

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

ATIK METAL LİFLERİN BETONDA KULLANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yunus Emre ARSLANTÜRK

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Metin İPEK

AĞUSTOS 2021

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ATIK METAL LİFLERİN BETONDA KULLANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yunus Emre ARSLANTÜRK

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 03/08/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ	BAŞARILI
Üye: Prof. Dr. Metin İPEK	BAŞARILI
Üye: Doc. Dr. Ferhat AYDIN	BAŞARILI

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Yunus Emre ARSLANTÜRK
30/06/2021

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında benden yardımlarını esirgemeyen, ekstra teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Metin İPEK'e teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış gösteren ve yardımlarını esirgemeyen Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi İnşaat Mühendisliği laboratuvar çalışanı Sami GÜRSES'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tezimin deneysel çalışmalarında malzeme tedariki ve malzemenin hazırlanması için benden yardımını esirgemeyen arkadaşlarım Ferhat ÜNLÜ, Ayhan TÜRK ve Mustafa KOCA'ya ardından tezin deneysel aşamaları ve yazımında bana elinden gelen her türlü yardımı yapan arkadaşım ve şu anda da Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmakta olan İrfan Şehrullah ÖZTÜRK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak ve en önemlisi hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her durumda yanımda olup bu günlere gelmemde ki en büyük pay sahibi, haklarını asla ödeyemeyeceğim çok değerli aileme teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

BEYAN.....	iii
TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
KISALTMALAR	iv
SİMGELER.....	v
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	x

BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1

BÖLÜM 2.	
LİFLİ BETON VE ATIK METAL HAKKINDA BİLGİLER.....	3
2.1. Beton ve Bileşenleri Hakkında Genel Bilgiler	3
2.2. Lifli Betonun Kısa Tarihçesi.....	5
2.3. Lif Takviyeli Betonlar	6
2.4. Betonda Kullanılan Lif Çeşitleri	8
2.4.1. Çelik lifli beton.....	9
2.4.1.1. Çelik lifli beton tanımı ve teknik özellikleri	9
2.4.1.2. Çelik liflerin sınıflandırılması ve performansları	10
2.4.1.3. Beton içerisinde çelik liflerin davranışı	11
2.4.1.4. Çelik lif katkılı betonların kullanım alanları	14
2.4.1.5. Çelik lifli betonların mekanik davranışı.....	15
2.5. Atık Malzemeler Hakkında Genel Bilgiler	19
2.6. Geri Dönüşüm Hakkında Genel Bilgiler ve İnşaat Sektöründeki Önemi	20
2.7. Kale Kilit Firmasının Galvaniz Atık Metalleri	22

BÖLÜM 3.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	24
3.1. Kullanılan Malzemeler ve Metot.....	24
3.1.1. Agrega.....	24
3.1.2. Çimento.....	25
3.1.3. Çelik lif	26

3.1.4. Atık metal lif	27
3.1.5. Karışım suyu	32
3.1.6. Kimyasal katkı.....	32
3.2. Beton Karışım Hesabı ve Numunelerin İsimlendirilmesi.....	33
3.3. Deneysel Numunelerinin Hazırlanması ve Kürlenmesi.....	34
3.4.1. Çekme deneyi.....	36
3.4.2. Taze beton deneyleri.....	37
3.4.2.1. Çökme (Slump) deneyi	37
3.4.3. Sertleşmiş beton deneyleri	38
3.4.3.1. Birim hacim ağırlık	38
3.4.3.2. Ultrases geçiş hızı deneyi.....	38
3.4.3.3. Basınç dayanımı	39
3.4.3.4. Eğilme dayanımı	40

BÖLÜM 4.

DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ42

4.1. Çekme Deneyi Sonuçları ve Değerlendirilmesi	42
4.2 Birim Hacim Ağırlık Deneyi Sonuçları.....	43
4.3. Çökme Deneyi Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	45
4.4. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi ve Sonuçları.....	46
4.5. Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları ve Değerlendirilmesi	48
4.5.1. Basınç Dayanımı- Ultrases Geçiş Hızı İlişkisi.....	50
4.6. Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	52
4.6.1. Eğilme Dayanımı – Ultrases Geçiş Hızı İlişkisi.....	54
4.6.2. Eğilme Dayanımı – Basınç Dayanımı İlişkisi.....	56
4.6.3. Kırılma tokluğu sonuçları ve değerlendirilmesi.....	58
4.6.3.1 Çelik lif ile atık lifin kırılma tokluğunun grafiklerle karşılaştırılması	59
4.7. Elastik Şekil Değiştirme İndislerinin Hesaplanması ve Değerlendirilmesi.....	63
4.8. Liflerin Maliyet Etkisi	66
4.8.1. Basınç Dayanımı / Birim Dayanım Maliyeti Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi.....	66
4.8.2. Eğilme Dayanımı / Birim Dayanım Maliyeti Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi.....	67

BÖLÜM 5.

SONUÇ VE ÖNERİLER69

KAYNAKLAR.....72

KISALTMALAR

A	: Atık Metal Lifli Beton Numunesi
AL	: Endüstriyel Atık Metal Lif
B	: 7.5 x 7.5 x 50 Kiriş Numunesi
C	: 10 x 10 Küp Numunesi
Ç	: Endüstriyel Çelik Lifli Beton Numunesi
ÇL	: Endüstriyel Çelik Lif
R	: Şahit (Referans) Beton Numunesi

SİMGELER

P	: Yük
l	: Uzunluk
t	: Zaman
d	: Çap
l/d	: Boy/Çap Oranı
σ_b	: Basınç Dayanımı
$\sigma_{eğilme}$: Eğilme Dayanımı
M	: Eğilme Momenti
W	: Mukavemet Momenti
ϵ	: Birim Uzama

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1: Liflerin farklı türlerine ait mekanik ve fiziksel özellikler.	8
Tablo 2.2: Lif kullanımıyla betonun mekanik özelliklerinde meydana gelen ortalama değişimler	19
Tablo 3.1: Çimentonun özellikleri.....	26
Tablo 3.2: Dramix4D geometrik ve mekanik özellikleri	27
Tablo 3.3: Gzr 1311 Kalite numaralı sacların içerisindeki kimyasal elementler	27
Tablo 3.4: Kimyasal Katkının Teknik Özellikleri	33
Tablo 3.5: 1m ³ beton için gerekli malzemeler miktarları	34
Tablo 3.6: Betonun kalitesi ile ultrases geçiş hızı sonuçlarının arasındaki ilişki	39
Tablo 4.1: Atık Liflerin Çekme Deneyi Sonuçları	42
Tablo 4.2: Sertleşmiş beton birim hacim ağırlık sonuçları	44
Tablo 4.3: TS EN 206:2013+A1 standardına göre çökme sınıfları	45
Tablo 4.4: Çökme deneyi sonuçları	45
Tablo 4.5: Ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları	47
Tablo 4.6: Beton basınç dayanım deneyi sonuçları ve değişim yüzdeleri	49
Tablo 4.7: Betonun basınç ve ultrases geçiş hızı sonuçları	51
Tablo 4.8: Numunelerin eğilme dayanımı ve değişim oranları sonuçları	53
Tablo 4.9: Betonun basınç ve eğilme dayanımı sonuçları	55
Tablo 4.10: Betonun basınç ve eğilme dayanımı sonuçları	56
Tablo 4.11: Numunelerin eğilme tokluğu değerleri	59
Tablo 4.12: TS 10515'e göre elastik şekil değiştirme indislerinin sınır değerleri	63
Tablo 4.13: Numunelerin İ ₅ , İ ₁₀ ve İ ₂₀ indisleri.....	65
Tablo 4.14: Numunelerin basınç dayanımı / birim dayanım maliyeti sonuçları	67
Tablo 4.15: Numunelerin eğilme dayanımı / birim dayanım maliyeti sonuçları	68

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1: Betonun özelliklerini etkileyen faktörler	4
Şekil 2.2: Yalın beton ile lifli betonun gerilme-şekil değiştirme diyagramı	7
Şekil 2.3: Çelik liflerin şekilleri	10
Şekil 2.4: Çelik lifli betonlarda gerilme aktarımı	12
Şekil 2.5: Yalın beton ile lifli betonun çatlaklara karşı gösterdiği davranış	12
Şekil 2.6: Lif Oranının Gerilme-Şekil Değiştirme Diyagramına Etkisi	15
Şekil 2.7: Çelik lifli betonların eğilmede yük – deplasman eğrisi	17
Şekil 3.1: Tane büyüklüğü en fazla 16,0 mm olan agregalardan oluşan beton için belirlenen agrega tane büyüklüğü dağılımı eğrisine ait sınırlar	25
Şekil 3.2: Dramix4D çelik lif model bilgileri	26
Şekil 3.3: Çelik kalıbın 3D görüntüsü	28
Şekil 3.4: Çelik kalıp	28
Şekil 3.5: Numunelerin gerekli uzunlukta kesilmesi	29
Şekil 3.6: Numunelerin preslenip uygun forma getirilmesi	29
Şekil 3.7: Atık lifin boyut ve ağırlığının ölçümleri	31
Şekil 3.8: Atık lifin öncesi ve sonrası	32
Şekil 3.9: Numunelerin kalıplara yerleştirilmesi, kalıplardan sökülmesi ve kür havuzuna yerleştirilmesi	36
Şekil 3.10: Atık liflerin çekme deneyi sırasında ve sonrasındaki halleri	37
Şekil 3.11: Betonda çökme (slump) deneyi	38
Şekil 3.12: Ultrases geçiş hızı deneyi	39
Şekil 3.13: Beton numunelerin basınç dayanımı ve sonrasındaki halleri	40
Şekil 3.14: Eğilme dayanımı deneyi	41
Şekil 4.1: Atık Liflerin σ - ϵ grafiği	43
Şekil 4.2: Yalın, çelik lifli ve atık lifli numunelerin birim hacim ağırlık sonuçları ...	44
Şekil 4.3: Yalın, çelik lifli ve atık lifli numunelerin çökme deneyi sonuçları	46
Şekil 4.4: Yalın, çelik lifli ve atık lifli numunelerin ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları	48
Şekil 4.5: Yalın, çelik lifli ve atık lifli numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları	50
Şekil 4.6: Çelik lif katkılı numunelerin basınç dayanımı – ultrases geçiş hızı ilişkisi	51
Şekil 4.7: Atık lif katkılı numunelerin basınç dayanımı – ultrases geçiş hızı ilişkisi ..	52
Şekil 4.8: Yalın, çelik lifli ve atık lifli numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları	54
Şekil 4.9: Çelik lif katkılı numunelerin eğilme dayanımı – ultrases geçiş hızı ilişkisi	55

Şekil 4.10. Atık lif katkılı numunelerin eğilme dayanımı – ultrases geçiş hızı ilişkisi	55
Şekil 4.11. Çelik lif katkılı numunelerin basınç dayanımı – eğilme dayanımı ilişkisi	57
Şekil 4.12. Atık lif katkılı numunelerin basınç dayanımı – eğilme dayanımı ilişkisi	57
Şekil 4.13: %1 lif katılım oranında ki numunelerin eğilme dayanımı sonrasındaki halleri	58
Şekil 4.14: Şahit beton numunelerinin ortalama yük-sehim eğrisi	60
Şekil 4.15: Lif katılım oranı %0,5 olan numuneler için yük-sehim eğrisi	60
Şekil 4.16: Lif katılım oranı %1 olan numuneler için yük-sehim eğrisi	61
Şekil 4.17: Lif katılım oranı %1,5 olan numuneler için yük-sehim eğrisi	61
Şekil 4.18: Lif katılım oranı %2 olan numuneler için yük-sehim eğrisi	62
Şekil 4.19: Eğilmede kırılma tokluğunun yük-deplasman eğrisi	63



ATIK METAL LİFLERİN BETONDA KULLANIMI

ÖZET

Bu çalışmada ki asıl amaç betonun mekanik özelliklerine olumlu yönde etki sağlaması için kullanılan çelik lifler yerine Kale Kilit firmasının teknolojik firelerinin piyasada bulunan çelik lifler ile aynı forma getirilerek kıyaslanıp beton üzerindeki etkilerinin incelenmesidir.

Beton en çok tercih edilen yapı malzemelerinden biri olmasına rağmen tüm mekanik özellikleri ile tek başına her zaman yeterli bir malzeme değildir. Bu sebepten betonun mekanik özelliklerinin geliştirilebilmesi için yapılan çalışmalar hala devam etmektedir. Çekme ve eğilme dayanımlarını arttırmak için lif katkılı betonlar üretilmesi bu çalışmalara örnektir. Eski zamanlardan günümüze kadar lifler yapı elemanlarında denenmiş olup günümüzde çok çeşitli lifler kullanılmaktadır. Bu çalışmada ki amacımız bir atık malzemenin lif olarak geri dönüşümü ile betonun mekanik özelliklerinden özellikle eğilme dayanımına katkı sağlamaktır.

Kale Kilit firmasından temin edilen atık malzeme uygun kalıp hazırlanarak lif formuna çevrilmiş ve daha sonra betonda katkı olarak kullanılmıştır. Uygun forma çevrilen atık ve Dramix4D çelik lif hacimce %0,5, %1, %1,5 ve %2 oranında betonda kullanılmıştır. Şahit numune ve farklı lif katkılı numuneler üzerinde birim hacim ağırlık, çökme (slump), ultrases geçiş hızı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiş ve deney sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır.

Yapılan deneylerin sonuçlarına göre üretilen liffsiz şahit numuneler ve 2 çeşit lifin kullanıldığı numuneler hedeflenen basınç dayanımına ulaşmış olup kullanılan liflerin basınç dayanımına büyük bir etki yaratmadığı tespit edilmiştir. Betonun eğilme dayanımı için değerlendirme yapılacak olursa referans numunelere kıyasla çelik lifli numunelerin büyük ölçüde etkisi gözlemlenmiştir. Atık lifli numunelerde ise eğilme dayanımı değerleri çelik lifli numunelere göre daha az bir artış göstermiştir. Betonun eğilme dayanımının artırılması için atık malzemenin kullanılmasının ekonomik, çevresel ve geri dönüşüm olarak uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Beton, Atık ve Çelik Lif, Geri Dönüşüm, Mekanik Özellikler

USE OF WASTE METAL FIBERS IN CONCRETE

SUMMARY

The main purpose of this study is to use the technological wastes of Kale Kilit company instead of steel fibres that contribute positively to the mechanical properties of concrete and to examine the effects of these wastes on the mechanical properties of concrete.

Although concrete is one of the most preferred building materials, it is not always a sufficient material alone with all its mechanical properties. For this reason, studies to improve the mechanical properties of concrete are still continuing. The production of fiber reinforced concretes to increase tensile and bending strengths is an example of these studies. Fibers have been tried in building elements since ancient times, and today a wide variety of fibers are used. Our aim in this study is to contribute to the mechanical properties of concrete, especially the bending strength, by recycling a waste material as fiber.

In this study, the waste material obtained from the Kale Kilit company was converted into fibre form by preparing a suitable mould and used as an additive in concrete. Wastes converted into the appropriate form and Dramix4D steel fibre were used in concrete at rates of 0.5%, 1%, 1.5% and 2% by volume. Unit weight, ultrasonic pulse velocity, compressive strength and flexural strength tests were performed on the reference sample and samples with different fibre additives, and the test results were compared.

According to the results of the experiments, the reference samples and the samples using two different types of fibres reached the targeted compressive strength and it was determined that the fibres used did not have a great effect on the compressive strength. If an evaluation is made for the flexural strength of concrete, it has been observed that the steel fibre samples have a great influence on the flexural strength. Flexural strength values of waste fibre samples increased less than steel fibre samples. As a result, it was concluded that the use of waste material to increase the flexural strength of concrete is economical and recyclable.

Keywords: Concrete, Waste and Steel Fiber, Recycling, Mechanical Properties

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Beton; çimento, su, agrega ve gerekirse kimyasal ve mineral katkıların birbiriyle karıştırılması sonucu elde edilen homojen olmayan gevrek bir malzemedir (Kiremitçi 2008). Yapı malzemeleri arasında sahip olduğu özelliklerinden dolayı beton en yaygın kullanılan malzemelerdendir. Çevremizdeki bulunun tüm barınma, alt yapı ve üst yapı tesislerinin yapımın kullanılan temel malzemelerden biri betondur. Dünya’da nüfusun hızla artmasıyla birlikte ekonomikliği, kolay yapılabirliği ve sahip olduğu teknik özellikleri ile kullanılması artarak devam edecektir. (Yazıcı, 2008)

Betonda aranan temel özellikler arasında basınç dayanımı, tekrarlı yükler altında yorulma dayanımı, çekme dayanımı, eğilme dayanımı, gerilme birim deformasyon ilişkisi, elastiklik modülü, Poisson oranı, ısıl genleşme katsayısı, rötne (büzülme), sabit yükler altında sünme ve yoğunluk bulunmaktadır (Erdoğan 2003). Betonun yüksek basınç dayanımına sahip olmasına karşın homojen olmaması ve kompleks mikro yapısı nedeniyle çekme dayanımı ve eğilme dayanımı sırasıyla basınç dayanımının %10 ve %15’i kadardır (Mehta ve Monteiro, 2006). Betonun daha sünek bir davranış göstermesi, zayıf olan mekanik özelliklerinin artırılması amacıyla çalışmalar yapılmış ve lif katkılı betonlar üretilmiştir. Beton içerisinde gelişigüzel dağılmış olan lifler; betonun çekme dayanımı, tokluğu ve eğilme dayanımı gibi birçok özelliğini arttırmasının yanında betonda iç ve dış etkiler sebebiyle oluşan çatlaklardaki gerilmeleri kendi üzerlerine ya da sağlam alanlara aktararak betonda yıkılmaya sebep olacak çatlakların oluşumunu veya daha önceden oluşmuş çatlakların ilerlemesini önemli derecede engellemektedir (Öztürk, 2020).

Lifli betonların üretilmesi ve kullanılmasında ki asıl sebep malzemenin darbe yüklerine karşı gösterdiği direncin, tokluğunun, eğilme dayanımının vb. arttırılmasıdır. Çekme dayanımı, eğilme dayanımı gibi bazı özellikleri yüksek olan liflerle birlikte homojen olarak takviye edilmiş lifli beton, ilk bakışta normal beton karışımlarına benzemesine rağmen değişik yükler altında gösterdiği davranış

performansı açısından geleneksel betondan çok farklı bir özelliğe sahiptir. Lifler beton içerisinde rastgele dağılmasına karşın, beton yük altında lifler ile birlikte çalışan homojen bir davranış gösterir (Güneş, 2011).

Betonda cam, çelik, polipropilen, aramid ve karbon gibi çeşitli lifler kullanılmaktadır. Beton içerisine ilave edilen liflerin betonun özelliklerine yapacağı etki; lifin kullanım oranı, mekanik özellikleri ve beton içindeki dağılımı ile doğrudan ilişkilidir (Brandt, 2009; ACI 544.1R-96, 2002).

Betonda kullanılan çeşitli liflerin her biri betonun mekanik özelliklerine belirgin bir artış göstermesiyle birlikte maliyetini de arttırmaktadır. Bu artan maliyetin düşürülmesi ve betonun mekanik özelliklerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar hala devam etmektedir. Bu çalışmalar kapsamında endüstriyel atıkların geri dönüşüm malzemesi olarak kullanılması teşvik edilmekte olup çevrenin korunmasına katkı sağlayacak yeni malzemeler bulunması sağlanmıştır.

