su/çimento oranı 0.45 olan lifsiz
LB1	: Su/çimento oranı 0.65, hacimce %0.25 ve 1. tip (64) lif içeren betonlar
LB2	: Su/çimento oranı 0.65, hacimce %0.75 ve 1. tip (64) lif içeren betonlar
LB3	: Su/çimento oranı 0.65, hacimce %1.25 ve 1. tip (64) lif içeren betonlar
LB4	: Su/çimento oranı 0.65, hacimce %0.25 ve 2. tip (67) lif içeren betonlar
LB5	: Su/çimento oranı 0.65, hacimce %0.75 ve 2. tip (67) lif içeren betonlar

LB6	: Su/çimento oranı 0.65, hacimce %1.25 ve 2. tip (67) lif içeren betonlar
LB7	: Su/çimento oranı 0.65, hacimce %0.25 ve 3. tip (45) lif içeren betonlar
LB8	: Su/çimento oranı 0.55, hacimce %0.25 ve 1. tip (64) lif içeren betonlar
LB9	: Su/çimento oranı 0.55, hacimce %0.75 ve 1. tip (64) lif içeren betonlar
LB10	: Su/çimento oranı 0.55, hacimce %1.25 ve 1. tip (64) lif içeren betonlar
LB11	: Su/çimento oranı 0.55, hacimce %0.25 ve 2. tip (67) lif içeren betonlar
LB12	: Su/çimento oranı 0.55, hacimce %0.75 ve 2. tip (67) lif içeren betonlar
LB13	: Su/çimento oranı 0.55, hacimce %1.25 ve 2. tip (67) lif içeren betonlar
LB14	: Su/çimento oranı 0.55, hacimce %0.25 ve 3. tip (45) lif içeren betonlar
LB15	: Su/çimento oranı 0.45, hacimce %0.25 ve 1. tip (64) lif içeren betonlar
LB16	: Su/çimento oranı 0.45, hacimce %0.75 ve 1. tip (64) lif içeren betonlar
LB17	: Su/çimento oranı 0.45, hacimce %1.25 ve 1. tip (64) lif içeren betonlar
LB18	: Su/çimento oranı 0.45, hacimce %0.25 ve 2. tip (67) lif içeren betonlar
LB19	: Su/çimento oranı 0.45, hacimce %0.75 ve 2. tip (67) lif içeren betonlar
LB20	: Su/çimento oranı 0.45, hacimce %1.25 ve 2. tip (67) lif içeren betonlar
LB21	: Su/çimento oranı 0.45, hacimce %0.25 ve 3. tip (45) lif içeren betonlar
p	: Lifin hacimsel yüzdesi
s	: Lifin boşluk oranı
V_w	: Su hacmi
V_h	: Hava hacmi
W_a	: Agregâ kütlesi
W_{ai}	: Toplam agregâ kütle
W_c	: Çimento kütlesi
β_i	: Agregâ sınıflarının kütlece oranı
γ_c	: Çimento doygun kuru yüzeyi
γ_a	: Agregâ doygun kuru yüzey
γ_{ai}	: Agregâların DKY birim kütlesi
τ	: Yüzeysel aderans mukavemeti
σ_f	: Lif mukavemeti

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Beton, genel olarak çimento, agrega (kum+çakıl), su ve gerektiğinde amaca uygun olarak kimyasal ve mineral katkı maddelerinin (uçucu kül, silis dumanı gibi) uygun oranlarda homojen olarak karıştırılması ile elde edilen, başlangıçta plastik kıvamda olup zamanla çimentonun hidrasyon nedeniyle sertleşerek dayanım kazanan bir yapı malzemesidir.

İnsanoğlu varlığından bu yana, doğal bulduğu bir çok malzemeyi, barınma ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla yapı malzemesi olarak kullanmıştır. İlk zamanlar ağacı işleyip basit bağlantılarla kendilerine barınak oluşturmuşlardır. Daha sonra ise dayanımı ahşaba göre daha yüksek olan taşı yapı malzemesi olarak kullanmaya başlamışlardır. Yapıların oluşturulmasında taşın kullanımı, ellerinde bağlayıcı olmadığından sınırlı almıştır. Taşın çekme dayanımının düşük olması nedeniyle geçilen açıklıklar sınırlı düzeyde kalmıştır. İnsanoğlu daha büyük açıklıklar geçme ihtiyacı, tüm kesitin basınca çalıştığı kemer sistem gibi yeni bir sistemin gelişmesine neden olmuştur. Daha dayanıklı yapılar ise kireç ve doğal çimento gibi bağlayıcıların bulunması ile inşa edilebilmiştir. İlk kez Romalılar tarafından kullanıldığı sanılan çimento üzerinde 18. yüzyıla kadar büyük bir gelişme olmamıştır. John Smeaton adlı bir İngiliz, kireçtaşı ve kil karışımından bir tür çimento üretmiş ve inşa edilen bir fenderde bu çimentoyu kullanmıştır. Bugün kullanılan çimento ise John Aspdin adlı bir İngiliz duvar ustası tarafından bulunmuştur [1,2].

Geleneksel beton, normal doğal taneli agrega ile üretilen ve birim ağırlığı 1.800-2.800 kg/dm³ arasında değişen betonlardır. Bu betonlar önemli bir ayrıcalık özelliği istenmeyen bina inşaatlarında kullanılmaktadır. Maliyetinin ucuzluğu, yüksek dayanımı, kolay işlenebilme özelliklerinden dolayı diğer yapı malzemelerine göre daha fazla kullanılmaktadır.

Bilimin her dalında olduğu gibi İnşaat Mühendisliği'nde de yeni teknolojik gelişmeler yaşanmakta ve uygulamadaki yerini almaktadır. Özellikle yapı teknolojisinde beton ile ilgili yeni malzemeler ortaya çıkarılmaktadır. İnşaat sektöründe en önemli yapı malzemesi olarak beton kullanılmaktadır. Hammaddesinin doğada kolayca ve bol miktarda bulunması, istenilen

şekli alabilmesi, uzun süre hizmet vermesi, mukavemet ve maliyet açılarından da çok uygun bir malzeme olması, betonun vazgeçilmez bir yapı malzemesi olmasını sağlamıştır [3].

Gerçekte kullanılmakta olan saman takviyeli kil harcının (kerpiç) at saçından sıvanın esin kaynağı olduğu lifli betonlar, 4500 yıl öncesinden beri yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Daha sonra araştırmaların neticesinde Portland Çimento ile birlikte lifli beton geleneksel betonla kıyaslandığında üstün özellikleri tespit edilmiş bir yapı malzemesi olarak ortaya çıkmıştır.

Geleneksel betonun içerisine doğal veya yapay lif eklenmesi sonucundan oluşturulan lifli betonun görünümü geleneksel betonun karışımına benzemesine rağmen, değişik yükler altında gösterdiği performans ve davranış açısından geleneksel betondan oldukça farklıdır. Beton içerisinde farklı gerilmeler meydana gelip, malzeme içerisindeki mikro çatlaklar nedeniyle düzensiz bir yapıya sahiptir. Beton içerisine katılan lifler, matris fazını takviye ederek beton içerisinde, üzerlerinden gerilmelerin geçtiği küçük köprüler olarak rol oynarlar. Beton içerisinde üç boyutlu olarak dağılmış olan liflerin betondaki çatlak sonlarına bitişik olmalarından dolayı lifler, matristeki çatlağın yayılmasına yol açan gerilmeleri kendi üzerlerine çekerek matrisin sağlam bölgelerine aktarırlar [4].

Geleneksel betonun düşük performans özellikleri (çarpma dayanımı, çekme dayanımı, kayma dayanımı, aşınma dayanımı, çatlama sonrası yük taşıma dayanımı) kaldırmak amacıyla betonun içersine değişik oranlarda ve değişik malzemelerden üretilen lifler karıştırılmıştır.

Betonların basınç dayanımını artırmağına rağmen, çekme ve eğilme etkisi altında daha gevrek kırılmalar meydana çıkmaktadır. Betonun enerji yutabilme kapasitesi, kırılma nedeniyle azalmaktadır. Bunlara aşınma, çatlak ilerlemesi, yorulma, rötne gibi betonun zayıf özellikleri eklendiğinde hem yüksek dayanımlı hem de aşınmaya ve çatlak oluşumuna karşı dirençli betonun üretilmesi çok önem taşımaktadır.

Geleneksel betonların bazı zayıf özelliklerini kaldırmak için, daha kullanışlı ve ekonomik betonlar elde etmek için farklı yapı malzemeleri ortaya çıkmış. bunlardan birisi de lifli beton olmuştur.

Lifle güçlendirilmiş betonlar normal betonlara göre sağladıkları bu avantajlarından dolayı geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Bu kullanım alanları şu şekilde özetlenebilir: Tünelde, püskürtme beton kaplamalarında, havaalanı ve karayolu gibi yol kaplamalarında, aşınma ve çekme dayanımının yüksek olmasından dolayı, endüstri ve su yapılarında, şevlerin stabilizasyonu ve istinat duvarı yapımında, kesit kalınlıklarının

azaltılmasına imkan verdiğinden ince kabuk yapılarda, kubbelerde ve mimari açıdan kalınlığı sınırlı olan kabuk yapılarda, depreme dayanıklı yapılarda, bina ve mühendislik yapılarının taşıyıcı elemanlarının onarımı ve takviyesinde kullanılmaktadır [5].

Bilindiği gibi, beton çekme dayanımı zayıf bir malzemedir. Basınç etkisi altında gösterdiği performansı, eğilme ve çekme yükleri etkisi altında gösterememektedir. Araştırmacılar, betonun bu mekanik özelliklerini iyileştirebilmek için uzun dönemlerden bu zamana kadar kapsamlı çalışmalar yapmaktadırlar. Bu çalışmalar doğrultusunda farklı malzemelerle beton ve elemanlarının donatılması uygulamaları yapılmıştır. Çelik lif katkılı betonlar da bu çalışmalardan birisidir. Çelik liflerle homojen olarak donatılmış beton, yükler altında gösterdiği davranış açısından geleneksel betondan farklı özellikler gösterir. Beton içinde ortaya çıkan gerilmeler, malzeme içindeki mikro çatlaklar nedeni ile düzensizdir. Betona ilave edilen çelik teller, harç fazı matrisini takviye ederek, üzerinden gerilmelerin aktarıldığı küçük köprüler olarak rol oynarlar. Aşırı yükler altında çelik teller, matris içindeki çatlağın yayılmasına yol açan gerilmeleri alırlar ve çatlamamış bölgelere yayarlar. Çatlak sonrası betonun kazanmış olduğu bu davranış, elastik zemine oturan beton yol döşemelerinde çatlak oluşumunu azaltmaktadır.

Betonların statik hesaplamalarında çelik teller, sadece eğilme momentini karşılayan donatı olarak görülmemelidir. Tellerin en önemli özelliği, betona sağladığı süneklik, diğer bir deyişle, enerji yutma kapasitesindeki büyük artıştır [6].

Çelik lifli beton, içerisinde aralıklarla dağıtılmış küçük çelik teller bulunan ince veya kaba agrega kullanılan çimentolardan yapılmış bir kompozit malzemedir. Bilinen normal beton ile birlikte puzolanlar ve katkı maddeleri ile ortak olarak kullanılabilir.

Bu çelik liflerin 30-120 kg/m³ miktarında ilave edilmesi, beton ve diğer harçların mühendislik özelliklerinin bir çoğunda önemli düzeltilmeler sağlamaktadır. Örneğin, çarpma dayanımı büyük miktarlarda artış göstermektedir. Ayrıca betonun eğilme mukavemetini, yorulma mukavemetini, parçalanma ve kırılma dayanımını arttırmaktadır [ACI 544] [7]. Çelik liflerin beton içerisine katılma oranı %0.25 - 2.5 arasında olabilmektedir [8].

Bu çalışmanın temel amacı, çelik liflerin farklı dayanıma sahip betonların mekanik özelliklerine etkilerini incelemek ve bazı öneriler getirmektir.

1.2. Geleneksel ve Lifli Betonların Malzeme Özellikleri

1.2.1. Normal Agregaların Özellikleri

Kum ve çakıl (veya kırma taş) karışımı agrega olarak tanımlanmaktadır. Genellikle 0-7mm arasında olan agrega kum, 7 - 70mm olan ise çakıl olarak adlandırılmaktadır. Agrega, esas olarak bir dolgu malzemesidir ve en önemli fonksiyonu betondaki hacim değişikliklerini azaltmaktır [1].

Agrega, çimento, su ve gerekirse katkı maddesi karışımından oluşan bağlayıcı madde yardımıyla bir araya getirilen, doğal (kum, çakıl, kırma taş) veya yüksek fırın cürufu, genleştirilmiş kil, perlit gibi yapay kaynaklı olan taneli malzemelerdir. Beton agregalarında aranan en önemli özellikler; sert, dayanıklı ve boşluksuz olmaları, zayıf taneler içermemeleri, basınca ve aşınmaya dayanımlı olmaları, toz toprak ve beton zarar verebilecek maddeleri içermemeli ve çimentoyla zararlı reaksiyona girmemelidir [9].

Beton hacminin % 60-80'ini agrega bileşeni meydana getirdiği için, seçiminde titizlik gösterilmesi gerekmektedir. Agrega, gereken dayanıma sahip olmalı ve dış etkenlere dayanabilmelidir. Agreganın fiziki ve mekanik özellikleri istenilen şartları karşılayabilecek nitelikte olmalıdır. Aşınmaya maruz kalacak bir betonun agregası yeterli aşınma dayanımına sahip olmalıdır. Don yapan iklimlerde kullanılacak betonun agregası ise dayanıklılık bakımından don etkisi için konmuş olan standartları karşılamalıdır [10].

1.2.1.1. En Büyük Tane Boyutu

Beton üretiminde mümkün olan en büyük tane boyutuna sahip agreganın kullanılmasıyla betonun işlenebilmesi ve dayanımı olumlu yönde etkilenmektedir [11]. Ancak beton karışımında kullanılacak en büyük tane büyüklüğü yapı elemanının cins ve en dar kesitinin boyutu ile ilişkilidir. En büyük tane büyüklüğü, en dar kesit kalıp genişliğinin 1/5'den, döşeme derinliğinin 1/3 den ve donatılı betonda en küçük donatı aralığının 3/4' den küçük seçilmelidir. Ayrıca beton üretiminde kullanılacak en büyük agrega çapı pas payından da küçük olmalıdır. Bunun temel amacı donatıyı korozyondan korumaktır [12]. TS.706 EN 12620' e göre, agrega büyüklüğüne bağlı olarak tarif edilen en büyük elek göz açıklığıdır [12].

En büyük agrega boyutu işlenebilirliği, çimento içeriğini, iri ve ince agrega oranını, hava miktarı, basınç dayanımının üst sınırını ve rötre miktarı gibi betonun birçok özeliğini etkilemektedir [14].

1.2.1.2. Tane Şekli ve Yüzey Yapısı

Doğal agrega ocağından çıkan malzemeler genel olarak, yuvarlak, yassı, uzun ve keskin köşelidirler ve yüzey yapısına göre düzgün, granüler, pürüzlü, kristalli ve petekli olmak üzere sınıflandırılabilir. Agrega tanelerinin şekli, taze betonun işlenebilme özeliğini, ve buna bağlı olarak, betonun su ihtiyacını etkilemektedir. Çakıl gibi yuvarlak agregalarla yapılan betonların işlenebilmeye katkısı daha çok olmaktadır. Kıрма taş gibi köşeli agregalar, sürtünme etkisiyle, taze betonun akıcılığını azaltmaktadır. O nedenle, yuvarlak agregayla yapılan ve belirli bir kıvama sahip olan betonların su ihtiyacı, aynı kıvama sahip fakat kırma taş agregayla yapılmış olan betonların su ihtiyacından daha az olmaktadır. İşlenebilmeyi artırmak üzere, köşeli agregalarla yapılan betonlarda, daha çok ince agrega kullanılması gerekmektedir [15].

1.2.1.3. Özgül Ağırlık ve Dayanıklılık(sağlamlık)

Özgül ağırlık, belli hacim ve sıcaklıktaki bir agreganın, havadaki ağırlığının aynı hacim ve sıcaklıktaki damıtık suyun havadaki ağırlığına oranıdır. Betonda kullanılacak normal agregaların özgül ağırlığının 2.2- 2.7 kg/dm³ arasında olması istenir.[16] Özgül ağırlık değeri, betonda agreganın yer alabilecek malzeme miktarının hesaplanmasında kullanılmaktadır [15].

Dayanıklılık (sağlamlık), agreganın hava etkilerine, özellikle donma- çözülmeye, kuruma ve ıslanma, aşındırıcı etkilere ve su hareketlerine karşı göstermiş olduğu dayanımdır. Dayanıklılık agreganın gözenekli oluşuna, su emme oranına ve gözenek yapısına bağlıdır [17].

1.2.1.4. Birim Ağırlık

Agrega birim ağırlığı, belirli hacimdeki bir kabı dolduran agrega tanelerinin toplam ağırlığının, kabın hacmine bölünmesiyle saptanmaktadır. Birim ağırlık değerinin yüksek

olması, agrega tanelerinin arasındaki boşluğun az olduğunu belirtmektedir, ayrıca, birim ağırlık bilindiği takdirde, mevcut agreganın hacminin hesaplayabilmek mümkün olabilmektedir [15].

Doğal olarak bir agreganın sıkışık birim ağırlığı değeri genelde 1200 ile 1800 kg/m³ arasında değişir. Birim ağırlığı değerleri, agreganın granülometrisine, kusurlu malzemenin miktarına, yerleştirme şekline ve agreganın özgül ağırlığına bağlıdır [18].

1.2.1.5. Boşluk Oranı ve Su Emme

Agrega tanelerinde bulunan boşlukların oranının ve kuru yüzey doygun konuma gelinceye kadar emdiği su miktarının bilinmesinde yarar vardır. Bu amaçla agrega taneleri üzerinde su emme deneyi yapılır [19].

Hafif agregaların boşluklu yapısı olduklarından dolayı, normal agregalardan daha fazla oranda su emmesi, bu agregaların arasındaki en önemli farktır. Normal agregaların su emme oranları kuru ağırlıklarının %1- 2'si olduğunda, hafif agregalarda bu oran %5- 20'si arasında değişmektedir [20].

İri agrega tanelerinin porozitesi küçük olması bu tanelerin dayanımlarının yüksek değerler olmasına neden olabilir. Bu yüzden beton üretiminde kullanılacak olan agregalarda porozitesinin belirli bir değerden büyük olması(örneğin%5-10) istenir.

1.2.1.6. Granülometrik Bileşimi ve İncelik Modülü

Granülometrik bileşim, agrega numunesinde boyutları belirli sınırlar arasında bulunan tanelerin agrega içinde ne miktarda bulunduğu ortaya koyar. Agreganın granülometrik bileşiminin, o agregayı kullanarak üretilen beton üzerinde büyük etkisi vardır.

Granülometri, beton kompozitesini, yoğurma suyu miktarını, dayanım ve dayanıklılığını büyük ölçüde etkiler [12].

Agregaların bileşimini granülometrisi eğrilerinden başka ve daha pratik şekilde gösteren bir değer karakteristik de incelik modülüdür. Fakat incelik modülü, agreganın inceliği veya kabalığı halinde genel bir fikir vermesine rağmen, agreganın tane dağılımı halinde bir bilgi vermemektedir. Bir agrega yığnında taneler irileştikçe incelik modülünün değeri küçülür, taneler inceldikçe incelik modülü değeri büyür [16].

1.2.1.7. Dona Dayanıklılık

Soğuk iklimlerde üretilen betonun donma etkisiyle yüzeyinin soyulmaması ve bir bütün olarak betonun parçalanmaması istenir. Betonun dona dayanıklılığında agrega önemli rol oynar. Bu nedenle donma etkisinde kalacak betonlarda kullanılacak agreganın da dona dayanıklı olması istenir [18].

TS 706[13]'e göre kırma taş agregalarda, taşın su emme kapasitesi ağırlıkça %0.5'den büyük değil ise, ve taşın suya duygun haldeki küp basınç dayanımı en az 1500 Kgf/cm² ise, agrega dona yeterince dayanıklıdır [15].

1.2.1.8. Zararlı Maddeler

Zararlı maddeler, betonun prizine (katlaşmasına) veya sertleşmesine zarar veren, betonun dayanımını azaltan, parçalanmasına neden olan veya beton içindeki donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşüren maddeler olarak tanımlanır [21].

Agrega içinde zararlı maddeler, çözülebilir tuz, organik ve yumuşayabilir maddeler, genleşebilir maddeler olarak ortaya çıkarlar. Bu zararlı maddeler, agreganın özelliklerini olumsuz olarak etkileyebilir [12].

1.2.2. Çimento

Çimento, kalker ve kil taşların karışımının yüksek sıcaklıkta pişirildikten sonra öğütülmesinden elde edilen bağlayıcı bir malzemedir. Çimento su ile karıştırılıp bir hamur haline getirildikten bir süre sonra katılarak taşlaşmaya başlar [1].

Çimentonun çeşitleri ve dozajı değiştirilerek istenen amaca uygun olarak kullanılabilir. Erken dayanım istenen yerlerde erken dayanımı yüksek çimento kullanılabilir, sülfata dayanıklı çimento alternatif olarak alınabilir. Beton en önemli maddesi çimentodur. Kalitesiz bir betonda ilk akla gelen çimentonun hatalı olduğudur [22].

Çimento ve suyun birleştirildiği andan itibaren bu iki malzeme arasında "hidratasyon" olarak adlandırılan kimyasal reaksiyonlar başlamakta ve devam etmektedir. Önceleri, yumuşak plastik durumda olan çimento hamuru, zaman ilerledikçe daha az plastik duruma gelmekte ve katlaşıp, sertleşmektedir [15].

1.2.3. Su

Genel olarak içme suyu olarak kullanılmasına izin verilen su, beton karışımında da kullanılabilir. TS 55' göre suda kesinlikle asit bulunmamalıdır [1]. Karışım suyunda yüksek olarak tuz, kil, organik madde, klorür, sülfat, madeni yağ ve endüstri atıkları bulunması da sakıncalıdır [1].

Beton karma suyu olarak kullanılması istenilen sudan şüphelenildiğinde, kullanılmasından önce bazı analizlerin yapılması da gerekmektedir. Beton karma suyunun beton üretimi için uygun olup olmadığına söz konusu suyun kimyasal analizi yapılarak karar verilebilmektedir [9].

Bilindiği gibi çimento ve agreganın yanı sıra, betonu oluşturan bir diğer temel malzeme sudur. Beton malzemelerinin karılmasında kullanılan karışım suyunun iki önemli görevi bulunmaktadır, a). Çimento ile birleşerek hidrasyonun yer almasını sağlamak ve b). Betonun karılma işleminde agrega ve çimento tanelerinin yüzeyini ıslatarak üretilen taze beton karışımında istenilen işlenebilmeyi sağlamaktır. Beton üretiminde kullanılarak karışım suyunun kalitesi ve miktarı betonun özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir [15].

1.2.4. Kür Şartları

Betonun kürü veya "betonun bakımı", özellikle ilk günlerde, yeterince hidrasyon yapabilmesini sağlayabilmek üzere, betonun içerisinde yeterli miktarda suyun ve sıcaklığın bulundurulması ve bu ortamın korunması işlemi adlandırılmaktadır [23].

Genel olarak betonlara laboratuvar ve şantiyede çeşitli kür metotları uygulanır. Bu metotlar; buhar kürü, su kürü, ıslak membran ile kapatma, plastik örtülerle hava ile temasını kesme ve kimyasal madde uygulanma olarak sıralanabilir [12].

Ortam koşulları çimentonun hidrasyonu için uygun olduğu takdirde, beton zamanla dayanım kazanmaya devam eder. Dayanım kazanma hızı erken yaşlarda yüksektir, zaman içinde dayanım artışı, hızı azalarak, sürer. Betonun dayanım, donma- çözülme direnci, geçirimsizlik gibi birçok özelliklerinin zamanla daha gelişmesi için yeterli nem ve uygun sıcaklık gerekir [18].

1.2.5. Katkı Maddeler

Beton katkı maddeleri, harç ve betonların taze veya sertleşmiş haldeki bazı özelliklerini değiştirmek, iyileştirmek amacıyla karıştırma işlemi sırasında veya hemen önce karışıma katılan ve agrega, su, hidrolik bağlayıcı gibi ana bileşenlerden farkı olan maddelerdir. Katkı maddelerinin seçimi ve kullanılmasında bilinçli davranılması gerekir. Çünkü, beton bazı özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılan bir katkı, bazı özellikleri üzerinde olumsuz özellikler gösterebilir veya beklenen olumlu etkiyi göstermeyebilir [24].

Beton katkı maddeleri, çimento, agrega ve suyun dışında, betonun taze veya sertleşmiş haldeki bazı özelliklerini değiştirmek amacıyla karıştırma işlemi sırasında veya hemen önce betona katılan malzemelerin genel adıdır. Katkılar, kimyasal, hava ve mineral katkıları olmak üzere, üç ana gruba ayrılırlar [18].

Kimyasal katkı maddeleri, karışım suyu içerisinde çok az miktarda katılarak (çimento ağırlığının yaklaşık %1- %2 si kadar katılarak) kullanılmaktadır. Karışım suyunda katkı maddesinin yol açtığı azalmanın miktarı en az %12 olduğu takdirde, bu tür katkı maddelerine yüksek miktarda su, azaltıcı katkı maddeleri veya “süper plastikleştirici” , veya “süper akışkanlaştırıcı” denilmektedir. Akışkanlaştırıcılar, işlenebilirliği, dayanımı ve dayanıklılığı artırılırlar [15].

1.2.6. Taze Beton Özellikleri

Taze beton, henüz tamamen katlaşmamış, şekil verilebilir durumdaki betondur. Betonun taşınıp kalıplardaki yerine yerleştirilmesi, sıkıştırılması, yüzeyinin düzeltilmesi gibi işlemler, beton şekil verilebilir durumdayken yapılabilmektedir.

Bu bölümde geleneksel betonların taze halde iken sahip olduğu bazı özelliklerden bahsedilmiştir [15].

1.2.6.1. Birim Ağırlık

Birim Ağırlık, birim hacim içerisinde yer alan taze betonun ağırlığını belirtmektedir. Betonun birim ağırlığının düşük veya yüksek olması, betonun oluşturan malzemelerin özelliklerine ve beton içerisinde yer alan boşluk miktarına bağlı olmaktadır. Agrega granülometrisinin iyi olmaması, maksimum agrega boyutunun küçük olması, taze beton

sıkıştırılma işleminin yeterince yapılmamış olması, beton içerisindeki boşlukların miktarını arttıran dolayısıyla birim hacmi düşüren başlıca faktörlerdir [15].

1.2.6.2. İşlenebilirlik ve Kıvam

İşlenebilirlik taze betonun, ayrışmaya uğramadan, taşınması, dökülmesi, yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve sonlanması işlemlerinin kolaylıkla yapılabilmesi özelliği olarak tanımlanabilir [18]. Taze betonun işlenebilirliği, çimento miktarı ve özellikleri, karma suyun miktarı, agregaların granülometrik bileşimi, tanelerin boyutuna ve şekline, hava sıcaklığına ve katkı malzemelerine bağlıdır [15].

İşlenebilirliği etkileyen en önemli faktör, taze betonun su miktarıdır. Kıvam, betonun akışkanlığını gösteren bir ölçüdür. Betona artan su miktarı kıvamı, diğer bir deyişle, betonun akışkanlığını artırır [18].

Kıvamı çok yüksek olan bir beton, düşük kıvamdaki bir betona göre daha rahat karılabilmekte, daha rahat pompalanabilmekte ve çoğu kez daha rahat yerleştirebilmektedir [15].

1.2.6.3. Hava Miktarı

Hava miktarı, betonlardaki kapalı agrega boşlukları haricinde mevcut hava hacminin betonun tüm hacmine oranının yüzde olarak ifadesidir [25].

Taze beton içerisinde bulunabilecek hava miktarı, çimento miktarı, kompozisyonu ve inceliği, en büyük agrega tane boyutu, agrega gradasyonu su/çimento oranı, mikser tipi ve durumu, karılma suresi, betonun sıcaklığı ve katkı maddelerinin tipi ve miktarı gibi bir çok faktör tarafından etkilenmektedir [15].

1.2.7. Sertleşmiş Beton Özellikleri

Sertleşmiş betondan, dış etkilere dayanıklı olmalı, donma – çözülme etkilerine dayanmalı, ıslanma- kuruma etkilerine dayanmalı, kendi içindeki (çimento ile agrega arasında) reaksiyonlardan zarar görmemeli ve temas edeceği sularda ve havada mevcut kimyasallara dayanabilmeli ve ekonomik olması istenir. Bu bölümde sertleşmiş geleneksel betonların sahip oldukları bazı özellikler den bahsedilmiştir[26].

1.2.7.1. Kuru Birim Ağırlık

Betonların birim ağırlığı sertleşme suresine ve nem durumuna göre farklı değerler alır. Birim ağırlık değerindeki değişiklikler, betonun başta mekanik ve termik özellikleri olmak üzere tüm özelliklerini etkiler. Birim ağırlığın artması, betonun mekanik özelliklerini artırırken ısı yalıtkanlık özelliğini azaltır [27,28].

Uygulamada her zaman karşılaşılan betonların birim ağırlıkları $2100\text{--}2500\text{ kg/m}^3$ arasında değişir. Bu ağırlık betonun kalıba yerleştirilmiş şekli ile yakından ilgili olup kuvvetli şekilde vibre edilmiş betonda 2600 kg/m^3 e ulaşabilir.

1.2.7.2. Basınç ve Çekme Dayanımı

Betonun basınç dayanımı " eksenel basınç yükü etkisi altındaki betonun kırılmamak için gösterebileceği direnme kabiliyeti" olarak tanımlanmaktadır [15].

Beton, diğer bir çok gevşek yapı malzemesi gibi, basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşük bir malzemedir. Betonun çok düşük olan çekme dayanımı hesaplarda genellikle dikkate alınmadığından, üzerinde durulan en önemli özeliği basınç dayanımıdır [1].

Betonun çekme dayanımı basınç mukavemetinden çok düşüktür. Çekme dayanımı basınç dayanımının yaklaşık %10 'u kadardır. Betonun basınç dayanımını değiştiren çeşitli etkenler çekme dayanımını da aynı yönde değiştirirler [29].

1.2.7.3. Elastisite Modülü ve Poisson Oranı

Betonun gerilme- şekil değiştirme eğrisi doğrusal olmadığı için Elastisite modülünü farklı biçimlerde tanımlanabilmektedir. TS 500'e göre beton dayanım sınıfına göre elastisite modülü verilmektedir. Ayrıca gerilme- şekil değiştirme eğrisinin eğiminden de hesaplanabilmektedir.

Geleneksel ve hafif betonların Poisson oranları ise yaklaşık olarak aynıdır. Poisson oranları, agreganın çeşidine, nem durumuna ve betonun yaşına bağlı olarak genellikle 0.17-0.23 arasında değişmektedir. Genellikle uygulamada bu değer 0.2 olarak kabul edilmektedir [30,28].

1.2.7.4. Su Emme

Beton tarafından, içerisindeki boşluklara fiziksel olarak su çekilmesi işlemine su emme denilmektedir. Betonun emebileceği su miktarı, betonun içerisindeki boşlukların toplam hacmi ise, betonda kullanılan su/çimento oranı, agrega cinsi kür koşulları, kür suresi, karbonatlaşma, beton elemanın boyutu gibi birçok faktör tarafından etkilenmektedir [15]. Su emme kapasitesi yüksek olan betonların dayanımları daha düşük olmaktadır.

1.3. Beton Üretiminde Kullanılan Liflerin Bazı Özellikleri

Betona yeni özellikler kazandırmak için ve bazı özellikleri de belirgin olarak artırmak için içerisine değişik malzemelerden üretilen lifler katılmaktadır [31]. Betonun özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılan ve değişik şekil ve büyüklüklerde olan lifler, çelik, cam, karbon, polipropilen ve organik polimerden üretilmektedir. Genel olarak lifler, metalik lifler, Polimerik lifler, mineral lifler ve doğal elde edilen lifler sınıflarına ayrılmaktadır.

