

**T.C.
ADİYAMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÇELİK VE POLİPROPİLEN LİF İLAVESİNİN BETONUN
DAVRANIŞINA ETKİSİ: STATİK VE DİNAMİK
DEĞERLENDİRME**

**Fatih Ali ÖNCEL
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

ADİYAMAN, 2021

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇELİK VE POLİPROPİLEN LİF İLAVESİNİN BETONUN DAVRANIŞINA ETKİSİ: STATİK VE DİNAMİK DEĞERLENDİRME

Fatih Ali ÖNCEL

Adıyaman Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Mehmet Fatih Şahan

Yıl : 2021, Sayfa sayısı: 81

Jüri : Doç. Dr. Yaşar AYZ

Doç. Dr. Mehmet Fatih Şahan

Dr. Öğr. Üyesi İsmail ÜNSAL

Bu çalışmada lif takviyeli betonlarda lif oranının betonun darbe davranışına etkisi araştırılmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda taze beton karışımına çelik lif ve polipropilen lif ilave edilmiştir. Taze beton karışımına beton hacminin %0.25, %0.50 ve %0.75'i (19.5, 39, 58.5 kg/m³) oranında üç farklı çelik lif karışımı ve üç farklı polipropilen lif oranında (2, 4, 6 kg/m³) beton karışımına ilave edilerek karışımlar elde edilmiştir. Üçü çelik lif, üçü polipropilen lif ve biri yalın beton numunesi olmak üzere yedi farklı karışımlı numuneler hazırlanmıştır. Tüm beton karışımlarda CEM II 42.5R Portland çimentosu kullanılmış ve çimento dozajı olarak 350 kg/m³ alınmıştır. Beton karışımlarına çimento dozajının %4'ü kadar akışkanlaştırıcı ilave edilmiştir. Deneyler 100x100x100 mm küp ve 100x100x500 mm kiriş numuneler üzerinde yapılmıştır. Çalışma kapsamında betonlar üzerinde basınç dayanımı deneyi, üç nokta yükleme deneyi, aletli ağırlık düşürme deneyi, ultrases geçiş hızı testi yapılmıştır. Ayrıca üç nokta yükleme deneyi ve aletli ağırlık düşürme deneyleri sonrasında oluşan çatlaklar el mikroskobu yardımıyla ölçülmüştür. Lif ilavesi ile yalın betonlara göre basınç dayanımlarında artışlar gözlenmiştir. Ayrıca lif ilavesinin betonların eğilmede çekme dayanımlarında artışı sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca çelik lif ve polipropilen lif ilavesinin betonlarda çatlak genişliğini önemli ölçüde azalttığı görülmüştür. Aletli ağırlık düşürme deneyinde ise çelik lif ve polipropilen lif ilaveli betonların ani kırılmaya karşı daha dirençli olduğu görülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda çelik lifin betonun statik ve dinamik özelliklerine olumlu etkilerinin olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Çelik Lif Takviyeli Beton; Polipropilen Takviyeli Beton; Aletli Ağırlık Düşürme Deneyi; Darbe Davranışı

ABSTRACT

MSc Thesis

EFFECT OF STEEL AND POLYPROPYLENE FIBER ADDITION ON CONCRETE BEHAVIOR: STATIC AND DYNAMIC EVALUATION

Fatih Ali ÖNCEL

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

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Mehmet Fatih ŞAHAN
Year : 2021 , Number of pages: 81

Jury : Assoc. Prof. Dr. Yaşar AYAZ
Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fatih ŞAHAN
Asist Prof. Dr. İsmail ÜNSAL

In this study, the effect of fiber ratio on the impact behavior of concrete in fiber reinforced concrete was investigated. For these purposes, steel fiber and polypropylene fiber were added to the concrete mixture. By adding three different steel fiber mixtures at the rate of 0.25%, 0.50% and 0.75% (19.5, 39, 58.5 kg / m³) of the concrete volume to the concrete mixture and three different macro fiber rates (2, 4, 6 kg / m³) into the concrete mixture, mixtures were obtained. Seven different mixed samples were prepared, three of which were steel fiber, three of which were polypropylene fiber, and one of which was plain concrete. CEM II 42.5R Portland cement was used in all concrete mixes and the cement dosage was taken as 350 kg / m³. Plasticizer is added to the concrete mixes as much as %4 of the cement dosage. The experiments were carried out on 100x100x100 mm cube and 100x100x500 mm beam specimens. Within the scope of the study, compressive strength test, three point loading test, instrument weight drop test, ultrasound transmission velocity test were carried out on concretes. In addition, the cracks that occurred after the three-point loading test and instrument weight drop tests were measured with the help of a hand microscope. With the addition of fiber, increases in compressive strength were observed compared to lean concretes. In addition, it has been determined that the addition of fiber provides an increase in the bending tensile strength of concrete. In addition, it has been observed that the addition of steel fiber and macro fiber significantly reduces crack width in concretes. In the instrumented weight reduction test, it was observed that the concretes with the addition of steel fiber and macro fiber were more resistant to sudden fracture. As a result of the study, it has been observed that steel fiber has positive effects on the static and dynamic properties of concrete.

Key Words: Steel Fiber Reinforced Concrete; Polypropylene Fiber Reinforced Concrete; Instrumental Weight Drop Test; Impact Behavior

BEYAN

“Çelik ve Polipropilen Lif İlavesinin Betonun Davranışına Etkisi: Statik ve Dinamik Değerlendirme” başlıklı tezimde çalışmaların tamamen akademik kurallara ve etik değerlere sadık kalınarak yürütüldüğünü ve yazımda yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ayrıca alıntılardan bilimsel etiğe uygun atıf yaparak yararlanmış olduğumu beyan ederim.

Fatih Ali ÖNCEL

TEŞEKKÜR

Bu tezi hazırlamamda her türlü maddi manevi desteğini esirgemeyen saygıdeğer Doç. Dr. Mehmet Fatih ŞAHAN hocama teşekkür ederim.

Beton numunelerini hazırlamada yardımcı olan Ali Osman YAVUZ'a teşekkür ederim. Çalışma kapsamında kullanılan liflerin temininde destek olan Atlas Yapı'ya ve akışkanlaştırıcı temininde destek olan Sika Yapı A.Ş.'ye teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca beni daima destekleyen anneme ve her zaman yanımda olduğunu hissettiğim rahmetli babama teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmamda beni destekleyen sevgili yol arkadaşım Reyhan'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
BEYAN.....	III
TEŞEKKÜR.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
RESİMLER DİZİNİ.....	IX
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	X
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
3. BETONA İLAVE EDİLEN LİFLER.....	8
3.1. Lifler Hakkında Genel Bilgiler	8
3.2. Bazalt Lifler	10
3.3. Polimer Lifler	11
3.4. Cam Lifler	14
3.5. Karbon Lifler.....	15
3.6. Çelik Lifler	17
4. ÇELİK LİF	19
4.1. Betonda, Çelik Lif Kullanımının Avantajları.....	21
4.2. Çelik Liflerin Kullanım Alanları.....	21
5. DARBE TEST METOTLARI.....	23
5.1. Ağırlık Düşürme Test Sistemleri	26
6. MATERYAL VE YÖNTEM	30
6.1. Çimento	31
6.2. Karışım Suyu.....	32
6.3. Agregası	32
6.4. Çelik Lif	34
6.5. Polipropilen Lif	35
6.6. Akışkanlaştırıcı	36
6.7. Mikser	37
6.8. Numuneler.....	38
6.9. Slump	38
6.10. Basınç Test Cihazı.....	39
6.11. Üç Nokta Yükleme Test Cihazı	39
6.12. El Tipi Mikroskop	40
6.13. Aletli Ağırlık Düşürme Test Cihazı	41
6.14. Ultrases Test Cihazı	43
6.15. Beton Karışımlarının Hazırlanması.....	44
6.16. Beton Numunelerinin Hazırlanması.....	47
7. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	55
7.1. Basınç Dayanım Test Sonuçları	55
7.2. Ultrases Geçiş Hız Sonuçları	58

7.3. Üç Nokta Yükleme Deney Sonuçları.....	59
7.4. Aletli Ağırlık Düşürme Sonuçları	62
7.5. Darbe Sonrası Oluşan Çatlak Genişlikleri	68
8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	74
KAYNAKLAR	77
KİŞİSEL BİLGİLER.....	81



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Yapay ve doğal lif çeşitleri	9
Çizelge 3.2 Cinsleri ve mekanik özellikleri	10
Çizelge 3.3 Polimer liflerin fiziksel özellikleri	12
Çizelge 3.4 Cam türleri ve özellikleri	15
Çizelge 6.1 Karışımda kullanılan çelik lifin özellikleri	35
Çizelge 6.2 Karışımda kullanılan polipropilen lifin özellikleri	36
Çizelge 6.3 Ultrases geçiş hızının beton kalitesiyle olan ilişkisi	44
Çizelge 6.4 Karışımda kullanılan agregaların özgül ağırlığı	45
Çizelge 6.5 Karışımda kullanılan agregaların su emme oranları	45
Çizelge 6.6 Karışımda kullanılan agregaların doğal nem oranları.....	45
Çizelge 6.7 Karışımda kullanılan agregaların hacimce oranları	45
Çizelge 6.8 1 m ³ betondaki bileşenlerin miktarı	46
Çizelge 6.9 1 m ³ beton karışımı için lif miktarı	47
Çizelge 7.1 Karışımların slump değerleri	55
Çizelge 7.2 Çelik lifli betonların basınç dayanımı	55
Çizelge 7.3 Polipropilen lifli betonların basınç dayanımı.....	56
Çizelge 7.4 Çelik lifli betonların eğilmede çekme dayanımı.....	59
Çizelge 7.5 Polipropilen lifli betonların eğilmede çekme dayanımı.....	60

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Bazalt elyaf	11
Şekil 3.2 Bazalt ip, lif.....	11
Şekil 3.3 Bazalt çubuklar	11
Şekil 3.4 Polipropilen elyaf.....	12
Şekil 3.5 Polipropilen lif	13
Şekil 3.6 Kırpılmış cam elyafı	14
Şekil 3.7 Makara cam lif	14
Şekil 3.8 Karbon liften üretilmiş fitil	16
Şekil 3.9 Karbon liften kırılarak elde edilmiş elyaf.....	16
Şekil 3.10 Liflerin gerilme kuvvetlerini bir köprü gibi aktarması	17
Şekil 3.11 Lifli betonun tipik gerilme şekil değiştirme diyagramı	18
Şekil 4.1 Düz, pürüzsüz yüzeyli lifler.....	19
Şekil 4.2 Üzerinde girintiler (çentikler) açılmış lifler.....	20
Şekil 4.3 Uzunluğu boyunca dalgalı (kırımlı) lifler	20
Şekil 4.4 Ay biçimi dalgalı lifler.....	20
Şekil 4.5 İki ucu kıvrılmış lifler	20
Şekil 4.6 Bir ucu kıvrılmış lifler	20
Şekil 5.1 (a) Charpy darbe test sistemi, (b) Izod darbe test sistemi	23
Şekil 5.2 Serbest düşen top testi.....	24
Şekil 5.3 (a) Hava tabancası darbe test sistemi, (b) Split-Hopkinson basınçlı çubuk (SHPB) test sistemi.....	22
Şekil 5.4 Gerilme enerjisi darbe test (SEITS).....	22
Şekil 5.5 Aletli ağırlık düşürme test cihazının şematik bir resmi	27
Şekil 6.1 Beton karışımlarının akış şeması	30
Şekil 6.2 Deneylerin akış şeması	31
Şekil 6.3 Elek analiz grafiği	33
Şekil 7.1 Çelik lifli betonların ortalama basınç dayanımı.....	57
Şekil 7.2 Polipropilen lifli betonların ortalama basınç dayanımı.....	57
Şekil 7.3 Çelik lifli betonların ortalama ultrases geçiş hızları	58
Şekil 7.4 Polipropilen lifli betonların ortalama ultrases geçiş hızları	58
Şekil 7.5 Çelik lifli betonların ortalama eğilmede çekme dayanımı.....	60
Şekil 7.6 Polipropilen lifli betonların ortalama eğilmede çekme dayanımı.....	61
Şekil 7.7 Çelik lifli kiriş numunelerinin ortalama kuvvet-zaman grafiği	63
Şekil 7.8 Çelik lifli kiriş numunelerinin ortalama enerji-zaman grafiği	64
Şekil 7.9 Polipropilen lifli kiriş numunelerinin ortalama kuvvet-zaman grafiği	64
Şekil 7.10 Polipropilen lifli kiriş numunelerinin ortalama enerji-zaman grafiği	65
Şekil 7.11 Çelik lifli küp numunelerinin ortalama kuvvet-zaman grafiği.....	66
Şekil 7.12 Çelik lifli küp numunelerinin ortalama enerji-zaman grafiği	67
Şekil 7.13 Polipropilen lifli küp numunelerinin ortalama kuvvet-zaman grafiği	67
Şekil 7.14 Polipropilen lifli küp numunelerinin ortalama enerji-zaman grafiği.....	68
Şekil 7.15 Çelik lifli kiriş numunelerinin ortalama çatlak genişliği	69
Şekil 7.16 Polipropilen lifli kiriş numunelerinin ortalama çatlak genişliği	71
Şekil 7.17 Çelik lifli küp numunelerinin ortalama çatlak genişliği	72
Şekil 7.18 Polipropilen lifli küp numunelerinin ortalama çatlak genişliği	72

RESİMLER DİZİNİ

Resim 5.1 Deneyde kullanılan ağırlık düşürme test cihazı	28
Resim 6.1 Beton karışımında kullanılan çimento	32
Resim 6.2 İnce agrega (kum)	33
Resim 6.3 Orta agrega kırmataş	34
Resim 6.4 İri agrega kırmataş	34
Resim 6.5 Karışımında kullanılan çelik lif.....	35
Resim 6.6 Karışımında kullanılan polipropilen lif.....	36
Resim 6.7 Karışımında kullanılan akışkanlaştırıcı.....	37
Resim 6.8 Pan tipi mikser	38
Resim 6.9 Basınç test cihazı	39
Resim 6.10 Üç noktada yükleme cihazı	40
Resim 6.11 El tipi mikroskop	41
Resim 6.12 Aletli ağırlık düşürme test cihazı	42
Resim 6.13 Ultrases geçiş hız test cihazı	43
Resim 6.14 Kalıpların temizlenmesi	48
Resim 6.15 Kalıpların yağlanması	48
Resim 6.16 Beton karıştırma.....	49
Resim 6.17 Polipropilen lif ilaveli beton karışımı	49
Resim 6.18 Çelik lif ilaveli beton karışımı	50
Resim 6.19 Slump deneyi	50
Resim 6.20 Kiriş numunenin vibrasyon masasında sıkıştırılması	51
Resim 6.21 Beton numuneleri.....	51
Resim 6.22 Numunelerin 28 gün kür işlemi	52
Resim 6.23 Beton kiriş numuneleri.....	52
Resim 6.24 Küresel uç ile küp numuneye aletli ağırlık düşürme	53
Resim 6.25 Çekiç uç ile kiriş numuneye aletli ağırlık düşürme	54
Resim 7.1 Polipropilen lif ilaveli ve kontrol, kiriş numunesinin üç noktada yükleme deneyi sonrasındaki durumu	61
Resim 7.2 Çelik lif ilaveli ve kontrol, kiriş numunesinin üç noktada yükleme deneyi sonrasındaki durumu	62
Resim 7.3 Polipropilen lif ilaveli ve kontrol, kiriş numunesinin aletli ağırlık düşürme deneyi sonrasındaki durumu	70
Resim 7.4 Çelik lif ilaveli ve kontrol, kiriş numunesinin aletli ağırlık düşürme deneyi sonrasındaki durumu	70
Resim 7.5 Polipropilen lif ilaveli ve kontrol, küp numunesinin aletli ağırlık düşürme deneyi sonrasındaki durumu	71
Resim 7.6 Çelik lif ilaveli ve kontrol, küp numunesinin aletli ağırlık düşürme deneyi sonrasındaki durumu	73

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Basınç uygulanan yüzey alanı
b	: Genişlik
d	: Derinlik
E	: Enerji
Ed	: Dinamik elastisite modülü
l	: Ölçü boyu
J	: Enerji birimi
L	: Mesnet silindirleri arasındaki açıklık
MPa	: Megapaskal
N	: Betonun birim ağırlığı
P	: Kırılma anındaki yük
T	: Geçiş süresi
U	: Darbe enerjisi
V	: Ultrases geçiş hızı
M	: Poisson oranı
ms	: Milisaniye
σ basınç	: Basınç dayanımı
σ eğilme	: Eğilmede çekme dayanımı
l	: Ölçü boyu

Kısaltmalar

ASTM	: American Society for Testing and Materials
ACI	: American Concrete Institute
C	: Beton sınıfı
Cg	: Karbon elyaf-Cam elyaf / epoksi
Ç	: Çimento
K	: Kum
KT I	: Kırmataş I
KT II	: Kırmataş II
S	: Su
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu

1. GİRİŞ

İnsanoğlu varoluşundan bugüne kadar ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla çeşitli yapılara ihtiyaç duymuştur. İnsanoğlunun serüveni küçük mağaralarda başlayıp daha büyük mağaralara, sonrasında gelişmiş taşlarla yapılmış yapılara, daha sonrasında toprak yapılara ve nihai olarak günümüz yapılarına kadar gelişmiştir. İnsanoğlunun sadece ihtiyaçları artıkça gerekli olan yapıları da geliştirmek zorunda kalmıştır.

Günümüzde inşaat yapı malzemelerinin başında beton gelmektedir. Beton: su, çimento ve agregaların belirli oranlarda karışımından elde edilen kompozit bir malzemedir. Beton, inşaat mühendisliğinin ekonomik, güvenlik ve estetik olma felsefesini taşıdığı için en yaygın olarak kullanılan yapı malzemesidir. Betonun çok avantajlı yönleri olsa da dezavantajlı yönleri de bulunmaktadır. Zaman içerisinde birçok katkı malzemeler ve lifler ile betonun çeşitli özellikleri geliştirilmeye çalışılmıştır.

Betonun çekme mukavemeti basınç mukavemetinin %9-10'u civarındadır. Buradan da anlaşılabileceği üzere beton gevrek bir malzemedir. Betonun basınç dayanımı yüksek olsa dahi gevrek olması enerji yutma (tokluk) kapasitesinin düşük olduğu anlamına gelmektedir. Beton ani yüke maruz kaldığında gevrek bir kırılma oluşturacaktır. Betonun çekme mukavemetini geliştirmek amacıyla, çeşitli çelik lifler veya sentetik lifler taze beton karışımına ilave edilmektedir. Taze beton karışımı içerisine eklenen lifler, beton içerisinde oluşturdukları matris sayesinde betonu daha sünek hale getirmektedir. Literatürde yer alan çalışmalara göre lif takviyesi ile betonların basınç dayanımında önemli ölçüde artış gözlemlenmemiş olsa da, eğilme dayanımına ciddi katkı sağladığı görülmüştür.

Lifler, bir boyutu diğer boyutuna göre çok büyük olan, yani narinlik oranı çok yüksek olan malzemelerdir. Lif çeşitli yollarla elde edilen, genel olarak doğal ve yapay olarak sınıflandırılır. Geçmişte toprak evlerde ve harç karışımında kullanılan lifler günümüzde genel olarak beton karışımı içerisine ilave edilerek kullanılır. Liflerin beton karışımına ilave edilmesindeki temel amaç betonun çekme mukavemetini arttırmaktır.

1850’lerde betonun çekme mukavemetini arttırmak amacıyla beton karışımına lif ilave eden ilk kişi T. Hyatt olmuştur. T. Hyatt beton karışımına çelik eklenmesini söyleyen ilk kişidir. Hyatt daha sonra J.Lambot tarafından teller ve liflerin beton karışımına ilave edilmesinin patentini almıştır. Liflerle donatılı betonun ilk patentini ise 1874 yılında A.Berard almıştır [1].

Günümüzdeki farklı lif ilaveli betonların kullanımları 1960’lı yıllarda başlayan çalışmalar sonucu gelişmiştir [1]. Betonu geliştirmek amacıyla lifler üzerindeki çalışmalar Danimarka’da West ile Krenchel, Amerika Birleşik Devletleri’nde Romualdi, İngiltere’de Yapı Araştırma Kurumu’nda Nurse ve Majumdar’ın öncülüğünde başlamıştır. Beton karışımına lif ilavesi üzerindeki bu çalışmalar gittikçe gelişmiştir. ABD’de bilim adamları ve mühendisler betonun temel malzemesi olarak kabul edilen, naylon ve polipropilen gibi lifler başta olmak üzere çok farklı liflerle, özellikle de çelik lif ve tellerle donatı üzerinde çalışmalarını ilerletmiştir [2].

Çelik ilaveli betonlar normal donatı ile birlikte enerji santrali ve askeri yapıların yapımında kullanılmaktadır. Özellikle çok stratejik askeri yapıların yapımında kullanımı tercih edilmektedir. Uzun yıllardan beri Amerikan askeri tesis yapım şartnamelerinde yer almakta ve yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [3].