Bu çalışma da ise tam olarak bu konu ele alınmış olup Kale Kilit fabrikasının lif formuna benzer galvaniz kaplı atık metal malzemeleri beton içerisine hacimce belirli oranlarda katılarak üretilen betonun özellikleri incelenmiş liflerin betona etkisi çelik lif katkılı ve şahit beton numuneleriyle kıyaslanarak araştırılmıştır.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Beton ve Bileşenleri Hakkında Genel Bilgiler

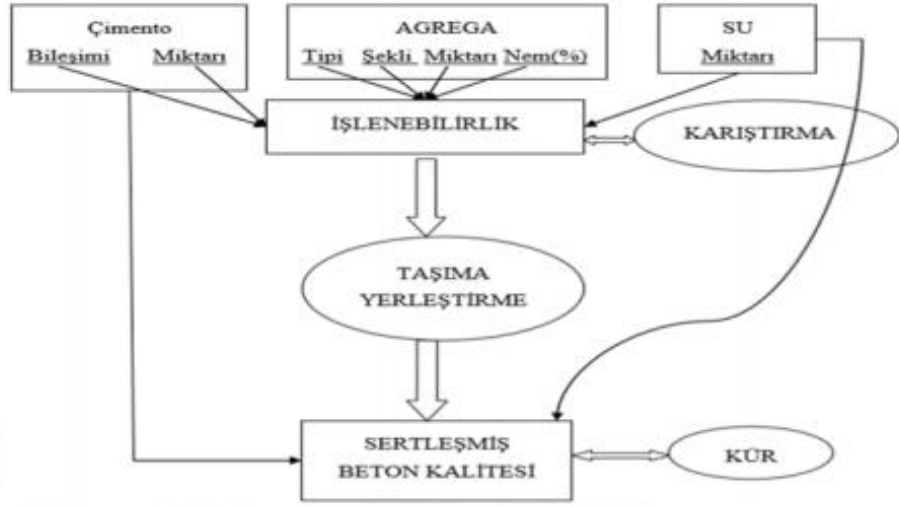
Beton; çimento, su, agrega ve istenilen özelliklere göre kimyasal veya mineral katkıların homojen olarak karıştırılıp başlangıç anında işlenebilirliği yüksek olup zamanla hidratasyona uğradıktan sonra koyulduğu veya döküldüğü yerde belli bir süre içerisinde sertleşen yapı malzemesidir (Şimşek, 2000; Kaplan vd., 2020).

Beton, istenilen şekil ve boyutlarda kolaylıkla üretilebilmesi, dayanıklı olması, üretiminde daha az enerji harcanması ve bileşenlerinin kolay bir şekilde temin edilebilmesi gibi özellikleri sebebiyle geçmişten günümüze kadar en çok kullanılan yapı malzemesi olma özelliğini sürdürmektedir (Erdoğan ve Kurbetci, 2003).

Betonun nitelikli olması için ince ve iri taneli agregaların çimento hamuruna tamamıyla bütünleşmiş olması gerekir. Üretilen betonlarda olması gereken iki özellik vardır. Bunlar; işlenebilirlik ve dayanımdır. Dayanım sert halde bulunan beton için gerekliken işlenebilirlik priz almamış haldeki betonda çok önemlidir. (Öztürk vd., 2003; Bayraktar vd., 2019c).

Taze betonun özellikleri, sert haldeki betonu tamamıyla etkilemektedir. Priz almamış beton işlenebilirlik özelliğini taşımaktadır. İşlenebilme özelliğini yeterince karşılayamıyorsa yeterli dayanıklılığı ve dayanımı gösteremez. (Erdoğan, 2003).

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi betonun kalitesini etkileyen faktörler gösterilmiştir.. Şekilden de anlaşılacağı üzere betonun kaliteli olmasında betonun bileşenleri, bileşenlerin oran ve miktarı, kür işlemi, taşınması ve işlenebilirliği doğrudan etkilidir.



Şekil 2.1: Betonun özelliklerini etkileyen faktörler (Öztürk,2005)

Tattersall işlenebilirliğin tanımını "Sık donatıda, en az boşluk bırakacak şekilde sıkışabilen, özelliklerini kaybetmeden iletebilen (taşıma) ve şekil verilebilen taze betonun akış yeteneğidir" olarak ifade etmiştir (Bayraktar, 2020).

Betonun yaklaşık %70-75'ini temel bileşenlerinden biri olan agrega oluşturmaktadır. Yüksek fırın cürufu, perlit, kil gibi yapay kaynaklı taneli kum, kırmataş, çakıl vb. doğal kaynaklı, taneli malzemelerin tümü agrega olarak adlandırılır. Agrega geleneksel beton içerisinde su ve çimentonun yanında bağlayıcılarla birlikte kullanılır (Erdoğan, 1995). Betonun işlenilebilme kolaylığı, nem oranı, sertleşmiş betonun dayanıklılığı, betonun dayanımı, uzama oranı, ağırlığı, beton yüzeyinin masterlanması, karışım oranlarının miktarı ve ekonomik olma özelliği gibi özelliklerin tümü agreganın özelliklerine bağlı ve agregaya göre değişiklik göstermektedir. Agrega birim ağırlık, nem, komposite, donma-çözülme dayanımı ve porozite gibi fiziksel özelliklere sahiptir (Bilgiç, 2009).

Betonun bir diğer bileşeni olan çimento ise betona bağlayıcılık özelliği kazandırır. Çimento, hem kendi başına hem de kum, çakıl ve kırma taş gibi malzemelerle birlikte suyla karıştırılarak zamanla sertleşen ve taş haline dönüşen bir malzeme olmakla birlikte havada da suda da priz alma özelliğine sahip ince öğütülmüş bir malzemedir (Öztürk, 2020).

Çimentonun başlangıçta plastik durumda olmasından dolayı betonun kendisi de plastik özellik göstermekte ve böylece beton kolayca karıştırılabilir, istenilen kalıba koyulabilir ve istenilen şekle dönüştülebilir nitelikte olmaktadır. Çimento hamurunun zamanla

sertleşmesiyle beton da sertleşmekte ve böylece beton istenilen dayanım ve dayanıklılık gibi nitelikleri kazanmaktadır. Bu yüzden çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik tüm özellikleri betonun tüm özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Tüm bu etkilerinden dolayı beton içerisinde hacimce küçük bir yeri işgal eden bileşen olan çimento aynı zamanda en önemli bileşendir (Topgül, 2016).

Betonun bileşenlerinden suya gelecek olursak; su, beton içerisindeki bileşenlerden en az maliyetlisi olmasına rağmen önemi çok büyüktür. Karışımda kullanılacak su miktarı optimum düzeyde olmalıdır. Beton karışımına optimum düzeyden daha az ya da daha fazla su katılması betonun nihai mukavemetini ve geçirgenliğini olumsuz yönde etkilemektedir (Şimşek, 2012).

Hazırlanacak karışımın kimyasını bozacak, karışımın içeriğinde tahribata yol açacak herhangi bir madde kullanılacak olan suyun içerisinde bulunmaması gerekir. Kaliteli ve normal ph değerleri içerisinde yer almalıdır. Kullanılacak olan su içerisinde katı atık maddede bulunmamalıdır. Bu özellikler dikkat edilerek numunelerin hazırlanışında içerisine ikame edilebilir. Ayrıca su sertleşmiş betonda kür vazifesi de görmektedir (Saran, 2007).

2.2. Lifli Betonun Kısa Tarihçesi

İnsanlar eski çağlarda doğanın olumsuz şartlarına karşı yapılarını korumak ve ömrünü uzatmak için hayvan kılları, saman vb. doğal lifleri kullanarak mikro donatı tekniğini uygulamışlardır. MÖ 2500 yıllarına ait ülkemizde yapılan Trioa kazılarında bulunan bu doğal lifler uygulamanın örnekleridir. Hayatlarını buralarda sürdüren insanlar pişmiş tuğla ile örülüp yapılan duvar üzerindeki sıvalarda keçi kılı ve saman çöpü kullanarak bu uygulamanın ilk örneklerini gerçekleştirmişlerdir (Gököz, 1978).

Antik çağlardan beri gevrek yapı malzemelerini güçlendirmek için lifler kullanılmıştır. Bağdat yakınlarda inşa edilmiş 57 metre yüksekliğindeki “Aqar Ouf” kulesinin yapımında güneşte pişirilmiş tuğlaları güçlendirmek için günümüzden yaklaşık 3500 yıl önce saman kullanıldığı bilinmektedir. Ayrıca eski zamanlarda kagir harcını ve sıvayı güçlendirmek için at kılları kullanılmıştır (ACI 544.1R-96, 2002; Bentur ve Midness, 2007). Daha yakın zamana bakacak olursak Mimar Sinan’ın yapılarında kullandığı

horosan harcının içerisinde saman ve keçi kılı kullandığını görebiliriz (Baradan ve ark., 2012).

1898 yılında Hatschek prosesinin bulunmasından sonra asbest liflerinin çimento matrisinde kullanılmasıyla lif kullanımı yaygınlaşmıştır. Asbest liflerinin insan sağlığına zararlı olduğunun anlaşılmasından sonra 1960'lı yıllardan itibaren alternatif lif çeşitleri aranmaya başlanmıştır. Asbest liflerin zararlı olduğu düşüncesinden sonra Amerika'da çelik liflerin beton içerisinde katkı malzemesi olarak kullanımına başlanmış ve o zamandan günümüze kadar çelik liflerle alakalı önemli miktarda çalışmalar, araştırmalar ve endüstriyel uygulamalar yapılmıştır. Beton içerisinde cam liflerin kullanımına da 1960'lar da başlanmıştır. Sentetik fiberlerin (naylon, polipropilen) kullanımına yönelik ilk denemeler cam ve çelik lif kadar başarılı sonuçlar vermemiştir. Bununla birlikte ilerki yıllarda yeni üretim teknikleri sonucu yeni lif çeşitlerinin ortaya çıkmasıyla yapılan araştırmalar ve çalışmalar sonucunda hem sentetik hem de doğal liflerin betonda iyileştirmeler sağlayabileceği görülmüştür. Her bir lifin kendine özgü değişik işlevlere ve üstünlüklere sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Dünya genelinde liflerle alakalı birçok önemli araştırma, geliştirme ve uygulama yapılmaktadır (ACI 544.1R-96, 2002).

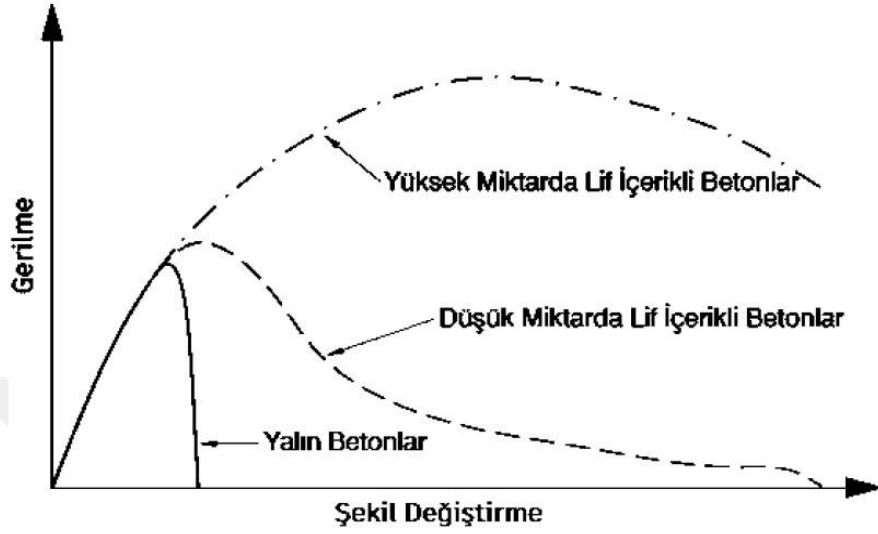
2.3. Lif Takviyeli Betonlar

Lif, boyuna uzunluğu çapının uzunluğundan çok daha fazla olan (narinlik oranı) doğada bulunan çeşitleri olmasına rağmen istenilen ölçülerde yapay olarak da üretilebilen, mekanik özellikleri bilhassa dayanımları aynı maddenin daha büyük hacimli şekline göre çok daha fazla olan malzemelerdir.

Lifler doğal ve yapay lifler olmak üzere kendi içinde 2 sınıfa ayrılır. Elde edildiği haliyle direkt olarak kullanılabilen; hayvan, bitki ve madensel kaynaklardan elde edilen lifler doğal liflerdir. Öte yandan yapay lifler beklenen özellikleri karşılamak üzere üretilen ve geliştirilen liflerdir (Acun, 2000).

Aşınma dayanımı, yorulma dayanımı, çekme dayanımı, çatlak oluşuktan sonraki yük taşıma kapasitesi ve enerji yutma kapasitesi açısından zayıf özellikler gösteren betonun içerisine farklı oranlarda ve tekniklerde çelik, plastik, cam, polipropilen gibi liflerin ilave edilmesiyle elde edilen malzemeye lifli beton adı verilmektedir (Uğurlu, 1999).

Beton içerisine liflerin ilave edilmesiyle elde edilen lifli beton, görüntü olarak geleneksel betona benzemesine rağmen yük altında göstermiş olduğu davranış ve performans açısından oldukça farklıdır. Betona katılan lifler, çatlak sonlarına bitişik olmalarından dolayı çatlağın yayılmasına yol açan gerilmeleri kendi üzerlerine çekerek matrisin sağlam bölgesine aktarmakta ve betonun yük taşıma kapasitesinin artmasını sağlamaktadır (Yerlikaya, 1998).



Şekil 2.2: Yalın beton ile lifli betonun gerilme-şekil değiştirme diyagramı

Beton içerisine lif katılması hatta katılan lifin miktarı betonun gerilme-şekil değiştirme diyagramına sağladığı katkı Şekil 2.2. 'de görülmektedir.

Lifli betonlarda istenilen en önemli özellik liflerin beton içerisinde homojen olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonra da bozulmamasıdır. Bu şekilde homojen olarak dağılan lifler, beton içerisinde oluşacak çatlakları önlemekte ve oluşan çatlakların ise beton içerisinde ilerlemesini yavaşlatarak betonu daha dayanıklı hale getirmektedir (Altun ve ark., 2004; Song and Hwang, 2004; Ünal ve ark., 2006).

Boyutları birbirinden farklı liflerin birlikte kullanıldığı betonlarda kısa boyutta olan liflerin önce küçük çatlakları engelleyerek çekme dayanımını artıracığı, çatlaklar büyüdükçe de uzun liflerin betona süneklik sağlayacağı, bunun sonucu olarak da; betonun çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve en önemlisi tokluğunu geliştirdiği bilinmektedir (Ekincioğlu, 2002).

2.4. Betonda Kullanılan Lif Çeşitleri

Beton içerisinde lifkatkısı olarak yaygın kullanılan lif çeşitleri çelik, polipropilen, karbon ve alkali dirençli cam lifleridir. Hangi lif çeşidi olursa olsun lifli betonlarda sağlanması gereken en önemli özellik liflerin betonda homojen olarak doğru ve düzenli bir şekilde dağılması, bu homojenliğin beton karışımından sonra da bozulmamasıdır. Beton içerisinde üniform bir şekilde dağılan lifler, çatlakları önlemekte ve çatlakların beton içerisinde ilerlemesini yavaşlatarak betonun durabilitesini arttırdığı bilinmektedir. Bu nedenle fore kazık, beton yol, su boruları, genellikle büyük fabrika inşaatlarının döşeme betonları ve prefabrike yapı elemanları üretimlerinde lifli betonların tercih edilmeleri halinde daha iyi sonuçlar vereceği düşünülmektedir (Ünal, 1994).

Tablo 2.1: Liflerin farklı türlerine ait mekanik ve fiziksel özellikler (Biber; S.A., 2001).

Lif Cinsi	Çekme Dayanımı (Mpa)	Elastisite Modülü (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	0,1 – 0,4	10	0,95
Polipropilen	552 – 759	3,5	25	0,9
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 – 3,5	7,8

Betonun mekanik özelliklerini geliştirmek ve sünekliğini artırmak için ise farklı özelliklere sahip lifler kullanılmaktadır. Beton içerisinde kullanılan mikro ve makro lifler beton içerisine gelişigüzel dağılarak gelen yüklerin arttığı zamanlarda, değişik aşamada oluşan çatlakları sınırlandırarak onların artmasını engellemekte, oluşan iç gerilmeleri matrise dağıtmaktadır. Liflerin bu pozitif etkileri, betonun mekanik

özellikleri ile özellikle enerji yutabilme kapasitesini olumlu etkilemektedir. Çelik, karbon, polipropilen ve cam gibi beton içerisine katılan liflerden istenilen çap ve boyutlarda üretilebilmektedir. Beton içerisinde kullanılan liflerin etkinliği; lifin tipine, türüne, uzunluğuna, çapına, narinliğine, kullanım oranına ve çekme dayanımına bağlı olarak değişmektedir (Yığiter, 2002).

2.4.1. Çelik lifli beton

2.4.1.1. Çelik lifli beton tanımı ve teknik özellikleri

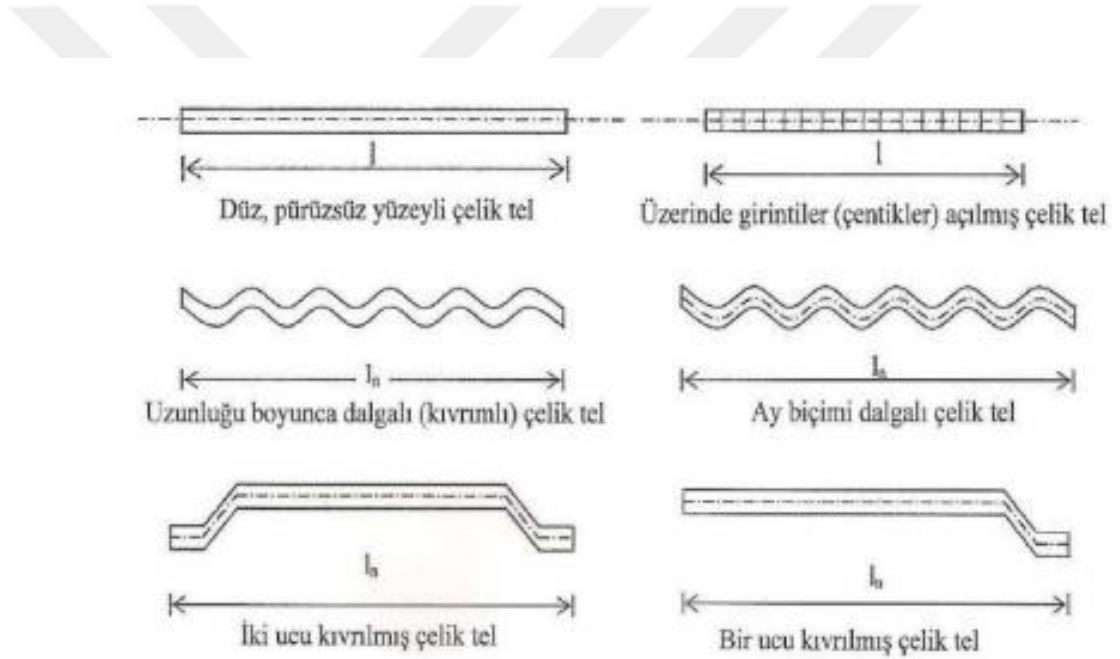
Literatürde endüstriyel çelik lif katkılı beton, çimento, su, ince ve iri agrega karışımına çelik liflerin eklenmesiyle üretilen kompozit bir malzemedir. Beton içerisine katılan çelik lifler rastgele ve süreksiz şekilde dağılımdadır. Lifli betonlarda işlenebilirlik betonun kalitesi ve dayanıklılığı için çok önemlidir. Bu sebepten lifli betonlarda gereken durumlarda işlenebilirliği istenilen şekle getirebilmek için mineral ve/veya kimyasal katkıları da katılmaktadır. (ACI 544.3R93; Bentur&Mindes, 1990).

1960 'lı yılların başında çelik lif katkılı betonlar beton teknolojisine girmiştir. Çelik lif katkılı betonlar üzerinde yapılmış olan deneysel ve teorik çalışmalar, çelik lif katkılı betonların kullanımını diğer liflerle üretilmiş betonlardan daha cazip kılmaktadır. Çelik lifli beton Dünya üzerinde 1984 yılında 20.000 ton civarında üretilirken, 1988 yılında üretiminin 3 kat arttığı, şu anda ise milyonlarca m² alanda çelik lifli betonun kullanıldığı bilinmektedir. Çelik lifli betonların ilk kullanım alanları plaklar, yol kaplamaları, tünel kaplamaları ve değişik onarım uygulamalarıdır (Bentur&Mindess, 1990). Beton ve çelik yüzyılı geçkin süredir birlikte kullanılmakta olup birbirlerini tamamlamaktadırlar. Betonun basınca çeliğin ise çekmeye karşı dayanımının yüksek olduğundan beton içerisnde çelik lif kullanımı, betonun enerji yutma kapasitesini ve sünekliliğini arttırmaktadır. Betondaki asıl etkisiyse çatlak oluşumu ve sonrasında gösterdiği davranışlarda görülmektedir. İlk çatlak oluştuğunda ve sonrasında beton içerisnde karışık olarak gelişigüzel dağılan çelik lifler birbirleri ile köprüleme etkisi yaratarak çatlağın ilerlemesini önlemektedir.