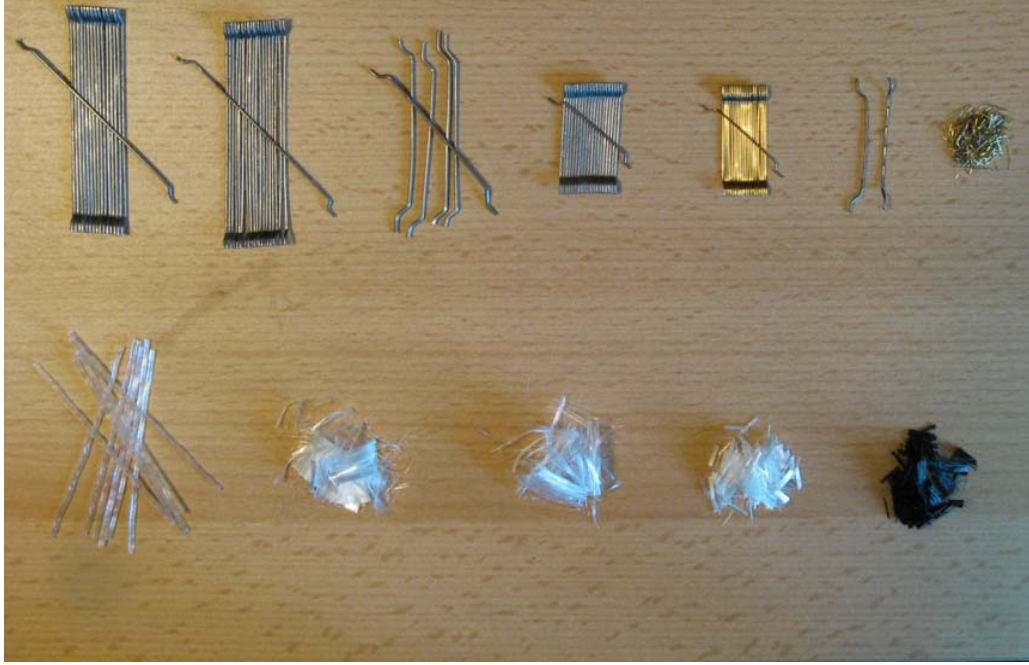
Betonda en fazla kullanımlı olan çelik lifler olmakla birlikte son yıllarda cam ve sentetik liflerin kullanımları da yaygınlaşmaktadır. Bazı lif türlerine ait bir takım fiziksel özellikler Tablo1-1 de ve verilmektedir.

Tablo 1.1. Bazı lif türlerine ait bir takım geometrik, fiziksel ve mekanik özellikleri

Lif Cinsi	Çap (mm)	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (10 ⁶ , MPa)	Maksimum Uzama (%)
Çelik	0.1- 1.0	7.84	276-2760	200	0.5- 35
Cam	0.005- 0.02	2.60	1035-3795	70-80	1.5-3.5
Karbon	< 0.018	1.60-1.70	450-4000	230	1
Asbest	0.0015-0.02	3.20	552-966	83-138	1-2
Naylon	0.02- 0.40	1.1	759-829	4.1	16-20
Polipropilen	0.02- 0.40	0.91	552-759	3.5	25
Polyester	0.02- 0.40	1.4	724-863	8.3	11-13
Polietilen	-	0.95	690	0.14-0.4	10
Mineral yünü	0.01-0.8	2.7	483-759	69-117	0.6
Akrilik	0.02-0.35	1.18	0.4-1	14-19.5	3

Lifleri tanımlayan en önemli parametre lifin sahip olduğu mekanik özellikler ile onun sayısal bir parametre gibi ifade edilmesini sağlayan özelliklerdir. Bu parametreler; narinlik oranı (lif uzunluğu/ lif çapı), geometrik yapısı ve lifin çekme gerilmesidir.

Beton ve harç gibi çimentolu malzemelerde kullanılan çeşitli liflerden bazıları Şekil 1-1’de verilmektedir.



Şekil 1.1. Lifli betonların üretiminde kullanılan lif çeşitleri

Gelişen teknoloji ile birlikte Şekil 1.1’ de gösterilen liflerden başka çok çeşitli lifler de üretilmekte ve betonlarda çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Şekil 1-1’de görüldüğü gibi birçok lif genellikle özel yapıştırıcılarla birbirlerine tutturulmuş demetler halindedir. Bu lif demetleri çimentolu karışıma katıldığında suyun etkisi ile bağlayıcının çözülmesi ve karışma sırasındaki mekanik etki ile birbirinden ayrılır.

Aşağıda başlıklar altında farklı malzemelerden üretilen lifler hakkında temel bilgiler verilmektedir.

1.3.1. Cam Lifler

Cam elyafı (fiber glass), çok ince cam telciklerinden üretilen bir maddedir. İnce ve elastik lifler veya flamanlar şeklinde çekilen cam nispeten kaba lifler halinde, Eski Mısır'dan beri tabak, bardak, şişe ve vazo süslemesinde kullanılmaktadır. Benzer cam işleyiciler de yüzlerce yıldır kullanılmaktaydı. Yalıtım ile dokuma ürünlerinde yaygın olarak kullanılır. Ayrıca birçok plastik ürünlerinde güçlendirici olarak da kullanıldığında ortaya çıkan bileşik maddelere de (örneğin, GRP “camla güçlendirilmiş plastik”) halk arasında “cam elyafı” adı verilir.

Eritilmiş haldeki camın küçük deliklerden akıtılıp katılaştırılması sonucu üretilir. Isıl iletim katsayıları düşük olduğundan yalıtım malzemesi olarak kullanılırlar. Ayrıca yüksek dayanım değerleri nedeniyle diğer malzemelerle birleştirilerek kompozit malzeme üretiminde kullanılır. Birinci Dünya Savaşında Almanlar ince cam liflerini asbest yerine kullanılmışlardır [32].

Cam elyaf imalinde silis kumuna çeşitli katkı malzemeleri eklendiğinde yapı bu malzemelerin etkisi ile farklı özellikler kazanır. Cam lifler A, C, E ve S dört gruptan oluşur.

A (Alkali) camı, yüksek oranda alkali içeren bir camdır. Bu nedenle elektriksel yalıtkanlık özelliği kötüdür.

C (Korozyon) Camı, Kimyasal çözeltilere direnci çok yüksektir.

E (Elektrik) Camı, Düşük alkali oranı nedeniyle elektriksel yalıtkanlığı diğer cam tiplerine göre çok iyidir. Dayanımı oldukça yüksektir. Suya karşı direnci de oldukça iyidir. Nemli ortamlar için geliştirilen kompozitlerde genellikle bu tip camı kullanılır.

S (Mukavemet) Camı, yüksek mukavemetli bir camdır. Çekme dayanımı E camına oranla %33 daha yüksektir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda oldukça iyi bir yorulma direncine sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle havacılıkta ve uzay endüstrisinde tercih edilir. Cam elyaflar genellikle plastik veya epoksi reçinelerle kullanılırlar [33].

Cam liflerinin özellikleri değişik malzemelerin eklenmesi ile değişik performans seviyelerine ayarlanabilir. Düşük maliyeti, yüksek çekme dayanımı, yüksek kimyasal dayanıklılık ve mükemmel yalıtma özellikleri cam liflerinin avantajları arasındadır. Düşük gerilim modülü, yüksek yoğunluğu, kullanım esnasında aşınmaya karşı olan duyarlılığı, düşük yorulma direnci ve yüksek sertliği de dezavantajlarıdır [34,35].

1.3.2. Karbon Lifler

Karbon, yoğunluğu 2.268 gr/cm^3 olan kristal yapıda bir malzemedir. Karbon elyaflar cam elyaflardan daha sonra gelişen ve çok yaygın olarak kullanılan bir elyaf grubudur. Hem karbon hemde grafit elyaflar aynı esaslı malzemededen üretilirler. Bu malzemeler hammadde olarak bilinirler. Karbon elyafların en önemli özellikleri düşük yoğunluğun yanı sıra yüksek dayanım ve tokluk değerleridir. Karbon elyaflar, nemden etkilenmezler ve sürenme dayanımları çok yüksektir. Aşınma ve yorulma dayanımları oldukça iyidir. Bu nedenle askeri ve sivil uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Karbon elyaflar çeşitli plastik matrislerle ve en yaygın olarak epoksi reçinelerle kullanılırlar. Ayrıca karbon elyaflar alüminyum, magnezyum gibi metal matrislerle de kullanılırlar [33].

1960'lı yılların ikinci yarısından itibaren kullanılmaya başlanmış olan bu liflerin düşük yoğunluğuna karşın çekme dayanımı ve elastisite modülü yüksektir [38].

1980'lerin ortasına kadar yüksek fiyatlı olan karbon liflerinin kullanımı, yalnızca Portland çimentolu kompozitlerde kullanılmak üzere sınırlandırılmıştır. Sonraları petrol ürünlerinden ve kömür katranından, daha düşük maliyetli karbon lifleri üretilmesine rağmen yinede polimer liflerden daha pahalı olduğundan kullanımı yaygınlaşmamıştır. Elastisite modülü çelik kadar yüksek hatta 2 ya da 3 katı kadar daha güçlü olabilmektedir. Çok hafiftirler ve çoğu kimyasallara karşı yavaş hareket ederler. İplik formunda üretilirler. Tek karbon lifi 12000 tekil lif içerir. Bunlar çimento içine katılmadan önce dışarıda dağıtılırlar [36,437].

1.3.3. Asbest Lifler

Asbest ya amyant, lifli yapılı doğal bir mineraldir. Magnezyum silikat temelli olan asbest, yanmaz özelliği nedeniyle önem taşımaktadır. Kimyasal dayanımı nedeniyle, özellikle alkali ortamlarda, çimento ile çok kullanılmaktadır. Belli başlı olarak, levha, basınçlı boru ve ateşe dayanıklı levha yapımında kullanılmaktadır. 400°C ye kadar dayanması, çürümemesi, korozyona dayanması yanında kırılma olmasında dezavantajdır. Ancak asbest içeren malzemelerin, kanserojen etkileri nedeniyle, sağlık açısından sakıncaları bulunmaktadır [39].

1.3.4. Silikon Lifler

Silikon karpit lifler 100-150 μm çapında , gaz halindeki stoklamadan üretilmektedir . Direk akım geçirme ile 1200 $^{\circ}\text{C}$ a kadar ısıtılan yaklaşık 10 μm kalınlıklı tungsten teller veya karbon lifler malzeme olarak kullanılmaktadır. Düşük yoğunluğu ve ısıl duyarlılığa sahip silikon karpit lifler kimyasal etkilere karşı dirençlidir. Çekme dayanımları yaklaşık 3000 MPa iken Elastisite modülleri 400000 MPa civarındadır [40].

1.3.5. Organik Lifler

Organik lifler, genelde değişen çekme dayanımına, yüksek sünek şekildeğiştirme ve düşük rijitlik karakteristiklerine sahiptirler. Elastisite modülü düşüktür ancak çatlak oluşumunun önlenmesinde kullanılmaktadır. Organik lifler genelde, hazır fabrikasyon ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır [40].

- Polipropilen Lifler:

Alkali ortamlardaki dirençlerinin yüksek olması önemli özellikleridir. Yeni gelişmelerle, 1800 MPa elastisite modülüne ve 600- 700 MPa çekme dayanımına sahip polipropilen lifler üretilmiştir [40]. Polipropilen lifler, erir, yanmaz, sarı kahverengi bir kalıntı bırakır, dumanı beyazdır, yanan mum gibi kokar.

- Poliaramid Lifler :

Üstün mekanik özelliklerinden dolayı organik lifler arasında farklı bir öneme sahiptir. Elastisite modülleri 70.000 – 130.000 MPa arasında ve Çekme dayanımları 3000 MPa' a varmaktadır. Ayrıca korozyona karşı dirençli olup, düşük özgül ağırlığa(1.4 g/cm^3) sahiptirler [40].

- Polyester Lifler:

Polyester, ısı ile şekil almaya çok müsait, deformasyondan sonra eski halini alabilen bir liftir. bu lifler etil asetat monomerlerinden oluşur. Fiziksel ve kimyasal özellikleri üretim tekniklerinin değişimiyle değiştirilebilir. Polyester yumuşama noktası 260 $^{\circ}\text{C}$ olup, 180 $^{\circ}\text{C}$ de normal şartlarda ki dayanımının yarısına sahiptir. Yüksek elastiklik modülüne(19000 MPa) ve 1000 MPa çekme dayanımına sahiptirler .Bu liflerin betonla aderansı çok iyidir. Asitlere karşı genel olarak dayanıklıdır. Bu özellik beton uygulamaları için çok önemlidir. Polyester lifleri, sentetik lifler arasında en çok üretilen ve tüketilen

lifler arasında yerini almıştır. Bu lifler, alevde erir, sonra yanar, dumanı siyah ve isidir, tatlı aromatik keskin kokuludur [45].

- Selülozik Lifler:

Çekme dayanımları 200-1500 MPa gibi geniş bir değişim aralığında ve 5000 ile 40000 MPa arasında elastisite modülüne sahiptir. Kolaylıkla temin edilebilen bir malzemedir. Bu nedenle asbest lifler yerine kullanılmaları mümkündür [38].

- Polivinil Alkol Lifler:

Elastisite modülü 25000 MPa ve çekme dayanımı 1000 MPa' a varan polivinil alkol lifler mevcuttur. Kısmen alkali ortam direncine sahiptirler ve yaşlanma etkilerine karşı de dirençlidirler [38].

1.3.6. Çelik Lifler ve Özellikler

Çelik lifler ya karbon çeliğinden yada paslanmaz çelikten yapılırlar. Dayanımı 400-1500 MPa arasında değişir. Soğukta işlem görmüş karbon çelik lifler için ise bu dayanımı 4000 MPa' i aşmaktadır, çelik lifin özgül ağırlığı yaklaşık olarak 8 gr/cm^3 ve Elastisite modülü ise 200,000 MPa olmaktadır.

Çelik liflerin çapları 0.13-10 mm arasında, narinlikleri ise (uzunluk/çap oranı) 30 ile 150 arasında değişmektedir. Lif boyları 13 mm ve 70 mm arasında, genellikle lif hamcı % 0.5 ile %3 arasında değişmektedir.

Çelik liflerin en önemli nitelikleri yüksek ve üniforma çekme gerilmesine karşılık düşük uzama özellikleridir. Özellikle çekme ve kesme kuvvetlerine çalışan liflerin beton ile aderansı lifli betonun işlevini olumlu ya da olumsuz yönde etkiler. Dalgalandırılmış ve uçları bükülmüş liflerin çekme kuvvetleri etkisi ile matrizen ayrılması düz liflere göre daha zordur. Çelik liflerin yüksek çekme dayanımları sayesinde kırılıp kopmaları çok zordur.

Çelik lifler ile güçlendirilmiş betonların genel uygulamalarında yüzeyi kaplanmış çelik lifler kullanılır. Bu tellerin tek sakıncası, özellikle beton vibrasyonlu master ile yerleştirilmiyorsa açıkta kalan tellerin paslanarak yüzeyde kırmızı pas lekeleri meydana getirmesidir. Aşırı paslanmanın olabileceği ortamlarda ve ön yapımlı beton elemanlarda galvanizlenmiş liflerin kullanılması daha uygundur. Bu liflerin teknik özellikleri diğerleri ile aynı olup, sadece korozyona karşı daha dirençlidirler [33].

Çelik lifler, Lifli betonlarda kullanılan metalik liflerin en yaygın olanıdır. Dayanımları ve elastisite modülleri yüksektir, bu çelik lifler, karbon çeliği veya paslanmaz çelikten üretilirler. Türk standardı TS 10513(1992) [41]da çelik lif sınıfları ve tipleri aşağıda verilmektedir:

A Sınıfı: Düz, pürüzsüz yüzeyli lifler

B Sınıfı: Bütün uzunluğu boyunca deforme olmuş lifler

Tip 1: Ay biçimi dalgalı lifler

Tip 2: Uzunluğu boyunca dalgalı (kıvrımlı) lifler

Tip 3: Üzerinde girintiler (çentikler) açılmış lifler

C Sınıfı: Sonu kancalı lifler ise;


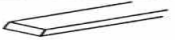
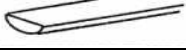








Tip 1: Tek ucu kancalı lifler

Tip 2: İki ucu kancalı lifler

Lifler pas, yağ ve petrolden arınmış ve temiz, çelik lifler düşük karbonlu çelikten soğuk çekme işlemi ile elde edilmiş olmalı, çekme-kopma gerilmesi ortalaması 345 N/mm^2 , her bir lif ise 310 N/mm^2 den az olmamalıdır. Çelikten soğuk çekme işlemi ile elde edilmiş olmalı, çekme-kopma gerilmesi ortalaması 345 N/mm^2 , her bir lif ise 310 N/mm^2 den az olmamalıdır [37].

Lif ile matris arasındaki bağın dayanımı, lifli betonların özelliklerini belirleyen en önemli faktörlerden birisidir. Bu bağın güçlendirilmesine hedef alınarak araştırmalar yapılmaktadır. Bu yöndeki çalışmaların bir sonucu çeşitli biçim ve deformasyonlarda liflerin üretilmesidir. Çelik liflerin tipik örnekleri Tablo 1.2’de verilmiştir.

Tablo 1.2. Çelik lifli betonların üretiminde kullanılan çelik lif çeşitleri [42].

En kesit	Yuvarlak	
	Yassı	
	Yarı yuvarlak	
Biçim ve deformasyonlar	Düz	
	Dalgalı	
	Kancalı uçlu	
	Genişletmiş uçlu	
	Çarpık	
	Yassı uçlu	
	Deforme edilmiş	
	Zikzak biçimli	

1.3.7. Çelik Liflerin Üretim Yöntemleri

Kullanılan çelik lifler, farklı şekillerde üretilmektedir aşağıda bu yöntemlerden bazıları verilmektedir.

- Blokların Öğütülmesi Yöntemi

Bu yöntemde çelik lifler, dönen bir kesici öğütücü vasıtasıyla üretilmektedir. Bu tür üretilen lifler düzensiz bir şekilde ve çekme dayanımları 700 MPa arasındadır.

- Yumuşatıp Çıkarma Yöntemi

Bu yöntem çelik liflerin üretiminin olduğu ilk yöntemdir, yumuşatılmış demir veya çeliğin kullanılmasıyla direk olarak elde edilme şeklidir. Bu yöntemde dönen dişli bir disk vasıtasıyla farklı enkesitlerde ve uzunlukta çelik lifler üretilmektedir [40].

- Tellerin Kesilme Yöntemi

Bu yöntemde çelik liflerin üretimi bir makine ile gerçekleştirilir. Belli bir hızda dönen iki şekil verici merdaneye ileten lifler istenen formda kesilmektedir. Liflerin yüzey özellikleri farklı olmakta ve çekme dayanımları 800 ile 1000 MPa arasındadır.[40]

- Çelik Levhaların İnceltilmesi Veya Kesilmesi Yöntemi

Lifler, ince metal yaprakların soyulması şeklinde üretilir. Bu tip liflerin uçları kancalı ve çekme dayanımları 400 ile 1000MPa arasındadır.[40]

1.3.8. Liflerin Mekaniği

Liflerin mekaniğini tanımlamak için birkaç parametreden bahsetmek lazımdır. Bu parametreler narinlik oranı, minimum etki uzunluğu (l_m), kritik uzunluk (l_c), uyum faktörü veya lif verimlilik faktörü ve mesafe faktörüdür.

a). Narinlik oranı : Lif uzunluğu / lif çapı

b). Minimum etki uzunluğu (l_m) : Liflerin beton matrisinde ilk çatlama mukavemeti üzerinde etkili oldukları minimum uzunluktur.

c). Kritik uzunluk (l_c) : Eğer çatlak lifi orta noktada keserse lifin ayrılmaktansa kopacağı mesafenin üstündeki uzunluk kritik uzunluktur. Kritik uzunluk;

$$l_c = (d / 2\tau) \sigma_f \quad (1.1)$$

Burada d: lif çapı, τ : yüzeysel aderans mukavemeti, σ_f : lif mukavemetidir.

d).Oryantasyon faktörü veya lif verimlilik faktörü;

Verimlilik, rasgele oryante edilmiş liflerin çekme kuvvetini herhangi bir yöne doğru taşıyabilmeleridir.

e). Mesafe faktörü; Eğer lifler yeterince birbirlerine yakınlarsa, ilk kopma dayanımı normal betonunkinden daha yüksektir çünkü lifler gerilme yoğunluk faktörünü azaltırlar ve

kırılmayı kontrol ederler. Boşluk faktörü için genel formül;

$$s = 13.8d \left(\sqrt{\frac{1}{p}} \right) \quad (1.2)$$

Burada d: lif çapı, p: lifin hacimsel yüzdesi ve s: boşluk oranıdır [37].

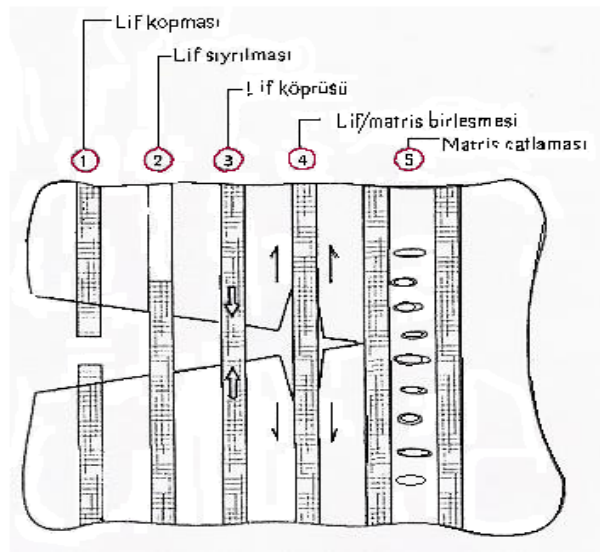
1.3.9. Lif- Matris İlişkisi

Lif ile matris arasındaki ilişki lifin performansını etkileyen önemli unsurlardandır. Çelik lifler, çatlak oluşumunun ardından köprü oluşturarak gerilmeleri çatlağın her iki yanında bulunan matrise aktarması ile çatlağın ilerlemesini engeller. Kullanılan liflerin, özellikle betonda çatlama başladıktan sonra yükün tamamını karşılayabilmeleri için matris

ile kuvvetli bir fiziksel ve mekanik bağ oluşturabilmeleri gerekmektedir. Lif ile matris arasında meydana gelen gerilme transferi için matrisin yoğun olması ve lif yüzeyini sarabilmesi gerekmektedir. Sıyrılmanın engellenmesiyle artan lif performansı, çatlağın ilerlemesi için gerekli enerji miktarını arttırmaktadır [43,44].

Lif matris ilişkisi söz konusu olduğunda matrisin çatlayıp çatlamaması önem kazanmaktadır. Çatlamamış matris-lif ilişkisi yüklemelerin başlangıcında neredeyse tüm kompozitlerde görülür. Lifler, matrise gelen yüklerden, rötreden, ısı değişikliklerinden, hidrasyon ısısından oluşan iç gerilmeleri matrisle arasındaki aderans sayesinde alarak betonun bütünlüğünü muhafaza eder. Beton da çatlaklar oluşuktan sonra ise lifler, çatlaklar arasında köprü oluşturarak yükü çatlak boyunca iletir (Şekil 1.2). Lifler üzerine gelen gerilmeler çatlağı durdurmak için yeterli olursa çatlak oluşumu kontrol altına alınır. Gerilmelerin artması halindeyse lifler ile matris arasındaki aderansa bağlı olarak lif sıyrılması veya kopması meydana gelir. Liflerin sıyrılması ve kopması halinde beton yük altında şekil değiştirebildiği için büyük oranlarda enerji yutabilmektedir [44,45].

Farklı uygulama alanları için aderans kuvvetini arttırmak amacı ile çeşitli geometrilerde lifler üretilmektedir. Bunlar kullanım amacına göre düz, dalgalı, pürüzlü, kanca uçlu, zigzaglı gibi çeşitli geometrilerde üretilmektedirler. Liflerin, bu farklı geometrilerde üretilmesiyle lif ve matris arasında aderansı olumlu etkileyen mekanik bir diş kuvveti oluşturulması amaçlanmaktadır [46,47].



Şekil 1.2. lif – matris ilişkisi

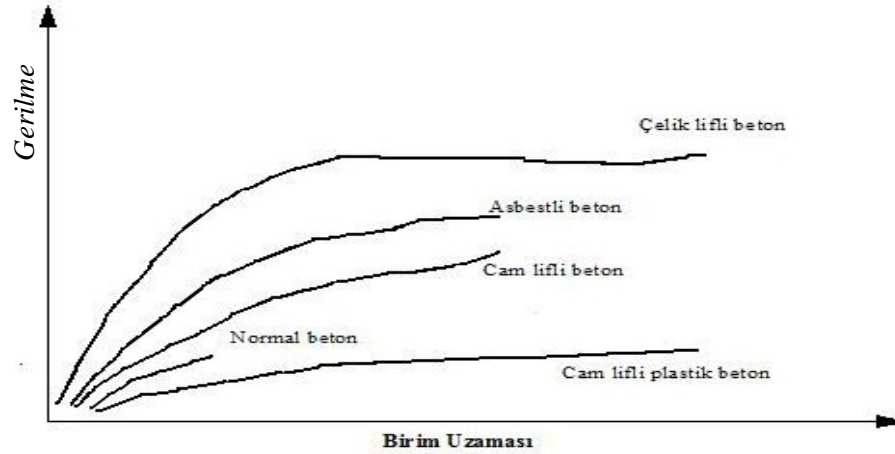
1.4. Lifli Betonların Tanımı ve Bazı Özellikleri

Agrega, hidrolik çimento ve su gibi temel bileşenler ile üretilmiş kompozit bir malzeme olan betonun özelliklerini değiştirerek iyileştirmek şartıyla taze beton içerisine çeşitli yöntemlerle değişik miktarlarda çelik, cam, karbon ve plastik Polipropilen gibi liflerin katılmasıyla elde edilen betona lifli beton adı verilir. Lifli beton, dağılmış gelişigüzel yönlenmiş lif ihtiva edilen betondur. Geleneksel beton, tipik olarak yorulma, kavitasyon, aşınma, çarpma dayanımı, çatlama sonrası yük taşıma dayanımı ve tokluk açısından zayıf bir performansı sağlar. Betonun bu özelliklerinin belirgin olarak gerektiği yerlerde, beton içine değişik malzemelerden üretilmiş ve teknik özellikleri yüksek liflerin katılması sonucu betonun zayıf özellikleri iyileştirilerek beton güçlendirilmiştir. Adına lifli beton denilen bu kompozit malzemelerin kullanılması sonucu, belli bir yapı için gerekli beton kütle daha narinleştirilerek tasarımlanabilme olanağına kavuşmuştur [12].

Lifli betonlar, yüksek çekme dayanımına, yüksek enerji yutma kapasitesine ve çatlak önleme etkisine sahiptir, şekli nedeniyle donatı yerleştirilmesi zor olan elemanlarda kullanılabilirler [48].

Lifli betonlarda donatı malzemesi görevi alan kullanılan liflerin, istenilen performansı gösterebilmesi için matris içerisinde homojen olmasına özen gösterilmelidir. Bir malzemenin lif olarak adlandırılması için, boy/çap oranının en az 10 olması ($l/d > 10$), lifin en büyük genişliğinin 0.25mm 'den ve en büyük kesit alanının da 0.05mm^2 den daha küçük olması gibi sınırlamalar getirilmektedir. ACI Committee 544'e göre bir lifi tanımlayan en uygun sayısal parametre lifin narinlik oranı olduğunu belirtilmişti. Lif boyunu, lifin kesit alanı kadar alanı olan bir dairenin çapı olarak tanımlanan eşdeğer lif çapına bölünmesiyle bulunan bu oranın, boyları 0.60 ile 7.60 cm arasında olabilen lifler için 30 ile 150 arasında değişmektedir.[49,50]

Lifli betonlarda kullanılan donatının eseri, donatı malzemesinin Elastisite modülünün, matrisin, elastisite modülünün yüksek olmasına bağlıdır. Şekil 1.3'te değişik tipte liflerle güçlendirilmiş betonların çekme etkisini altındaki davranış görülmektedir.



Şekil 1.3. Değişik tipteki lifli betonların çekme etkisi altındaki davranışlar

Şekil 1.3'ten de görülebileceği gibi beton içerisinde kullanılan liflerden Elastisite modülü en yüksek olan çelik lifler etkisi altında en iyi performansı göstermektedir. Şekilde hacimsel olarak değişik oranlarda lif içeren betonların basınç gerilmesi- birim boy değişimi eğrileri görülmektedir. Ayrıca beton içindeki lifin cinside bu özelliği etkilemektedir.

Belirli özellikleri olan liflerle takviye edilmiş lifli beton ilk görünüşte normal beton karışımlarına benzemesine rağmen, değişik yükler altında gösterdiği davranış ve performans açısından geleneksel betondan oldukça farklı bir özelliğe sahiptir. Sözü edilen davranış farklılığı, beton içerisinde gelişigüzel dağılan liflerin, çatlakların ilk oluşum anında çatlak sonlarındaki gerilmeleri kendi üstlerine ya da sağlam alanlara transfer ederek işlevlerini yerine getirmelerinden kaynaklanmaktadır. Bu şekilde betonu yıkılmaya götürecek olan çatlakların oluşumu ve büyümesi engellenir, kırılma daha büyük yüklerde meydana gelir.

Kompozitlerin ani yüklemelere ya da tekrarlı yüklemelere karşı yeterli dayanıma sahip olması ve yük altında yutulabilen enerji miktarının fazlalığı açısından liflerin sağladığı artış, lifli betonların avantajları arasında sayılabilir [51].

Betona lif ilave edilmesiyle yüklemeler altındaki davranışta elastik aşama sonrası değişiklikler elde edilmektedir. Bu değişiklikler aşağıda sıralan faktörlere bağlıdır.

- Beton hamurunun dayanımı
- Lif tipi
- Lif görünüm oranı(lif boyunun ve lif çapına oranı)

- Lif miktarı
- Lif dayanımı
- Lif dağılımı
- Lif modülü
- Lif yüzeyi, eğilme karakteristiği
- Agregaya boyut etkisi

Birçok pratik uygulamada karışımın ilk çatlama dayanımının artmadığı görülmüştür. En önemli iyileşim, çatlama sonrası davranışta ortaya çıkmaktadır. Bu durum en açık şekilde tokluk(enerji tüketme kapasitesi) davranışında görülebilmektedir. Mühendisliğe uygun olduğunda lif kullanımının en önemli avantajlarından biri yapıların veya yapı elemanlarının servis ömürlerini uzatabileceğidir [38]. Betonun farklı kullanım amaçlarına göre farklı çeşitlerde lifli betonlar üretilmektedir. Bu lifli betonların çeşitlerinden bazıları aşağıda başlıklar altında verilmektedir [40].

1.4.1. Doğal Lifli Betonlar

Genel olarak doğal lifler, taşıma gücü olmayan elemanlarda kullanılmaktadır. İşlenmiş ve işlenmemiş olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. doğal liflerin üzerinde bazı işlemler yapıldığında, ticari yönden, düşük kalınlıklı çimentolu ürünlerde kullanılmaktadır. İşlenmemiş olanlar(saman, at kılı) bir lif görevi aldığı ve çatlak önlemek için, harçlarda ve duvar tuğlalarında kullanılabilir.

1.4.2. Cam Lifli Betonlar

Cam lifli betonun mekanik özellikleri, lif miktarına, kullanırsa polimer miktarına, su/çimento oranına, boşluk oranına, kum miktarına, lif uzunluğuna, lif dağılımına ve kur şartlarına bağlı olmaktadır(ACI 544 1R1996) [7].

Cam lifli betonlar genel olarak, yüzey kaplamalarında, yenilemelerde ve eski duvar yüzeylerinin yenilenmesinde kullanılmaktadır. Taşıyıcı olmayan yapı elemanları için hafiflik sağlamaları önemli özelliğidir, ayrıca yangına koruma sistemlerinde metal kaplamalarda, yüzme havuzlarında, vb. alanlarda kullanılmaktadır.

1.4.3. Sentetik Lifli Betonlar

Sentetik lifli betonlar, petrokimya ve tekstil endüstrisindeki gelişmelerle ortaya çıkmış, çok çeşitli formülasyonları olan organik polimerlerden üretilmektedirler. Betonda akrilik, aramid, karbon, naylon, polyester, polietilen ve PP türleri kullanılmaktadır. Sentetik lifler 1965 yılında ilk olarak Amerika da patlamaya dayanıklı yapıların araştırılmasında kullanılmaya başlanmıştır. Elastisite modülü düşük olan Sentetik lifler; betonda oluşacak plastik çatlakları önleyici, darbe dayanımını ve tokluğu artırıcı rol oynarlar. Sentetik lifler arasında bulunan karbon, aramid, naylon, polietilen lifleri de elastisite modülü ve çekme dayanımı yüksek olmalarına rağmen maliyetlerinin fazla oluşu nedeniyle uygulamalarda PP liflere oranla daha az kullanılmaktadırlar [52,53].

1.4.4. Çelik Lifli Betonlar

Çelik lif donatılı betonlar, 60'lı yılların başında geliştirildi ve lif 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 lif donatılı betonlar için ilk uygulama alanlarından biri, elastik zemine oturan beton plaklar oldu. Bugün milyonlarca metrekare çelik lif donatılı zemin betonu dökülmektedir. Mikro çatlaklar arasında köprü görevini gördükleri ve gerilmeleri geniş bir alana transfer ettikleri için çelik lifler, kırılğan beton yapısını esnek ve dayanıklı hale getirmektedir. Sonuçta, gerilmelerin beton içindeki dağılımı değişmekte, yük taşıma kapasitesi belirgin bir şekilde artmaktadır. Tutkallı çelik lifler kolayca betona katılmakta ve homojen dağılmaktadır [54].

