

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BÖLGESEL BASINCA MARUZ LİFLİ BETONLARDA YATAK
MUKAVEMETİ**

Barış DURMAZ

Tez Yöneticisi
Doç Dr. Ragıp İNCE

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2007

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BÖLGESEL BASINCA MARUZ LİFLİ BETONLARDA YATAK
MUKAVEMETİ**

Barış DURMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu teztarihinde, aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman:

Jüri Üyesi:

Jüri Üyesi:

Jüri Üyesi:

Jüri Üyesi:

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../.....tarih vesayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu tezin önerilmesi ve yönlendirilmesinde her türlü yardımını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Ragıp İNCE'ye teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Çalışmalarım esnasında her türlü kolaylığı sağlayan, gerek kaynak gerekse lif olarak yardımda bulunan BEKSA Teknik Müdürü Sayın Mehmet YERLİKAYA'a teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Deneyisel çalışmalar esnasında büyük yardımlarını aldığım F.Ü. Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Arş. Gör. Kürşat Esat ALYAMAÇ'a ve laboratuvar teknisyeni Sayın Seyfettin ÇİÇEK'e ayrıca teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	I
İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	III
TABLolar LİSTESİ.....	V
SİMGELER LİSTESİ.....	VI
KISALTMALAR LİSTESİ	VII
ÖZET	VIII
ABSTRACT	IX
1. GİRİŞ	1
2. LİFLİ BETONLAR	2
2.1 Betonun Özelliği	2
2.2 Betonarme	2
2.3 Lifli Betonlar	2
2.4 Lifin Tanımı	3
2.5 Lif Çeşitleri	4
2.5.1 Çelik Lifler	4
2.5.2 Cam Lifler	5
2.5.3. Karbon Lifler	6
2.5.4. Polimer Lifler	6
2.6.Liflerin Mekanığı	7
2.7 Lif- Beton Aderansı	8
2.8.Çelik liflerin Beton İçerisindeki Davranışı	8
2.8.1. Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Betonun Yük Altındaki Davranışı	9
2.8.2 Çelik Liflerin Çatlak Yayılmasını Durdurması	11
2.9 Liflerle Donatılı Kompozitler	13
2.10. Lifli Betonların Hazırlanması	14
2.10.1. Karışımlar	14
2.10.2 Çelik Lif Katkılı Betonlarda Karışım Kuralları	16
2.10.2.1 Malzeme	16
2.10.2.2 Genel Kurallar	16
2.10.2.3 Beton Santralında Karıştırılması Kuralları	17
2.10.2.4 Transmikserde Bütün Malzemelerin Karıştırılması Kuralları	18
2.10.2.5 Transmikserde Bulunan Hazır Betona Tellerin İlave Edilmesi Kuralları	18
2.11 Lifli Betonların Yerleştirilmesi	18
2.12 Kontrol Kuralları	19
2.16 Lifli Betonların Davranışı , Teknik Ve Mekanik Özellikleri	19
2.16.1 Taze Beton Özellikleri	19
2.17 Sertleşmiş Beton Özellikleri	20
2.17.1 Mukavemet	20
2.17.2 Basınç	21
2.17.3 Eğilme	22
2.17.4 Tokluk (Enerji Emme Kapasitesi)	24
2.17.5 Kesme Mukavemeti	26
2.17.6 Darbe Dayanımı	27
2.17.7 Aşınma Dayanımı	27
2.18 Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Betonun Kullanım Alanları	27
3. YATAK MUKAVEMETİ	29
3.1. Yatak Mukavemeti Üzerine Yapılan Çalışmalar	31
3.1.1. Tung A. ve Donald L. B. (Beton blokların yatak kapasitesi)	31
3.1.2. Bauschinger (Tabii Taş Bloklar İle Yapmış Olduğu) Deneyler	33

3.1.3. N. M. Hawkins (Rijit Plakalar Arasında Yüklü Betonun Yatak Kapasitesi) Deneyleri....	33
3.1.4. Meyerhof (Beton ve Kayaların Yatak Mukavemeti) Deneyleri.....	36
3.1.5. Sanat K. Niyogi (Betonun Yatak Dayanımı–Geometrik Değişimler).....	38
3. 1. 6. W. F. Chen ve J. L. Carson (Lifli Betonların Yatak Mukavemeti)	40
3.1.7. R. İnce ve E. Arıcı (Beton Küp Numunelerin Yatak Mukavemetinde Boyut Etkisi)	40
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	43
4.1. Malzemelerin Tanımlanması.....	44
4.1.1. Çimento	44
4.1.1.1 Fiziksel Özellikleri:	44
4.1.1.2 Kimyasal Özellikleri:	45
4.1.2. Çelik Lifler	45
4.1.3. Süperakışkanlaştırıcı	46
4.1.4. Agregalar.....	46
4.2. Basınç Altındaki Numunelerin Davranışı ve Göçmenin Oluşum Şekli	46
4.3 Deney Sonuçları Ve Grafikler.....	51
SONUÇ ve ÖNERİLER.....	58
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ.....	61

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Çelik lif tipleri ve kesitleri	5
Şekil 2.2.	Lifli betonun yük-deplasman grafiği	10
Şekil 2.3.	Çelik liflerle güçlendirilmiş beton ile lifsiz betonun yük-deplasman davranışlarının karşılaştırılması.....	11
Şekil 2.4.	Çelik lifli betonlarda liflerin çatlak sonlarını takviye etmesi sonucu çatlak yayılmasının durdurulması.....	12
Şekil 2.5.	Çelik lif takviyeli betonlarda lifler aracılığı ile gerilmenin dağıtılması	13
Şekil 2.6.	Kırılgan matris-sünek lifli sistemlerde tipik gerilme-deformasyon davranışı	14
Şekil 2.7.	Çelik lifli betonlarda işlenebilirliğin lif hacmi ile değişimi.....	20
Şekil 2.8.	Basınç gerilmesi altında lif hacmi ile değişen deplasman davranışı	21
Şekil 2.9.	Katkılı ve lifli betonlarda lif hacmi ile basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	22
Şekil 2.10.	Liflerin beton içerisindeki yönelimi ile değişen eğilmede çekme dayanımı.....	23
Şekil 2.11.	Az miktarda lif katkılı lifli betonarme kirişlerin yük-şekil değiştirme eğrileri.....	24
Şekil 2.12.	Tokluk indeksinin hesaplanması için yük-sehim eğrisi.....	25
Şekil 2.13.	Lif tipi ve narinlik oranına göre tokluğun değişimi.....	26
Şekil 3.1.	Yatak göçmesinin mekanizması.....	29
Şekil 3.2.	Plan ve yan görünüş üzerinden A_1 ve A_2 alanlarının tanımlanması.....	30
Şekil 3.3.	Deneysel sonuçları, Hawkins ve şartnamelerin yaklaşımı.....	30
Şekil 4.1.	L1 deney numunelerinin göçme şekilleri	48
Şekil 4.2.	L2 deney numunelerinin göçme şekilleri	48
Şekil 4.3.	L3 deney numunelerinin göçme şekilleri	49
Şekil 4.4.	L4 deney numunelerinin göçme şekilleri	49
Şekil 4.5.	L5 deney numunelerinin göçme şekilleri	50
Şekil 4.6.	L6 deney numunelerinin göçme şekilleri	50
Şekil 4.7.	Lifli ve lifsiz betonlar üzerinde yapılan dört noktalı eğilme-çekme deneyi.....	53
Şekil 4.8.	Eğilme-çekme deneyinde numunenin kırılışı.....	53
Şekil 4.9.	L1 serisine ait deneysel sonuçlar ve Hawkins'in yaklaşımı.....	54
Şekil 4.10.	L2 serisine ait deneysel sonuçlar ve Hawkins'in yaklaşımı.....	54
Şekil 4.11.	L3 serisine ait deneysel sonuçlar ve Hawkins'in yaklaşımı.....	55
Şekil 4.12.	L4 serisine ait deneysel sonuçlar ve Hawkins'in yaklaşımı.....	55
Şekil 4.13.	L5 serisine ait deneysel sonuçlar ve Hawkins'in yaklaşımı.....	56
Şekil 4.14.	L6 serisine ait deneysel sonuçlar ve Hawkins'in yaklaşımı.....	56

Şekil 4.15.	C serisine ait deneysel sonuçlar ve Hawkins'ın yaklaşımı.....	57
Şekil 4.16.	Tüm serilere serisine ait deneysel sonuçlar ve Hawkins'ın yaklaşımı.....	57

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Liflerin tipik özellikler.....	3
Tablo 2.2.	Betonda bulunması gereken ince malzeme miktarı	16
Tablo 2.3.	Betona ilave edilen maksimum tel miktarı, (kg / m ³)	17
Tablo 2.4.	Tokluk indekslerinin değerlendirme kriterleri	25
Tablo 3.1.	Tung A. ve Donald L. B'nin deney sonuçları	32
Tablo 3.2.	Bauschinger'in deney sonuçları	33
Tablo 3.3.	Konsantrik yüklemeler için sonuçlar	35
Tablo 3.4.	Meyerhof'un deney sonuçları.....	37
Tablo 3.5.	20 cm'lik Küp numunelerin kare yükleme plakası ile yüklemesi	39
Tablo 3.6.	20 cm'lik Küp numunelerde bir eksenli eksantriklik yükleme.....	39
Tablo 3.7.	Beton küp numunelerin yatak mukavemetinde boyut etkisi deney sonuçları	41
Tablo 4.1.	Deneylerde kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri.....	44
Tablo 4.2.	Çalışmada Kullanılan Çimentonun Kimyasal Özellikleri)	45
Tablo 4.3.	Liflerin Teknik Özellikleri.....	45
Tablo 4.4.	İnce Malzeme Granülometresi	46
Tablo 4.5.	Orta Malzeme Granülometresi	46
Tablo 4.6.	Deney sonuçları	51
Tablo 4.7.	Deneylere ait f_b , f_c ve f_b/f_c değerleri	52

SİMGELER LİSTESİ

l_m	: Liflerin minumum etki uzunluğu
l_c	: Kritik uzunluk
τ	: Yüzeysel aderans mukavemeti
σ_f	: Lif mukavemeti
s	: Boşluk Oranı
d	: Lif çapı (mm)
a	: Yatak plakasının boyutu [mm]
l/d	: Narinlik oranı
V_f	: Lif hacmi fraksiyonu
A_1	: Yatak plakasının alanı [mm ²]
A_2	: Numune yüzey alanı [mm ²]
b	: Yatak plakasının boyutu [mm]
d	: Numunenin karakteristik boyutu [mm]
D	: Silindir numunelerin çapı [mm]
d_{max}	: Agreganın maksimum dane çapı [mm]
f_t	: Betonun çekme dayanımı [MPa]
f_c'	: Betonun 28 günlük ortalama basınç dayanımı [MPa]
h	: Numune yüksekliği [mm]
k	: Alan, Atalet momenti ve y eksenine bağlı sabit değer
n	: Nominal yatak dayanımının betonun 28 günlük dayanımına oranı (σ_N/f_c')
P_U	: Kırılma yükü [kN]
R	: Numune kesit alanının yatak alanına oranı (A_2/A_1)
r	: Korelasyon katsayısı
S	: Kesme kuvveti [kN]
S_0	: P=0 Değerinde birim alandaki kesme kuvveti [kN]
t	: Numune yüksekliğinin yatak boyuna oranı (h/b)
σ	: Çekme gerilmesi [MPa]
σ_N	: Nominal dayanım [MPa]
σ_ψ	: Malzemenin akma dayanımı [MPa]
f_b	: Nominal yatak dayanımı
$f_{e-ç}$	: Betonun eğilme çekme dayanımı [MPa]

KISALTMALAR LİSTESİ

TSE : Türk Standartları Enstitüsü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BÖLGESEL BASINCA MARUZ LİFLİ BETONLARDA YATAK MUKAVEMETİ

Barış DURMAZ

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

2007, Sayfa: 62

Betonarme sistemlerde; eksenel taşıyıcı olan kolon elemanının temel pabucu üzerine oturduğu durumlarda, kolon ile temel arasındaki etkileşim sonucu oluşan bu gerilme yatak gerilmesi olarak tanımlanır. Yatak gerilmesi özellikle yüksek dayanımlı betonların elde edilmesiyle daha fazla önem kazanmıştır. Yüksek dayanımlı betonlarla birlikte temel üzerine gelen yapı yükleri de artmaktadır. Temel elemanı düşük dayanımlı olduğu zaman üzerine gelen yük sonucunda oluşan enine gerilmeler temelin göçmesin sebep olmaktadır.

Şartnameler, yatak göçmesini önlemek için iki yol önermektedir: birincisi, temel gövdesinde enine gerilmeler sonucu oluşan eksenel çatlağın meydana geldiği bölgeye çekme gerilmelerini karşılamak amacıyla donatı yerleştirmek, ikincisi ise içsel çatlağın meydana gelmemesi için yatak gerilmelerini sınırlamaktır.

Sunulan tez çalışmasındaki amaç, beton/betonarme yapılarda yatak göçmesini engellemek için kullanılan iki yöntemin bir arada temin edebilecek lifli beton kullanımının performansını tespit etmektir. Çünkü betonda lif kullanımı malzemenin basınç mukavemetini aşırı miktarda arttırmamakla beraber, eğilme çekme mukavemetini arttırmakta ve çatlak oluşuktan sonra çatlak gelişim hızını yavaşlatmaktadır. Bu sebeple, özellikle eksenel basınca maruz lifli beton bloklardaki liflerin, gövdede oluşan enine çekme çatlak oluşumundan, toptan göçmeyi geciktirmesi beklenen bir sonuçtur.

Anahtar Kelimeler: Beton, Yatak Mukavemeti, Lifli Beton, Narinlik Oranı, Yatak Göçmesi

ABSTRACT

My Thesis

BEARING STRENGTH OF FIBER REINFORCED CONCRETE UNDER LOCAL PRESSURE

Bariş DURMAZ

Firat University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

2007, Page:62

In reinforced concrete structures; when a column member which is axial carrier based on foundation, the stress which is formed between the column and foundation is described as bearing strength. Bearing strength comes into prominence especially by obtaining high strength concrete. With HSC (high strength concrete) ; the conformation loads which come over the foundation increase. When foundation member has low strength, the lateral stress causing by the stress which comes over causes bearing failure.

Design codes recommend two ways for preventing bearing failure. The first way is placing reinforcement in the tension zone where axial load cracks occur in the foundation to provide tension stress. The second way is limiting the bearing stress in order not to occur internal cracks.

The aim of the offered thesis is investigating the performance of using fiber reinforced concrete to supply two solutions together for preventing failure in reinforced concrete. Because using fibers in concrete does not increase the compressive strength of concrete too much, even though it increases the flexural strength and it slows down the formation of cracking. As a result of, it is expected that the fibers in concrete which is especially exposed to axial compression will prevent the lateral tension crack formation and delay the total failure.

Key Words: Concrete, Bearing Strength, Fiber Reinforced Concrete, Aspect Ratio, Bearing Failure

1. GİRİŞ

Yapı malzemesi olarak 1800’lü yılların ikinci yarısından itibaren çeliğin beton içerisine yerleştirilmesi ile kullanılmaya başlanan betonarme, özellikle basınç etkisi altındaki yüksek dayanımı, ekonomik oluşu ve kullanım kolaylığı gibi nedenlerle zamanla diğer yapı malzemelerine oranla çok daha büyük bir kullanım alanı bulmuştur. 1900’lü yılların başında otomobil ve enerji sektöründeki gelişmelere paralel olarak beton yol, baraj, ve köprü yapımları ile beton teknolojisinde de büyük gelişmeler (Öngerme, Prefabrik yapı teknikleri) olmuştur. Geçen yüzyılın ikinci yarısında da halen betonarmenin yerini alabilecek ve değişik ortamlarda kullanılabilecek bir yapı malzemesinin bulunmamış olması beton teknolojisinde zorunlu bir gelişme yaşanmasına neden olmuştur.

Betonarme de çelik çubuklarının yerlerinin ve miktarının tespiti işleminin inşaat süresine ve maliyete olan büyük etkileri araştırmacıları daha avantajlı yapı malzemeleri aramaya itmiştir. Yani hem basınç, hem çekme ve hem de eğilme dayanımı yüksek olan ve salt metal yapı malzemelerinden daha ekonomik olan farklı bir yapı malzemesi aranmaya başlanmıştır [1].

Gerçekte 4500 yıl öncesinden beri yapı malzemesi olarak kullanılmakta olan saman takviyeli kil harcının (kerpiç), at saçından sıvanın esin kaynağı olduğu lifli betonlarla ilgili ilk çalışma 1950’lerin sonunda James P. Romualdi ve Gordon B. Baston tarafından yapıldı ve 1960’ın ilk yıllarında patent kaynağı oldu. 1950’li yılların sonunda Portland Çimento Birliği lifli betonları araştırdı ve 1972 de liflerin narinlik oranı ve aderansına bağlı olarak başka bir patent kabul edildi.

Sunulan tez çalışmasındaki amaç, beton/betonarme yapılarda yatak göçmesini engellemek için kullanılan iki yöntemin bir arada temin edebilecek lifli beton kullanımının performansını tespit etmektir. Çünkü betonda lif kullanımı malzemenin basınç mukavemetini aşırı miktarda arttırmamakla beraber, eğilme çekme mukavemetini arttırmakta ve çatlak oluşuktan sonra çatlak gelişim hızını yavaşlatmaktadır. Bu sebeple, özellikle eksenel basınca maruz lifli beton bloklardaki liflerin, gövdede oluşan enine çekme çatlağından sonra, yük levhası altındaki koninin oluşumunu geciktirmesi ve buna bağlı olarak, malzemede yatak mukavemetinin performansında artış gözlenmesinin doğal olacağı düşünülmüştür.

Deneysel çalışmalara başlamadan önce literatür taraması yapılmış, yatak mukavemeti ve lifli betonlar hakkında yapılan çalışmalar incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda yatak mukavemeti üzerine yapılan çalışmalarda genellikle tek boyutta veya değişken olarak yüzey alanının yükleme alanına oranı (R)’nın esas alındığı görülmüştür. Ayrıca lifli betonların yatak mukavemetine etkisi konusunda bir çalışma yapılmamış olması bu konuda bir tez hazırlamamıza sebep olmuştur.

2. LİFLİ BETONLAR

2.1 Betonun Özelliği

Beton çok yönlü bir yapı malzemesidir. Yüksek yapılı binalarda dikdörtgen kolon ve kirişten, silindirik su tanklarına kadar her türlü şekil verilerek yerleştirilebilir. Yerleşim alanlarında kolaylıkla ve ucuz maliyetle elde edilebilir. Beton basınç altında güçlü olmasına rağmen çekme altında zayıftır. Bundan dolayı donatıya ihtiyacı vardır. Yaygın olarak kullanılan donatı ise çelik çubuklardır.

Uzun ömürlü olması, düşük bakım ücreti, suya karşı yüksek dayanımı, ateşe dayanıklılığı, ve yüksek basınç dayanımı beton kullanmanın avantajlarıdır. Dezavantajları ise çekmeye karşı zayıf olması ve kalıp gereçleri ve birim ağırlığa düşen mukavemetin düşük olmasıdır [2].

2.2 Betonarme

Betonun çekme mukavemeti, basınç mukavemetinin %8 ile %15'i kadardır. Bu zayıflık betonarme oluşturmak için donatı çubukları kullanılarak çözülmektedir; bundan dolayı beton, basınç gerilmesine donatı çubukları da çekme ve kayma gerilmesine karşı koyarlar.

Kirişteki donatı çubukları, çekme gerilmesine karşı koyarken, etriyeler de kayma gerilmelerini karşılarlar. Kolonda düşey donatılar basınç ve burkulma mukavemetini sağlarlar, etriyeler ise kayma mukavemetini sağlarlar ve düşey donatıların bağlı kalmasını sağlarlar.

Betonarme geniş uygulama alanları için güzel bir karma malzemedir. Çelik çubuklar betonu çekme gerilmesine karşı sadece belli yerde desteklerler. Betonarme elamandaki çatlak, donatıya rastlayana kadar rahatlıkla uzar. Bu ihtiyaç betonda çok yönlü ve çok yakın aralıklı donatılar meydana getirme ihtiyacı oluşturur [2].