Betona katılan çelik lif oranındaki artış; en fazla tokluk üzerinde pozitif etki yaratırken betonun basınç, çekme, eğilme dayanımı gibi özelliklerine olumlu etkisi olmaktadır (Shah ve Rangan, 1971).

2.4.1.2. Çelik liflerin sınıflandırılması ve performansları

Türk standardı TS 10513'e göre çelik liflerin sınıflandırılması üç gruba ayrılmıştır. Bu standarda göre lifler; düz pürüzsüz yüzeyli lifler, bütün uzunluğunca deforme olmuş lifler (üzerinde girintiler açılmış, uzunluğu boyunca dalgalı ve ay biçimli dalgalı teller) ve sonu kancalı lifler (iki ucu kıvrılmış ve bir ucu kıvrılmış teller) olarak gruplandırılmıştır (TS10513, 1993).



Şekil 2.3: Çelik liflerin şekilleri (TS10513, 1993)

1970'li yıllarda yalnızca düz çelik lifler kullanılırken sonrasında üretici firmalar uçları çengelli, kıvrımlı, yüzey pürüzlülüğü artırılmış, özel deformasyonlar verilmiş ve farklı geometrilerde çelik lifler üretmişlerdir. Fakat araştırmalar göstermiştir ki, betonun özelliklerine en çok faydayı düz ve ucu çengelli lifler vermektedir. Genellikle özel olarak bükülmüş kanca uçlu lifler uygulamada kullanılır. Beton ile lifler arasındaki ankrajı uçlarındaki kancalar kuvvetlendirdiği sonucuna varılmıştır. Çelik lifler betonarme elemanları her doğrultuda takviye etmektedir. Piyasa da tutkal ile birbirine

yapıştırılmış demetler halinde bulunan çelik lifler, beton karıştırma makinelerinde basit ve hızlı bir şekilde dağılmaktadırlar (BEKAERT, 1998).

Çelik liflerin betonda ne kadar kullanılacağı, hangi oranda kullanılması gerektiği; lifin geometrik yapısına, geometrik şekline yani beton matrisi ile arasındaki kenetlenmeye bağlıdır. Bu sebepten farklı geometrik şekillerde çelik lifler üretilmekte ve kullanılmaktadır. Beton üzerinde eğilme dayanımında, basınç gerilmeleri altında ve enerji yutma kapasitelerinde en büyük iyileştirmeyi sağlayan çelik liflerin düz ve ucu kıvrımlı lifler olduğu görülmüştür (Topçu, 2006; Bayasi vd., 1991).

Betonda kullanılacak çelik liflerin üretim şekline göre sınıflandırılması Amerikan standardı ASTM A820-96'a göre dört gruba ayrılmıştır. Bunlar; plakadan kesilmiş lifler, soğuk çekilmiş lifler, eritilip çekilmiş lifler ve diğer liflerdir (ACI 544.1R-96, 2002).

ACI 544'e göre, çelik lifli betonların performansları; lif hacmi, lifin çekme dayanımı, elastisite modülü ve lifin kenetlenme boyuna bağlıdır.

Çelik lif takviyeli betonların performansını etkileyen en önemli faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

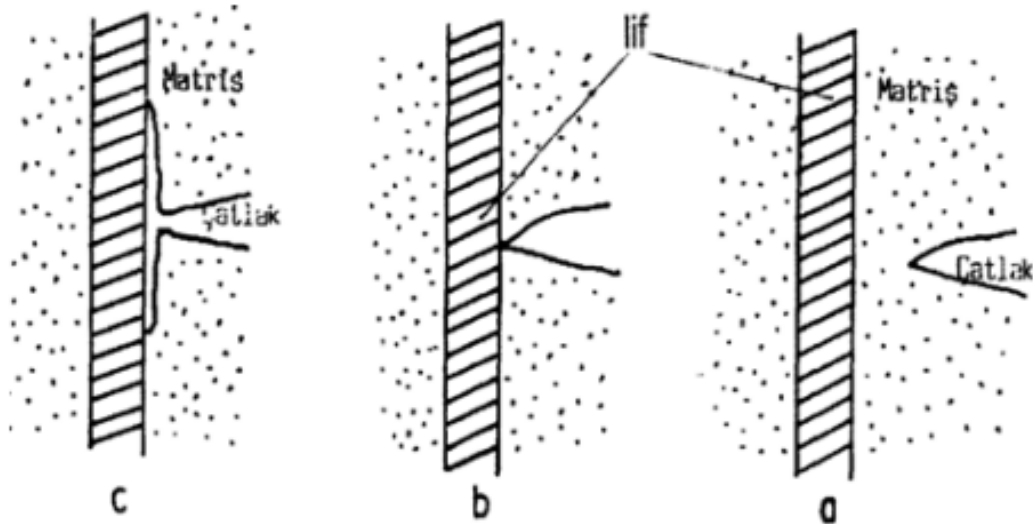
- a) Çelik lifin tipi,
- b) Çelik lifin geometrisi,
- c) Çelik lifin kullanım oranı (hacimce),
- d) Çelik lifin narinlik oranı,
- e) Liflerin beton içerisindeki dağılımı,
- f) Liflerin beton içerisindeki yönelimi,
- g) Lifli betonun matris mukavemeti,
- h) Lifli betonun hazırlanma metodudur (Zeynal, 2008).

2.4.1.3. Beton içerisinde çelik liflerin davranışı

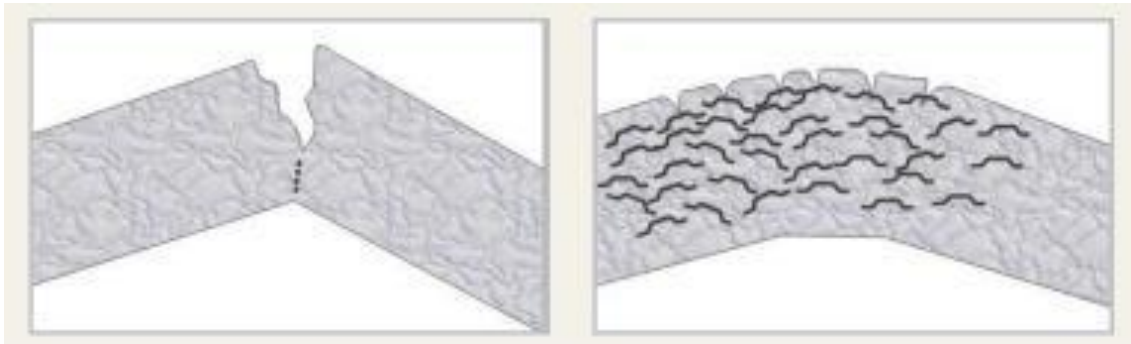
Beton içerisine katılan çelik lifler betonarmede kullanılıp donatı görevi gören çelik ile kıyaslanmamalıdır. Bir yere kadar görevleri aynı olsa da aralarında ki en önemli fark gelen yükler sonucunda oluşan çatlakların kontrolünün sağlanması ve beton içerisindeki fonksiyonlarıdır.

Aslında çelik lifler betonu plastik davranışa zorlayan ve onun yapısını değiştiren malzemelerdir. Arttırılmış elastikiyet ve enerji yutma yeteneği çelik liflerin en önemli özellikleridir. Kritik yüklemelerde, beton iç gerilmeleri çökme sınırına geldiğinde çelik liflerin beton içerisindeki davranışı daha iyi açıklanır (Bahadır, 2007)

Çatlakların ilk oluşum süreçlerinde çelik lifler, gerilmeyi kendi üzerlerine aldıktan sonra betonun sağlam bölgelerine geçirek en büyük etkiyi yaparlar. Ayrıca içerisine çelik liflerin ilave edilmesi ile performansında büyük artışlar görülen beton; tokluk, ilk çatlak dayanımı, kavitasyon-erozyon dayanımı, yorulma dayanımı ve çarpma dayanımı gibi özellikleri, işlev açısından daha farklı davranış gösterecektir. (Bahadır, 2007)



Şekil 2.4: Çelik lifli betonlarda gerilme aktarımı (Sekban, 2007)



Şekil 2.5: Yalın beton ile lifli betonun çatlaklara karşı gösterdiği davranış

Betonun içerisine çelik liflerin eklenmesi sonucu taze beton özelliklerinde çeşitli değişiklikler görülür. Betonun hazırlanma, taşınma, yerleştirme ve sıkıştırma sürecini ifade eden işlenebilirliğini çelik lif kullanımı önemli oranda etkilemektedir. Yapılan araştırmalarda betonun işlenebilirliğini belirli bir oranın üzerinde lif kullanımının azalttığı görülmüştür. Bu azalma üzerindeki en önemli parametre lif tipi, lif hacmi ve lif oranıdır. Lif hacmi ve lif narinlik oranı (l/d) arttıkça işlenebilirliğin düştüğü bilinmektedir (Bentur ve Mindness, 1990).

Çelik lif katkılı betonun yerleştirime işlenebilme işleminde en önemli etken olan ve lifli betonun faydalı etkilerini de düşürmemesi için betonun s/ç oranı seçimine dikkat edilmelidir. Çelik lifli betonların s/ç oranı 0.35 ile 0.55 arasında olduğu durumda üretilen betondan en yüksek fayda elde edilebilir. Su/çimento oranının daha düşük ya da daha yüksek değerler alması durumunda işlenebilme, beton dayanımında azalma, matrisi zayıflatabileceğinden performansızda olumsuz etki gibi sorunlar meydana gelebilir. Yerleştirme işlemini rahatlatmak için eklenen ekstra su, betonda kalite düşüşü ile ayrışma riskini de arttıracaktır (Bentur ve Mindness, 1990; Taşdemir, 2003).

Hidratasyon sürecinde çelik lif katkılı betonlar olumsuz hava şartlarından korunmalıdır. Geleneksel betonda uygulanan kür ve koruma yöntemleri çelik lif katkılı betonlarda da aynı şekilde uygulanır. Aynı dayanımda üretilmesi hedeflense de geleneksel betonlara göre çelik lifli betonların çimento miktarlarının daha fazla olması gerektiğinden dolayı, özellikle geniş açıklıklı saha betonlarında, plastik büzülme çatlaklarının oluşmasında daha hassastırlar. Bu sebepten çelik lif katkılı betonlar, kür süresi boyunca sürekli nemli tutularak çeşitli kür teknikleri kullanılarak iyi bir şekilde korunmalıdır (ACI 544.3R-93,1998).

Lif takviyeli betonlarda matris ile lifler arasında bir toklaşma mekanizması vardır. Lifli betonlarda lifler ile agregalar çatlak köprülerler. Liflerin bu özelliği çatlak oluşup açıldıkça daha da etkili hale gelir. Bu süreçte lifler gerilmelerin üzerinden geçtiği bir köprü görevini görürler. Çatlak daha da büyüdükçe lifler matristen sıyrılır. Sıyrılırken de bir miktar daha enerji sönmülemiş olur (Kozak, 2013).

Sıyrılırken sönmülenen enerji liflerin geometrik yapısına göre farklılık göstermektedir. Eğer kullanılan çelik lif düz ve uçları kancalı şeklinde ise kancadan dolayı oluşturulan

plastik deformasyon ve sönümlenen enerji daha da artmaktadır. Bu sayede betonun tokluğunu daha da arttırmaktadırlar (Kozak, 2013).

2.4.1.4. Çelik lif katkılı betonların kullanım alanları

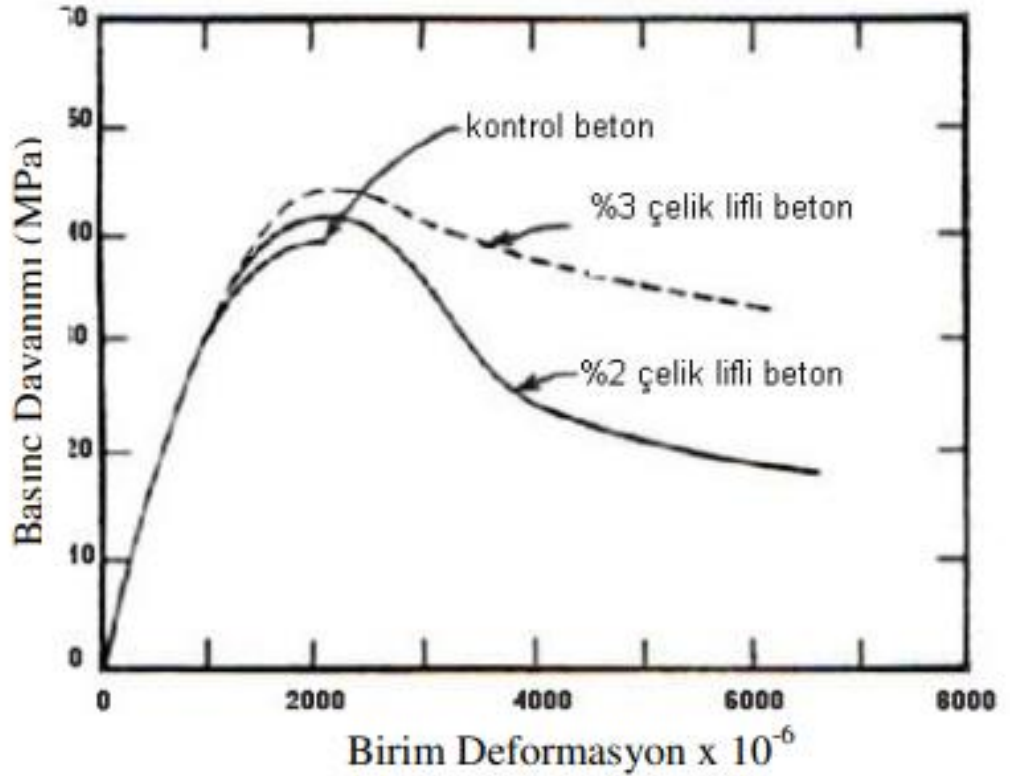
Çelik lif katkılı betonlar geleneksel betona göre çok daha fazla sünektir. Bundan dolayı da çarpma ve dinamik yüklerin etkilerine karşı daha dirençli ve dayanıklıdır. Lif katkılı betonların geleneksel betonlara göre böylesine avantajlı özellikleri olduğundan dolayı geniş ve artarak devam eden kullanım alanlarına sahiptir (Kozak, 2013). İnşaatta çelik lif takviyeli betonlar yalnızca çarpma ve dinamik yüklere etkisinden dolayı değil betonun tokluğunu arttırıcı özelliklerinden dolayı da tercih edilmektedir. Ayrıca betonun dökülme, dağılma ve parçalanmasını önleyebilmek en azından azaltabilmek için de çelik lif ilave edilmektedir (Bahadır, 2007).

- a) Çarpma rijitliğini ve termal etkilere karşı dayanıklılığı arttırmak amacıyla beton endüstri yapılarında,
- b) Barajlar, su kanalları ve dolu savaklarda plak yerine veya kavitasyon hasarlarına karşı koymak amacıyla kaplama olarak,
- c) Yüksek eğilme ve yorulma mukavemetine sahip olması sebebiyle yol uygulamalarında kaplama kalınlığının daha ince olmasının istendiği durumlarda,
- d) Şev stabilitesinin sağlanması amacıyla dik şevlerde ya da toprak setlerde,
- e) Üstün özellikleri sahip olduğundan kesit kalınlıklarını azaltmayı daha uygun hale getirmesiyle ince kabuk yapılarda ve kubbelerde,
- f) Mekanik ve termal şok tehlikesine sahip ve yük taşıması gereken yapılarda,
- g) Deprem riskinin yüksek olduğu yerlerde daha sünek yapılar elde edebilmek için depreme karşı dayanıklı yapılarda
- h) Betonun eğilme dayanımına olan pozitif etkileri ve tokluğunun yüksek olması sebebiyle beton borularda ve betonarme çerçevelerde kullanılmaktadır (Sekban, 2007).

2.4.1.5. Çelik lifli betonların mekanik davranışı

a) Basınç dayanımı

Çelik lif katkıli betonların basınç dayanımını arttıran etkisi çok fazla olmamakla birlikte bazen dayanım kaybı yaşattığı da görülmektedir. Bu durumun başlıca sebeplerinden biri beton içerisinde liflerin gelişigüzel dağınık halde bulunması yönelimlerinin farklı olmasıdır. Yük gelen doğrultuya karşı dik olan lifler betonda basınç gerilmesinde herhangi bir etki oluşturmazlar. Beton içerisindeki diğer lifler yüklere paralellikleri ölçüsünde basınç gerilmesi artmasına karşı etkilidirler.



Şekil 2.6: Lif Oranının Gerilme-Şekil Değişirme Diyagramına Etkisi (Bentur&Mindess,1990)

Şekil 2.5.'te görüldüğü üzere çelik liflerin basınç yüklemeleri altında dayanımdan ziyade betonun enerji yutma kapasitesindeki artışına, dinamik yüklemeler altında enerjinin sönmelenmesine bundan dolayı yüklemeler altında ani ve patlama şeklindeki göçmenin önlenmesine fayda sağlamaktadır (Kozak, 2013).

b) Çekme Dayanımı

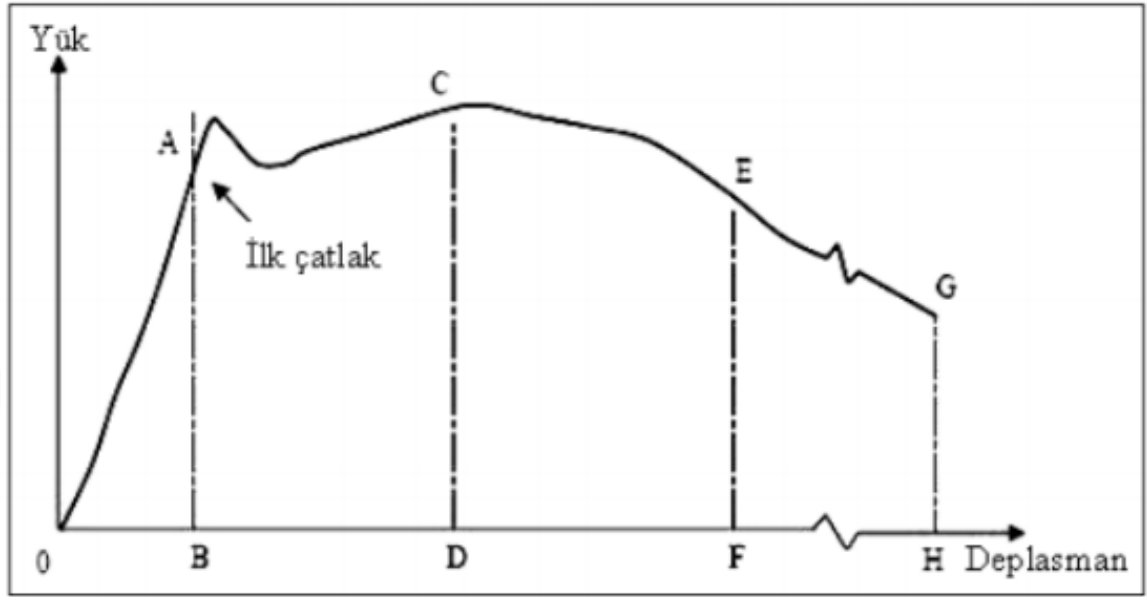
Çekme gerilmesi malzemenin çekmeye karşı gösterdiği dirençtir. Betonun çekme dayanımı basınç dayanımı ile karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Bu sebepten ötürü hesaplamalarda ihmal edilir.