1.5. Çelik Lifli Betonların Genel Özellikleri

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

içerisindeki çelik lifi, betonun yapısını değiştiren ve ona plastik davranış özelliği kazandıran bir malzeme olarak nitelendirebiliriz. Çelik lifli betonun özelliği, onun arttırılmış plastik davranışı ve enerji yutma yeteneğidir [12].

1.5.1.Çelik Lifli Taze Betonun Mekanik Özellikleri

Taze betonun ilk akla gelen özelliği işlenebilirliğidir. İşlenebilirlik kavramı içerisinde betonun taşınmasını, yerleştirilmesini, sıkıştırılmasını ve homojenliğini barındırır.

Normal betonlarda olduğu gibi çelik lifli betonlarda da davranış ve özelliklerinin istenilen şekilde olabilmesi için betonun planlanmasından, bakımının tamamlanması dâhil bu üretim sürecinin doğru tasarlanıp uygulanması gerekmektedir. İlk bakışta her ne kadar karmaşık görünse de zorunluluklar yerine getirildiği zaman herhangi bir sorunla karşılaşılmamaktadır [51].

Schnütgen, çelik lifli betonun taze beton özelliklerinden bahsedildiğinde ilk akla gelenin betonun işlenebilirliği olduğunu belirtmiştir. Beton işlenebilirliği genel olarak onun yayılma derecesi ile tanımlanır. Düşük ve orta lif miktarına bağlı olarak azalır. Akışkanlık oluşturan katkı maddeleri ile daha düşük su/katkı değerlerinde daha iyi bir işlenebilirlik derecesi elde edilebilir [54,50].

1.5.1.1. İşlenebilirlik ve Kıvam

Betona çelik liflerin ilave edilmesiyle işlenebilirlik özelliklerinde bazı değişiklikler meydana gelir. Bugüne kadar yapılan bütün çalışmalarda betona eklenen çelik liflerin, betonun işlenebilirliğinde önemli derecede azalmalara neden olduğu ortaya çıkmıştır. Bu azalma üzerindeki en önemli iki etken, karışımdaki lif hacmi ve narinliğidir (uzunluk/çap). Yine yapılan araştırmalar çelik lif ile güçlendirilmiş betonların işlenebilirliğinin ölçümünde slump yönteminin az kullanıldığını ve ters çevrilmiş koni ve vb. yöntemlerinin uygun yöntemlerin olduğunu göstermektedir. Beton içerisinde çelik lif miktarının artması ile işlenebilirlikte azalmalar meydana gelmektedir. Ayrıca narinlik oranının artması da işlenebilirliği zorlaştırmaktadır. Çelik lif tipi ve geometrik şekli işlenebilirliği etkileyebilmektedir.

1.5.1.2. Çelik Lifli Betonların Karışım Esasları ve Üretim Teknikleri

Çelik lifli betonların karışım esasları, lifli beton uygulamalarının başarılı olabilmesi için diğer bir deyişle üretilen betondan istenilen performansın alınabilmesi için dikkat edilmesi gereken en önemli süreçtir. Normal betonlarda uyulması gereken kurallar her ne kadar lifli betonlarda dahi geçerli olsa bile, hem karışım hesaplarının tasarlanmasında hem çelik liflerin betonda kullanılması sonucu elde edilen malzemenin yeni karıştırma ve taşınma tekniklerini gerektirmesi nedeniyle değişiklik göstermektedir [56].

Çelik lifli betonun, yapı içerisinde hangi kısımlarda kullanılacağı ve hangi etkiler altında kalacağı üretilmeden önce tespit edilmelidir. Yani betonun, tasarım kriterleri maruz kalacağı etkilere göre (lif tipi seçimi, uzunluk/çap oranı, lif geometrisi, çimento miktarı, agrega vs.) belirlenmelidir [56,28].

Çelik lifli betonların karışımlarındaki beton yapısı ve kalitesi TS 10514'te(1992) verilmektedir[57] . Buna göre:

- Kum (0-4 mm) miktarı, toplam agrega kütlelerinin %40-%45'i olmalıdır.
- En büyük tane büyüklüğü, doğal agregalarda 28 mm, kırma taşlarda 32 mm olmalıdır. 14 mm 'den büyük agrega oranı, %20 den fazla olmamalıdır.
- Çimento miktarı en az 320 kg/m^3 ve su/çimento oranı en çok 0.55 olmalıdır.
- Betonun özgül basınç mukavemeti en az 20 N/mm^2 olmalıdır.
- Betona işlerlik sağlaması için akışkanlık verici katkıları kullanılabilir.

Betonda bulunması gereken 0.25 mm den küçük ince malzeme miktarı Tablo 1.1 de belirtilmiştir [57].

Tablo 1.3. Çelik lifli Betonlarda bulunması gereken ince malzeme miktarı

Maksimum Agrega Çapı	İnce malzeme miktarı (< 0.25 mm)	
	kg / m^3	L / m^3
8 mm	525	180-185
16 mm	450	150-155
32 mm	400	130-135
Not – (çimento özgül kütlesi) : $3.1 \text{ gr} / \text{cm}^3$ (kum yoğunluk) : $2.65 \text{ gr} / \text{cm}^3$ olarak alınmıştır.		

1.5.1.3. Çelik Lif Karışım Yöntemleri

Karışım anında sıkça gözlenen iki problem vardır. Onların birisi; çelik liflerin bir araya gelip topaklanarak karışımı güçleştirmeleri ve diğeri ise, karışım anında liflerin eğilerek deforme olmalarıdır. Bu problemlere karşılaşmamak için, betonun karışımında eğer lif miktarının artırılması gerekiyorsa, karışımında çimento ve ince agrega miktarı da artırılarak karışımın kohezyonunu arttırmalıdır. İşlenebilirliği sağlamak üzere akışkanlaştırıcı veya süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmalıdır. Birbirlerine bitişik lifler halinde betona katılan lifler, ayrılıncaya kadar karışım devam ettirilerek üniforma bir dağılım sağlanmalıdır. Liflerin karışıma verilmeden önce dağılmasını sağlamak amacıyla, betonyer teknesi üzerinde bir sarsıcı konularak liflerin tek tek ayrılması sağlanmalıdır. Beton içine lif katılması işi yavaş yavaş yapılmalıdır.

Çelik lifli betonların hazırlanmasında belli başlı üç yöntem vardır. Bu yöntemler ve karıştırma kuralları TS 10514'de belirtilmiştir.

a) Beton Santralında Karışım Yöntemi

En başarılı ve kolay yöntem beton santralinde liflerin karıştırılmasıdır. Bu yöntemde işlemlerin sırası;

- Kum, çakıl ve çelik lifler bir konveyör bandı aracılığı ile karıştırma kazanına verilebildiği gibi, beton santralının tartı kovalasına da konabilir. Her iki durumda da, çelik lifler kum ve çakılın üzerine dökülmelidir.

- Karışıma, çimento, su ve gerekli ise uçucu kül ve katkı maddesi ilave edilmelidir.

- Bütün lifler ayrılıp dağılıncaya kadar karıştırılmalıdır. Gerekli süre mikser tipine bağlı olup, bu süre 1-2 dakika olmalıdır.

- Karıştırma kazanı içinde hazırlanan betona lifler en son olarak da ilave edilebilir.

Bu durumda lifler tek tek ayrılıncaya kadar devam etmelidir [12].

b) Transmikserde Bütün Malzemelerin Karıştırılması Yöntemi

- Agrega ve lifler transmiksere konarak karıştırılmalıdır.

- Çimento ve su ilave edilmelidir.

- Miske çalıştıktan 2-4 dakika sonra karışım kontrol edilmelidir.

- Homojen karışım gözle fark edilmelidir. [12]

c) Transmikserde Bulunan Hazır Betona Liflerin İlave Yöntemi

- Diğer karıştırma yöntemleri mümkün olmadığında zaman uygulanır.

•Yüksek su/çimento oranından kaçınmak için akışkanlık verici katkı maddeleri kullanılmalıdır.

• Transmikserle konan beton, mikser kapasitesinin %80'ini aşmamalıdır.

• Lifler, mikserle 20–30 kg/dak hızı ile ilave edilmeli ve bu esnada mikser tamburu en yüksek hız ile çevrilmelidir.

• Karıştırma zamanı mikser tipine bağlıdır. Bütün lifler betona karıştırıldıktan sonra mikser kısa müddet ile durdurulmalı ve lif dağılımı göz ile kontrol edilmelidir. Homojen dağılım elde edilemezse, transmiksere bu karışım yöntemi için uygun olmadığına karar verilmelidir[12].

1.5.1.4. Çelik Lif Kullanım Oranları

Homojen bir beton karışımı elde edebilmesi için çelik lif miktarını kullanım sınırı aşılmamalıdır. Çelik lif katkılı betonun karışımını kolaylaştırmak ve gerekli olduğu lif miktarını arttırmak için ince agrega kullanılmalıdır. Taze betonda; homojen lif dağılımı, gözle kontrol edilmeli, birbirlerine yapışık lifler halinde betona karıştırılan lif demetler veya lifler betonda tamamen dağılıp, ayrılincaya kadar beton karışımı devam ettirilmeli ve homojen dağılım gözle fark edilmelidir. Lif takviyeli beton, döküm yerine kamyon ve transmiksere vasıtasıyla nakledilebilir. Betona karıştırılacak en fazla lif miktarı, agreganın en büyük tane çapına ve uzunluk/çap oranına bağlı olarak Tablo 1.8'de gösterilmiştir (TS 10514, 1992) [57].

Tablo 1.4. Betonlara ilave edilen maksimum çelik lif miktarı, (kg / m³)

En büyük tane çapı (mm)	Uzunluk / çap = 60		Uzunluk / çap = 75		Uzunluk / çap = 100	
	Normal	Pompa	Normal	Pompa	Normal	Pompa
4	160	120	125	95	95	70
8	125	95	100	75	75	55
16	85	65	70	55	55	40
32	50	40	40	30	30	25

1.5.1.5. Çelik lifli Beton Karışımının Kalıba Yerleştirilmesi

Çelik lifli beton, hidrolik çimento, ince ve iri agrega ve süreksiz dağılı küçük liflerden oluşan kompozit bir malzemedir.

Geleneksel beton donanımları, çelik lifli betonun yerleştirilip sonlandırılmasında yeterli olabilmektedir. İç veya dış vibratörler betonun sıkılanmasında kullanılmaktadır. Çelik lifli betonun kuru, donma, aşırı sıcak ve soğuktan korunması geleneksel betonlarda yapıldığı şekildedir. Bazı çelik lifli beton uygulamalarında yüksek dozda çimento kullanıldığından, plastik büzülme çatlaklarının oluşumunun engellenmesi için aşırı sıcaklıklara karşı gölgelendirme yapılmalı ve rüzgar etkilerinden korunmalıdır [40,43].

Lifli betonlarda normal betonlar gibi zamanla mukavemet kazanır. Benzer şekilde ilk zamanlarda düşük mukavemete sahiptir. İlk günlerde betonun mukavemetinin düşük ve aderansının zayıf olması, çatlakların meydana gelmesine, çatlakları yarıda kesme etkisinin azalmasına neden olabilir. Böylece, çatlama neden olan sebepler örneğin rötre, zayıf kür koşulları, zamansız kalıp almalardan, normal betonlarda olduğu gibi kaçınılmalıdır [58].

1.5.2. Çelik Lifli Sertleşmiş Betonun Özellikleri

Bilindiği gibi beton çekme mukavemeti basınç mukavemetine kıyasla oldukça küçüktür. Betona belirli bir oranda çelik lif eklenerek çekme ve eğilme mukavemeti başta olmak üzere birçok mekanik özelliği iyileştirilmektedir[28].

Beton prizini tamamladıktan sonra, lifler betonun sertleşmiş özellikleri örneği enerji emme kapasitesi, darbe dayanımı, ilk çatlak dayanımı, elastisite modülü, çekme dayanımı, aşınma dayanımı gibi mekanik özelliklerinin iyileştirmesini etkilemektedir [59].

1.5.2.1. Çelik Lifli Betonlarda Basınç Dayanımı

Çelik lifli betonların basınç yükü etkisindeki davranışları incelendiğinde, liflerin betonun basınç dayanımında her zaman olumlu bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Bazen betonun basınç dayanımını artırırken bazen de dayanım kayıplarına sebebiyet verdiği görülmüştür. Ayrıca liflerin uygulanan basınç yüküne göre yönelimi, lifli betonların basınç dayanımı üzerinde etkili olduğu ortaya çıkmıştır[59].

Araştırmalarda betona eklenen çelik liflerin, betonun basınç ve çekme dayanımlarını etkilediği ortaya çıkmıştır. Bu etkinin olumlu veya olumsuz olması liflerin betondaki dağılımına göre değişir. Yükleme eksenine dik olan liflerin dayanım üzerinde herhangi bir etkisi yokken, yükleme eksenine paralellikleri arttıkça dayanıma olan olumlu etkileri de artmaktadır[28].

Çelik lifli betonlarla ilgili yapılmış farklı araştırmalar, liflerin betonun basınç dayanımında yaklaşık %25 'lik bir artış sağladığını, bazı araştırmalar ise liflerin basınç dayanımında bir etkisinin olmadığını ortaya koymuştur[60]. Liflerin basınç dayanımındaki etkisi, liflerin betondaki yönelimiyle ilişkilidir. Betona uygulanan yükleme düzlemine dik liflerin basınç dayanımı üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı kabul görmüştür. Betondaki yükleme düzlemine paralel olacak şekilde yerleştirilmiş liflerde ise bu etki basınç dayanımını attırmaya yöneliktir.

1.5.2.2. Çelik Lifli Betonlarda Eğilme Dayanımı

Çelik liflerin eğilme dayanımındaki etkisi çekme ve basınç dayanımındaki etkisinden daha fazladır. Çelik lifli betonların nihai eğilme dayanımı normal betonlara göre %50 - %100 arasında daha yüksektir. Bu yükselme, çelik liflerin yüksek çekme dayanımı ile ilişkilidir. Çimento hamuru matrisinin çatlamasının ardından çatlak sonlarından gerilme transferi ve dağılımı yaptığı için yük, ilk çatlaktan sonra bir miktar daha artar. Böylece maksimum eğilme yükü normal betonlara kıyasla daha fazla olur[59].

Eğilme dayanımını etkileyen faktörler, çelik lifli betonların diğer dayanımında da görüldüğü üzere lifin şekli, görünüm oranı, lif hacmi, deney numunesi boyutları ve liflerin betondaki dağılımlarıdır. Fakat dayanımda önemli olan beton ile lif arasındaki aderans gerilmesini arttırmaktır.

1.5.2.3. Çelik Lifli Betonlarda Çekme Dayanımı

Betonda çekme etkisi yaratacak kuvvetlerin meydana getireceği şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı betonun gösterebileceği direnç, betonun çekme dayanımı olarak tanımlanır[15].

Romualdi ve Mandel 1963 yılında betonun çekme dayanımını arttırmak amacı ile ilk çalışmaları başlatmışlardır. Betonun çekme bölgesinde birbirine paralel olarak

yerleştirilmiş ince teller bulunan kirişler ile yaptıkları deneylerde, kirişin eğilme dayanımının arttığını ve kırılma yüküne kadar çatlakların fazla büyümediği sonucuna varmışlardır. Eğilme deneylerinde, maksimum eğilme yükündeki şekil değiştirmelerin lif miktarının ve boyutunun artması sonucunda önemli bir artış gösterdiği vurgulanmaktadır. Betonun içine lif katılması, ilk çatlak oluşumunda, gerilme ve deformasyonlar üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Ancak bu etki maksimum yüklemeye alınan sonuçlara kıyasla daha azdır[61,50].

Çelik lifli betonların çekme dayanımları geleneksel betonlara kıyasla daha yüksektir. Çelik lifli betonların çekme dayanımları lifin şekline, görünüm oranına , lif miktarına, liflerin betondaki dağılıma şekline ve lif aderansına bağlı olarak geleneksel betonlara oranla %25 - %100 arasında artış gösterdiği kaydedilmiştir[59].

Soroushian ve Lee [62] araştırmalarında geleneksel betonun çekme dayanımının çok düşük olduğunu göz önünde bulundurarak, betonun çekme dayanımını arttırmada yararlanılabilecek yollardan birini, betonun içyapısında bulunan kusurların büyümesini ve çoğalmasını engellemek olarak belirtmişlerdir. Betona homojen bir şekilde çelik lif eklenmesinin, bu kusurların ve gerilmelerin sonucunda oluşacak çatlakların büyümesini ve yayılmasını önlemek için uygun olacağını belirtmişlerdir [50].

1.5.2.4. Enerji Yutma Kapasitesi (Tokluk)

Çelik lif donatılı betonların karakterize eden en önemli özelliklerden biri, onun tokluğudur, başka bir deyişle, enerji yutma kapasitesidir. Tokluk, beton içindeki çelik liflerin rolüne bağlıdır ve lifli betonların işlevselliği değerlendirilirken esas alınan bir parametredir. Bu özellik çelik lifli betonun lif miktarı, narinlik oranı, lif boyu, lif geometrisi ile yükleme hızı ve numune boyutları gibi faktörlerden etkilenir. Bu sözünü ettiğimiz, enerji yutma kapasitesinin ölçümü JSCE-SF4 Japon, ASTM 1018 USA[63], TS 10515 [64] standartlarında belirtilmiş ve yük-deformasyon eğrisi altında kalan alanın hesaplanması ile bulunur. Betondaki lif içeriğinin artması, lif boyunun ve narinlik oranının büyümesi ile betonun tokluğu da artmaktadır [5].

1.5.2.5. Çelik Lifli Betonlarda Yorulma Dayanımı

Malzemeyi kırmak için yeterli olmayan elastik limitin altındaki gerilmelerin peş peşe tekrarlı bir şekilde uygulanması sonucunda malzemede meydana gelen ani ve gevrek

kırılma olayı yorulma olarak adlandırılmaktadır. Yorulma dayanımı ise belirli sayıdaki yük tekrarı altında, malzemenin kırılmadan direnebileceği en büyük gerilme değeridir[15].

Betonda meydana gelen çatlaklar, betonun yük taşıma kapasitesini ve böylece yorulma dayanımını da düşürür. Çelik lifli betonlarda lif hacminin artması, yorulmaya karşı olan direnci arttırmaktadır [65]. Bu yüzden yorulma dayanımı arttırılmak istenen geleneksel donatılı yapı elemanlarının çelik liflerle güçlendirilmesi uygun görülmektedir.

Betondaki yorulma sınırı, 10 milyon yük tekrarına denk düşen gerilme değeri olarak tanımlanmaktadır. Lif tipi ve içeriğine göre, çelik lifli betonlarda 2 milyon yük tekrarında yorulma dayanımı, statik eğilme dayanımının %65 - %90'ı arasındadır. Normal betonlarda yorulma sınırı, genellikle statik eğilme gerilmelerinin %50 'si kadardır. Normal betonlarda betona 30 – 40 kg/m³ lif ilave edilmesiyle bu sınır %80 'a kadar ulaşır [50].

1.5.2.6. Çelik Lifli Betonlarda Rötire

Rötire genel olarak betondaki hacimsel büzülme şeklinde tanımlanır. Priz süresince ve sonrasında çeşitli nedenlerle meydana gelen çekme gerilmelerinin karşılanmaması ve bu sebeple oluşan çatlakların büyüyerek çoğalması rötrenin oluşum mekanizmasıdır. Rötire oluşumunun en önemli sebebi, makro ve mikro boşluklarda bulunan suyun, beton bünyesinden uzaklaşması olarak gösterilir. Ortamda bulunan suyun uzaklaşmasıyla betonda hacimsel büzülme ortaya çıkar. Betonda oluşan bu hacimsel büzülme, termik, plastik (erken, bünyesel), hidrolik (kuruma) ve karbonatlaşma rötresi olarak dört grupta incelenebilir [15].

Genellikle katkısız betonun ve lifli betonun büzülmesini etkileyen faktörler benzerlik gösterir. Bunlar sıcaklık, bağıl nem, malzeme özellikleri, kür süresi ve numune boyutları şeklinde sıralanabilir. Betona çelik lif eklenmesiyle rötrenin lifsiz betonlara kıyasla daha kısa sürede tamamlanması sağlanır. Araştırmalarda kuruma büzülmesi sınırlandırıldığında liflerin etkisinin olmadığı veya katkısız betondan daha az büzülmeye neden olduğu görülmüş ve sadece kuruma büzülmesini sınırlamak için lif katılacaksa, kısa ve rasgele dağılmış liflerin, uzun liflere kıyasla daha yararlı olacağı sonucu ortaya konmuştur. [66].

Betonda çelik lif kullanımı, meydana gelen çekme gerilmelerinin bir miktarının liflerce alınıp, matristeki gerilmelerin çatlaksız bölgelere aktarılmasını sağlar. Bunun yanında çelik lifler betonda oluşan çatlakların ilerlemesini sınırlar, yorulma, darbe, rötire veya ısısal gerilmeler benzeri etkenlere karşı betonun direncini artırır [4].

1.5.2.7. Çelik Lifli Betonlarda Dayanıklılık

Donma çözülme olayı fiziksel bir faktördür. Islanarak doymun hale gelen ve donma çözülme devirleri etkisi altında kalan tüm betonlar kısa sürede hasar görmektedir. Donma çözülme tekrarları karşısında, betondaki iç gerilmelerden dolayı, beton yüzeyindeki agregalar gevşeyip kopmakta, betonun içerisinde çatlaklar oluşmakta ve bu çatlaklar zamanla daha büyük çatlaklara dönüşmektedir. Şiddetli ortamda çok sayıda donma çözülme olayı, en iyi betonlarda bile kısa sürede büyük hasar meydana getirebilmektedir [15].

Çelik liflerin betonların donma-çözülme direncine etkisi önemli düzeyde değildir. Buna karşılık çelik lifler mikro çatlak oluşumunu ve yayılmasını geciktirir. Buna bağlı olarak donma-çözülme esnasında betonun göçme ve hasar görmesini yavaşlatır. Göçme modundaki bu iyileşme çelik lifin çatlak köprülenme etkisine ve çatlak tutma becerisine bağlı olmaktadır. Dolayısıyla çelik lif donatılı betonların donma-çözülme etkisinde kütle kaybı normal betonlardakine benzer olmaktadır. Çelik lifler genel olarak betonların aşınma, erozyon ve kavitasyon dirençlerini ise artırmaktadır [5].

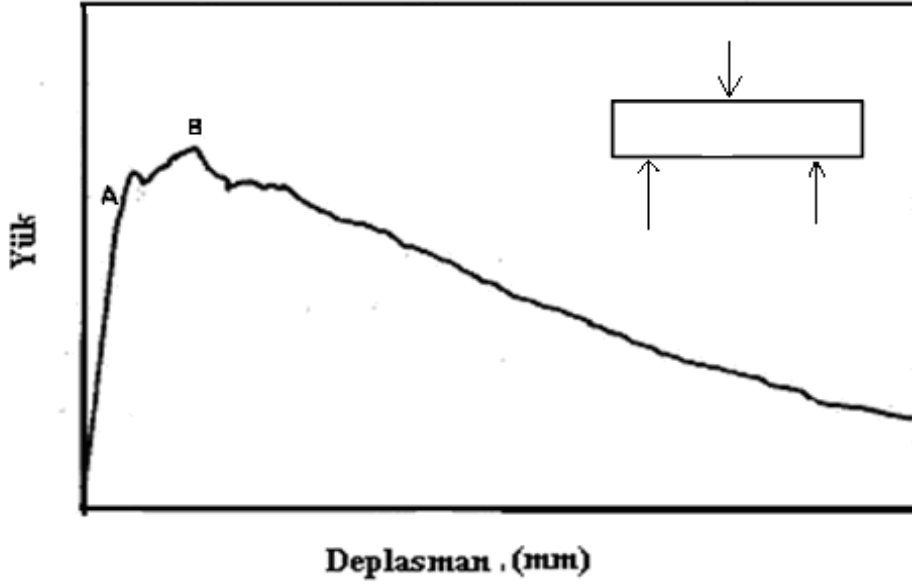
1.5.3. Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Betonun Yük Altındaki Davranışı

Genelde çelik lifler kullanıldıkları betondaki donatılara yardımcı olur. Bunun yanında betonda oluşan çatlakların büyümesini önler. Ayrıca, betonun, darbe, yorulma, rötre veya ısıl gerilmeler gibi etkenlere karşı direncini de artırır [4].

Statik hesaplamalarda, beton homojen bir malzeme olarak, çelik liflerde eğilme momentini karşılayan çubuk veya hasır donatı olarak görülmemelidir. Çelik lifleri, betonun yapısını değiştiren, onu plastik davranışa zorlayan bir malzeme olarak düşünebiliriz. Çelik lifli betonun özelliği, arttırılmış elastikiyet ve enerji yutma yeteneğidir. Çelik liflerin özellikle kritik yüklemelerde, beton iç gerilmeleri çökme sınırına ulaştığında beton içerisindeki rolü daha iyi açıklanır.

Şekil 1.4'te görüldüğü gibi çelik liflerle güçlendirilmiş beton yüklendiği zaman gerilme - deformasyon eğrisinin, orijinden A noktasına kadar doğrusal olduğu kabul edilir. A noktasından itibaren eğri önemli ölçüde doğrusallıktan sapar ve maksimum gerilmenin olduğu B noktasına ulaşır. A noktası veya bu noktaya uygun düşen kuvvet “ ilk çatlama kuvveti”, “elastik limit” veya “orantılı limit” olarak adlandırılır. B noktasına ulaşan

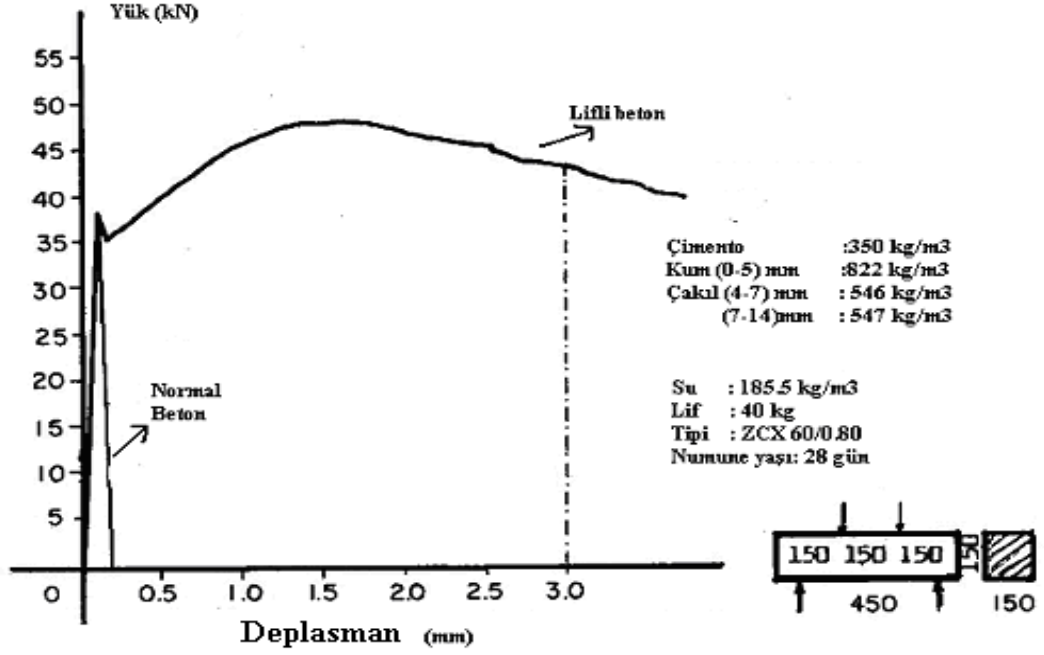
gerilme nihai dayanım olarak tanımlanır. İlk çatlama dayanımı, nihai dayanım ve yükün B noktasından sonraki azalma hızı, önemli ölçüde betonda kullanılan liflerin miktarına, görünüm oranına, beton içerisindeki yönelimine ve mekanik özelliğine bağlıdır. Şekil 1.4'ten de görüldüğü üzere çelik lifli betonda yükün P_{max} ' tan itibaren azalma hızı çok düşüktür. Bu 3-4 mm deformasyona kadar P_{max} 'ın % 70-80'ine denktir.



Şekil 1.4. Çelik Lifli betonun yük-deplasman grafiği

Bu olayı daha iyi açıklayabilmek için Şekil 1.5 incelendiğinde; lifsiz betonun maksimum yükte kırılma sonrası gösterdiği yükün azalma hızı çok yüksek olup yapabileceği maksimum deformasyon da çok düşüktür. Çelik liflerle güçlendirilmiş betonda ise maksimum yükten sonra gerilmenin daha da arttığı görülecektir. Beton maksimum yükte kırıldıktan sonra kısa bir aralıkta ani olarak düşer, bu düşme matrisin dağılması ile ilgilidir. Bu düşmeden sonra matris üzerinden boşalan gerilme çelik lifler tarafından taşınır. Yani matristen çelik liflere bir gerilme transfer söz konusudur. Çelik liflerin çekme dayanımlarının yüksek olması sonucu gerilme taşıma kapasiteleri daha fazla olup, yük altında sünek bir davranış gösterirler. Bu nedenle beton P_{max} 'tan sonra şekilden de görüleceği üzere belli bir deformasyon değerine kadar maksimum yükten daha fazla yük taşır.

Lifli betonlarda maksimum yükten sonra artan deformasyon sonucunda, yükün azalma hızı normal betonlara kıyasla çok yavaştır. Böylece liflerin matristen ayrılması ve uzaması nedeniyle emilen enerji ya da diğer bir deyişle meydana gelen deformasyon çelik lifli betonlarda oldukça yüksektir [37].



Şekil 1.5. Çelik liflerle güçlendirilmiş beton ile lifsiz betonun yük-deplasman davranışlarının karşılaştırılması [56].

Özetle, beton içerisindeki çelik lifler, yüksek çekme dayanımları ve beton matrisle arasındaki sürtünme sonucu oluşan aderans sayesinde dik olan liflerin yanıl deformasyonları azaltmaları sonucu beton tokluğu arttırarak büyütürler[67].

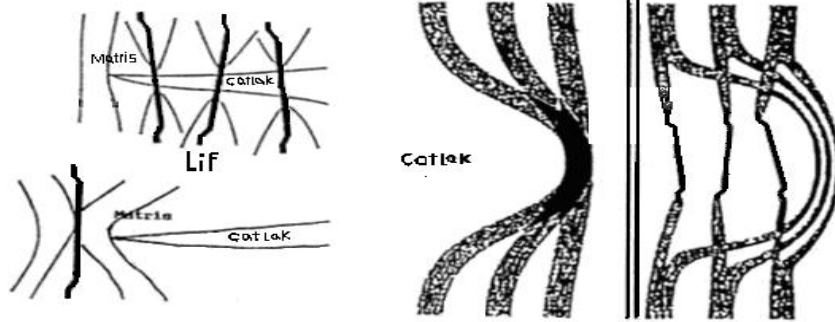
Birkimer ve Lindemann [68] darbe etkisi altında çelik lifli, lifsiz ve polyester betonlarının prizmatik ve silindir numunelerle dinamik çekme dayanımlarını kritik kırılma şekil değiştirme enerjisine bağlı olarak bir çalışma yapmış olup çok kanallı osiloskop kullanarak kırılma şekil değiştirmesi enerjisinin sabit olduğu kabulüne göre kırılma şekil değiştirmesinin şekil değiştirme oranının küp kökü ile veya kırılma gerçekleşme süresinin etkisini kare kökü ile orantılı olarak değişmekte olduğunu gösterdiler. Ayrıca çalışmalarında, dinamik etkileri altında betonun parçalanması olayının yapılan deneyle ilişkisini belirttiler [68,8].

1.5.4. Çelik Liflilerin Çatlak Yayılmasını Önlemesi

Betonda ikinci donatı görevi alan elemanlar liflerdir. Lif ile çelik donatıların betondaki etkinlikler farklıdır. Çelik donatı yük taşıma kapasitesini arttırmada rol oynarken, lifler çatlak kontrolünde görev alırlar[69].

Beton içerisinde dağılmış olan çelik lifler betonda çatlak oluşumunu büyük bir ölçüde azalttığı, betonun tokluğunu, şekil değiştirme kapasitesini, artırdığı ve süneklik seviyesi yüksek betonlar elde etmeye olanak sağladığı söylenebilir. Çelik lifler kendi çekme dayanımlarına ulaşıncaya kadar betonda basınç ve çekme yüklerinden dolayı meydana gelecek olan çok sayıdaki kılcal çatlak oluşumunu önlemektedir[70,71].