2.3 Lifli Betonlar

Lifli beton içerisinde rasgele dağıtılmış lifler bulunan ince veya ince ve iri agrega kullanılan, çimentolardan yapılmış kompozit bir malzemedir [3]. Lifler çelik, plastik, cam ve doğal malzemelerden çeşitli şekillerde ve büyüklüklerde üretilmektedir. Lifler betona karıştırıcı içerisinde eklenirler. Liflerin boyutu genellikle 'narinlik oranı' olarak tanımlanır. Narinlik oranı; lifin uzunluğunun, çapına oranıdır. Bu oran genellikle 6.4 - 76 mm arasında değişen lif uzunlukları için 30 ile 150 arasında değerler alırlar [4].

Liflerin betona karıştırma ve kontrol kuralları TS 10514' de tanımlanmaktadır.

2.4 Lifin Tanımı

Lifler çeşitli şekillerde ve boyutlarda çelik, plastik, cam ve doğal malzemelerden üretilen, uzunluğu, bükülebilirliği, esnekliği ve dayanıklılığı olan malzemedir. Genel olarak doğal ve yapay olarak ikiye ayrılır. Hayvan, bitki, mineral gibi doğal kaynaklardan elde edildiği biçimi ile doğrudan kullanılabilen maddeler doğal liflerdir. Yapay lifler, aranan belirli özellikleri taşıyacak biçimde özel olarak geliştirilen, ve bu amaçla insan yapısı olarak üretilen maddelerdir [15].

Bir lifi tanımlamak için kullanılan en uygun parametre onun narinliğidir.

Doğal malzemelerden lif üretimi; mesela pamuk, kenevir, amiyant vs. geniş kullanım alanı sağlarlar [4].

Tablo 2.1. Liflerin tipik özellikleri

Lif çeşidi	Çekme Mukvemeti (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Max. Uzama Oranı (%)	Özgül ağırlık (gr/cm ³)
Amyant	207-414	2.07	25-45	1.1
Pamuk	552-966	82.8-138	~0.6	3.2
Cam	414-690	4.83	3-10	15
Naylon(yüksek kararlı)	1035-3795	69	1.5-3.5	2.5
Polyster	724.5-862.5	8.28	11-13	1.4
Polipropilen	552-759	3.45	~25	0.90
Çelik	276-2760	200.1	0.5-35	7.8

Lifleri tanımlayan en önemli öge lifin sahip olduğu mekanik özellikler ile onun sayısal bir parametre gibi ifade edilmesini sağlayan biçimsel özelliklerdir. Özetlersek;

- Narinlik oranı (lif uzunluğu / lif çapı)
- Geometrik yapı
- Lifin çekme gerilmesi

2.5 Lif Çeşitleri

2.5.1 Çelik Lifler

Çelik lifli betonlarla ilgili araştırmalar 1970’li yıllarda artmaya ve önem kazanmaya başlamış ve o yıllardan itibaren farklı çeşitlerde çelik lifler üretilmiştir. Bunlar şekil, boyut ve yüzey yapısı olarak farklı malzemelerdir. Ayrıca bu malzemelerin üretim yöntemleri ve malzemeleri farklı oldukları için mekanik özellikleri, çekme mukavemetleri, aderansları, gerilme ve absorbe yetenekleri farklıdır.

Çalışmamıza konu olan çelik lifler birbirinden farklı değişik yöntemlerle üretilirler, genellenecek olursa;

- Soğukta çekilmiş tellerin kesilmesi yöntemi
- Çelik plakaların kesilmesi yöntemi
- Sıcak çekme yöntemi
- Çelik tellerin öğütülmesi yöntemi [16].

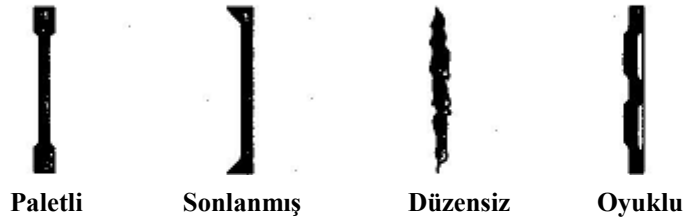
Çelik lifler, düşük karbonlu çelik C 1008 ‘den üretilmişlerdir. En önemli nitelikleri yüksek ve üniform çekme gerilmesine karşılık düşük uzama özellikleridir. Çekme gerilmeleri ortalama olarak 1200 N/mm^2 (12000 kgf/cm^2) olup elastik limitleri % 0.2 nin altındadır. Çelik liflerin geometrik şekilleri, çekme gerilmeleri, çap ve uzunlukları arasında belli bir oran vardır. Kullanılan çelik liflerin çapları 0.13 ile 1.0 mm arasında olup uzunluk /çap oranları 30 ile 150 arasında değişmektedir. Lif boyları ise 13 mm’den 70 mm’ye kadar değişmektedir [16].

Liflerin çoğu tekil olarak üretilirler fakat bazıları manyetik olarak sıralanırlar ve yerleşmeden sonra iyi bir dağılım elde etmek için zamkılarla birbirlerine tutturularak yığın haline getirilirler.

Bütün bu uzunluk / çap oranı, beton içerisindeki konsantrasyonu ve liflerin yapısı gibi farklılıklara bağlı olarak, liflerin yük etkisi altındaki beton davranışına etkisi de oldukça farklıdır. Lifler halinde çatlak kontrolünden, betonda meydana gelen makroskopik çatlaklardan sonra çekmeyi; çekme kırılmasının değerini artırmak için ankrajlarla beraber lifler en uç noktadaki yük artışını sağlamaya kadar çeşitli farklı etkiler gösterirler [5].

Çelik liflerin yüksek çekme mukavemetleri sayesinde kırılıp kopmaları çok zordur. Fakat bu liflerin yükün belli bir gerilme değerinden sonra matrsten sıyrılması lifli betonun performansını olumsuz yönde etkileyen en önemli öğedir. Bu olay harç farzının (matris) yapısı ile ilgili olmakla birlikte kullanılan liflerin geometrik yapısı ile de yakından ilgilidir [16].

Taşıma ve kullanımda kolaylık açısından liflerin 10 yada 30 adedi suda eriyebilen ya da mekanik etkiler ile kopabilen bir tutkal ile birbirine yapıştırılmıştır. Bunlar P tipi ve C tipi olarak iki çeşittir. P tipinin çözülme süresi birkaç saniye C tipinin ki ise 30-60 saniyedir.



Çelik Lif Tipleri



Çelik Lif Kesitleri

Şekil 2.1 Çelik lif tipleri ve kesitleri

2.5.2 Cam Lifler

Cam lifler son 25 yılda büyük bir gelişme göstermiştir. İlk zamanlardaki cam lifler başarılı değillerdi çünkü portland çimentodaki alkaliler lifleri etkiliyor ve zarar veriyorlardı. Bundan dolayı cam lifler çimentoların hidrasyonu sonucu oluşan alkali miktarına bağlı olarak geliştirildi. Genellikle 100 ile 400 arasında tek liflerden oluşan doğranmış halatlar şeklinde bulunurlar [6].

Cam lifler çok hassas oldukları için beton yerine harç ile daha iyi bir uyum sağlarlar. Buna bağlı olarak aşınma dayanımı dezavantajıdır [7].

2.5.3. Karbon Lifler

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 yada 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 [8].

Lifler her biri 5µm çapındadır ve karbonlu poliakrilonitril'den elde edilirler [7]. Japonya'da karbon lifler katılarak bazı araştırmalar yapılmıştır ve bu araştırmalarda üç çeşit karbon lif kullanılmıştır; zift-kökenli karbon lifler, poliakrilonitril-kökenli karbon lifler ve Mitsui Mining oluşumu karbon liflerdir. Bunlardan ilk ikisi endüstri alanında bilinmektedir [9]. Yüksek elastisite modülü, çekme mukavemetine sahiptirler ve pahalıdırlar [6].

2.5.4. Polimer Lifler

Petrokimya ve tekstil endüstrisinde yapılan araştırmalar ve gelişmeler sonucu sentetik polimer lifleri üretilmiştir. Akrilik, aramid, naylon, polyster, polietilen, ve polipropilen başlıca polimer liflerdir. Hepsinin de çok yüksek çekme dayanımları vardır. Fakat bu liflerin çoğu (aramid hariç) düşük elastisite modülüne sahiptirler. Polimer liflerin kalitesi, çap ve uzunluk oranlarına bağlıdır. Çapları mikron düzeyindedir. Bu lifler tekil yada lif hamuru halinde bulunurlar. Lif takviyeli betonda kullanılanların uzunlukları 12-50 mm arasında değişir. Bazı lif tipleri çok kısa (1-2 mm) olabilir, çok uzun olanları da vardır. Uygulanacak yerin ihtiyacına göre tipler mevcuttur [8].

- Akrilik lifler; lifler %85 oranında akronilit özellik gösterirlerse bunlara akrilik lifler denir. Bu lifler sudan daha yoğundur ve diğer polimer liflere göre daha yüksek elastisite modülüne sahiptirler. (Aramid hariç).
- Aramid; sahip olduğu yüksek elastisite modülü sayesinde lif katkılı betonların mekanik özelliğini artırır. Betonun çekme ve eğilme dayanımını arttırırlar. Tek kısıtlayıcı unsur; bu lifin yüksek maliyetidir. Diğer liflere nazaran daha pahalıdır. Bu lifler halat formuna sahiptirler.

- Nylon; naylon 6'dan üretilirler. Uygulamada sıkça rastlanır. Çeşitli uzunluklarda ve tekil lif formunda bulunurlar. 19 mm boyunda ve çok incedirler.
- Polyester; bu lifler etil asetat monomerlerinden oluşur. Fiziksel ve kimyasal özellikleri üretim tekniklerinin değişimiyle değiştirilebilir. Yüksek elastiklik modülüne sahiptirler ve betonla aderansı çok iyidir. Bu özellik beton uygulamaları için çok önemlidir.
- Polietilen; bu liflerin standart uzunlukları 12-50 mm arası değişir, daha uzunları da vardır. Lif hamuru formunda bulunurlar, yüzey deformasyonlarında beton ile daha iyi bağ oluşması gerektiğinde lifler hamur biçiminde olurlar. Asbest liflerin yerine kullanılırlar. Bu kısa lifler çimento matrisinde etkindir. Sürekliliği geliştirirler. Çarpma ve yorulma dayanımını artırır.
- Polipropilen; hem tekil hem de hamur biçiminde bulunurlar. Uzunlukları 3-50 mm arasında değişir. Kısa lifler hamur uzun lifler tekil halde bulunur. Polipropilen hamuru, polietilen hamurundan daha düşük dayanıma sahiptir. [17]. Film tabakaları bantlar şeklinde boylamasına kesilirler ve bu yüzden uzunlukları boyunca bağlantı sağlayacak şekilde birbirlerine yapışık veya sıraya koyulabilecek ince lifler üretmek zordur. Esnetilmiş liflerin maksimum mukavemeti 410-690 MPa, özgül ağırlığı 0.9 gr/cm³ ve elastisite modülü 1000-8000 MPa arasındadır. Tabakalar ve esnetilmiş bant lifler uzunlukları boyunca narinliği düşürmek için döndürülerek yığın haline getirilirler[4].

2.6.Liflerin Mekaniği

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

1. *Narinlik oranı*: Lif uzunluğu / lif çapı

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

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

$$l_c = (d / 2\tau) \sigma_f \quad (2.1)$$

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

4. *Oryantasyon faktörü veya lif verimlilik faktörü*: Verimlilik, rasgele oryante edilmiş liflerin çekme kuvvetini herhangi bir yöne doğru taşıyabilmeleridir.

5. *Mesafe faktörü*: Eğer lifler yeterince birbirlerine yakınlarsa, ilk kopma mukavemeti normal betonunkinden daha yüksektir çünkü lifler gerilme yoğunluk faktörünü azaltırlar ve kırılmayı kontrol ederler. Boşluk faktörü için genel formül;

$$s = 13.8d \left(\sqrt{\frac{1}{p}} \right) \quad (2.2)$$

Burada d: lif çapı, p: lifin hacimsel yüzdesi, s: boşluk oranıdır[6].

2.7 Lif- Beton Aderansı

Lifli betonlar gibi karma sistemler için, mekanik özellikler sadece beton ve liflerin özelliklerine değil aynı zamanda aralarındaki aderansa da bağlıdır. Özellikle kırılğan matris-sünek lifli kompozitlerde gerilme-şekil değiştirme davranışı lif ile matris arasındaki aderansın güçlü yada zayıf olmasından oldukça etkilenir. Çimento esaslı yapılarda ara yüzey yapısı biraz karmaşıktır, bundan dolayı bazı lifler ve çimento arasında kimyasal reaksiyonlar meydana gelebilir. Ayrıca ara yüzey yapısı, çimentonun hidratasyon derecesine veya zamana bağlı hacim değişikliklerine uğradığı için değişebilir. Fakat liflerin farklı sınıfları için bağ oluşumunun genel oluşum kuralları bilinir.

Çelik: Yapışma, sürtünme ve mekanik kenetlenme kombinasyonlarından oluşur. Bazı kimyasal reaksiyonlar meydana gelebilir.

Cam: Çimento ile cam arasında bazı reaksiyonlar vardır. Aslında alkali reaktivitesi, alkali dayanıklı cam liflerinin boyutlarının çok küçük olmasına rağmen zayıflatmaya meyillidir.

Organikler: Birleşme aslında mekanik kenetlenmedir.

Yukarıda da belirtildiği gibi aslında lifli betonların çoğunda meydana gelen kırılmalar aderans kırılmasına (liflerin ayrılması) bağlı olarak meydana gelir. Bu bağ mukavemetini (aderansı) artırmak için lifleri çeşitli yönlerde biçimsizleştirmek ve bundan dolayı uçlardaki ankrajları artırmak mümkündür. Bağ mukavemetindeki büyük değişiklikler, beton mukavemetindeki benzer değişiklikler gibi yansıtılmaz fakat ilk çatlamadan sonraki davranışını geliştirir. Zayıf bağ enerji absorbe yeteneğini artırabilirken, iyi bir bağ çekme mukavemetini artırabilir [6].

2.8.Çelik liflerin Beton İçerisindeki Davranışı

Çelik liflerin beton içerisindeki işlevi ile betonda kullanılan donatının işlevi hiçbir zaman birbirine karıştırılmamalıdır. Birçok yerde aynı işlevi görebilirler ama bunlar arasındaki

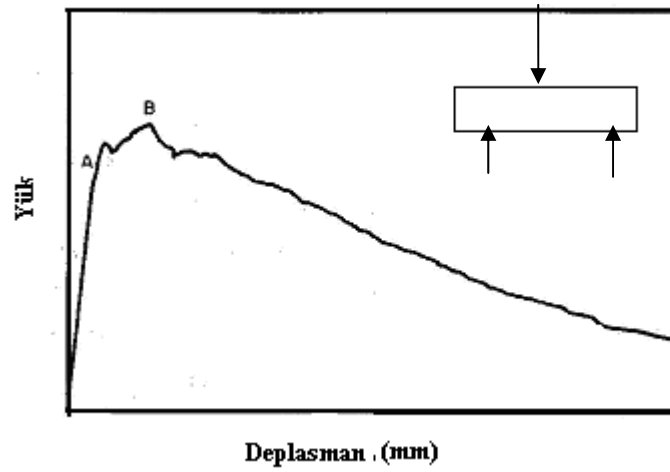
en önemli fark beton içerisindeki fonksiyonları ve buradaki çatlakların kontrolünü nasıl ve ne zaman yaptıklarıdır [16].

Statik hesaplamalarda, homojen bir malzeme olarak çelik lifler eğilme momentini alan çubuk veya hasır donatı gibi görülmemelidir. Çelik lifleri betonun yapısını değiştiren ve onu plastik davranışa zorlayan bir malzeme olarak görebiliriz. Çelik lifli betonun özelliği, onun artırılmış elastikiyet ve enerji tutma yeteneğidir. Özellikle kritik yüklemelerde beton içsel gerilmeleri limit duruma geldiğinde çelik liflerin beton içerisindeki davranışı daha iyi açıklanır.

Çelik lifler en büyük etkiyi, çatlakların ilk oluşu anında, çatlak ucundaki gerilmeleri kendi üstlerine veya diğer bölgelere transfer ederek işlevlerini yerine getirirler. Ayrıca içerisine çelik liflerin katılması ile performansında da büyük artışlar görülen betonun tokluk, ilk çatlak dayanımı, kavitasyon-erozyon dayanımı, yorulma dayanımı ve çarpma dayanımı gibi özellikleri, işlev açısından daha farklı davranış gösterecek ve onun matris özelliklerini değiştirecektir.

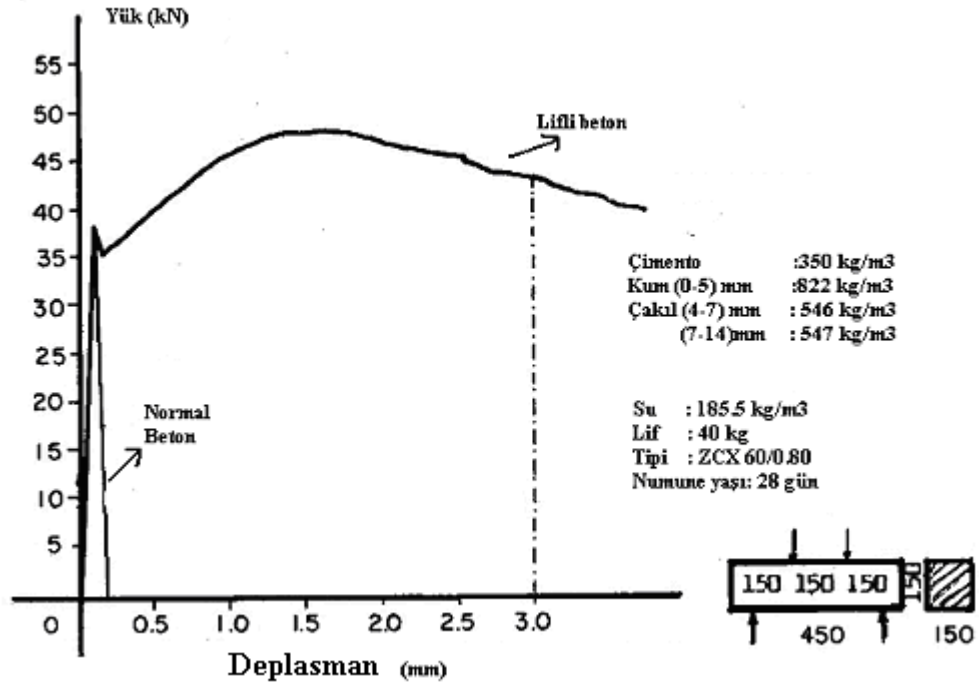
2.8.1. Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Betonun Yük Altındaki Davranışı

Şekil 2.2 de çelik lifler ile takviye edilmiş bir betona ait yük- deformasyon eğrisi görülmektedir. Şekildeki eğriden de anlaşılacağı üzere çelik liflerle güçlendirilmiş beton yüklendiği zaman yük – deformasyon eğrisi orijinden A noktasına kadar aşağı yukarı doğrusaldır. A noktasından sonra eğri doğrusallıktan önemli derecede sapar ve maksimum yükün bulunduğu B noktasına erişir. A noktası veya bu noktaya uygun düşen gerilme “ilk çatlama kuvveti”, “elastik limit” veya “orantılılık limiti” olarak adlandırılır. Gerilme B ye eriştiğinde maksimum mukavemet olarak tanımlanır. İlk çatlak dayanımı, maksimum mukavemet ve yükün B noktasından sonraki azalma hızı önemli ölçüde betonda kullanılan liflerin miktarına, uzunluk / çap oranına, liflerin beton içerisindeki yönelimine ve mekanik özelliklerine bağlıdır. Şekil 2.2 den de görüleceği üzere çelik lifli betonda yükün P_{max} ’ dan sonraki azalma hızı çok düşüktür. Bu 3-4 mm deformasyona kadar P_{max} ’ın % 70-80’i kadardır.



Şekil 2. 2. Lifli betonun yük-deplasman grafiği [16]

Olayı daha iyi açıklamak istersek Şekil 2.3 incelendiğinde görüleceği üzere lifsiz betonun maksimum yükte kırılma sonrası gösterdiği yükün azalma hızı çok yüksek olup yapabileceği maksimum deformasyon da çok düşüktür [16]. Çelik liflerle güçlendirilmiş betonda ise maksimum yükten sonra gerilmenin daha da arttığı görülecektir. Bu kullanılan çelik liflerin çekme dayanımının betonunkinden daha yüksek olması ile ilgilidir. 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} 'dan sonra şekilden de görüleceği üzere belli bir deformasyon değerine kadar maksimum yükten daha fazla yük taşır.