Bu çalışmada bu zamana kadar genellikle statik deneylerle incelenen lifli betonun, darbe altındaki davranışı üzerine yapılan çalışmalar kısıtlı olduğu için hem statik hem dinamik deneylerle inceleyerek literatüre katkı sağlanmaya çalışılmıştır. Yapılan bu çalışmada 350 kg çimento dozajlı beton karışımı hazırlanmıştır. Hazırlanan bu karışımlar sabit tutularak içerisine farklı cinsten ve farklı oranlarda lifler eklenmiştir. Beton karışımı içerisine üç farklı çelik lif oranında beton hacminin %0.25, %0.5 ve %0.75’i kadar (19.5, 39, 58.5 kg/m³), üç farklı polipropilen lif oranında (2, 4, 6 kg/m³) ve yalın beton olmak üzere 7 farklı beton karışımı hazırlanmıştır. Hazırlanan bu karışımlar 100x100x100 mm küp ve 100x100x500 mm kiriş numunelere yerleştirilerek beton numuneleri hazırlanmıştır. Beton numuneleri 28 gün küre tabi tutulmuştur. Elde edilen bu betonlara statik deneylerden olan basınç dayanım deneyi, üç nokta yükleme deneyi ve dinamik deney olan aletli ağırlık düşürme testi yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda veriler incelenerek beton basınç dayanımı, eğilmede çekme mukavemeti, aletli ağırlık düşürme deneyindeki darbeye karşı tepki kuvveti, darbede

numune tarafından emilen enerjinin ilave edilen çelik lif ve polipropilen lif ile ilişkisi ortaya konulmuştur. Elde edilen bu sonuçlarla çelik lif ilaveli ve polipropilen lif (polipropilen) ilaveli beton ile yalın betonun kıyaslaması yapılmıştır. Ulaşılan sonuçlara göre çelik lif ilaveli betonlar askeri yapılar, havalimanları, yollar gibi ani yüke maruz kalabilecek yapılarda avantaj sağlamaktadır. Betonun ani yüke maruz kalmasıyla ani kırılma olabilmektedir. Buna engel olabilmek için beton karışımına çelik lif ilave edilmesi gerektiği düşünülmektedir.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Betonun özelliğini geliştirmek için çeşitli lifler kullanılabilir. Bu malzemelerden çelik lifler ve polipropilen lifler üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar kısaca şunlardır;

Türker ark. [4] çalışmalarında ultra yüksek performanslı lifli beton içeren kirişlerde etkin lif tipini belirlemek için çalışma yapmışlardır. Biri kontrol numunesi, diğer dördü farklı çelik lif tipi içeren beş adet 100x150x1500 mm boyutlarında kiriş üzerinde eğilme deneyleri yapmışlardır. Beton karışımı içerisinde hacimce %1.5 kadar çelik lif ilavesi yapmışlardır. Lif tipleri olarak; düz mikro lif, tek kancalı polipropilen lif tipi, çift kancalı lif tipi kullanmışlardır. Deney sonucunda çelik lifin ani gevrek kırılmayı önlediğini ve lif olmayan duruma göre daha fazla yük taşıdığı sonucuna varmışlardır. Betonda çatlak oluşması ise çelik lifli betonlarda önemli ölçüde azalmıştır. Yaptıkları deney sonuçlarına göre yük taşıma kapasitesi ve çatlakların sınırlandırılmasında en ideal çelik lif tipinin, çift kancalı polipropilen lif türü olduğu belirlemişlerdir. Yer değiştirme sünekliği bakımından ise en etkin çelik lif tipi düz mikro lif tipi olduğunu belirlemişlerdir.

Caf [5] yaptığı çalışmada, betona farklı oranlarda (hacimce %0,5, %1, %1,5, %2) çelik lif ve 1 m³ için 300 g, 600 g, 900 g, 1200 g polipropilen lif katılarak, lif ilaveli betonlar üzerinde çalışma yapmıştır. Çelik lifler, beton hacmin %1'e kadar beton karışımına eklenmesi ile beton basınç dayanımına katkı sağladığını belirlemiştir. Çekme dayanımından ise %2 oranında çelik lif ilave edilmesi ile ciddi bir artış gözlemlemiştir. Çelik lif ilavesinin beton darbe dayanımına çok ciddi bir fayda sağladığı sonucuna varmıştır. Ayrıca belirli bir orandan fazla lif ilavesi betonun işlenebilirliğini azalttığını belirtmiştir.

Korkut ve ark. [6] çelik ve sentetik lifli betonun mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Hazırladıkları sentetik lifli ve çelik lifli karışımların basınç mukavemeti, çekme mukavemeti ve yarma deneylerini yapmışlardır. Elde ettikleri deney sonuçlarına göre en yüksek dayanım artışı 60 mm polipropilen lifli beton karışımında olduğunu belirlemişlerdir. Özetle bu çalışmada da çelik lifin çekme ve yarma deneylerinde betona katkı sağladığı sonucuna varmışlardır. Ayrıca çelik lif

katkılı betonlarda dayanım artışı daha fazla olsa da, sentetik liflerin de betona ciddi katkısı olduğunu görmüşlerdir.

Yiğiter [7] çelik lifli beton üzerinde, iki farklı tipte üç farklı karışım hazırlayarak; dayanımları, elastisite modülleri, enerji yutma kapasiteleri üzerinde çalışma yürütmüştür. Betona ilave edilen lif miktarının artmasıyla taze betonun çökme (slump) değerlerinde ciddi bir azalma olduğunu belirlemiştir. Lif tipi ve lif özelliğinin beton basınç dayanımı üzerine önemli bir katkısı olmadığı saptamıştır. Lif ilavesinin eğilme dayanımına olumlu katkısı olduğunu bulmuştur. Ayrıca lif ilavesinin nihai dayanımlara etkisi erken yaşlarda daha yüksek iken, aynı yaştaki kontrol betonlarına göre dayanımının daha az olduğunu tespit etmiştir.

Salami [8] yaptığı çalışmada betona ilave edilen lif ile birlikte su/çimento oranı değiştirildiğinde, bu oran artıkça beton basınç dayanımının düştüğünü gözlemlemiştir. Yarmada çekme deneyinde ise çelik lif oranı artıkça dayanımın arttığını görmüştür.

Pourhossein [9] çelik lif katkı yüksek dayanımlı betonarme kirişler üzerinde yaptığı çalışmada, yüksek dayanımlı kirişlerde oluşan deplasmanları ve bu kirişlerin taşıma gücü moment değerlerini elde etmek için sayısal bir yöntem ve bu yönteme dayalı olarak bir bilgisayar programı geliştirmiştir. Daha önce kullanılmış bir analitik yöntem ile çelik lif katkılı beton kiriş ve beton kolon üzerinde oluşan çatlakların deplasmanlar üzerine etkisini araştırmıştır. Yaptığı bu çalışmalardan elde ettiği veriler ile çelik lif ilaveli betonarme elemanlarının eğilme rijitliğini arttırdığını ve bu elemanlarda oluşan deplasmanları da azalttığı sonucuna varmıştır.

Zeynal [10] çalışmasında 0.4, 0.5 ve 0.6 su/çimento oranında ve değişken mikro çelik lif üzerinde betonun darbe mukavemeti üzerinde çalışma yapmıştır. Su/çimento oranı düştükçe ve mikro çelik lif miktarı arttıkça betonun eğilme, yarmada çekme ve darbe direncinin arttığı sonucuna ulaşmıştır. Uzun çelik liflerin kısa çelik liflere kıyasla mekanik özelliğın daha iyi olduğu ve daha sünek olduğu belirtilmiştir. Çelik lifli betonlarda mekanik özeliğın istenilen düzeyde olabilmesi için su/çimento oranının 0.6'ın altında olması gerektiğı belirtilmiştir. Karma liflerde (uzun çelik lif ve kısa çelik lif) kısa liflerin ilk çatlak oluşumundan sonra etkinliğini kaybettiğı ve uzun liflerin bu süreçte devreye girerek betonun tokluğunu olumlu etkilediğı belirlenmiştir.

Atahan ve Yücel [11] yaptıkları çalışmada beton karışımının içerisine kauçuk ekleyerek betonu daha sünek hale getirmeyi hedeflemiştir. Kauçuk ilave edilen betonun basınç dayanımında azalma olduğu gözlemlemişlerdir. Kauçuk ilave edilen betonun dinamik darbe testlerinde ise standart beton karışımına kıyasla dayanımı daha yüksek olduğunu belirlemiştir. Elde edilen kauçuk ilaveli betonun güvenlik bariyerlerinde kullanılabileceği belirtilmiştir.

Song ve Hwang [12] yaptıkları çalışmada betona, betonun hacminin %0.5, %1.0, %1.5 ve %2.0 oranında çelik lif ilave etmişlerdir. Yaptıkları basınç ve eğilme deneyleri sonucuna göre beton hacminin %1.5'a kadar eklenen çelik lif beton basıncına katkı sağladığı, %1.5'den sonra hafif düştüğünü görmüşlerdir. Eğilme deneylerinde ise çelik lif miktarına bağlı olarak artış gösterdiği belirlenmiştir. Tokluk indisinin ise çelik lif oranının artışı ile arttığı tespit etmişlerdir.

Nataraja ve Gupta [13] yaptıkları çalışmada beton karışımı içerisine betonun hacminin %0.5, %0.75 ve %1.0 (39, 59, 78 kg/m³) oranlarında çelik lif ilave etmişlerdir. Çalışmada 55 ve 82 narinlik oranlarında çelik lif tipleri kullanmışlardır. Deney numunelerinin birim gerilme eğrilerini çizmiş ve basınç altındaki durumlarını incelemişlerdir. Tokluk oranları çelik lif miktarının artışı ile doğru orantılı olmuştur. Geliştirdikleri formüller ile çelik lif ilaveli betonun tokluk oranının belirlenmesini ve birim gerilme eğrisinin çizilmesini kolaylaştırmaya çalışmışlardır.

Topçu ve Boğa [14] yaptıkları çalışmada betona çelik lif ve uçucu kül ilave etmişlerdir. Bu çalışmada betonun mekanik özellikleri ve beton borularının tepe basınç yükünün değişimleri incelemişlerdir. Bu çalışmada beton karışım içerisindeki çimento dozajı 300, 350, 400 kg/m³ üzerinden çalışma yapmışlardır. Karışımlara ağırlıkça %0.4 kadar çelik lif, çimento dozajının %15'i kadar uçucu kül ilave etmişlerdir. Çelik lif ve uçucu külün birlikte kullanılmasıyla basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımlarındaki ve tepe basınç yükü büyüklüğünün değişimindeki artış sırasıyla %16, 100 ve 130 olduğu belirlemişlerdir. Elde ettikleri bu sonuçla, beton boru üretiminde çelik lif ve uçucu külün birlikte kullanılmasının çok faydalı olacağını belirlemişlerdir.

Ünal ve ark. [15] yaptıkları çalışmada, çelik lif ilaveli betonlarda farklı lif tipi ve miktarının, basınç ve eğilme altındaki betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisini

araştırmışlardır. Çimento dozajını 325 kg/m^3 olarak belirlemişlerdir. Çalışmada narinlik oranları 60 ve 80 olan iki farklı lif tipinde çelik lif kullanmışlardır. Çelik lif oranları 15, 30, 45 ve 60 kg/m^3 biri de kontrol numunesi olmak üzere beş farklı karışım hazırlamışlardır. Çelik lifli betonların basınç ve eğilme altındaki mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Silindir numuneler üzerinde, basınç altında gerilme-şekil değiştirme davranışı, prizmatik numuneler üzerinde de eğilme dayanımları belirlemişlerdir. Sonuç olarak betona ilave edilen liflerin, betonun basınç altındaki gerilme-şekil değiştirme yeteneğini ve eğilme dayanımını arttırdığını gözlemlemişlerdir. Bu artışın en yüksek 60 kg/m^3 çelik lif ilavesinde olduğu sonucuna varmışlardır.

Yapılan literatür araştırması sonucunda, beton karışımına çelik lif ve polipropilen lif ilavesi üzerine yapılan araştırmalar olmasına rağmen; çelik lif ilaveli betonlar ve polipropilen lif ilaveli beton üzerinde aletli ağırlık düşürme deneylerinin yapıldığı çalışmalar çok kısıtlıdır. Bu çalışma, literatürde incelenen çelik lif ilaveli ve polipropilen lif ilaveli beton çalışmalarına yenilik kazandırmak üzere yapılmıştır.

3. BETONA İLAVE EDİLEN LİFLER

Beton; agrega, çimento ve su gibi yapı malzemelerinin bir araya getirilmesiyle üretilmiş kompozit bir malzemedir. Betonun çekme dayanımı ve çekme birim deformasyon kapasitesi çok düşüktür. Bu nedenle betonun bu zayıf yönünü geliştirerek daha gelişmiş bir beton elde edilmek için çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar neticesinde zaman içerisinde geliştirilen lifler beton karışımına çeşitli oranlarda eklenerek lifli beton elde edilmiştir [24]. Lifli beton üretiminde genellikle doğal, çelik, polimer ve cam esaslı lifler kullanılmaktadır [25]. Liflerin betona ilave edilmesi, betonda meydana gelebilecek çatlakların önlenmesinde, betonun daha sünek hale getirilmesinde, betonun enerji yutma kapasitesinde ve az da olsa betonun dayanımında katkı sağlar [26]. Lif ilaveli betonlarda en önemli etkenler narinlik oranı, lif miktarı ve lifin beton matrisi içerisinde homojen olarak dağılmasıdır [27]. Homojen olarak dağılan lifler, beton içerisinde meydana gelen çatlakları önlemekte ve çatlakların beton içerisinde daha da büyümesini yavaşlatarak betonu daha dayanıklı hale getirmektedir [19].

Beton içerisine ilave edilen kısa ve uzun lifler birlikte kullanıldığında, kısa liflerin mikro çatlak oluşmasını engelleyerek çekme dayanımını arttıracaklarını, çatlak boyutunun büyüyen polipropilen seviyede olduğunda ise uzun liflerin kompozit sünekliği sağlayacaklarını, bu şekilde ise betonun çekme dayanımının ve tokluğunun arttırılacağı ifade edilmektedir [20].

3.1 Lifler Hakkında Genel Bilgiler

Lifler içerisine katıldığı harç, beton vs. içerisinde oluşturduğu matris yapısından, yani meydana getirdiği köprü vazifesinden dolayı yük aktarımına veya malzemelerin birbirini tutmasına yardımcı olmaktadır. Lif, bir boyutu diğer boyutuna göre çok büyük olan, doğal yollarla veya yapay olarak elde edilen, dayanımları ve elastisite modülleri aynı malzemenin büyük hacimli formuna göre çok yüksek olan malzemeleri tanımlar. Liflerin büyük formasyondaki hallerine göre elastisite modülleri ve dayanımlarının çok yüksek olması lifleri malzemenin en gelişmiş hali kılar

[1].Toprak ve kerpiç evlerde genellikle saman, çeşitli hayvanların kılları gibi doğal lifler kullanılmıştır. Günümüzde ise artık doğal liflerin aksine yapay lifler kullanılır. Doğal ve yapay lif çeşitleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Yapay ve doğal lif çeşitleri [16]

Doğal Lifler			Yapay Lifler
Bitkisel Lifler	Hayvansal Lifler	Madensel Lifler	
Akwara Bambu Hindistan Cevizi Kabuğu Keten, Kenevir Jüt Sisal Şeker Kamışı Posası Ahşap (Selüloz)	Yün İpek Kıl	Asbest Bazalt Metal Lifler Karbon	Cam Lifleri Kevlar Akrilik Aramid Naylon Polyester Polietilen Polipropilen Poliüretan

İnsan eliyle üretilen yapay lifler ilk defa 19.yüzyılın sonunda ortaya çıkmıştır. Buna rağmen liflerin geçmişi altmış yıldan daha kısadır. Ancak bu kadar kısa zamanda insan eliyle yapılmış (yapay) lifler vazgeçilmez hale gelmiştir [21].

Beton, farklı malzemelerin bir araya getirilmesiyle oluşturulan kompozit heterojen bir malzemedir. Bundan dolayı beton lineer olmayan şekilde kırılma süreci izler. Beton kırılması çimento ile agrega arasındaki süreksizliklerden meydana gelmektedir. Beton içerisinde çimento ve agrega arasındaki gerilmelerden dolayı çatlaklar oluşabilir. Betona ilave edilecek lifler, mikro çatlakların büyümesini önlemektedir. Bu şekilde betonun ani kırılmasının önüne geçer, betonu daha sünek hale getirir ve betonun mekanik özelliklerini geliştirir. Bu sebeplerden dolayı beton karışımına ilave çeşitli lifler kullanılır. Bu lifler, bazalt lifler, polimer lifler, çelik lifler, cam lifler başta olmak üzere çeşitlilik gösterir [1]. Çeşitli liflerin mekanik özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Cinsleri ve Mekanik Özellikleri [2]

Lif cinsi	Çekme dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (10^3 , MPa)	Maksimum uzama (%)	Özgül ağırlık (gr/cm^3)
Akrilik	207-414	2.1	25-45	1.1
Asbestler	552-966	83-138	0,6	3,2
Pamuk	414-690	4.8	3-10	1,5
Cam	1035-3795	69	1,5-3,5	2,5
Naylon	759-828	4,1	16-20	1,1
Polyester	724-863	8.3	11-13	1,4
Polietilen	690	0,14-0,4	10	0,95
Polipropilen	552-759	3,5	25	0,90
Pamuk-Yün	414-621	6,9	10-25	1,5
Mineral yünü	483-759	69-117	0,6	2,7
Çelik	276-2760	200	0,5-35	7,8

3.2 Bazalt Lifler

Bazalt, fay kırıklardan sızıp yeryüzüne ulaşan lav akıntılarının soğuyup katılaşmasıyla meydana gelen volkanik bir kayaç türüdür. Bazaltlar koyu renkli ve yoğun kayaçlardır. Bazalt kayaçlar hızlı soğuduğu için camsı bir görünümündedir. Bazalt kayaçlarının çoğu kristal yapıdadır. Bazalt kayaç türü dünyanın çeşitli yerlerinde çok miktarda bulunur. Örneğin ABD'nin kuzeybatısında, Hindistan ve Brezilya'da binlerce kilometre genişliğinde bazalt platoları vardır [16].

Üç ayrı tür geliştirilen bazalt ürünleri;

1. Bazalt elyaflar (Şekil 3.1)
2. Bazalt lif (Şekil 3.2)
3. Bazalt çubuklar (Şekil 3.3)



Şekil 3.1 Bazalt elyaf [16]



Şekil 3.2 Bazalt ip, lif [16]



Şekil 3.3 Bazalt çubuklar [16]

3.3 Polimer Lifler

Polimer lifler ham maddeleri yarı sıvı halde işlemlere tabi tutularak üretilir. Polimer lifler çeşitli biçimlerde ve çeşitli boyutlarda bulunur. Uzunlukları 3-50 mm arasında değişkenlik gösterir. Polipropilen hamuru, polietilen hamurundan daha düşük

dayanıma sahiptir. Çizelge 3.3'te polimer liflerin fiziksel özellikleri verilmiştir. Polipropilen esaslı lif elyaf Şekil 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3 Polimer liflerin fiziksel özellikleri [16]

Lif Tipleri	Etkili Çap (10-3 mm)	Özgütl Ağırlık (g/cm ³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	En Bütük Uzama (%)
Akrilik	13-104	1.17	207-1000	14.6-19.6	7.5
Aramid	12	1.44	3620	62	4.4
Aramid 2	10	1.44	3620	117	2.5
Naylon	10	1.16	965	5.17	20
Polyester	10	1.34-1.39	896-1100	17.5	20
Polietilen	25-1020	0.96	200-300	5	3
Polipropilen	25-1020	0.90-0.91	310-760	3.5-4.9	15



Şekil 3.4 Polipropilen elyaf [16]

Polipropilen lifler beton içerisine ilave edilmesinin yanı sıra sıva, harç ve püskürtme beton gibi uygulamalarda da kullanılmaktadır. Polipropilen elyaflar %100 polipropilenden elde edilmektedir. Polipropilen lifler, uygulaması kolay olduğundan

dolayı yaygın olarak kullanılır. Bu lifler inorganik bir madde olduğu için uzun yıllar yapısı bozulmadan kullanılabilir. Polipropilen lifler beton matrisi içerisinde üç boyutlu mikro ağ meydana getirerek, betonun dezavantajlı yönlerini gidermiştir. Polipropilen esaslı lifler diğer donatı sistemlerine kıyasla en hafif mikro donatı sistemidir. Bu nedenle yapıya diğer donatı sistemleri kadar ölü donatı ağırlığı vermezler [16] . Polipropilen esaslı polipropilen lif Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.5 Polipropilen Lif

Polipropilen lifler, diğer betona ilave edilen diğer polimer liflerden daha iyi sonuç vermektedir. Buna karşın fazla polipropilen lif ilavesi, betonun slump değerinin düşmesini ve işlenebilirliği azaltmaktadır. Polipropilen lif, betonun bazı mekanik özelliklerini geliştirmektedir. Polimer liflerden olan polietilen ve naylon lifler polipropilen lifler kadar geniş yer bulamamıştır. Günümüze kadar yapılan çalışmalar polipropilen lifler üzerine yoğunlaşmıştır. Polipropilen liflerin çekme gerilmesine etkileri çelik liflerden daha azdır. Polimer lif miktarı beton veya harç içerisindeki davranışı değiştirmektedir. Polimer lif miktarının, beton hacminin %0.2’den az olması durumunda çatlak gerilim mukavemeti yetersiz olmaktadır [16].