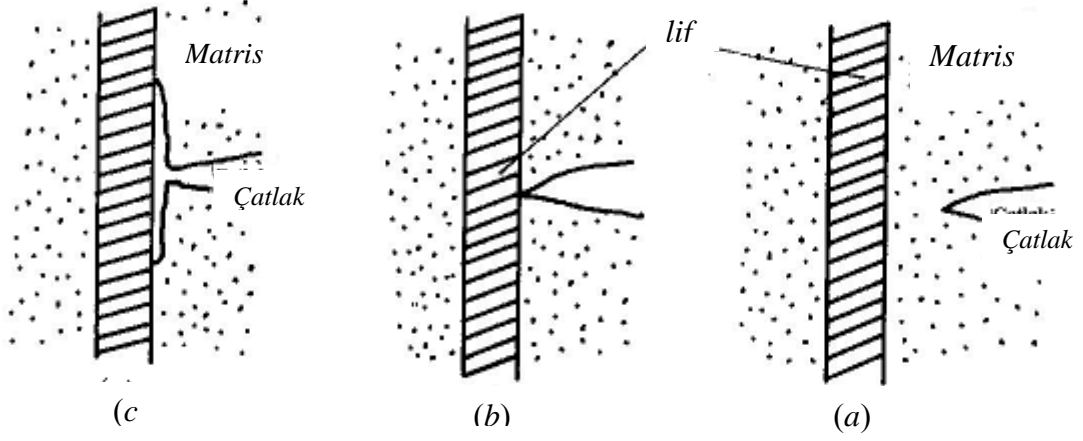
Lifli betonda, değişik gerilmeler ya da değişik nedenlerle meydana gelmiş çatlaklardan her biri çatlak ucuna yakın bir yerdeki bir lif ile takviye edilmiştir. (Şekil 1.6) Beton içerisinde lif bulunmaması durumunda betona herhangi bir gerilme uygulandığında meydana gelen mikro çatlaklar gerilmenin artması ile birlikte çeşitli yönlerde doğru yayılarak belli bir gerilme değerinde betonun parçalanmasına neden olurlar.



Şekil 1.6. Çelik lifli betonlarda liflerin çatlak sonlarını takviye etmesi sonucu çatlak yayılmasının durdurulması [56].

Lifsiz betonlarda gerilme ile başlayan mikro çatlaklar, gerilmenin artışı ile çeşitli yönde yayılarak belli bir gerilme değerinde betonun parçalanmasına neden olar. Lifli betonlarda ise ilk çatlaktan sonra çimento hamuru fazından çelik liflerle doğru bir gerilme transferi meydana gelir. Çelik liflerin miktarına ve geometrik şekillerine bağlı olarak, bu gerilmenin bir kısmını kendi üzerlerinde taşıdıkları gibi bir kısmını da matrisin hasarsız bölgelerine transfer ederler.

Beton iç gerilmeleri, özellikle kritik yüklemelerde çökme sınırına geldiğinde çelik liflerin beton içerisindeki davranışı daha iyi açıklanır. Çelik lifli betonlarda gerilme aktarımı Şekil 1.7’ de verilmiştir [72].



Şekil 1.7. Çelik lif takviyeli betonlarda lifler aracılığı ile gerilmenin dağıtılması

1.6. Çelik Lifli Betonların Kullanım Alanları

Genellikle, yapısal uygulamalarda çelik lifli beton kırılmayı önlemek için kullanılmaz, aynı zamanda betonun dinamik yükleme veya darbe mukavemetini arttırmak ve malzemenin dökülme, parçalanma ve dağılmasını önlemek için de betona çelik lif ilave edilmektedir.

Kirişlerde, kolonlarda ve kat döşemelerinde olduğu gibi diğer yapı elemanlarında da eğilme veya çekme kuvvetleri meydana gelmektedir. Bu basınç, eğilme ve çekme kuvvetlerinin birlikte oluşturduğu gerilmelerden dolayı yapı elemanlarının asal donatı ile birlikte çelik lifler ile kuvvetlendirilmesi mukavemeti oldukça önemli mertebede arttırılabilir. Çelik lifli düktilesi normal betona göre oldukça yüksektir. Bu yüzden çarpma etkisine, titreşimli yük etkisine ve dinamik yük etkisine karşı normal betona göre daha dayanıklıdır.

Deprem oluşması olasılığı yüksek olan bölgelerde, konutlar da dahil her türlü yapılarda kullanılması çok uygun olmaktadır.

Aşağıda çelik lifli betonun kullanım alanlarından bazı örnekler verilmiştir:

- Şev Stabilizesinin Sağlanmasında

Karayollarını ve demiryollarını kesen, yer üstündeki kaya veya topraktan oluşan dik şevlerin veya toprak setlerin stabilizesinin sağlanmasında çelik lifli beton ayrıca kullanılır (Şekil 1.8).



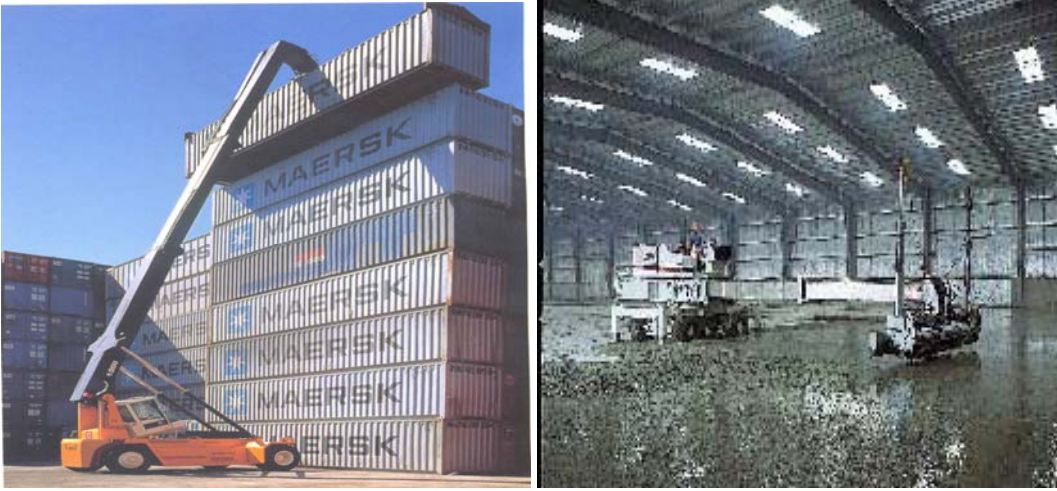
Şekil 1.8. Çelik lifli betonla şev stabilizesi

- Depreme Dayanıklı Yapıların İnşasında

Çelik lifli 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 liflerin betonda kullanılmasının önemi karşı karşıya bulunduğumuz depremin yapılarda meydana getirdiği hasarlar incelendiğinde daha iyi anlaşılacaktır [28].

- Endüstri Yapılarında

Çelik lifli beton, sahip olduğu üstün mekanik özelliklerine örneğin çarpma dayanımı, tokluk aşınma direncine göre endüstriyel döşemelerde giderek artan bir kullanım oranına sahiptir (Şekil 1.9).



Şekil 1.9. Endüstri Yapıların döşemelerinde çelik lif kullanımı

- Hidrolik Yapılarda

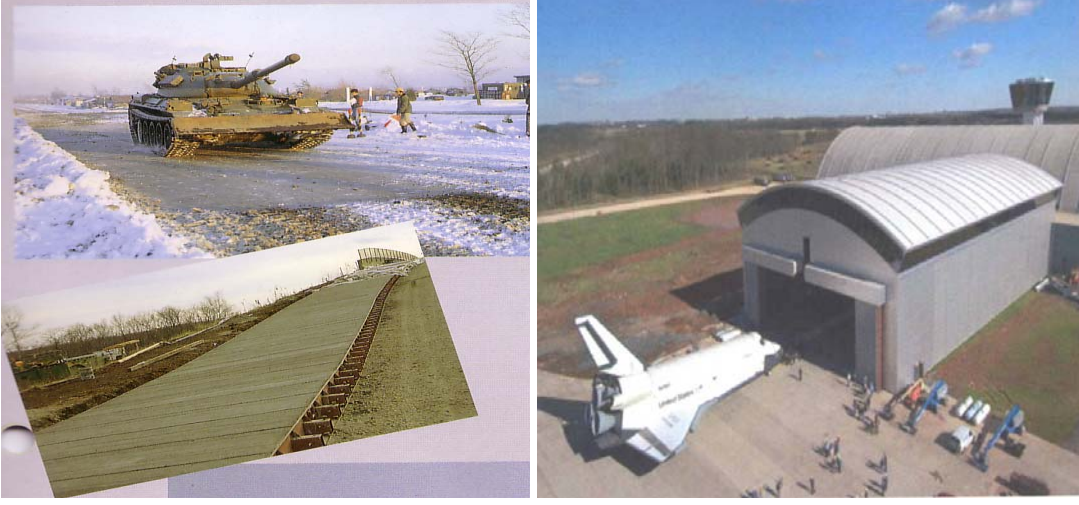
Barajlar, kanallar, limanlar, dinlendirme havuzları ve dolu savaklarda plak yerine veya aşınmaları engellemek amacıyla, kaplama olarak kullanılır (Şekil 1.10).



Şekil 1.10. Baraj ve limanlarda çelik lifli beton kullanımı

- Yol Döşemelerinde

Çelik lifli betonların yüksek yorulma ve darbe dayanımına sahip olmaları, araç tekerleklerinden doğan tekrarlı yüklerin ve darbelerin kolayca karşılanmasını sağlar. Dizayn kriterleri belirlenirken, bölgedeki sıcaklık değişimleri, zemin oturmalarından meydana gelebilecek deformasyonlar, derz açıklıkları ve rötire tesirleri göz önüne alınır. Çelik lif, yol, Köprü ve hava alanı gibi milyonlarca metrekarelik yerlerde günümüze kadar başarıyla uygulanmıştır (Şekil 1.11).



Şekil 1.11. Ağır yükler altındaki yollar da ve havaalanında lifli betonun kullanımı

- Kolon-kiriş birleşim bölgesinde

Kolon-kiriş birleşim yerlerinde, etriye yerine lif kullanılması dinamik yükler üzerindeki etkisini araştırmıştır. Kolon kiriş birleşim yerinde ve yüksek kesme etkisinin meydana geldiği yerlerde çelik lif ile gözlem yapılmıştır. Kıyaslama için geleneksel birleşim biçimi, 100 mm aralıklı etriye yerleştirilmesi olarak ayarlanmıştır. Geleneksel şekilde boyutlandırılmış birleşim yerinde bazı çatlaklar meydana gelirken, çelik lifli birleşim yerinde ise çatlamanın oluşmadığı ortaya konmuştur. Çelik lifli birleşim yeri daha fazla moment taşıma kapasitesi sağlamıştır (Henager, 1977). Çelik lifli beton kullanılması ile birleşim bölgesinde dayanım, süneklik ve enerji tüketiminde ciddi artışların olduğu ortaya çıkmıştır.

- Püskürtme beton uygulamalarında

Genellikle aşırı kum katılmış karışımları olan püskürtme karışımlar, rötre çatlaklarının artmasına neden olduğunda fazla çimento kullanımına ihtiyaç duyarlar. Tünellerde ve maden ocaklarında zeminin desteklenmesi için genellikle kaya ankraj bulonları ile birlikte kullanılmaktadır. Bu şekildeki kullanımın klasik kullanıma göre avantajları üç grupta özetlenebilir. Kullanılan toplam beton miktarından tasarruf sağlanmaktadır. Ayrıca hasır çelik ve üst kaplama yapılmamaktadır. İlave olarak ta işlem miktarı azaldığından yapım süresi daha da kısalmaktadır (Şekil 1.12).



Şekil 1.12. Tünellerde çelik lifli betonun püskürtmeyle kullanımı

- Ön Yapımlı Beton Elemanlarda

Çatlak oluşumunun ve yayılışının önlenmesi, beton elemanın yük altında daha elastik davranabilmesi için, dinamik yüklere karşı daha mukavim davranabilmesi, hasır çeliğin kaldırılarak daha ekonomik bir üretimin sağlanması amacıyla beton borular, cephe ve bölme panellerinde, süzgeç vb. gibi üç boyutlu elemanlarda kirişlerde kullanılır (Şekil 1.13). Bu uygulamalarda daha çok uzunluk/çap oranı olan ve paslanmaz çelik liflerden kullanılır[12].



Şekil 1.13. Çelik liflerin ön yapım beton elemanlarda kullanımı

1.7. Çelik Lifli Betonlar ile İlgili Yapılan Bazı Çalışmalar

Wafa ve Ashour (1992), yüksek mukavemetli beton içerisine çelik liflerin ilave edilmesi ile betonun mekanik özelliklerine etkisini incelemişler ve deneysel çalışma sonucunda çelik liflerin hacimce % 1.5 oranına kadar karışıma ilavesinin işlenebilirliği pek etkilemediğini belirlemişlerdir. Ayrıca lif ilavesi çatlak genişliğini azaltmış ve böylece betonun deformasyona karşı direncini artırmıştır. Betona % 1.5 oranında lif katılması basınç, eğilme ve çekme mukavemetini sırası ile %4.6, %67 ve %159.8 oranında artış olmuştur[73].

Arı ve ark. (2004), beton borulara çelik lif ilavesinin mekanik özelliklere etkisini araştırmışlardır. Araştırmada basınçsız su ve yağmur suyunu iletmek için yapılmış, uzunluğu boyunca ek yerleri hariç, en kesiti değişmeyen 500 mm anma çaplı betonarme borular kullanılmıştır. Borulara farklı cins ve oranlarda çelik lif ilave edilerek hasır donatılı borular ile çelik lifli boruların mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Deneyler sonucunda, çelik lif takviyeli beton borularda ilk çatlakların çok yüksek yüklerde meydana geldiği; çelik lif donatı içermeyen numunelerde çok gevrek bir şekilde kırılırken, çelik lif donatı içeren numuneler yüksek miktarda enerji emerek, kontrollü bir şekilde ve uzun sürede kırıldığı görülmüştür [3].

Luo ve arkadaşları (2000), çelik lifli betonların darbe yükleri altındaki davranışını araştırmışlar ve ürettikleri yüksek mukavemetli donatılı beton (donatıların çapı 6 mm) ve çelik lifli beton numuneler üzerinde yaptıkları deneylerde donatılı betonların darbe etkisiyle parçalandıkları buna karşılık lifli betonların parçalanmadan kaldıkları görülmüştür. Bu çalışmada ayrıca uzunluk/çap oranı 35 olan liflerin kullanıldığı betonlarda oluşan çatlakların, uzunluk/çap oranı 60 olan liflerin kullanıldığı betonlarda oluşan çatlaklara göre daha geniş olduğunu, böylelikle lifin geometrik şeklinin de betonun darbe mukavemeti üzerinde etkili olduğu sonucu çıkarılmıştır[74].

Sancak ve Ünal (1999) araştırmalarında, birim ağırlığı düşük, taşıyıcı ve yarı taşıyıcı blok eleman elde etmek için, pomza agregası ile üretilmiş olan betonlara çelik lif ilavesinin betona etkilerini araştırmışlardır. 28 günlük basınç mukavemetlerini karşılaştırdıklarında en yüksek artışın %1 oranında lif içeren yarı hafif betonda %67, hafif betonda ise %50 ile meydana geldiğini görmüşlerdir. Betondaki lif oranı %1'i aştığında ise basınç mukavemetinde azalma olduğu kaydedilmiştir[75].

Shah ve Gopalaratnam(1985), çarpma yüküne maruz kalan çelik lifle güçlendirilmiş betonların özelliklerini araştırmaları sonucunda, lifle güçlendirilmiş beton karışımlarının, güçlendirilmemiş karışımlardan, enerji emme ve dinamik dayanım yönünden daha yüksek değerlere sahip olduğu sonucuna varmışlardır[76].

Qian ve Stroeven (1999), üç farklı boyuttaki çelik ve polipropilen lifler üzerinde araştırma yapmışlardır. Beton içerisine %0 ve %0.95 arasında değişen oranlarda lif ilave ederek, 100x100x500 mm boyutlarındaki prizma numunelerine dört noktadan eğilme testi uygulamışlardır. Bu çalışma sonucunda uzun çelik ve Polipropilen liflerin birlikte çalışarak küçük deplasmanlarda yük taşıma kapasitesini ve kırılma tokluğunu artırdığını gözlemlemişlerdir. Büyük deplasmanlarda uzun çelik liflerin, Polipropilen ve küçük çelik liflerden enerji emme kapasitesinden daha iyi olduğunu ortaya çıkarmışlardır [77].

Abrishami ve Mitchell (1997), betonlarda gerilimin pekişmesi üzerinde çelik liflerin etkisini araştırmışlardır. Deneyde, çelik lifli ve lifsiz yüksek dayanımlı betonlar kullanarak, çelik liflerin çatlak kontrolü ve gerilme pekişmesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır [78].

Kawamata vd (2003), hibrit lifi içeren betonlara üç noktadan eğilme ve tek eksenli gerilim testleri uygulamışlardır. Araştırmalar sentetik ve çelik liften oluşan hibrit liflerle güçlendirilmiş betona uygulanan eğilme testleri sonucunda, geniş çatlakların yalnızca çelik lifle güçlendirilmiş numunelerin iç bölgelerinde oluştuğunu göstermiştir. Diğer test sonuçları, hibrit lifli betonların yüksek dayanım ve süneklik meydana getirdiğini ortaya koymuştur. Bu sonuçlar ışığında, hibrit liflerle güçlendirilmiş betonların, yüksek performanslı liflerle güçlendirilmiş beton düzeyinde performans sunabileceğini vurgulamışlardır[79].

Uher ve Cook (1973), bakır ve çelik lifin, harç ile betonun ısı iletkenliği üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. Araştırmaları sonucunda, çelik liflerin ısı iletkenliğine çok etkisi olmadığı halde, bakır fiberlerin ısı iletkenliğini önemli oranlarda artırdığını; taze beton numunelere yerleştirilirken vibrasyon uygulandığında liflerin belirli bir hizada yerleştiklerini ortaya çıkarmışlardır[80].

Düzgün (2001) araştırmasında, normal agregayı hacimce %25, %50, %75, %100 azaltıp yerine pomza ekleyerek elde ettiği karışımı kullanarak, karışımdaki çelik lifin, betonun birim ağırlığını pek etkilemediğini, ancak basınç, çekme ve eğilme mukavemetini artırdığını göstermiştir [28].

Eren ve Çelik (1997), yüksek mukavemetli beton karışımlarına 60, 75 ve 83 görünüm (uzunluk/çap) oranlarında sahip, hacimce % 0.5, % 1, % 2 oranlarında çelik lif katarak bunların yüksek mukavemetli beton üzerindeki etkilerini araştırdıklarında lif hacmi ve lif görünüm oranı arttıkça betonun işlenebilirliğinin azaldığını belirlemişlerdir. Çalışmada ayrıca çelik liflerin yüksek mukavemetli betona ilavesiyle basınç ve çekme mukavemetinde artış sağlandığı bildirilmiştir[81] .

Bantia ve Nandakumar (2003), karma liflerle güçlendirilmiş çimento kompozitlerinin çatlak genişlemesi direnci ile ilgili yaptığı çalışmalarında, çift taraflı konsol kirişlerin çatlak yayılımını incelemişler, lif tipi ve kombinasyonun çatlak genişlemesi direnci üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Araştırmaları sonucunda, polipropilen ve çelik liflerle oluşturdukları karma lifin çatlak oluşumuna ve yayılmasına karşı direnç gösterdiğini, mikro polipropilen liflerin çok düşük miktarlarda kullanıldığında bile katılan makro çelik liflerin etkisini büyük oranda arttırdığını ortaya koymuşlardır[82].

Tabak (2004), yaptığı çalışmada, çelik lif görünüm oranının ve hacminin, betonun mekanik özelliklerine etkisini araştırmıştır. Çalışmasında görünüm oranı 45, 65 ve 80 olan üç farklı çelik lifi, sırası ile % 0, % 1 ve % 1.5 oranlarında kullanılarak 10 farklı kompozisyonda beton üretmiştir. Bu betonlardan hazırlanan çeşitli boyutlardaki örneklerle tek eksenli basınç, yarmada çekme, dört noktadan yüklemeli eğilme testleri, ultrases hızı ölçümleri ve darbe deneyleri yapmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda; Çelik liflerin, her görünüm ve hacim oranında taze betonun işlenebilme yeteneğini, özellikle görünüm oranı yüksek ve lif hacmi % 1 - % 1.5 olan betonlarda kayda değer oranda düşürdüğünü, çelik lif kullanımının, betonun birim hacim ağırlığını arttırdığını ve bunun, kullanım hacmine ve görünüm oranına bağlı olarak değiştiğini, betonda çelik lif kullanımının, betonun basınç dayanımını arttırdığını ve betonda çelik lif kullanımının, betonun eğilme dayanımını arttırdığını ve özellikle lif görünüm oranı ve hacmi arttıkça liflerin eğilme dayanımına etkisini kayda değer oranda arttırmış olduğunu ortaya koymuştur[83]

Ding ve Kusterle (2000), yaptıkları çalışmada 9-81 saatlik yeni üretilmiş çelik lifli betonların basınç yükleri altındaki davranışlarını incelemişler ve betona lif ilave edilmesinin sadece uzun sürelerde değil, çok kısa bir zaman zarfında dahi mukavemet üzerinde oldukça etkili olduğu sonucuna varmışlardır[84] .

Çivici ve Eren.(2004) bir çalışmada betonun direkt çekme etkisi altındaki davranışının incelenebilmesi için çekme numuneleri üretilmiştir. Buna ilaveten, içerisine

lif katılması ile elde edilen lifli beton numunelerin çekme etkisi altındaki davranışları beton numuneler ile karşılaştırılmışlardır. Lif malzemesi olarak kullanılan çelik liflerin betonun çekme dayanımına katkısının hangi mertebede olacağı araştırılmışlardır. Çalışma ile çelik lifli betonun özellikleri tekrar gözden geçirilerek, hiçbir standart numune testi olmayan beton direkt çekme dayanımı üretilen lifsiz ve lifli çekme numunelerinin deneyleri aracılığıyla yapılmıştır. Bu çalışmaların sonucunda, direkt çekme altında lifli numunelerden elde edilen çekme dayanımı değerinin donatısız numunelerinkinden % 20- 25 daha fazla olduğuna varmışlardır [85].

Altun ve arkadaşları(2006) bir çalışmada, Dramix RC-80/0.60-BN tipi çelik lif katkılı C30 sınıfı silindirik beton numuneler; 0 kg/m³, 30 kg/m³, 60 kg/m³ dozajlarında her gruptan 6 adet olmak üzere toplam 18 adet üretilmiş ve çelik lif katkısının, betonun mekanik özelliklerine olan etkileri incelenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında, 0 kg/m³, 30 kg/m³, 60 kg/m³ dozajlarında çelik lif katılarak 300×300×2000 mm boyutlarında toplam 9 adet betonarme kiriş üretilmiştir. Betonarme kirişlerde basit eğilme oluşacak şekilde deney yapılarak çelik lif katkısının betonarme kiriş mekanik özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır. Üçüncü aşamada ise, ikinci aşamadaki özelliklerde her grup için ikişer adet olmak üzere toplam altı adet betonarme kiriş üretilmiştir. Bu kirişlerde patlama yüklemesi ile deneyler yapılmıştır. Çalışma sonucunda; katkısız ve değişik dozajlarda çelik lif katkılı beton silindirik numunelerin ve betonarme kirişlerin genel mekanik özellikleri belirlenerek, patlama yüklemesi etkilerinin çelik lif katkısı ile betonarme kirişlerdeki değişimi verilmiştir. Patlama yüklemesinde, verilen patlayıcı miktarlarına göre çelik lif katkısı betonarme kirişlerde yeterli bir dayanım sağlayamamıştır. Ancak, patlama yüklemesi sonrası çatlak gelişimi 30 kg/m³ ve 60 kg/m³ çelik lif dozajlarında daha da azalmıştır. Bu nedenle, patlama yüklemesi deneylerinde daha yüksek beton sınıfı ve çelik lif dozajı seçilmesi önerilmektedir[86].

Torrenti ve Djebri (1995), çelik lifli betonların iki eksenli basınç yükleri altındaki davranışını incelemişlerdir. Çalışmada iki farklı tür, en kesitli demir ve çengelli çelik lif, kullanarak ürettikleri numunelere iki eksenli basınç yükü uygulamışlardır. Aldıkları sonuçlarda liflerin betondaki yerleşim yönlerinin betonun mukavemetini etkilediğini, lifli betonların kontrol betonlarına göre daha sünek davrandığını belirlemişlerdir. Çelik lifli betonlarda kırılma, yükleme yönüyle belirli bir açıyla çatlakları oluşturmuştur. Demir lifli betonlarda ise yükleme yönüne paralel çatlaklar meydana gelmiştir[87].

Şimşek.o, Erdal ve Sancak(2005) yaptıkları bir deneysel çalışmada, çelik lifli betonlarda % 0, 2.5, 5 ve 10 oranlarında silis dumanı (SD), çimento ile yer değiştirilerek kullanılmışlardır. Numuneler, C 25 sınıfında, su/çimento (w/c) oranı, 0.50 olacak şekilde seçilmiş ve masa tipi vibratörle sıkıştırılarak üretilmişlerdir. 100×100×500 mm boyutlarında üretilen prizma numuneler üzerinde, orta noktasından yüklemeli eğilme deneyi yapılmıştır. Sonuç olarak, çelik lifli betonlara % 10 SD katılması, lifli betona göre eğilme dayanımında, 28 günde % 23.5, 90 günde % 30.8 ve 120 günde de % 18.3'lük bir artış sağlamıştır. SD katkılı lifsiz betonların, eğilme dayanımlarında en yüksek değere % 2.5 SD oranında ulaşılmış, % 5 ve 10 oranlarında ise azalma görülmüştür[88].

1.8. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Çelik lif ile ilgili araştırmalar oldukça geniş bir alanda devam etmektedir. Teknolojinin gelişmesine göre beton üretiminde kullanılan katkı maddelerinin de gelişmesi nedeniyle daha farklı ve dayanımlı betonlar üretilebilmektedir. Beton, dayanımının artması ile daha kırılğan hale gelmektedir. Betona belirli bir süneklik kazandırmak için, karbon, cam, polipropilen ve çelik lif gibi lifler ilavesiyle, betonun sünekliğine, ulaşan çatlakların sınırlandırılmasına katkı sağlamaktadır. Bu nedenle de bu çalışmanın temel amacı, çelik liflerin farklı dayanıma sahip betonların mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesidir. Bu amaç doğrultusunda,(farklı su/çimento oranlarına göre geleneksel ve lifli beton numuneleri üretilmiş, üretilen numuneler,farklı oranlarda ve türlerde çelik lif katkılı ve katkısız olarak hazırlanmıştır. Deney numuneleri tekrarlı yük etkisinde, kırılıncaya kadar deney tabi tutulmuştur.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEMELER

2.1. Geleneksel ve Çelik Lif Katkılı Betonların Üzerinde Gerçekleştirilen Çalışmalar

Bu başlık altında beton üretiminde kullanılan malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri incelenerek, bu malzemelerle farklı su/çimento oranlarında üretilen geleneksel betonlar ile aynı özellikteki ve farklı oranlarda çelik lif katkılı betonların bazı fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla 24 seri (her bir seride 6 adet standart, 4 adet prizma) olmak üzere toplam 240 adet beton üretiminden elde edilen deney numuneleri üzerinde basınç, yarmada çekme ve eğilmede çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

2.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

2.2.1. Agregaların Özellikleri

2.2.1.1. Mineralojik ve Petrografik Özellikleri

Geleneksel ve lifli betonların üretiminde kullanılan kalker agregası Trabzon yöresinden temin edilmiştir. Arazi çalışmaları sonucunda laboratuara getirilen kayaçların ince kesitleri üzerinde, K.TÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümünde, yapılan incelemelerle belirlenen mineralojik ve petrografik bileşimleri Tablo 2.1’de verilmiştir[89]. Beton üretiminde kullanılan agregalardan görünümü Şekil 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Agregaların üretiminde kullanılan kayaçların mineralojik bileşimleri

Kayaç türü	Mineral	Mineralin kayaç içindeki durumu	Mineral yüzdesi
Kalker	Klasik	Mikritik çimentolu kireç taşı, kısmen yaşlı mikro fosiller	99.5
	Opak		0.5



Şekil 2.1. Beton üretiminde kullanılan kalker agregalar

2.2.1.2. Fiziksel Özellikler

Beton üretiminde kullanılan bu agregalar TS 1226 [90]ve TS1227[91] de özellikleri verilen elek sistemiyle, tane çaplarına göre TS 706[13]'ya uygun olarak maksimum tane çapı 16 mm olacak şekilde elenerek, iri(16mm-8mm), orta(8mm-4mm) ve ince (4mm-0mm) olarak üç sınıfa ayrılmıştır. Bu agregaların üzerinde TS 3526[92]ve TS 3529 [93]'a uygun olarak belirlenen gevşek birim kütleleri, doygun ve kuru haldeki özgül kütleleri(tane birim kütlesi) ve kütlece su emme değerleri Tablo 2. 2 'de verilmiştir.

Tablo 2. 2. Beton üretiminde kullanılan kalker agregaların fiziksel özellikleri

Agrega	Tane boyutu (mm)	Gevşek birim kütle (kg/m ³)	Özgül kütle (kg/m ³)		Su emme (0/0)
			Kuru	Doygun	
Kalker	İri (16mm-8mm)	1400	2658	2670	0.42
	Orta (8mm-4mm)	1400	2658	2670	0.42
	İnce (4mm-0mm)	1450	2626	2640	0.52

2.2.1.3. Mekanik Özellikleri

Betonların üretiminde kullanılan agregaların mekanik özellikleri (basınç dayanımları, eğilmede çekme dayanımları, Elastisite modülleri ve Poisson oranları) bu agregaların üretiminde kullanılan kayalar alınan, 75 mm çaplarında ve 150mm yüksekliğinde olan karot ve 40mm×40mm×160mm boyutlarında kesilerek hazırlanan prizmatik numuneler üzerinde belirlenmiştir.

Tablo 2-3 'da karot ve prizmatik numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneylerden elde edilen ortalama basınç, eğilmede çekme dayanımlarıyla başlangıç Elastisite modülü ve Poisson oranları verilmektedir.

Tablo 2.3. Beton üretiminde kullanılan kalker agreganın mekanik özellikleri

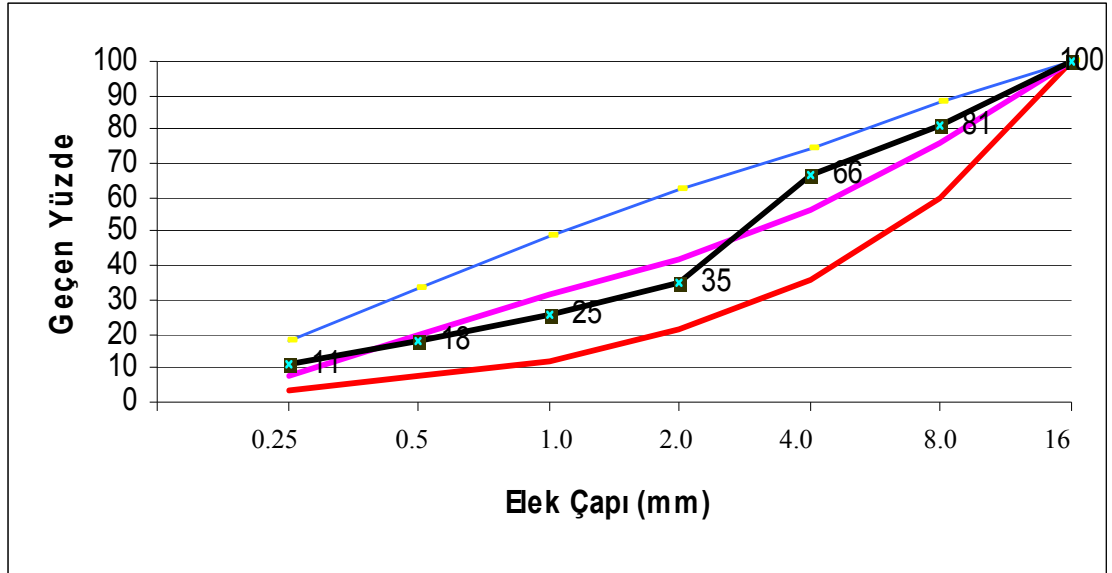
Kayaç	Ortalama basınç dayanımı(MPa) (Ø =75mm, h=150mm boyutlarında karot örnekleri üzerinde)	Ortalama eğilmede çekme dayanımı (MPa) (40×40×160mm boyutlarında karot örnekler üzerinde)	Elastisite modülü MPa	Poisson oranı
k alker	73	18	4800	0.19

2.2.1.4. Granolümetrik Bileşim

Geleneksel ve çelik lifli betonların üretiminde kullanılan kalker agregasının, elek analizi Tablo 2.4' de ve granolümetrik bileşimi Şekil 2.2 'de gösterilmiştir. Bu granolümetri, tane sınıfına göre 0-2mm, 2-4mm, 4-8mm ve 8-16mm, sırasıyla %30, %20, %30 ve %20 oranlarında karıştırılmasıyla elde edilmiştir.