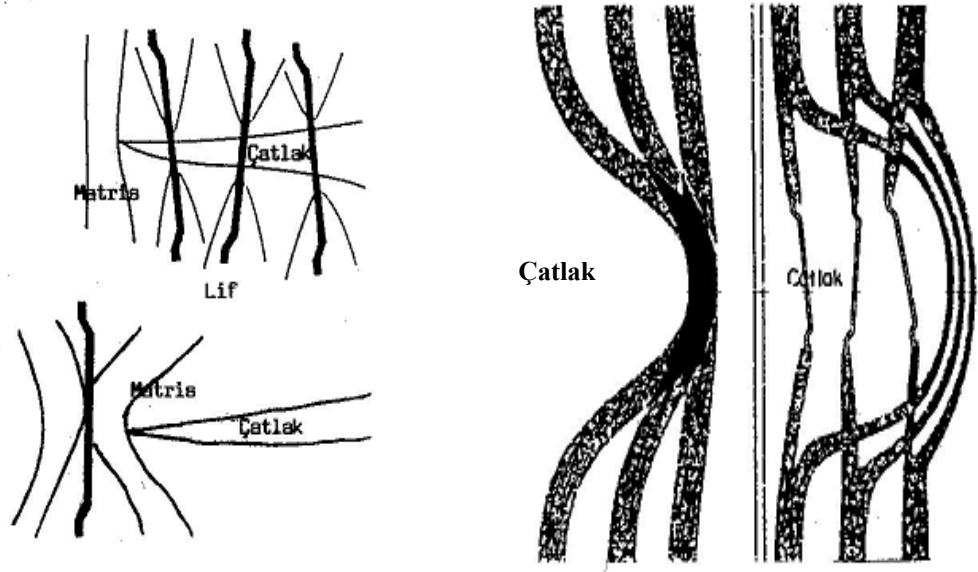


Şekil 2.3 Çelik liflerle güçlendirilmiş beton ile lifsiz betonun yük-deplasman davranışlarının karşılaştırılması [16].

Lifli betonlarda maksimum yükten sonra artan deformasyon sonucunda yükün azalma hızı normal betonlara göre çok yavaştır. Dolayısıyla liflerin matristen ayrılması ve uzamaları nedeniyle emilen enerji ya da başka bir deyişle meydana gelen deformasyon işi çelik lifli betonlarda oldukça büyüktür. Bu durum normal ve lifli betonlara ait yük-deformasyon eğrisi altında kalan alanlar karşılaştırılarak da görülebilir.

2.8.2 Çelik Liflerin Çatlak Yayılmasını Durdurması

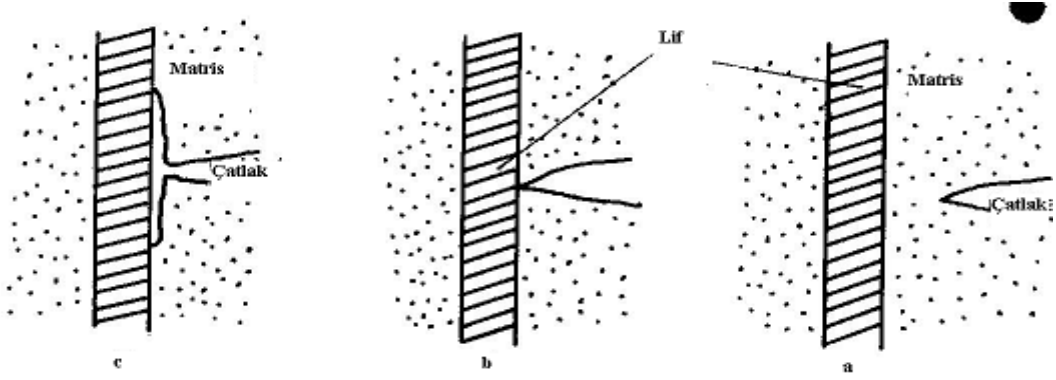
Liflerle güçlendirilmiş betonda, değişik gerilmeler ya da değişik nedenlerle meydana gelmiş çatlaklardan her biri çatlak ucuna yakın bir yerdeki bir lif ile takviye edilmiştir. Şekil 2.4 Beton içerisinde lif bulunmaması durumunda betona herhangi bir gerilme uygulandığında meydana gelen mikro çatlaklar gerilmenin artması ile birlikte çeşitli yönlerde doğru yayılarak belli bir gerilme değerinde betonun parçalanmasına neden olurlar.



Şekil 2.4 Çelik lifli betonlarda liflerin çatlak sonlarını takviye etmesi sonucu çatlak yayılmasının durdurulması [16].

Liflerle güçlendirilmiş beton kompozitlerde ise betonun kırılma mekaniği değişik gerçekleşmektedir. Bu kompozitlerde ilk çatlak oluşuktan sonra çimento hamuru fazından çelik liflerle doğru bir gerilme transferi meydana gelmekte bunun sonucunda ise beton içerisindeki miktar ve gerilme özelliklerine bağlı olarak çelik lifler, bu gerilmenin bir kısmını kendi üzerlerinde taşıdıkları gibi bir kısmını da matrisin hasarsız bölgelerine transfer ederler. Şekil 2.5.

Lifsiz betonda başlangıçta meydana gelen bir çatlak yayılması için gereken enerji, başlatılması için gereken enerjinin yarısı kadardır fakat beton içerisinde lif bulunması halinde ise başlangıçtaki mikro çatlak meydana getiren enerji lifler aracılığı ile çatlak yanındaki hasarsız bölgelere aktarıldığı için çatlak yayılması için daha fazla enerji gerektirir. Bu enerjinin bulunması durumunda bile bu enerji lifler beton matrsten sıyrılması için gerekli enerji seviyesine kadar devam eder [16].



Şekil 2.5 Çelik lif takviyeli betonlarda lifler aracılığı ile gerilmenin dağılımı [16].

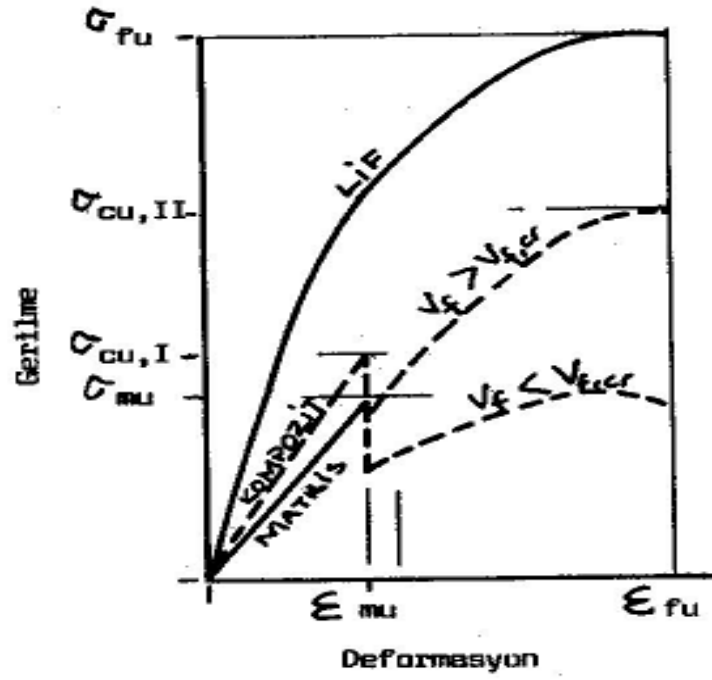
2.9 Liflerle Donatılı Kompozitler

Liflerle donatılı kompozitleri matris ve lif fazının davranışına bağlı olarak iki ana başlık altında toplayabiliriz.

- Kırılğan lif-Sünek matrisli sistemler
- Kırılğan matris-Sünek lifli sistemler

Burada bizim için önemli olan ikinci sistem yani kırılğan matris-sünek lifli sistemlerdir. Bu sistemde üç farklı kırılma şekli görülmektedir. Toplam hacimdeki lif oranı (V_l), toplam hacimdeki kritik lif oranının ($V_{l,cr}$) üzerinde ise ($V_l > V_{l,cr}$) matris kırıldıktan sonra kompozit daha yüksek bir seviyede mukavemet gösterir. Mevcut uygulamalarda birim hacimdeki lif oranı bu tip kırılma arzu edilecek şekilde seçilmektedir. Lif hacim oranı, kritik lif hacim oranının altında ise ($V_l < V_{l,cr}$) matris kırıldıktan sonra kompozit daha düşük seviyede yük taşır. Süreksiz liflerle donatılmış kompozitlerde görülen üçüncü halde ise matris kırıldıktan sonra kompozitin davranışı liflerin matristen sıyrılması ile belirlenmektedir [16].

Bu tip sistemlere ait grafik Şekil 2.6 de verilmektedir. Birinci kırılma şeklinde ($V_l > V_{l,cr}$) matris kırılmadan önce gerilme matris ve lifler tarafından birlikte taşınmakta matrisin göçmesi ile birlikte bir anda, kompozit bünyesindeki gerilme, lif içeriğine bağlı olarak bir miktar düşmektedir. Daha sonra lifler tarafından, lif miktarına bağlı olarak kompozit daha yüksek bir gerilmeyi taşır.



Şekil 2.6 Kırılgan matris-sünek lifli sistemlerde tipik gerilme-deformasyon davranışı [16].

2. 10. Lifli Betonların Hazırlanması

2.10.1. Karışımlar

Lifli betonların karışımları birden fazla metot kullanılarak elde edilebilir. Metot seçimi iş gereklerine ve hizmet uygunluğuna bağlıdır. Bu metotlar; fabrikada üretilenler, hazır karışım betonlar veya laboratuarda el ile az miktarda üretilenlerdir. Bütün metotlarda önemli olan karışım esnasında liflerin eşit dağılımını sağlamak ve liflerin segregasyonunu ve topaklanmasını önlemektir.

Karışım esnasındaki topaklanma ve segregasyon birkaç faktöre bağlıdır. En önemli olarak da narinlik oranı görünmektedir. Lif dağılımını etkileyen diğer sebepler hacim yüzdesi, maksimum agrega çapı, agreganın gradasyonu ve miktarı, su/çimento oranı ve karıştırma metodudur. Narinlik oranındaki, hacim yüzdesindeki, kaba agrega miktarındaki ve büyüklüğündeki artış topaklanmayı yoğunlaştırır.

Topaklanmama olayının çoğu genellikle lif eklenmesi sırasında meydana gelir ve buda düzenli ve oranlı lif ekleme ve ya yığın halindeki lifler kullanılarak önlenabilir.

Edgington [4], iri agrega ve narinlik oranı etkisine bağı olarak işlenebilirlik hakkında bir formül geliştirmiştir. İri agrega miktarı artarsa işlenebilirlik düşer. Eşitlik, karışımı oranlarken kullanılabilir ve iyi işlenebilirliği sağlamak amacıyla lif oranı için üst limiti ve kritik yüzdeyi bulmaya yarar.

Düzenli bir karışım için, yuvarlak ve tabaka halindeki çelik liflerin görünüm oranları maksimum 100 olmalıdır. Ayrıca çelik liflerin oranı hacimsel olarak % 2 yi aşarsa karışım zorlaşmaktadır. Normal beton için geçerli karıştırma koşulları kullanılabilir fakat küçük boşluk gerekleri ve işlenebilirlik 9.53 mm veya daha küçük büyüklükte ya da sadece kum kullanılmasını önerilir.

Adsorbe yüzünden su gerekleri lif çeşidine ve yapısına göre değişiklik gösterir.

Özellikle çelik lif hacmindeki artış slump değerini düşürmektedir. Lifli betonlar için slump testinin işlenebilirliği iyi ölçmediği bulunmuştur. Fakat slump test hala kullanılmaktadır. Eğer kabul edilebilir bir slump isteniyorsa, lifli betonlar için partiden partiye kıvam için kalite kontrol testleri kullanılabilir. Ters çevrilmiş slump konisi testi, lifli betonların işlenebilirliğini daha etkili ölçtüğü bulunmuştur. Ve-Be testin lifli betonların işlenebilirliğini daha faydalı ölçtüğü bulunmuştur. Her iki test plastik karışımı vibrasyon altında belirli bir mesafeye taşımak için dakika olarak zamanı ölçer.

Liflerin uygun dağılımını sağlamak için karışımın plastisitesi önemlidir. Deneyimler geniş bir yüzeyi kaplamak için gerekli şerbet için; su / çimento oranı 0.4-0.6 arasında ve çimento miktarı 249 – 430 kg / m³ nın yeterli olduğunu göstermektedir.

Genel katkı maddeleri; hava sürükleyiciler, su azaltıcılar, ve rötre kontrol ediciler lifli betonlarda da genellikle kullanılır. Süper akışkanlaştırıcıların yüksek kalitede, düşük su/çimento oranında ve yüksek işlenebilirlikte lifli beton elde edebilmek için faydalı oldukları bulunmuştur.

Puzolanlar, mesela uçucu kül, normal betonlarda olduğu gibi lifli betonlarda da yüksek çimento miktarını azaltmak için kullanılabilir ve ya karışım oranına işlenebilirliği artırmak ve prizi geciktirmek gibi özellikleri sağlamak için katılabilir. Laboratuar çalışmaları ve arazi deneyimleri %25 ile %35 oranındaki çimentonun uçucu kül ile değişmesinin optimum olduğunu göstermektedir. Bu oran kullanılan çimentonun kalitesine ve bileşenlerine göre değişebilir.

Normal betonla karşılaştırıldığında lifli betonlar yüksek çimento faktörü, yüksek ince agrega oranı ve düşük iri agrega oranı içerirler. Bu yüzden normal betonlardaki karışım oranları yöntemleri tamamen uygulanamaz [4].

2.10.2 Çelik Lif Katkılı Betonlarda Karışım Kuralları

Önemli olan liflerin karışım süresince düzenli dağılmasını sağlamaktır. Lifleri betona karıştırma ve kontrol kuralları TS10514 de verilmiştir. Buna göre kolayca pompalanabilen ve işlenebilen, en az sünme yapan çelik tel teçhizatlı betonların elde edilmesi için aşağıdaki kurallara verilmiştir.

2.10.2.1 Malzeme

- Çimento miktarı en az 320 kg / m³ olmalıdır.
- Kum (0 mm -4 mm) miktarı, toplam agregâ kütlesinin %40- %45'i olmalıdır.
- (750-850 kg/m³)
- En büyük dane büyüklüğü, doğal agregâ için 28 mm, kırma taş için 32 mm olmalıdır.
- 14 mm' den büyük agregâ oranı, %15-%20 ile sınırlanmalıdır.
- Betonun karakteristik basınç mukavemeti en az 20 MPa olmalıdır.
- Su / çimento oranı en çok 0.55 olmalıdır.
- Betona işlenebilirlik sağlanması amacıyla akışkanlık verici katkıları kullanılabilir.
- Betonda bulunması gereken 0.25 mm den küçük ince malzeme miktarı Tablo 2.1 de verilmiştir [12].

Tablo 2.2. Betonda bulunması gereken ince malzeme miktarı

Maksimum Agregâ 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 gr / cm ³ (kum yoğunluk) : 2.65 gr / cm ³ Olarak alınmıştır.		

2.10.2.2 Genel Kurallar

- Homojen bir beton karışımı elde edebilmek için temel ilkelere (TS 1247, TS 1248) dikkat edilmelidir.
- Kritik çelik tel miktarı aşılmamalıdır.

- Çelik tel teçhizatlı betonun karışımını kolaylaştırmak ve gerekli olduğunda tel miktarını artırmayı sağlamak amacıyla ince agrega kullanılmalıdır.
- Taze betonda; homojen tel dağılımı, gözle kontrol edilmeli, birbirlerine yapışık teller halinde betona karıştırılan tel demetler ve ya teller beton içinde tamamen dağılıp, ayrılincaya kadar beton karışımı devam etmeli ve üniform dağılım göz ile fark edilmelidir.
- Tel takviyeli beton, döküm yerine kamyon ve transmikser ile nakledilebilir. Transmikser kullanıldığında, mikser düşük hızda döndürülmelidir.
- Betona karıştırılacak en fazla tel miktarı, agreganın en büyük dane çapına ve
- uzunluk / çap oranına bağlı olarak Tablo 2. 3 de verilmiştir [12].

Tablo 2.3. Betona ilave edilen maksimum tel miktarı, (kg / m³)

En büyük dane 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

2.10.2.3 Beton Santralında Karıştırılması Kuralları

- Kum, çakıl ve çelik teller bir konveyör band aracılığı ile karıştırma kazanına verilebildiği gibi, beton santralının tartı kovalasına da konabilir. Her iki durumda da, çelik teller kum ve çakılın üzerine dökülmelidir.
- Karışım, çimento, su ve gerekli ise uçucu kül ilave edilmelidir.
- Bütün teller ayrılıp dağılincaya kadar karıştırılmalıdır. Gerekli süre mikser tipine bağlı olup, bu süre 1 -2 dakika arasında olmalıdır.
- Karıştırma kazanı içinde hazırlanan betona teller en son olarak da ilave edilebilir. Bu durumda karıştırmaya teller homojen dağılincaya kadar devam etmelidir [12].

2.10.2.4 Transmikserde Bütün Malzemelerin Karıştırılması Kuralları

- Agrega ve teller transmikse konarak karıştırılmalıdır.
- Çimento ve su ilave edilmelidir.
- 2 – 4 dakika sonra karışım kontrol edilmelidir. Homojen karışım gözle fark edilebilir [12].

2.10.2.5 Transmikserde Bulunan Hazır Betona Tellerin İlave Edilmesi Kuralları

- Diğer karıştırma araçları mümkün olmadığı zaman uygulanmalıdır.
- Transmikse konan beton, mikser kapasitesinin %80'nini aşmamalıdır.
- Yüksek su/çimento oranından kaçınmak için akışkanlık verici katkı maddeleri kullanılmalıdır.
- Teller mikse 20 kg/dak – 30 kg/dak hızı ile konmalı ve bu esnada mikser tamburu en yüksek hızı ile çevrilmelidir.
- Karıştırma zamanı mikser tipine bağlıdır. Bütün teller betona karıştırıldıktan sonra mikser kısa müddet ile durdurulmalı ve tel dağılımı göz ile kontrol edilmelidir. Homojen dağılım elde edilemezse, transmikserin bu karışım sistemi için uygun olmadığına karar verilmelidir [12].

2.11 Lifli Betonların Yerleştirilmesi

Lifli betonarme betonunu taşımak ve kalıba yerleştirmek genellikle çok büyük çaba ister. Karışımın lifli yapısı kürek ve çapa kullanılmasını zorlaştırır. Düşük slump değerli karışımları yerleştirmek için ucu çatallı makineler ve tırmık tercih edilir. Uygun şekilde kontrollü iç vibrasyon tercih edilebilir fakat liflerin segragasyonunu önlemek açısından kalıbın ve havayla temastaki yüzeyin dış vibrasyonu tercih edilir. Bir tanesi hariç standart bitirme ve kür koşulları geçerlidir. Eğer düzgün bir yüzey istenirse, çuval çekmek lifleri yukarıya çekebileceği için önerilmez. Düzgün yüzey sert bir fırça ile fırçalanılarak elde edilebilir fakat mümkün olduğunca liflerin yüzeye çekilmesi sonraya bırakılmalıdır [3].

Normal betonlar gibi, lifli betonlarda zamanla mukavemet kazanırlar. Benzer olarak ilk zamanlarda düşük mukavemete sahiptirler. İlk birkaç günde mukavemet düşük ve aderans zayıf olduğundan çatlaklar oluşabilir, çatlakları yarıda kesmek etkisinde azalma olabilir. Bundan dolayı, çatlamaya neden olan sebepler mesela rötire, zayıf kür koşulları, zamansız kalıp almalarından normal betonlardaki gibi kaçınılmalıdır [4].

2.12 Kontrol Kuralları

- Kontrolün amacı, sürekli bir kalite denetiminin sağlanmasıdır.
- Kontrollüğün seçeceği karışımlardan her kontrol için, her 1000 m³'lük betondan 3 adet 10 litrelik beton numunesi alınmalı ve TS 2940'da belirtilen "taze betondan numune alma metotları" kullanılmalıdır.
- Alınan 3 adet 10 litrelik numune su ile yıkandıktan sonra çelik lifler mıknatıs yardımı ile toplanıp hassas olarak tartılmalıdır.
- 3 numunedeki ortalama çelik tel miktarı, olması gerekenden en çok % 10, her bir numunedeki miktar ise en çok %15 farklı olabilir.
- İstenen oranlar elde edilinceye kadar, beton santralinde gerekli tedbirler alınmalıdır [12].