3.4 Cam Lifler

Cam liflerin içeriği silisyum yani SiO_2 'den meydana gelmektedir. Silisyum ile beraber çeşitli elementler ilave edilir. Bu elementler; sodyum, kalsiyum, alüminyum, bor ve demir gibi elementlerdir. Cam lifleri, silisyum ve diğer elementlerin yüksek sıcaklıkta eritilmesiyle ve hızlı bir şekilde soğutularak elde edilir. Daha sonra lifler üzerine kaplama uygulaması yapılarak ve demetler halinde ruloya sarılarak depolanırlar [9]. Cam elyafın kırılmış hali Şekil 3.6'da makara hali Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.6 Kırılmış cam elyafı [9]



Şekil 3.7 Makara cam lif [9]

Farklı kimyasal bileşimlerden oluşan cam elyafların tipleri ve özellikleri Çizelge 3.4’te gösterilmiştir [16].

Çizelge 3.4 Cam türleri ve özellikleri [16]

A – Camı	Yüksek alkali oranı – düşük maliyet
C – Camı	Kimyasal Dayanım (Yüzey tülleri)
E – Camı	Elektriksel Özellikler
L – Camı	Radyasyona karşı kurşun içerir
M – Camı	Yüksek elastik modül
S – 2 Camı	Yüksek çekme dayanımı
W – 2 Camı	Paneller için yarı şeffaf
AR – Camı	Alkali dayanımı
R – Camı	Yüksek çekme dayanımı

3.5 Karbon Lifler

Cam elyafı hayatımızda en fazla kullanılan ve ilave bir materyal olmasına rağmen, gelişmiş kompozit malzemelerde genellikle saf karbonun elyafı kullanılmaktadır.

Karbon elyafı cam elyafına kıyasla daha güçlü ve hafif olmasına rağmen üretim maliyeti oldukça fazladır. Bu sebeple karbon lifler yüksek dayanım ve nitelik gerektiren, hava araçlarının ana bileşenlerinde ve spor araçlarında metal malzemelerin yerine kullanılmaktadır. Karbon elyafının imalatı, yüksek maliyetinden dolayı ancak uçak sanayisi, spor gereçleri veya tıbbi malzemeler gibi yüksek değerli araç ve gereçlerde kullanılmaktadır. Karbon elyafları piyasada iki türde; karbon lif ve karbon elyaf şeklinde kullanılır. Karbon elyafı çoğunlukla iki malzemeden elde edilir; zift ve pan (poliakrilonitril) [16]. Karbon lif Şekil 3.8’de, karbon liften kırılarak elde edilmiş elyaf ise Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.8 Karbon liften üretilmiş fitil [16]

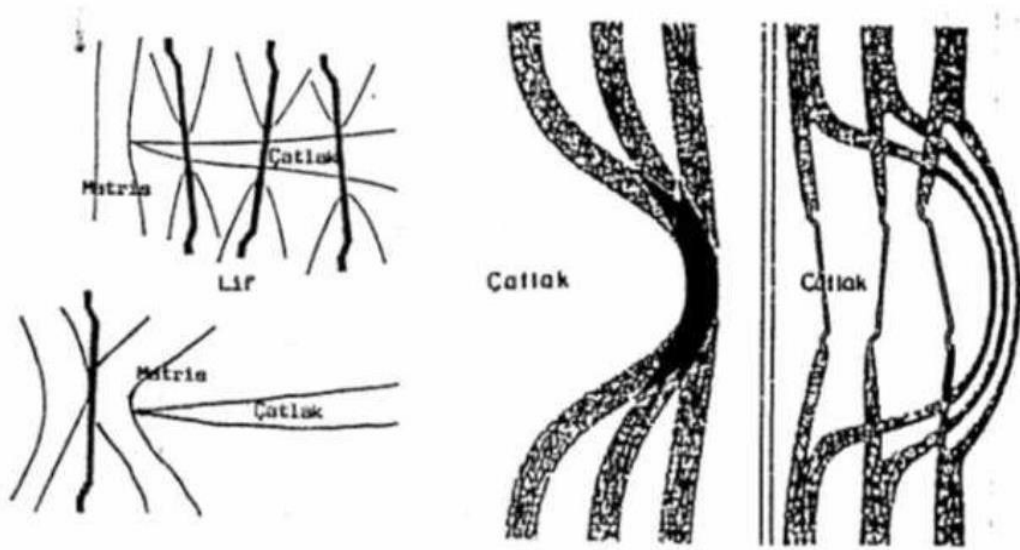


Şekil 3.9 Karbon liften kırılarak elde edilmiş elyaf [16]

3.6 Çelik Lifler

Çelik lif, lif türleri içerisinde en çok üzerinde çalışılan ve en yaygın olarak kullanılan lif türüdür. En çok yol betonu olarak kullanılan çelik lifler, betonun eğilme mukavemetini, çarpmaya dayanıklılığını, yorulma mukavemetini ve çatlamaya karşı mukavemetini ciddi miktarda arttırmaktadır. Taze beton içerine katılan çelik liflerin yaygın kullanılanları daire en kesitli veya dikdörtgen en kesitli olanlardır. Çelik liflerin boyları 30-60 mm, çapları ise 0.5-1.0 mm. arasında değişmektedir. Çelik liflerin yük etkisiyle kopmadan matristen sıyrılmalarına karşın çekme dayanımlarının en az 345 N/mm² olması istenmektedir [39].

Çelik lif bu tezin konusu olduğundan ayrı bir bölümde sunulacaktır.

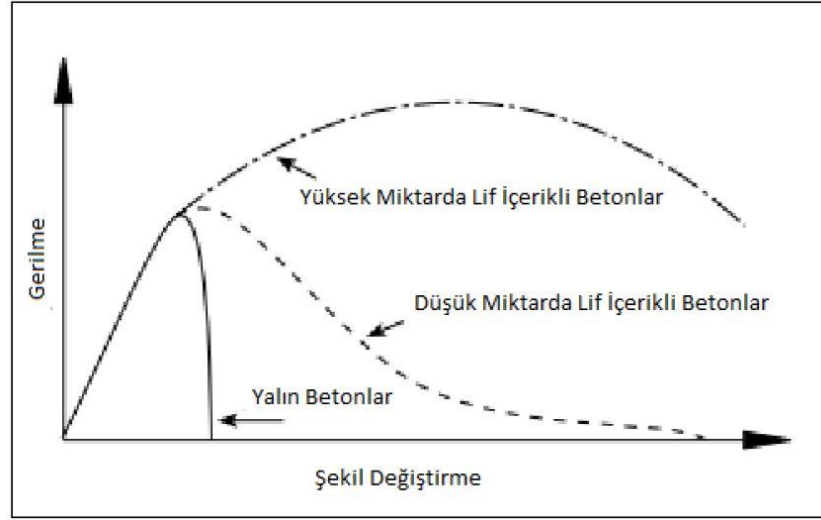


Sekil 3.10 Liflerin gerilme kuvvetlerini bir köprü gibi aktarması [1]

Liflerin betona verdiği katkılar kısaca şu şekilde sıralanabilir;

- Betonda çatlakların büyümesini engeller,
- Çekme ve eğilme dayanımlarını artırır,
- Çarpma dayanımını ve enerji yutma kapasitesini artırır,
- Gevrek kırılmayı engeller,
- Durabiliteyi artırır [11].

Standart beton gevrek haldedir. Betona ilave edilen lifler betonu sünek haline getirir. Bu durum Şekil 3.17’de verilmiştir.



Şekil 3.11 Lifli betonun tipik gerilme şekil değiştirme diyagramı [1]

4. ÇELİK VE POLİPROPİLEN LİFLER

Çelik lifler çeşitli boyda ende ve farklı uçlarda mevcuttur. Çelik liflerde uçları kancalı üretilenlerin davranışları, düz olanlara oranla daha yüksek olmaktadır.

Düşük karbonlu çelikten üretilen çelik lifler genellikle;

- Soğukta çekilen liflerin kesilmesiyle
- Çelik plakaların kesilmesiyle,
- Erimiş haldeki çeliğin potasından çıkarılması ile olmak üzere üç farklı şekilde elde edilmektedir.

TS 10513'e göre çelik lifler şekillerine göre şu şekilde sınıflandırılmaktadır;

- A: Düz, pürüzsüz yüzeyli lifler (Şekil 3.10)
- B: Bütün uzunluğunca deforme olmuş lifler
- C: Sonu kancalı lifler

B sınıfı lifler, uzunluğu boyunca deforme olma sekline göre;

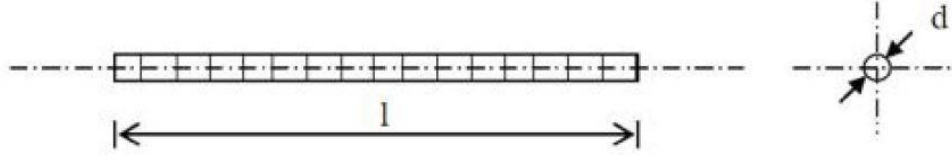
- Üzerinde girintiler (çentikler) açılmış lifler (Şekil 3.11)
- Uzunluğu boyunca dalgalı (kıvrımlı) lifler (Şekil 3.12)
- Ay biçimi dalgalı lifler (Şekil 3.13) olmak üzere üçe,

C sınıfı lifler sonlarındaki kancalara göre;

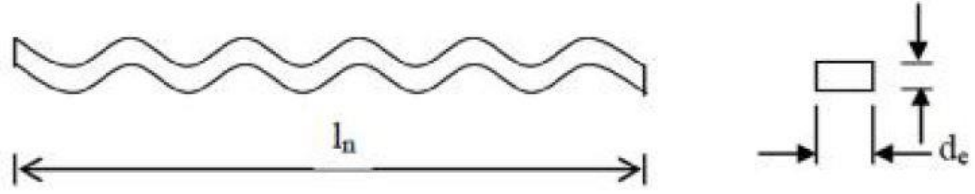
- İki ucu kıvrılmış lifler (Şekil 3.14)
- Bir ucu kıvrılmış lifler (Şekil 3.15) olmak üzere ikiye ayrılır.



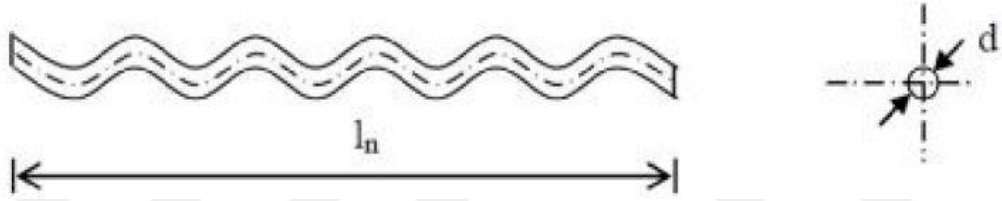
Şekil 4.1 Düz, pürüzsüz yüzeyli lifler



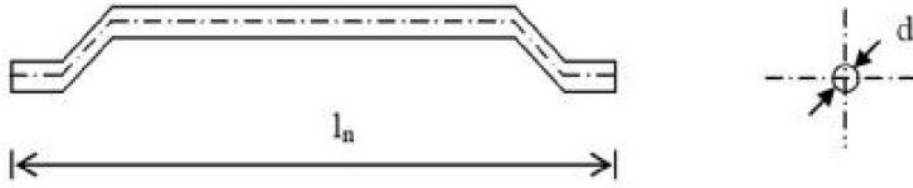
Şekil 4.2 Üzerinde girintiler (çentikler) açılmış lifler



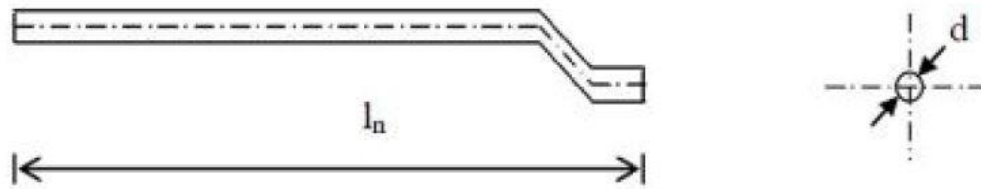
Şekil 4.3 Uzunluğu boyunca dalgalı (kıvrımlı) lifler



Şekil 4.4 Ay biçimi dalgalı lifler



Şekil 4.5 İki ucu kıvrılmış lifler



Şekil 4.6 Bir ucu kıvrılmış lifler

Şekil 3.16’da görüldüğü gibi lifler beton matrisi içerisinde köprü gibi davranarak betonda meydana gelebilecek çatlak oluşumlarını engeller.

4.1 Betonda, Çelik Lif Kullanım Avantajları

- Çeşitli çalışmalarda prefabrike yapı elamanlarında erken dayanım kazandırmak amacıyla çelik liflerin kullanılması, ısıtıl işlem ve priz hızlandırıcı kullanılmasına göre daha yararlı bulunmuştur[5] .
- Çelik lifler çatlak genişliklerini, çatlak sayısını ve kırışın sehmini önemli ölçüde azaltmaktadır[16] .
- Betona çelik lif katılması ile betonarme kırışının eğilme etkisindeki erken yaşta taşıma gücü arttırılabilmektedir[12].

4.2 Çelik Liflerin Kullanım Alanları

Çelik lif takviyeli betonların yüksek tokluk değerlerinden dolayı uygulama alanlarında artış gözlenmiştir.

a. Endüstriyel Zeminlerde

Çelik lif ilaveli betonlar, fabrika zemini gibi dayanıklılığın ve çarpma rijitliğinin yüksek olması ve termal etkilere karşı dayanım istenen ortamlarda yapıların inşasını kolaylaştırır. Ayrıca çatlak kontrolü sağlaması, darbe direnci, yüksek tokluğu dinamik ve ani yüklemelere karşı yüksek direnç gösterebildiğinden dolayı endüstriyel yapılarda özellikle zeminlerde kullanılmaktadır.

b. Hidrolik Yapılarda

Hidrolik yapılarda aşınmaları engellemek amacıyla, kaplama olarak kullanılmasının yanı sıra, barajlar, kanallar, limanlar veya dolu savaklarda plak yerine kullanılmaktadır.

c. Tünellerde ve Madenlerde

Çelik lif ilaveli betonlar, karayolları ve demir yollarında gürülen şev stabilitesinin sağlanmasında kullanılır. Bu sayede çekme donatısı olmaksızın yüksek dayanımlı bir beton kullanılmış olmaktadır. Genelde püskürtme betonu içerisinde kullanılarak tünellerin çökmesini önlemek amacıyla tünellerde kullanılır.

d. Yapılarda

Geleneksel betonlara nazaran çelik lif takviyeli betonlar dağılmama özelliğine de sahiptirler. Çelik lifler, beton dağılmadan önce yüksek tokluk değerine sahip olmaları nedeniyle küçük çatlakları bir arada tutup büyümesine engel olurlar. Sünekliğin yüksek olmasının istendiği yapılarda, nükleer yapılarda kullanılmaktadır.

e. Dış Saha Kaplamalarında

Çelik lif takviyeli betonlar yüksek yorulma ve darbe dayanımına sahip olmalarından dolayı, araçlardan kaynaklanan tekrarlı yüklerin ve darbelerin kolayca karşılanmasını sağlar. Ayrıca büyük, çok fonksiyonlu yapılar tasarlanırken, bölgedeki sıcaklık değişimleri, zemin oturmalarından meydana gelebilecek deformasyonlar, derz açıklıkları ve rötre tesirleri göz önüne alınır. Çelik lif kullanımı bu işler için ideal bir malzemedir. Günümüzde de çokça kullanılmaktadır.

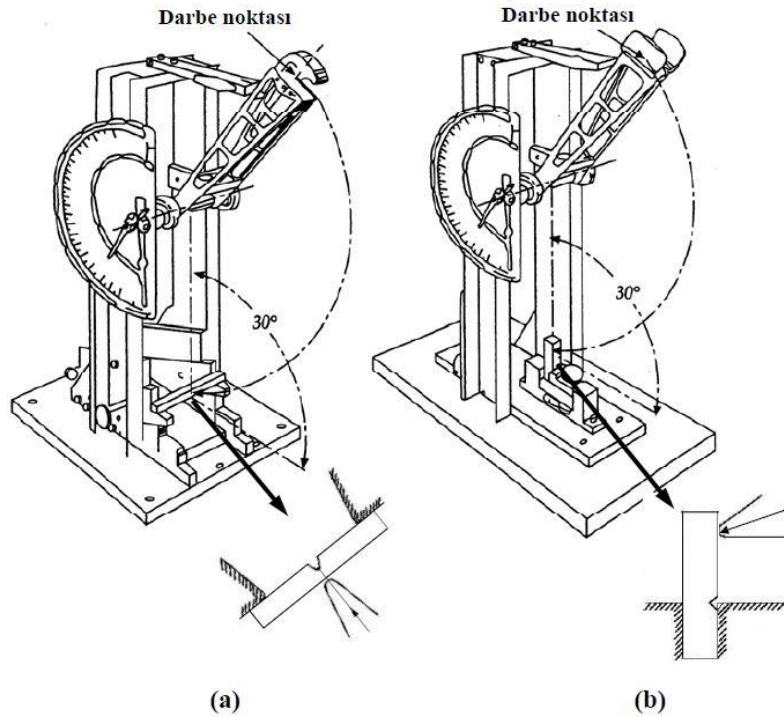
f. Askeri ve Enerji Yapılarında

Çelik ilaveli betonların normal donatı ile birlikte enerji santrali ve askeri yapıların yapımında kullanılması uygundur. Özellikle çok stratejik askeri yapıların yapımında kullanımı tercih edilmektedir. Uzun yıllardan beri Amerikan askeri tesis yapım şartnamelerinde yer almakta ve yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [3].

5. DARBE TEST METOTLARI

Darbe testi bir malzeme üzerindeki anlık kuvvet olarak ifade edilebilir. Darbe testleri kendi içerisinde düşük hızda yapılan testler ve yüksek hızlı testler olarak ikiye ayrılır. Düşük hızda yapılan testler 1-10 m/s arasında gerçekleştirilen deneylerdir [22]. Yüksek hız olarak ifade edilen darbe testi 74.1 m/s'ye kadar gerçekleştirilen deneylerdir [23]. Düşük hızlı darbe testleri; Izod ve Charpy darbe test metotları, Pendulum darbe test metodu, Ankastre edilmiş kiriş darbe testi ve Ağırlık düşürme darbe testleridir [17]. Yüksek hızlı darbe testleri; basınçlı hava ile darbe test metodu ve Split-Hopkinson basınçlı çubuk test metodudur. Yüksek hızlı darbe testleri hafif bir ağırlığın basınçlandırılarak numune üzerine darbe uygulanmasıyla yapılır.

Izod ve Charpy darbe test metotları düşük hızlı darbe test metotlarıdır. Şekil 5.1'de verildiği üzere sarkaç şeklinde çalışan bir sistemdir. Bu sistem ile numunenin gevrek veya sünek olma durumları hakkında bilgi edinilmiş olunur. Ayrıca meydana gelen göçüğün değerlendirilmesi gereklidir.



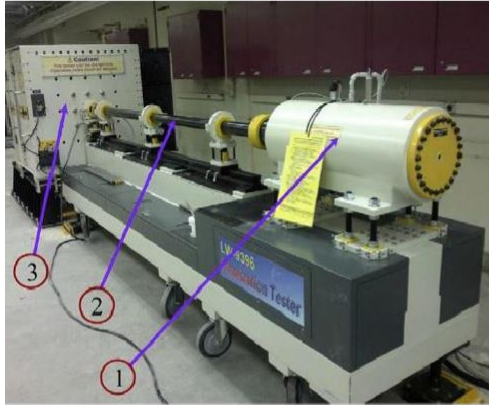
Şekil 5.1 (a) Charpy darbe test sistemi, (b) Izod darbe test sistemi [17]

Serbest düşen top testi Şekil 5.2’de verildiği gibi, belirli bir yükseklikten belirli bir kütledeki demir topun serbest düşürülmesiyle beton numunesi üzerindeki etkisi araştırılır. Deneyde düşürme sayısı, yükseklik ve demir topun ağırlığına göre değerlendirilir.

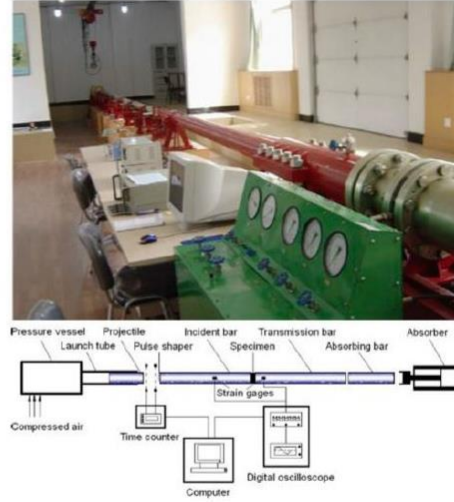


Şekil 5.2 Serbest düşen top testi [40]

Hava tabancası darbe testi Şekil 5.3’te verilmiştir. Bu testte, hafif bir parçayı yüksek basınçlı hava ile numune üzerine fırlatarak darbe uygulanır. Bu deneyde parçanın hızı ile numune üzerindeki etki değerlendirilir. Split-Hopkinson basınçlı çubuk (SHPB) testi, Split-Hopkinson tarafından geliştirilen, basınç çubuk sistemi düşük hızlı darbe testlerine göre çok yüksek hızlarda gerçekleşir. Yüksek basınçlı hava ile fırlatılan parçanın numune üzerine darbe uygulamasıyla gerçekleşir. Bu deneyde numune üzerindeki yük, parçanın hızı ve numunenin yer değiştirmesi üzerinden değerlendirmeler yapılır. Split-Hopkinson basınçlı çubuk (SHPB) testi Şekil 5.3’te verilmiştir.