Tablo 2.4. Deneysel olarak kullanılan agregaların elek analizi

ELEK Göz Açıklığı (mm)	İNCE (Kum)	ORTA	İri					KARIŞIM		
					İNCE	Orta	İri	ince	orta	iri
ELEKTE KALAN YIĞIŞIMLI MİKT. (gr)								50	30	20
16	0	0	0	7	100.0	100.0	100.0			
8	0	55	4647	6	100.0	98.9	7.1			
4	7	2307	4960	5	99.9	53.9	0.8			
2	1611	4853	4963	4	67.8	2.9	0.7			
1	2546	4871	4964	3	49.1	2.6	0.7			
0.5	3311	4882	4967	2	33.8	2.4	0.7			
0.25	3949	4893	4968	1	21.0	2.1	0.6			
TEPSİ	5000	5000	5000	İncelik modülü	2.3	4.4	5.9			



Şekil 2.2. Agregaların granolümetrik bileşimi ve sınır eğrileri

2.2.2. Çimento

Geleneksel ve lifli betonların üretiminde, Aşkale çimento fabrikasının' da üretilmiş CEM IV A-P 32.5 tipi çimento kullanılmıştır. Bu çimento çeşidi 28 günlük karakteristik basınç dayanımı 32.5 MPa olan Portland- kompoze çimentosudur. Bu çimento üretildikleri fabrikadan temin edilen kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 2.5'de verilmiştir.

Tablo 2.5. Betonda kullanılan çimentoların kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

KİMYASAL ÖZELLİKLER	Kütlece yüzde (%)	
	CEM IV A-P 32.5 R	
SiO ₂	26.48	
Al ₂ O ₃	5.94	
Fe ₂ O ₃	3.90	
CaO	51.54	
MgO	2.30	
SO ₃	2.21	
Cl ⁻	0.027	
Kızdırma kaybı	6.10	
FİZİKSEL ÖZELLİKLER		
Özgül kütle (g/cm ³)	2.90	
Özgül yüzey (cm ² /g)	4246	
90 µ elek üstünde kalan (%)	2.0	
Priz süresi (saat) başlangıç	02.50	
Priz süresi (saat) bitiş	04.00	
Standart kıvam su miktarı(%)	33.13	
MİKANİK ÖZELLİKLER		
Basınç dayanımı(N/mm ²)	2 Günlük	18.5
Basınç dayanımı(N/mm ²)	7 Günlük	29.9
Basınç dayanımı(N/mm ²)	28 Günlük	37.0

2.2.3. Karma Suyu

Betonların üretiminde karma suyu olarak Yapı Malzeme laboratuvarında mevcut olan içme suyu kullanılmıştır.

2.2.4. Katkı Maddesi

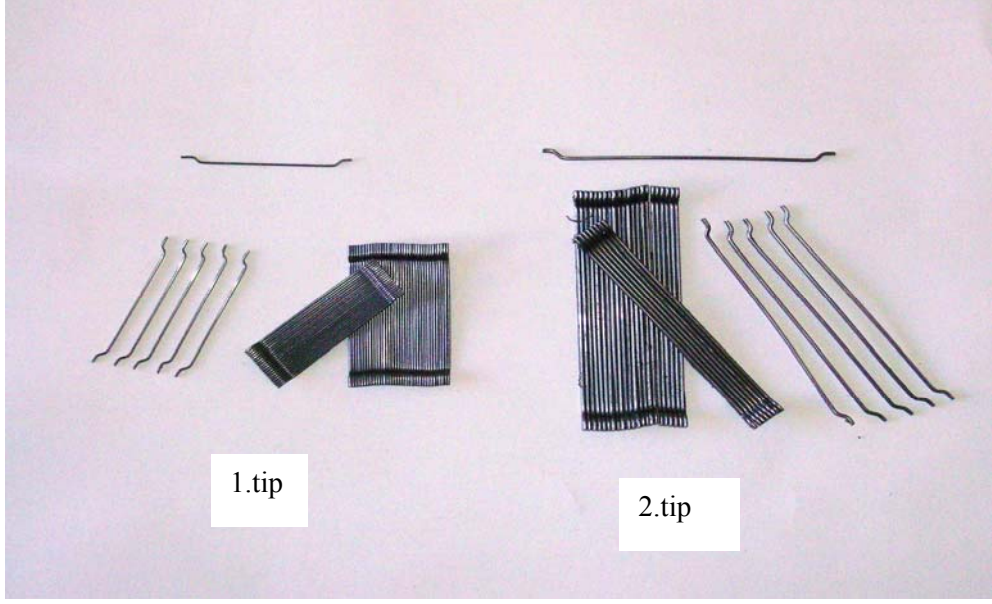
Geleneksel ve lifli betonların üretiminde kimyasal katkı maddesi olarak süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Üretimlerde kullanılan süper akışkanlaştırıcı , karışıma çimento ağırlığının %2 si oranında katılmıştır. Süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi karışım suyuna ilave edilerek betoniyerde bulunan malzemelere ilave edilmiştir.

2.2.5. Çelik Lifler

Beton karışımında kullanılan çelik lifler, farklı geometrik şekillerde ve boy/çap oranlarında üretilebilmektedir. Türkiye de üretilen liflerle ilgili teknik bilgiler TS10513(1992)[41],TS 10514(1992)[57] ve TS 10515' te (1992)[64] tanımlanmaktadır. Bu deneysel çalışma kapsamında betonlarda kullanılan çelik lifler, BEKAERT-BEKSA firmasının üretmiş olduğu TS10513' e uygun Dramix marka RC kodlu çelik liflerdir. Bu lifler bir birlerine beton içerisinde homojen dağılımı sağlayan, suda kolayca çözünebilen özel tutkallar yapıştırılmış demetler halinde standart torbalarda satılmaktadır. Bu lifler soğukta çekilmiş, düşük karbonlu ve yüksek çekme dayanımına sahiptirler. Bu liflere ait bir takım özellikler Tablo 2.6' de ve görünüm şekilleri de Şekil 2.3' de verilmektedir.

Tablo 2.6. Beton üretiminde kullanılan liflerin bir takım özellikleri

Lif tipi	Uzunluk (mm)	Çap (mm)	Görünüm oranı (uzunluk/çap)	Birim ağırlık(gr/cm^3)	Ortalama çekme dayanımı(MPa)
1.Tip (RC 65/35)	35	0.55	64	7.85	1100
2.Tip (RC65/60)	60	0.9	67	7.85	1100
3.Tip (RC45/50)	50	1.1	45	7.85	1100



Şekil 2.3. Deneylerde kullanılan çelik lifler

2.3. Betonların Bileşimi

Geleneksel ve lifli betonların bileşim hesaplarında mutlak hacim metodu kullanılmıştır.(TS 802)[11] Buna göre, W_c , W_a , V_w ve V_h sırasıyla $1m^3$ betondaki çimento kütlelerini (kg/m^3), agrega kütlelerini (kg/m^3), su hacmini (dm^3) ve hapsedilmiş hava hacmini (dm^3), γ_c ve γ_a ise sırasıyla çimento ve agreganın doygun kuru yüzeyli(DKY)birim kütlelerini (kg/m^3) göstermek üzere toplam agrega mutlak hacmi;

$$V_a = W_a / \gamma_a = 1000 - (W_c / \gamma_c + V_w + V_h) \quad (2.1)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Agrega yığınının i adet farklı agrega sınıfında meydana geldiği göz önüne alındığında, her bir agrega sınıfının kütlesi farklı olacağından β_i ve γ_{ai} sırasıyla agrega sınıflarının kütlece oranının ve DKY birim kütlelerini göstermek üzere toplam agrega kütlesi ;

$$\sum(\beta_i \times W_a / \gamma_c) = 1000 - (W_c / \gamma_c + V_w + V_h) \quad (2.2)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

Agrega sınıflarının ayrı ayrı kütleleri, bağıntı(2.2)' den elde edilen toplam agrega kütlesi ile istenilen agrega sınıfının kütlece oranıyla çarpılarak tespit edilebilir.

$$W_{ai} = \beta_i \times W_a \quad (2.3)$$

Bu şekilde elde edilen agrega kütlesi, doymun kuru yüzeyli kütlesidir. Bu değerlerden doğal nem durumundaki agrega kütlesi değerini bulmak için SEi ve DNi sırasıyla her bir agrega sınıfı için gerekli doyma suyu miktarı;

$$DS_i = (SE_i - DN_i) \times W_{ai} \quad (2.4)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Toplam doyma suyu ise her bir agrega sınıfını doyma suyu miktarının toplanmasıyla aşağıdaki ifadede elde edilir.

$$DS = \sum DS_i \quad (2.5)$$

Yukarıdaki verilen yöntemle, geleneksel ve lifli betonlar için su/çimento oranları ve çimento dozajlarına karar verilmiştir. Buna göre, geleneksel ve lifli betonlarda su/çimento oranı 0.45, 0.55, 0.65 ve çimento miktarı 350 kg/m^3 alınarak hesaplara dahil edilmiştir.

Lifli betonlar, yukarıda belirtilen su/çimento orandaki beton bileşimlerinde, çelik liflerin üç farklı görünüm oranında ve her biri üç farklı hacim oranında (%0.25, %0.75 ve %1.25) kullanılmasıyla üretilmektedir. Karışımında kullanılan malzeme miktarı, malzeme kayıpları göz önünde tutularak gerekli miktarlar %15 oranında artırılmıştır. Betonyerde bir seferde 57 dm^3 beton üretilmiştir. Hesaplanan malzeme miktarları tablo 2.7' de verilmiştir.

Tablo 2.7. Deneyleerde kullanılan geleneksel ve elik lifli betonların bileşimi

Malzeme miktarı		Su /imento oranına		
		0.65	0.55	0.45
Çimento (Kg/m ³)		350	350	350
Doyma su (Kg/m ³)		37.70	39.65	43.85
Karma suyu (Kg/m ³)		228	193	167.2
Hava lit		20	20	20
SAK (Kg/m ³)		0	2.6	3.5
Agrega (Kg/m ³)	0-2mm	501.75	529	587.7
	2-4mm	334.2	350.85	393
	4-8mm	501.75	529	587.7
	8-16mm	334.2	350.85	393
elik lif oranı% (Kg/m ³)	0.25	19.5	19.5	19.5
	0.75	58.5	58.5	58.5
	1.25	97.5	97.5	97.5

2.4. Betonların Üretimi, Yerleştirilmesi, Bakım ve Deney Anındaki Yaşları

2.4.1. Betonların Üretimi ve Yerleştirilmesi

Beton üretim için, her bir agrega sınıfı, imento, doyma suyu, karma suyu ve süper akışkanlaştırıcı 1 g hassasiyetli terazide tartılarak önceden hazırlanmıştır. İri, orta ve ince agrega önceden nemlendirilmiş 80 litre kapasiteli, eğik eksenli betonyere (şekil 2.3) konmuş ve doyma suyu ilave edilerek 3 dakika karılmış, sonra imento ilavesiyle 3 dakika, betonyer çalışırken karma suyu ilave edilerek bir 3 dakika daha karılıp beton elde edilmiştir. Bu şekilde hazırlanan betonlar, frekansı 2800 dev/dak olan titreşme tablası (şekil2.4) üzerine konulan, 150mm çapında, 300mm yüksekliğindeki standart silindir kalıplara ve 100mm×100mm×400mm boyutlarındaki prizmatik kalıplara her aşaması 15 saniye titreştirilmek suretiyle üç aşamada yerleştirilmiştir.

elik lif içeren betonların üretiminde ise benzer işlem adımları takip edilmekte ancak, karışım suyunun %80 i ilave edildikten sonra, elik lifler belirli bir düzende

betoniyerdeki taze betona ilave edilmekte, karışım suyunun geri kalan kısmı ilave edilerek 3 dakikalık karıştırma süresi uygulanmaktadır. Tutkallı çelik lif demetlerinin lifler ayrılma süresi 1- 2 dakika arasında olup taze beton karışımı esnasında liflerin ayrılma olayı takip edilmeli, ayrıca çelik liflerin topuklanma yapmamasına özen gösterilmelidir.

Her bir farklı beton bileşimi için toplam 6 adet standart silindir (150mm×300mm) ve dört adet prizmatik (100mm×100mm×400mm) numune üretilmiştir. Bu standart silindir numunelerden üçü üzerinde merkezi basınç dayanımı ölçülmesi, değer üçü üzerinde ise yarmada çekme dayanımı belirlenmesi işlemi ve prizmatik numuneler üzerinde ise betonun eğilmede çekme dayanımı ölçümü yapılmıştır.



Şekil 2.4. Betonların üretiminde kullanılan 80 dm³ kapasiteli eğik eksenli betoniyer



Şekil 2.5. Deneyde kullanılan 2.800 devir/dakika frekanslı sarsma tablası

2.4.2. Betonların Bakım ve Deney Anındaki Yaşlar

Üretildikten 1 gün sonra kalıplardan çıkarılan beton numuneler(Şekil 2.6) 28 gün süre ile sıcaklığı $22^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ olan kür havuzunda saklanmıştır. Bu süre sonunda deney anına kadar labratuvar ortamında saklanmış ve 30-34 gün arasında deney tabi tutulmuştur (Şekil 2.7).



Şekil 2.6. Beton numunelerin kalıptan çıkarılması



Şekil 2.7. Beton numunelerine standart kür uygulamasının yapıldığı havuzu ve tankı

2.4.3. Deney Numuneleri ve Gerçekleştirilen Deneyler

2.4.3.1. Deney Numuneleri

Üç farklı dayanım sınıfında beton üretebilmek amacıyla üç farklı su/çimento oranı kullanılmış, çelik lifli ve lifsiz numuneler her bir seri için toplam on adet numune üretilmiştir. Çelik lifler hacimce (taze betonun hacminin) uç farklı oranda (%0.25, %0.75 ve %1.25) ve her bir oran için iki farklı görünüm oranına göre 64 ve 67, uzunlukları (35mm ve 60mm) ve sadece üç deneyde görünüm oranı 45, uzunluğu 50mm kullanılmıştır.

Merkezi beton basınç deneyi ve yarmada çekme dayanımı deneyleri için standart silindirler, eğilmede çekme dayanımı deneyleri için ise prizmatik numuneler kullanılmıştır. Bu numunelerin içerdiği lif tipi, oranı ve su/çimento oranlara göre isimlendirilmeleri Tablo 2.8' de verilmektedir. Tablo 2.8' de görüldüğü gibi görünüm oranı (45) olan lif sadece hacimce %0.25 oranında üretilerek deneye tabi tutulmuştur.

Tablo 2.8. Lif ve su/çimento oranına bağlı olarak lifli ve lifsiz numunelerin adlandırılması

Lif tipi (uzunluk/çap)	Lif hacimce %	Su/çimento oranı			Numune adeti	
		0.65	0.55	0.45	silindir	prizmatik
1.Tip (RC 65/35)	0.25	LB1	LB8	LB15	6	4
	0.75	LB2	LB9	LB16	6	4
	1.25	LB3	LB10	LB17	6	4
2.Tip (RC65/60)	0.25	LB4	LB11	LB18	6	4
	0.75	LB5	LB12	LB19	6	4
	1.25	LB6	LB13	LB20	6	4
3.Tip (RC45/50)	0.25	LB7	LB14	LB21	6	4
	0.75	-	-	-	-	-
Lifsiz		LZ1	LZ2	LZ3	6	4

2.4.3.2. Beton Numuneleri İçin Merkezi Basınç Deneyleri

Basınç dayanım deneyi ; standart silindir numuneler üzerinde, TS 3114'e[94] göre yapılmıştır. Numunelerin boyutları kesin bir biçimde ölçülerek yükün etkiyeceği alan belirlendikten sonra yükün bütün alana üniform olarak yayılmasını sağlamak amacıyla başlık tabakası kalınlığı, yükleme doğrultusuna dik numune boyutunun veya yükleme yüzeyi çapının başlıkla eşitlenmiştir. Başlıklama işlemi kükürt kullanılmıştır(Şekil 2.8). Başlıklama işlemi bittikten sonra numuneler en az bir saat sertleşmeye bırakılarak basınç mukavemeti tayini deneyi yapılmıştır. Tüm numuneler 3114'e(1990) uygun olarak Dinç Makine marka, 2500 KN kapasiteli otomatik yükleme yapabilen bilgisayar kontrollü hidrolik pres(Şekil 2.9) kullanılarak, 0.15 MPa sabit bir yükleme hızı altında deneye tabi tutulmuşlardır. Basınç dayanımları, aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$f_c = F/A_c \quad (2.6)$$

Burada;

f_c : Basınç dayanım; MPa (N/mm²)

F: Kırılma anında ulaşılan en büyük yük; N

A : Numunenin üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı; mm²



Şekil 2.8. Beton numunesinin başlıklama işlemi



Şekil 2.9. Beton numunelerinin basınç deneyi makinesi

Beton silindir numuneler göçme anına kadar yüklenerek kırılmıştır. Şekil 2.9'da beton basınç deneyine hazırlanmış silindir numuneler, Şekil 2.10'da basınç deneyine tabi tutulmuş lifsiz silindir numuneleri Şekil 2.11 de ve Şekil 2.12'de basınç deneyine tabi tutulmuş lifli silindir numuneleri görülmektedir. Gerçekleştirilen merkezi basınç deneyinden elde edilen ortalama basınç dayanımı değeri ve lifli beton numunelerin dayanımlarının lifsiz beton dayanımlarına göre değişimleri Tablo 2.9 ve Şekil 2.13'de, ortalama merkezi basınç dayanımlarının her üç lif tipi için, lif oranı ile değişimi Şekil 2.14' de , su/çimento oranı ile değişimi Şekil 2.15' de ve lifsiz betonun basınç dayanımına göre rölatif değişimi ise Şekil 2.16' de verilmektedir.



Şekil 2.10. Merkezi basınç deneyine hazırlanan beton numuneler



Şekil 2.11. Merkezi basınç deneyine tabi tutulmuş lifsiz beton numuneler



Şekil 2.12. Merkezi basınç deneyine tabi tutulmuş lifli numuneler

Tablo 2.9. Ortalama merkezi basınç dayanımı değerleri

Lif durumu				Merkezi beton basınç dayanımları(MPa)			Lifli beton basınç dayanımlarının lifsiz betona göre artış oranları(%)		
				Su/çimento oranı			Su/çimento oranı		
				0.65	0.55	0.45	0.65	0.55	0.45
Lifsiz beton				17.55	22.5	24.1	-	-	-
Lifli beton	Lif tipi	1.Tip RC 65/35	% 0.25 (19.5kg/m ³)	15.6	24.5	30.1	-11.11	8.88	24.9
			% 0.75 (59 kg/m ³)	15.82	18.9	25.6	-10.54	-16.18	6.22
			%1.25 (97.5kg/m ³)	14.2	20.7	27.05	-19	-8	12.24
		2.Tip RC65/6 0	%0.25 (19.5kg/m ³)	15.55	18.5	24.8	-11.4	-17.77	2.9
			%0.75 (59kg/m ³)	15.6	19.4	26.7	-11.11	-13.77	10.78
			%1.25 (97.5kg/m ³)	14.35	19.7	28.1	-18.23	-12.44	16.6
		3.Tip (RC45/50)	%0.25 (19.5kg/m ³)	14.2	20.3	30.25	-19.08	-9.77	25.51
			%0.75 (59kg/m ³)	-	-	-	-	-	-

Tablo 2.9 deki değerler incelendiğinde, su/çimento oranı 0.45 olan betonlarda, her üç tip lifli betonların merkezi basınç dayanımı, lifsiz basınç dayanımından yüksektir. Yine Tablo 2.9'dan görüldüğü gibi, birinci ve üçüncü tip lif için en yüksek dayanım artışlarının elde edildiği lif oranı (%0.25), ikinci tip lifli ise oranı (%1.25) için elde edilen dayanım artış değeri, su/çimento oranı azaldıkça artmaktadır.

Yine aynı şekilde, su/çimento oranı 0.65 olan, 1. tip lifli betonların basınç dayanımları artan lif oranına (%0.25, %0.75, %1.25) bağlı olarak, lifsiz beton basınç dayanımlarından, sırasıyla, %11.11, %10.54, %19 azalmıştır. 2. tip lifli betonlar için bu azalma oranları, sırasıyla, %11.4, %11.11 ve %18.23, 3. tip lifli beton için bu azalma oranı %19.08 'dir.

Su/çimento oranı 0.55 olan 1. tip lifli numunelerin basınç dayanımları artan (%25) lif oranına bağlı olarak, lifsiz beton basınç dayanımından %8.88 daha yüksektir. Bu dayanım lif oranları (%0.75, %1.25) olan betonlarda basınç dayanım sırasıyla %16.18 ve %8

azalmıştır. Su/çimento oranı %0.55 olan 2. tip lifli betonların dayanımları ise lifsiz beton dayanımından , artan lif oranına bağlı olarak %17.77, %13,77 ve %12.44 azalma görülmüştür. Bu azalma oranı 3. tip lifte ise %9.77 'dir.

Yine Tablo 2.9 incelendiğinde, su/çimento oranı 0.45 olan 1. tip lifli betonların basınç dayanımları, artan lif oranına (%0.25, %0.75 ve %1.25) bağlı olarak, lifsiz beton basınç dayanımından sırasıyla, %24.9, %6.22 ve %12.24 daha yüksektir.

Yine su/çimento oranı 0.45 olan 2. tip lifli betonlar için bu artış oranları sırasıyla, %2.9, %10.78 ve %16.6 'dır. Su/çimento oranı 0.45 olan 3. tip lifli beton (lif oranı %0.25) için bu artış oranı %25.5 daha yüksektir.

Tablo 2.9 ve Şekil 2.13'den görüldüğü gibi, su/çimento oranı 0.65 olan tüm betonlarda lifsiz betona kıyasla basınç dayanımı düşüktür. Su/çimento oranı 0.55 ve 0.45 olan betonlar için en büyük basınç dayanımı, lif oranı hacimce %0.25 olan betonlarda görülmüştür.

Şekil 2.14 'den görüldüğü üzere, merkezi beton basınç dayanımı, su/çimento oranı 0.65 olan betonlarda lif oranı ile fazla değişmemiştir. Su/çimento oranı 0.55 ve 0.45 olan betonlarda lif oranı %0.25 olan betonlarda bu değer artmıştır.

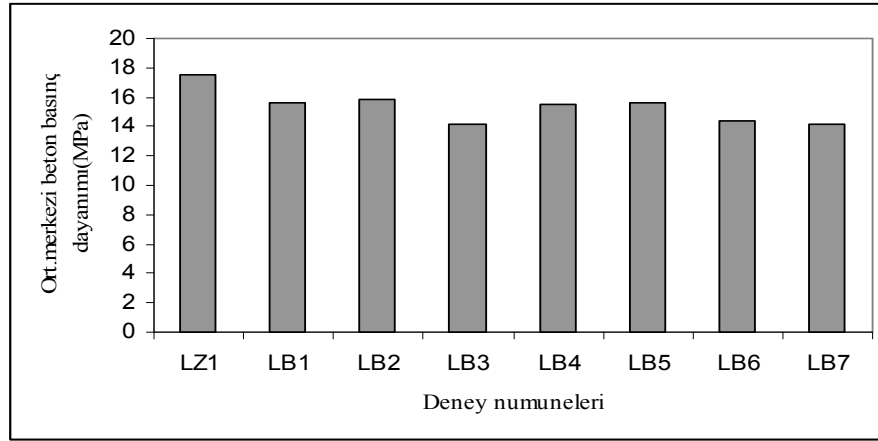
Şekil 2.15' den lif oranı ile beton basınç dayanımlarının çok fark değişmediği görülmektedir.

Şekil 2.16'e göre lifli beton basınç dayanımı su/çimento oranı 0.45 olan betonlarda bir miktar yükselmiştir; su/çimento oranı 0.55 , 0.65 olanlarda ise bu değer yine az miktarda azalmıştır.

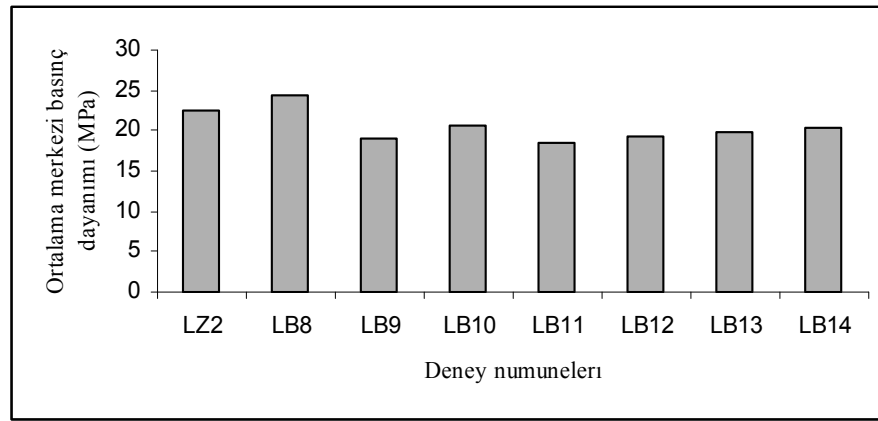
Şekil 2.11 ve Şekil 2.12 karşılaştırmalı olarak incelendiğinde, lifsiz betonların kırıldıktan sonra parçalandığı, lifli betonların ise kırıldıktan sonra bütünlüğünü koruduğu görülmektedir.

2.4.3.3. Beton Numuneleri İçin Yarmada Çekme Deneyi

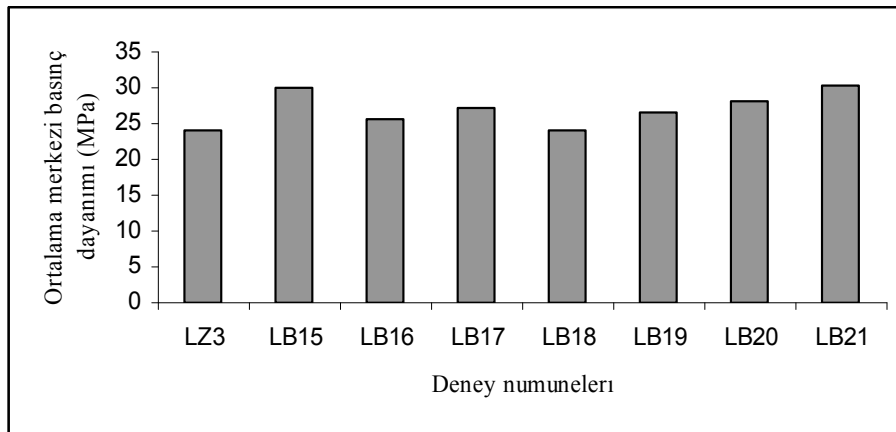
Standart silindir numunelerine çekme dayanımı belirlenmesi için her bir grup üretimde üç silindir numune (Şekil 2.17) üzerinde, TS 3129' a (1978) uygun olarak, yarmada çekme deneyi yapılmıştır [95]. Şekil 2.18 de görüldüğü gibi silindir numuneler pres makinesine yatay olarak konulup ve yarma deneyi yapılmıştır. Numuneler kırılıncaya kadar yüklemeye devam edilmiş ve kırılma yükü presten okunarak aşağıda verilen formülle numunelerin yarmada çekme dayanımları hesaplanmıştır.



(a) Su/çimento oranı 0.65 olan betonların merkezi basınç dayanımları

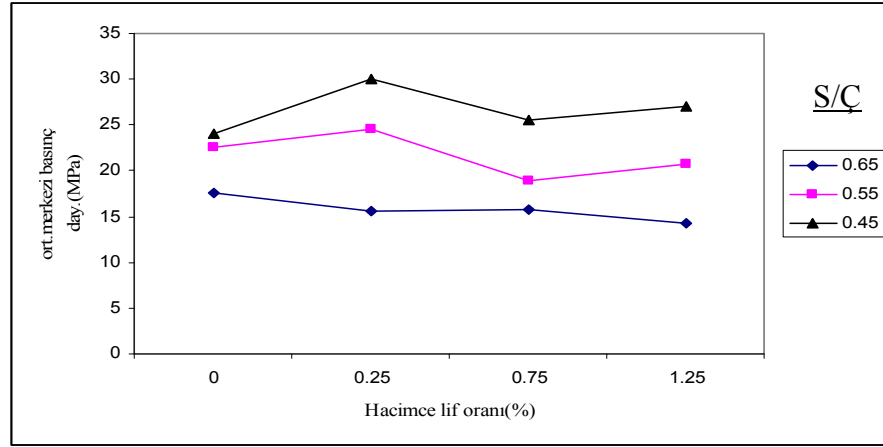


(b) Su/çimento oranı 0.55 olan betonların merkezi basınç dayanımları

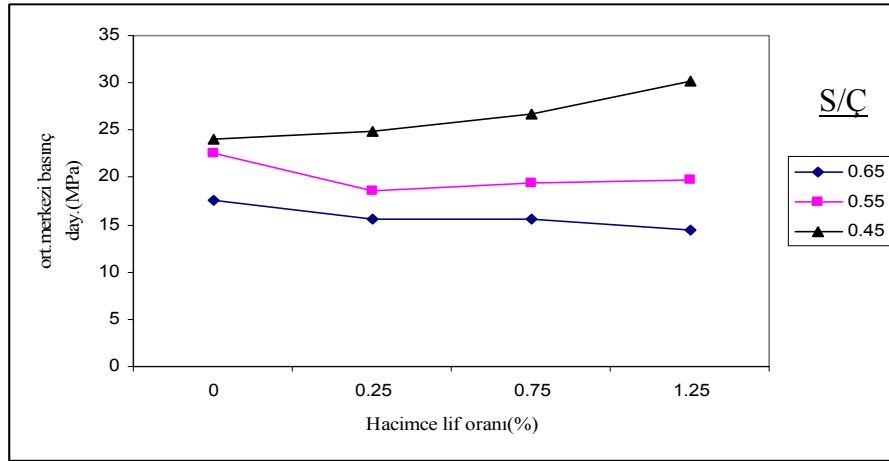


(c) Su/çimento oranı 0.45 olan betonların merkezi basınç dayanımları

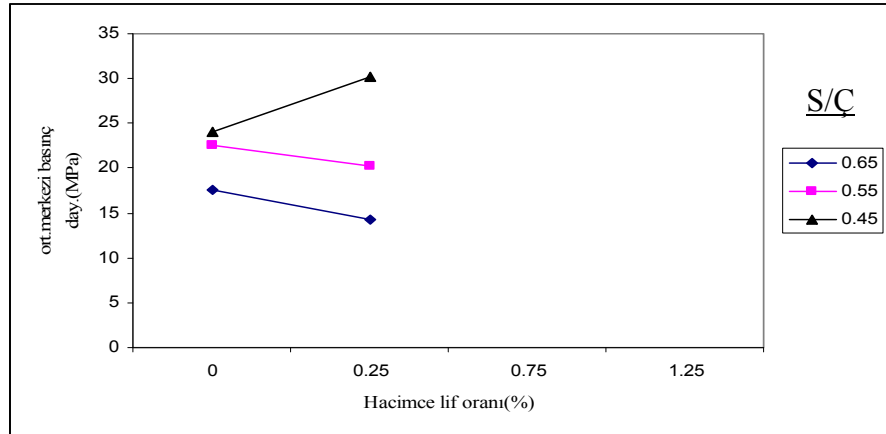
Şekil 2.13. Lifli ve lifsiz betonların ortalama merkezi basınç dayanımlarının su/çimento oranının (a) 0.65, (b) 0.55 (c) 0.45 olması durumunda değişimi