Yalın betonlara göre çelik lif takviyeli betonların çekme dayanımları çok daha yüksektir. Geleneksel betona göre çelik lif katkılı betonların çekme dayanımı lifin şekline, miktarına, narinlik oranına, karışım içerisindeki dağılımına ve matris ile arasındaki aderansa bağlı olarak %25-100 arasında artış göstermektedir (Öztürk, 2020)

Dinamik yüklere maruz kalan beton elemanlarda çekme gerilmeleri ve bu gerilmelerin sonucunda oluşan çatlaklar beton elemanlarının çökmesine sebep olmaktadır. Bu gibi çekme gerilmelerine maruz kalan elemanlarda, gerilmenin homojen yayılımını sağlamak ve dinamik etkiler sonucunda oluşan mikro ve makro boyuttaki çatlaklara karşı dayanımı arttırmak amacıyla çelik liflerin kullanımının oldukça faydalı olduğu yapılan çalışmalarda belirtilmiştir (Sekban, 2007).

c) Eğilme dayanımı

Çelik liflerin çekme dayanımları yüksek olduğundan beton içerisine katıldıklarında betonun eğilme dayanımında çok fazla artış gerçekleştirmektedirler. Çelik lifler, beton içerisindeki çatlak uçlarında yük aktarımı ve dağılımı yapmaktadır. Bu sebepten lifli betonun maksimum eğilme dayanımı yalın betona göre fazla olur. Çelik lifli betonların eğilme dayanımı lifin şekline, liflerin karışım içerisindeki dağılımına, narinlik oranına ve lifin kullanılan miktarına bağlıdır.



Şekil 2.7: Çelik lifli betonların eğilmede yük – deplasman eğrisi (Sekban, 2007)

Şekil 2.7.'de çelik lifli betonların eğilmede yük – deplasman eğrisi grafiği verilmektedir. Grafikte A noktası olarak gösterilen ve yük – sehım eğrisinin lineerlikten çıktığı değere ilk çatlak oluşumu gerçekleştiği için ilk çatlak eğilme dayanımı, C noktası ile gösterilen ve dayanımın maksimuma ulaştığı değere ise nihai eğilme dayanımı adı verilmektedir. Nihai çekme dayanımı liflerin narinlik oranına ve liflerin karışım içerisindeki oranlarına bağlı iken ilk çatlak eğilme dayanımı betonun çekme dayanımına bağlıdır. Narinlik oranı 50 değerinden az ve hacim yüzdesi %0.5'ten az olan liflerin betonun statik dayanımları üzerindeki etkileri çok fazla olmamaktadır. Betonla iyi aderans oluşturan ucu kancalı veya kıvrımlı çelik liflerin eğilme dayanımlarını %100 oranında arttırdığı görülmüştür (Sekban, 2007).

d) Enerji yutma kapasitesi (Tokluk)

Malzemenin yük altında kopana kadar absorbe ettiği enerji miktarına tokluk denmektedir. Tokluk $\sigma - \varepsilon$ eğrisinin altında kalan alana eşittir. Düktil malzemelerin enerji yutma kapasiteleri gevrek malzemelere göre daha yüksektir.

Çelik liflerin dinamik veya statik yüklemelerde betonun eğilme kuvvetleri altındaki deformasyonu sırasında yapılan işi arttırmasıyla beton sabit gerilmede çok daha fazla deformasyon yapabilme yeteneği kazanmaktadır. Eğilme deneyindeki yük – sehım

eğrisinin altındaki alanın hesaplanmasıyla elde edilen tokluk, lifli betonların işlevselliği için önemli bir parametredir ve lif miktarına, narinlik oranına, lif şekline, deneyde kullanılan numune boyutlarına ve yükleme hızına bağlı olarak değişmektedir. Yalın betonlara göre çelik lifli betonlar enerji yutma kapasitesine %100-1200 arasında pozitif bir katkı sağlamaktadır (Uğurlu, 1999).

Yeterli miktarda çelik lif bulunması betonun hem dayanım hem de enerji yutma kapasitesini geliştirir. Betonun eğilme dayanımı, kırılma enerjisi üzerinde lif miktarı ve narinliğinin önemli bir etkisi vardır. Lif miktarı ve narinliğindeki artışla eğilme dayanımı, kırılma enerjisi ve tokluk belirgin artış gösterir. Çelik lif katkılı betonların sünekliliği lifsiz yalın betonlara nispeten 50 kat daha fazla olduğu görülmektedir (Yardımcı, 2007).

“ACI Committee 544 tarafından tanımlanan tokluk indisleri, çelik tel donatılı betonun belirli bir sehime kadar yük-sehim eğrisi altında kalan alanın “ilk kırılma yüküne kadar olan kısmının altında kalan alana” oranı olarak ifade edilmektedir” (ACI Committee 544, 1993).

Tokluğu etkileyen etkenler lif geometrisi ve matris dayanımıdır. Tokluğu etkileyen en önemli etken liflerin matristen sıyrılmaya direnci olduğu ve toklukta en iyi etkiyi ucu kancalı tellerin yaptığı ifade edilmektedir (Banthia, N., Trottier, 1995).

e) Durabilite (Dayanıklılık)

Özel tutkallar ile birbirlerine tutturulmuş halde piyasada bulunan çelik lifler betoniçerisine katıldığında tek tek tanelere ayrılamamasından topaklaşma oluşabileceği ve bu sebepten beton içerisinde boşluklar oluşabileceği düşünülmektedir. Boşluklu bir yapıya sahip olan betonun geçirgenliği de artacaktır. Geçirgenliğin artması sonucu beton içerisine katılan çelik lifler korozyona uğrayabileceği veya kimyasal reaksiyonlar sonucu liflerin yapısında bozulmalar oluşabileceği düşünülmektedir. Tüm bu sebepler lifli betonun dayanıklılığını etkilemektedir. Bundan dolayı lifli betonların doğru şekilde karışımı, sıkıştırılması ve kür işlemi yapılmalıdır (Erbaş, 2003).

Bu gibi durumların önlenmesi için çelik lifli betonlar iyi bir şekilde karıştırılmalı, yerleştirilmeli ve gerekli kür koşulları sağlanmalıdır. Ayrıca korozyon riski bulunan yerlerde paslanmayan lifler kullanılmalıdır (Sekban, 2007)

Çelik lifler betonun donma-çözülme direncine etkisi doğrudan olmasa da dolaylı olarak mikro çatlak oluşumunu ve yayılmasını geciktirmesi sebebiyle donma-çözülme esnasında betonun göçme ve hasar görmesini yavaşlatır. Bu sayede donma-çözülme olumlu yönde bir etki yapmaktadır. Çelik lifler genel olarak betonların aşınma, erozyon ve kavitasyon dirençlerini ise arttırmaktadır (Ersoy, 2001). Çelik lifli betonların yalın betona nazaran geliştirilen özellikleri ve bunların yaklaşık artış oranları Tablo 2.2.'de görülmektedir.

Tablo 2.2: Lif kullanımıyla betonun mekanik özelliklerinde meydana gelen ortalama değişimler (Ağaoğlu, 2018)

Mekanik Özellikler	Değişim (%)
Tokluk	+ 100 - 1200
Çarpma Dayanımı	+ 100 - 1200
İlk Çatlak Dayanımı	+ 25 - 100
Eğilmeye Çekme Dayanımı	+ 25 - 200
Çekme Dayanımı	+ 25 - 150
Yorulma Dayanımı	+ 50 - 100
Basınç Dayanımı	± 25
Elastisite Modülü	± 25

2.5. Atık Malzemeler Hakkında Genel Bilgiler

Yapılan bir etkinlik ya da faaliyetin sonucunda; kullanılmış ve kullanıldıktan sonra atılıp çevreye zarar veren her türlü maddeye atık denilmektedir. 2015 yılında yayınlanan Atık Yönetimi Yönetmeliği'ne göre ise atık; üreticisi veya fiilen elinde bulunduran gerçek veya tüzel kişi tarafından çevreye atılan veya bırakılan ya da atılması zorunlu olan herhangi bir madde veya materyal olarak tanımlanmaktadır (Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2015).

Nüfusun hızla artması, insanların tüketim alışkanlıklarının değişmesi, bilinçsiz alışveriş ve teknolojik gelişmeler gibi sebeplerden dolayı doğal kaynaklar hızla azalmaktadır. Bu azalmaya ek olarak atık malzemeler de günden güne artış göstermektedir. Doğa üzerinde yıkıcı etkileri artarak devam eden bu atık malzemeler günden güne artarak devam etmektedirler. Bu atık malzemelerin günden güne artması yaşadığımız çevrenin kirlenmesine yapısının bozulmasına sebep olmaktadır. Bu atıkların geri kazanımlarının sağlanması tekrar kullanılabilir hale getirilmesi ile yaşadığımız bize sunulan doğanın kirliliğini olabildiğince azaltmaya çalışmak insanlığın en önemli görevlerindedir.

2.6. Geri Dönüşüm Hakkında Genel Bilgiler ve İnşaat Sektöründeki Önemi

Geri dönüşümün tanımı kullanılmış olan ürün veya maddelerin tüketicinin eline yeniden ulaşabilmesi için hammadde olarak üretim safhasında tekrar kullanılmasıdır. Geri dönüşüm maddelerine cam, plastik, metal esaslı kullanım ömrünü tamamlamış olan her türlü malzeme girmektedir. Böylece atık maddelerin geri dönüşü sonucunda tekrar kullanılabilir duruma gelmesi geri kazanım olarak adlandırılabilir.

Geri dönüşüm sayesinde kullanılmış olan bu maddeler tekrar hammadde olarak hayatımıza girecek ve doğadan elde edeceğimiz hammadde ihtiyacında azalmaya sebep olacaktır. Bu sayede gelecek nesillere doğanın bize sunduğu bu rezervleri daha dolu bir şekilde bırakabilmemiz sağlanacaktır. Çevre kirliliği azalacak ve doğal hayatın korunması sağlanacaktır. Tüm bunların yanında artan nüfusun ihtiyaçları için kullanılacak olan hem enerji hem de hammaddeden tasarruf edileceğinden maliyet azalmış olacaktır.

Bu yapılan tasarruflar sayesinde ekonomiye sağladığı faydalar hafife alınmamalıdır (Pehlivan ve Gönüllü, 1995). Doğal kaynaklarımızın zamanla azalması fakat nüfusun ona ters oranda artıyor olması bizi doğal kaynakları verimli kullanmaya, geri dönüşümü arttırmaya yönlendirmektedir. (URL5, 2020).

Nüfusun artması ile insanlıkta büyüme arzusu artıyor ve kaynaklarımızda meydana gelen tahribatın zamanla gözle görülür hale gelmesi 1983 senesinde Birleşmiş Milletler bünyesinde Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonunun (World Commission of Environment and Development-WCED) kurulmasına sebebiyet vermiştir (Özmehmet, 2008). Bu komisyonun yaptığı çalışmalar sonucu oluşturduğu “Brundtland Raporu”

raporda ilk kez “Sürdürülebilirlik” kavramı kullanılmış ve dünya bu kavram ile tanışmıştır. Sürdürülebilirlik kavramı bu raporda günümüz hammaddelerinin doğru bir şekilde tüketilmesi ve gelecek nesillerin ihtiyaçlarını da karşılayabilmesi olarak tarif edilmiş ve dünya üzerindeki tüm ülkelerin ortak bir çıkarı olduğu vurgulanmıştır (Keeble,1988; Schaefer and Crane, 2005).

İnsanlığın yerleşik hayata geçmesinden bu zamana kadar oluşan değişim ve gelişimlerde direkt olarak alakası bulunan inşaat sektörü de sürdürülebilirlik ve geri dönüşümü önemli bir yere koymalı, bu alandaki her türlü gelişim ve yaklaşımlarda buna göre davranış sergilemelidir. Bu sebepten inşaat alanında hammadde ve enerji tüketiminde kullanılacak olan her türlü malzeme ihtiyaç nazarında kullanılmalı israf ve doğal kaynakların gereğinden fazla tüketilmesinden kaçınılmalıdır. İnşaat sektörü insanlık var olduğu sürece devam edeceğinden gelecek nesillere bu hammaddelerin kalması sağlanmalı, çevreye verilen zarar olabildiğince azaltılmalıdır (Esthewi, 2020).

Bu çalışmada da yapıldığı üzere günümüzde; çeşitli beton üretimlerinde atık malzemeler kullanılmakta ve araştırmalar devam etmektedir. Beton bileşenlerinden olan agregaların inşaat atıklarından elde edilip tekrar beton üretiminde kullanılmasının incelendiği “Geridönüşüm Agregası Kullanılan Polipropilen Lif Takviyeli Beton Yolların Özellikleri” tezi örneklerden biridir (Esthewi, 2020). Bu sayede agregalar geri dönüşüme girmiş olacak ve tekrar tekrar kullanılması sağlanacaktır. Betonun bir diğer bileşeni çimento için alternatif olarak “Çelik Lifli Betonlarda Geri Dönüştürülmüş Nano Karbon Siyahı ve Kandıra Taşı Tozunun Değerlendirilmesi” araştırması da bu çalışmalara örnektir (Öztürk, 2020). Lifli beton üretimlerinde lif olarak atık malzemelerin kullanıldığı birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin araç lastiklerinde bulunan çelik tellerin beton içerisinde lif olarak kullanılması bir geri dönüşüm çalışmasıdır. Bu bağlamda çeşitli araştırmalar ve deneyler yapılmış olup bu malzeme sayesinde betonun belli özelliklerinde iyileştirmelerin olduğu görülmüştür (Alibekiroğlu, 2019; Hamzaçebi, 2015)

Bu yüksek lisans tezinde de Kale Kilit firmasının galvaniz metalleri atık malzeme olarak değerlendirilmiş ve beton içerisinde lif takviyesi olarak kullanılmıştır. Kale Kilit firmasının endüstriyel atığı olan malzeme bu sayede farklı bir alanda da olsa tekrar üretim prosesine dahil olmuştur.

2.7. Kale Kilit Firmasının Galvaniz Atık Metalleri

Kale Endüstri Holding şirketi 1953 yılında Sadık Özgür tarafından kurulmuş olup günümüze gelene kadar ivmeli bir şekilde büyüyerek ülkenin en büyük kilit üreticisi olmakla beraber dünyada da adını duyurmayı başarmıştır. 2016 yılında Kale Kilit firması dünya piyasasında rekabetini güçlendirmek ve dünya standartlarındaki ürün yelpazesini genişletmek adına dev bir adım daha atarak; Avrupa'nın en büyük entegre kilit üretim tesisini kurdu. Kale Endüstri Holding bünyesindeki tüm grup şirketlerinin ve ürünlerinin tek bir çatı altında toplandığı Çerkezköy Fabrikası hem Türkiye'nin hem de Avrupa'nın en büyük entegre kilit üretim tesisi olma özelliğini taşıyor. Hızlı ve istikrarlı büyüme trendini yatırımlarla güçlendiren Kale Kilit, en yeni ve modern teknolojilerin kullanıldığı Kapaklı Organize Sanayi Bölgesi'nde yer alan fabrikası ile üretim kapasitesini iki katına çıkarttı.

Türkiye hatta Dünya'da endüstriyel ya da endüstriyel olmayan atık malzemelerin uzaklaştırılması, depolanması geleceğin en önemli sorunlarından birisi olarak görülmektedir. Bu sorunun en basit ve mantıksal çözümü bu atık malzemelerin tekrardan kullanılabilmesini sağlamaktan geçer. Günümüzde atık malzemelerin tekrardan kullanılabilmesi ve geri kazanılabilmesi konusunda inşaat alanında çalışmalar yapılmaktadır. Buna verilecek örnekler arasında en akılda kalanı bir zamanlar atık malzemesi olan silis dumanı ve uçucu kül gibi malzemeler şu anda beton içerisinde kullanılmakta ve bunun gibi örnekler sayesinde bu alana ilgi oldukça artmaktadır. Bu gelişmeler betonun özelliklerini iyileştirdiği gibi atıkların geri kazanılması ve bunlara bağlı sanayi kolları oluşturması açısından da önemlidir (Gönen vd., 2012).

Lifli betonların maliyetleri yalın betonlara göre daha fazladır. Ancak lifli betonların içindeki lifler sayesinde mekanik özelliklerinin artması ve daha sünek bir davranış göstermesi yalın betonun karşılaşılabileceği birçok durabilite probleminin önlenmesini sağlayacaktır. Dolayısıyla, betona lif ilavesi yapıların servis ömrüne olumlu şekilde katkı sağlayarak hem can hem de mal güvenliği açısından kazanç sağlamaktadır (Alparslan, 2015). Ayrıca son zamanlarda liflerin artan maliyetlerini düşürmek amacıyla endüstriyel atıkların geri dönüştürülerek lifli betonlarda kullanılmasına yönelik çalışmalar teşvik edilmekte ve böylece hem ekonomik olarak hem de çevrenin korunmasına yönelik ciddi katkıda bulunmaktadır (Hamzaçebi, 2015).

Kale Kilit, günde 150 bin adet kilit ve 80 bin adet silindir kapasitesine sahiptir. Firmannn üretimlerinden yılda ortalama 200 ton beton içerisinde kullanılabilicek şekilde lif formuna yakın atık galvaniz malzeme çıkmaktadır.



BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Kullanılan Malzemeler ve Metot

Bu tez çalışmasındaki amaç betonun eksik görülen mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için katkı malzemesi olarak kullanılan liflere bir yenisini daha ekleyebilmektir. Yeni bir lifin kazanımı için ise Kale Kilit firmasının atık metalleri geri dönüşümde kullanılmıştır. Bu amacı gerçekleştirebilmek için betona maksimum verimi sağlayan liflerden olan çelik lifler ile endüstriyel atık olan metal lifler karşılaştırılmıştır. Bu sayede atığın geri dönüşümü sağlanmış olup lifli betonları daha ekonomik hale getirmek, çevreyi korumak ve hammadde tüketimini azaltmak hedeflenmiştir.

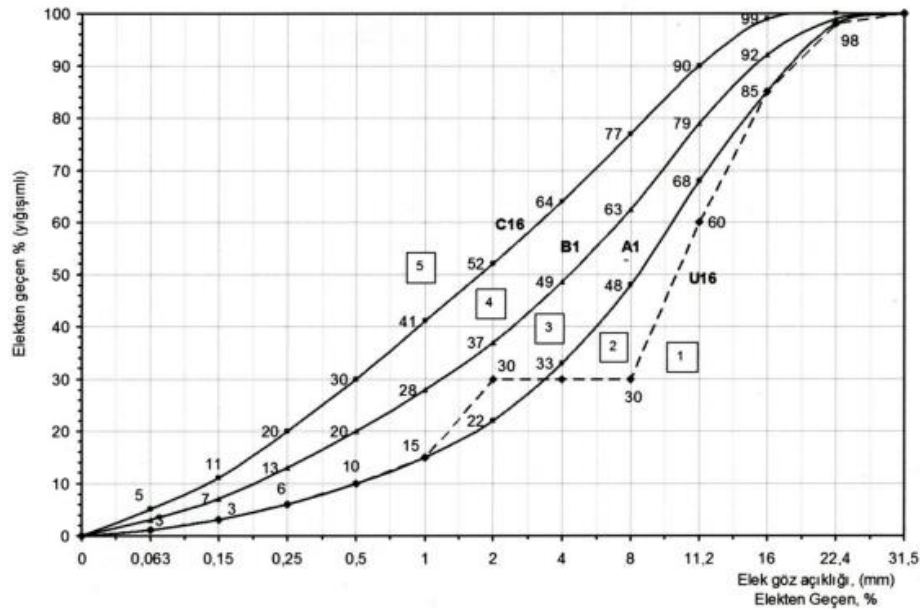
Uygun forma çevrilmiş atık metallere oluşan lifler beton karışımına hacimce %0,5, %1, %1,5 ve %2 oranında katılmıştır. Aynı oranlarda çelik lifli betonlarda hazırlanmıştır. Tüm oluşturulan betonlarda s/ç oranı 0,46 ve kimyasal katkı olarak oranı çimentonun yüzde %0,5'u olacak şekilde süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Betonun hedeflenen basınç dayanımı ise C30/37'dir. Oluşturulan numunelere gerekli deneyler yapılarak çelik lifli ve atık metal lifli betonlar karşılaştırılmıştır.

Deneylerin hazırlanmasında kullanılmış olduğumuz çimento, su, agrega, atık lif ve katkı malzemelerinin literatür araştırması ile ya da üretici firmalardan öğrenildiği özellikleri alt başlıklarda verilmiştir.