2.16 Lifli Betonların Davranışı , Teknik Ve Mekanik Özellikleri

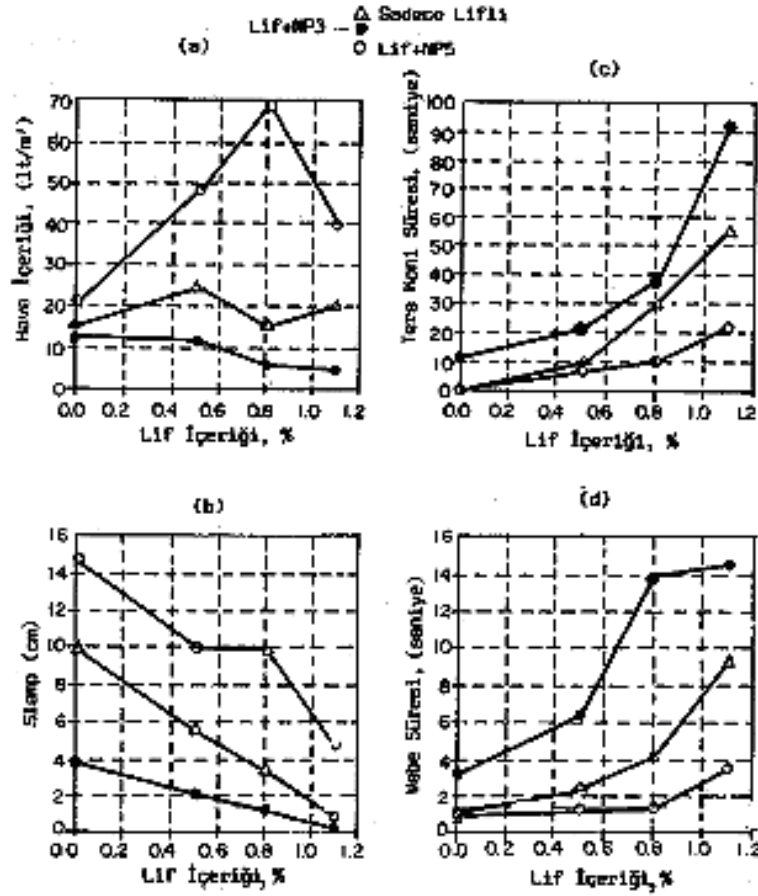
2.16.1 Taze Beton Özellikleri

Yüksek performanslı lifli betonlar, beton matrisine kısa veya uzun dağıntık liflerin katılmasıyla elde edilir. Liflerin katılmasıyla taze beton özelliklerinde bazı değişiklikler görülür. Normal betonda da görülen ve taze beton özellikleri olarak adlandırılan işlenebilirlik yani betonun taşınması, yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve homojenitesi lifli betonlar içinde geçerlidir. Yapılan tüm çalışmalarda betona lif ilavesi ile işlenebilirlikte azalmalar tespit edilmiş ve bu azalmadaki en önemli iki parametrenin lif oranı ve narinlik oranı olduğu tespit edilmiştir. Bunların yanında liflerin betona katılması, karıştırma tekniklerinin de etkisi bulunmaktadır. Lifsiz betonlarda kullanılan slump (çökme) deneyinin çelik lifli betonlarda işlenebilirliği tam olarak ölçmediği tespit edilmiştir. Çelik lifli betonların işlenebilirliğini ölçmek için en uygun yöntem Ve-Be deneyidir [16]. Bu deney şantiye şartlarına uygun olmadığı için pek kullanılmaz ancak laboratuvar çalışmalarında kullanılabilir. Şantiyede ve laboratuvarında kullanılabilecek deney olarak ASTM C 955'de tanımlanan ters çevrilmiş koni deneyi kullanmak uygun sonuçlar vermektedir fakat bu deney ise yüksek oranda akışkanlaştırılmış betonlar için uygun değildir.

Yapılan çalışmalar sonucunda liflerin şekillerine göre işlenebilirliğin şu sıraya göre azaldığı görülmüştür; kıvrımlı, düz, çift kenarlı, ve çengelli.

Lif içeriğinin artması ile taze betonda hava miktarının azaldığı, lif miktarı arttıkça her üç yöntemde de 0.6-0.8 aralığından sonra işlenebilirlikte güçlükler olduğu Şekil 2.7 de görülmektedir.

Yapılan çalışmalarda betonlardaki işlenebilirlikteki güçlüklerin aşılabilmesi amacıyla betonda akışkanlaştırıcı katkıları kullanılmış ve akışkanlaştırıcı miktarının artması ile işlenebilirlikte artışlar meydana geldiği görülmüştür. Katkı miktarının % 0,3'ü oranındaki katkı miktarından sonra işlenebilirlikte iyi artışlar tespit edilmiştir [16].



Şekil 2.7 Çelik lifli betonlarda işlenebilirliğin lif hacmi ile değişimi [16].

2.17 Sertleşmiş Beton Özellikleri

2.17.1 Mukavemet

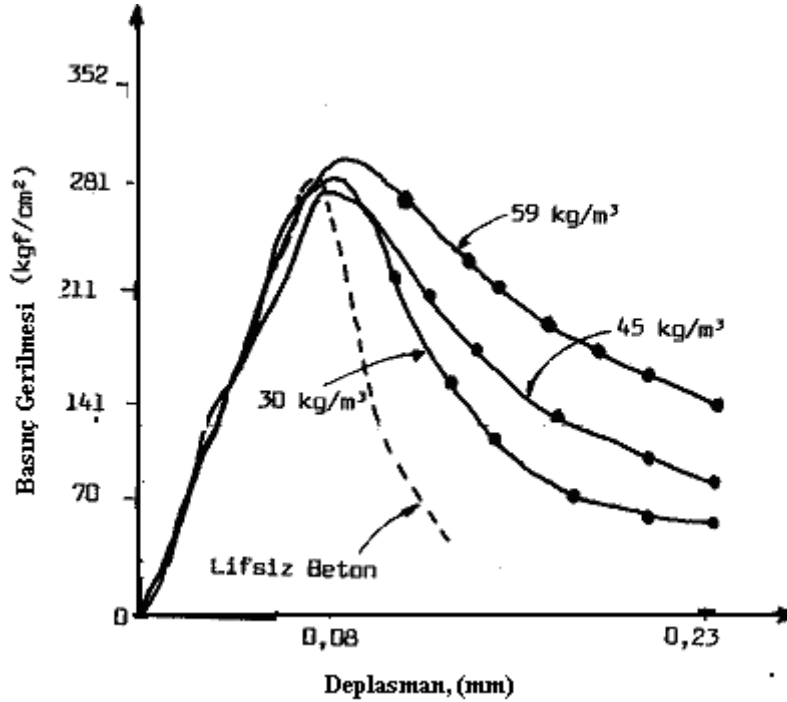
Betonun mukavemeti, basınç, çekme, eğilme ve kesme kuvvetlerine maruz kaldığında maksimum dayanması ile ölçülebilir. Arazi şartlarında, genellikle bunların birkaçı etki edebilir fakat hesaplama amacıyla diğer yüklerin etkisi olmadan sadece bir

yükün etkidiği varsayılır. Her bir ayrı yükleme altındaki mukavemet değeri tasarım şartları için lifli betonların malzeme performansları için faydalı bir göstergedir [13].

2.17.2 Basınç

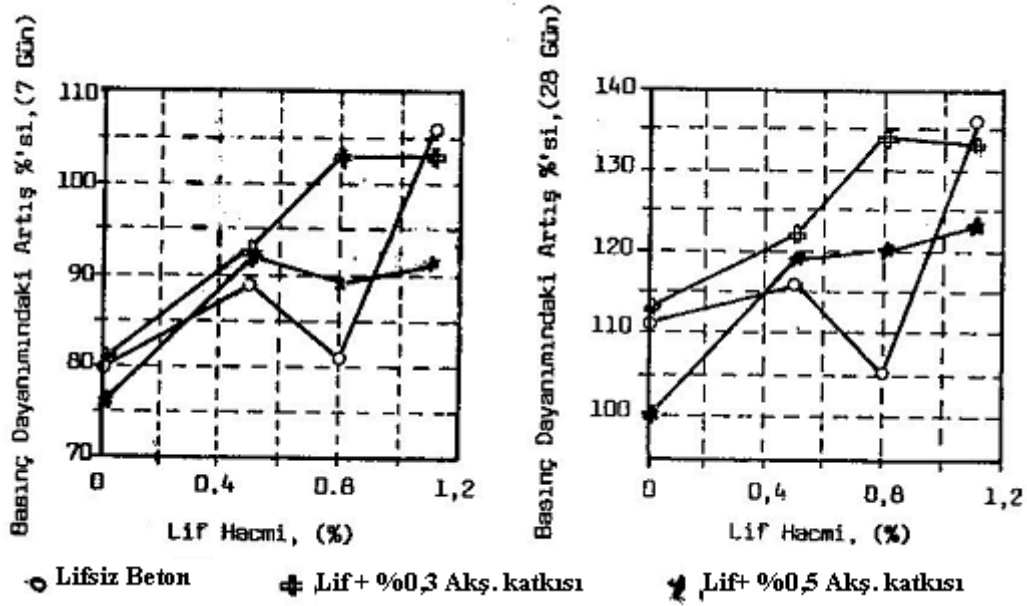
Lifli betonların basınç özellikleri, çekme ve eğilme altındaki özellikleri ile karşılaştırıldığında diğerlerine göre liflerin varlığından az etkilenmektedir.

Yapılan çalışmalarda liflerin beton basınç dayanımını doğrudan etkilediği, % 25 seviyesinde basınç dayanımı artışı görülebileceği gibi bazen de bu düzeyde bir dayanım kaybı ortaya çıkabileceği görülmüştür. Bu durum beton içerisinde gelişigüzel dağılan liflerin yönelimi ile doğrudan ilgilidir. Yükleme doğrultusuna dik olan lifler betonun basınç gerilmesinde herhangi bir işlev yüklenmezken diğer lifler paralellikleri ölçüsünde basınç gerilmesi artmasına karşı duyarlıdırlar.



Şekil 2.8 Basınç gerilmesi altında lif hacmi ile değişen deplasman davranışı [16].

Şekil 2.8 de görüleceği üzere gerilme –birim uzama grafikleri incelenecek olursa basınç gerilmesinin çok az arttığı buna karşılık malzemenin daha çok birim uzama yaptığı görülecektir. Lif hacminin artması, narinlik oranının büyümesi, lif şekli ile eğrinin gelişim değişimi Şekil 2.9 de görülmektedir

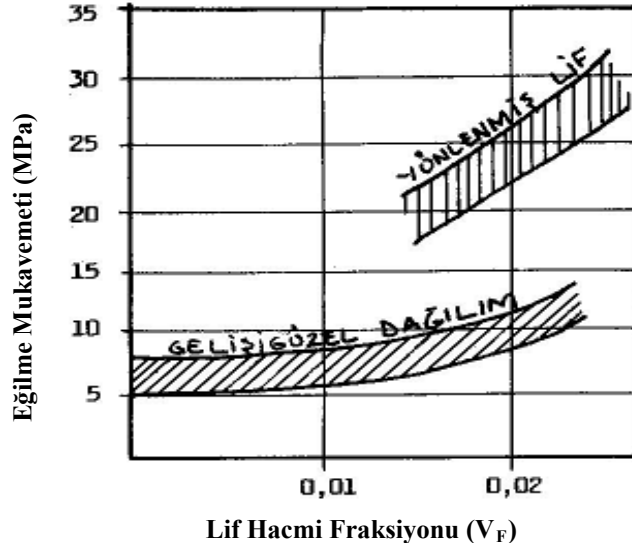


Şekil 2.9 Katkılı ve lifli betonlarda lif hacmi ile basınç dayanımı arasındaki ilişki [16].

2.17.3 Eğilme

Çelik lifli betonların nihai eğilme dayanımları normal betonlara göre % 50-100 arasında artış göstermektedir. Bu artış çelik liflerin yüksek çekme dayanımlarından ileri gelmektedir. Çimento hamuru matrisinin çatlamasından (ilk çatlaktan) sonra liflerin çatlak sonlarından gerilme transferi dağılımı yapması nedeniyle yük, ilk çatlaktan sonra bir miktar daha artar.

Lifli betonların eğilme mukavemetini etkileyen birçok sayıda neden vardır. Lif çeşidi, lifin boyu (L), narinlik oranı (l / d), lif hacmi fraksiyonu (V_f), lif oryantasyonu ve şekli, lif deformasyonu, deney numunesi yüksekliği bu nedenleri içermektedir. Liflerin beton içerisindeki yöneliminin eğilme mukavemetine etkisi Şekil 2.10 de görülmektedir. Ayrıca lifli betonların işlenebilirliğini etkileyen; su / çimento oranı, birim ağırlığı, hava miktarı ve bunun gibi sebeplerde mukavemetini etkiler. Eğilme anındaki maksimum mukavemet lifin hacmine, boyuna, bağlanma özelliğine ve liflerin maksimum mukavemetine göre büyük ölçüde değişebilmektedir. Bu etki eden sebeplerin katılmasıyla lifli betonun mukavemet ilk çatlama mukavemeti değerinden daha küçük ya da büyük olabilir.

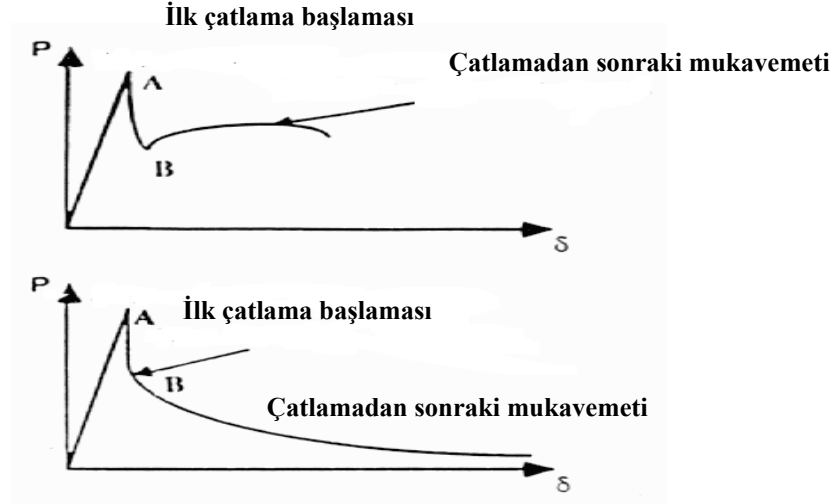


Şekil 2.10 Liflerin beton içerisindeki yönelimi ile değişen eğilmede çekme dayanımı [16].

Genellikle eğilme testine maruz kalan lifli beton malzemelere ait yük-deplasman ilişkisi grafiği üç bölümden oluşmaktadır. Şekil 2.2 de gösterilen bu grafikte;

1. A noktasına kadar az veya çok lineer bir tepki vardır. Davranışın bu bölümündeki mukavemeti artıran mekanizma, ara aderans dayanımıyla matristeki gerilmelerin liflere aktarılmasını içermektedir. Bu zorla yüklenen gerilme matris ile lifler arasında ilk çatlamaya yani “ilk çatlama mukavemetine” veya “denge sınırı” na kadar, A noktasına kadar paylaşılır.
2. A noktası ile maksimum yük kapasitesi yani B noktası arasındaki geçiş lineer değildir. Bu bölümde, çatladıktan sonra, matristeki gerilme ilerleyerek liflere aktarılır. Artan kuvvet ile beraber lifler yavaş yavaş matristen ayrılmaya başlayarak B noktasına yani maksimum eğilme yük kapasitesine ulaşınca kadar lineer olmayan bir yük-şekil değiştirme davranışına yol açarlar. Bu nokta “pik” mukavemeti adını alır.
3. Karma yapıdaki kırılma tamamlanıncaya kadar pik mukavemeti alçalmaya başlar. Davranışın bu bölümündeki yük-şekil değiştirme davranışı ve mukavemetteki kayıp artan deformasyon ile karşı karşıya gelir ve lifli betonun kırılmadan önceki büyük miktarda enerji yutma yeteneğinin önemli bir işaretidir ve lifli betonu normal betondan ayıran bir özelliktir. Bu özellik dayanım olarak adlandırılır.

A ile B noktaları arasındaki lineer olmayan kısım sadece yeterli hacimde lif bulunduğ u zaman oluşur. Düşük hacimdeki lifler için ($V_f < 0,5\%$), maksimum eğilme mukavemeti, ilk çatlama mukavemeti ile karşılaşır ve yük-deplasman eğrisi çatlama yükünden hemen sonra düşer. Şekil 2.11 de gösterilmiştir.



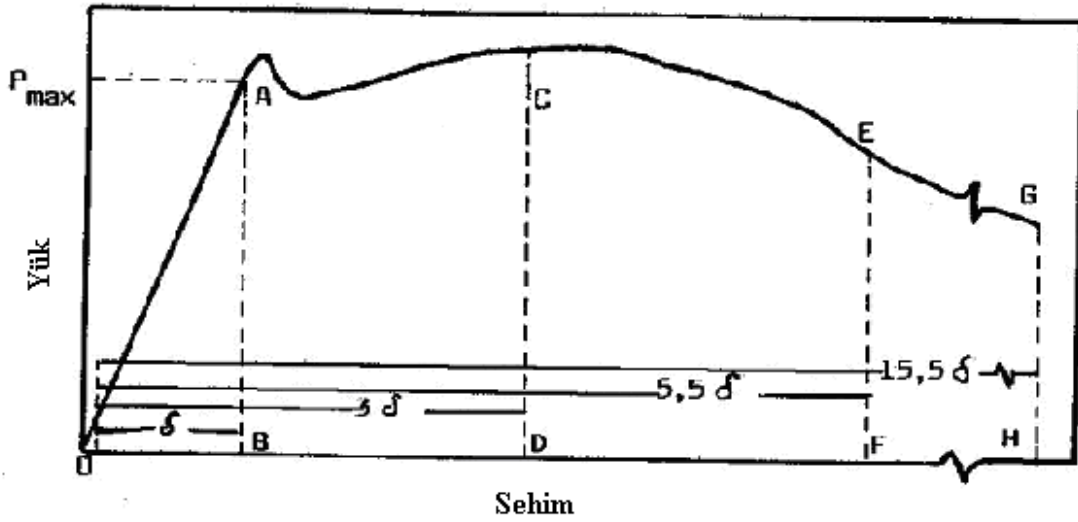
Şekil 2.11 Az miktarda lif katkılı lifli betonarme kirişlerin yük-deplasman eğrileri [16].

2.17.4 Tokluk (Enerji Emme Kapasitesi)

Betonun eğilme yükleri altında enerji absorblaması olarak adlandırılır. Bu nedenle lifli betonların işlevselliği değerlendirilirken esas alınan bir parametredir. Gerek statik gerekse de dinamik yüklemelerde betonun eğilme kuvvetleri altındaki deformasyonu sırasında yapılan işi artırarak betona aynı gerilme ölçeğinde daha yüksek deformasyon yapabilme özelliği kazandırır. Bu özellik TS 10512/ Aralık 1992’de tanımlanmıştır. Bu özellik de çelik lifli betonun diğer özellikler gibi bileşim parametreleri (lif hacmi fraksiyonu, narinlik oranı, lif geometrisi, lif boyu, vs.) ile yükleme hızı ve deney numunesi boyutları gibi bazı olgulardan etkilenir. Değişik lif tipleri ve farklı uzunluk/çap oranlarındaki lifler ile hazırlanan betonlar üzerinde yapılan deneyler sonucu hazırlanan yük- deformasyon eğrilerinden çizilen enerji absorpsiyonu grafikleri 2.13 de gösterilmektedir.