(a) 1. tip lifli betonlar

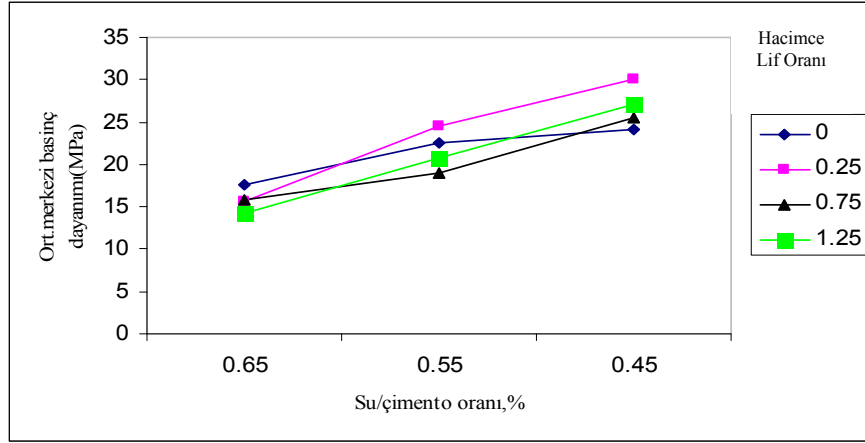


(b) 2. tip lifli betonlar

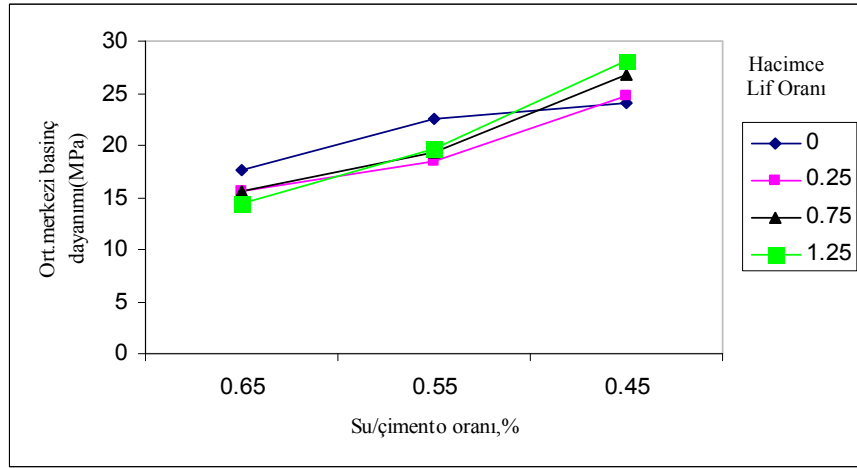


(c) 3. tip lifli betonlar

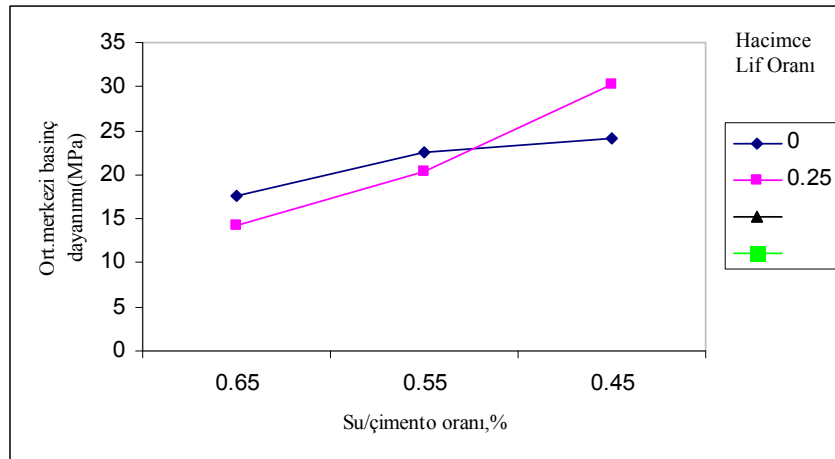
Şekil 2.14. Merkezi beton basınç dayanımlarının (a) birinci tip, (b) ikinci tip ve (c) üçüncü tip lifli betonlar için lif oranı ile değişimi



(a) 1. tip lifli betonlar

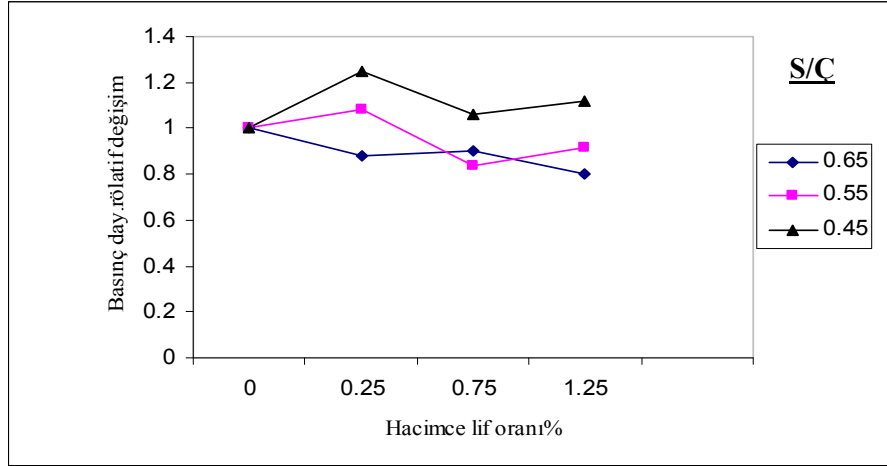


(b) 2. tip lifli betonlar

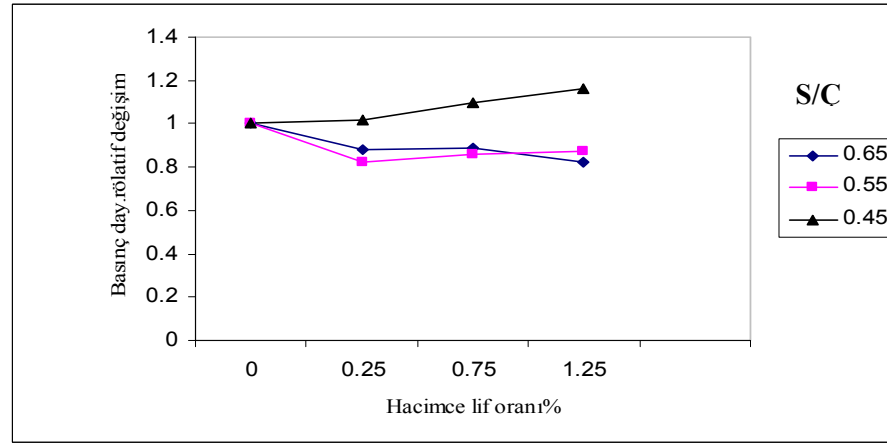


(c) 3. tip lifli betonlar

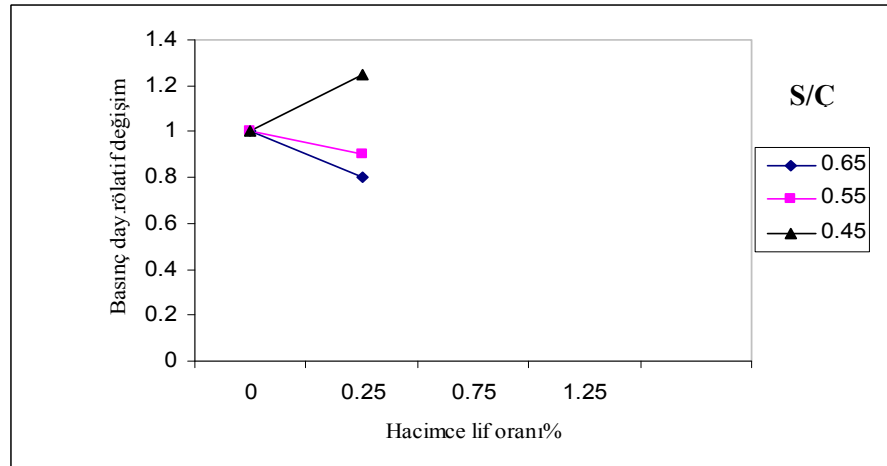
Şekil.2.15. Merkezi beton basınç dayanımlarının (a) birinci tip, (b) ikinci tip ve (c) üçüncü tip lifli betonlar için su/çimento oranı ile değişimi



(a) 1. tip lifli betonlar



(b) 2. tip lifli betonlar



(c) 3. tip lifli betonlar

Şekil 2.16. Merkezi beton basınç dayanımlarının (a) birinci tip, (b) ikinci tip ve (c) üçüncü tip lifli betonlar için liffsiz beton merkezi basınç dayanımına göre rölatif değişimi

$$f_{yç} = 2P/\pi dh \quad (2.7)$$

$f_{yç}$; Numunelerin yarmada çekme dayanımı (N/mm²)

P; Kırılma anındaki maksimum yük (N)

d; Silindirin ölçülen çapı (mm)

h; Silindirin ölçülen uzunluğu (mm)



Şekil 2.17. Yarmada çekme deneyine hazırlanan beton numuneler.



Şekil 2.18. Beton numunelerin yarmada çekme deneyinden bir görünüm

Gerçekleştirilen deneylerden elde edilen ortalama yarmada çekme dayanım değerleri Tablo 2.10 ve Şekil 2.18 'de, ortalama yarmada çekme dayanımlarının, her üç tip lif için, lif oranına bağlı olarak değişimi Şekil 2.19'de, su/çimento oranına bağlı olarak değişimi Şekil 2.20 'de ve lifli numunelerin, lifsiz numunelerin dayanımına göre rölatif değişimi ise Şekil 2.21 'de verilmektedir. Yarma çekme deneyine tabi tutulan lifsiz beton numune Şekil 2.22 'de, lifli numune ise Şekil 2.23'de görülmektedir.

Tablo 2.10 'deki değerler incelendiğinde, su/çimento oranı 0.65 olan 1. tip lifli betonların (lif uzunluk/çap: 35/0.55) ortalama yarmada çekme dayanımları, lif oranına (%0.25, %0.75, %1.25) göre, lifsiz beton ortalama yarmada çekme dayanımlarından sırası ile, %4.81 ve %18.71 artış, lif oranı %0.25 'te ise %15 azalma elde edilmiştir. 2. tip lif ilave edilen betonlarda (lif uzunluk/çap: 60/0.9) yarmada çekme dayanımları, %0.75, %1.25 oranlarında lif içeren betonlara göre sırasıyla, %16.58 ve %26.74 artış, aynı 1. tip lifli betonlar gibi lif oranı %0.25 olan betonlarda yarmada çekme dayanımı lifsiz betona göre azalmıştır. Bu azalma 3. tip lifli (lif uzunluk/çap: 50/1.1) betonda, lif oranı %0.25 da görülmektedir.

Yine Tablo 2.10 'den elde edilen değerlere göre, su/çimento oranı 0.55 olan 1. tip lifli betonların yarmada çekme dayanımları, artan lif oranına göre (%0.25, %0.75, %1.25), lifsiz betonların yarmada çekme dayanımlarından sırasıyla, %5.46, %9.64, %21 daha yüksektir. Su/çimento oranı 0.55 olan 2. tip lifli betonların yarmada çekme dayanımları lif oranına (%0.25, %0.75) bağlı olarak sırasıyla, %17.65 ve %1.65 lifsiz betondan daha az; lif oranı %1.25 'de ise %22.27 yükselme elde edilmiştir. Su/çimento oranı 0.55 olan 3. tip lifli betonlarda lif oranı %0.25 'e göre, 1. tip ve 2. tip lifli betonlara benzer, lif oranı %0.25 'te azalma görülmüştür. Bu azalma miktarı %3.87 olarak tespit edilmiştir.

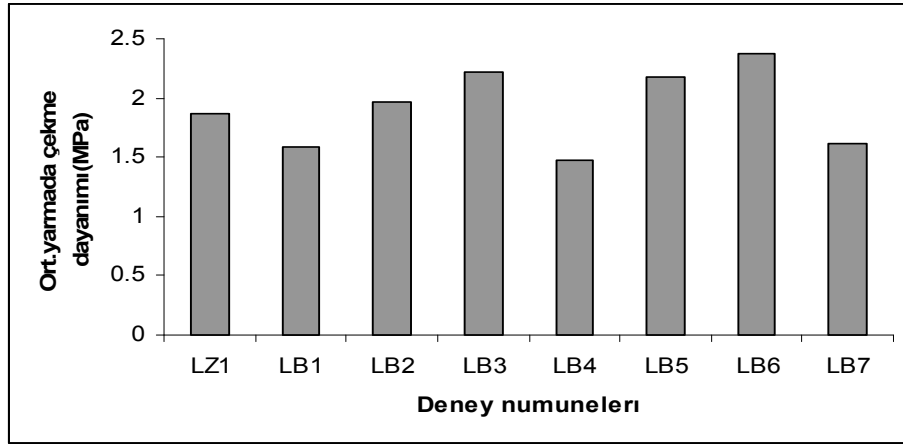
Su/çimento oranı 0.45 olan 1. tip lifli betonların yarmada çekme dayanımları, artan lif oranına (%0.25, %0.75 ve %1.25) bağlı olarak lifsiz betonun yarmada çekme dayanımından sırasıyla %0.35, %9.54, %31.8 daha yüksektir. Aynı sonuç oranında olan 2. tip lifli betonun yarmada çekme dayanım lif oranı %0.25 olan betonda %13.42 azalma, lif oranı %0.75 ve %1.25 'te ise sırasıyla %17.31 ve %55.83 lifsiz betona göre daha fazla yükselme elde edilmiştir. Yarmada çekme dayanımı 3. tip lifli betonda lif oranı %0.25' te lifsiz betonun yarmada çekme dayanımından %5.65 daha azdır.

Tablo 2.10. Ortalama yarmada çekme dayanımı değerleri

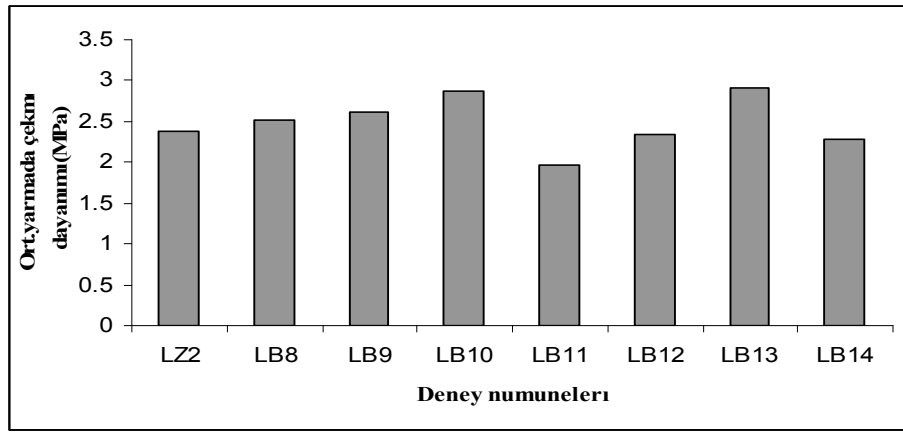
Lif durumu				Yarmada Çekme dayanı(MPa)			Lifli beton yarmada çekme dayanım değişimleri (%)		
				Su/çimento oranı			Su/çimento oranı		
				0.65	0.55	0.45	0.65	0.55	0.45
Lifsiz beton				1.87	2.38	2.83	-	-	-
Lifli beton	Lif tipi	1.Tip (RC 65/35)	% 0.25 (19.5kg/m ³)	1.59	2.51	2.84	-15	5.46	0.35
			% 0.75 (59 kg/m ³)	1.96	2.61	3.08	4.81	9.66	9.54
			%1.25 (97.5kg/m ³)	2.22	2.88	3.73	18.71	21	31.8
		2.Tip (RC65/60)	%0.25 (19.5kg/m ³)	1.47	1.96	2.45	-21.39	-17.65	-13.42
			%0.75 (59kg/m ³)	2.18	2.34	3.32	16.58	-1.68	17.31
			%1.25 (97.5kg/m ³)	2.37	2.91	4.41	26.74	22.27	55.83
		3.Tip (RC45/50)	%0.25 (19.5kg/m ³)	1.61	2.29	2.67	-13.9	-3.78	-5.65
			%0.75 (59kg/m ³)	-	-	-	-	-	-

Tablo 2.10 ve Şekil 2.19'de görüldüğü gibi, her bir su/çimento oranı için artan lif oranına bağlı olarak lifli betonların yarmada çekme dayanımları artmaktadır. Bu artış görünüm oranı yüksek olan lifli betonlarda görülmektedir.

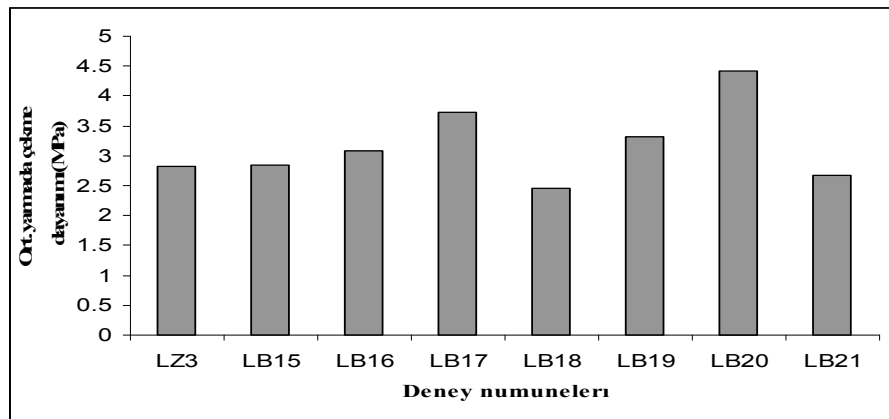
En yüksek artış 1. tip, 1. tip lifli betonlar (lif oranı %1.25) için ve su/çimento oranı 0.45 olan betonlarda görülmektedir.



(a) Su/çimento oranı 0.65 olan betonların ortalama yarmada çekme dayanımları

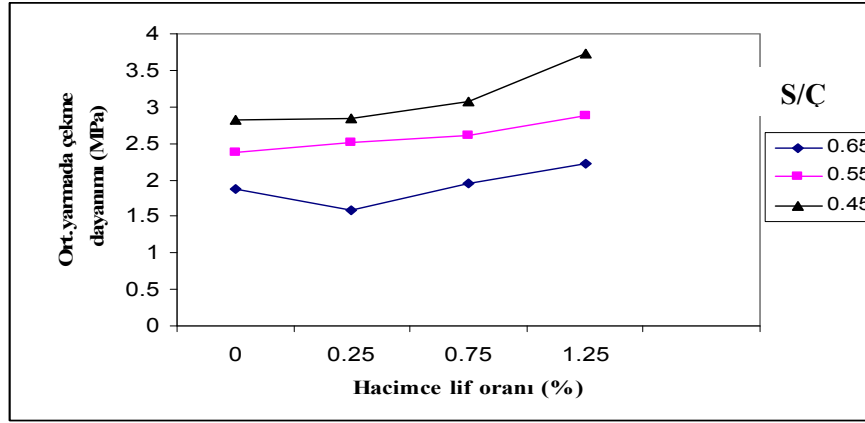


(b) Su/çimento oranı 0.55 olan betonların ortalama yarmada çekme dayanımları

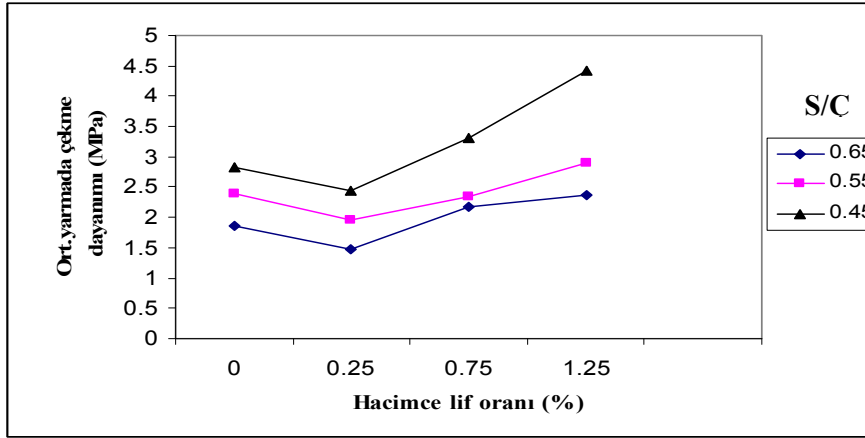


(c) Su/çimento oranı 0.45 olan betonların ortalama yarmada çekme dayanımları

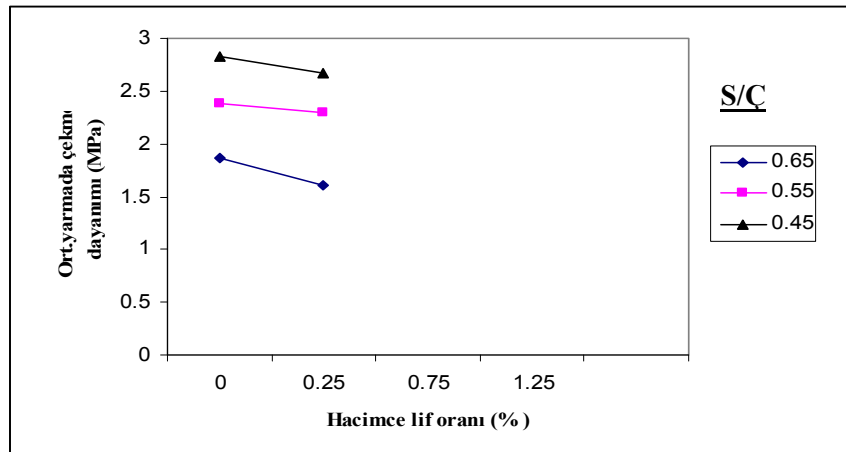
Şekil 2.19. Lifli ve lifsiz betonların ortalama yarmada çekme dayanımlarının su/çimento oranı (a) 0.65, (b) 0.55 (c) 0.45 olması durumunda değişimi



(a) 1. tip lifli betonlar

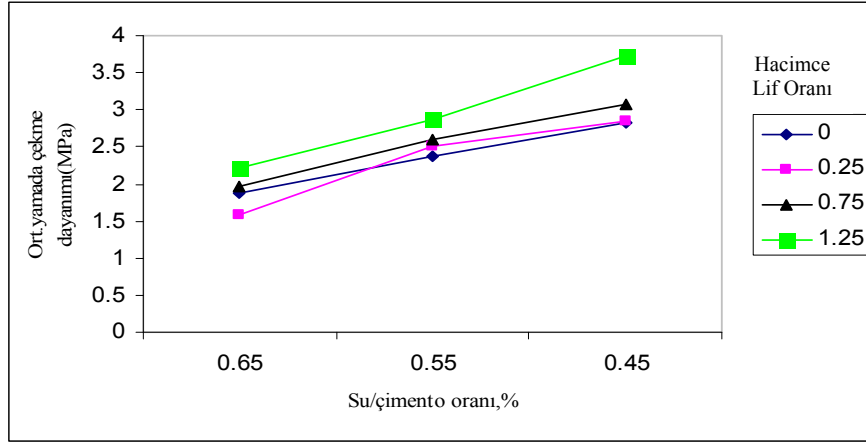


(b) 2. tip lifli betonlar

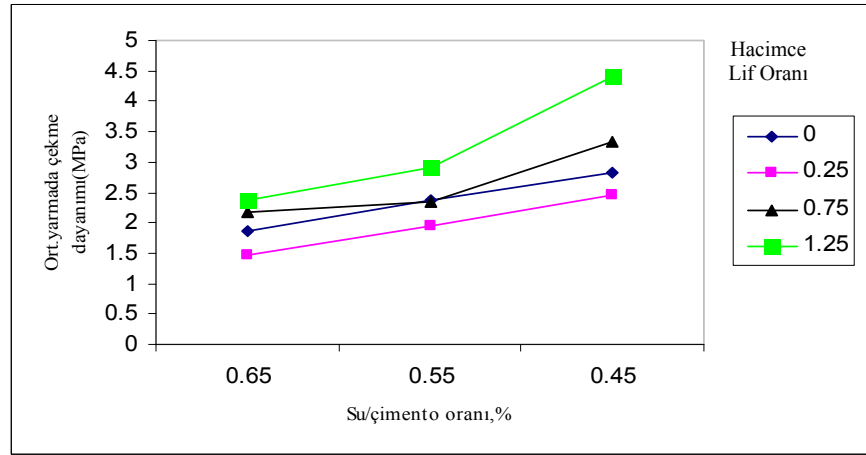


(c) 3. tip lifli betonlar

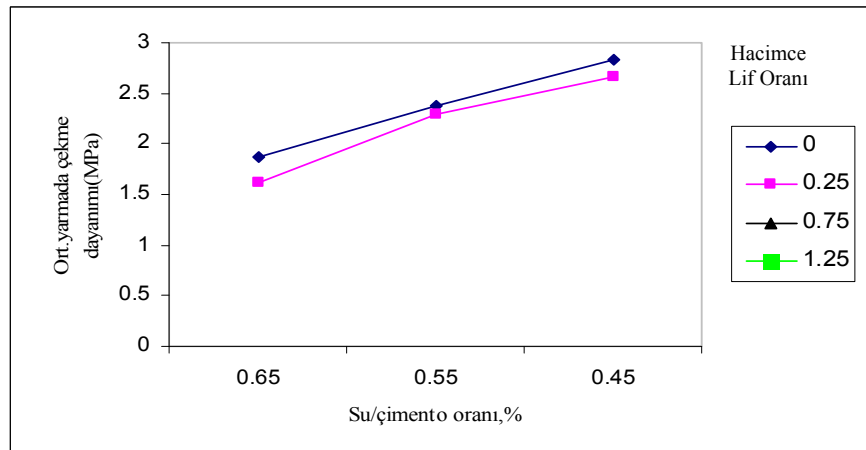
Şekil 2.20. Ortalama yarmada çekme dayanımlarının (a) birinci tip, (b) ikinci tip ve (c) üçüncü tip lifli betonlar için lif oranı ile değişimi



(a) 1. tip lifli betonlar

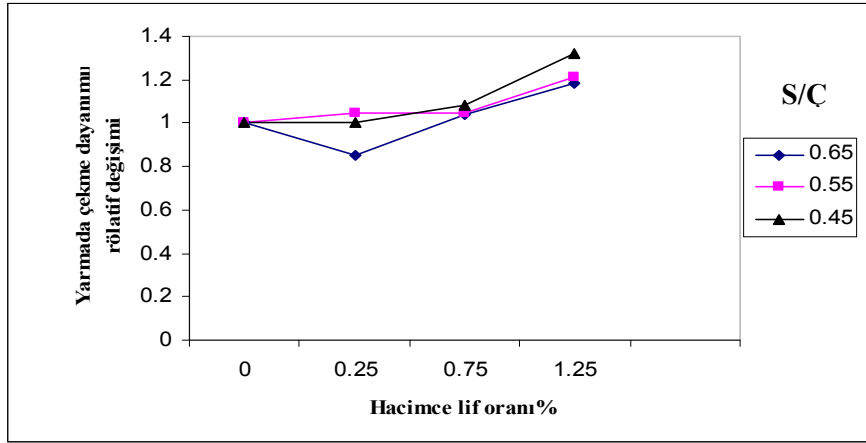


(b) 2. tip lifli betonlar

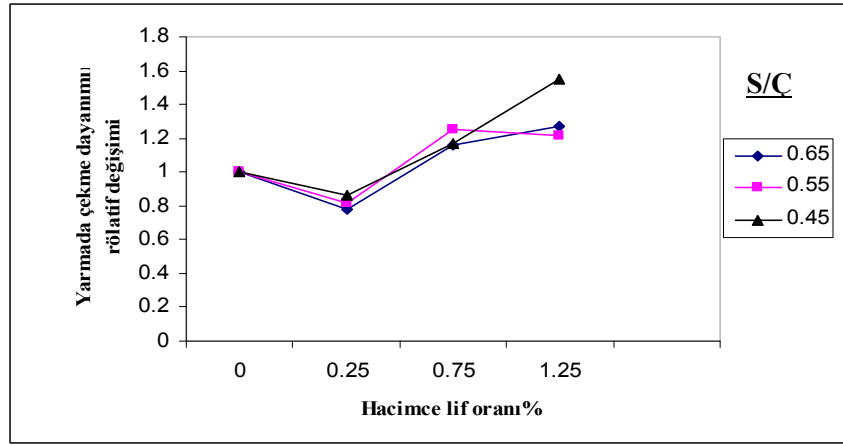


(a) 3. tip lifli betonlar

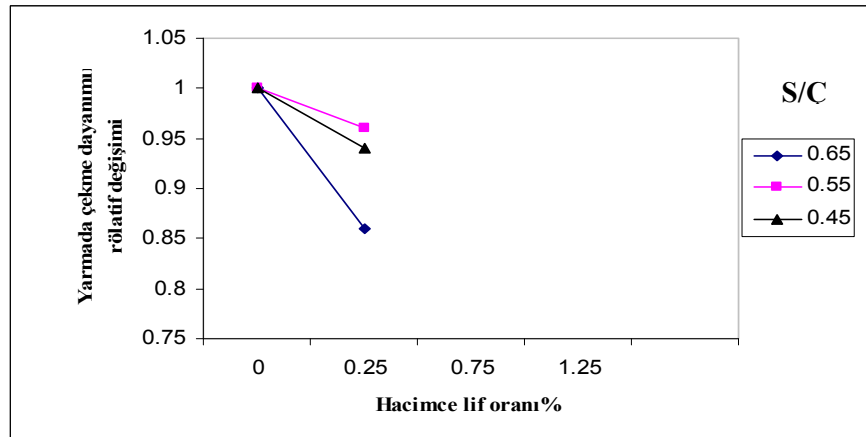
Şekil 2.21. Ortalama yarmada çekme dayanımlarının a) 1. tip, b) 2. tip ve 3). Tip lifli betonlar için su/çimento oranı ile değişimi



(a) 1. tip lifli betonlar



(b) 2. tip lifli betonlar

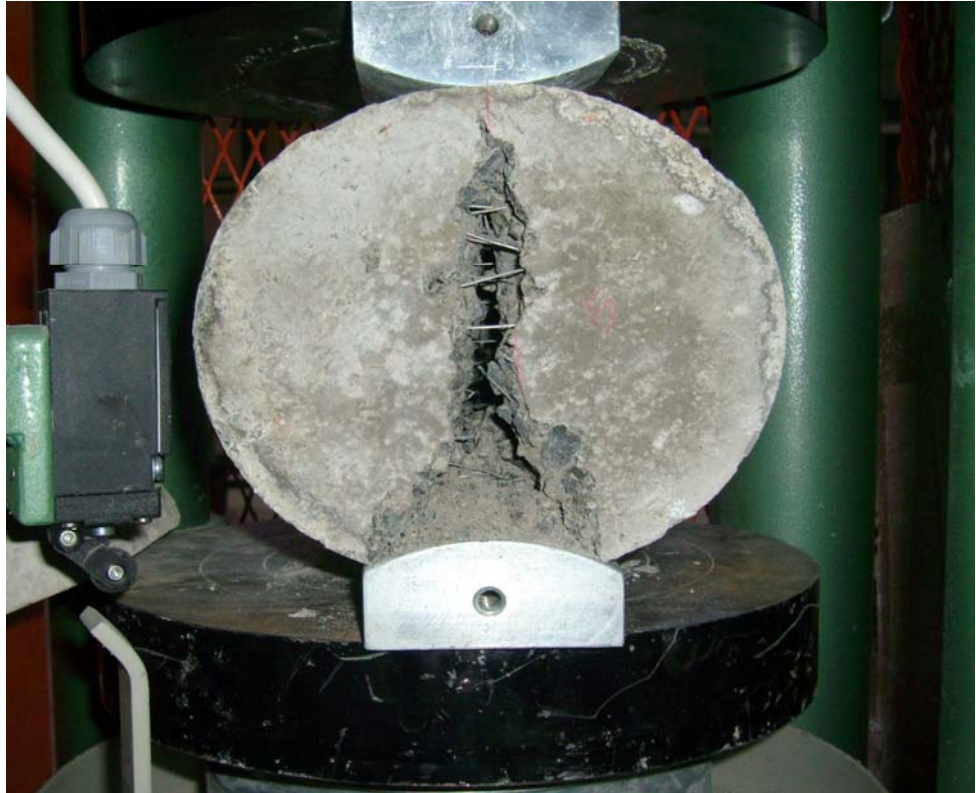


(c) 3tip lifli betonlar

Şekil 2.22. Ortalama yarmada çekme dayanımlarının a) 1. tip, b) 2. tip ve 3). Tip lifli betonlar için liffsiz betonun yarmada çekme dayanımına göre rölatif değışımi



Şekil 2.23. Yarmada çekme dayanım deneyinde lifsiz beton numune kırılma şekli



Şekil 2.24. Yarmada çekme dayanım deneyinde lifli beton numune kırılma şekli



Şekil 2.25. Yarmada çekme deneyine tabi tutulmuş lifsiz beton numuneler



Şekil 2.26. Yarmada çekme deneyine tabi tutulmuş çelik lifli beton numuneler

Şekil 2.20 'de görüldüğü gibi, her bir su/çimento oranı için, yarmada çekme dayanımları, lif oranı %0.25 ve %0.75 değerleri yakın, lif oranı %0.25 olan değer daha yüksektir.

Şekil 2.21 'de görüldüğü üzere, tüm su/çimento oranları için, yarmada çekme dayanımlarının lif oranı ile değişimleri benzerlik göstermektedir.