3.1.1. Agrega

Hazırlanan tüm numunelerde ince agrega olarak kırma kum (0-4 mm), iri agrega olarak kırmataş (4-16 mm) kullanılmıştır. Lif katkılı betonun üretimi, liflerin beton karışımı içerisinde topaklaşmaması ve TS EN 933-1'in yapı elemanı en dar boyutu 6-14 cm koşuluna uygun olduğu için agreganın en büyük tane boyutu 16mm seçilmiştir. TS 802'de beton karışım hesabında kullanılacak agrega tane büyüklüğü dağılımı grafiklerinden yola çıkarak numunelerde kullanılacak karışım oranları belirlenmiştir.

Agreganın beton üretimine uygun koşulları sağlaması amacıyla ideal granülometri için belirlenmiş olan maksimum ve minimum sınır eğrileri arasındaki bölgelere düşmesi gerekmektedir. Bu kapsamda maksimum ve minimum sınır eğrileri arasında A, B ve C olmak üzere üç sınır eğrisi tanımlanmıştır (Öztürk, 2020). Şartnameye göre A-B eğrisi arasında kalan alana denk gelen tane dağılımları uygun bölge olduğundan tercih edilmiş ve uygulanmıştır



Şekil 3.1: Tane büyüklüğü en fazla 16,0 mm olan agregalardan oluşan beton için belirlenen agregatane büyüklüğü dağılımı eğrisine ait sınırlar (TS 802, 2016)

Agregaların elek analizi deneyleri TS EN 933-1'e uygun olarak, yoğunluk tayini deneyleri ise TS EN 1097- 6'ya uygun olarak yapılmıştır. Deney numunelerinin üretiminde kullanılan agregaların karışım oranları %45 ince agregat %55 iri agregat olarak belirlenmiştir.

3.1.2. Çimento

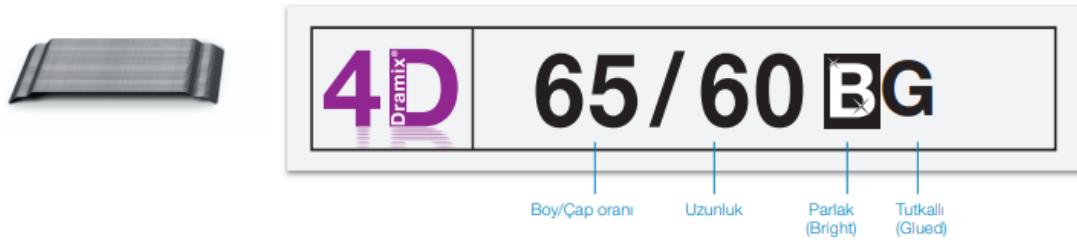
Bu çalışmada, Çimsa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. firmasında üretilmiş olan Cem I 42.5 R portland çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentoya ait fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikler Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1: Çimentonun özellikleri

KİMYASAL BİLEŞİMLER	ORAN (%)	FİZİKSEL ÖZELLİKLER	
SiO ₂	18,95	Özgül Ağırlık	3,15
Al ₂ O ₃	4,34	Özgül Yüzey (cm ² /g)	3650
Fe ₂ O ₃	3,26	Priz Başlangıcı (dak.)	158
SO ₃	3,70	Hacim Genleşmesi (mm)	1
Na ₂ O	0,45	Serbest CaO (%)	2,5
K ₂ O	0,60	Çözünmeyen Kalıntı (%)	0,9
CaO	64,07	Kızdırma Kaybı (%)	3,5
MgO	1,19	Basınç Dayanımı (MPa)	
Klorür Cl ⁻	0,040	2 gün	28,5
Kızdırma Kaybı	2,60	7 gün	39,5
Eşdeğer Alkali	0,79	28 gün	52,6
Çözünmeyen Kalıntı	0,40		

3.1.3. Çelik lif

Bu çalışmada Bekaert firmasının Dramix4D 65/60BG çelik lifleri kullanılmıştır. Dramix4D çelik liflerin 60mm uzunlukta olanları atık metallerimizin uzunluğuyla kıyaslanabilecek uzunlukta olması için seçilmiştir. Dramix® 4D, üstün servis gereksinimine sahip, statik ve dinamik yüklere, yorulmaya maruz, statikçe belirsiz beton yapılar için optimum çatlak kontrolü sağlar (Bekaert, 2019). Lifin boyutları ve teknik özellikleri aşağıdaki tablo ve şekillerde verilmiştir. Çelik liflerden deneysel çalışmalarda sırasıyla hacimce %0,5, %1, %1,5 ve %2 oranında kullanılmıştır.



Şekil 3.2: Dramix4D çelik lif model bilgileri

Tablo 3.2: Dramix4D geometrik ve mekanik özellikleri

Geometrik Özellikleri		Mekanik Özellikleri	
Tel Grubu	4D	Nominal Çekme Dayanımı	1600 (N/mm ²)
Uzunluk (l)	60 mm	Elastise Modülü	200,000 (N/mm ²)
Çap (d)	0,9 mm	Taşıma gücü sınır durumuna karşılık gelen birim şekil değiştirme	0,8%
Narinlik Oranı (L/d)	65		

3.1.4. Atık metal lif

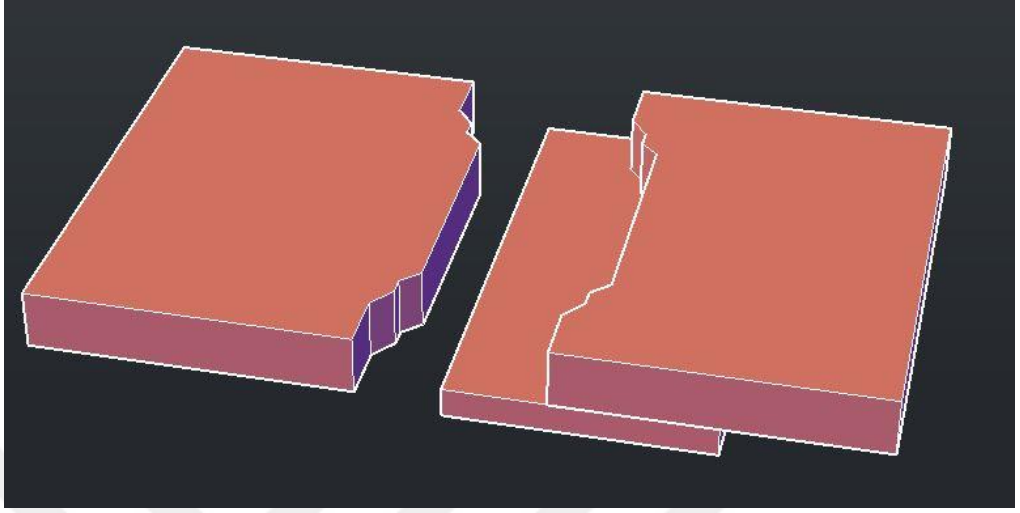
Kale Kilit firmasının Ereğli Demir ve Çelik Fabrikalarından temin ettiği katalog numarası gZR 1311 olan galvaniz sac malzemenin atıkları kullanılmıştır. GZR 1311 kalite çelik saclar yüzeyi çinko ile kaplanmış olarak üretilmektedir. Çinko il daldırma ya da elektrolitik kaplama yöntemi ile kaplanır. Çinkoyla kaplandıktan sonra yüzeyine kromat solüsyonu ya da yağ sürülerek pasa karşı korunması sağlanmaktadır. Diğer çelik saclara göre avantajları; yüksek korozyon direncinin bulunması, estetik yüzey görünümü, şekillendirilebilirlik, kaynaklanabilirliktir. Beton içerisinde kullanımında yüksek korozyon direncinin olması paslanmaya karşı büyük avantaj sağlamaktadır. Ayrıca malzeme malzeme 270-500 N/mm² çekme dayanımına sahiptir. Tablo 3.3’de ise malzemenin içerisinde bulunan kimyasal elementlerin yüzdesi verilmiştir.

Tablo 3.3: GZR 1311 Kalite numaralı sacların içerisindeki kimyasal elementler

Kimyasal Elementler	Oranı (%)
Demir	99,7075
Karbon	0,04
Niyobyum	0,0025
Mangan	0,225
Fosfor	0,01
Kükürt	0,01
Titanyum	0,005

Elimizde bulunan teknolojik fireler lif formuna çevrilip karşılaştırılması yapılabilmesi için Dramix4D 65/60BG boyutlarına benzer şekilde kalıp hazırlanarak atık tellerin hepsi 63 mmde kesilip kalıpta preslenerek benzer şekle dönüştürülmüştür. Aşağıdaki

şekillerde çelik malzemeden hazırlanan kalıp, presleme işlemi, liflerin hazırlanışı ve liflerin ölçümleri gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Çelik kalıbın 3D görüntüsü



Şekil 3.4: Çelik kalıp



Şekil 3.5: Numunelerin gerekli uzunlukta kesilmesi



Şekil 3.6: Numunelerin preslenip uygun forma getirilmesi

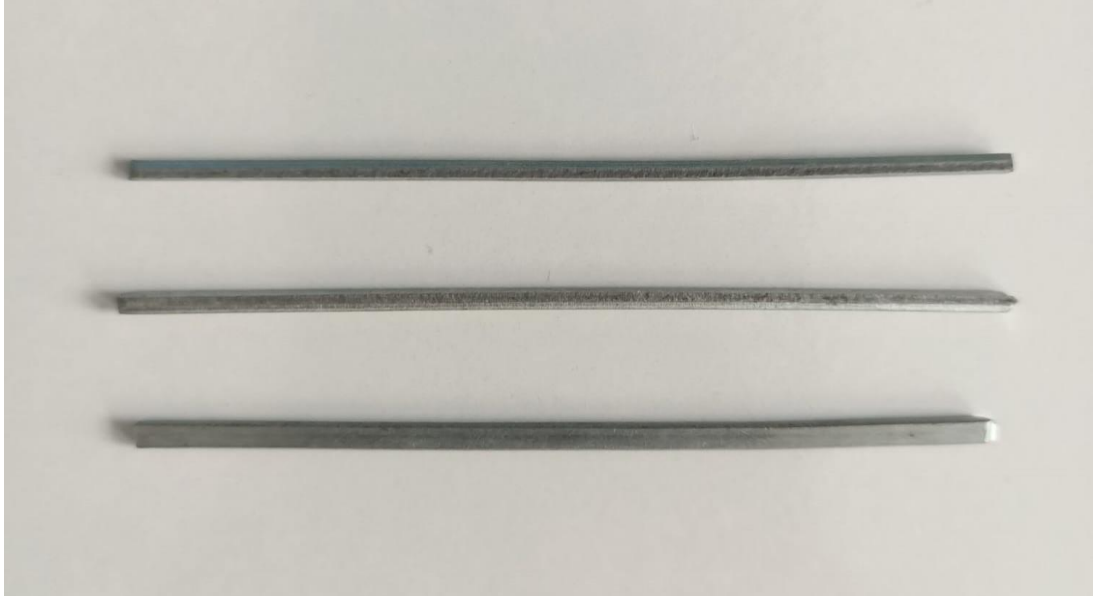
Hazırladığımız çelik kalıp üzerinde tüm atık lifler pres uygulanarak Dramix4D endüstriyel çelik liflerine benzer şekle çevrilmiştir.





Şekil 3.7: Atık lifin boyut ve ağırlığının ölçümleri

Atık liflerin özgül ağırlığı; kumpas yardımıyla uzunlukları $1.5^{mm} * 2.07^{mm}$ ölçülmüştür. Hassas teraziyle ağırlığının 1.4 gr tartılması sonucu hesaplanarak $7,25 \frac{gr}{mm^3}$ bulunmuştur.





Şekil 3.8: Atk lifin öncesi ve sonrası

3.1.5. Karışım suyu

TS EN 1008 standardına göre içilebilir nitelik taşıyan sular betonda kullanıma uygundur. Karışımların hazırlanmasında kullanılan su, betona zararlı olabilecek organik madde içermeyen ve sıcaklığı 20 ± 5 °C sıcaklığındaki şebeke suyu kullanılmıştır.

3.1.6. Kimyasal katkı

Üretilecek olan beton numunelerinde lif ilavesi işlenebilirliği etkileyebileceğinden dolayı kimyasal katkı olarak süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Süper akışkanlaştırıcı malzeme olarak YAPICHEM firmasının DEGASET AX4500 katkısı kullanılmış olup özellikleri Şekil 3.11.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.4: Kimyasal Katkının Teknik Özellikleri

Teknik Özellikler	
Kimyasal İçerik	Polikarboksilat esaslı
Renk - Görünüm	Kahverengi sıvı
pH	4 - 8
Yoğunluk	1,07 ± 0,02 g/cm ³
Klor İçeriği (%)	<0,1 (EN 480 - 10'a göre)
Alkali İçeriği (%)	<10 (EN 480 - 12'ye göre)
Standartlara Uygunluk	ASTM C 494 Tip F TS-EN 934-2 Çizelge 3.1 ve 3.2 Bayındırlık Bakanlığı Poz. NO: 04.613/1-A3

3.2. Beton Karışım Hesabı ve Numunelerin İsimlendirilmesi

Beton karışım hesabı TS 802 standardına uygun koşullar sağlanarak yapılmıştır. Betonun çevresel etkisi XC4 seçilmiş olup bu etki sınıfının sınır değerleri en büyük s/ç oranı 0,55 ve en az çimento miktarı 280 kg/m³ olarak verilmiştir.

Deneysel çalışma için betonun dayanım sınıfı C30/37 seçilmiştir. C30/37 dayanımlı beton üretmek için hedeflenen basınç dayanımı değeri 36 MPa 'dır. Hedeflenen dayanıma göre yaklaşık s/ç oranı 0,46 olarak belirlenmiştir. TS 802'e göre karışımın su miktarı hedeflenen çökme değeri, kullanılacak agrega ve hava içeriğine göre belirlenmektedir. Bu çalışmada kırmataş agrega kullanılan, çökme değeri (8-10cm) aralığında olan ve hava sürüklenmemiş koşullarına uyan grafiğe göre su miktarı 226 kg/m³ olarak belirlenmiştir. S/ç oranı 0,46 olduğundan bağlayıcı malzeme olan çimento miktarı 491,3 kg/m³ olarak hesaplanmıştır. TS 802'e göre hava içeriği 2,2 olarak belirlenmiştir. Ayrıca karışımlarda çimentonun %0.5'i oranında süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Hesaplanan ve grafiklerden okunan değerler çevresel etki sınıfının sınır kurallarına uygun olduğu tespit edilmiştir.

Çelik ve atık liflerin karşılaştırılması yapılacağından hazırlanacak numunelerde hacimsel olarak %0,5, %1, %1,5 ve %2 oranlarında lif kullanılmıştır.

TS 802 standardının mutlak hacim metodu; çimento, su, hava ve agrega hacminin toplamının 1m³ olması prensibine göre çalışmaktadır. Bulduğumuz değerlerin

toplamının 1m³'ten çıkarılmasıyla agrega hacmi bulunmaktadır. Ardından tüm malzemelerin ağırlıkları hesaplanıp Tablo 3.5'te verilmiştir.

Bu deneysel çalışmada toplam 27 adet 10*10*10 küp numune ve 27 adet 7,5*7,5*50 kiriş numuneleri hazırlanmıştır. 3'er adet şahit numuneler dışında 24 adet çelik lif katkı ve 24 adet atık lif katkıli betonlar üretilmiştir. Deneylerin yapılması, açıklanması ve yorumlanmasının daha anlaşılır ve kolay açıklanabilmesi için numunelerin isimlendirilmesi yapılmıştır.

İsimlendirmede referans beton numuneler için R, çelik lifler için ÇL, atık lifler için AL kodları kullanılmış olup çelik lifli numuneler için Ç, atık lifli numuneler için A kodları kullanılmıştır. 0,5, 1, 1,5 ve 2 sayıları sırasıyla numunelerin lif katılım oranlarını belirtmektedir. Numune küp ve kiriş kalıplarının isimlendirilmesi için de sırasıyla "C" ve "B" harfleri kullanılmıştır.

Tablo 3.5: 1m³ beton için gerekli malzemeler miktarları (kg)

	ÇİMENTO	SU	KUM	İRİ AGREGA	AKIŞKANLAŞTIRICI KATKI	ÇELİK LİF	ATIK LİF
R	490	226	724	869	2,45	0	0
Ç0,5	490	226	724	869	2,45	39	0
Ç1	490	226	724	869	2,45	78,1	0
Ç1,5	490	226	724	869	2,45	117,5	0
Ç2	490	226	724	869	2,45	156,2	0
A0,5	490	226	724	869	2,45	0	36,25
A1	490	226	724	869	2,45	0	72,5
A1,5	490	226	724	869	2,45	0	108,7
A2	490	226	724	869	2,45	0	145

3.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Kürlenmesi

Karışım hesaplarında uygun olarak numuneler tartılıp hazırlanmıştır. Beton üretimi 3'er set olacak şekilde planlandığından her setten önce kalıplar yağlanıp hazır hale getirilmiştir. Numunelerin karışmaması için üzerlerine yapıştırılan içeriğinde ne olduğunu anlamamızı sağlayan etiketler hazırlanmıştır.

Beton üretimi 4 aşamada gerçekleştirilecektir. İri daneli agregalar ilk olarak doldurulup ardından ince daneli agregalar 56 lt kapasiteye sahip beton mikserine boşaltılmış ve karıştırılmıştır. Ardından çimento karışıma eklenerek karıştırmaya devam edilmiştir. Üçüncü aşama da karışıma suyun yarısı eklenerek istenilen kıvama gelene kadar bir süre

karıştırılmıştır. Son aşamada kalan suya akışkanlaştırıcı katkı ilave edilip karışıma eklenerek uygun kıvamda gelene kadar karıştırılmaya devam edilmektedir. Lifli beton üretiminde ise aşamalar aynı olup su ilave edilirken kazana liflerde dökülüp karıştırılmaya devam edilir.

Hazırlanan karışıma ilk olarak “Slump (Çökme) Deneyi” yapılarak kıvamının kontrolü sağlanmıştır. Uygun kıvamda hazırlanmış olan beton; kalıplara dökülmeye başlanmıştır. Kalıpların ilk olarak yarısı doldurulup, sonra şişleme çubuğu ile şişlenerek sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kalıbın kalanına da aynı işlemler yapıldıktan sonra çelik mala ile beton yüzeyinin tesviyesi gerçekleştirilmiştir. Numune planlamamıza göre her karışım sonunda 3'er adet 10*10*10 küp ve 3'er adet 7,5*7,5*50 kiriş numuneleri üretilmiştir.

Her set sonunda hazırlanan numunelerin üzerine etiketleri yapıştırıldıktan sonra laboratuvar içerisindeki uygun bir yerde priz alması beklenmiştir. Yeterli prizi aldıktan sonra numuneler dikkatlice kalıptan çıkartılıp 28 gün bekletilmek üzere kür havuzuna yerleştirilmiştir.





Şekil 3.9: Numunelerin kalıplara yerleştirilmesi, kalıplardan sökülmesi ve kür havuzuna yerleştirilmesi

Deneyisel çalışmalar kapsamında üretilen beton numunelerine yaş haldeyken çökme ve birim hacim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Sertleşmiş beton numunelerine ise ultrases geçiş hızı testi, birim hacim ağırlık, tek eksenli basınç deneyi, üç noktalı eğilme deneyi yapılmıştır. Ayrıca atık liflere çekme testi yapılmıştır.

3.4.1. Çekme deneyi

Çekme deneyi SHİMATZU çekme cihazında yapılmaktadır. Atık liflerin çelik lifler ile çekme dayanımlarının karşılaştırılmasını yapabilmek için çekme testine tabii tutulmuştur.

Malzemelerin yük altında elastik ve plastik davranışlarını incelemek için çekme deneyi yapılmaktadır. Malzemeye çekme deneyi yapılabilmesi için standartlara uygun şekilde boyutları hazırlanmalıdır. Boyutları uygun olan malzemenin iki ucu çekme cihazının iki çesine bağlanarak eksenel ve değişken kuvvetlere tabii tutulur. Çenelerden birisi sabit ve istenilen bir hızda hareket ettirilerek deney parçasına değişken miktarlarda çekme kuvveti uygulanır ve bu kuvvete karşılık gelen uzama kaydedilmektedir.