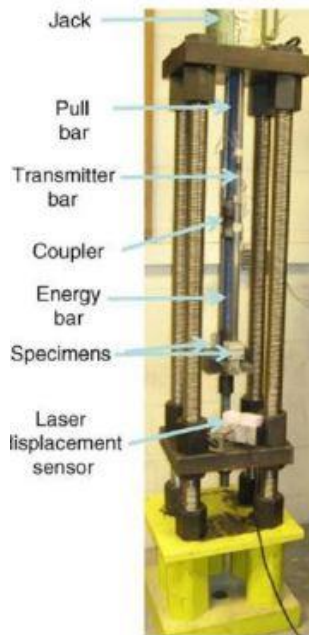
(a)



(b)

Şekil 5.3 (a) Hava tabancası darbe test sistemi, (b) Split-Hopkinson basınçlı çubuk (SHPB) test sistemi [40]

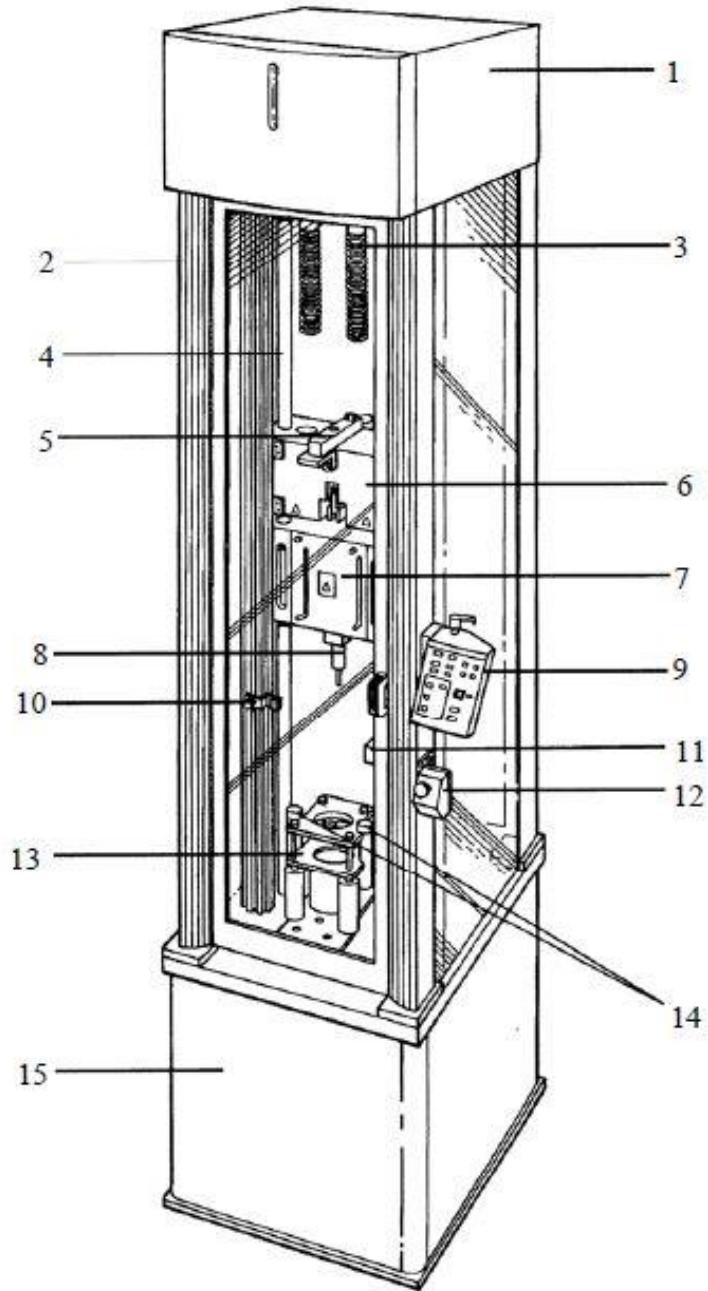
Gerilme enerjisi darbe test (SEITS) sisteminde, uzun bir çelik çubuk üzerinde gerilme enerjisi aniden numuneye doğru bırakılır. Bu test ile gerilme enerjisinin numune üzerindeki etkisi değerlendirilir. Gerilme enerjisi darbe test (SEITS) sistemi Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4 Gerilme enerjisi darbe test (SEITS) [40]

5.1 Ağırlık Düşürme Test Sistemleri

Ağırlık düşürme darbe testi belirli bir ağırlığın, belirli bir yükseklikten numune üzerine bırakılmasıyla yapılan bir deneydir. Ağırlık düşürme darbe test yöntemi malzemenin dinamik özelliklerini belirlemede kullanılan bir yöntemdir. Diğer yöntemlerden farklı olarak yükseklikte farklı ağırlık ve farklı uçlar ile elde edilmek istenen enerji ve hız değiştirilebilmektedir. Ayrıca ağırlık düşürme darbe testi ile numuneye saplanma, delinme ve tekrarlı darbe testleri de yapılabilmektedir. Ağırlık düşürme testleri aletli ve manuel olarak ikiye ayrılır. Manuel olarak yapılan testlerde, belirli bir ağırlık belirli bir yükseklikten bırakılır ve genellikle tekrarlı yüklere maruz bırakılarak numunede kaçınıcı defada çatlak oluştuğu incelenir. Aletli ağırlık düşürme test (Instrumental Drop-Weight Impact Test) sistemi, bilgisayar kontrollü hassas hesaplamalar yapılarak, bir ağırlığın belirli bir yükseklikten bırakılarak test gerçekleştirilir. Yükseklik ve cismin ağırlığı ile cisme etki ettirilen yük hesaplanır ve sistemin vurucu ucunda yer alan yük hücresi (loadcell) ile cisme etki ettirilen yüke karşı tepkilerin zamanla değişimi elde edilir. Aletli ağırlık düşürme test cihazının şematik çizimi Şekil 5.1’de resmi de Resim 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.5 Aletli ağırlık düşürme test cihazının şematik bir resmi; 1- Cihaz üst kısmı, 2- Köşe şasi, 3- Yay, 4- Mil, 5- Yük hücresi, 6- Ağırlık kaldırma ve tutma bloğu, 7- Ek ağırlık kutusu, 8- Vurucu (tüp), 9- Kontrol paneli, 10- Blok seviye ayar düğmesi, 11- Hız dedektörü, 12- Acil stop düğmesi, 13- Pnömatik numune sabitleyici, 14- Pnömatik geri sekme frenleri, 15- Cihaz alt zemini [17]



Resim 5.1 Deneyde kullanılan aletli ağırlık düşürme test cihazı [18]

Ağırlık düşürme deneyi ile ilgili formülasyonlar aşağıda verilmiştir.

$$H=gt^2/2 \text{ (5.1)}$$

$$V=gt \text{ (5.2)}$$

$$m=W/g \text{ (5.3)}$$

$$U=mV^2/2 \text{ (5.4)}$$

$$\text{Darbe dayanımı} = n \times U \text{ (5.5)}$$

Burada;

U = Bir vuruşta meydana gelen enerji, kNmm

W = Darbe deneyinde kullanılan tokmak ağırlığı, kg,

m = Darbe deneyinde kullanılan tokmak kütlesi, N,

H = Darbe deneyinde tokmağın düşme yüksekliği, mm,

T = Darbe deneyinde kullanılan tokmağın düşme süresi, sn,

g = Yerçekimi ivmesi, mm/sn²,

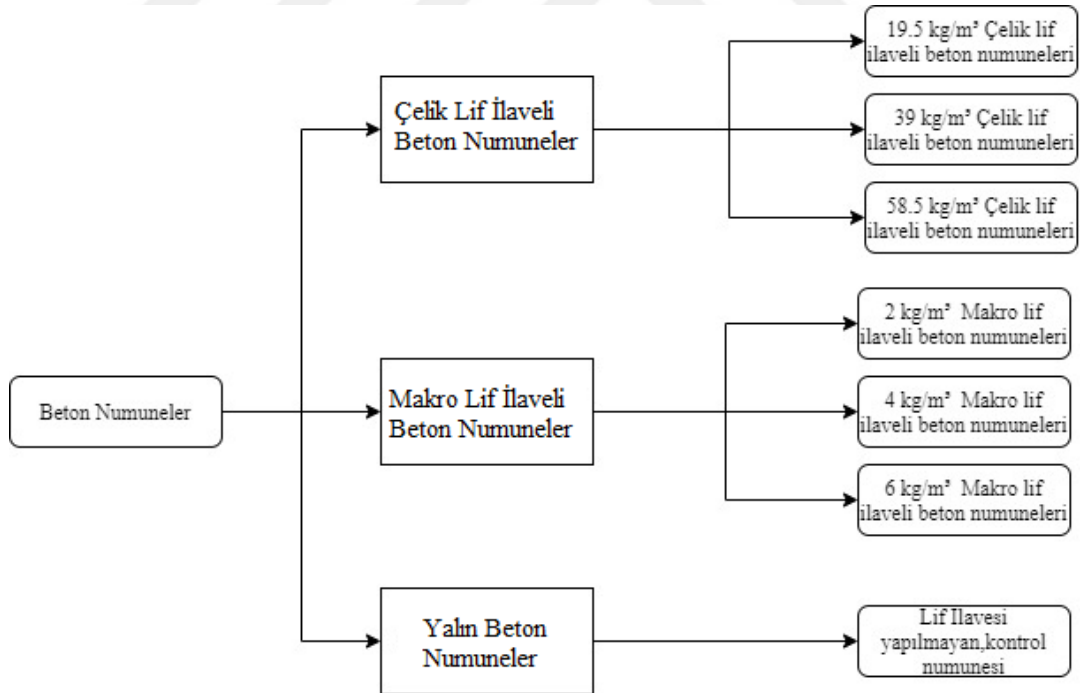
V = Darbe deneyinde kullanılan tokmağın vuruş anındaki hızı, mm/sn,

n = Vuruş sayısı, adedini göstermektedir.

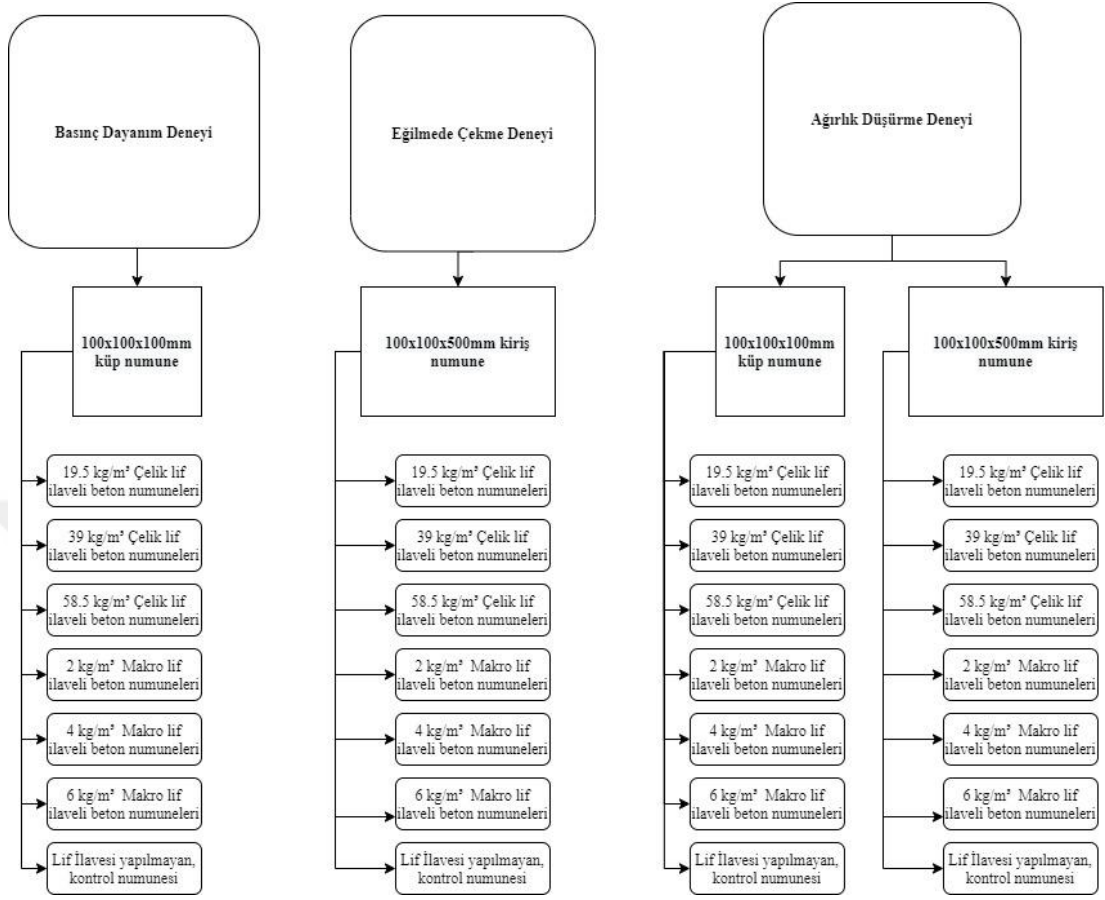
Formülleri yardımıyla ağırlık düşürme deneyi verileri hesaplanabilmektedir. Ağırlık düşürme deneyinin detaylarından ACI 544.2R [28] standardında bahsedilmektedir.

6. MATERYAL ve YÖNTEM

Yapılan bu deneysel çalışmada, beton karışımına ilave edilen iki tip lif; çelik lif ve polipropilen esaslı polipropilen lif olmak üzere her ikisinden de üçer farklı oran belirlenerek, üç farklı çelik lif oranında beton hacminin %0.25, %0.5 ve %0.75'i kadar (19.5, 39, 58.5 kg/m³), üç farklı polipropilen lif oranında (2, 4, 6 kg/m³) ve yalın beton olmak üzere yedi farklı beton karışımı hazırlanmıştır. Bu yedi karışım Şekil 6.1'de akış şeması yardımıyla gösterilmiştir. Hazırlanan bu karışımlar 100x100x100 mm küp ve 100x100x500 mm kiriş numunelere yerleştirilerek beton numuneleri hazırlanmıştır. Beton numuneleri 28 gün küre tabi tutulmuştur. Kür sonrasında numunelerde basınç testleri, üç nokta yükleme testleri ve aletli ağırlık düşürme, taze ve sertleşmiş beton özelliklerini belirlemek amacıyla testler yapılmıştır. Bu deneylerle ilgili akış şeması Şekil 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.1 Beton karışımlarının akış şeması



Şekil 6.2 Deneylerin akış şeması

6.1 Çimento

Bu beton karışımının hazırlanması için Resim 6.1'deki Çimko firmasına ait Cem II A-M (P-LL) 42,5 R sınıfı çimento kullanılmıştır.



Resim 6.1 Beton karışımında kullanılan çimento

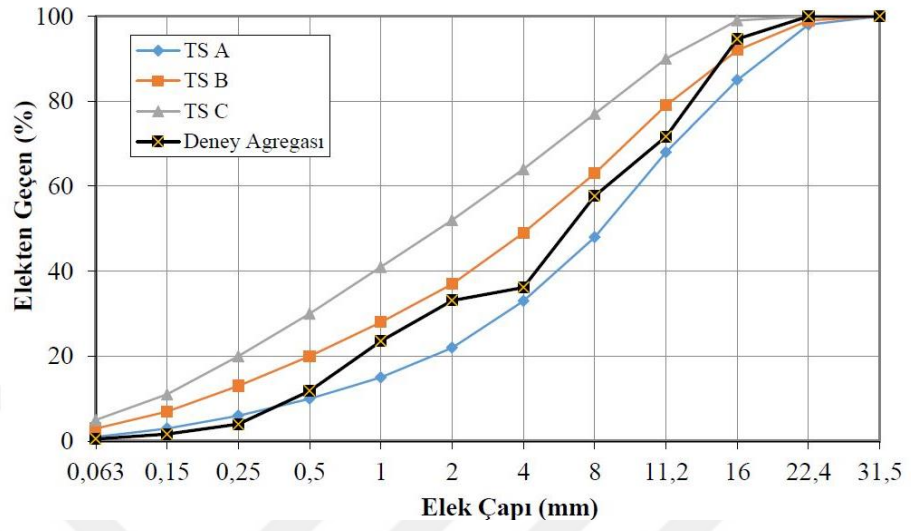
6.2. Karışım Suyu

Çalışmada beton karışım ve kür suyu olarak, Adıyaman Üniversitesi kampüsüne ulaşan şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

6.3 Agrega

Deneyisel çalışmada özgül ağırlıkları 2600 kg/m^3 olan Adıyaman ili Büyükkırıklı köyü sınırları içerisinde bulunan Tohumcular A.Ş.'ye ait kalker taş ocağı iri ve orta kırmataşları (Resim 6.2 ve Resim 6.3) ve özgül ağırlığı 2700 kg/m^3 olan Göksu Çayı'ndan temin edilen dere kumu (Resim 6.4) kullanılmıştır. Hazırlanan beton karışımlarında iri agrega %60 (iri agreganın %50'si oranında 11.2-22.4 mm kırmataş, %50'si oranında 4-11.2 mm kırmataş) ince agrega ise %40 oranında kullanılmıştır. Kullanılan agregaların elek analizi yapılmış ve granülometri eğrisi Şekil 5.1'de verilmiştir. Bu beton karışımı için maksimum agrega çapı 21 mm olarak belirlenmiştir.

Karışım için elek analizi Şekil 6.3'te verilmiştir. Kum, Resim 6.2'de orta agrega Resim 6.3'de iri agrega Resim 6.4'de verilmiştir.



Şekil 6.3 Elek analiz grafiği



Resim 6.2 İnce agrega (kum)



Resim 6.3 Orta agrega kırmataş



Resim 6.4 İri agrega kırmataş

6.4 Çelik Lif

Karışımında kullanılmak üzere Dramix firmasına ait 60 mm uzunluğunda 0.75 mm çapında, narinliği 80’de çelik lifler kullanılmıştır. Resim 6.5’te verilmiş ve çelik lifin mekanik özellikleri Çizelge 6.1’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan çelik lif TS EN 14889-1 [35] standartlarına uygundur.



Resim 6.5 Karışımda kullanılan çelik lif

Çizelge 6.1 Karışımda kullanılan çelik lifin özellikleri

Çekme Mukavemeti (Mpa)	1225
fiber uzunluğu (mm)	60
Çap (mm)	0.75
Narinlik oranı	80
Elastisite modülü (N/mm ²)	210 000

6.5 Polipropilen Lif

Karışımda Atlas firmasına ait 60 mm uzunluğunda kopolimer yapıda polipropilen esaslı sentetik bir polipropilen lif kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan polipropilen lif Resim 6.6’da verilmiştir. Polipropilen lifin özellikleri Çizelge 6.2’de verilmiştir.



Resim 6.6 Karışımında kullanılan polipropilen lif

Çizelge 6.2 Karışımında kullanılan polipropilen lifin özellikleri

Çekme Mukavemeti (Mpa)	550-750
fiber uzunluğu (mm)	60
Özgür Ağırlığı g/cm ³	0.91
Fiber sayısı, Adet/kg	200000

6.6 Akışkanlaştırıcı

İşlenebilirliğini artırmak amacıyla Sika firmasına ait sika viscocrete SF-18 süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan akışkanlaştırıcı Resim 6.7’de verilmiştir.



Resim 6.7 Karışımında kullanılan akışkanlaştırıcı

6.7 Mikser

Bu karışımların homojen karışması için Resim 6.8'deki pan tipi mikser kullanılmıştır.



Resim 6.8 Pan tipi mikser

6.8 Numuneler

Bu çalışmada 7 farklı karışım hazırlanıp her bir karışım için 4 küp basınç deneyi, 4 kiriş eğilme deneyi, 4 küp ağırlık düşürme, 4 kiriş ağırlık düşürme deneyi olmak üzere; 28 küp basınç numunesi, 28 kiriş eğilme numunesi, 28 küp ağırlık düşürme numunesi, 28 kiriş ağırlık numunesi olarak toplam 112 numune elde edilmiştir.

6.9 Slump

Slump testi betonun işlenebilirliğini ölçmek amacıyla yapılan bir deneydir. Bu deneyin görseli Resim 6.19’da verilmiştir.

6.9 Basınç Test Cihazı

Basınç deneyi Resim 6.9’da Ele firmasına ait basınç test cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Basınç deneyi TS EN 12390-3’e [33] göre yapılmıştır.



Resim 6.9 Basınç test cihazı

6.10 Üç Nokta Yükleme Test Cihazı

Üç nokta yükleme test cihazı ile Resim 6.10’da Ele firmasına ait üç noktadan eğilmede çekme deneyi gerçekleştirilmiştir. Eğilme deneyi TS EN 12390-5’e [33] göre yapılmıştır.



Resim 6.10 Üç nokta yükleme test cihazı

6.12 El Tipi Mikroskop

Üç nokta yükleme deneyinde ve aletli ağırlık düşürme deneyi sonucunda meydana gelen çatlaklar Resim 6.11'deki el tipi mikroskopla mikrometre hassasiyetinde ölçülmüştür.



Resim 6.11 El tipi mikroskop

6.13 Aletli Ağırlık Düşürme Test Cihazı

Aletli ağırlık düşürme deneyi (Instrumental Drop-Weight Impact Test) Resim 6.12'deki Instron firmasının üretimi olan Ceast 9350 model test cihazıyla gerçekleştirilmiştir.