Şekil 2.22'de görüldüğü gibi, bütün su/çimento oranları için, lif oranı %0.25 olan lifli betonlarda düşüş ve su/çimento oranı %0.45 olan 1. tip ve 2. tiplik betonlarda %0.75 lif oranı için rölatif yarmada çekme dayanımlarında ani bir artış görülmekte ve bu artış %1.25 lif oranı için devam etmektedir.

Şekil 2.23, 2.24,2.25 ve 2.26 'de görüldüğü gibi, yarmada çekme dayanımında kırılan silindir numuneler lifli betonlarda, liffsiz betonlardakinin aksine kırılma sonrası bir parçalanma meydana gelmektedir.

2.4.3.4. Eğilmede Çekme Deneyi

Geleneksel ve lifli betonların eğilmede çekme dayanımları, 100mm×100mm×400mm boyutlarında daha önceden hazırlanan (Şekil 2.27) 4 adet prizmatik numuneler üzerinde TS 3285'e (1979) uygun olarak deneylerle gerçekleştirilmiştir[96]. Numuneler deney makinesine Şekil 2.28' de görüldüğü gibi 5'er cm' lik çıkmalarla basit mesnetli olacak şekilde yerleştirilmiş ve orta noktasından tekil yük uygulanmıştır. Yükleme dijital ortamda yapılmış olup, kesitin taşıyabileceği maksimum yük yine dijital ortamda kaydedilmiştir, aşağıda verilen formülle numunelerin eğilmede çekme dayanımları hesaplanmıştır.

$$f_e = PL / bh^2 \quad (2.8)$$

f_e ; Eğilme dayanımı, MPa

P; Kırılma anındaki maksimum yük (N)

L; Deney numunesinin iki mesnet arasındaki uzunluk (mm)

h; Deney numunesinin yüksekliği (mm)



Şekil 2.27. Eğilmede çekme deneyine hazırlanan beton numuneler



Şekil 2.28. Eğilmede çekme deneyinden bir görünüm

Prizmatik numuneler üzerinde yapılmış olan ortalama eğilmede çekme dayanımı değerleri ve değişimleri Tablo 2.11 ve Şekil 2.29'ta verilmektedir. Şekil 2.30'de ortalama eğilmede çekme dayanımlarının 1. tip, 2. ve 3. tip lifler için, lif oranına göre değişimi,

Şekil 2.31’da su/çimento oranına göre ve Şekil 2.332, 2.33, 2.34 ve 2.35’de lifli numunelerinin lifsiz numunelerin dayanımlarına göre rölatif değişimi verilmektedir.

Tablo 2. 11 deki değerleri incelediğinde , su/çimento oranı 0.65, 1. tip(uzunluk/çap, 35/ 55mm) lifli betonlarda, eğilmede çekme dayanımları, hacimce % 0.25 ve %0.75oranında çelik lif kullanılan her iki tür betonlarda %2.04 lifsiz betonun eğilmede çekme dayanımına göre bir düşme, hacimce lif oranı %1.25 de ise %14.62 yükselme meydana gelmiştir. Aynı su/çimento oranı 0.65 olan ve 2. tip lifli betonlar için lif oranı %0.25 olan betonlarda eğilmede çekme dayanımı lifsiz betona göre %35.67 azalma, lif oranı%0.75 ve%1.25 olan betonlarda sırasıyla %16.96 ve %22.8 yükselme görünmüştür. Bu değer %0.25 içeren 3.tip lifli betonlar için %44.73 azalma olmaktadır. Tüm bu değerleri incelendiğinde su/çimento oranı 0.65 olan betonlarda her iki tip lif için, lif oranı arttıkça eğilmede çekme dayanımı artmaktadır.

Tablo 2.11 incelendiğinde, su/çimento oranı 0.55 olan, hacimce %0.25 1.tip lif kullandığında betonun eğilmede çekme dayanım %9.15 azalmaktadır. Aynı su/çimento oranı ve lif tipi olan, hacimce %0.75 ve %1.25 olan betonlarda eğilmede çekme dayanımı sırasıyla %5 ve %8.7 yükselme tespit edilmektedir. Su/çimento oranı 0.55 olan, 2.tip lifler hacimce %0.25 ,%0.75 ve % 1.25 kullandığında betonlarda , eğilmede çekme dayanımı sırasıyla % 25.17, %15.79 ve %11.4 , aynı su/çimento oranında lifsiz betonun eğilmede çekme dayanımına göre azalma meydana gelmektedir. Bu değer %0.25 içeren 3.tip lifli betonlar için %8 azalma olmaktadır.

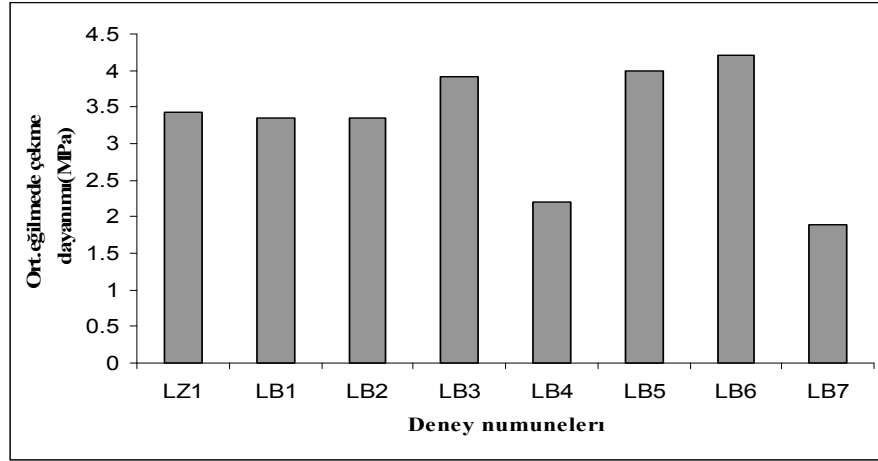
Tablo 2.11’a göre su/çimento oranı 0.45 olan betonlarda hacimce %0.25, 1.tip lif kullanma sonucunda, betonun eğilmede çekme dayanımı lifsiz betondan %13.13 azalmaktadır. Aynı su/çimento oranı ve lif tipi hacimce %0.75 ve %1.25 olan lifli betonlarda eğilmede çekme sırasıyla % 3.6 ve % 26.7 lifsiz beton göre daha yüksektir.

Tablo 2.11 . Ortalama eğilmede çekme dayanım değerleri

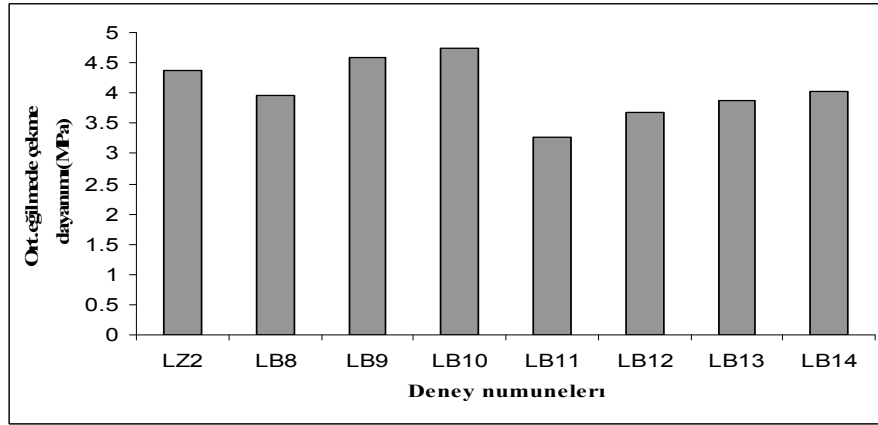
Lif durumu				Eğilme dayanımı(MPa)			Eğilme dayanım değişimleri (%)		
				Su/çimento oranı			Su/çimento oranı		
				0.65	0.55	0.45	0.65	0.55	0.45
Lifsiz beton				3.42	4.37	4.72	-	-	-
Lifli beton	Lif tipi	1.Tip RC 65/35	% 0.25 (19.5kg/m ³)	3.35	3.97	4.1	-2.04	-9.15	-13.13
			% 0.75 (59 kg/m ³)	3.35	4.59	4.89	-2.04	5	3.6
			%1.25 (97.5kg/m ³)	3.92	4.75	5.98	14.62	8.7	26.7
		2.Tip RC 65/60	%0.25 (19.5kg/m ³)	2.2	3.27	3.18	-35.67	-25.17	-32.62
			%0.75 (59kg/m ³)	4	3.68	5.46	16.96	-15.79	15.68
			%1.25 (97.5kg/m ³)	4.2	3.87	4.99	22.8	-11.44	5.72
		3.Tip RC 45/50	%0.25 (19.5kg/m ³)	1.89	4.02	4.48	-44.73	-8	-5.1
			%0.75 (59kg/m ³)	-	-	-	-	-	-

Su/çimento oranı 0.45 olan betonlarda, hacimce %0.25 ve birinci tip lif kullanımında, betonun eğilmede çekme dayanımında %32.62 azalma görülmektedir. Aynı su/çimento oranı ve lif tipi hacimce %0.75 ve %1.25 olan lifli betonlarda sırasıyla %15.68 ve %5.72 eğilmede çekme dayanımı yükselme elde edilmektedir. Hacimce % 0.25 üçüncü tip liften kullandığında su/çimento oranı 0.45 olmak üzere betonun eğilmede çekme dayanımı lifsiz betona göre %5.2 azalma görülmektedir.

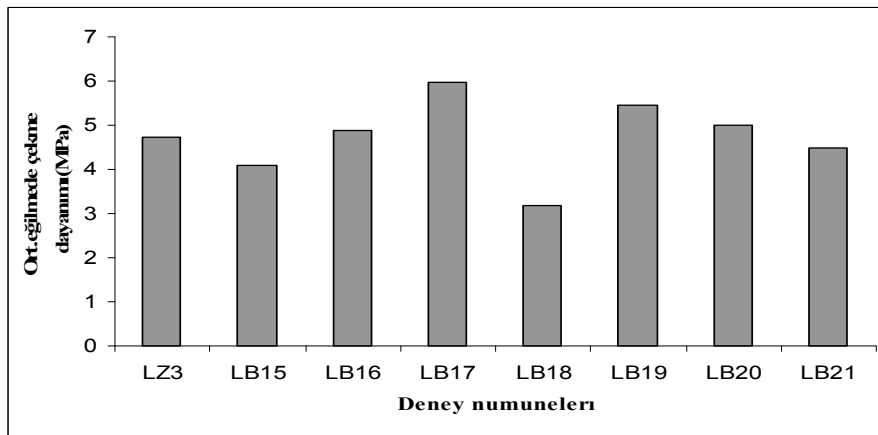
Tablo 2.11 ve Şekil 2.29'den görülmek üzere, her bir su/çimento oranı için lifli betonun eğilmede çekme dayanımları, artan lif oranı ile artırılmaktadır. En yüksek artışlar 1.tip lifli betonlar için su/çimento oranı 0.45 ve lif oranı %1.25 olan betonlarda, 2.tip lifli betonlar için su/çimento oranı 0.65 olan yine lif oranı %1.25 olan betonlarda elde edilmektedir.



(a) Su/çimento oranı 0.65 olan betonlarda ortalama eğilmede çekme dayanımı

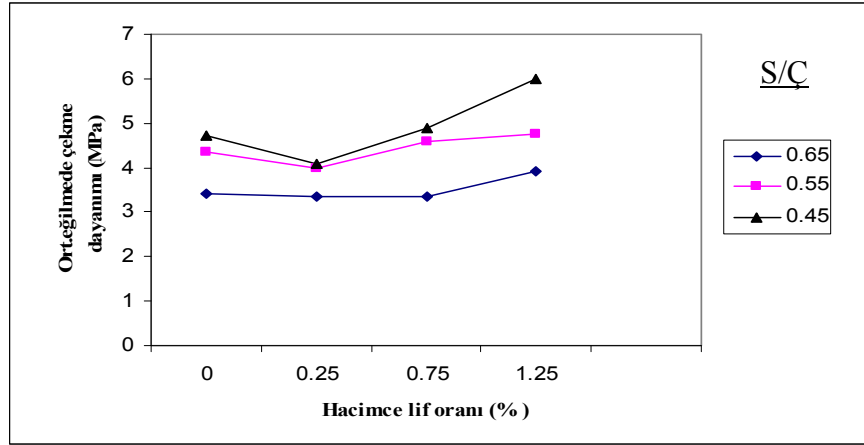


(b) Su/çimento oranı 0.55 olan betonlarda ortalama eğilmede çekme dayanımı

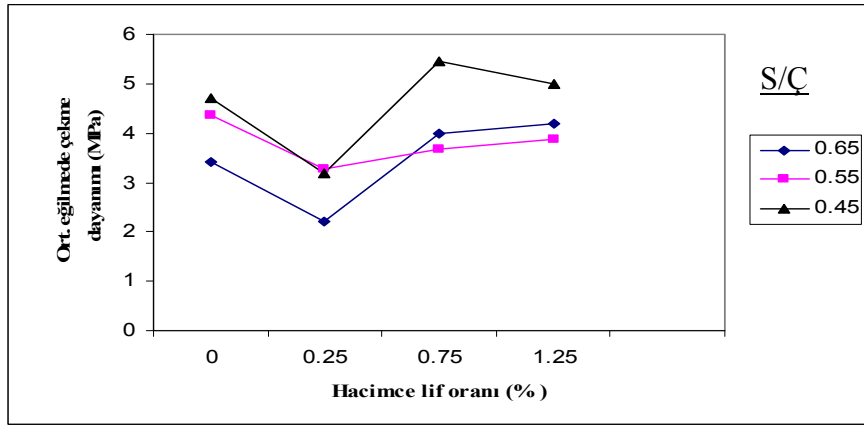


(c) Su/çimento oranı 0.45 olan betonlarda ortalama eğilmede çekme dayanımı

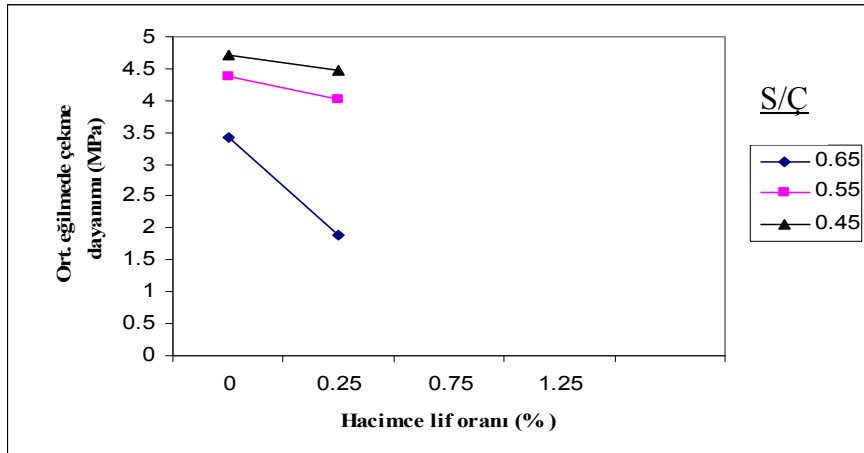
Şekil 2.29. Lifli ve lifli betonların eğilmede çekme dayanımlarının su/çimento oranının (a) 0.65, (b) 0.55 ve (c) 0.45 Olması durumunda değişimi



(a) 1. tip lifli betonlar

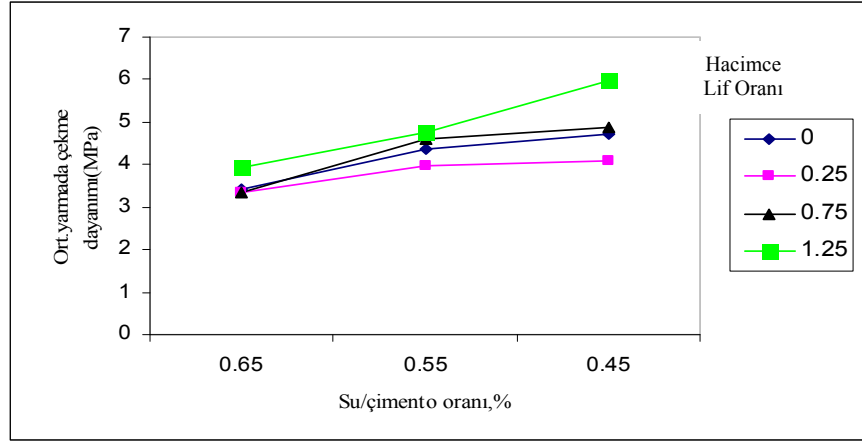


(b) 2. tip lifli betonlar

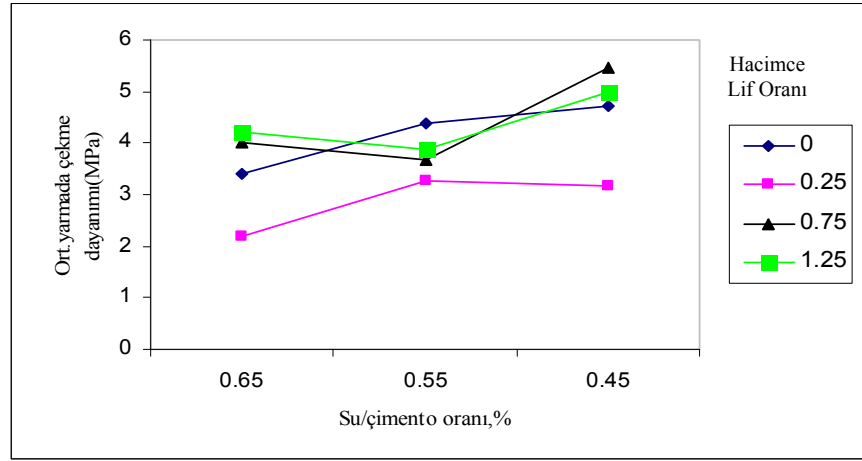


(c) 3. tip lifli betonlar

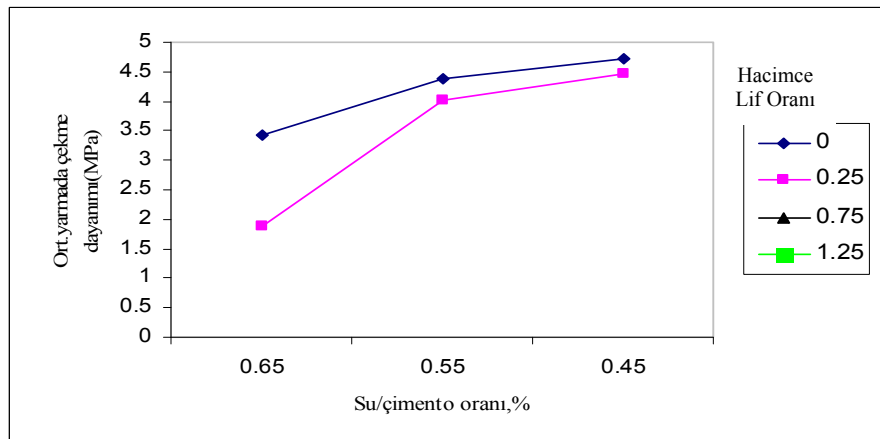
Şekil 2.30. Eğilmede çekme dayanımlarının (a) birinci tip , (b) ikinci tip ve (c) üçüncü tip lifli betonlar için lif oran ile değişimi



(a) 1.tip lifli betonlar

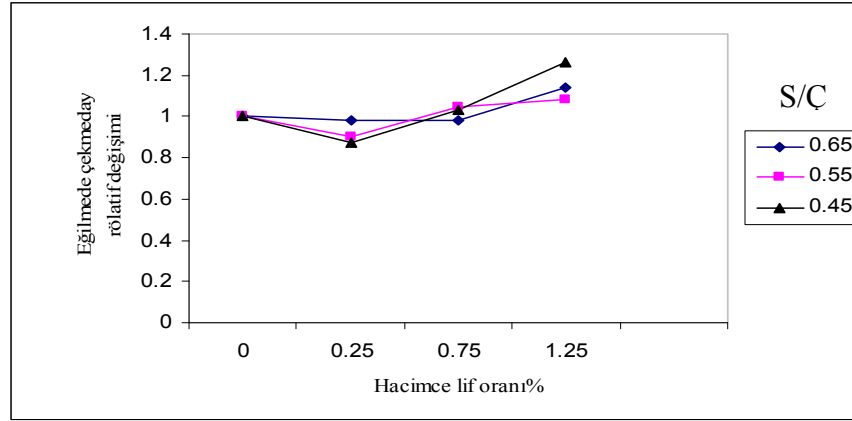


(b) 2.tip lifli betonlar

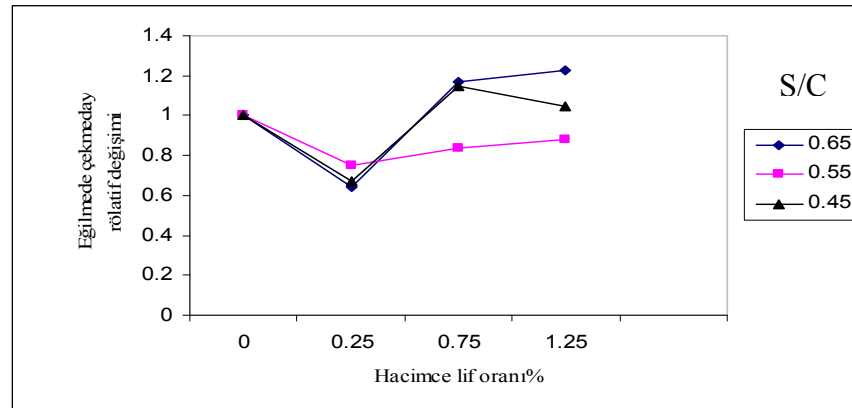


(c) 3. tip lifli betonlar

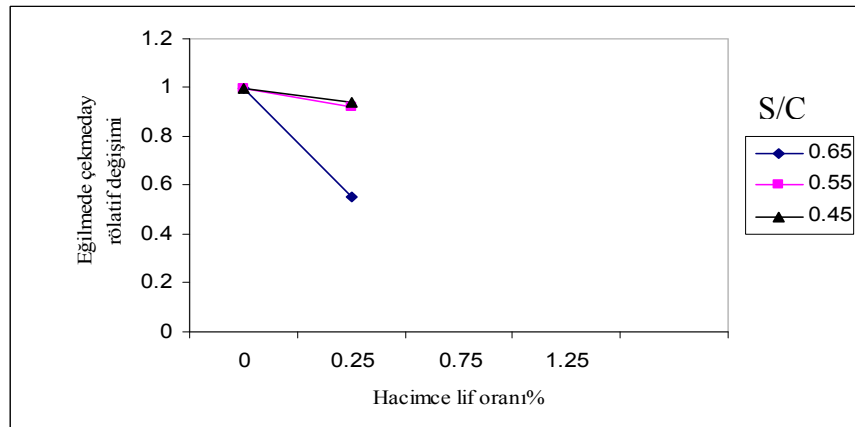
Şekil 2.31. Ortalama eğilmede çekme dayanımlarının a) 1. tip, b) 2. tip ve c) 3. tip lifli betonlar için su/çimento oranı ile değişimi



(a) 1. tip lifli betonlar



(b) 2 tip lifli betonlar



(c) 3. tip lifli betonlar

Şekil 2.32. Ortalama eğilmede çekme dayanımlarının a) 1. tip, b) 2. tip ve c) 3. tip lifli betonlar için liffsiz betonun yarmada çekme dayanımına göre rölatif değışimi



Şekil 2.33. Eğilmede çekme deneyinde lifsiz beton numunesinin kırılma şekli



Şekil 2.34. Eğilmede çekme deneyinde lifli beton numunesinin kırılma şekli



Şekil 2.35. Eğilmede çekme deneyine tabi tutulmuş çelik lifli beton numuneler

Şekil 2.30'dan görüldüğü gibi, eğilmede çekme dayanımı, artan lif oranı ile sadece lif oranı %0.25 hariç ve azalan su/çimento oranına bağlı olarak artmaktadır.

Şekil 2.31'den görüldüğü gibi, su/çimento oranı 0.45 ve 0.65 olan 1. tip lifli betonlarda %0.75 lif oranı için, lifli betonun eğilmede çekme dayanımı lifsiz betona göre ani bir artış meydana gelmektedir. Aynı su/çimento oranı olan 2. tip lifte ise pek değişmemiştir.

Şekil 2.33 ve 2.34 görüldüğü gibi yük tesirinde kalan numune, maksimum yükün altında parçalanmış, lifli beton ise yekpare kalmağı başarmış.

2.5. Betonlarda Yarmada Çekme, Eğilmede Çekme Dayanımları ile Merkezi Çekme Dayanımlarının Karşılaştırılması

Betonun çekme dayanımının aksel çekme dayanımlarından elde edilen değerler olarak hesaplarda dikkate alınılmaktadır. Ancak aksel çekme dayanımı ile betonun çekme dayanımı belirlemek, oldukça göç ve zahmetlidir. Bunun yerine betonun çekme dayanımı silindir yarma deneyi ve eğilme deneyleri ile dolaylı yoldan belirlenmesine izin verilmektedir[TS 500] [97].

Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları TS 500' e göre betonun aksel çekme dayanımı silindir yarma dayanımlarından elde edilen çekme dayanımlarını 1.5 ile, eğilme deneyinden elde edilen çekme dayanımını da 2 ile bölerek yaklaşık olarak elde edilebileceği belirtilmektedir(TS 500) [93].

TS 500' de betonun karakteristik aksel çekme dayanımı ;

$$f_{ctk} = 0.35 \sqrt{f_{ck}} \quad (\text{MPa}) \quad (2.9)$$

bağlantısıyla hesaplanacağı belirtilmektedir.

Bu çalışma kapsamında üretilen lifsiz ve lifli beton numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneylerden elde edilen betonun yarmada çekme dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı ile basınç dayanımları arasında böyle bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır.

2.5.1. Betonlarda Yarmada Çekme Dayanımları ile Merkezi Çekme Dayanımlarının Karşılaştırılması

Yukarıda belirtildiği gibi betonun yarmada çekme dayanımı ile basınç dayanımları arasında bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır. Bunun için yarmada çekme dayanımı (f_{cty}) ile basınç dayanımı arasında ;

$$f_{cty} = k \sqrt{f_c} \quad (\text{MPa}) \quad (2.10)$$

bir ilişki olduğu kabul edilerek k katsayıları su/çimento oranı 0.65 olanlar için Tablo 2.12' de su/çimento oranı 0.55 olanlar için Tablo 2.13' de ve su/çimento oranı 0.45 olanlar için ise Tablo 2.14' de verilmektedir. Bununla birlikte bu Tablolarda yarmada çekme

dayanımından merkezi çekme dayanımına geçmek için elde edilen k değerleri 1.5'a bölünerek standart ta verilen $k=0.35$ katsayısına uygunluğu da araştırılmıştır.

Tablo 2.12. Su/çimento oranı 0.65 olan betonların basınç dayanımı ile yarmada çekme dayanımının ilişkisi

Lif durumu		Ortalama basınç dayanımları f_c (MPa)	Ortalama yarmada çekme dayanımları f_{cty}	K katsayısı $f_{cy}=K\sqrt{f_c}$ göre	Merkezi çekme dayanımı $f_{ct}=k\sqrt{f_c}$ (TS 500 e göre $k=0.35$) $k/1.5$	
Lifsiz beton		17.55	1.87	0.446	0.3	
Lifli beton	1. Tip RC 65/35 BN	% 0.25	15.6	1.59	0.402	0.26
		% 0.75	15.82	1.96	0.492	0.32
		%1.25	14.2	2.22	0.588	0.53
	2. Tip RC65/60 BN	%0.25	15.55	1.47	0.39	0.26
		%0.75	15.6	2.18	0.551	0.36
		%1.25	14.35	2.37	0.625	0.41
	3. Tip RC45/50 BN	%0.25	14.2	1.61	0.427	0.28
		%0.75	-	-	-	
	Lifli betonların deneylerden elde edilen ortalama merkezi çekme dayanımı					0.35

Tablo 2.13. Su/çimento oranı 0.55 olan betonların basınç dayanımı ile yarmada çekme dayanımının ilişkisi

Lif durumu			Basınç dayanımları (MPa)	Yarmada Çekme dayanımları f_{cty} MPa	K katsayısı $f_{ct}=K \sqrt{f_c}$ göre	Merkezi çekme dayanımı $f_{ct}=k \sqrt{f_c}$ (TS500 e göre $k=0.35$) $k/1.5$
Lifsiz beton			22.5	2.38	0.5	0.33
Lifli beton	1.Tip RC 65/35 BN	% 0.25 (19.5kg/m ³)	24.5	2.51	0.5	0.33
		% 0.75 (59 kg/m ³)	18.9	2.61	0.6	0.4
		%1.25 (97.5kg/m ³)	20.7	2.88	0.63	0.42
	2.Tip RC65/60 BN	%0.25 (19.5kg/m ³)	18.5	1.96	0.455	0.3
		%0.75 (59kg/m ³)	19.4	2.34	0.53	0.35
		%1.25 (97.5kg/m ³)	19.7	2.91	0.65	0.43
	3.Tip RC45/50 BN	%0.25 (19.5kg/m ³)	20.3	2.29	0.5	0.33
		%0.75 (59kg/m ³)	-	-	-	-
	Lifli betonların deneylerden elde edilen ortalama merkezi çekme dayanımı					

Tablo 2.14. Su/çimento oranı 0.45 olan betonların basınç dayanımı ile yarmada çekme dayanımının ilişkisi

Lif durumu			Basınç dayanımları f_c (MPa)	Yarmada çekme dayanımları f_{ct} (MPa)	K katsayısı $f_{cy}=K \sqrt{f_c}$ göre	Merkezi çekme dayanımı $f_{ct}=k \sqrt{f_c}$ (TS500 e göre $k=0.35$) $k/1.5$	
Lifsiz beton			24.1	2.83	0.57	0.38	
Lifli beton	Lif tipi	1.Tip RC 65/35 BN	% 0.25 (19.5kg/m ³)	30.1	2.84	0.51	0.34
			% 0.75 (59 kg/m ³)	25.6	3.08	0.6	0.4
			%1.25 (97.5kg/m ³)	27.05	3.73	0.71	0.47
		2.Tip RC 65/60 BN	%0.25 (19.5kg/m ³)	24.8	2.45	0.49	0.32
			%0.75 (59kg/m ³)	26.7	3.32	0.64	0.42
			%1.25 (97.5kg/m ³)	28.1	4.41	0.83	0.55
	3.Tip RC 45/50 BN	%0.25 (19.5kg/m ³)	30.25	2.67	0.48	0.32	
		%0.75 (59kg/m ³)	-	-	-	-	
	Lifli betonların deneylerden elde edilen ortalama merkezi çekme dayanımı						0.40

Bu Tablolara göre lifsiz betonlarda bu katsayı 0.34 olarak elde edilmiştir. Buda TS 500'de verilen 0.35 katsayısına oldukça yakındır. Lifli betonlar da ise tüm lif oranlarla birlikte değerlendirildiğinde, su/çimento oranı 0.65 olan betonlarda 0.35, su/çimento oranı 0.55 olan betonlarda 0.36 ve su/çimento oranı 0.45 olan betonlarda ise 0.40 olarak elde edilmiştir. Zira lifli betonların ortalaması ise 0.37 olmuştur. Bu lifli betonlarda silindir yarma deneylerinden elde edilen yarmada çekme dayanımları ile merkezi çekme dayanımına girişte, lifsiz betonlarda olduğu gibi standardın önerdiği 0.35 katsayısının kullanımının büyük bir hata getirmeyeceğini ortaya koymaktadır.

2.5.2. Betonlarda Eğilmede Çekme Dayanımları ile Merkezi Çekme Dayanımlarının Karşılaştırılması

Bu çalışma kapsamında üretilen lifsiz ve lifli beton numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneylerden elde edilen betonun eğilmede çekme dayanımı (f_{cte}) ile betonun basınç dayanımı arasında ;

$$f_{cte}=k\sqrt{f_c} \quad (2.11)$$

gibi bir ilişkinin olduğu kabul ile bu çalışma kapsamında üretilen betonlarda k katsayıları su/çimento oranı 0.65 olan betonlar için Tablo 2.15' da, su/çimento oranı 0.55 olan betonlar için Tablo 2.16 da ve su/çimento oranı 0.45 olan betonlar için ise Tablo 2.17 de verilmiştir. Bununla birlikte bu Tablolar eğilmede çekme dayanımından merkezi çekme dayanımına geçmek için elde edilen k değerleri 2 ile bölünerek TS 500 standart da verilen k katsayısı uygunluğu da araştırılmıştır.