Düşük kuvvet seviyelerinde uzama miktarı kuvvet ile doğru orantılı olarak artmakta ve malzeme elastik davranış içindedir. Yani bu durumda kuvvet kaldırıldığında malzeme tekrar eski haline dönebilmektedir. Üst akma noktasına kadar bu davranış devam etmekte o seviyeden sonra malzeme akma davranışına geçmektedir. Bu süreçten sonra plastik deformasyonlar başlamaktadır. Kuvvet azaltılırsa malzeme tamamen eski haline dönemeyip bir miktar plastik deformasyona uğramış olacaktır. Eğer yükleme devam ederse Şekil 3.16'da gösterildiği üzere akma mukavemetinin olduğu yerde malzemede

büyük miktarda plastik deformasyonlar olur. Akan malzeme “çalışma sertleşmesi”ne uğrar ve daha mukavim hale gelerek daha fazla kuvvet alabilir hale gelir. Malzeme yük almaya devam ederse maksimum noktasına ulaşır ve çekme mukavemeti değeri belirlenmiş olacaktır. Yükleme devam ettikçe en son kopma noktasına gelir ve deney tamamlanmaktadır. Kuvvet-uzama eğrisinin altında kalan alan o numuneyi bozunuma uğratmak için gereken enerjiye eşit olup; bu enerjiyi yutabilme kapasitesine tokluk adı verilir.



Şekil 3.10: Atık liflerin çekme deneyi sırasında ve sonrasındaki halleri

3.4.2. Taze beton deneyleri

3.4.2.1. Çökme (Slump) deneyi

Betonun işlenebilirlik ve kıvamının tayini için TS 12350-2 standardına uygun olarak çökme deneyi yapılmıştır. Slump deneyinde her defasında çökme konisinin 1/3'ü dolacak şekilde beton doldurulup 25 defa şişlenmiştir. Tamamı dolup son şişleme işlemi yapıldıktan sonra koninin üst yüzeyi mala yardımıyla tesviye edilmiştir. Beton yüzeyinin düzleme işlemi tamamlandıktan sonra çökme konisi düşey doğrultuda yukarıya doğru çekilip beton karışımının yanına yerleştirilmiştir. Koninin üstü referans alınarak beton karışımının en üst mertebesi ile referans noktanın arasındaki uzaklık ölçülmüştür. Bulunan değer betonun çökme değerini vermektedir.



Şekil 3.11: Betonda çökme (slump) deneyi

3.4.3. Sertleşmiş beton deneyleri

3.4.3.1. Birim hacim ağırlık

Küp numunelerin her biri için 28 gün sonunda TS EN 12390-7'ye uygun olarak birim hacim ağırlık deneyi yapılmıştır. Kür havuzundan çıkarılıp normal hava şartlarında kurutulan küp numuneleri terazi yardımıyla tartılıp not edilmiştir. Ardından 10*10*10 küplerimizin ağırlıklarının hacmine oranlanması ile birim hacim ağırlıkları hesaplanmıştır. Bulunan tüm verilerin aritmetik ortalaması alınarak betonun birim hacim ağırlığı elde edilmiştir.

3.4.3.2 Ultrases geçiş hızı deneyi

Ultrases geçiş hızı deneyi ultrasonik ses dalgaların beton numunelerinin bir ucundan diğer ucuna ulaştığı süreyi ve hızını ölçmektedir. Ultrases geçiş hızı betonun yoğunluğu ve gözenekli yapısıyla ilgilidir. Boşluksuz, iyi sıkıştırılmış ve yoğun bir betonun ultrases geçiş hızı daha yüksektir. Ultrases geçiş hızının düşük olması da boşluklu bir yapıya sahip olduğunu vereceğinden dayanımı ve durabilitesi hakkında bilgi edinmemimizi de sağlamaktadır.

Tablo 3.6: Betonun kalitesi ile ultrases geçiş hızı sonuçlarının arasındaki ilişki (Güner, 1999)

Ultrases Geçiş Hızı	Beton Kalitesi
<2	ok Zayıf
2 - 3	Zayıf
3 - 3,5	Őüpheli
3,5 - 4,5	İyi
> 4,5	ok İyi

Hazırlanan 10*10*10 küp numunelerinin her birine TS EN 12504-4 ve ASTM C597-16'ya uygun olarak ultrases geçiş hızı testi yapılmıştır. Ultrasonik dalgaların geçiş sürelerinin ölçülmesinde numune yüzeyindeki pürüzlerin oluşturduğu boşluklardan oluşabilecek problemlerden dolayı numunelerin ölçüm yapılacak yüzeyleri temizlenip deney cihazının problemlerine gres yağı sürülerek deney yapılmıştır. Daha sonra problemler deney numunesinin karşılıklı iki yüzeyine yerleştirilerek okuma yapılmış sonuçlar not edilmiştir.



Şekil 3.12: Ultrases geçiş hızı deneyi

3.4.3.3. Basınç dayanımı

Basınç deneyi, 300 tonluk basınç presinde 10x10x10 cm boyutlarındaki küp numunelerine 28. gününde TS EN 12390-3'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler test cihazına yükleme yönü numunelerin kalıp içinde kalan yüzeylerine gelecek şekilde yerleştirilmiş ve numune boyutları cihaz ekranından seçilmiştir. Cihaz tarafından yükleme hızı otomatik olarak 5 kN/sn seçilerek numuneler üzerinde basınç

deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney tamamlandığında numuneye ait kırılma yükü değeri ve basınç dayanımı değeri cihaz ekranından okunmuştur.

$$\sigma = P / A \quad 3.1$$

Denklem 3.1'de, σ_b ; basınç dayanımını (N/mm²), P; numunenin kırılma anındaki yükünü (N) ve A; numunenin basınca maruz kalan yüzey alanını (mm²) ifade etmektedir.



Şekil 3.13: Beton numunelerin basınç dayanımı ve sonrasındaki halleri

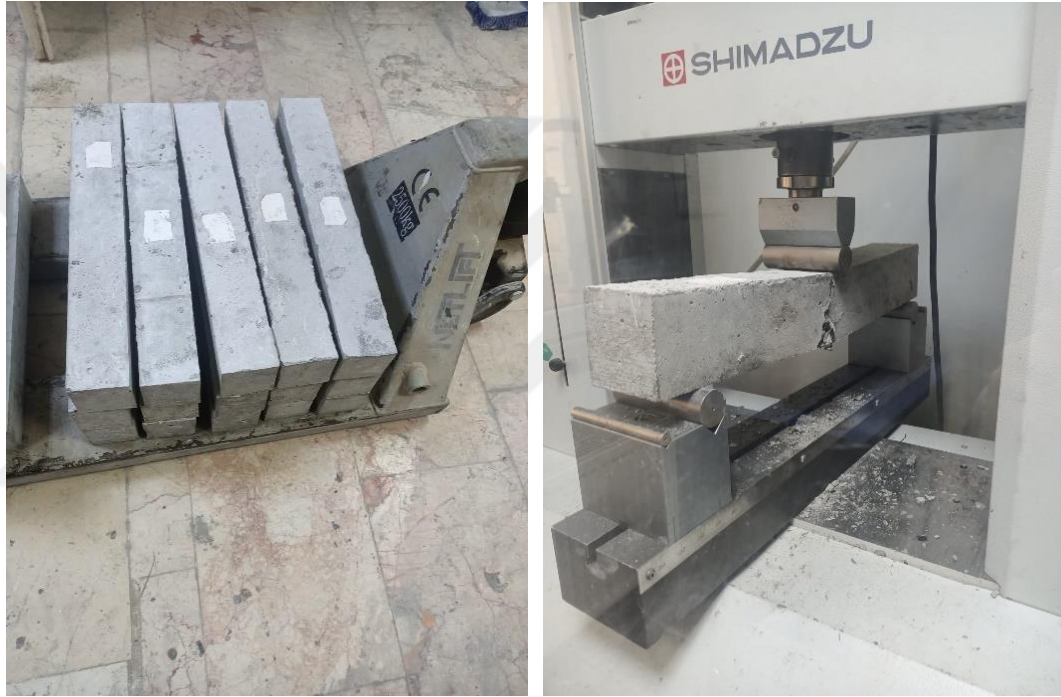
3.4.3.4. Eğilme dayanımı

Betonun eğilme dayanımı tayini TS EN 12390-5 (2002) ve TS 10515 (1992) standartlarına göre 7,5*7,5*50 cm ölçülerindeki numunelerin açıklığının orta noktasından yüklenmiş; lifli ve liffsiz beton numunelerde basit kiriş metodu ile yapılmıştır. Eğilme deneyi SHİMATZU deney cihazıyla yapılmış olup bilgisayarla entegre çalışmaktadır. Gerekli tüm grafikleri elde etmemizi sağlayan verileri veren 50 kN kapasiteli bir cihazla çalışılmaktadır. Deneye başlamadan önce iki mesnet arası uzaklık 40 cm olarak ayarlanmıştır. Daha sonra deney numuneleri mesnetler üzerine

yerleştirilmiş ve numuneye kirişin tam orta noktasından yük uygulanarak numuneler eğilmeye tabi tutulmuştur.

$$\sigma_{eğilme} = \frac{M}{W} = \frac{(\frac{P}{l})/4}{(b/h)^2/6} \quad 3.2$$

Denklem 3.2'de $\sigma_{eğilme}$; eğilme dayanımı (N/mm^2), M; maksimum eğilme momenti (mm) ve W; mukavemet momenti (mm) olarak ifade edilmektedir.



Şekil 3.14: Eğilme dayanımı deneyi

BÖLÜM 4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışma kapsamında; taze haldeki betona çökme deneyi, sertleşmiş beton numunelerine ise birim hacim ağırlık, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı testleri yapılmıştır. Ayrıca atık lifler çekme deneyine tabii tutulmuştur. Bu bölümde, yapılan deneylerin sonuçları grafikler ve tablolar halinde gösterilerek hem lifler arasında kıyaslama hem yalın beton ile karşılaştırılması yapılmıştır.

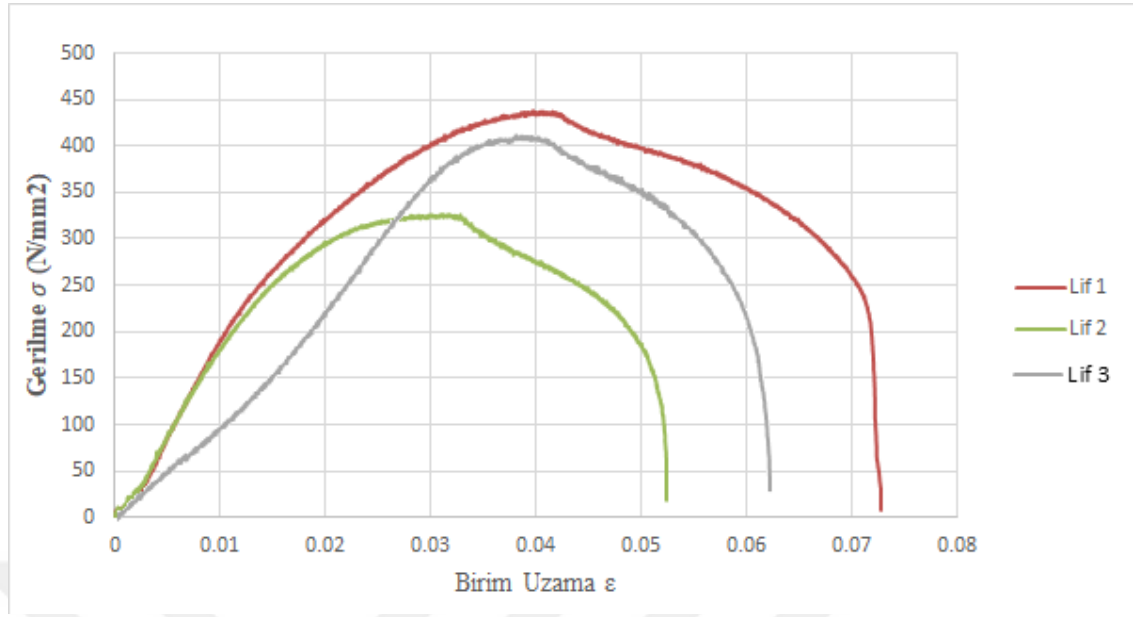
4.1. Çekme Deneyi Sonuçları ve Değerlendirilmesi

3 adet atık lif çekme deneyine tabii tutulmuştur. Çekme deneyini yaparken cihaz dakikada 1mm/min yükleme yapıcak şekilde ayarlanmıştır. 3 lifin ayrı ayrı deney sonuçları Tablo 4.1.'de verilmiş olup gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Atık Liflerin Çekme Deneyi Sonuçları

Malzeme	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Max Kuvvet (N)	Tokluk (N/mm ²)	Elastisite Modülü (N/mm ²)
AL1	444,38	1359,38	24,83	20315,65
AL2	326,590	1014,06	14,70	17712,12
AL3	405,85	1170,31	23,26	7568,23

Atık metal liflere yapılan deneyde AL1 lifinin sonuçlarının diğer liflere nazaran yüksek çıktığı görülmüştür. Bunun sebebi olarak malzemelerin atık malzeme olması düşünülmektedir. Bu malzemeler Kale Kilit firmasının çeşitli ürünlerinin imalatlarında kullanılmaktadırlar. Dolayısıyla her atığın boyutları aynı olmamaktadır. Kalınlıkları aynı olmadığından karşılayabilecekleri yük ve gerilmeler farklı çıkabilmektedir. Ortalaması alınarak çalışmaya devam edilmektedir.



Şekil 4.1: Atık Liflerin σ - ϵ grafiği

Atık liften 3 numune alınarak çekme deneyi yapılmıştır. Bu 3 numunenin sonuçlarına göre çekme gerilme ortalaması 392,27 Mpa tespit edilmiştir. Tokluk 20,93 Nxm, Elastisite modülü 15198,67 N/mm² bulunmuştur.

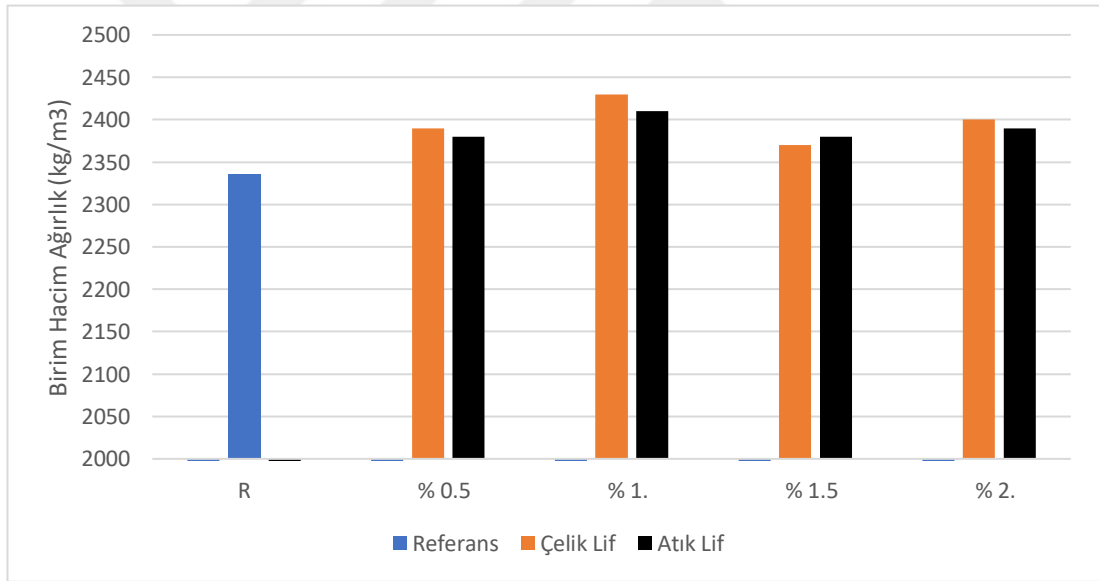
Bu çalışmada kullanılan Dramix4D çelik lifin mekanik özellikleri ile atık lif karşılaştırıldığında; atık lifin çekme gerilmesi çelik lifin çekme gerilmesine oranla yaklaşık 4 kat daha az olduğu saptanmıştır. Çeliğin Elastisite Modülü 200.000 N/mm² değerinde olurken atık lifin deney sonucu olarak 15198,67 N/mm² bulunmuştur. Atık liflerin elastisite modülü çelik lifin elastisite modülüne oranla yaklaşık 17 kat daha az olduğu sonucuna varılmıştır.

4.2 Birim Hacim Ağırlık Deneyi Sonuçları

Birim hacim ağırlık deneyi tüm küp numunelere sertleştikten sonraki haline yapılmıştır. Numunelerin birim hacim ağırlıkları TS EN 12390- 7'e uygun olarak belirlenmiştir. Her serinin ortalaması alınarak tablo haline getirilmiştir. Bu sonuçlar Tablo 4.2'de gösterilmiştir. Şekil 4.4'te ortalamaları alınan numunelerinin kıyaslanabilmesi için sütun grafik de verilmiştir.

Tablo 4.2: Sertleşmiş beton birim hacim ağırlık sonuçları

Numune adı	Sertleşmiş Beton Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)
R	2335
Ç0,5	2390
Ç1	2430
Ç1,5	2370
Ç2	2400
A0,5	2380
A1	2410
A1,5	2380
A2	2390



Şekil 4.2: Yalın, çelik lifli ve atık lifli numunelerin birim hacim ağırlık sonuçları

Birim hacim ağırlık deneyi toplam 27 adet küp numuneye yapılmış olup R numunelerin ortalaması 2335 kg/m³, çelik lifli numunelerin ortalaması 2397,5 kg/m³, atık lifli numunelerin ortalaması 2390 kg/m³ bulunmuştur. Birim hacim ağırlığı en yüksek çıkan numune serisi Ç1 serisi olup 2430 kg/m³ değerine sahipken en düşük birim hacim ağırlığa sahip olan R serisinin değeri ise 2330 kg/m³'tür. Deney sonuçlarına göre çelik lif katkılı betonların birim hacim ağırlıklarının daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun

sebebinin ise çelik liflerin yoğunluğunun atık liflerden daha fazla olması ve çelik lifli betonların daha boşluksuz yerleşmesinden dolayı olduğu düşünülmektedir. Sadece lif katılım oranının %1,5 olduğu seride çelik lif katkıli numuneler atık lifli numunelere göre düşük çıkmıştır. Bunun sebebini ise o seride hazırlanan numunelerde çelik lif katkıli numunelerin yeterli ve düzgün şekilde sıkıştırılmamış olduğu sonucuna varılmıştır.

4.3. Çökme Deneyi Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Bu çalışma kapsamında hazırlanan yalın, çelik lifli ve atık lifli beton serilerinin her biri su miktarları ve akışkanlaştırıcı katkı miktarları sabit tutularak TS EN 12350-2'ye uygun şekilde çökme deneyine tabii tutulmuştur. Betonun Slump değerlerine göre sınıflandırılması TS EN 206:2013+A1 standardına göre Tablo 4.3.'te gösterilmiştir. Tablo 4.4'te ise hazırlanan tüm serilerin çökme deneyi sonuçları verilmiş olup bu değerlerden yalın, çelik lifli ve atık lifli numunelerin kıyaslanabilmesi için Şekil 4.3.'te sütun grafik oluşturulmuştur.