Tokluk indeksi çelik lifli betonların elastik-plastik davranışını açıklamak için kullanılan bir kavramdır. Ölçüsüz bir parametredir. Lif katkılı betonlar için bu değer yük-deplasman eğrisinde belirtilen sehime kadar olan eğri altında kalan alanın, ilk çatlama kadar olan alana bölünmesi ile elde edilen sayıdır. Şekil 2.12 de ilk çatlama tokluğu olan OAB üçgeninin altındaki alan belirlenir. Burada A noktası ilk çatlak gerilmesidir. İlk çatlak gerilmesi alanının 3 katındaki

deformasyon değerine kadar yüklenecek OACD alanı belirlenir. Bu alan ilk çatlak gerilmesi alanının 3 katıdır. Bulunan OACD alanı ilk çatlak alanı olan OAB alanına bölündüğünde I_5 elastik şekil değiştirme indeksi hesaplanır. I_{10} ve I_{30} (TS 10515'te I_{30} yerine I_{20} kullanılır) indeksleri ise ilk çatlak gerilmesinin 5.5 ve 15.5 (TS 10515'e göre 10.5) katı kadar yapılan deformasyonlar sonucu bulunan alanların ilk çatlak alanına bölünmesi ile bulunur. Normal betonlar için bu değer 1 e eşittir. Çünkü bütün katkısız betonlar ilk çatlaktan sonra hemen kırılırlar. Tokluk indeksi lifli betonlar için çatlamanın meydana geldiği yere, lif tipine, narinlik oranına, liflerin hacimsel oranına ve dağılımına göre farklılık gösterirler [29].

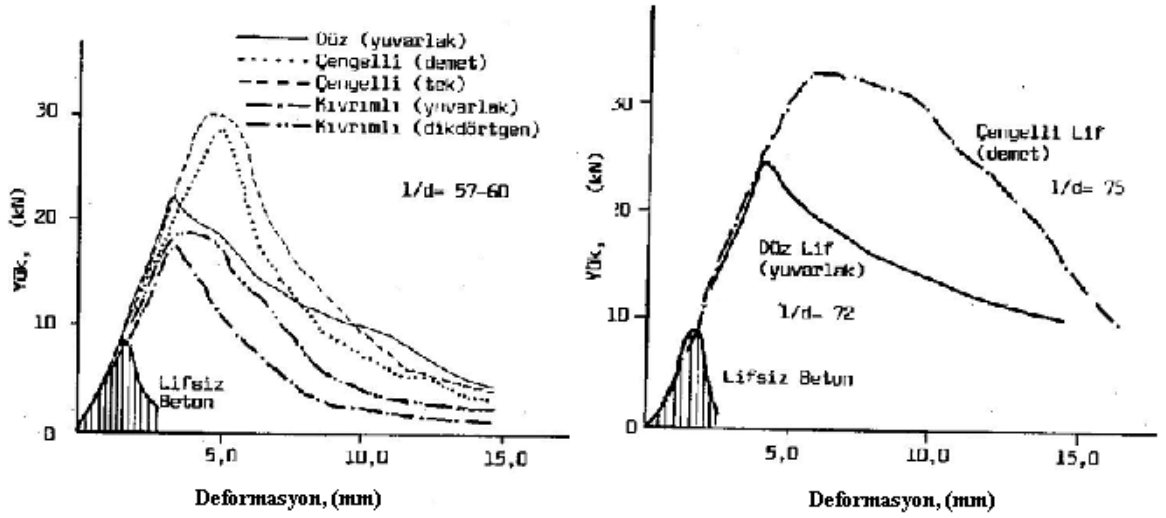


Şekil 2.12 Tokluk indekslerinin hesaplanması için yük-sehim eğrisi [16].

Elastik şekil değiştirme indeksleri değerlendirilirken Tablo 2.4 esas alınır.

Tablo 2.4 Tokluk İndekslerinin Değerlendirme Kriterleri

Alan	İndeks	Eğilme Kriteri	Lifsiz Beton	Elastik-Plastik Malzeme	Lifli beton için aralık
OACD	I_5	3	1.0	5.0	1-6
OAEF	I_{10}	5.5	1.0	10.0	1-12
OAGH	I_{20}	10.5	1.0	20.0	1-25



Şekil 2.13 Lif tipi ve narinlik oranına göre tokluğun değişimi [16].

Yapılan çalışmalar sonucunda betonların tokluk özelliği açısından şu genellemeleri yapmak mümkündür:

- Çelik lifli betonda kullanılan lifin geometrisi, uzunluk/çap oranı ve lif hacmi fraksiyonu betonun tokluk karakterini doğrudan etkilemektedir.
- Çengelli liflerin kullanıldığı betonların tokluğu diğer lif tiplerinin kullanıldığı betonlardan daha yüksektir.
- Lif hacmi fraksiyonunun artması ile beton tokluğu artmaktadır.
- Lif görünüş oranının artması ile az da olsa betonun tokluğunda bir artış meydana gelmektedir.
- Betonun lif içeriğinin artması ile tokluğu artmaktadır [16].

2.17.5 Kesme Mukavemeti

Kesme kırılması ani ve felakete sebep olabilir. Bu kritik durum, şartnamelere bağlı olarak az veya hiç donatı çeliği olmadığı durumlar için de doğrudur. 30 yıldan fazladır, lifli betonlar basınç, eğilme ve çekme yükleriyle çeşitli yükleme şartlarıyla uğraşanların çalışma konusu olmuştur. Kesme davranışını geliştirmek için liflerin kullanımı umut vericidir fakat lifli betonların davranışı hakkında verilen araştırma raporları sınırlı sayıdadır. Lifli betonların kesme davranışını etkileyen çalışmaları gerçekleştiren testler iki gruba ayrılır; direkt kesme testi ve kirişler ve konsol kiriş üzerindeki testler. Direkt kesme testi betonun temel yük aktarım

davranışını anlamak, kiriş ve konsol kirişlerle yapılan testler ise liflerle donatılmış yapı elemanının davranışını anlamak için gereklidir.

Yapılan çalışmalar göre, liflerin eklenmesi genellikle betonun kesme mukavemetini ve düktilitesini artırdığı belirtilebilir. Beton elemanlardaki etriyelerin, kayma donatısı olarak, kısmen veya tamamen çelik lifli betonların yerini tutabileceği rapor edilmiştir.

2.17.6 Darbe Dayanımı

Betonun ani olarak dinamik bir kuvvetle yüklenmesi anlamına gelen darbe dayanımı çelik lifli betonun özellikleri içerisinde önemli derecede (%100-1200 arasında) performans artışının sağlandığı bir özelliktir. Bu değer direkt olarak, enerji tutma kapasitesi ile ilgilidir.

Darbe dayanımı köprü ayakları gibi yapılar için önemlidir. Liflerin eklenmesinin betonun darbe dayanımını artırdığının farkına varılmıştır. Mukavemet ve kırılma enerjisi betonun darbe yüklemesi altındaki davranışını açıklayan çok önemli iki parametredir. İki çeşit karşılaştırma yapılabilir:

1. Darbe yüklemesi altında çelik lif katkılı ve normal betonlar arasındaki farklar
2. Çelik lif katkılı betonun darbe yüklemesi ile statik yükleme altındaki davranışları arasındaki farklar [14].

Darbe yüklemesi altında normal beton ile çelik katkılı beton arasında fark, çelik katkılı betonun maksimum yüklemesi normal matrsten % 40 daha fazladır. Çelik lifler, kırılma enerjisini normal mukavemetli betonlar için 2.5, yüksek mukavemetli betonlar için ise 3.5 kat artırır.

2.17.7 Aşınma Dayanımı

Çelik lifler, yavaş akan suyun taşıdığı malzemelerin oluşturacağı aşınma dayanımının da etkisi yoktur. Fakat yüksek hız akışı kavitasyon etkisi ve büyük darbe etkisi yaratacağından çelik lifli betonlar aşınma dayanımını geliştirirler.

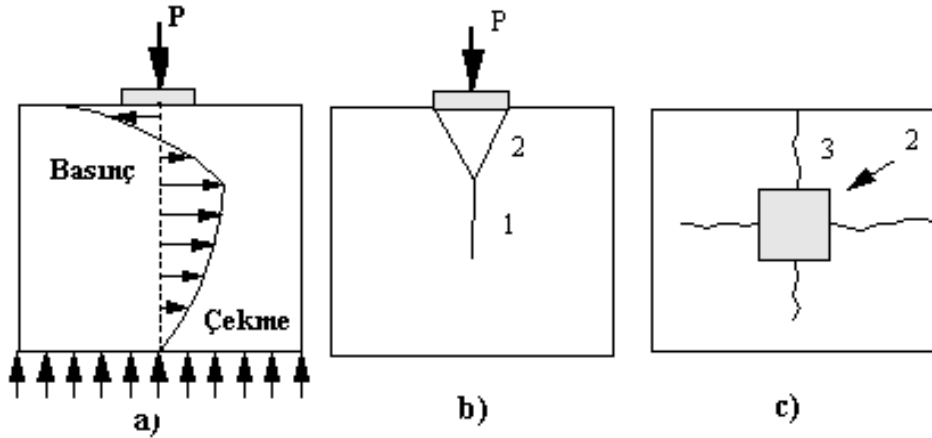
2.18 Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Betonun Kullanım Alanları

Çelik liflerin beton içerisindeki davranışı ve betonun bir çok özelliğine katkı sağlayarak özelliklerini güçlendirmesi sonucunda ağır çalışma alanlarında, ince kesitlerin ve yüksek dayanım özellikleri gerektiren yerlerinde çelik lifli beton kullanılmaktadır. Bazı yerlerde ise ekonomik gerekçelerle donatı ve hasır kullanmamak için kullanılır. Yaygın olarak kullanım alanları

- Püskürtme beton uygulamaları
- Su yapıları
- Endüstriyel döşemeler
- Şev stabilitesi ve tünel kaplamaları
- Havaalanı kaplama betonları
- Liman kaplama betonları
- Depreme dayanıklı yapılar
- Ateşe dayanıklı beton yapılar
- Prekast elemanlar
- Askeri güvenlik yapıları
- Beton borular

3. YATAK MUKAVEMETİ

Genel olarak betonarme sistemlerde, genellikle kolon elemanının temel pabucu üzerine oturduğu durumlarda, temel gövdesinde enine çekme gerilmeleri meydana gelir ve bu gerilmeler yatak gerilmesi olarak tanımlanır. Yatak göçmesi, genellikle enine çekme gerilmelerinin sebep olduğu yarıma tesiriyle meydana gelir (Şekil 3.1a). Hawkins [18], rijit bir zemine oturtulmuş, donatısız beton bloklar üzerine rijit plakalarla yüklemeler yaparak bu durumu gözlemlemiştir. Şekil 3.1b de görüldüğü gibi yükleme sonucu gövdede oluşan enine çekme gerilmelerinden dolayı ilk önce 1 numara ile gösterilen kısımda çatlak meydana gelmektedir. Daha sonra konik bir kama şeklinde gelişen 2 nolu çatlak vasıtasıyla, 1 nolu çatlak yüzeye erişmektedir. Bunun sonucu olarak, yükleme levhasının çevresinde Şekil 3.1c de detayı verilen 3 nolu radyal çatlaklar oluşur ve göçme meydana gelir.



Şekil 1

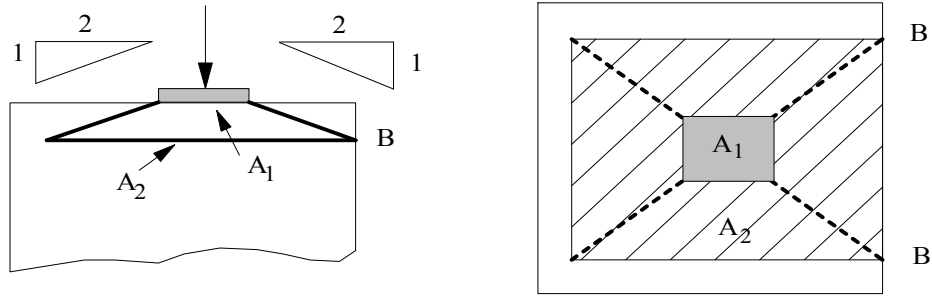
Şekil 3.1. Yatak göçmesinin mekanizması [28].

Yatak göçmesini önlemek için şartnameler iki yol önermektedir: Şekil 3.1b de görülen 1 nolu çatlakın gelişiminden sonra çekme gerilmelerini karşılamak amacıyla bu bölgeye donatı yerleştirmek (BS5400), ikinci yol olarak yatak gerilmelerini sınırlayarak içsel çatlakın meydana gelmemesini sağlamaktır [19].

ACI-318 [19], yatak mukavemetinin hesabı için, Hawkins'in yaklaşımını kullanmaktadır.

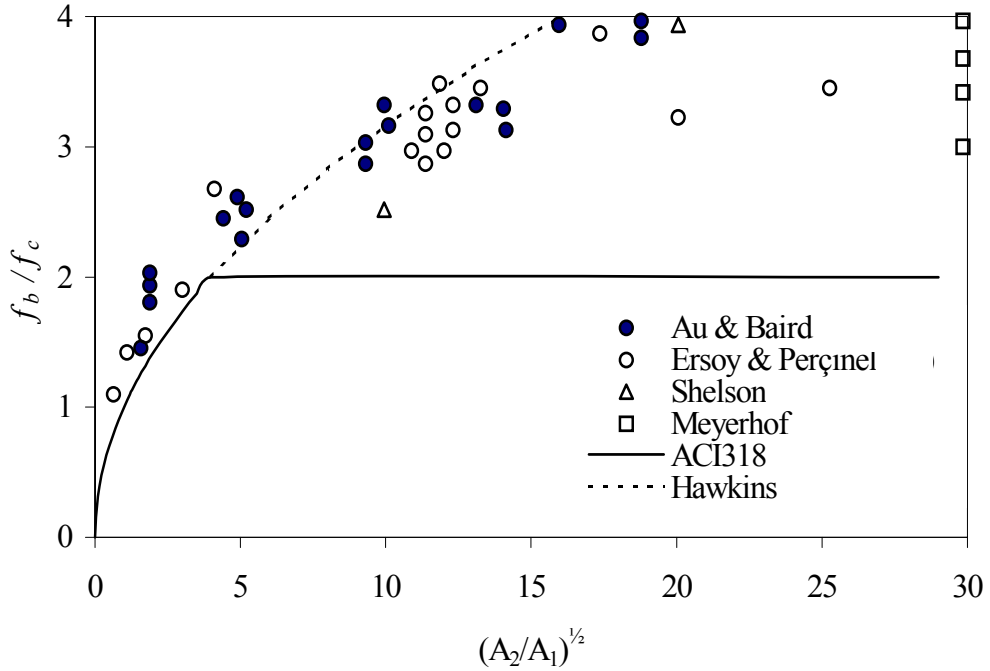
$$f_b = \frac{P_u}{A_1} = f'_c \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \quad (3.1)$$

Burada P_u göçme yükü, A_1 yatak alanı, f'_c yatak betonunun basınç mukavemeti ve A_2 Şekil 3.2 de görüldüğü gibi yataktan itibaren yatayda 2, düşeyde 1 eğimle gidildiğinde bloğun sınırına ilk erişildiği seviyede oluşan düzlemin alanıdır.



Şekil 3.2. Plan ve yan görünüş üzerinden A_1 ve A_2 alanlarının tanımlanması [28].

Ancak şartnameler, $f_b \leq 2f'_c$ ile yatak mukavemetini sınırlamaktadır. Bununla beraber şartnamelerin önerdiği sınırlama özellikle $\sqrt{A_2/A_1}$ büyük olduğu durumlarda çok emniyetli yönde kalmaktadır. Şekil 3.3'de literatürdeki mevcut bazı çalışmalar ve şartnameler gösterilmiştir [28].



Şekil 3.3. Deneysel sonuçları, Hawkins ve şartnamelerin yaklaşımı [20].

3.1. Yatak Mukavemeti Üzerine Yapılan Çalışmalar

3.1.1. Tung A. ve Donald L. B. (Beton blokların yatak kapasitesi)

Tung-Au ve Baird [21], deneylerinde yaklaşık 60 adet, yatak alanı oranları (R) 2 ile 16 arasında değişen 6.35 ve 12.7 mm'lik agregalar kullanarak kare prizma beton bloklar hazırlamışlardır. İki farklı agrega boyutu kullanmalarının sebebi, betonun yatak kapasitesinde iç sürtünme açısının anlaşılabilmesi içindir. Hazırlanan bu karışımlarla b=d (A serisi) ve b=2d (B serisi) oranında numuneler hazırlamışlardır.

A Serisinde küp numunelerde yapılan deneylerde bloğun üst kısmından başlayan düşey çatlak kayma göçmesiyle aşağı doğru gelişmiş, max yüke genelde çatlak belirdikten kısa bir zaman sonra ulaşılmış ve o andan sonra yük taşıma kapasitesinin ihmal edilebilecek bir miktara kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Deneylerinde yatak plakası vasıtasıyla uygulanan yük sonucu göçme olayı başladığında aşağı doğru zorlanma neticesinde ters bir piramit elde edilmiştir.

B Serisindeki numunelerde yarılma, radyal olmuş ve bir çok durumda temiz piramit elde edilememiştir. Yalnız birkaç tanesinde orta noktada kesişmiş vaziyette iki alt üst piramit formasyonunda şekil elde edilmiştir. Bu seride çatlaklar ilk önce alt kısımda oluşmuş ve yukarı doğru gelişmiştir. Bu görünüşlerden yarılmanın yatak plakası atındaki betonun aşırı deformasyonu sonucu meydana gelen radyal basınçla oluştuğu düşüncesine varılmıştır.

A serisi için yapılan çalışmalar 200×200×200 mm'lik küp numuneler üzerinde yapılmış ve 200 mm'lik küp blokların göçmesi çatlakların diyagonal bir düzlem boyunca yarılmasıyla oluşmuştur. Bu yarılma uygulanan yatak gerilmesince aşağı doğru yapılan basınç sonucu ters bir piramit formasyonu gelişmiştir. Yapmış oldukları deneylerden yatak gerilmesini aşağıdaki formülle yaklaşık olarak bulunabileceği belirtilmiştir.

$$\sigma_N = (2 S_0 + k f_t) \cot \alpha \quad (3.2)$$

Burada; k: Alan, atalet momenti ve y eksenine bağlı sabit değer,

S_0 : P=0 için birim aladaki kesme direnci,

α : Ters piramidin düşey düzleme göre yarım tepe açısını ifade eder.

Deneylerde; betonun tam homojen yapıya sahip olmamasından dolayı göçme sonrası oluşan piramidin kenarları tam simetrik olmamıştır. Tepe açılarını tam olarak ölçememişler fakat yarım tepe açısının yaklaşık olarak $19^0 \sim 25^0$ arasında olduğunu belirlemişlerdir. α Açısının

küçük bir değişimi (3.2) denklemindeki k ve $Cot\alpha$ değerini çok fazlasıyla etkileyeceğini vurgulamışlardır. Almış oldukları üniform sonuçlara göre her iki karışım içinde en uygun değeri 22^0 olarak benimsemişlerdir. Ayrıca deney verilerinin grafiksel eğrilerinden faydalanılarak pratiksel kullanımlar için $f_t'/f_c' = 0.23$ ve $f_t'/f_c' = 0.1$ değerlerini önermişlerdir. Bu değerler kullanılarak yatak kapasitesi tam olarak belirlenemez. Fakat deneysel verilerin mantıksal bir korelasyonunda yararlı bir temel sağlayacağı vurgulanmıştır.

B serisi için yapılan çalışmalar $200 \times 200 \times 100$ mm'lik prizma numuneler üzerinde yapılmış, bu numunelerde göçmeden sonra düzgün piramit formu gözlenememiş ve buna sebep olarak da kayma göçme direnci gösterilmiştir. B Serisinden elde edilen sonuçlar A Serisine göre daha büyük çıkmıştır (Tablo 3.1). Tabandaki gerilme etkisiyle bloğun bir konsol gibi davranması, preste yatak plakası ile blok tabanı arasındaki sürtünmeden dolayı oluşan radyal çatlama direnci gibi faktörler relatif olarak ince blokları etkilemiştir. Bu seride elde edilen sonuçlardaki bazı tutarsızlıklara sebep olarak yukarıda sözü edilen faktörleri göstermişlerdir.