Resim 6.12 Aletli ağırlık düşürme test cihazı

6.14 Ultrases Test Cihazı

Ultrases geçiş hızını ölçmek amacıyla ultrases test cihazında, biri alıcı ve biri gönderici olmak üzere iki prob bulunur. Beton numunelerinin üzerinde geçirilen dalganın geçiş süresi ile hızı belirlenir. Bu hıza göre betonun hangi kalitede olduğu hakkında bilgi edinilir. Ultrases geçiş hızı deneyi Resim 6.13'teki cihaz ile gerçekleştirilmiştir.



Resim 6.13 Ultrases geçiş hız test cihazı

Ultrases geçiş hızı formülü aşağıda verilmiştir.

$$V=L/T \text{ (6.1)}$$

Burada;

V = Ultrases geçiş hızı (m/sn) veya (km/sn)

L = Dalgaların katettiği mesafe (m) veya (km)

T = Zaman (sn cinsinden)

Ultrases geçiş hız testi ile betonun kalitesi hakkında bilgi sahibi olabiliriz. Çizelge 6.3'te bu bilgiler verilmiştir.

Çizelge 6.3 Ultrases geçiş hızının beton kalitesiyle olan ilişkisi (IS 13311 standartlarına göre sınıflandırma) [41]

Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)	Beton Kalitesi
>4,5	Mükemmel
3,5-4,5	İyi
3,0-3,5	Orta
<3,0	Kötü

6.15 Beton Karışımlarının Hazırlanması

Yapılan deneysel çalışmalarda beton karışımı içerisinde yer alan agreganın %30'ı iri, %40'ı ince, %30'u orta oranındadır. Çimento dozajı ise 350 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Çimento dozajının %4'ü kadar karışıma akışkanlaştırıcı ilave edilmiştir. Deneysel çalışmalar için seçilen karışım oranlarına göre ortaya çıkacak malzeme miktarları mutlak hacimler yöntemi ile belirlenmiştir. Laboratuvarda pan tipi mikserde karıştırılarak üretilen taze betonların tokmak ve vibrasyon masası yardımıyla sıkıştırılması sağlanmıştır. Beton karışımı için kontrol numuneleri, Cem II A-M (P-LL) 42,5 R Portland çimentosu (Ç), dere kumu 0-4 mm (K), 11.2-22.4 mm kırmataş (KT I) ve 4-11.2 mm kırmataş (KT II) kullanılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan bu karışımlar sabit tutularak içerisine farklı tipte lifler ve farklı oranlarda lifler eklenmiştir. Beton karışımı içerisine üç farklı çelik lif oranında beton hacminin %0.25, %0.5 ve %0.75'i kadar (19.5, 39, 58.5 kg/m³), üç farklı polipropilen lif oranında (2, 4, 6 kg/m³) ve kontrol numunesi olmak üzere yedi farklı beton karışımı hazırlanmıştır. Hazırlanan beton karışımları TS 802'e [30] göre, lif ilaveleri TS 10514'e [34] göre, çelik lif ilaveleri TS 14889-1'e [35] göre hazırlanmıştır.

Beton karışımları için kullanılan agregaların özgül ağırlıkları, su emme oranları, doğal nem oranları ve hacimce agrega oranları Çizelge 6.4-6.7'de sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 6.4 Karışımda kullanılan agregaların özgül ağırlığı

Malzeme	Özgül Ağırlık (t/m ³)
Kırmataş 11.2-22.4 mm (KT I)	2.60
Kırmataş 4-11.2 mm (KT II)	2.60
Kum 0-4 mm (K)	2.70

Çizelge 6.5 Karışımda kullanılan agregaların su emme oranları

Malzeme	Su Emme Oranları (%)
Kırmataş 11.2-22.4 mm (KT I)	1.50
Kırmataş 4-11.2 mm (KT II)	1.75
Kum 0-4 mm (K)	1.50

Çizelge 6.6 Karışımda kullanılan agregaların doğal nem oranları

Malzeme	Doğal Nem Oranları (%)
Kırmataş 11.2-22.4 mm (KT I)	0.01
Kırmataş 4-11.2 mm (KT II)	0.01
Kum 0-4 mm (K)	0.05

Çizelge 6.7 Karışımda kullanılan agregaların hacimce oranları

Malzeme	Hacimce Agrega Oranları (%)
Kırmataş 11.2-22.4 mm (KT I)	30
Kırmataş 4-11.2 mm (KT II)	30
Kum 0-4 mm (K)	40

Mutlak hacimler yöntemi kullanılarak 350 dozajlı kontrol betonu için;

$$V_{\text{Ç}} + V_{\text{S}} + V_{\text{A}} + V_{\text{H}} = 1000 \text{ dm}^3 \text{ eşitliği yazılır.}$$

$$V_{\text{H}} = 10 \text{ dm}^3 \text{ ve } S/\text{Ç} = 0.5 \text{ kabul edilmiştir.}$$

Gerekli toplam agrega hacmi;

$$V_{\text{A}} = 1000 - (350 / 3.1) - (175 / 1) - 10$$

$$V_{\text{A}} = 702.097 \text{ dm}^3/\text{m}^3 \text{ olarak bulunmuş, } 1 \text{ m}^3 \text{ karışımdaki agrega miktarları;}$$

$$V_{\text{KT I}} = 702.097 \times 0.30 = 210.629 \text{ dm}^3/\text{m}^3$$

$$V_{\text{KT II}} = 702.097 \times 0.30 = 210.629 \text{ dm}^3/\text{m}^3$$

$$V_{\text{Kum}} = 702.097 \times 0.40 = 280.839 \text{ dm}^3/\text{m}^3$$

$$V_{\text{M KTİ}} = 210.629 \times 2.60 = 547.635 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{\text{MKTİİ}} = 210.629 \times 2.60 = 547.635 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{\text{M Kum}} = 280.839 \times 2.70 = 758.265 \text{ kg/m}^3 \text{ bulunmuştur.}$$

Burada,

VÇ: Karışımdaki çimento hacmi

VS: Karışımdaki su hacmi

VA: Karışımdaki toplam agrega hacmi

VH: Karışımdaki hava hacmi

VKTI: Karışımdaki kırmataş I hacmi

VKTII: Karışımdaki kırmataş II hacmi

VK: Karışımdaki kum hacmi

M KTİ: Karışımdaki kırmataş I ağırlığı

MKT II: Karışımdaki kırmataş II ağırlığı

Mkum: Karışımdaki kum ağırlığı olarak tanımlanır.

Karışımlarda kullanılan 1m³ beton içerisindeki malzemenin oranları Çizelge 6.8’de verilmiştir.

Çizelge 6.8 1 m³ betondaki bileşenlerin miktarı

Malzeme	Miktar (kg)
Çimento	350
Su	192.5
İnce (kum)	747.27
Orta agrega	538.12
İri agrega	539.48
Akışkanlaştırıcı	1.4

Çizelge 6.9 1 m³ beton karışımı için lif miktarı

Karışımlar	Çelik lif (kg)	Polipropilen lif (kg)
Çelik karışım 1	19.5	0
Çelik Karışım 2	39	0
Çelik karışım 3	59.5	0
Polipropilen Karışım 4	0	2
Polipropilen Karışım 5	0	4
Polipropilen Karışım 6	0	6
Kontrol	0	0

6.16 Beton Numunelerin Hazırlanması

Deneyisel çalışmada hazırlanan bütün betonlar Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan pan tipi beton karıştırıcı (Resim 5.8) ile üretilmiştir. Numuneler TS EN 12390-1 [31] dikkate alınarak üretilmiş ve 28 gün küre tabi tutulmuştur. Beton karışımı hazırlanırken çimento ve agregalar iki dakika süreyle kuru karışıma tabi tutulmuştur. Sonra karışım suyu eklenmiş ve üç dakika daha karıştırılarak Resim 6.16'da kalıplara doldurulmaya hazır hale getirilmişlerdir. Hazırlanan karışımlar Resim 6.14'te temizlenmiş ve Resim 6.15'te yağlanmış kalıplara, 100x100x100 mm küp ve 100x100x100 mm kiriş numunelere yerleştirilmiş daha sonra Resim 6.20'de verilen sarsma tablasında titreşim uygulanarak beton sıkıştırılmıştır (Resim 6.20). Üretilen beton numunesinden çökme deneyi Resim 6.19'da yapıp beton numunesinin kıvamına bakılmıştır. Polipropilen lif ilaveli beton karışımı Resim 6.17'de, çelik lif ilaveli beton karışımı ise Resim 6.18'de verilmiştir. Hazırlanan numuneler Resim 6.21'de ve Resim 6.23'te verilmiştir. Hazırlanan numunelerin 28 gün kür işlemi Resim 6.22'de verilmiştir.



Resim 6.14 Kalıpların temizlenmesi



Resim 6.15 Kalıpların yağlanması



Resim 6.16 Beton karıştırma



Resim 6.17 Polipropilen lif ilaveli beton karışımı



Resim 6.18 Çelik lif ilaveli beton karışımı



Resim 6.19 Slump deneyi



Resim 6.20 Kiriş numunesinin vibrasyon masasında sıkıştırılması



Resim 6.21 Beton numuneleri



Resim 6.22 Numunelerin 28 gün kür işlemi



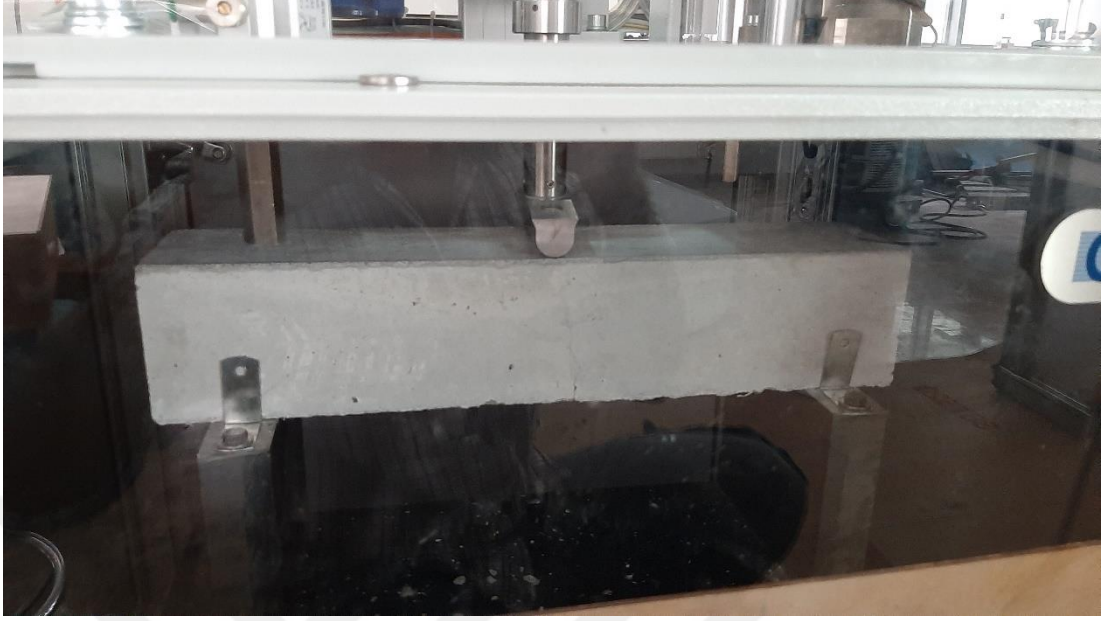
Resim 6.23 Beton kiriş numuneleri

Çalışmada numunelerin basınç dayanımlarını belirlemek adına ilk olarak kontrol karışımı hazırlanmıştır. Daha sonra farklı beton karışımı içerisine üç farklı çelik lif oranında beton hacminin %0.25, %0.5 ve %0.75 'i kadar (19.5, 39, 58.5 kg/m³), üç farklı polipropilen lif oranında (2, 4, 6 kg/m³) ve kontrol numunesi olmak üzere yedi farklı beton karışımı hazırlanmıştır. Basınç dayanım deneyini yapmak amacıyla, 3 farklı çelik lif oranında, 3 farklı polipropilen lif oranında ve kontrol numuneleriyle toplam yedi farklı karışımdan her bir oran için 4 adet küp (100x100x100 mm) toplamda 28 küp numune üzerinde yapılmıştır. Eğilmede çekme mukavemetini tespit etmek için üç nokta yükleme testi yapmak amacıyla, 3 farklı çelik lif oranında, 3 farklı polipropilen lif oranında ve kontrol numuneleriyle toplam yedi

farklı karışımdan her bir oran için 4 adet kiriş (100x100x500 mm) toplamda 28 kiriş numune üzerinde yapılmıştır. Aletli ağırlık düşürme deneyi için yine 3 farklı çelik lif oranında, 3 farklı polipropilen lif oranında ve kontrol numuneleriyle toplam 7 farklı karışımdan her bir oran için 5 adet küp (100x100x100 mm) ve 5 adet kiriş (100x100x500 mm) olmak üzere 35 adet küp numune 35 adet kiriş numune ile deney yapılmıştır. Küp numunelerine 25.5 kg ağırlık 800 mm yükseklikten düşürülerek, 200 J enerji Resim 6.24'teki gibi küresel uç ile uygulanmıştır. Kiriş numuneleri ise 6.235 kg ağırlık 736 mm yükseklikten düşürülerek, 45 J enerji ve Resim 6.25'teki gibi çekiç uç(yarım silindirik) ile test edilmiştir.



Resim 6.24 Küresel uç ile küp numuneye aletli ağırlık düşürme



Resim 6.25 Çekiç uç ile kiriş numuneye aletli ağırlık düşürme

7. BULGULAR ve TARTIŞMA

Beton numuneler 28 gün kür edildikten sonra beton basınç testleri, 3 noktadan yükleme deneyleri, aletli ağırlık düşürme deneyleri yapılmıştır. Üç nokta yükleme deneyi ve aletli ağırlık düşürme deneyleri sonrasında oluşan çatlakların genişliği el tipi mikroskopla ölçülmüştür. Betonun işlenebilirliğini ölçmek amacıyla slump deneyi yapılmıştır. Slump deneyiyle ilgili bilgiler Çizelge 7.1’de verilmiştir. Deneyler TS EN 12390-1’e [31] göre, slump testi TS EN 12390-2’e [37] göre, basınç testi TS EN 12390-3’e [32] göre, 3 noktada yükleme testi TS EN 12390-5’e [33] göre gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 7.1 Karışımların çökme değerleri

İsimler	Çökme miktarı (cm)
Kontrol numunesi	15
Çelik lif 19.5 kg/m ³ oran	12
Çelik lif 39 kg/m ³ oran	10
Çelik lif 59,5 kg/m ³ oran	7
Polipropilen lif 2 kg/m ³ oran	13
Polipropilen lif 4 kg/m ³ oran	5
Polipropilen lif 6 kg/m ³ oran	3.5

7.1 Basınç Dayanım Test Sonuçları

Basınç dayanım test sonuçları çelik lif için Çizelge 7.2’de, polipropilen lif içinse Çizelge 7.3’te verilmiştir. Çelik liflerin ortalama basınç dayanım grafiği Şekil 7.1’de, polipropilen liflerin ortalama basınç dayanım grafiği Şekil 7.2’de verilmiştir.

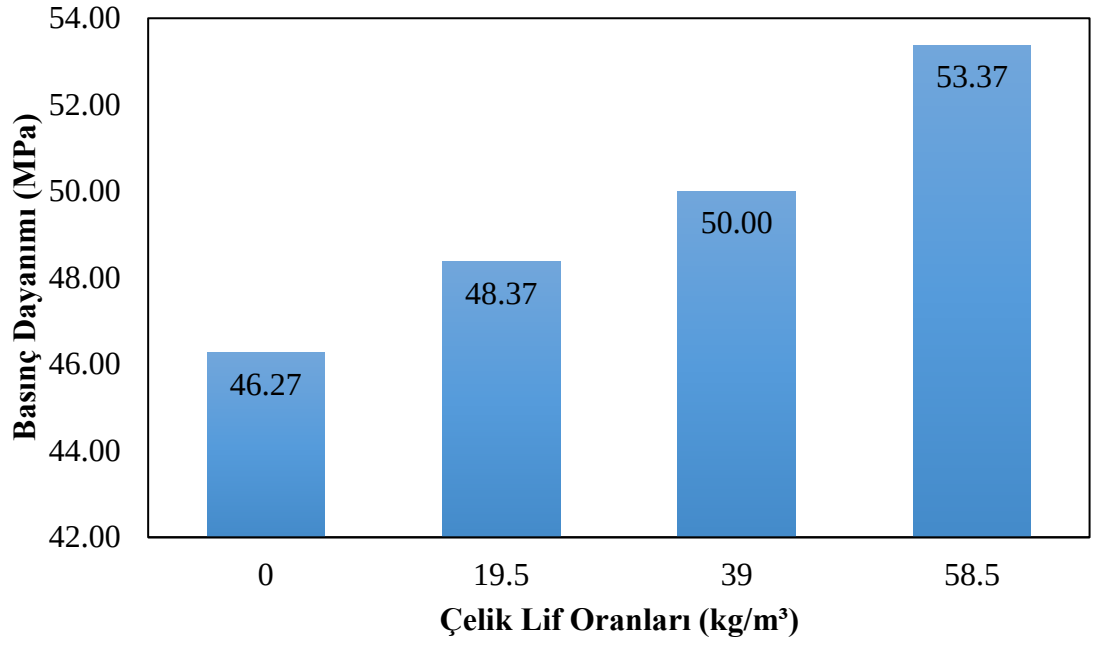
Çizelge 7.2 Çelik lifli betonların basınç dayanımı

Lif miktarı (kg/m ³)	Yük (KN)	Dayanım (Mpa)	Basınç dayanımı ortalama (Mpa)
0	517.5	51.8	46.3
	422.5	42.3	
	447.5	44.7	

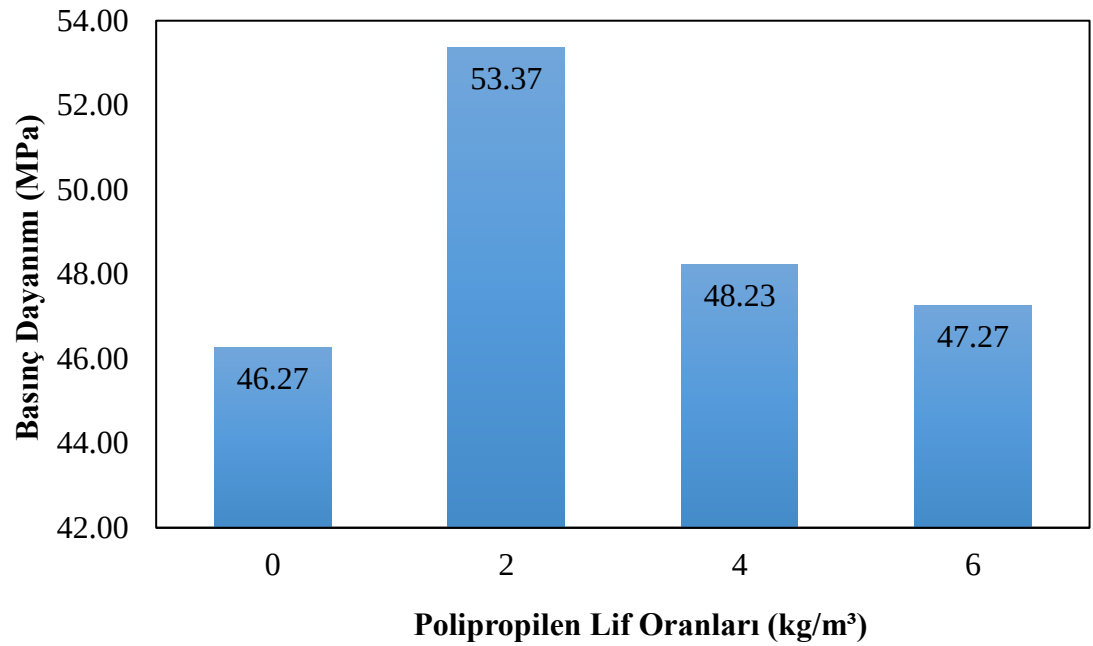
19,5	470.0	47.0	48.4
	440.0	44.0	
	541.4	54.1	
39	523.7	52.4	50.0
	468.5	46.9	
	507.3	50.7	
58.5	544.2	54.4	53.4
	528.5	52.8	
	529.4	52.9	

Çizelge 7.3 Polipropilen lifli betonların basınç dayanımı

Lif Miktarı (Kg/m ³)	Yük (KN)	Dayanım (Mpa)	Basınç Dayanımı Ortalama (Mpa)
0	517.5	51.8	46.3
	422.5	42.3	
	447.5	44.7	
2	487.0	48.7	48.2
	440.1	44.0	
	520.5	52.0	
4	489.1	48.9	47.3
	522.8	52.3	
	405.9	40.6	
6	460.1	46.0	46.5
	486.1	48.6	
	449.2	44.9	