Tablo 2.15. Su/çimento oranı 0.65 olan betonların basınç dayanımı ile eğilmeye çekme dayanımının ilişkisi

Lif durumu			Basınç dayanımı f_c (MPa)	Eğilmeye Çekme dayanımı f_{ce} (MPa)	K katsayısı $f_{ce}=K\sqrt{f_c}$ göre	Merkezi çekme day. $f_{cte}=k\sqrt{f_c}$ TS500 e göre (k/2)	
Lifsiz beton			17.55	3.42	0.81	0.41	
Lifli beton	Lif tipi	1.Tip RC 65/35 BN	% 0.25 (19.5kg/m ³)	15.6	3.35	0.85	0.43
			% 0.75 (59 kg/m ³)	15.82	3.35	0.84	0.42
			%1.25 (97.5kg/m ³)	14.2	3.92	1.04	0.52
		2.Tip RC 65/60 BN	%0.25 (19.5kg/m ³)	15.55	2.2	0.55	0.28
			%0.75 (59kgm ³)	15.6	4	1.01	0.51
			%1.25 (97.5kg/m ³)	14.35	4.2	1.1	0.55
	3.Tip RC 45/50 BN	%0.25 (19.5kg/m ³)	14.2	1.89	0.5	0.25	
		%0.75 (59 kg/m ³)	-	-	-	-	
	Lifli betonların deneylerden elde edilen ortalama merkezi çekme dayanımı						0.42

Tablo 2.16. Su/çimento oranı.0.55 olan betonların basınç dayanımı ile eğilmeye çekme dayanımının ilişkisi

Lif durumu			Basınç day. f_c (MPa)	Eğilmeye çekme dayanımı f_{ce} (MPa)	K katsayısı ($f_{ce}=K\sqrt{f_c}$) göre	Merkezi çekme dayanımı $f_{cte}=k\sqrt{f_c}$ TS500 e göre (k/2)	
Lifsiz beton			22.5	4.37	0.92	0.46	
Lifli beton	Lif tipi	1.Tip RC 65/35 BN	% 0.25 (19.5kg/m ³)	24.5	3.97	0.8	0.40
			% 0.75 (59 kg/m ³)	18.9	4.59	1.05	0.53
			%1.25 (97.5kg/m ³)	20.7	4.75	1.04	0.52
		2.Tip RC 65/60 BN	%0.25 (19.5kg/m ³)	18.5	3.27	0.76	0.38
			%0.75 (59kg/m ³)	19.4	3.68	0.83	0.42
			%1.25 (97.5kg/m ³)	19.7	3.87	0.87	0.44
		3.Tip RC 45/50 BN	%0.25 (19.5kg/m ³)	20.3	4.02	0.89	0.44
			%0.75 (59kg/m ³)	-	-	-	
		Lifli betonların deneylerden elde edilen ortalama merkezi çekme dayanımı					

Tablo 2.17. Su/çimento oranı 0.45 olan betonların basınç dayanımı ile eğilmede çekme dayanımının ilişkisi

Lif durumu			Basınç dayanımı f_c (MPa)	Eğilmede çekme dayanımı f_{ce} (MPa)	K katsayısı $f_{ce}=K\sqrt{f_c}$ göre	Merkezi çekme dayanımı $f_{cte}=k\sqrt{f_c}$ TS500 e göre (k/2)	
Lifsiz beton			24.1	4.72	0.96	0.48	
Lifli beton	Lif tipi	1.Tip RC 65/35 BN	% 0.25 (19.5kg/m ³)	30.1	4.1	0.75	0.38
			% 0.75 (59 kg/m ³)	25.6	4.89	0.96	0.48
			%1.25 (97.5kg/m ³)	27.05	5.98	1.15	0.58
		2.Tip RC 65/60 BN	%0.25 (19.5kg/m ³)	24.8	3.18	0.64	0.32
			%0.75 (59kg/m ³)	26.7	5.46	1.05	0.53
			%1.25 (97.5kg/m ³)	28.1	4.99	0.94	0.47
		3.Tip RC 45/50 BN	%0.25 (19.5kg/m ³)	30.25	4.48	0.81	0.41
			%0.75 (59kg/m ³)	-	-	-	-
		Lifli betonların deneylerden elde edilen ortalama merkezi çekme dayanımı					

Bu Tablolara göre lifsiz betonlarda bu katsayı 0.45 olarak elde edilmiştir. Buda TS500 de verilen katsayısından %29 oranında daha fazladır. Lifli betonlarda ise tüm lif oranları birlikte değerlendirdiğinde su/çimento oranı 0.65 olan betonlarda 0.42 , su/çimento oranı 0.55 olan betonlarda ve su/çimento oranı 0.45 olan betonlarda 0.45 olarak elde edilmiş. Tüm lifli betonların ortalaması ise 0.44 olmuştur. Buda lifli betonlarda eğilme deneylerinden elde edilen çekme dayanımları ile merkezi çekme dayanımına önerdiği 0.35 katsayısı arasında %26 oranında fark olduğu , bu nedenle de eğilme deneyi ile elde edilen çekme dayanımının merkezi çekme dayanımına dönüştürülmesinde bu katsayıların ihtiyatla kullanılmasını önermektedir.

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çelik liflerin farklı dayanıma sahip betonların mekanik özelliklerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmadan çıkarılan bazı sonuç ve öneriler aşağıda özetlenmiştir.

1) Bu çalışma kapsamında su/çimento oranı 0.65 olan lifsiz betonların ortalama merkezi basınç dayanımı 17.55 MPa, su/çimento oranı 0.55 olan betonların basınç dayanımı 22.5 MPa ve 0.45 olanları ise 24.1 MPa olarak belirlenmiştir.

2) Bu çalışmada üç farklı görünüm oranında (64, 67, 45) lif kullanılmıştır. Su/çimento oranı 0.65 olan lifli beton, hacimce (%0.25, %0.75, %1.25) olan 1. tip lif kullanıldığında, betonun merkezi basınç dayanımı, lifsiz betonla karşılaştırıldığında, sırasıyla %11.11, %10.54, %19 azalmıştır. bu azalma değerleri ortalama olarak alındığında, merkezi basınç dayanımı 1. tip lifli betonların tüm hacimce lif oranlarına (%0.25, %0.75, %1.25) göre %13.55 lifsiz betonun basınç dayanımından az olmuştur.

Su/çimento oranı 0.65 olan 2. tip lifli betonlar tüm lif hacimleri (%0.25, %0.75, %1.25) ile birlikte değerlendirildiğinde merkezi basınç dayanımı, lifsiz betonların merkezi basınç dayanımından %13.49 daha az olduğu görülmüştür. Bu azalma oranı 3. tip lifli betonlarda hacimce %0.25 lif kullanıldığında %19.08 olmuştur.

Merkezi basınç dayanımı, su/çimento oranı 0.65 olan tüm beton sınıflarında lif oranı (%0.25, %0.75, %1.25) ve her üç tip life bağlı olarak ortalama %15.14 azalma meydana gelmiştir.

3) su/çimento oranı 0.55 olan 1. tip lifli (lif görünüm oranı 64) betonların merkezi basınç dayanımları tüm lif hacimleri (%0.25, %0.75 ve %1.25) için %11.02 lifsiz betonların merkezi basınç dayanımından düşük olmuştur. Anı su/çimento oranında olan 2. tip lifli (lif görünüm oranı 67) betonların merkezi basınç dayanımları bütün lif hacimleri için %14.68 lifsiz betonların merkezi basınç dayanımından düşük olmuş ve 3. tip lifler (lif görünüm oranı 45) için merkezi basınç dayanımı hacimce %0.25 lif ilave edildiğinde % 9.77 azalma meydana gelmiştir.

Merkezi basınç dayanımı, su/çimento oranı 0.55 olan bütün beton sınıflarında lif oranları ve tipleri için %11.82 düşmüştür.

4) Bu çalışmada su/çimento oranı 0.45 olan 1. tip (görünüm oranı 64) lifli betonların basınç dayanımları, artan lif oranına (%0.25, %0.75, %1.25) bağlı olarak lifsiz betonun

basınç dayanımından sırasıyla %2.49, %6.22, %12.24 daha yüksek olmuştur. Bu yükselme değeri 1. tip tüm betonlarda %14.45 olmuştur.

Su/çimento oranı 0.45 olan 2. tip lifli betonların merkezi basınç dayanımları artan lif oranına göre(%0.25, %0.75 ve %1.25) lifsiz betonun merkezi basınç dayanımından sırasıyla %2.9, %10.78,%16.6 oranlarında daha yüksektir. Bu artış tüm 3. tip lifli betonlarda %10.09 olmuştur. Yine su/çimento oranı 0.45 olan hacimce %0.25, 3. tip lif kullanıldığında, betonun merkezi basınç dayanımında %25.51 yükselme gerçekleşmiştir.

Su/çimento oranı 0.45 olan her üç tip lifli betonların merkezi basınç dayanımı lifsiz betonlara göre ortalama %16.68 yükselmiştir.

Çelik lif kullanılmasıyla merkezi beton basınç dayanımında elde edilen en yüksek dayanım artış değeri %16.68 olarak gerçekleşmiş ve bu değer literatürde belirtilen liflerin gerçekleştirdiği dayanım artışı 0.45 su/çimento oranına sahip betonlar için %6-%25 arasında olmaktadır. Diğer su/çimento oranına sahip betonlarda ise artış olmamıştır.

5) Lif görünüm oranının beton basınç dayanımını arttırmasında önemli bir etkisi olmamaktadır.

Çelik lifler en yüksek basınç dayanım artışını su/çimento oranı en az (0.45) olan betonda, en düşük basınç dayanım ise en yüksek su/çimento oranına (0.65)sahip betonda olmaktadır.

6) Yapılan bu çalışmada çelik lif oranı arttıkça betonun yarmada çekme dayanımı artmaktadır. En yüksek artış, çelik lif oranı %1.25 olan betonda elde edilmiştir. Yarmada çekme dayanımı, karışımda 1. tip liflerin kullanıldığı halde ve su/çimento oranı 0.65, 0.55, 0.45 bağlı olarak sırasıyla %18.71, %21, %31.8 artış gerçekleştirirken, 2. tip liflerin kullanıldığı betonlarda bu artış sırasıyla %26.74, %22.27, %55.83 olarak elde edilmiştir. 3. tip hacimce % 0.25 lif kullanıldığında betonun yarmada çekme dayanımı, su/çimento oranlarına (0.65, 0.55, 0.45) bağlı olarak lifsiz betonun yarmada çekme dayanımından sırasıyla %3.9, %3.78, %5.65 daha düşük olmuştur.

Hacimce %0.25 lif kullandığında betonun yarmada çekme dayanımı 3. tip lif için ve su/ çimento oranlarına bağlı olarak sırasıyla % 13.9, % 3.78 ve %5.65 lifsiz betonun yarmada çekme dayanımından düşük olmuştur.

Betonda hacimce %0.25, her üç tip lif kullanıldığında tüm su/çimento oranları için yarmada çekme dayanımları lifsiz betona göre daha az olmuştur. Bu da hacimce %0.25' lik lif oranının yarmada çekme dayanım üzerinde etkisi olmadığını gösteriyor.

Bu çalışma kapsamında su/çimento oranı 0.65, 0.55 ve 0.45 lifsiz betonların yarmada çekme dayanımları sırasıyla 1.87, 2.38 ve 2.83 MPa olmuştur.

Su/çimento oranı 0.65 olan 1. tip lifli betonların yarmada çekme dayanımı tüm hacimler birlikte %1.60 lifsiz betonun yarmada çekme dayanımından yüksek olup, 3. tip lifte ise % 13.9 azalmıştır. Yarmada çekme dayanımı su/çimento oranı 0.55 olan 1.tip lifli betonlarda %12.04 lifsiz betonlara göre artmıştır. 2.tip liflerde ise bu artış %1 oranda olmuştur. 3.tip lif, %0.25 hacmi ile üretilen lifli betonun yarmada çekme dayanımı % 3.78 lifsiz betona göre azalmıştır. Her üç tip için su/çimento 0.55 olan tüm betonlar birlikte % 3.08 yarmada çekme dayanımında yükselme elde edilmiştir.

Bu çalışmada su/çimento oranı 0.45 ve 1. tip lif kullandığında betonların yarmada çekme dayanımı tüm hacimler için %13.9 lifsiz betonlara göre yükselmiş ve 2. tip lifler için bu artış % 19.90' a kalkmış, 3. tip lif için betonun yarmada çekme dayanımının artışı % 9.6 olmuştur.

7) Bütün betonlarda lifin görünüm oranının artışı betonun yarmada çekme dayanımına önemli etkisi olmamıştır. Ancak görünüm oranı büyük olan lif, görünümü düşük olan liflere göre, su/çimento oranı 0.45 olan betonda daha yüksek dayanım artışı sağlamıştır. Bu artış değeri % 55.83 varmıştır.

8) Bu çalışmada betonun çekme dayanımının eksenel çekme dayanımlarından elde edilen değerler olarak hesaplarda dikkate alınmıştır. Eksenel çekme dayanımı ile betonun çekme dayanımı elde edilmesi çok güç ve zahmetli olması nedeniyle bunun yerine betonun çekme dayanımı, silindir yarma deneyi ve eğilme deneyleri ile elde edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında üretilen lifsiz ve lifli beton numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiş olan deneylerle betonun yarmada çekme ve eğilmede çekme dayanımı ile basınç dayanımları arasında ilişki (TS 500 deki dikkate alınan değer $f_{ctk}=0.35\sqrt{f_{ck}}$) olup olmadığı araştırılmıştır. Yarmada çekme dayanımı ile basınç dayanımı arasında bir ilişki ($f_{cty}=\sqrt{f_c}$) olduğunda k değerini 1.5 a bölerek ($k/1.5$) Standard ta verilen $k=0.35$ katsayısı uygunluğunu araştırıldığında, su/çimento oranı 0.65, 0.55 ve 0.45 olan lifsiz betonlarda k katsayısı sırasıyla 0.3, 0.33 ve 0.38 olarak, ortalama lifsiz betonlarda 0.34 elde edilmiştir. Buda Standard ta verilen 0.35 oldukça yakındır. Lifli betonlarda tüm lif oranları birlikte değerlendirildiğinde, su/çimento oranı 0.65, 0.55 ve 0.45 olan betonlarda bu katsayısı sırasıyla 0.35, 0.36 ve 0.45 olmuş, tüm lifli betonların ortalaması ise 0.37 olmuştur.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, lifli betonlarda silindir yarma deneylerinden elde edilen yarmada çekme dayanımı ile merkezi çekme dayanımına

geçtiğinde lifsiz betonlarda olduğu gibi standardın önerdiği 0.35 katsayısı kullandığının büyük bir hata olamadığını ortaya koymuştur.

9) Bu deneysel çalışmada yine TS 500' dikkate alınacak şekilde, eğilmede çekme dayanım ile basınç dayanımlar arasında ($f_{cte}=K\sqrt{f_c}$ MPa) bir ilişki araştırılmış ve bunun için eğilmede çekme dayanımlarından (f_{cte}) merkezi çekme dayanımına geçmek için elde edilen k değerleri 2 e bölerek (k/2) Standard ta verilen değerleri ile kıyaslanmıştır. Buna göre su/çimento oranları 0.65, 0.55 ve 0.45 olan lifsiz betonlarda k katsayısı sırasıyla 0.41, 0.46 ve 0.48 olmuştur. Bu katsayısı tüm lifsiz betonlarda birlikte 0.45 olarak elde edilmiştir, buda TS 500 de verilen katsayısından % 29 oranda daha fazladır.

Tüm lifsiz betonlarla birlikte bu katsayı 0.45 olarak elde edilmiştir. Bu da TS 500 'te verilen katsayısından %29 daha fazladır. Lifli betonlar tüm lif oranları ile birlikte değerlendirildiğinde su/çimento oranı 0.65, 0.55, 0.45 olan betonlarda bu katsayı sırasıyla 0.42, 0.45, 0.49 olmuş ve tüm lifli betonların ortalaması ise 0.44 olmuştur. Bu da lifli betonlarda eğilme deneylerinden elde edilen çekme dayanımı ile merkezi çekme dayanımına önerdiği 0.35 katsayısı arasında yaklaşık %26 fark görülmüştür. Bu nedenle de eğilme deneyi ile elde edilen çekme dayanımından, merkezi çekme dayanımına geçmesinde bu katsayıların ihtiyatla kullanılmasını önermektedir.

10) Yapılan tüm deneylerde, çelik lifli beton, lifsiz betona göre oldukça farklı davranış göstermektedir. Lifli betonların kırılması oldukça sünek şekilde gerçekleşirken, beton numuneleri parçalanmayıp yekpare kalabilmektedir

11) Bu çalışmada, çelik lif türlerinden iki ucu kancalı, uzunluğu boyunca düzgün lifler üç farklı boy/çap oranda, beton mukavemetlerinden üç farklı hacim oranında(%0.25, %0.75, %1.25), üç farklı su/çimento oranında (0.65, 0.55, 0.45) beton kullanılmıştır. Benzer araştırmalar, daha farklı lif oranları, farklı lif türleri ve görünüm oranları ile ve daha farklı beton dayanımlarıyla veri sayısı çoğaltmakla yapılabilecektir. Böylece basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve eğilmede çekme arasında ilişki daha sağlıklı olarak ortaya çıkması sağlanacaktır.

4. KAYNAKLAR

1. Ersoy, U. ve Özcebe, G., Betonarme, Evrim Yayınevi, İstanbul, 2002.
2. Görkem, S.E., Yüksek Dayanımlı Betonarme Döşemelerinin Plastik Mafsallara Çizgilerine Göre İncelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2009.
3. Arı, K., Haktanır, T., Altun, F., ve Karahan, O., Beton Borulara Çelik Lif Katkısının Mekanik Özelliklere Etkisi, Türkiye Hazır Beton Birliği, Beton 2004 Kongresi, Haziran 2004, İstanbul, Bildiriler Kitabı: 255-265.
4. Yerlikaya, M., Çelik Teller ile Donatılmış Beton Elemanların Düşey Yük Altında Davranışları, Hazır Beton Dergisi, (1998), 72-73.
5. Karahan, O., Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri, Doktora Tezi, Ç.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2006.
6. Yerlikaya, M., Çelik Tel Donatılı Betonların Deprem Etkisi Altında Davranışları, Kocaeli Deprem Sempozyumu, 2003, Bildiriler Kitabı, 302-304.
7. ACI Committee 544, State of The Art Report On Fiber Reinforced Concrete, ACI Committee 544.1R-96 American Concrete Institute, USA, 1996.
8. Arslan, A., Aydın, A.C., Lifli Betonların Genel Özellikleri, Hazır Beton Dergisi, 6,36 (1999) 67-75
9. Hüsem, M., Doğu Karadeniz Bölgesi Doğal Hafif Agregalarından Biriyle Yapılan Hafif Betonun Geleneksel Bir Betonla Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimler Enstitüsü, Trabzon, 1995.
10. Erdoğan, M., İstanbul ve Dolayının Yapay Agregası Potansiyeli, 3. Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, Ç.Ü. Mühendislik Fakültesi, Adana, 2000.
11. TS 802, Beton Karışım Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1985.
12. Şimşek, O., Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2004.
13. TS 706, Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980.
14. Aşık, M., Structural Lightweight Concrete With Natural Perlite Aggregate And Perlite Powder, Master Thesis, METU, Ankara, 2006.
15. Erdoğan, T., Beton, 1. Baskı, O.D.T.Ü. Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., Ankara, 2003.
16. Pastacıoğlu, B., Beton, Cilt 2, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul, 1987.

17. Şahin, R., Kocapınar Pomzası ile Üretilen Hafif Betonun Mukavemetinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 1996.
18. Özkul, H., Taşdemir, M. A., Tokyay, M, ve Uyan, M., Her Yönüyle Beton, Hazır Beton Birliği, İstanbul, 2004.
19. Ün, H., 2007. Yapı Malzemesi, <http://www.imodenizli.org.tr/imomalzemedayanımı>. 11 Mart, 2007.
20. Öztok, İ., High Strenght Lightweight Natural Aggregate Concrete. M. S. Thesis in Civil Engineering, M.E.T.U., Ankara, 1997.
21. TS 706 EN 12620, Beton Agregaları, T.S.E., Ankara, Nisan 2003.
22. TS 24, Çimentoların Fiziksel Muayene Metotları, T.S.E., Ankara 1978.
23. ACI 308-92, Standard Practice For Curing Concrete , Manual of Concrete Practice, Partz, 308 ,1994.
24. Şimşek, O., Yapı Malzemesi, 2. Baskı, Ankara, 2003.
25. TS 4834, Beton ile İlgili Terimler T.S.E., 1986, Ankara.
26. Taşdemir, M, A., http://www.imoistanbul.org.tr/yapı_tasarımı/ /beton dayanım.b İTÜ İnşaat Fak., İstanbul ppt, 263. 12 Ekim2003
27. Urhan, S., Hafif ve Çok Hafif Betonların Karakteristik Özellikleri ve Teknik Kapasiteler, Türkiye Mühendislik Haberleri, 369, (1993), 34- 40.
28. Düzgün, O. A., Çelik Lifler ile Üretilen Hafif Betonların Bazı Özelliklerinin Araştırması, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi., Fen Bilimler Enstitüsü, Erzurum, 2001.
29. Keskinel, A. K, ve Senderda, F.T., Betonarmeye Giriş, 10. Baskı, İstanbul, 1999.
30. American Concrete Inistitute, Guide for structural light wheight aggregate Concrete ACI Journal, 1967, 433-468.
31. Arslan, A, ve Ulucan, A., Çelik Liflerin Erken Yaştaki Betonarme Kirişlerin Göçmesine Etkisi, İMO Teknik Dergi, 1997.
32. <http://www.nuveforum.net/1728-genel-kultur-l/68620-lif-cam-lifi-karbon-lifi>, 24 Mart 2009

33. <http://www.teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/yapı-malzemesi/kompozit.htm> 2 Aralık 2008.
34. Ersoy, S., Lif Takviyeli Polimerik Kompozit Malzeme Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, 2005.
35. Kalın, M. B., Tekstil Yüzeylerinin Yanmaya Karşı Dirençlerinin Arttırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi., Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 2008.
36. Alkan, G., Polipropilen Lifli Betonların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004.
37. Durmaz, B., Bölgesel Basınca Maruz Lifli Betonlarda Yatak Mukavemeti, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi., Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2007.
38. <http://www.odevarsivi.com>, Karbon Lifleri, Ödevarsivi Görüntüle, Doküman, sunumları), 12 Kasım 2008.
39. Erol, M., 2007. Yapı Malzeme- Kompozit Malzemeler, <http://www.1insaat.com/uploads/TrbBlogs/pdfs/745.pdf>, 5 Mart2007
40. Öztürk, H., Doğu Karadeniz Bölümü Agregalarıyla Üretilen Lifsiz ve Çelik Lifli Geleneksel ve Yüksek Performanslı Betonların Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2005.
41. TS 10513, Çelik Teller-Beton Takviyesinde Kullanılan, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1992.
42. Bayramov, F., Çimento Esaslı Kompozit Malzemelerin Optimum Tasarımı, Doktora Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004.
43. ACI Commitee 544., Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete, ACI 544.4R-88 American Concrete Institute, Detroeit, 1988.
44. Yılmaz, B., Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik ve Mekanik Özelliklerine Su/ince Malzeme Oranı ile Lif Katkısının Etkisi, Yüksek lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2007.
45. Balaguru, P.N., Shah, S.P., Fiber Reinforced Cement Composites, Mc Graw-Hill, New York, 1992.
46. Şengül, C., Kendiliğinden Yerleşen Çelik Lif Donatılı Betonların Mekanik Davranışına Su/ince Malzeme Oranı ile Lif Dayanımına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005.

47. Özyurt, N., Ultra Yüksek Dayanımlı Çimento Esaslı Kompozit Malzemelerin Mekanik Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2000.
48. Neville, A. M., Properties of Concrete, England, 1995.
49. Ersoy, H.Y., Kompozit Malzeme, 1. Baskı, Literatür Yayınları, İstanbul, 2001.
50. Sekban, İ., Çelik Lif Katkısının Tekrarlı Yük Etkisindeki Geleneksel ve Yüksek Performanslı Betonarme Kolonların Davranışlarına Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimler Enstitüsü, Trabzon, 2007.
51. Yiğiter, H., Yüksek Performanslı Betonların Süneklik Özelliğine Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2002.
52. Oltulu, M., Yüksek Dayanımlı Betonların Bazı Mekanik ve Fiziksel Özellikleri Üzerine Polipropilen Lif Miktarı ve Çeşidinin Etkisi Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2004.
53. Mindess, S., Yonug, F., Dorwin, D., Concrete, Second Edition Pearson Education, USA, 2003.
54. Yıldırım, S.T., Lif Takviyeli Betonların Performans Özelliklerinin Araştırması, Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Elazığ, 2002.
55. Yerlikaya, M., Çelik Tel Donatılı Zemin Betonları Tasarım ve Yapım İlkeleri, Beksa, <http://www.beksa.com.tr>, 2002.
56. Uğurlu, A., Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, DSİ Bölge Müdürlüğü, Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, , Yayın No: MLZ-878, 2.Baskı, Ankara, 1999.
57. TS 10514, Beton-Çelik Lif Takviyeli- Çelik Telleri Betona Karıştırma ve Kontrol Kuralları. T.S.E., Ankara, 1992.
58. Hoff, G.C., Fiber Reinforced Concrete International Symposim, , American Concrete Institute, Detroit, (1984), 411-440.
59. Uğurlu, A., Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton, T.C. Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Ve Kalite Kontrol Araştırma Dairesi Başkanlığı, Yayın No: MLC 878 2. Baskı, Ankara, 1999.
60. Arslan, A., Çelik Lifli Betonların Özellikleri ve Kullanım Potansiyeli, Türkiye Mühendislik Haberleri, 369(1993) 29-33.
61. Ünal, O., Isıl İşlem Uygulamasının Lifli Beton Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1994.

62. Soroushian, P., Lee C, D., Tensile Strength of Steel Fiber Reinforced Concrete: Correlation with Some Measures of Fiber Spacing, ACI Materials Journal, (1990), 541-546.
63. ASTM 1018-97, Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete, ASTM, USA, 1997.
64. TS 10515, Beton-Çelik Tel Takviyeli-Eğilme Mukavemeti Deney Metodu, T.S.E., Ankara, 1992.
65. Nelson, P.K., Li, V.C. ve Kamada, T., Fracture Toughness of Microfiber Reinforced Cement Composites, Journal of Materials in Civil Engineering, 14,5 (2002) 384-391.
66. Balaguru, P.N., ve Ramakrishnan, V., Properties of Fiber Reinforced Concrete: Workability, Behaviour Under Long-Term Loading, Air-Void Characteristics, ACI Material Journal, 85, 3 (1998) 189-196.
67. ACI Committee 544, Design considerations for Steel Fiber Reinforced ACI 544. 4R, American Concrete Institute, 1988.
68. Birkimer, D.L., Lindemann, R., Dynamic Tensile Strength of Concrete Materials, ACI Journal, 68-8 (1971) 47-49.
69. Mindess, S., Yonug, F ve Darwin, D., Concrete. Second Edition. Pearson. Education, 644, USA, 2003.
70. Groth, P., Gasemlou, F., , Toughness Characteristics of Steel Fiber Reinforced Concrete With Energetically Modified Cement . Luea University of Technology, Division of Dstructural Engineering, Internal Report ,96 (1996) 23-30.
71. Özcan, M. , Vekli ,M. Altun, F., Betonarme Kiriş Elemanlarda Çelik Lif Katkısının Taşıma Gücüne Etkisinin Deneysel İncelenmesi, 2003.
72. Eyyubov, C., Köksal, F. ve Ünal, B., Polipropilen ve Çelik Liflerin Donma Çözülme ve Aşınma Dirençlerine Ortak Etkisi, 5. Ulusal Beton Kongresi Betonun Dayanıklılığı, Ekim 2003, İstanbul, Bildiri Kitabı,345-354.
73. Wafa, F. F. and Ashour, S. A., Mechanical Properties of High - Strength Fiberreinforced Concrete, ACI Materials Journal, 89,5 (1992) 449 – 455.
74. Luo, X., Sun, W. ve Chan, S. Y. N., Characteristics of high-performance Steel Fiber Reinforced Concrete Subject to High Velocity Impact, Cement and Concrete Research, 30 (2000) 907– 914.
75. Sancak, E. ve Ünal, O., Çelik Liflerin Hafif Betonlarda Kullanılması Üzerine Bir Araştırma. Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu. İstanbul, 1999.
76. Gopalratnam, V.S. ve Shah, S.P., Properties of Steel Fiber Reinforced Concrete Subjected to Impact Loading. ACI Structural Journal, V. 83,(1985).

77. Qian, C., Stroeven, P., Fracture Properties of Concrete Reinforced with Steel-Polypropylene Hybrid Fibres. Cement & Concrete Composites 22 (1999),343-351.
78. Abrishami, H. H., Mitchell, D., Influence of Steel Fibers on Tension Stiffening. ACI Structural Journal, 94 (1997) 6-23.
79. Kawamata, A., Mihashi, H ve Fukuyama, H., Properties of Hybrid Fiber Reinforced Cement-Based Composites. Journal of Advanced Concrete Technology, 3 (2003) 283-290.
80. Cook, D.J., Uher, C., The Thermal Conductivity Of Fibre-Reinforced Concrete, Cement and Concrete Research, 4 (1973) 497-509.
81. Eren, Ö., Çelik, T., Çengelli Çelik Liflerin Yüksek Mukavemetli Betona Etkisi, İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler, 3. Teknik Kongre, O.D.T.Ü., 1997, Ankara, Bildiriler Kitabı 267 – 276.
82. Banthia, N, ve Nandakumar, N., Crack Groth Resistance of Hybrid Fiber Reinforced Cement Composites. Cement and Concrete Composites, 25 (2003) 3-9.
83. TABAK, V. Çelik Lifli Betonda Lif ve Lif Boy/Çap Oranlarının Değişiminin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2004.
84. Ding, Y. ve Kusterle, W., Compressive Stress-Strain Relationship of Steel Fibrereinforced Concrete at Early Age, Cement and Concrete Research, 30 (2000) 1573-1579.
85. Çivici, F. ve Eren, İ., Çelik Lifli Betonun Direkt Çekme Dayanımın Ölçülmesi Üzerine Deneysel Bir Çalışma, Türkiye Mühendislik Haberleri, 6,434 (2004), 49-53.
86. Altun, F., Yılmaz, C., Durmuş, A. ve Arı, K., Çelik Lif Katkılı Ve Katkısız Betonarme Kirişlerin Basit Eğilme ve Patlama Yükleme İle Davranışlarının İncelenmesi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi , 22(1-2) (2006) 112-120.
87. Torrenti, J. M. ve Djebri, B., Behaviour of Steel Fibre-Rreinforced Concretes Under Biaxial Compression Loads. Cement and Concrete Composites, 17 (1995) 261 – 266.
88. Şimşek, O., Erdal,M., ve Sancak, E., Silis Dumanının Çelik Lifli Betonun Eğilme Dayanımına Etkisi, G. Ü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 20 (2005) 211-215.
89. Pul, S., Doğu Karadeniz Bölümü Agregalarıyla Yüksek Performanslı Beton Üretimi ve Özelliklerini Diğer Betonlarla Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2000.
90. TS 1226, Deney Elekleri-Metal Levhalı, Yuvarlak veya Kare Delikli, T.S.E., Ankara, 1985.

91. TS 1227, Tel Kafesli Kare Göz Açıklıklı Deney Eleklere, T.S.E., Ankara, 1985.
92. TS 3526, Beton Agregalarında Özgöl Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayını ,T.S.E., Ankara, 1980.
93. TS 3529, Beton Agregalarında Birim Ağırlık Tayini, T.S.E., Ankara, 1980.
94. TS 3114, Beton Basınç Dayanım Deney Metodu, T.S.E., Ankara, 1978.
95. TS 3129, Betonda Yarmada Çekme Dayanımı Tayini Deneyi, Silindir Yarma Metodu, T.S.E., Ankara, 1978.
96. TS 3285, Betonun Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini Deneyi, Orta Noktasından yüklenmiş, Basit kiriş Metodu, T.S.E., Ankara, 1979.
97. TS 500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, T.S.E., Ankara, 2000.
98. Henager, C.H., Ultimate Strength of Reinforced Steel fibrous Concrete Beams, Proceedings, and Confrence on Fiber- Reinforced Materials: Design and EngineeringApplication, Institution of Civil Engineers, London, 10 (1977) 165-173.

ÖZGEÇMİŞ

11.09.1979 yılında İRAN ın Batı Azerbaycan ilinin Miyandoab ilçesinde doğdu. Fallahi İlkokulunu bitirdikten sonra fatholmobin ortaokulunda orta öğrenimini devam etti. Foroughi ve Resalet liselerinde lise eğitimini bitirdi. 2001 yılında Khoy Azad İslami Üniversitesinin 2 yıllık İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı, sonra 2005 yılında Mohabad Azad Üniversitesinden İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. Eğitiminin devamı için 2006 yılında Türkiye geldi. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimini başladı.

Bekar olan Ebrahim SALAMI iyi derecede İngilizce, Farsça ve Türkçe bilmektedir.