Tablo 3.1. Tung A. ve Donald L. B'nin deney sonuçları

	Numune Serisi	Numune Boyutu (cm)			A_2/A_1 (R) Oranı					
		D	d	h	2	4	6	8	12	16
Ortalama Yatak mukavemeti (MPa)	$d_{max}=6.35$ mm $f_c'=55.51$ N/mm ²	200	200	200	71.02	90.53	106.67	118.94	133.21	155.83
		200	200	100	75.98	97.36	111.63	134.11	154.59	178.24
	$d_{max}=12.7$ mm $f_c'=31.03$ N/mm ²	200	200	200	48.82	64.33	74.12	83.22	102.87	128.94
		200	200	100	64.05	69.10	86.19	90.19	140.66	147.62
σ_N/f_c' (n) oranı	$d_{max}=6.35$ mm $f_c'=55.51$ N/mm ²	200	200	200	1.28	1.63	1.92	2.14	2.40	2.80
		200	200	100	1.37	1.76	2.02	2.42	2.79	3.21
	$d_{max}=12.7$ mm $f_c'=31.03$ N/mm ²	200	200	200	1.57	2.07	2.39	2.68	3.32	4.16
		200	200	100	2.06	2.23	2.78	2.91	4.53	4.76

3.1.2. Bauschinger (Tabii Taş Bloklar İle Yapmış Olduğu) Deneyler

Bauschinger [22], yatak gerilmesini belirlemek için tabii kum taşlarından hazırlanmış olduğu küpler üzerinde deneyler yapmış ve bu deneyler sonucunda, blok alanının yükleme alanına oranının (R) artışına bağlı olarak maksimum yatak gerilmesinin de yükseldiğini görmüştür. R oranlarını 1~7 arasında sınırlı değerlerde almış ve aşağıdaki sonuçları elde etmiştir.

Tablo 3.2. Bauschinger'in deney sonuçları

R	σ_N (MPa)	f_c' (MPa)	σ_N / f_c'
1.7	73.087	52.402	1.40
3.0	90.325	52.402	1.72
7.0	117.215	52.402	2.24

Bauschinger elde etmiş olduğu deney sonuçlarından yatak kapasitesini aşağıdaki temel bir formülle ifade etmiştir.

$$\frac{\sigma_N}{f_c'} = 1.25 R^{1/3} \quad (3.3)$$

3.1.3. N. M. Hawkins (Rijit Plakalar Arasında Yüklü Betonun Yatak Kapasitesi) Deneyleri

Hawkins [18], yapmış olduğu bu çalışma rijit plakalar arasındaki betonun yatak dayanımı ile ilgilidir. Yapılan çalışma sonucunda hazırlanmış olan 18 seri numunenin raporu, numunenin ve yükleme plakasının geometrisi, konsantrik veya eksantrik yüklenmesi ve beton sınıfı gibi özellikler dikkate alınarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmada konsantrik yüklü 100 numune ve eksantrik yüklü 130 numune üzerinde deneyler yapılmış konsantrik yüklemede, başlıca değişken olarak beton sınıfı, numune boyutu, yükleme plakasının şekli ve boyutu, ayrıca eksantrik yüklü deneyler için yatak plakasının konumunu da bir değişken olarak almıştır. Konsantrik yüklemeler için elde ettiği sonuçlar tablo 3.3'de verilmiştir.

Konsantrik yüklü numunelerde göçme esnasında üç veya daha fazla çatlak yükleme alanından radyal olarak yayılmıştır. Yükleme altında göçen kamalarda yaklaşık $35^\circ \sim 40^\circ$ tepe açısı ile piramit şekli oluşmuştur.

Eksantrik yüklü numunelerinde kırılma modları, köşe yüklemesi hariç, konsantrik yüklü numunelerdekine benzer şekilde olmuştur. Beton yükleme alanının altından dışarıya doğru kama şeklinde zımbalanmış ve tepe açısında $17^\circ \sim 25^\circ$ arasında meydana gelmiştir. Yapmış olduğu deneylerden aşağıdaki sonuçları çıkarmıştır.

1. (3.4) Denkleminde R'nin 40'dan düşük değerleri için nihai yatak dayanımının yaklaşık değeri belirlenebilir.

$$\frac{\sigma_N}{f'_c} = 1 + \frac{k}{\sqrt{f'_c}} (\sqrt{R} - 1) \quad (3.4)$$

2. Pratik çalışmalarda en uygun değerin belirlenmesinde K faktörü 50 alınabilir.

3. R değeri yükleme alanının şekli ve yüklemenin eksantrikliğinin uygunluğu göz önüne alınarak seçilmelidir. "Etkif" yüksüz alan, yüklü alan ile konsantrik olmalıdır.

4. Denklem (3.4) den hesaplanan değerdn daha büyük yatak gerilmesi kenar yüklemeler için kullanılabilir. Nihai yatak dayanımı; c/b oranı 2 den büyük ve "a" değeri "b" değerine eşit veya daha az olmak şartıyla yaklaşık olarak $(1 + a/2b)f'_c$ olarak alınabilir.

Burada; a: Dikdörtgen yatak plakasının kısa veya kare plakanın kenar uzunluğu,
b: Plakanın uzun kenarı veya numune kenarıyla çıkışan kısım, c: Numunelerin kenar uzunluğudur.

5. Beton basınç dayanımı üstünde yatak kapasitesindeki herhangi bir artış direk olarak iç sürtünme açısına bağlıdır [28].

Tablo 3.3. Konsantrik yüklemeler için sonuçlar [28]

Deney Serisi	Beton Dayanımı (MPa)	Numune Boyutu (mm)	Yükleme Plakasının Şekli	R	σ_N / f_c Ölçülen	σ_N / f_c Teoriksel	Kol.6/Kol7
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
A	0.022	150 mm Küp	Kare	11.9	2.85	3.18	0.90
				8.8	2.66	2.74	0.97
				5.9	2.25	2.27	0.99
				4.0	1.89	1.89	1.00
				2.2	1.48	1.43	1.03
B	0.026	225 mm Küp	Kare	13.0	3.16	3.11	1.02
				8.8	2.73	2.59	1.05
				4.9	2.07	1.99	1.04
C	0.053	150 mm Küp	Kare	11.8	2.18	2.39	0.91
				8.7	2.02	2.11	0.96
				5.9	1.75	1.81	0.97
				4.1	1.48	1.58	0.94
				2.2	1.22	1.27	0.96
D	0.027	150 mm Küp	Kare	9.0	3.05	3.10	0.98
				4.0	2.09	2.05	1.02
				1.0	0.96	1.00	0.96
E	0.040	150 mm Küp	Kare	9.0	2.60	2.82	0.92
				4.0	1.59	1.91	0.83
				1.0	0.93	1.00	0.93
F	0.012	100 x 200 mm Silindir	Daire	16.0	5.67	5.35	1.06
				7.1	3.18	3.41	0.93
				4.0	2.08	2.45	0.85
				1.8	1.56	1.49	1.05
G	0.041	150 mm Küp	Kare	36.0	5.42	5.22	1.04
				24.0	4.40	4.29	1.03
				18.0	3.85	3.74	1.03
				9.0	2.62	2.69	0.97
				4.0	2.03	1.85	1.10
H	0.034	150 mm Küp. 150x300 mm Silindir	25 mm çap	36.0	4.62	4.59	1.01
			35x35 mm	18.0	3.30	3.30	1.03
			50 mm çap	9.0	2.44	2.44	1.00
			75x75 mm	4.0	1.75	1.72	1.02
			25x50 mm	18.0	4.06	3.58	1.13
			25x75 mm	12.0	3.22	2.96	1.09
			25x100 mm	9.0	2.75	2.59	1.06
			50x75 mm	6.0	2.04	2.15	0.95
	0.034		50x100 mm	4.5	1.96	1.89	1.04

3.1.4. Meyerhof (Beton ve Kayaların Yatak Mukavemeti) Deneyleri

Meyerhof [23], çalışmalarını hem beton hem de kaya numuneler üzerinde yapmıştır. Bu çalışmaları sonucunda elde edilen nihai yatak kapasitesinin betonun silindir basınç dayanımından daha büyük olduğunu ve ayrıca yatak kapasitesinin blok alanı ile yükleme alanının oranına (R) bağlı olduğunu belirlemiştir. Yapmış olduğu deneyler sonucunda bu durumu üç eksenli deneylerdeki gibi kontak alanının çevresindeki bölgede sınırlanmış basıncın yardımıyla açıklamıştır. Numunelerde yüklemeler sonucu meydana gelen göçmede yarma veya kesme doğrultusunda bir veya birden çok parçalanmanın Mohr-Coulomb teorisine uygun olduğunu kabul etmiştir. Bu teoriye göre numunelerdeki kesme dayanımını (3.5) deki formülle ifade etmiştir.

$$S = C + P \tan \phi \quad (3.5)$$

Burada;

C= Betonun birim kohezyonu,

P= Kesme yüzeyinde efektif normal gerilme,

ϕ = İç sürtünme açısı,

S= Kesme kuvvetidir.

Betonun birim kohezyonu yaklaşık olarak betonun sınırlanmamış dayanımının beşte birine denktir ve 40° ile 50° derece arasında değişen iç sürtünme açısında yaklaşık olarak 45° civarı alınabileceğini belirtmiştir.

Meyerhof, yapmış olduğu çalışmaların açıklamasını yaparken kesme–yarma göçmesinin iki boyutlu analizinden faydalanmıştır. Analizler sonucu elde etmiş olduğu bağıntıyı (3.6) formülasyonu ile ifade etmiştir.

$$P_h = Q \tan^2 \alpha - 2 C \tan \alpha \quad (3.6)$$

Burada;

P_h Mohr-Coulomb teorisine göre yarma gerilmesidir ve bunun sonucu $\frac{d}{2} C \cot \alpha$

derinliğinde etkiler. α Yarı köşe açısıdır (kesme açısı) ve $45-\phi/2$ ye karşılık gelir.

$$P_t = \left[1 + \frac{6t}{2t - d \cot \alpha} \right] \frac{d \cot \alpha}{2t - d \cot \alpha} P_h \quad (3.7)$$

Bu iki denklemden faydalananarak σ_N değeri aşağıdaki şekilde bulunabilir;

$$\sigma_N = \frac{(2t/d - \cot \alpha)^2 P_t \cot \alpha}{8t/d - \cot \alpha} + 2C \cot \alpha \quad (3.8)$$

Diğer taraftan sınırlanmamış prizma dayanımı $P_u = 2C \cot \alpha$ olduğundan, buradan;

$$\frac{\sigma_N}{P_u} = 1 + \frac{t P_t}{4 d c} \quad (3.9)$$

olur. Denklem (3.9) 'da $P_t/c \sim 1$ civarındadır.

Meyerhof çalışmalarında üç seri numune kullanmıştır. Bunlar;

SERİ I) Blokların genişliği 150 mm'de sabit tutuldu ve kalınlıkları 37,5 ~ 150 mm arasında değişti (R=23,2 sabit alındı, r = 1,2 ~ 4,8 arasında değişti).

SERİ II) Blokların kalınlığı 150 mm'de sabit tutuldu ve genişlikleri 150 ~ 450 mm arasında değişti (r = 4,8 sabit alındı, R = 23,2 ~ 207 arasında değişti).

SERİ III) 450 x 450 x 150 mm'lik sabit boyutlu beton bloklar kullanmıştır. Fakat bunlar kesme göçmesinde betonun yarılmasını engellemek için çevresel olarak güçlendirilmişlerdir. İlk iki serinin sonuçları Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4. Meyerhof'un deney sonuçları [23]

Seri No	r	R	σ_N (MPa)	f_c' (MPa)	σ_N / f_c'
Seri I	1.2	23.2	64.13	21.86	2.93
	2.4	23.2	89.29	21.86	4.09
	4.8	23.2	114.11	21.86	5.22
Seri II	4.8	23.2	92.39	20	4.62
	4.8	92.2	133.76	20	6.69
	4.8	207	176.51	20	8.83

3.1.5. Sanat K. Niyogi (Betonun Yatak Dayanımı–Geometrik Değişimler)

Niyogi [24], yapmış olduğu çalışmada $d_{max} = 12.7$ mm’lik agregası kullanarak 200 mm’lik küp ve farklı boyutlardaki prizmalar hazırlamıştır. Hazırladığı numunelere kare, dikdörtgen ve şerit yükleme plakaları vasıtasıyla merkezi ve eksantrik olarak yükleme yapmış ve deney verileri elde etmiştir.

Niyogi, deney sonuçlarını etkileyen başlıca faktörleri şu şekilde sıralamıştır;

1. Geometri: Bunu üç başlık altında değerlendirmiştir,
 - a) Numune yüzey alanının yatak plakası alanına oranı ($R = A_2/A_1$). Tabii ki burada yükleme plakasının kare, dikdörtgen veya şerit olması göz önüne alınmalı,
 - b) Numune yüksekliğinin genişliğine oranı (d/a),
 - c) Yatak plakasının e ve e' eksantriklik değerleri. (e ve e' ; yatak plakasının kenarlara olan uzaklığı)
2. Yatağın mahiyeti, rijitliği ve randımanı,
3. Numunenin yatak alanı veya bir taraftan konsantrik yükleme şekli,
4. Betonun karışım özellikleri ve dayanımı,
5. Numunenin boyutu,
6. Donatı şekli ve miktarıdır.

Yüklemelere başlandığında çatlak ilk olarak yükleme yüzeyi yakınında meydana gelmiş, bu çatlakın yükleme yüzeyinden mesafesi; numunenin derinliği, yatak plakasının şekline ve boyutuna bağlı olduğunu ifade etmiştir. Yüklemenin artmasıyla beraber çatlaklar içe ve dışa doğru gelişmiş, bazı numunelerde bu çatlaklarda çatallanma veya sapmalar meydana gelmiş, fakat tabana doğru yaklaştığında diyagonal bir şekil almışlardır. Göçmenin oluşumuna doğru çatlaklar genelde yatak plakasının köşesinden dış kısma uzanarak gelişmiştir.

Eksantrik yük altında, ilk çatlama yatak plakasına yakın numune kenarında oluşmuş ve yatak plakasının ekseni ile çatlaklar pek nadiren çakışmıştır. Plakaların yönündeki çatlakların gelişimi diğerleri ile hemen hemen aynı olmuştur.

Deneyler esnasında yatak plakasının numune yüzeyinden itibaren içeri doğru batma miktarı yatak basınç dağılımına, beton dayanımına ve plaka boyutuna bağlı olduğunu belirtmiştir.

Yatak gerilmelerini; ilk çatlama yatak gerilmesi (σ_N^1) ve nihai yatak gerilmesi (σ_N) olmak üzere iki kademeyle ölçmüştür. Yapmış olduğu deneylerde σ_N^1 ve σ_N arasında R ve h/d değerlerine göre değişimler olduğunu belirlemiştir. $R > 8$ ve $h/d > 1$ olan numunelerde bu iki yatak

gerilmesi arasındaki fark hemen hemen hiç yokken, küçük R değerli $h/d < 1$ olan numunelerde bu fark oldukça fazla olmuştur.

Deneylerde; $R \leq 8$ değerlerinde numune yüksekliğinin artışı ile beraber yatak dayanımında düşme olduğunu görmüş ve bu düşmenin numune yüksekliğinin azaltılarak tabandaki sürtünme etkisini azaltılabileceğini hatta beklenen boyut etkisini dahi verebileceğini belirtmiştir.

Sabit bir R değerinde yükün her iki eksendeki eksantrikliğinin zıt etkilediğini ve küçük yüklü alanların geniş yüklülere göre daha fazla etkilendiğini görmüştür. Bu değerlendirmeyi kare plaklara göre yapmıştır, fakat dikdörtgen plakalarda da aynı sonuca varılabileceği kanaatindedir.

20 cm' lik küp numuneler üzerinde yapılan deneylerden bazılarına ait sonuçlar aşağıda tablo 3.5, 3.6 de verilmiştir.

Tablo 3.5. 20 cm'lik Küp numunelerin kare yükleme plakası ile yüklemesi

Plaka boyutu (cm)	R	σ_N' (MPa)	σ_N (MPa)	f'_c (MPa)	n
2.5 x 2.5	64	200	200	28	7.10
3.525 x 3.525	32	138	141	30	4.75
5 x 5	16	78	82	27	3.01
7.075 x 7.075	8	45	57	28	2.06
10 x 10	4	36	47	31	1.55
15 x 15	1.78	21	34	31	1.09
20 x 20	1	15	28	29	0.97

Tablo 3.6. 20 cm'lik Küp numunelerde bir eksenli eksantriklik yükleme

Plaka boyutu (cm)	R	$e/(2d)$	σ_N' (MPa)	σ_N (MPa)	f'_c (MPa)	n_e	n_e/n
2.5 x 2.5	64	0.125	187	187	30.08	6.23	0.88
		0.250	135	135	30.08	4.50	0.63
		0.375	99	99	30.08	3.27	0.46
3.525 x 3.525	32	0.063	117	123	29.21	4.21	0.89
		0.125	113	114	28.80	3.94	0.83
		0.188	109	109	29.21	3.72	0.78
		0.250	93	94	29.25	3.20	0.67
		0.375	66	67	29.25	2.29	0.48
5 x 5	16	0.063	89	93	32.99	2.81	0.93
		0.125	73	75	29.15	2.57	0.85
		0.188	68	72	28.80	2.50	0.83
		0.250	56	64	29.15	2.18	0.72
		0.375	42	42	26.18	1.62	0.54
10 x 10	4	0.063	32	40	26.98	1.47	0.95
		0.125	42	42	30.89	1.35	0.87
		0.188	29	38	29.21	1.29	0.83
		0.250	24	27	26.64	1.01	0.65

3. 1. 6. W. F. Chen ve J. L. Carson (Lifli Betonların Yatak Mukavemeti)

Bu çalışma dağınık haldeki liflerin yatak mukavemetini ve dairesel yataklarla yüklendiğinde silindir numunelerin süneklik etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu araştırmada iki taraflı zımbalama tekniği uygulanmıştır. İki taraflı zımbalama tekniğinde zıt taraflardan orta noktadan metal dairesel yataklar monte edilmiştir.. Bu çalışmada 15.24 cm çapında silindir numuneler ve 3.8 cm çapında yataklar kullanılmıştır. Kullanılan silindir numunelerin yüksekliği 10.16 ile 25.4 cm arasında 5.08 cm artışla değişmektedir. Toplam 188 adet lifli beton, sade beton ve harç örneği test edilmiştir.

Çalışmanın sonunda beton malzemelerin yatak mukavemetinin plastik limit analizi kullanılarak hesaplanabileceğini, fakat numunenin derinliği (H/a) büyük olduğu zaman çatlak yayılmasının da işin içine gireceğini vurgulamıştır. Bu oran yaklaşık olarak donatısız beton için 10, donatılı beton için 13'tür [25].

3.1.7. R. İnce ve E. Arıcı (Beton Küp Numunelerin Yatak Mukavemetinde Boyut Etkisi)

İnce ve Arıcı yaptıkları çalışmada boyut etkisini hesaplamak için 50, 100 ve 200 mm lik küp numuneler dökmüşlerdir. Betonun yatak dayanım mukavemeti ile bağlantılı olarak bir genel formül bulabilmek amacıyla değişken olarak sadece numunenin boyutlarını değil aynı zamanda basınç mukavemeti f_c' , maksimum agrega çapı g ve yatak alanının numune alanına oranı R de hesaba katıldı. 6 seri (54 numune) A –F arasında isimlendirilmiş ve yukarıdaki üç değişkene bağlı olarak farklı kombinasyonlarda test edilmiştir. Basınç mukavemetini hesaplamak için aynı beton örneklerinden 150 mm çapında ve 300 mm boyunda silindir numunelerde hazırlanmıştır.

A-D arasındaki örneklerde maksimum agrega çapı 8 mm, E için 16 mm ve F için 4 mm olarak kullanılmıştır. Her bir seri için kullanılan maksimum kum dane çapı 4 mm dir. C serisi hariç diğer serilerde 28 günlük basınç dayanımı 32,5 MPa olan Portland çimento kullanılmıştır. C serisinde ise yüksek mukavemetli beton üretebilmek için basınç dayanımı 42,5 MPa olan Portland çimento ile akışkanlaştırıcı beraber olarak kullanılmıştır. A serisinde ise düşük mukavemet sağlamak amacıyla kür yapılmamıştır. Yükleme 10 mm kalınlığında, R oranına bağlı olarak farklı boyutlarda düz çelik levhalar ile sabit yükleme oranında yapılmıştır. A,B, C, E ve F serileri 20×20, 40×40 ve 80×80 mm lik kare levhalarla, D serisi ise 12.5×12.5, 25×25 ve 50×50 mm plakalarla yüklenmiştir [26].

Yapılan deneyin sonuçları Tablo3.7 de verilmiştir.