Tablo 4.3: TS EN 206:2013+A1 standardına göre çökme sınıfları

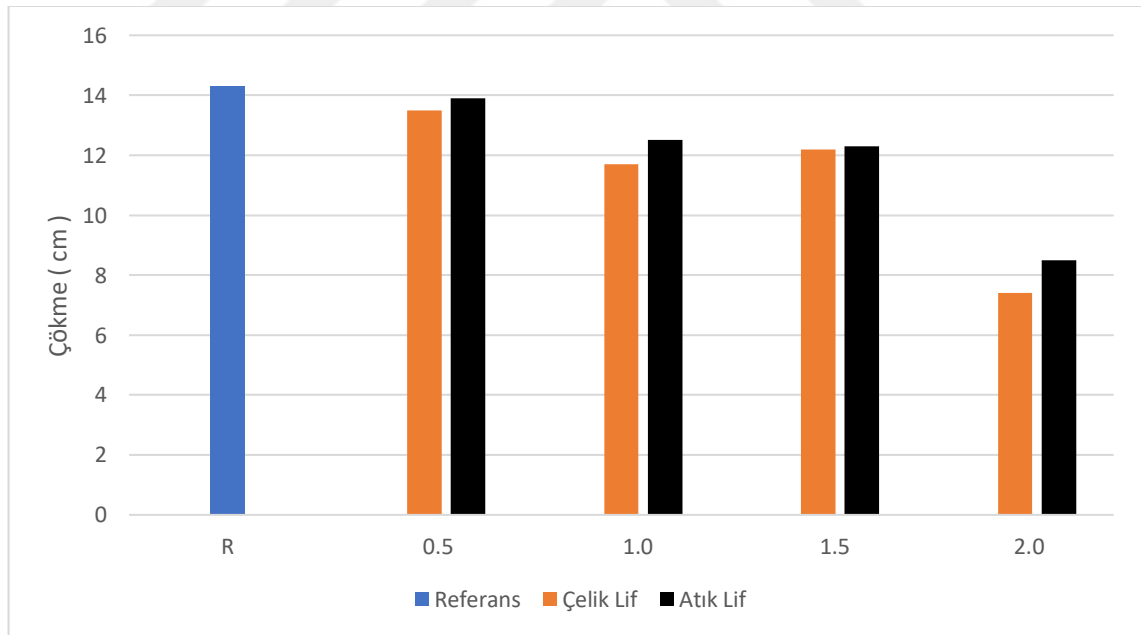
Sınıf	Çökme (cm)
S1	1 - 4
S2	5 - 9
S3	10 - 15
S4	16 - 21
S5	≥22

Tablo 4.4: Çökme deneyi sonuçları

Numune adı	Çökme (cm)
R	14,3
Ç0,5	13,5
Ç1	11,7
Ç1,5	12,2
Ç2	7,4
A0,5	13,9
A1	12,5
A1,5	12,3
A2	8,5

Aslında tahmin edileceği gibi lif oranı arttıkça çökmenin azalması beklenen bir sonuçtur. Ancak bu azalmanın ne kadar olacağı, çelik ve atık liflerinin ne kadar etkileyeceği hakkında bilgi sahibi olmak için deney sonuçları ihtiyacımız vardır.

Tablo 4.4'te çökme deneyi sonuçlarına göre çelik lif katkılı betonlarda çökmenin daha az olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin ise çelik liflerin atık liflere göre et kalınlıklarının daha az olduğundan dolayı sonucuna varılabilir. Çelik liflerin et kalınlığı daha az olduğundan dolayı beton içerisinde topaklaşmanın daha fazla olacağı bu sebepten ötürü sıkıştırma işleminde atık liflere nazaran daha az sıkışabileceği sonucuna varılabilmektedir. Ayrıca deney sonuçlarına göre yalın betonun hem çelik lifli hem atık lifli betonlara göre daha işlenebilir olduğu görülmektedir. Lif oranı arttıkça işlenebilirlik azalmaktadır. Lif oranı arttıkça lineer olmayan bir azalma varken %1,5 oranında lif katkısı içeren serilerde ufak bir artış olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin ise o beton serisinde yeterli sıkıştırma-vibrasyon işlemi yapılmamış olabileceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.3: Yalın, çelik lifli ve atık lifli numunelerin çökme deneyi sonuçları

4.4. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi ve Sonuçları

Bu çalışmada tüm küp numuneler üzerinde TS EN 12504-4 ve ASTM C597-16'ya uygun olarak ultrases geçiş hızı deneyi uygulanmıştır. Her serinin ortalaması alınarak

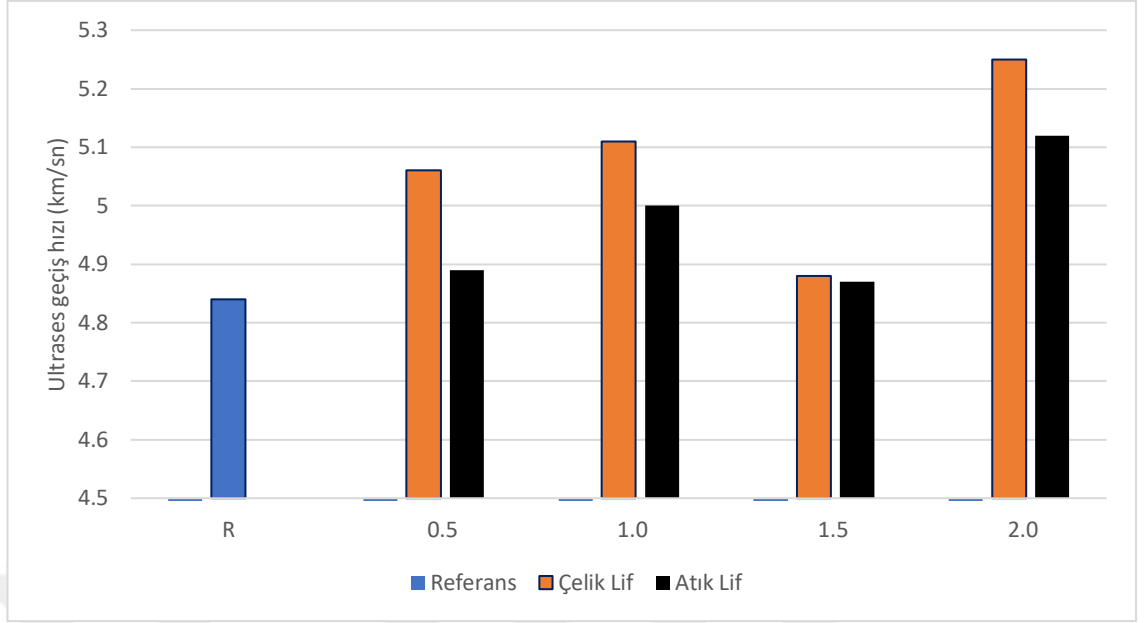
tablo haline getirilmiştir. Bu sonuçlar Tablo 4.5'te gösterilmiştir. Şekil 4.4'te ortalamaları alınan numunelerinin daha rahat ve anlaşılır karşılaştırılabilmesi için sütun grafikte verilmiştir.

Tablo 4.5: Ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları

Numune adı	Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)
R	4,84
Ç0,5	5,06
Ç1	5,11
Ç1,5	4,88
Ç2	5,25
A0,5	4,89
A1	5,00
A1,5	4,87
A2	5,12

Bu deney ses dalgalarının numunelerin bir ucundan diğer ucuna geçiş süresini ölçtüğü bilinmektedir. Bu geçiş süresini etkileyen en önemli etken numunenin boşluklu yapıda olup olmamasıdır. Deney sonuçlarına bakıldığında lif takviyeli betonların daha boşluksuz bir yapıya sahip olduğu anlaşılmaktadır. Ultrases geçiş hızı en yüksek olan numune Ç2 numune serisi olduğu görülmektedir. Sonuçlara göre ultrases geçiş hızının düşük lif oranında anlamlı bir değişim olmadığı fakat %2 lif oranında atık ve endüstriyel lif içeren numunelerin ultrases değerleri artmıştır. Numune içerisinde bulunan çelik liflerin ses iletim hızının betona göre daha yüksek olması bunun nedeni olabilmektedir.

Çelif lifli numunelerin atık lifli numunelere göre ultrases geçiş hızlarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi olarak atık lif katkılı betonlarda çelik lif katkılı betonlara göre topaklaşmanın ve gözenekli yapının daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca atık lifli numunelerin yeterli sıkıştırılmaması topaklaşma ve gözenekli yapıda olmasına sebep olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.4: Yalın, çelik lifli ve atık lifli numunelerin ultrases geçiş hızı deney sonuçları

Ultrases geçiş hızı deney sonuçlarına göre Tablo 3.6'da ki veriler göz önüne alındığında beton kalitesinin çok iyi olarak sınıflandırıldığı sonucuna varılabilmektedir.

4.5. Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları ve Değerlendirilmesi

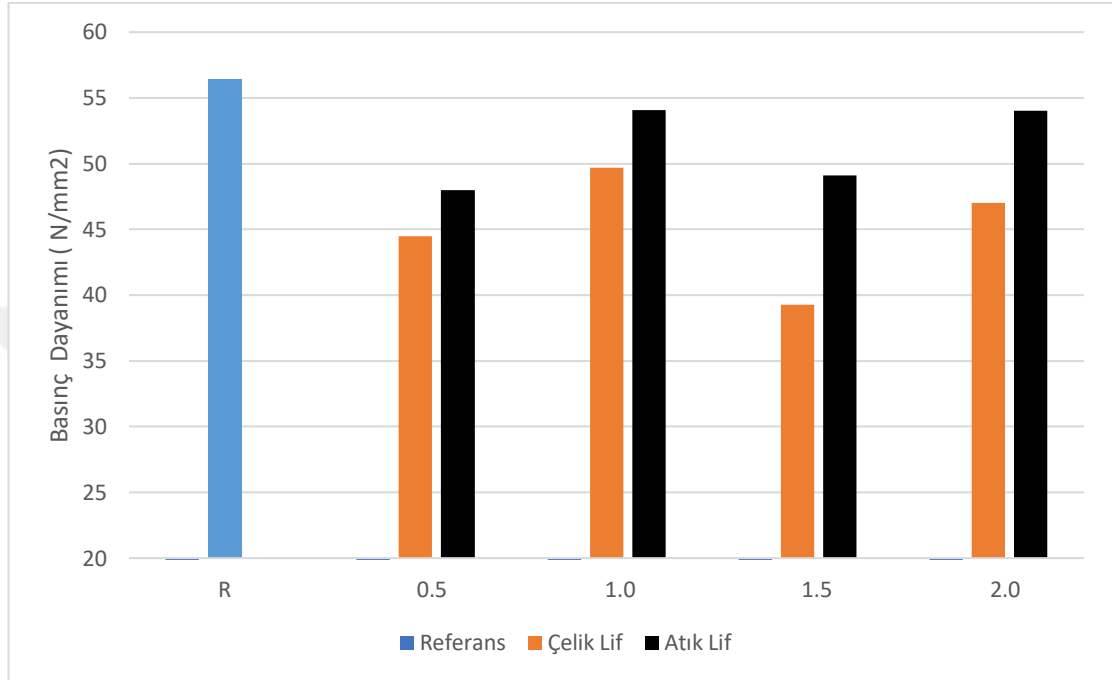
Bu çalışma kapsamında toplam 9 seri beton üretilmiş olup 27 adet küp numune üzerinde 28. gün sonunda TS EN 12390-3 standardına uygun olarak basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Lif oranı ile basınç dayanımı arasında değişken bir ilişki bulunmaktadır. Değişken bir ilişki olmasının üzerinde lif katılım oranı, liflerin dağılımı, lif tipi gibi birçok parametrenin etkisi bulunmaktadır. Basınç dayanımı deneyinde tüm numuneler için yükleme hızı 5kN/sn olarak belirlenmiştir. Her küp numune için deney sonuçları ve yalın beton olan R serisine göre değişim yüzdeleri Tablo 4.6'da verilmiştir. Şekil 4.5.'te ise numuneler arasında karşılaştırmanın daha anlaşılır ve verimli yapılabilmesi için sütun grafik verilmiştir.

Tablo 4.6: Beton basınç dayanım deneyi sonuçları ve değişim yüzdeleri

Numune Adı	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Her Serinin Aritmetik Ortalaması	Değişim Yüzdesi (%)
R	55,93		
R	52,8	56,41	100
R	60,5		
Ç0,5	38,2		
Ç0,5	36,38	44,5	78,88
Ç0,5	58,96		
Ç1	42,52		
Ç1	44,23	49,71	88,12
Ç1	31,06		
Ç1,5	47,67		
Ç1,5	50	39,27	69,61
Ç1,5	51,47		
Ç2	50,54		
Ç2	45,02	47,01	83,33
Ç2	45,47		
A0,5	52,54		
A0,5	54,4	47,97	85,04
A0,5	36,99		
A1	57,17		
A1	48,22	54,08	95,87
A1	56,84		
A1,5	50,85		
A1,5	46,77	49,09	87,02
A1,5	49,67		
A2	52,6		
A2	55,62	54,03	95,78
A2	53,88		

Basınç deneyi sonuçlarına göre en yüksek dayanımı 56,41 Mpa ile lifsiz yani yalın beton sergilemiştir. Hazırlanan tüm numunelerin hedeflenen beton sınıfı C30/37 için uygun olduğu görülmüştür. Fakat lif katkısının betonun basınç dayanımını azaltan bir etkisinin olduğu sonucuna varılmaktadır. Referans olarak alınan R numunelerinin basınç dayanımına en çok yaklaşan seri A1 serisi olmuş ve o seride de %4,13 değerinde bir azalma görülmüştür. Basınç dayanımını en çok azaltan serinin Ç1,5 serisi olduğu %30,39 değerinde bir azalma görülmüştür. Çelik lif katkılı betonların atık lif katkılı betonlara göre basınç dayanımlarının daha düşük çıktığı görülmüştür. Bunun nedeni diğer deneylerimizde de gördüğümüz gibi numunelerin yeterli sıkıştırılmaması olabilir. Ayrıca beton karışım hesabına hacimsel olarak aynı oranda dahil olmalarına rağmen çelik liflerin atık liflere göre yoğunluklarının daha fazla olması bu sebepten miktar

olarak karışımın içerisinde daha çok sayıda olmaları numune içerisinde çelik liflerin daha çok topaklaşmasına sebebiyet vereceği sonucuna varılabilmektedir. Uzun boyutlu liflerin genellikle agrega gradasyonunu olumsuz yönde etkilediği ve etkiden dolayı basınç dayanımında azalmanın olduğu söylenebilir.



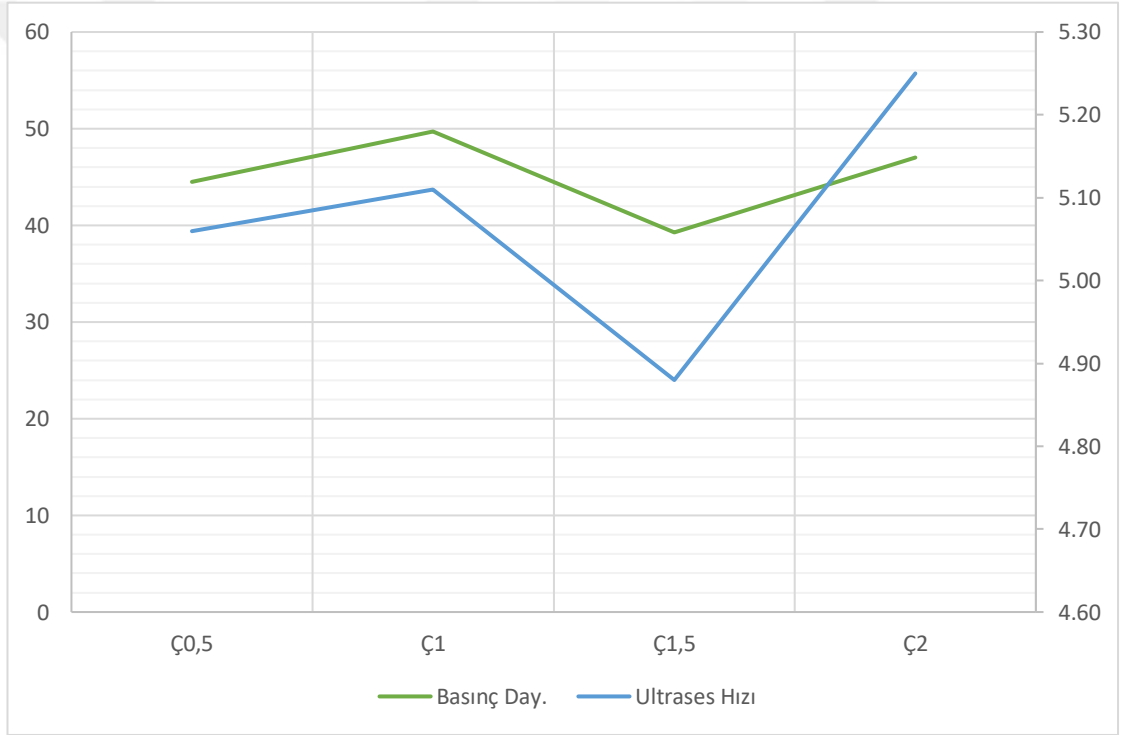
Şekil 4.5: Yalın, çelik lifli ve atık lifli numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları

4.5.1. Basınç Dayanımı- Ultrases Geçiş Hızı İlişkisi

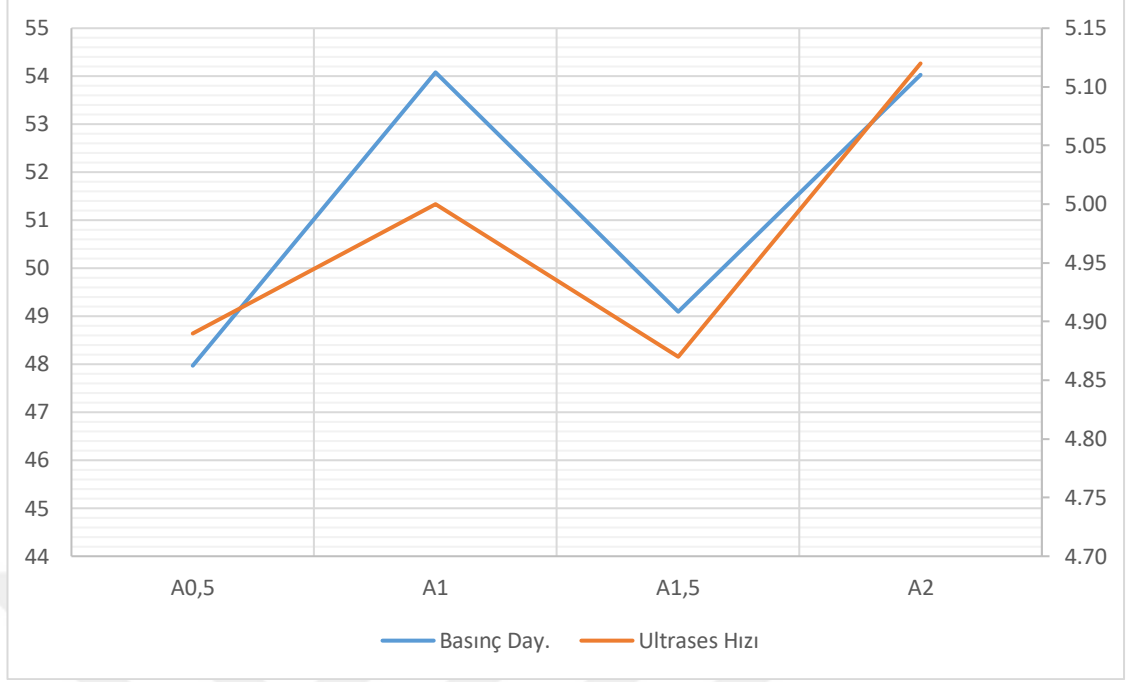
Ultrases geçiş hızı deneyi bizlere betonun gözenekli yapısı hakkında bilgi vermektedir. Betonu oluşturan malzemelerinin uygun bir şekilde homojen olarak dağılımının sağlanıp sağlanmadığını göstermektedir. Betonun basınç dayanımını etkileyen ana faktörlerden birisi de betonu oluşturan malzemelerin homojen olarak dağılmış olmasıdır. Bu sebepten ultrases geçiş hızı yüksek olan betonun basınç dayanımının da yüksek çıkması beklenmektedir.

Tablo 4.7. Betonun basınç ve ultrases geçiş hızı sonuçları

Numune Adı	Basınç Dayanımı	Ultrases Geçiş Hızı
R	56,41	4,84
Ç0,5	44,5	5,06
Ç1	49,71	5,11
Ç1,5	39,27	4,88
Ç2	47,01	5,25
A0,5	47,97	4,89
A1	54,08	5
A1,5	49,09	4,87
A2	54,03	5,12



Şekil 4.6. Çelik lif katkılı numunelerin basınç dayanımı – ultrases geçiş hızı ilişkisi



Şekil 4.7. Atık lif katkılı numunelerin basınç dayanımı – ultrases geçiş hızı ilişkisi

Her iki lif için de lif katılım oranı %0,5, %1 ve %2 olan betonlarda ultrases geçiş hızı arttıkça betonun basınç dayanımının da arttığı görülmüştür. Ultrases geçiş hızı en düşük çıkan %1,5 lif katılım oranında ki betonların çelik ve atık lif katkılı numunelerinde de düşük basınç dayanımına sahip olması beklentimizin doğru olduğunu göstermektedir.