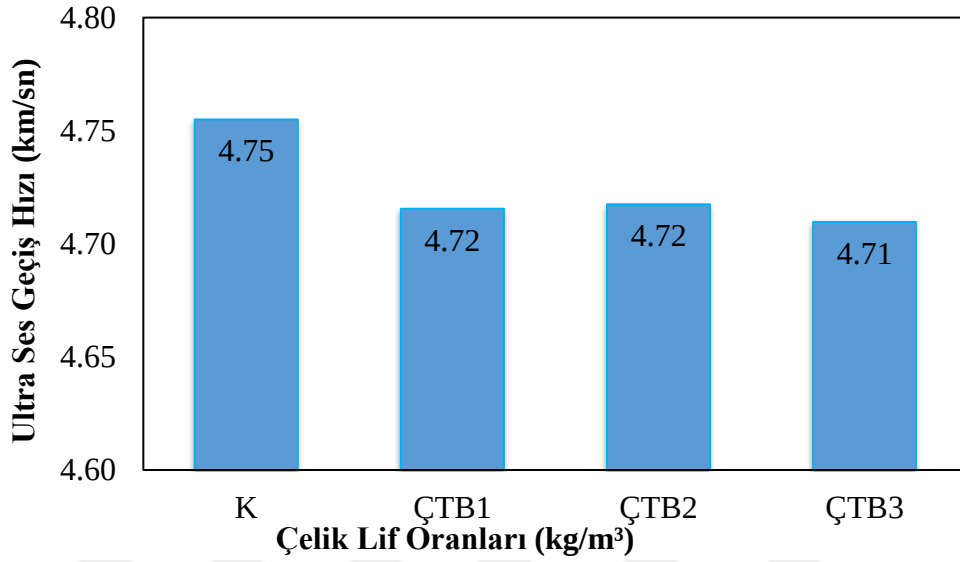
Şekil 7.1 Çelik lifli betonların ortalama basınç dayanımı



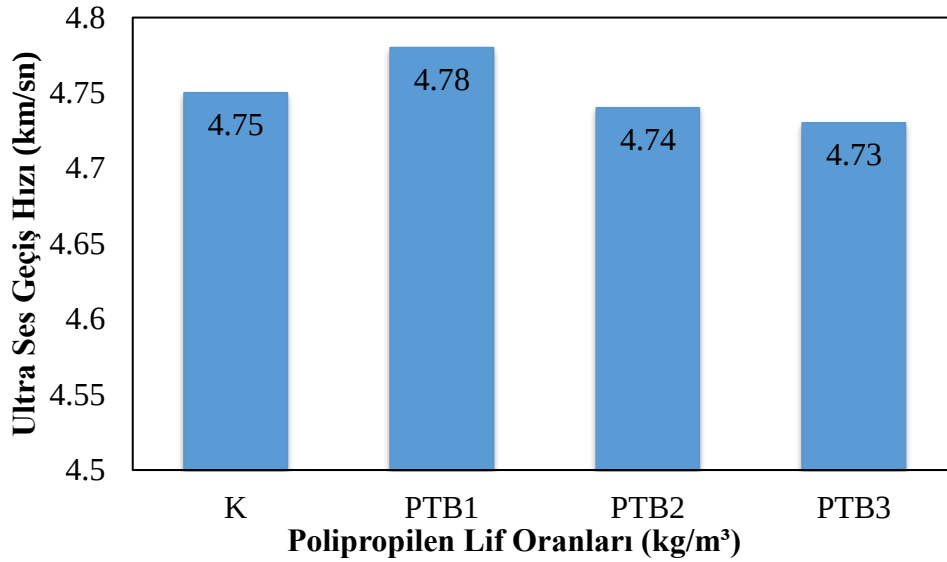
Şekil 7.2 Polipropilen lifli betonların ortalama basınç dayanımı

7.2 Ultrases Geçiş Hızları

Ultrases geçiş hız ortalamaları çelik lif ilaveli betonların Şekil 7.3’de, polipropilen lif ilaveli betonların ise Şekil 7.4’te verilmiştir.



Şekil 7.3 Çelik lifli betonların ortalama ultrases geçiş hızları



Şekil 7.4 Polipropilen lifli betonların ortalama ultrases geçiş hızları

Şekil 7.3 ve Şekil 7.4 incelendiğinde gerekse çelik katkılı betonlarda gerekse polipropilen lif katkılı betonlarda ultrases geçiş hızlarının birbirine çok yakın çıktığı

görülmektedir. Çelik lif katkılı betonlarda lif ilavesi ile birlikte ultrases geçiş hızlarında azalma görülmektedir. Polipropilen lif katkılı betonlarda ise 2 kg/m³ oranında ultrases geçiş hızlarında artış görülürken diğer oranlarda çok az da olsa bir azalma görülmektedir.

7.3 Üç Nokta Yükleme Deney Sonuçları

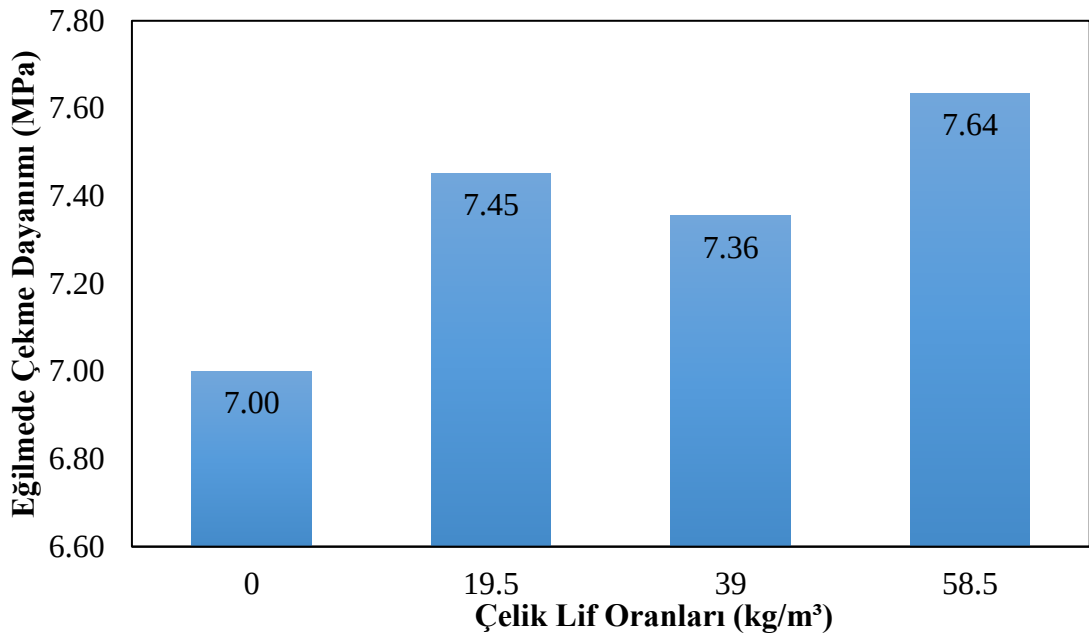
Çelik lif ilaveli betonların 3 nokta yükleme deney sonuçları Çizelge 7.4'te verilmiştir. Polipropilen liflerin 3 nokta yükleme deney sonuçları ise Çizelge 7.5'te verilmiştir.

Çizelge 7.4 Çelik lifli betonların eğilmede çekme dayanımı

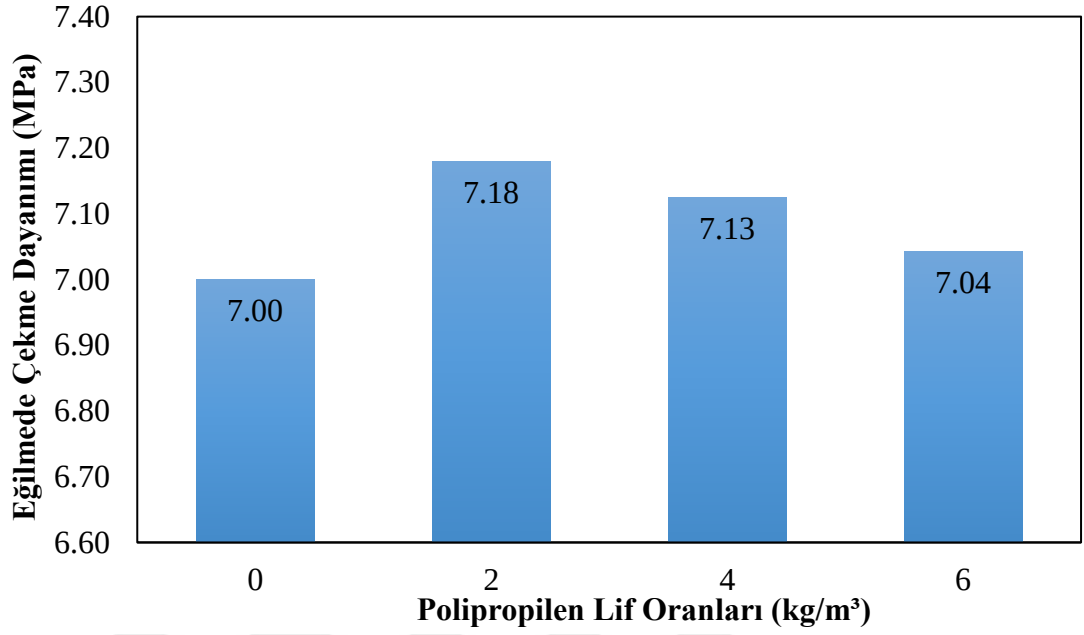
Lif miktarı (kg/m ³)	Yük (KN)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Eğilmede Çekme Dayanımı ortamala (MPa)
0	9.85	7.39	7.00
	8.29	6.22	
	9.86	7.40	
19.5	9.29	6.97	7.45
	10.30	7.73	
	10.22	7.67	
39	9.55	7.16	7.36
	10.49	7.87	
	9.38	7.04	
58.5	10.41	7.81	7.64
	10.55	7.91	
	9.58	7.19	

Çizelge 7.5 Polipropilen lifli betonların eğilmede çekme dayanımı

Lif miktarı (kg/m ³)	Yük (KN)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Eğilmede Çekme Dayanımı ortalama (MPa)
0	9.85	7.39	7.00
	8.29	6.22	
	9.86	7.40	
2	9.56	7.17	7.18
	9.53	7.15	
	9.63	7.22	
4	9.51	7.13	7.13
	9.4	7.05	
	9.59	7.19	
6	9.96	7.47	7.04
	9.28	6.96	
	8.93	6.70	



Şekil 7.5 Çelik lifli betonların ortalama eğilmede çekme dayanımı



Şekil 7.6 Polipropilen lifli betonların ortalama eğilmede çekme dayanımı

3 nokta yükleme deney sonrasındaki çelik lif ilaveli kiriş numunelerin durumu Resim 7.1’de, polipropilen lif ilaveli kiriş numunelerin durumu ise Resim 7.2’de verilmiştir.



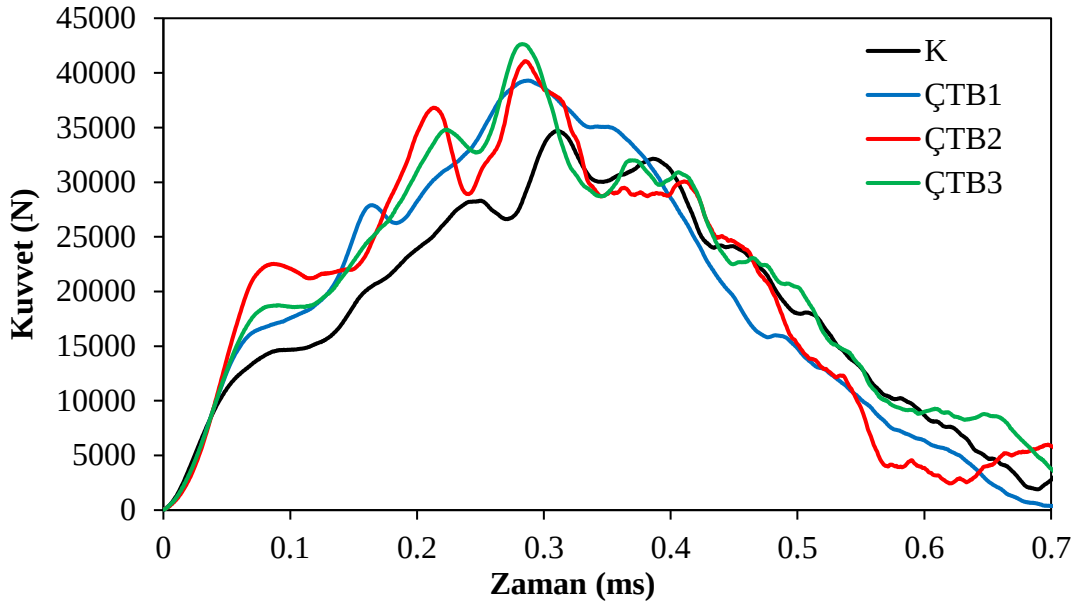
Resim 7.1 Çelik lif ilaveli ve kontrol, kiriş numunesinin üç nokta yükleme deneyi sonrasındaki durumu



Resim 7.2 Polipropilen lif ilaveli ve kontrol, kiriş numunesinin üç nokta yükleme deneyi sonrasındaki durumu

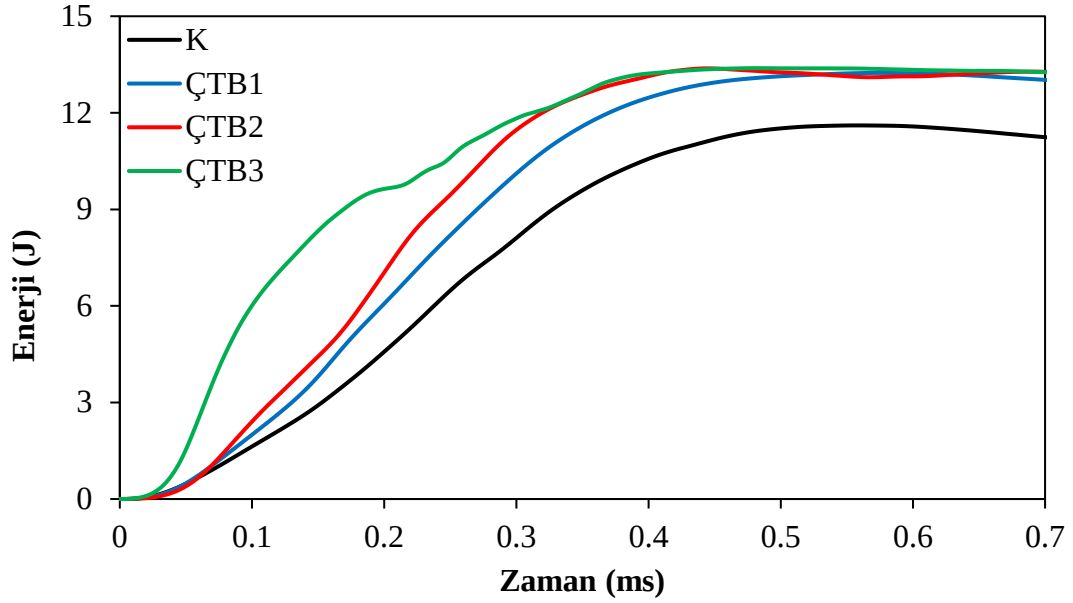
7.4 Aletli Ağırlık Düşürme Sonuçları

Grafiklerde yalın beton K olarak çelik lif oranı %0.25 (19.5 kg/m³) ÇTB1 olarak, %0.50 (39 kg/m³) ÇTB2 olarak, %0.75 (58.5 kg/m³) ÇTB3 olarak adlandırılmıştır. Polipropilen lif oranlarında ise 2 kg/m³ oranı PTB1 olarak, 4 kg/m³ oranı PTB2 olarak, 6 kg/m³ oranı PTB3 olarak adlandırılmıştır. Aletli ağırlık düşürmede elde edilen kuvvet-zaman ve Enerji-zaman grafikleri Şekil 7.7'den başlayarak Şekil 7.14'e kadar sırayla verilmiştir.



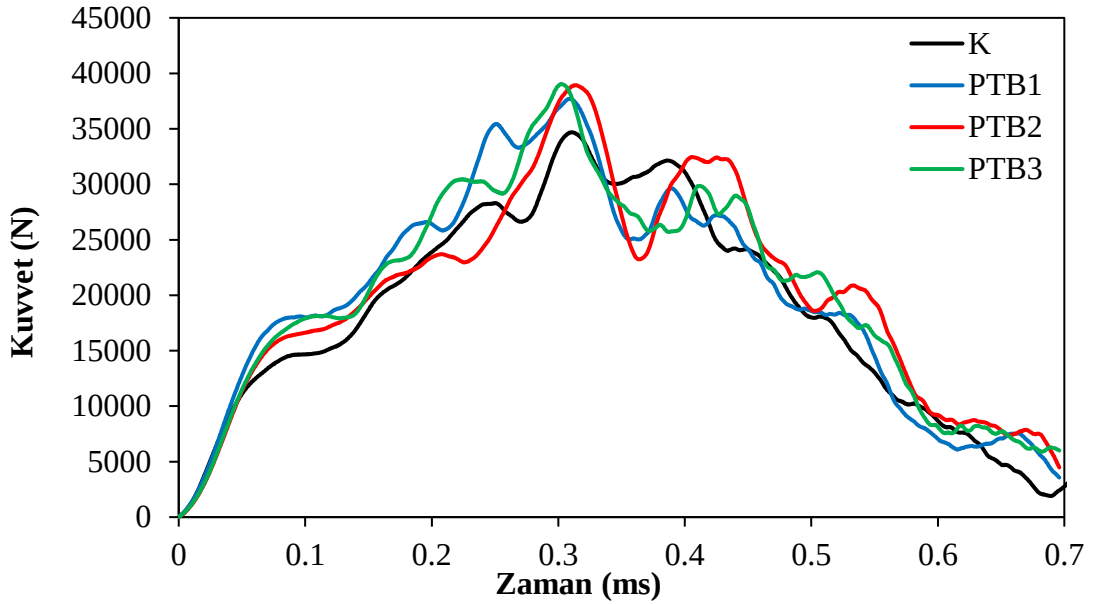
Şekil 7.7 Çelik lifli kiriş numunelerinin ortalama kuvvet-zaman grafiği

Şekil 7.7'deki kuvvet-zaman grafiği incelendiğinde yalın beton 34.69 kN'luk bir kuvvet değeri oluşurken ÇTB1, ÇTB2 ve ÇTB3 çelik lif ilaveli kiriş kuvvet değerleri sırasıyla 39.30 kN, 41.07 kN ve 42.64 kN değerlerine çıkmıştır. Çelik lif takviyeli betonların maksimum kuvvet değeri yalın betona kıyasla daha yüksektir. Çelik lif ilave miktarı artışıyla da değer artmıştır. En yüksek değer ÇTB3'de 58.5 kg/m³ çelik lif takviyesinde olmuştur. Kuvvet-zaman grafiğindeki eğriler incelendiğinde lif ilavesi yapılmayan yalın betonlarda tepe noktasından sonra yükü sıfıra doğru azalır ancak lif ilaveli betonlara liflerin köprüleme etkisinden dolayı tepe noktasından sonraki azalış kademeli olarak sıfıra ulaşmıştır. Bu durum Yoo ve ark. [42] tarafından yapılan çalışmaya benzer şekilde ortaya çıkmıştır.



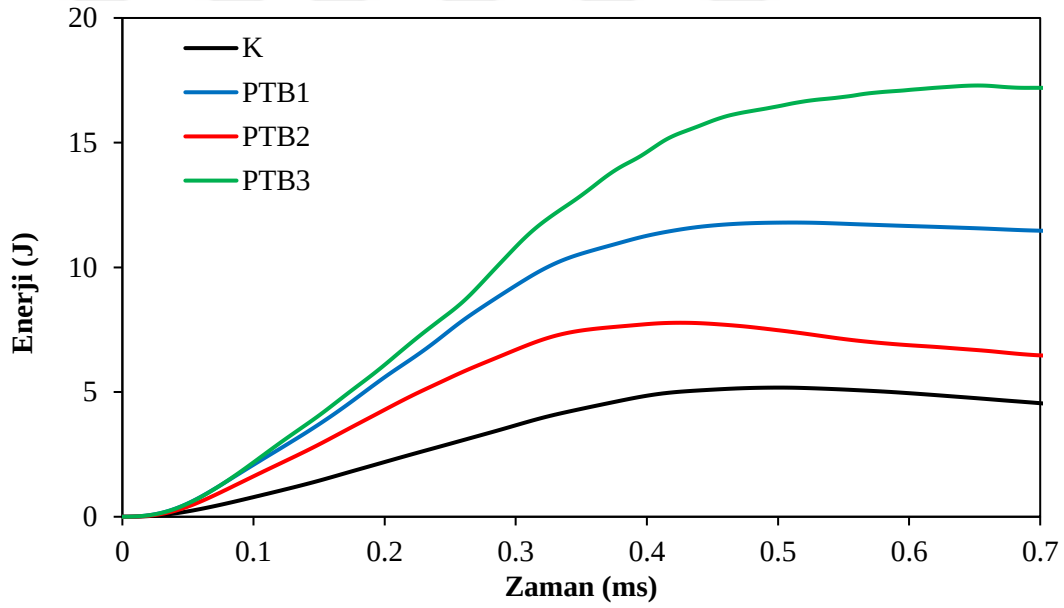
Şekil 7.8 Çelik lifli kiriş numunelerinin ortalama enerji-zaman grafiği

Şekil 7.8'deki enerji-zaman grafiği incelendiğinde lif ilaveli betonların eğrileri yalın betona göre daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu da lif ilaveli betonların enerji yutma kapasitesinin yalın betona göre daha yüksek olduğunu gösterir.