Tablo 3.7 Beton küp numunelerin yatak mukavemetinde boyut etkisi deney sonuçları

Seriler	f_c' (MPa)	g(mm)	R	D(mm)	P_u (kN)			σ_N (MPa)			θ°
					1	2	3	1	2	3	
A	9.63	8	6.25	50	-	16.81	19.6	-	42.00	49.00	39
				100	50	51	58.6	31.25	31.88	36.63	46
				200	171	187.9	177.8	26.72	29.36	27.78	56
B	24.02	8	6.25	50	40.6	39.8	41.6	101.50	99.50	104.00	38
				100	146.9	133.4	139.2	91.81	83.38	87.0	44
				200	442.8	396.5	405.1	69.19	61.95	63.30	50
C	48.00	8	6.25	50	81.1	83.4	88.4	202.75	208.50	221.00	43
				100	262.3	268.8	265.5	163.94	168.0	165.94	52
				200	755	749.3	758.6	117.97	117.08	118.53	54
D	23.60	8	16.0	50	28.5	28	28.3	182.40	179.20	181.12	46
				100	93.7	93.1	94.5	149.92	148.96	151.20	49
				200	287.9	283.5	284.3	115.16	113.40	113.72	45
E	24.05	16	6.25	50	51.3	51.8	53.1	128.25	129.50	132.75	43
				100	154.7	150.4	156.3	96.69	94.00	97.69	47
				200	498.2	507.8	495	77.84	79.34	77.34	54
F	27.42	4	6.25	50	39.6	37.1	40.7	99.00	92.75	101.75	43
				100	112.4	109.1	113.4	70.25	68.19	70.88	50
				200	345.5	352.9	367.2	53.98	55.14	57.38	52

İnce ve Arıcı yaptıkları deneysel ve istatistiksel çalışmalar neticesinde maksimum Kim et al. [27] tarafından 678 silindir numune üzerinde yapılan çalışma sonucundaki verilen verilere de dayanarak maksimum agrega çapının boyut etkisinde ihmal edilebilecekleri sonucuna varmışlardır. Bu ihmal edilebilirlik sonucuna bağlı olarak beton küp numuneler için eşitlik 3.10 daki formülün kullanılabileceği kanısına varmışlardır.

$$\sigma_N = f_c' \sqrt{R} \left[\frac{3.64}{\sqrt{1 + \frac{D}{10.96}}} + 0.26 \right] \quad (3.10)$$

Yapılan alışma sonucunda kırılma anındaki nominal mukavemetin numune boyutu arttıkça azaldığını, yatak mukavemetinde maksimum agrega çapının, basınç mukavemetinde olduğu gibi pratik boyutta da ihmal edilebileceği sonucuna varmışlardır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışmada boyutları 150×150×150mm olan küp numuneler ve 150×150×600mm olan kiriş numuneler kullanılarak lif oranları ve çeşidi farklı 6 seri ve lifsiz bir seri hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler belirlenen (R) oranlarına göre yatak plakaları vasıtasıyla deneye tabi tutulmuştur. Deneyler 2.5MN luk hidrolik yük kontrollü preste yapılmıştır.

Deneylerde 10mm kalınlığında çelik levha yataklar kullanılmıştır. Sonuçların tutarlı ve deney şartlarının aynı olabilmesi için kullanılan çelik plakaların yüzeyleri temizlenmiş ve pürüzsüz hale getirilerek kullanılmasına dikkat edilmiştir. Her deneyden sonra plakalar üzerinde herhangi bir zedelenme olup olmadığına bakılmış ve varsa yenileri ile değiştirilmiştir. Yükleme esnasında yatakların numune üzerine tam merkezci olarak oturtulduktan sonra deneylere başlamaya dikkat edilmiştir.

Deneyler esnasında numunenin yatak plakası ve pres tablası ile temas eden yüzeyleri yağlanmamıştır. Normal şartlar altında düşünüldüğünde mutlaka belli bir oranda sürtünme olayı meydana gelecektir fakat deneyler aynı şartlar altında yapıldığından dolayı sürtünme faktörü dikkate alınmamıştır.

Beton üretimi sırasında laboratuvar ortamında tutulan malzemelerin, her karışımın hazırlanması için betonyer tamburuna konuşu, karıştırılması, yerleştirilmesi ve saklanması aynı sıra ve koşullarda sağlandı. Bütün karışımlar ilk önce 1,5~2 dk. kuru olarak karıştırıldı ve sonra içine süperakışkanlaştırıcı ilave edilmiş su yüzeyde kuru yer kalmayacak şekilde döküldü. Karıştırma işlemi düşey eksenli, zorlamalı betonyerde yapıldı ve daha sonra bir geniş kaba alınarak oradan kürek vasıtası ile kalıplara yerleştirildi. Kalıplara iki ve ya üç aşamada yerleştirilen betonun bir çekiç yardımıyla dıştan tokmaklanarak boşluksuz bir şekilde yerleşmesi sağlandı. Numuneler 24 saat dolmadan yerinde sulandıktan sonra 48 saat içinde kalıptan alınarak kür kutusuna yerleştirildi.

L lif katkılı betonları, C'de lifsiz betonu belirtmek suretiyle L1, L2, L3, L4, L5, L6 ve C numuneleri hazırlanmıştır. Her bir seride L1 serisi hariç 12 adet küp ve 3 adet kiriş numune hazırlanmıştır. L₁ numunesinde 9 adet küp numunesi vardır.

Üretilen 6 karışımın kodları içerdikleri lif miktarı şöyledir:

- L1:** 1 m³ lük karışımda **20** kg ZP 305 çelik lifin kullanıldığı beton
- L2:** 1 m³ lük karışımda **35** kg ZP 305 çelik lifin kullanıldığı beton
- L3:** 1 m³ lük karışımda **50** kg ZP 305 çelik lifin kullanıldığı beton
- L4:** 1 m³ lük karışımda **35** kg ZP 308 çelik lifin kullanıldığı beton
- L5:** 1 m³ lük karışımda **50** kg ZP 308 çelik lifin kullanıldığı beton
- L6:** 1 m³ lük karışımda **50** kg RC 80/60 çelik lifin kullanıldığı beton

C: 1 m³ lük karışımda çelik lifin kullanılmadığı beton

4.1. Malzemelerin Tanımlanması

4.1.1. Çimento

Çimento cinsi: CEM I 42,5N

Üretici :Elazığ Altınova Çimento San. Tic. A. Ş.

4.1.1.1 Fiziksel Özellikleri:

Tablo 4.1 Deneylerde kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikleri	Değer Aralıkları		
Özgül Yüzey (cm ² /g)	3200 - 3500	–	–
2 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	21.0 - 23.0	10.0	–
7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	40.2 - 42.0	–	–
28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	51.0 - 55.0	42.5	62.5
Priz Başlangıcı (dk)	170-180	60.00	–
Priz Sonu (dk)	200-240	–	–
Hacim Genleşmesi (Le Chatelier) (mm)	2 - 5	–	10
Beyazlık (%)	–	–	–

4.1.1.2 Kimyasal Özellikleri:

Tablo 4.2 Çalışmada Kullanılan Çimentonun Kimyasal Özellikleri

KİMYASAL ÖZELLİKLER	Değer Aralıkları	TS EN 197/1 Standard Değerleri	
		En Az (Min)	En Çok (Max)
Kızdırma Kaybı	2.50 - 3.20	–	5
Çözünmeyen Kalıntı	0.50 -1.00	–	5
Magnezyum Oksit (MgO)	2.00 -2.50	–	–
Kükürt trioksit (SO ₃)	2.20 -2.50	–	3.5
Klorür (Cl) %	0.006 - 0.008	–	0.10
Toplam Katkı Miktarı	–	–	–
Na ₂ O	0.40 - 0.50	–	–
K ₂ O	0.75 - 0.85	–	–

4.1.2. Çelik Lifler

Beton üretimi sırasında Beksa firması tarafından üretilen TS 10513 Standartlarına uygun sonu kancalı, iki ucu kıvrılmış, birbirlerine tutkalla birleştirilmiş sınıf C, tip A, soğuk çekilmiş ZP305, ZP308 VE RC 80/60 telleridir. Liflerin teknik özellikleri aşağıdaki tablo 3.10 da verilmiştir.

Tablo 4.3 Liflerin Teknik Özellikleri

Tel Tipi	Uzunluk(l) (mm)	Genişlik (d) (mm)	Narinlik oranı (l/d)	Çekme Dayanımı (MPa)
ZP 305	30	0.55	55	1100
ZP 308	30	0.75	45	1050
RC 80 / 60 BN	60	0.75	80	1050

4.1.3. Süperakışkanlaştırıcı

Sikamek 98 Süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır.

4.1.4. Agregalar

Çalışmada kullanılan malzemenin granülometrisi aşağıda Tablo 3.11 ve 3.12’de verilmiştir.

Tablo 4.4 İnce Malzeme Granülometresi

İnce Malzeme Granülometresi			
Elek No (mm)	Kalan Kümülatif (gr)	% kümülatif kalan	% Geçen
16	0	0	100
8	0	0	100
4	155.6	7.2	92.39
2	706.9	32.5	67.47
1	1103.8	50.8	49.20
0.5	1477.4	66.6	33.39
0.25	1976.8	90.9	9.03
Kap	2172.8	100	0
% Su emme: 2.1 Yoğunluk : 2.66			

Tablo 4.5 İri Malzeme Granülometresi

Orta Malzeme Granülometresi			
Elek No (mm)	Kalan Kümülatif (gr)	% kümülatif kalan	% Geçen
16	0	0	100
8	2048.4	88.5	11.42
4	2312.3	100	0
2	2312.3	100	0
1	2312.3	100	0
0.5	2312.3	100	0
0.25	2312.3	100	0
% Su emme : 2.04 Yoğunluk : 2.61			

4.2. Basınç Altındaki Numunelerin Davranışı ve Göçmenin Oluşum Şekli

Hazırlanan numuneler üzerinde basınç ve yatak dayanımı deneyleri 2.5 MN luk hidrolik yük kontrollü preste yapılmıştır. Yükleme yapılırken yükleme hızı yüzey alanına göre belirlenmiş ve 8’lik yatak plakası için 2 kN/s, 4’lük yatak plakası için 1 kN/s ve 2’lik yatak plakası için ise 0.75 kN/s, olarak uygulanmış ve maksimum yük değerleri kaydedilmiştir.

Yükleme deneyleri sonucunda yatak plakasının yük sonucu yavaş yavaş numune yüzeyinden itibaren aşağıya doğru çökmeye başladığı ve bu olaydan kısa bir süre sonra numunenin yan yüzeylerinde hafif dökülmeler ve ince çatlaklar oluşmaya başladığı gözlenmiştir.

Bu yükleme sırasında görüldüğü üzere yükleme esnasında yükün etkisiyle numunenin yatak plakası altında kalan yüklem alanı aşağıya doğru çökmeye başladıktan sonra yükün artmasıyla beraber yüklem alanının kenar ve köşelerinden numune kenarlarına doğru ince çatlaklar meydana gelmiş ve maksimum yüke ulaşılmasından hemen sonra numune çatlaklardan ayrılarak parçalanmıştır.(Şekil 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6).

Numunelerin göçme esnasında çatlakların oluşumuna dikkat edildiğinde iki çeşit çatlak oluşumu dikkat çekmektedir. Yatak plakasının köşelerinden numune köşelerine doğru ilerleyen ve kenarlara dik yönde oluşan çatlaklar görülmektedir. Piramit formasyonu oluşumunda ve numunenin göçmesinde asıl etkili olan ana çatlaklar köşeler yönündeki diyagonal çatlaklardır. Kenarlara dik olan çatlaklar ana çatlaklar olmamasına rağmen göçmede etkileri vardır.

Çatlakların oluşmaya başlamasıyla beraber yüklemeye devam edildiğinde, ters piramit formasyonundaki kamanın oluşumundan sonra göçen blokların yük taşıma kapasitesi de yavaş yavaş azalmıştır. Bazen yüklem plakası altına büyük agrega ve ya çelik tel denk geldiğinde istenildiği gibi temiz piramit formasyonu oluşmadıysa genel olarak tam oluşum sağlanmıştır. Yapılan deneyler sonucundaki numuneler ve göçme tarzları şekil (4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6) da görülmektedir.



Şekil 4.1 L1 deney numunelerinin göçme şekilleri



Şekil 4.2 L2 deney numunelerinin göçme şekilleri



Şekil 4.3 L3 deney numunelerinin göçme şekilleri



Şekil 4.4 L4 deney numunelerinin göçme şekilleri



Şekil 4.5 L5 deney numunelerinin göçme şekilleri



Şekil 4.6 L6 deney numunelerinin göçme şekilleri

4.3 Deney Sonuçları Ve Grafikler

Tablo 4.6 Deney sonuçları

Seri	Lif Miktarı (kg/m ³)	Narinlik oranı	a (cm)	R	Basınç (kN)			Eğilme-Çekme (MPa)		
					P1	P2	P3	P1	P2	P3
L1	20	55	150	1	872	850	-	26.8	30.6	31.9
			80	3.52	398	379	-			
			40	14.06	215	215	-			
			20	56.25	107	109	-			
L2	35	55	150	1	928	884	923	33	33.5	33.2
			80	3.52	305	362	355			
			40	14.06	225	241	207			
			20	56.25	123	106	120			
L3	50	55	150	1	990	1010	962	41.7	38.1	38.2
			80	3.52	350	386	363			
			40	14.06	251	210	202			
			20	56.25	116	116	123			
L4	35	45	150	1	850	784	974	29	28.2	32.4
			80	3.52	291	279	389			
			40	14.06	159	222	201			
			20	56.25	110	109	116			
L5	50	45	150	1	938	984	962	41.3	34.2	32.7
			80	3.52	437	384	387			
			40	14.06	239	223	207			
			20	56.25	132	104	111			
L6	50	80	150	1	1032	956	932	44.3	59.6	34.9
			80	3.52	443	409	302			
			40	14.06	248	197	206			
			20	56.25	114	115	135			
C	-	-	150	1	1172	1151	1060	41.2	28	41.6
			80	3.52	251	152	530			
			40	14.06	230	245	260			
			20	56.25	142	148	146			

Tablo 4.7 Deneylere ait f_b , f_c ve f_b/f_c değerleri

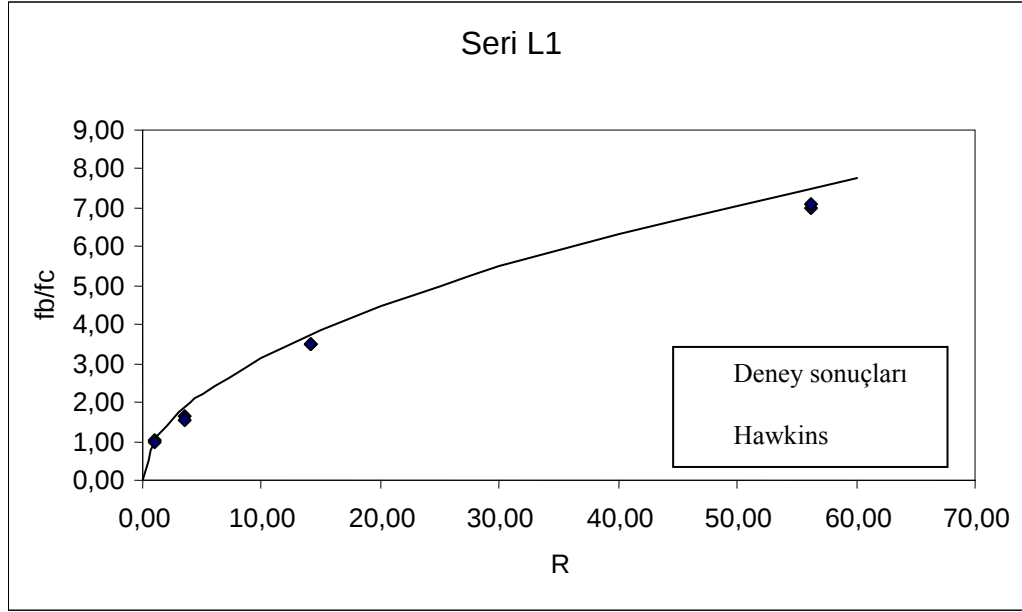
Seri	R	f_b (Mpa)			f_{c-c} (MPa)	f_b/f_c		
L1 $f_c=38.27$ MPa	1	38.76	37.78	-	26.8 30.6 31.9	1.01	0.99	-
	3.52	62.19	59.22	-		1.63	1.55	-
	14.06	134.38	134.38	-		3.51	3.51	-
	56.25	267.50	272.50	-		6.99	7.12	-
L2 $f_c=40.52$	1	41.24	39.29	41.02	33 33.5 33.2	1.02	0.97	1.01
	3.52	47.66	56.56	55.47		1.18	1.40	1.37
	14.06	140.63	150.63	129.38		3.47	3.72	3.19
	56.25	307.50	265	300		7.59	6.54	7.40
L3 $f_c=43.88$	1	44.00	44.89	42.76	41.7 38.1 38.2	1.00	1.02	0.97
	3.52	54.69	60.31	56.72		1.25	1.37	1.29
	14.06	156.88	131.25	126.25		3.57	2.99	2.88
	56.25	290	290	307.50		6.61	6.61	7.01
L4 $f_c=38.64$	1	37.78	34.84	43.29	29 28.2 32.4	0.98	0.90	1.12
	3.52	45.47	43.59	60.78		1.18	1.13	1.57
	14.06	99.38	138.75	125.63		2.57	3.59	3.25
	56.25	275	272.50	290		7.12	7.05	7.51
L5 $f_c=42.73$	1	41.49	43.73	42.76	41.3 34.2 32.7	0.98	1.02	1.00
	3.52	68.28	60	60.47		1.60	1.40	1.42
	14.06	149.38	139.38	129.38		3.50	3.26	3.03
	56.25	330	260	277.50		7.72	6.09	6.49
L6 $f_c=43.26$	1	45.87	42.49	41.42	44.3 59.6 34.9	1.06	0.98	0.96
	3.52	69.22	63.91	47.19		1.60	1.48	1.09
	14.06	155	123.13	128.75		3.58	2.85	2.98
	56.25	285	287.5	337.5		6.59	6.65	7.80
C $f_c=49.19$	1	51.11	50.22	46.22	41.2 41.6	1.04	1.02	0.94
	3.52	39.22	23.75	82.81		0.80	0.48	1.68
	14.06	143.75	153.13	162.5		2.92	3.11	3.30
	56.25	355	370	365		7.22	7.52	7.42



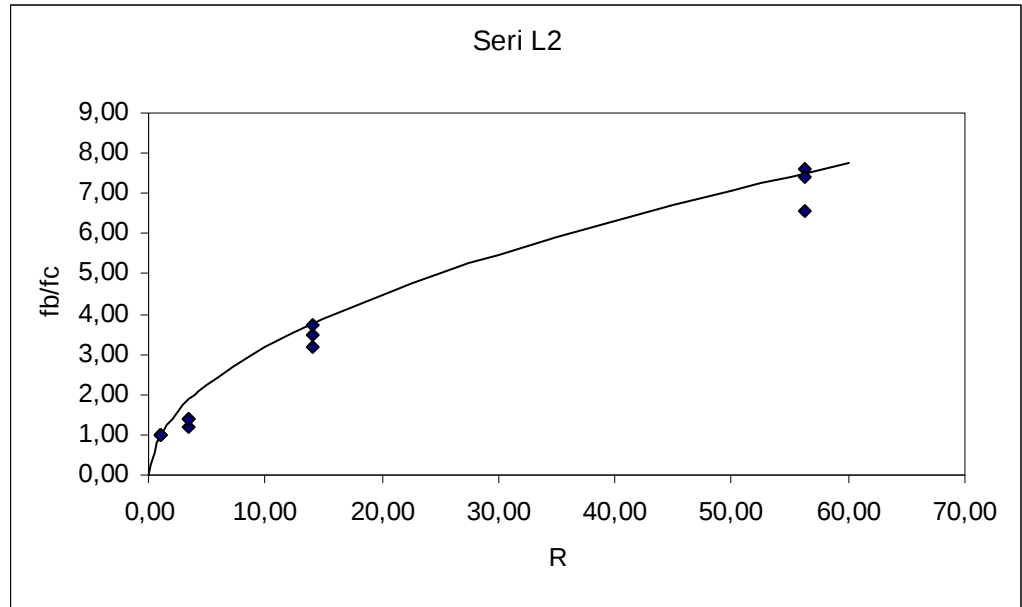
Şekil 4.7 Lifli ve lifsiz betonlar üzerinde yapılan dört noktalı eğilme-çekme deneyi