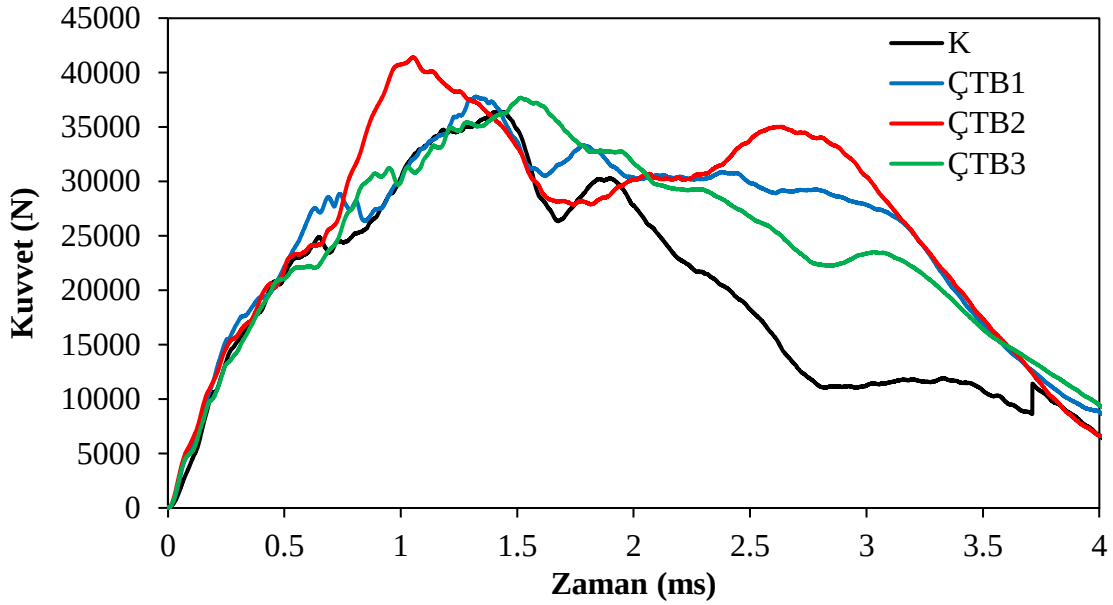
Şekil 7.9 Polipropilen lifli kiriş numunelerinin ortalama kuvvet-zaman grafiği

Şekil 7.9'daki kuvvet-zaman grafiği incelendiğinde yalın betonda 34.69 kN'luk bir kuvvet değeri oluşurken; PTB1, PTB2 ve PTB3 polipropilen lif ilaveli kiriş kuvvet değerleri sırasıyla 37.71 kN, 38.93 kN ve 39.05 kN değerlerine çıkmıştır. Polipropilen lif takviyeli betonların maksimum kuvvet değeri yalın betona kıyasla daha yüksektir. Polipropilen lif ilave miktarı artışıyla da değer artmıştır. En yüksek değer PTB3'de 6 kg/m³ polipropilen lif takviyesinde olmuştur. Kuvvet-zaman grafiğindeki eğriler incelendiğinde lif ilavesi yapılmayan yalın betonlarda tepe noktasından sonra yük sıfıra doğru azalmış ancak lif ilaveli betonlarda liflerin köprüleme etkisinden dolayı tepe noktasından sonraki azalış kademeli olarak sıfıra ulaşmıştır.



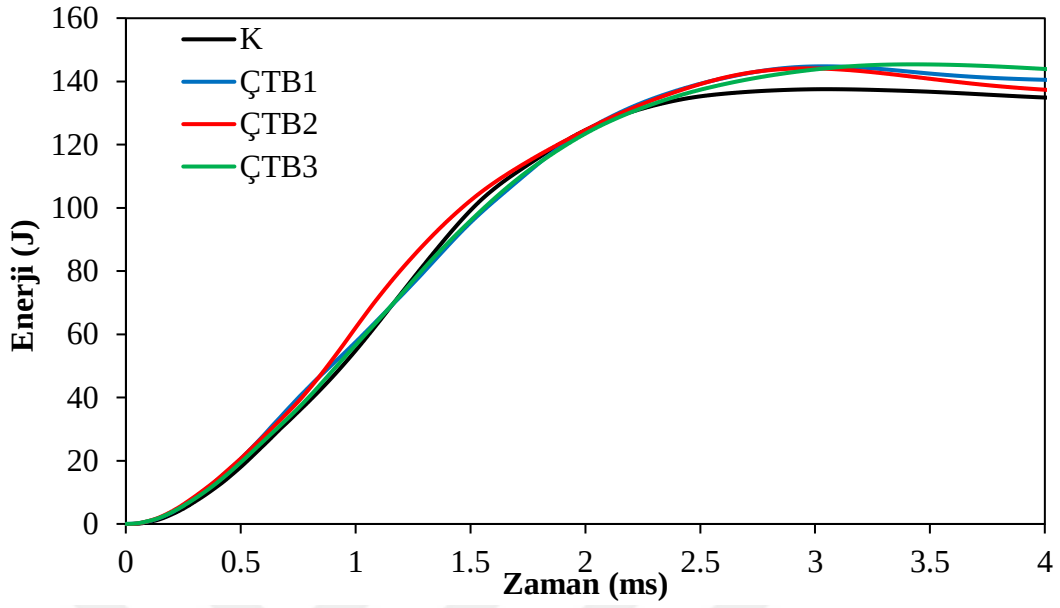
Şekil 7.10 Polipropilen lifli kiriş numunelerinin ortalama enerji-zaman grafiği

Şekil 7.10'daki enerji-zaman grafiği incelendiğinde lif ilaveli betonların eğrileri yalın betona göre daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu da lif ilaveli betonların enerji yutma kapasitesinin yalın betona göre daha yüksek olduğunu gösterir.



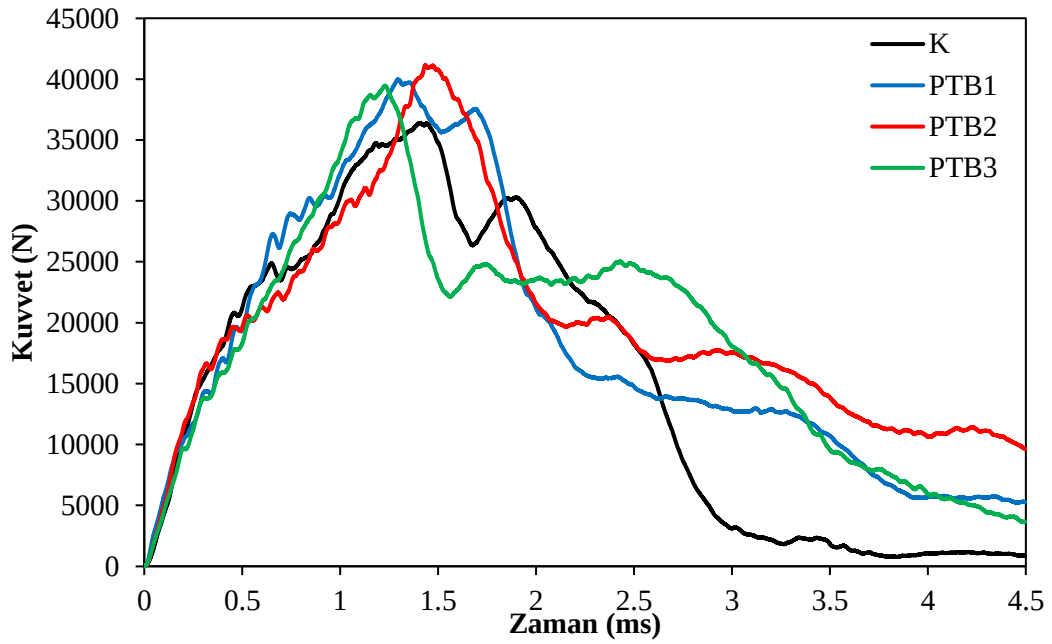
Şekil 7.11 Çelik lifli küp numunelerin ortalama kuvvet-zaman grafiği

Şekil 7.11'deki kuvvet-zaman grafiği incelendiğinde yalın betonda 36.40 kN'luk bir kuvvet değeri oluşurken; ÇTB1, ÇTB2 ve ÇTB3 çelik lif ilaveli küp kuvvet değerleri sırasıyla 37.80 kN, 41.41 kN ve 37.70 kN değerlerine çıkmıştır. Çelik lif takviyeli betonların maksimum kuvvet değeri yalın betona kıyasla daha yüksektir. Çelik lif ilave miktarı arttıkça bu değer ilk önce artmış ÇTB2'den 4 kg/m³ çelik lif ilavesinden sonra bir miktar azalsa da ÇTB3 değeri yalın beton değerinden yüksektir. En yüksek değer ÇTB2'de 39 kg/m³ çelik lif takviyesinde olmuştur. Kuvvet-zaman grafiğindeki eğriler incelendiğinde lif ilavesi yapılmayan yalın betonlarda tepe noktasından sonra yük sıfıra doğru azalmış ancak lif ilaveli betonlara liflerin köprüleme etkisinden dolayı tepe noktasından sonraki azalış kademeli olarak sıfıra ulaşmıştır.



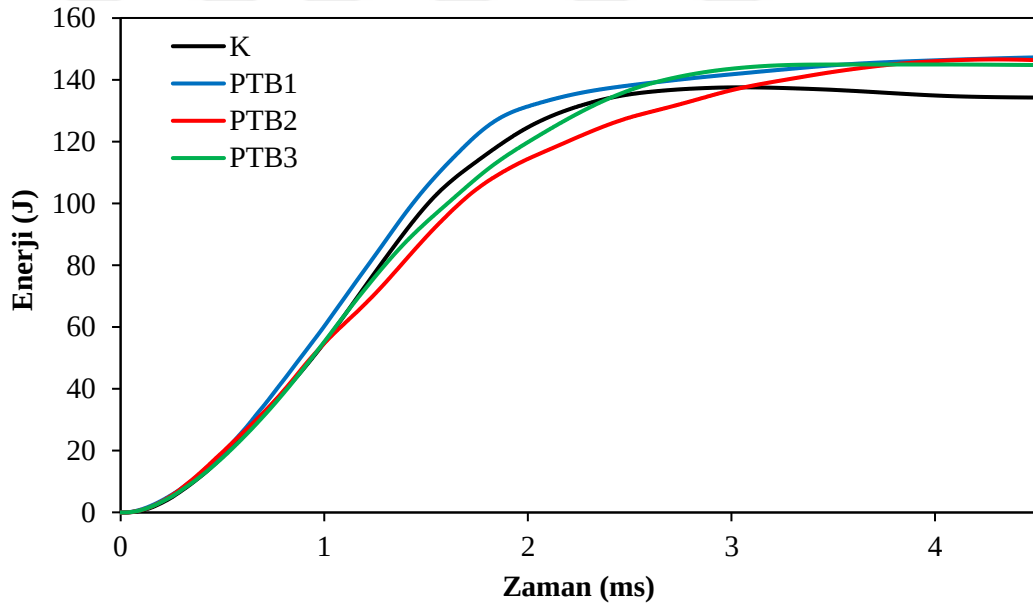
Şekil 7.12 Çelik lifli küp numunelerinin ortalama enerji-zaman grafiği

Şekil 7.12'deki enerji-zaman grafiği incelendiğinde lif ilaveli betonların eğrileri yalın betona göre daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu da lif ilaveli betonların enerji yutma kapasitesinin yalın betona göre daha yüksek olduğunu gösterir.



Şekil 7.13 Polipropilen lifli küp numunelerinin ortalama kuvvet-zaman grafiği

Şekil 7.13'teki kuvvet-zaman grafiği incelendiğinde yalın betonda 36.40 kN'luk bir kuvvet değeri oluşurken; PTB1, PTB2 ve PTB3 polipropilen lif ilaveli küp kuvvet değerleri sırasıyla 39.99 kN, 41.15 kN ve 39.47 kN değerlerine çıkmıştır. Polipropilen lif takviyeli betonların maksimum kuvvet değeri yalın betona kıyasla daha yüksektir. Polipropilen lif ilave miktarı artışıyla da değer artmıştır. En yüksek değer PTB2'de 4 kg/m³ polipropilen lif takviyesinde olmuştur. Kuvvet-zaman grafiğindeki eğriler incelendiğinde lif ilavesi yapılmayan yalın betonlarda tepe noktasından sonra yük sıfıra doğru azalmış ancak lif ilaveli betonlara liflerin köprüleme etkisinden dolayı tepe noktasından sonraki azalış kademeli olarak sıfıra ulaşmıştır.

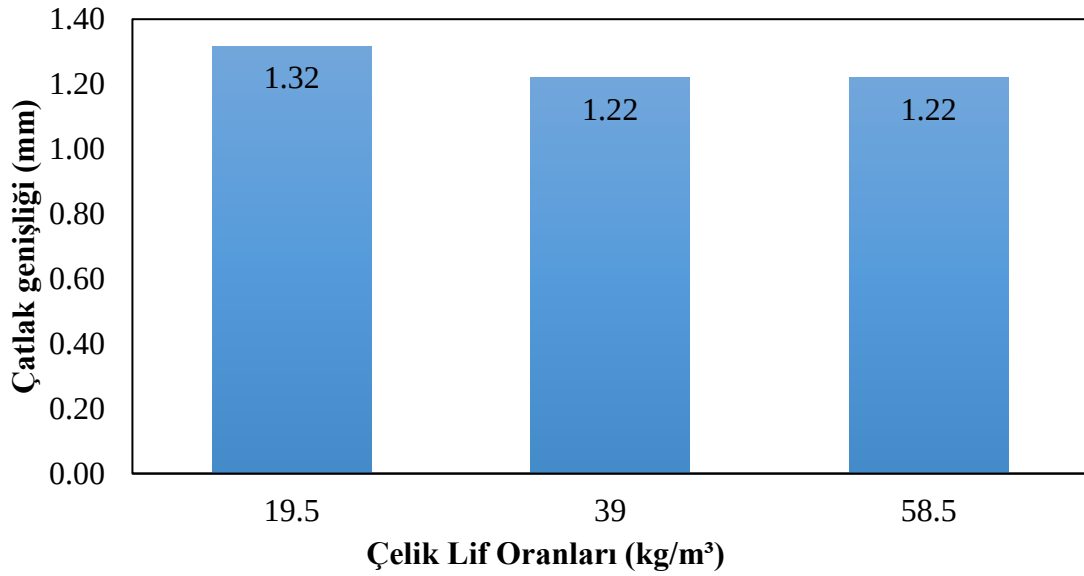


Şekil 7.14 Polipropilen lifli küp numunelerinin ortalama enerji-zaman grafiği

Şekil 7.14'teki grafik incelendiğinde lif ilaveli betonların eğrileri yalın betona göre daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu da lif ilaveli betonların enerji yutma kapasitesinin yalın betona göre daha yüksek olduğunu gösterir.

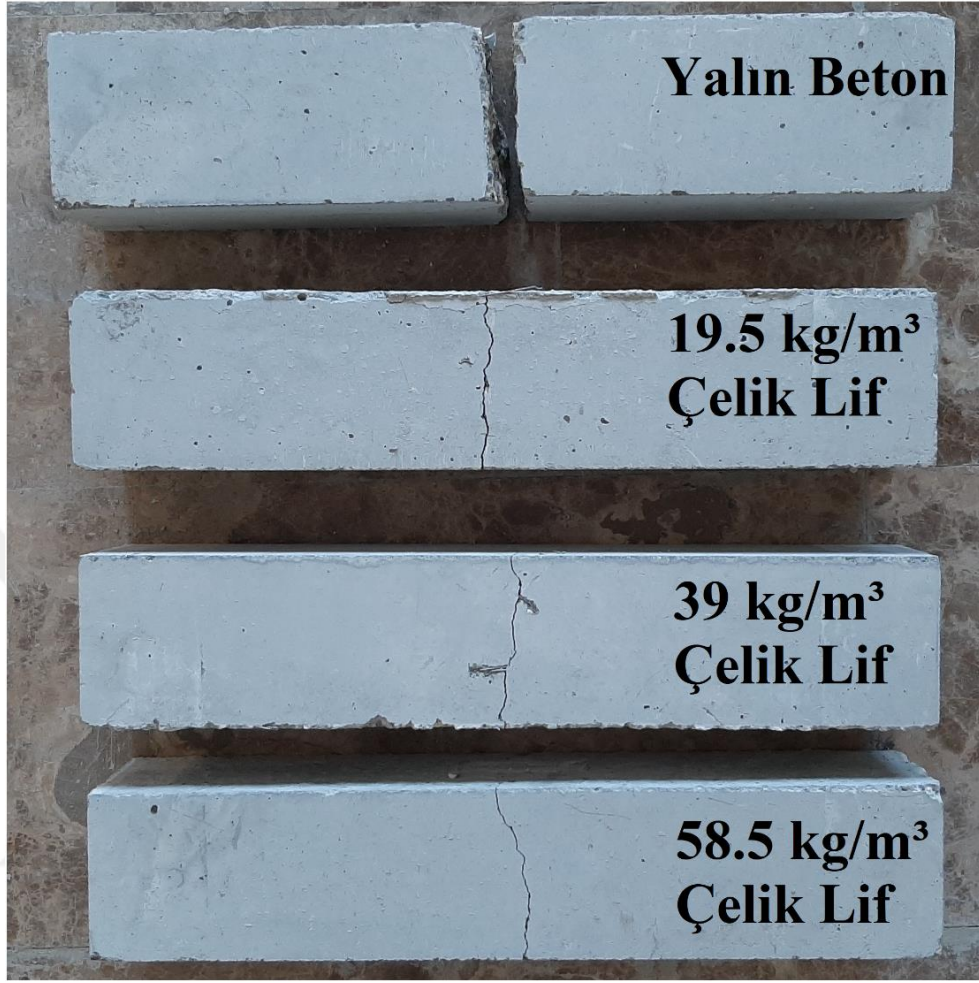
7.5 Darbe Sonrası Oluşan Çatlak Genişlikleri

Aletli ağırlık düşürme deneyi sonrasında meydana gelen çatlaklar ölçülerek çelik lif ilavesinin çatlak genişlikleri ortalama olarak Şekil 7.15'te verilmiştir. Ağırlık düşürme deneyi sonrasında çelik lif ilaveli kiriş numunelerin durumu Resim 7.3'te, çelik lif ilaveli küp numunelerin durumu ise Resim 7.4'te verilmiştir. Çelik lif ilavesi yapılmayan kontrol numunesi iki parçaya ayrılmıştır.

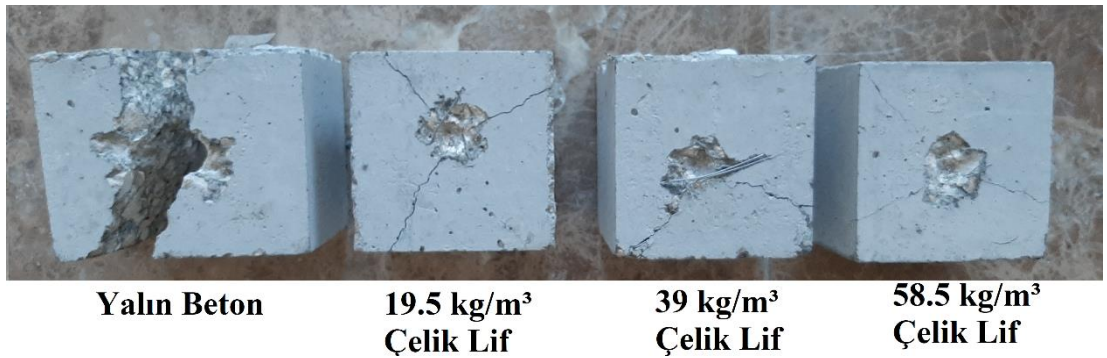


Şekil 7.15 Çelik lifli kiriş numunelerinin ortalama çatlak genişliği

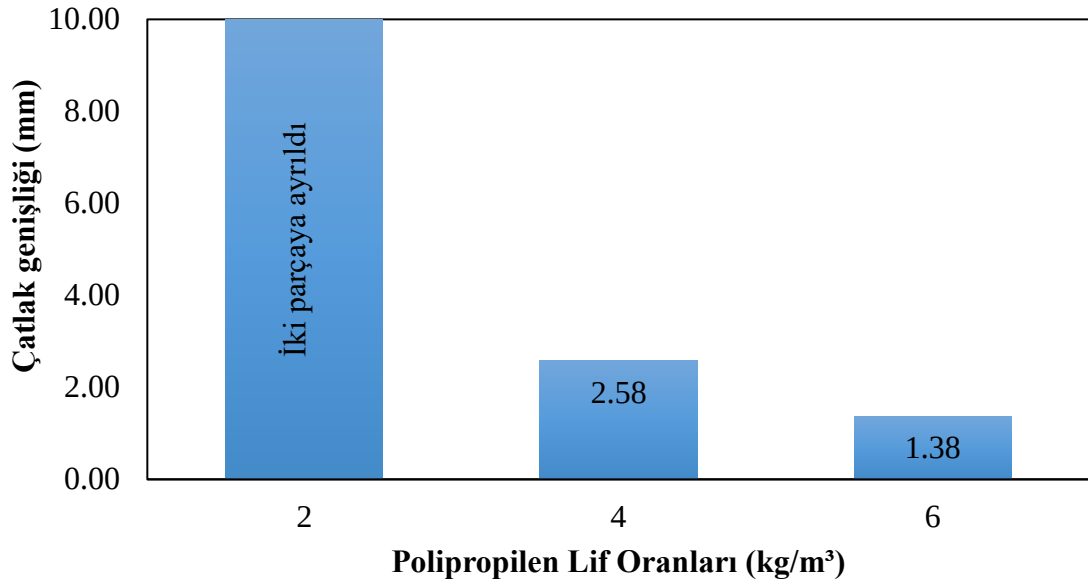
Deney sonrasında oluşan çatlak genişliklerinin incelenmesi sonucunda yalın betonlu kontrol numunelerinin iki parçaya ayrıldığı görülürken çelik lif ilavesi ile kirişlerin iki parçaya ayrılmadığı ve 1.22 mm ile 1.32 mm arasında çatlaklar oluştuğu görülmektedir. Görüldüğü üzere çelik lif ilavesi kirişlerin darbe etkisinde iki parçaya ayrılmasını engellemektedir. Çelik lif oranlarına göre çatlak büyüklükleri incelendiğinde 39 ve 58.5 kg/m³ oranlarında oluşan çatlakların aynı olduğu ve 19.5 kg/m³ oranına göre daha az çatlak oluştuğu ortaya çıkmaktadır.



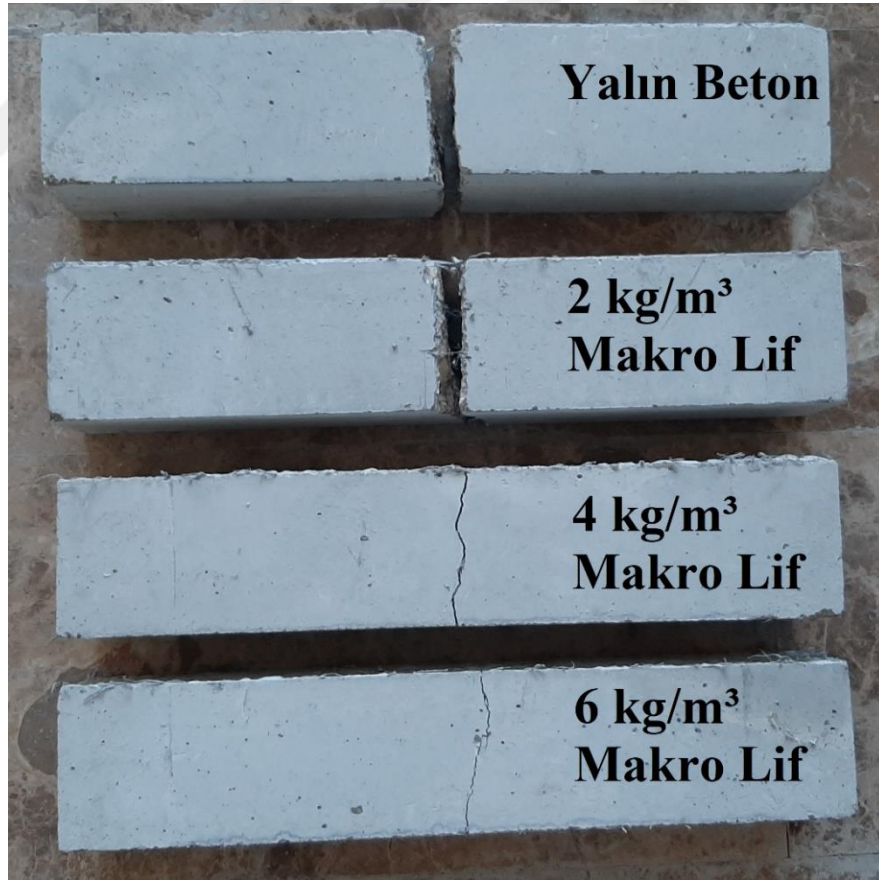
Resim 7.3 Çelik lif ilaveli ve kontrol, kiriş numunesinin aletli ağırlık düşürme deneyi sonrasındaki durumu



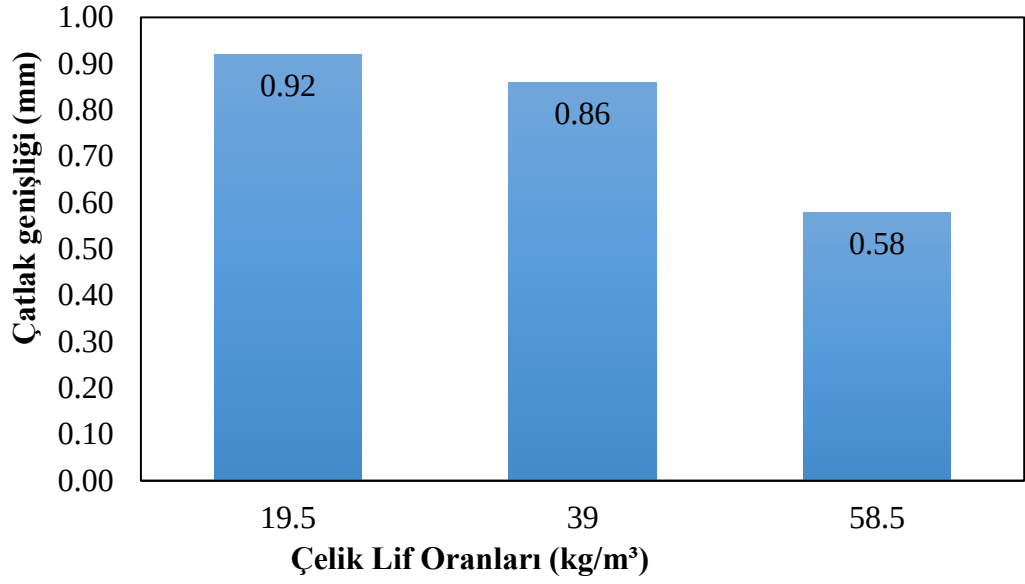
Resim 7.4 Çelik lif ilaveli ve kontrol, küp numunesinin aletli ağırlık düşürme deneyi sonrasındaki durumu



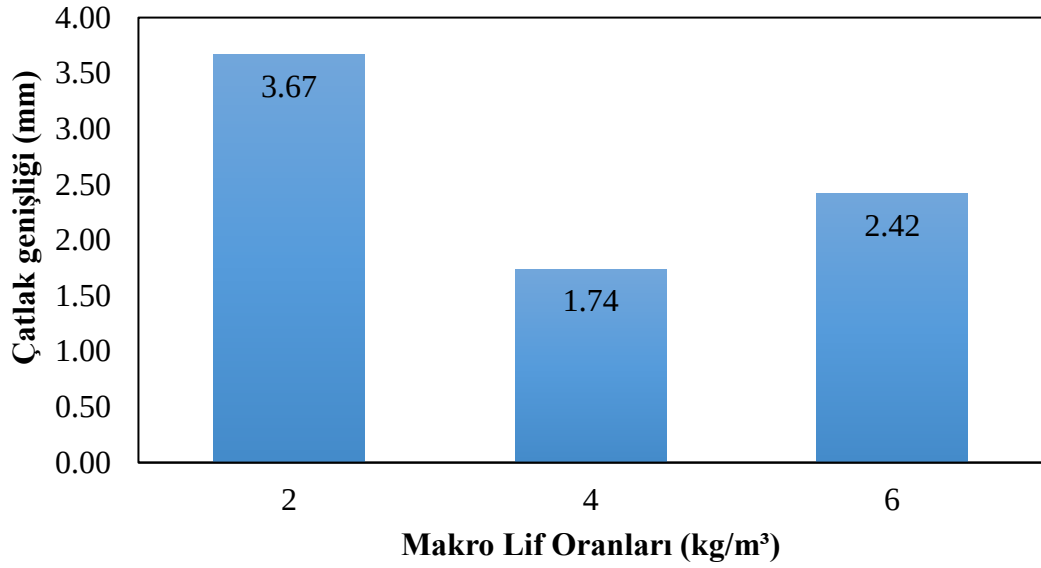
Şekil 7.16 Polipropilen lifli kiriş numunelerinin ortalama çatlak genişliği



Resim 7.5 Polipropilen lif ilaveli ve kontrol, kiriş numunesinin aletli ağırlık düşürme deneyi sonrasındaki durumu



Şekil 7.17 Çelik lifli küp numunelerinin ortalama çatlak genişliği



Şekil 7.18 Polipropilen lifli küp numunelerinin ortalama çatlak genişliği

**Yalın Beton****2 kg/m³****Polipropilen Lif****4 kg/m³****Polipropilen Lif****6 kg/m³****Polipropilen Lif**

Resim 7.6 Polipropilen lif ilaveli ve kontrol, küp numunesinin aletli ağırlık düşürme deneyi sonrasındaki durumu

8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada çelik lif ilaveli betonlar ve polipropilen lif ilaveli betonların darbe etkilerine karşı davranışlarının araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda lif ilavesinin beton basınç dayanımına, çekme mukavemetine, ağırlık düşürmeye karşı etkisi araştırılmıştır. Yapılan bu çalışma ile özellikle askeri yapılar başta olmak üzere ani darbe yüklerine maruz kalabilecek yapı elemanlarında darbe etkilerine karşı koyabilecek bir beton elde etmek hedeflenmiştir. Deneylerde lif oranlarının etkilerini ortaya koymak amacıyla üç farklı çelik lif oranı (19.5, 39, 58.5kg/m³), üç farklı polipropilen lif oranı (2, 4, 6 kg/m³) ve yalın beton (kontrol betonu) olmak üzere 7 farklı karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan bu karışımlar kullanılarak 100x100x100 mm küp ve 100x100x500 mm kiriş numuneler üretilmiştir. Bu numuneler 28 gün küre tabi tutulmuş ve sonrasında çeşitli deneyler yapılmıştır.

Deneylerden elde edilen veriler ışığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- ✓ Çelik lif ilaveli betonlarda en yüksek basınç dayanımı %0.75 (58.5 kg/m³) çelik lif oranında olmuştur. Çelik lif ilaveli betonlarda lif oranının artması ile basınç dayanımının da arttığı görülmüştür. Polipropilen lif ilaveli betonlarda en yüksek basınç dayanımı 2 kg/m³ polipropilen lif oranında olmuştur. polipropilen lif ilaveli betonların dayanımlarının tümü yalın betonlu kontrol numunelerine göre daha büyük çıktığı görülmüştür.
- ✓ Ultrases geçiş hızlarının incelenmesi sonucunda, yalın beton numunelerine kıyasla, çelik lifli betonlarda ultrases geçiş hızlarının azaldığı, polipropilen lifli betonlarda ise ultrases geçiş hızı ilk önce arttığı daha sonra da azaldığı görülmüştür. Bununla birlikte genel olarak ultrases geçiş hızlarının birbirine göre çok yakın olduğu görülmektedir. Çelik lifin yoğunluğunun betonun yoğunluğundan fazla olmasına rağmen ultra ses geçiş hızlarının azalması durumun işlenebilirlikten kaynaklandığı tahmin edilmektedir.
- ✓ Üç nokta yükleme test sonuçlarına göre en yüksek eğilmede çekme mukavemeti çelik lifli betonlarda %0.75 (58.5 kg/m³) çelik lif oranında olurken polipropilen lifli betonlarda ise 2 kg/m³ polipropilen lif oranında olmuştur.

Deney sonuçları hem çelik lif katkısının hem de polipropilen lif katkısının eğilme de çekme dayanımını az da olsa arttırdığını göstermiştir.

- ✓ Kirişler üzerinde kirişleri eğilmeye zorlayacak şekilde yapılan aletli ağırlık düşürme test sonuçlarına göre kuvvetin zamanla değişimi incelendiğinde en yüksek kuvvet değeri çelik lif ilaveli kirişler içerisinde %0.75 (58.5 kg/m³) çelik lif oranında ortaya çıkarken polipropilen lif ilaveli kirişler içerisinde ise 6 kg/m³ oranında oluşmaktadır. Çelik lif ve polipropilen lif ilavesi kuvvetin zamanla değişim grafiğinde tepe noktasını arttırmıştır. Lif ilavesi aynı zamanda tepe noktasına ulaşıldıktan sonra eğrinin sıfıra yaklaşma eğilimini de azaltmış olup eğri yalın betonda hızlıca sıfıra giderken lif ilavesinde ise daha yavaş bir şekilde sıfıra doğru yaklaşmıştır
- ✓ Küpleri noktasal bir yük ile zorlayacak şekilde yapılan aletli ağırlık düşürme test sonuçlarına göre kuvvetin zamanla değişimi incelendiğinde en yüksek kuvvet değeri çelik lif ilaveli küp numunelerde %0.50 (39 kg/m³) oranında ortaya çıkarken polipropilen lif ilaveli küp numuneler içerisinde ise 4 kg/m³ oranında ortaya çıkmıştır. Çelik lif ve polipropilen lif ilavesi kuvvetin zamanla değişim grafiğinde tepe noktasını arttırmıştır. Lif ilavesi aynı zamanda tepe noktasına ulaşıldıktan sonra eğrinin sıfıra yaklaşma eğilimini de azaltmış olup eğri yalın betonda hızlıca sıfıra giderken lif ilavesinde ise daha yavaş bir şekilde sıfıra doğru yaklaşmıştır.
- ✓ Aletli ağırlık düşürme deneylerinde gerek kiriş eğilmesinde gerekse küplerin noktasal yüklenmesinde liflerin betonda ani kırılmayı önlediği görülmüştür. Çelik lif ve polipropilen lif kıyaslandığında çelik lifin daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.
- ✓ Aletli ağırlık düşürme deneylerinde gerek kiriş eğilmesinde gerekse küplerin noktasal yüklenmesinde lif ilavesinin betonun enerji yutma kapasitesini arttırdığı görülmüştür.
- ✓ Numunelerde deney sonrasında meydana gelen çatlaklar ölçüldüğünde hem çelik lif ilavesinde hem polipropilen lif ilavesinde, lif miktarı artıkça çatlak genişliğinin azaldığı görülmüştür.

- ✓ Aletli ağırlık düşürme deneylerinde gerek kirişler gerekse küpler üzerinde yapılan deneylerde oluşan çatlak genişliklerinin incelenmesi sonucunda, yalın betonlu kiriş ve küplerin iki parçaya/parçalara ayrıldığı görülmüştür. Ayrıca polipropilen ilavesi ile birlikte 2 kg/m^3 oranındaki kirişlerin de iki parçaya ayrıldığı tespit edilmiştir. Bunların dışındaki tüm numunelerin ise parçalanmadığı ve çatlaklar oluştuğu görülmüştür. Görüldüğü üzere çelik lif ilavesinin kirişlerin darbe etkisinde iki parçaya/parçalara ayrılmasını engellemektedir.
- ✓ Beton basınç dayanımları, ultrases geçiş hızları, eğilmede çekme dayanımları, aletli ağırlık düşürme deney verileri ve hasar sonrası oluşan çatlak genişlikleri göz önüne alındığında çelik lif ilaveli beton karışımları içerisindeki en ideal olan karışımın %0.50 (39 kg/m^3) oranı olduğu polipropilen lif ilaveli karışımlarda ise en ideal karışımın 4 kg/m^3 oranı olduğu tahmin edilmektedir.

Bu çalışma sonucunda çelik lif ve polipropilen lif ilaveli betonların askeri yapılarda, havalimanlarında, yollarda vb. alanlarda kullanılması durumunda bu tür lif takviyesinin yapı elemanlarını daha güvenli hale getirebileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] M. Sarı, "Farklı tipteki liflerin betonun mekanik davranışına etkisi", Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2013.
- [2] G. Kurt, "Lif içeriği ve su/çimento oranının fibrobetonun mekanik davranışlarına etkileri", Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2006.
- [3] M. Aral, " Karma lif içeren çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı bir optimum tasarım", Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2006.
- [4] K. Türker, T. Birol, A. Yavaş ve U. Hasgöl, "Ultra yüksek performanslı lifli beton içeren kirişlerde etkin çelik lif tipi incelenmesi", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik bilimleri dergisi*, pp. 776-785, 2017.
- [5] M. Caf, "Polipropilen ve çelik lifli betonların darbe dayanımı", Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi, 2012.
- [6] F. Korkut, Z.F. Türkmenoğlu, R.B. Taymuş ve S. Güler, "Çelik ve sentetik liflerin kendiliğinden yerleşen beton taze ve meknik özellikleri üzerine etkisi", *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 6, no. 2, pp. 560-570, 2017.
- [7] H. Yiğiter, "Çelik lif kullanımının yüksek performanslı betonların süneklik özelliğine etkisi", Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, 2002.
- [8] E. Salami, "Çelik liflerin farklı dayanıma sahip betonların mekanik özelliklerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi", Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2009.
- [9] P. Pourhossein, "Yüksek dayanımlı çelik lifli betonarme kiriş ve kolonlarda çatlamlar göz önüne alınarak deplasmanların belirlenmesi", Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, 2012.
- [10] E. Zeynal, "Çelik lif ve s/ç oranlarının çelik lifli betonların darbe mukavemetine ve mekanik özelliklerine etkisi", Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi, 2008.
- [11] A. O. Atahan ve A. Ö. Yücel, "Crumb rubber in concrete: static and dynamic evaluation", *Construction And Building Materials*, vol. 36, pp. 617–622, 2012.
- [12] P.S. Song ve S. Hwang, "Mechanical properties of high-strength steel fiber-reinforced concrete", *Construction And Building Materials*, vol. 18, pp. 669–673, 2004.

- [13] M. C. Nataraja, N. Dhang ve A.P. Gupta, "Stress-strain curves for steel-@ber reinforced concrete under compression", *Cement & Concrete Composites*, vol. 21 ,pp. 383-390, 1999.
- [14] İ. B. Topçu ve A. R. Boğa, "Uçucu kül ve çelik liflerin beton ve beton borularda kullanımı", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol.18,no.2, pp. 1-14,2005.
- [15] O. Ünal, T. Uygunoğlu ve O. Gençel, "Çelik liflerin beton basınç ve eğilme özelliklerine etkisi", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, pp.23-30, 2006.
- [16] N.Çevik, "Bazalt elyafların beton yollarda kullanılabilirliği", Yüksek lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi, 2014.
- [17] M. Sayer, "Hibrit kompozitlerin darbe davranışlarının incelenmesi", Doktora tezi, Pamukkale Üniversitesi, 2009.
- [18]"Deneyde kullanılan ağırlık düşürme test cihazı", instron.us,<https://www.instron.us/-/media/literature-library/products/2010/02/ceast-9300-series.pdf>. [Erişim tarihi: 21- Aralık- 2020].
- [19] Z.F. Türkmenoğlu ve O.O. Varol, "Lifli beton türleri ve kullanım alanları", *1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016)* Çukurova University, Adana, pp. 3792-3795, 2016.
- [20] H. Yaprak, O. Şimşek ve A. Öneş, "Cam ve çelik liflerin bazı beton özelliklerine etkisi", *Politeknik Dergisi*, Cilt: 7 Sayı: 4 s. 353-358, 2004.
- [21] K.K. Chawla, *Composite materials: science and engineering*. Springer Science & Business Media,2012.
- [22] F. Mili ve B. Necib, "Impact behavior of cross-ply laminated composite plates under low velocities." *Composite structures*, vol. 51, no. 3, 237-244, 2001.
- [23] S.T. Jenq, ve J.J. Mo, "Ballistic impact response for two-step braided three-dimensional textile composites", *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, vol. 34, no. 32, pp. 375-384,1996.
- [24] M. Yardımcı, "Çelik lifli kendiliğinden yerleşen betonların reolojik mekanik kırılma parametrelerinin araştırılması ve optimum tasarımı", Dokuz Eylül Üniversitesi, Doktora tezi, İzmir, 2007.

- [25] O. Şimşek, *Beton ve Beton Teknolojisi*, Seçkin Yay. San. ve Tic. A.Ş, Ankara, 242s, 2004.
- [26] M. Kozak, "Çelik lifli betonlar ve kullanım alanlarının araştırılması", Süleyman Demirel Üniversitesi, *Teknik Bilimler Dergisi*, 5:3:26-35, Isparta, 2013.
- [27] D. D. Chung, "Dispersion of short fibers in cement", *Journal of materials in civil engineering*, vol.17,no.4, 379-383, 2005.
- [28] ACI 544.2R, Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete, 2009.
- [29] O. Uyanık ve S. Tezcan, "Beton dayanımının ultrasonik yöntemle tayini", Jeofizik Bülteni, 23(70), 41-45, 2012.
- [30] TS 802, Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2016.
- [31] TS EN 12390-1, Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 1: Deney Numunesi ve Kalıplarının şekil, Boyut ve Diğer Özellikleri, Türk Standartları Enstitüsü, 2014.
- [32] TS EN 12390-3, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2019.
- [33] TS EN 12390-5, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2019.
- [34] TS 10514, Lif Takviyeli Betonun Karışım Oranları ve İmalatı İçin Kurallar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2015.
- [35] TS 14889-1, Lifler – Betonda Kullanım için – Bölüm 1: Çelik Lifler – Tarifler, Özellikler ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2006.
- [36] TS EN 12350-7, Beton - Taze Beton Deneyleri - Bölüm 7: Hava İçeriğinin Tayini - Basınç Yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2019.
- [37] TS EN 12350-2, Beton - Taze Beton Deneyleri - Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2019.
- [38] TS EN 14651, Metal lifli beton - Deney yöntemi - Eğilmede çekme dayanımının tayini(Kalıcı orantısal sınır (LOP)), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2008.

- [39] TS 2511, Taşıyıcı hafif betonların karışım hesap esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2017.
- [40] D.Yooa, N. Banthiab, "Impact resistance of fiber-reinforced concrete – A review", Cement and Concrete Composites,104, 2019.
- [41] IS13311 Non-Destructive Testing of Concrete, India, 2004
- [42] Yoo, D-Y., Gohil, U., Gries, T., Yoon, Y.S, "Comparative low-velocity impact response of textile-reinforced concrete and steel-fiber-reinforced concrete beams", Journal of Composite Materials, 50(17), 2421-2431,2015.