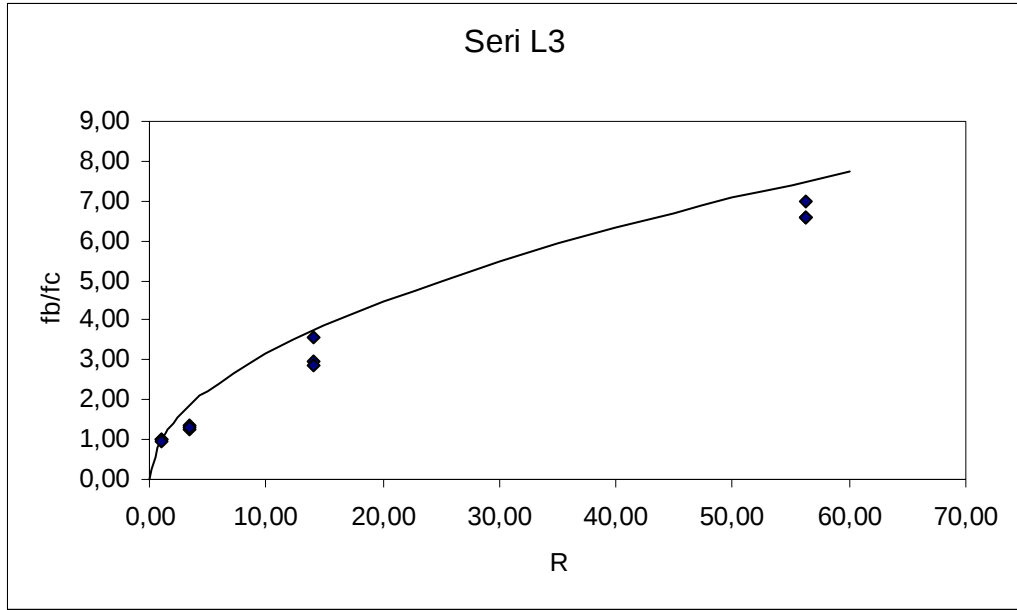
Şekil 4.8 Eğilme-çekme deneyinde numunenin kırılışı



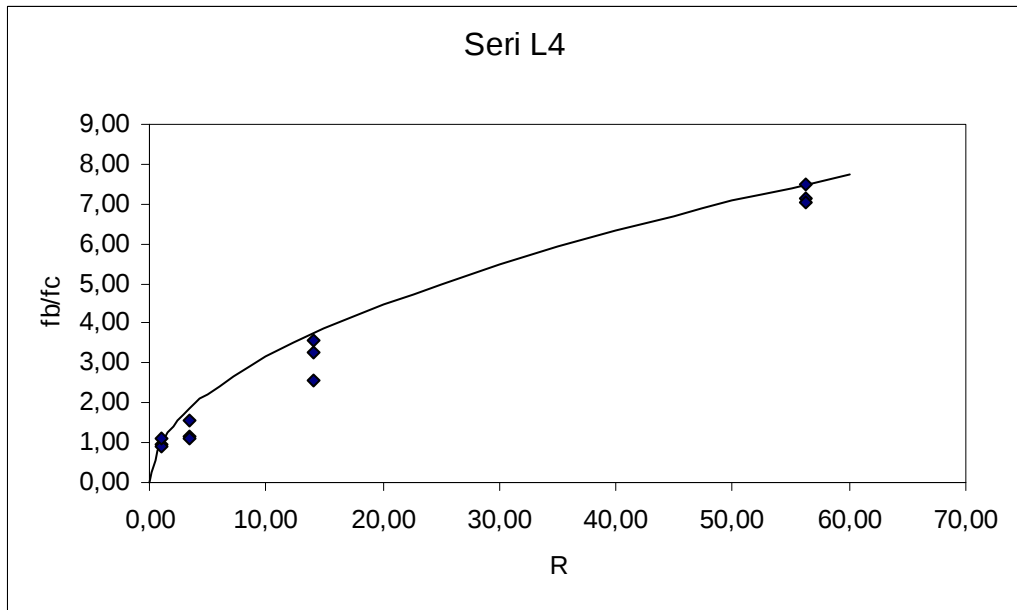
Şekil 4.9 L1 serisine ait deneysel sonuçlar ve Hawkins'in yaklaşımı



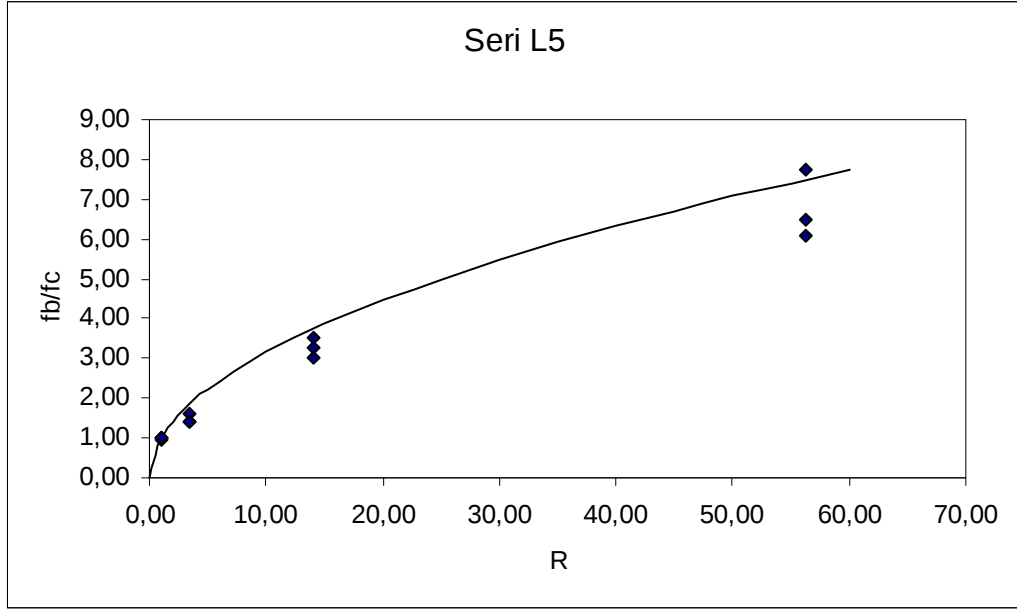
Şekil 4.10 L2 serisine ait deneysel sonuçlar ve Hawkins'in yaklaşımı



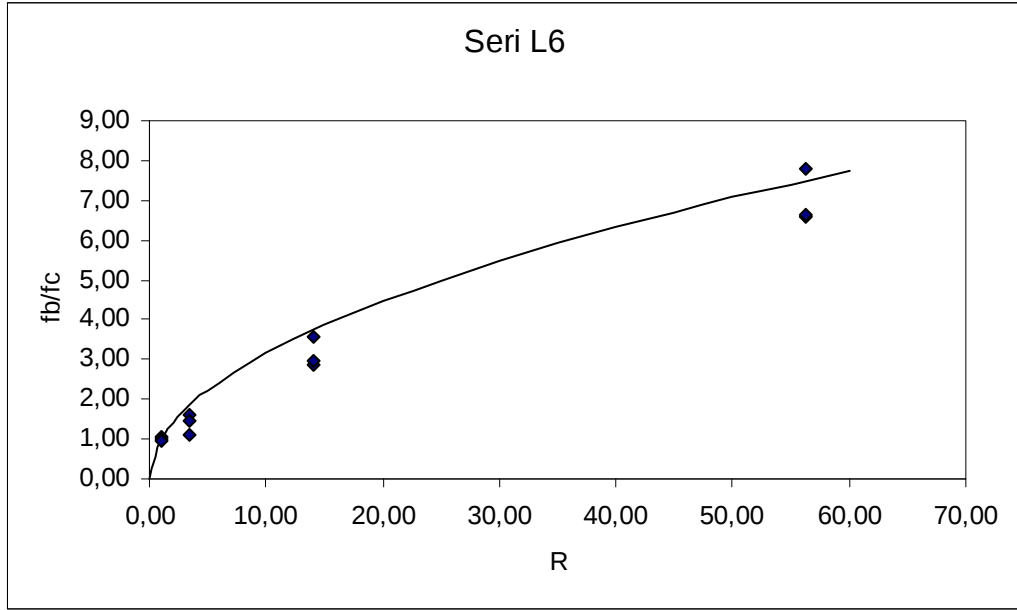
Şekil 4.11 L3 serisine ait deneysel sonuçlar ve Hawkins'ın yaklaşımı



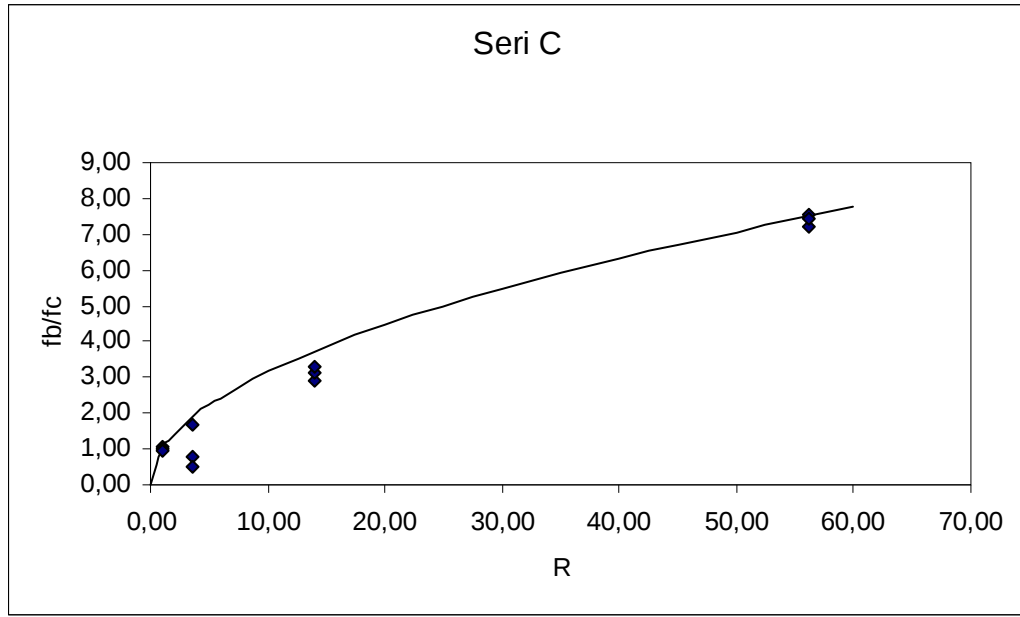
Şekil 4.12 L4 serisine ait deneysel sonuçlar ve Hawkins'ın yaklaşımı



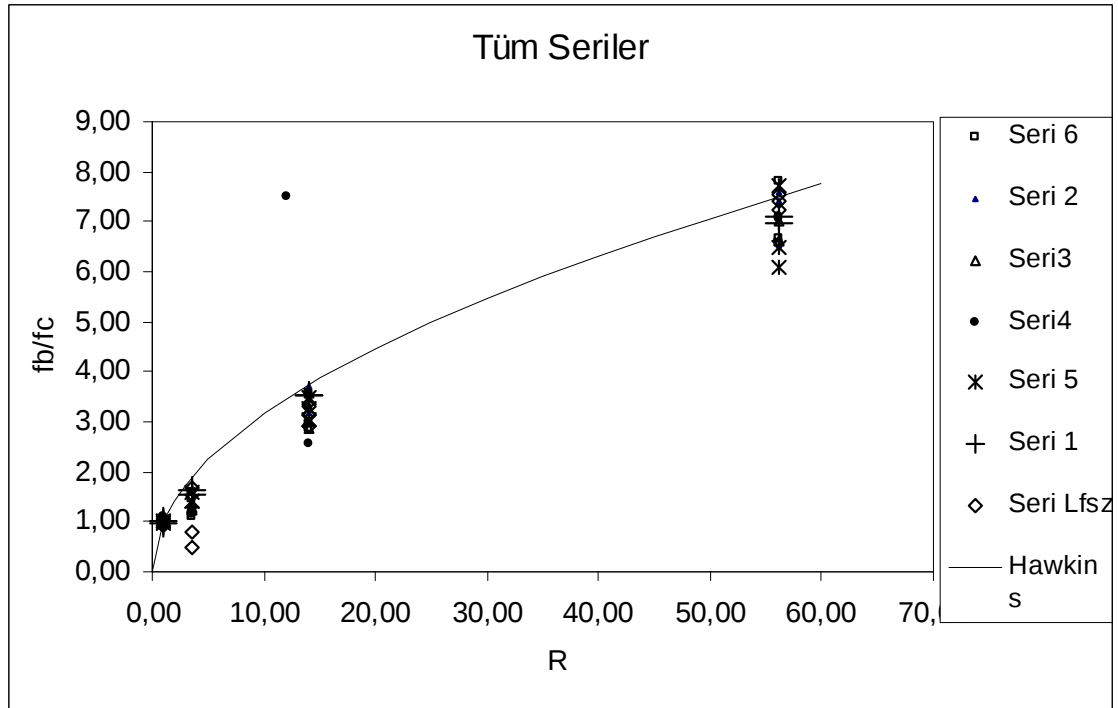
Şekil 4.13 L5 serisine ait deneysel sonuçlar ve Hawkins'ın yaklaşımı



Şekil 4.14 L6 serisine ait deneysel sonuçlar ve Hawkins'ın yaklaşımı



Şekil 4.15 C serisine ait deneysel sonuçlar ve Hawkins'in yaklaşımı



Şekil 2

Şekil 4.16 Tüm serilere serisine ait deneysel sonuçlar ve Hawkins'in yaklaşımı

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada lif oranları ve çeşitleri bakımından farklılık gösteren 6 seri üzerinde deneyler yapılmıştır. Her bir seride $150 \times 150 \times 150$ mm küp numuneler ile $150 \times 150 \times 600$ mm kiriş numuneler dökülmüştür. Dökülen küp numuneler yatak alanı 150mm, 80mm, 40 mm ve 20mm olan yataklar ile test edilmiştir. 150mm yatak alanı ile betonun basınç dayanımı ölçülmüştür.

Yapılan deneyler sonucunda, liflerin bölgesel yüklü betonlarda yatak mukavemetine etkisi yok denecek kadar az olduğu gözlenmiş, ancak betonun üst yüzeyindeki çatlakların, lifsiz betonunkinden daha az olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda lifsiz betona göre çatlak ilerleme hızı da yavaşlamıştır.

$150 \times 150 \times 600$ mm lik kiriş numuneler üzerinde yapılan 4 noktalı eğilme deneyleri sonucunda ise farklı sonuçlar elde edilmiştir. ZP 305 ve ZP 308 çelik liflerin kullanıldığı numunelerde lif miktarı arttıkça eğilme mukavemetinde kendi aralarında %10-20 oranında bir artış meydana gelmekle beraber, lifsiz betona göre bir artış sağlanamamıştır. Lifsiz betonun eğilme mukavemetine göre en fazla artış RC 80/60 liflerin kullanıldığı seride %20 oranında olmuştur.

Eğilme mukavemetlerinden elde edilen bu sonuçlara bakarak: karıştırma ve yerleştirme işlemlerinde kullanılan yöntemin liflerin dağılımı açısından uygun olmadığı ve düşüşe sebep olduğunu göstermektedir.

Eğilme mukavemeti deneylerinde normal betona göre düşük sonuçlar elde edilmesine rağmen, ilk çatlamadan sonra liflerin betonun bir anda kırılmasını engellediği ve uzun süre dayandığı gözlemlenmiştir. Bu gözlem sonucunda, yük-deplasman eğrisinin altındaki alanın, yani betonun tokluğunun normal betona göre daha fazla olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

Yapılan çalışmadan elde edilen deneysel sonuçlar, Hawkins'in yaklaşımı ile grafiksel olarak karşılaştırılmış ve lif katkılı betonlara ait yatak mukavemeti değerleri Hawkins'in eğrisi ile aynı sonuçları vermiştir. Betonun basınç mukavemetine fazla etkisi olmayan çelik liflerin aynı zamanda betonun yatak mukavemetini de etkilemediği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Bildik, A. T. , 1988, **Normal Dayanımlı Beton Karışımların Yapay Sinir Ağları İle Hesaplanması**, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
2. <http://Kahuna.sdsu.edu/~sfrc/MJGthesis.pdf>
3. U. S Army Corps Engineers, 1994, **Standart Practice For Concrete For Civil Works Structures**, Washington DC 20314- 1000, 10-9- 10-10
4. Hoff, G. C. , **Fiber Reinforced Concrete International Symposim**, 1984, American Concrete Institute, Detroit, 411-440.
5. http://www.mpa.unistuttgart.de/publikationen/otto_graf_journal/ogj_1996/beitrag_weiler.pdf
6. Mindess, S. , Young, J. F. ,1981, **Concrete**, Prentice-Hall, inc, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 628-643.
7. <http://vbt.bme.hu/phdsymp/2ndphd/proceedings/materschlg.pdf>
8. Alkan, G. ,2004, **Polipropilen Lifli Betonların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi**, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 9-10.
9. <http://www.wtec.org/loyola/compce/02-02.htm>.
10. <http://www.arcprecast.org>
11. <http://www.retailsource.com/information/fiber-re/fiber-re.html>
12. TS 10514, 1992, **Beton-Çelik Lif Takviyeli; Çelik Teller: Betona Karıştırma ve Kontrol Kuralları**
13. A State of Art Report (1989-1994), **High Performance Concretes**
14. State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete Reported by ACI Committe 544.
15. Turker, S., Balanlı, A., 1992, **Yapı Malzemeleri**, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
16. T.C Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, MLZ-878, **Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton**, 1994, Ankara.
17. Shah, B., 1995, **Fiber Reinforced Composites**, American Concrete Institute, Detroit, USA.
18. Hawkins, N. M., (1968), **The Bearing Strength of Concrete Loaded Through Rigid Plates**, Magazine of Concrete Research, 20, 31-40.
19. ACI-318 (1989), **Building Code Requirements for Reinforced Concrete**, Detroit.
20. Ersoy, U., (2000), **Reinforced Concrete**, METU, Ankara,.
21. Tung, A. and Donald, L. B., (1960), **Bearing Capacity of Concrete Bloks**, Journal of the American Concrete Institute, 31, 869-877.

22. Bauschinger, J., (1976), **Versuche mit Qudern aus Naturstein**, Mechanischen und technischen labororium der kge, Tech. Hochschule, München, Germany, Vol: 4, P: 13.
23. Meyerhof, G., (1953), **The Bearing Capacity of Concrete and Rock**, Magazine of concrete Research, 4, 107-116.
24. [Niyogi, S. K., (1973), **Bearing Strength of Concrete – Geometric Variations**, Journal of the Structural Division, 99, 1471-1490.
25. Chen, W. F., and Carson, J. L., **Bearing Capacity of Fiber Reinforced Concrete**, Journal of the American Concrete Institute, SP 44-12, 209-219.
26. Ince, R. ve Arıcı, E., (2004), **Size Effect in Bearing Strength of Concrete Cubes**, Journal of the Construction and Building Materials 18, 603-609.
27. Jin-Keun, Kim., Seong-Tae, Yi., Chan-Kyu, Park., Seok-Hong, Eo., (1999), **Size Effect on Compressive Strength of Plain and Spirally Reinforced Concrete Cylinders**, ACI Structral Journal 96-S10, 88-94
28. Arıcı, E., (2003), **Tekil Temellerin Yatak Mukavemetinde Boyut Etkisinin İncelenmesi**, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
29. Bayasi, Z., Peterson, G. (1989), in Swamy, R.N., Barr, B. (Eds), **Fiber Reinforced Cements and Concretes: Recent Developments**, Elsevier Applied Science, London, .

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Elazığ'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Elazığ'da tamamladıktan sonra 1998 yılında Gaziantep Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümüne girdi ve 2003 yılı Eylül ayında mezun oldu. Aynı yıl Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği bölümünde Yüksek Lisans eğitime başlamış ve 2006 Kasım ayında eğitim sürecini dondurarak askerlik görevini tamamlamıştır. 2007 Temmuz ayında TCK 8. Bölge Müdürlüğü'ne atama kararı çıkmış ve göreve başlamak için beklemektedir.