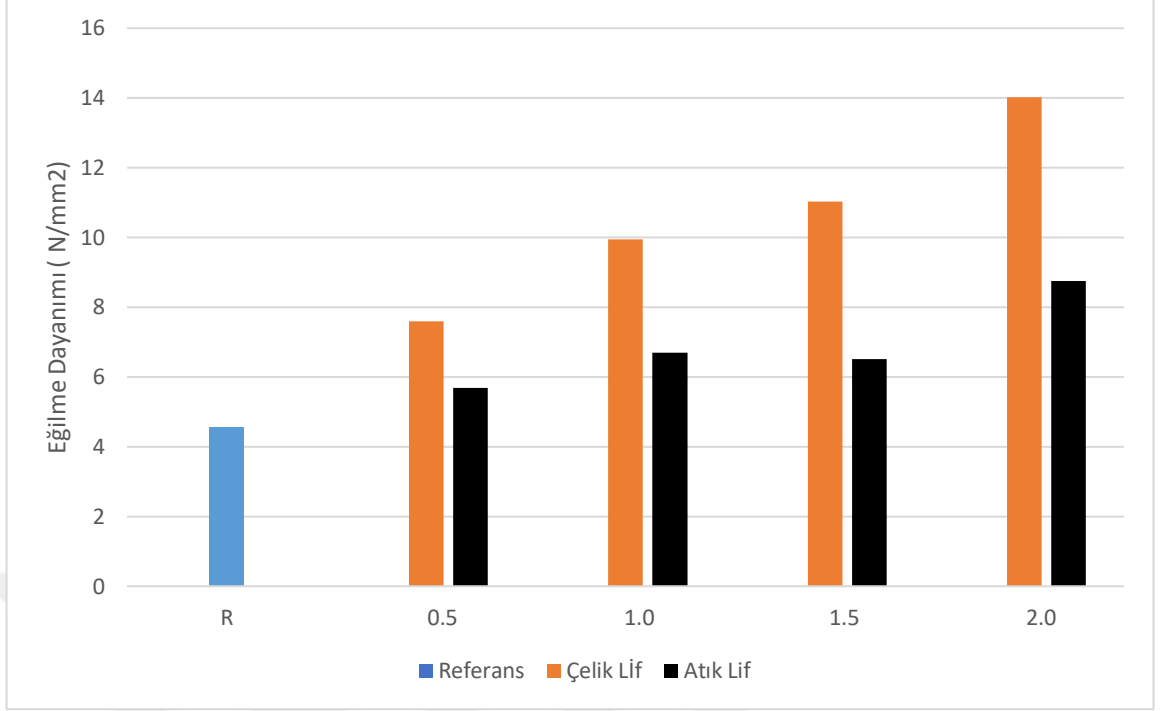
4.6. Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Eğilme dayanımı deneyi; hazırlanan 27 adet 7,5*7,5*50 boyutlarında kiriş numunelerine eğilme dayanımlarını belirlemek için TS EN 12390-5 standardına uygun olarak yapılmıştır. Eğilme dayanımı deneyinde tüm numuneler için yükleme hızı 1 mm/min olarak belirlenmiştir. Bu deney yönteminde numuneler her iki kenarından 40 mm mesafede mesnetlenmiş, kirişin orta noktasından tek noktadan yükleme yapılmıştır. Her numune için deney sonuçları ve yalın beton olan R serisine göre değişim yüzdeleri Tablo 4.7’de verilmiştir. Şekil 4.5.’te ise numuneler arasında karşılaştırmanın daha anlaşılır ve verimli yapılabilmesi için sütun grafik verilmiştir.

Tablo 4.8: Numunelerin eğilme dayanımı ve değişim oranları sonuçları

Numune Adı	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Her Serinin Eğilme Dayanımı Aritmetik Ortalaması	Değişim Yüzdesi (%)
R	3,75	4,56	100
R	5,37		
Ç0,5	8,12	7,59	166
Ç0,5	8,14		
Ç0,5	6,53		
Ç1	10,47	9,95	218
Ç1	8,57		
Ç1	10,82		
Ç1,5	13,87	11,03	242
Ç1,5	9,13		
Ç1,5	10,09		
Ç2	13,13	14,02	307
Ç2	14,69		
Ç2	14,26		
A0,5	5,68	5,69	124
A0,5	5,97		
A0,5	5,4		
A1	6,69	6,69	147
A1	6,48		
A1	6,91		
A1,5	5,61	6,52	143
A1,5	7,72		
A1,5	6,22		
A2	9,82	8,75	192
A2	8,39		
A2	8,04		

Eğilme dayanımı deneyinin sonuçlarına göre; betona bu çalışma kapsamında atık ve çelik lif takviye edilmesinin eğilme dayanımını arttırdığı görülmüştür. Çelik liflerin eğilme dayanımının artışına katkısı çok fazladır. Lif oranı arttıkça eğilme dayanımı artmakta fakat işlenebilirlik azalmaktadır. Eğilme dayanımını en çok arttıran seri Ç2 serisi olup yalın betona göre 3 kattan fazla artış göstermiştir. En az arttıran seri ise A0,5 serisi olup %24 artış göstermiştir.



Şekil 4.8: Yalın, çelik lifli ve atık lifli numunelerin eğilme dayanımı deneyi sonuçları

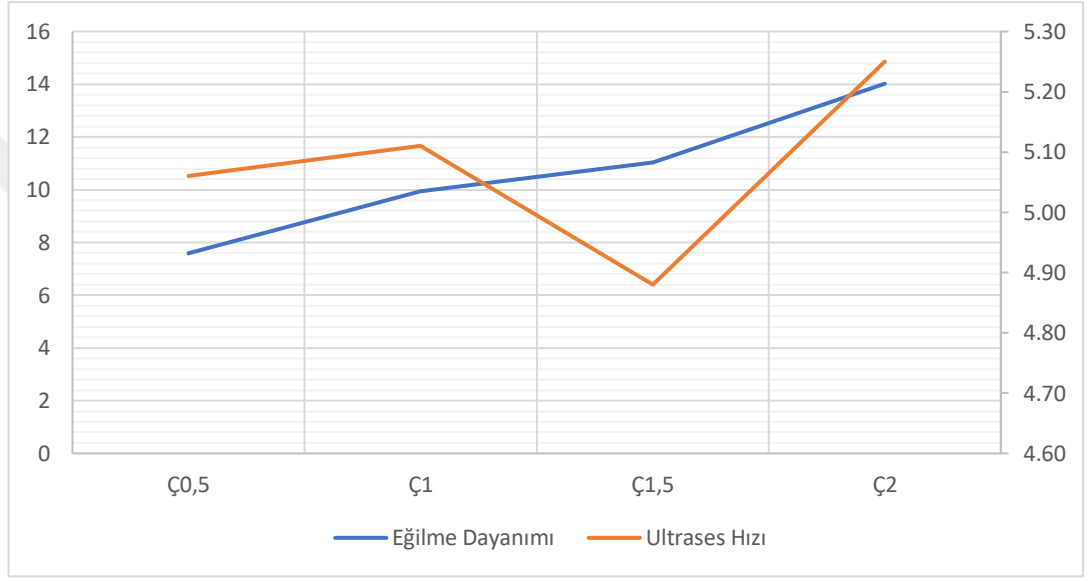
Şekil 4.6.'da ki sütun grafikten de anlaşılacağı üzere ÇL betonların AL betonlara göre eğilme dayanımı daha yüksektir. Fakat sonuçlardan anlaşılacağı üzere atık lif kullanılan her seri yalın betona göre eğilme dayanımını arttırmıştır. Çelik lif katkıli betonların eğilme dayanımlarının daha yüksek olmasının sebebi olarak karışım içerisinde atık liflere oranla daha fazla miktarda bulunmaları düşünülmektedir. Çünkü kırılma gerçekleşikten sonra çelik lif katkıli numunelerde beton yük almaya devam etmiştir. Çatlağın bulunduğu yerde lif miktarı çelik lif katkıli betonlarda daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

4.6.1. Eğilme Dayanımı – Ultrases Geçiş Hızı İlişkisi

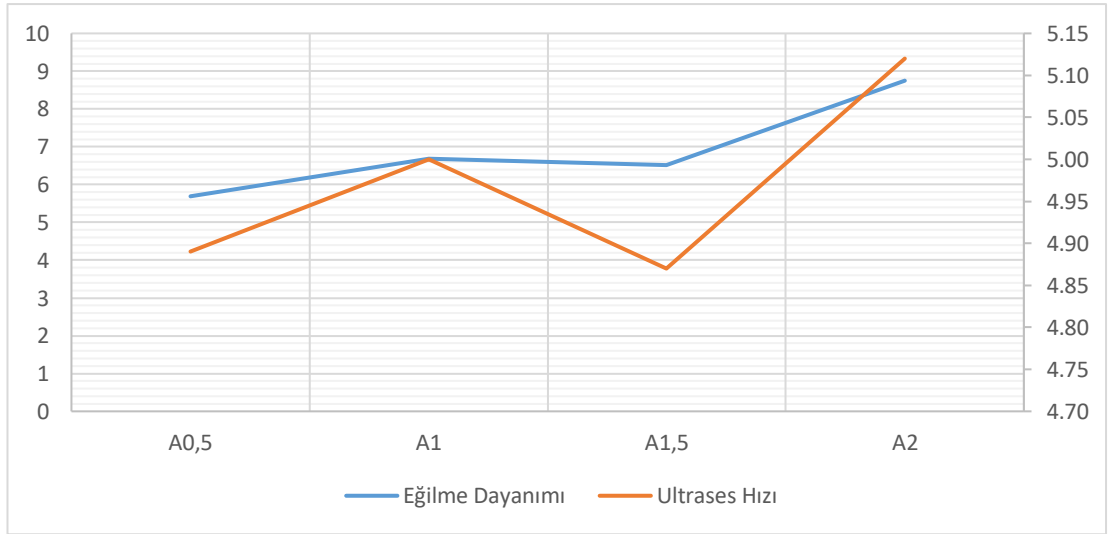
Numunelerin eğilme dayanımları ile Ultrases geçiş hızı sonuçları Tabloda verilmiştir. Ardından iki eksenli sütun grafikte her iki veri birden verilerek aralarında ki ilişkinin incelenmesi sağlanmıştır.

Tablo 4.9. Betonun basınç ve eğilme dayanımı sonuçları

Numune Adı	Ultrases Geçiş Hızı	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)
R	4,84	4,56
Ç0,5	5,06	7,59
Ç1	5,11	9,95
Ç1,5	4,88	11,03
Ç2	5,25	14,02
A0,5	4,89	5,69
A1	5	6,69
A1,5	4,87	6,52
A2	5,12	8,75



Şekil 4.9. Çelik lif katkılı numunelerin eğilme dayanımı – ultrases geçiş hızı ilişkisi



Şekil 4.10. Atık lif katkılı numunelerin eğilme dayanımı – ultrases geçiş hızı ilişkisi

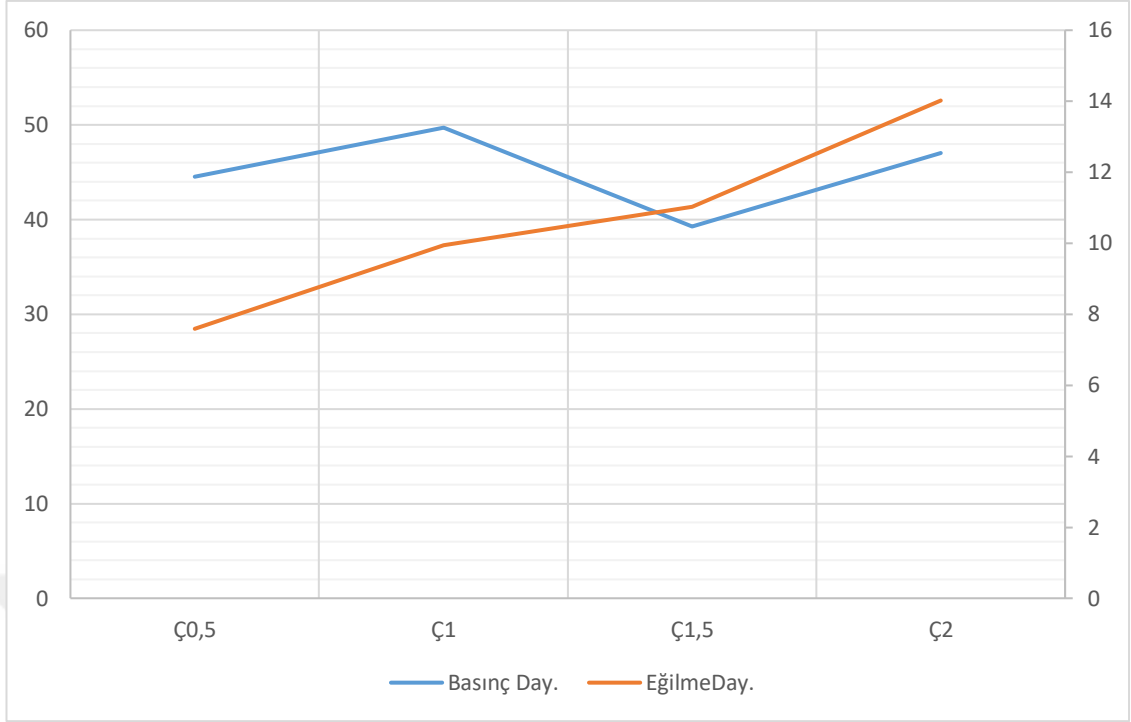
Deney sonuçları incelendiğinde her iki lif için de katılım oranı %0,5, %1 ve %2 olan betonlarda basınç dayanımı arttıkça betonun eğilme dayanımının da arttığı görülmüştür. Sadece %1,5 lif katılım oranında ki betonların çelik ve atık lif katkılı numunelerinde basınç dayanımları artarken eğilme dayanımlarında bir miktar düşüş gözlemlenmiştir. Bunun sebebi olarak liflerin homojen dağılmamış ya da betonun yeterince yerleşmemiş olması düşünülmektedir.

4.6.2. Eğilme Dayanımı – Basınç Dayanımı İlişkisi

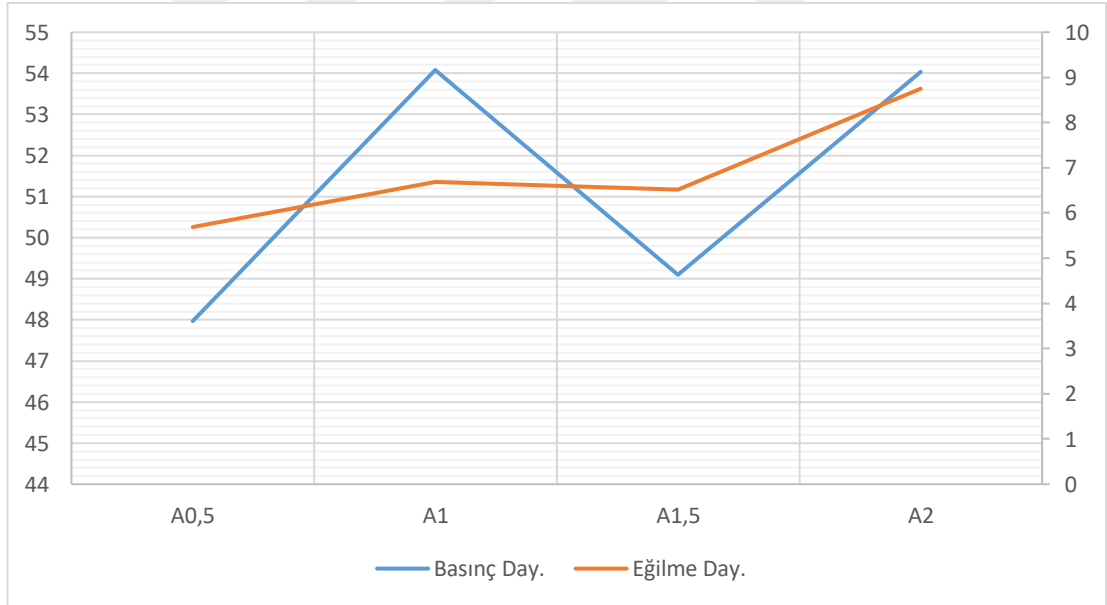
Basınç ve eğilme dayanımları sonuçları Tablo halinde verilmiştir. Ardından iki eksenli sütun grafikte her iki veri birden verilerek aralarında ki ilişkinin incelenmesi sağlanmıştır.

Tablo 4.10. Betonun basınç ve eğilme dayanımı sonuçları

Numune Adı	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)
R	56,41	4,56
Ç0,5	44,5	7,59
Ç1	49,71	9,95
Ç1,5	39,27	11,03
Ç2	47,01	14,02
A0,5	47,97	5,69
A1	54,08	6,69
A1,5	49,09	6,52
A2	54,03	8,75



Şekil 4.11. Çelik lif katkılı numunelerin basınç dayanımı – eğilme dayanımı ilişkisi



Şekil 4.12. Atık lif katkılı numunelerin basınç dayanımı – eğilme dayanımı ilişkisi

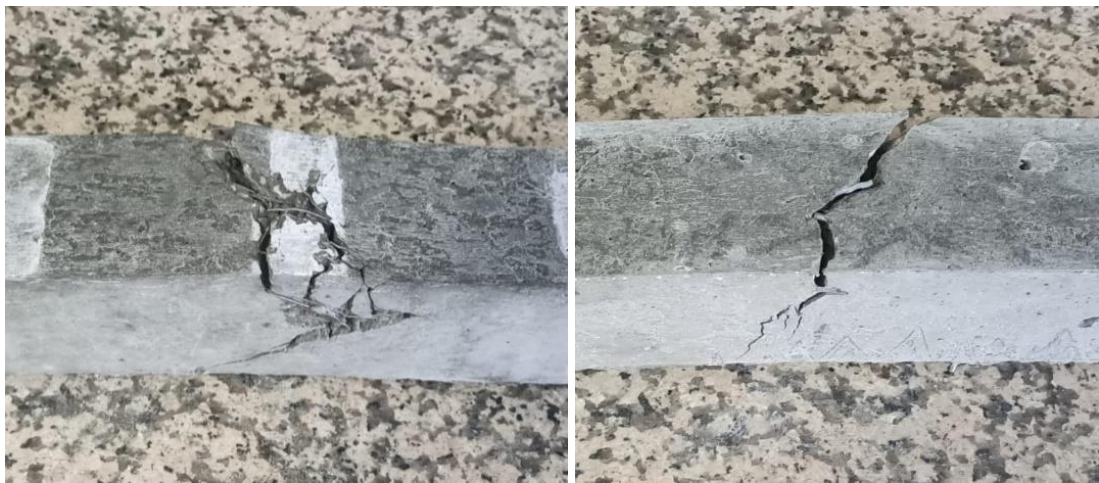
Deney sonuçları incelendiğinde her iki lif için de katılım oranı %0,5, %1 ve %2 olan betonlarda basınç dayanımı arttıkça betonun eğilme dayanımının da arttığı görülmüştür. Sadece %1,5 lif katılım oranında ki betonların çelik ve atık lif katkılı numunelerinde basınç dayanımları artarken eğilme dayanımlarında bir miktar düşüş gözlemlenmiştir.

Bunun sebebi olarak liflerin homojen dağılmamış ya da betonun yeterince yerleşmemiş olması düşünülmektedir.

4.6.3. Kırılma tokluğu sonuçları ve değerlendirilmesi

Bu çalışma kapsamında numunelerin kırılma tokluklarının bulunması ve değerlendirilmesi için eğilme deneyinin verilerinden yararlanılmıştır. Eğilme deneyinden elde edilen yük-sehim grafiklerinin altında kalan alan o numunenin tokluk değerini vermektedir. Grafiğin altında kalan düzensiz şeklin alanı küçük yamuklara bölünerek Simpson matematik yöntemi yardımı ile hesaplanmıştır. Hesaplanan veriler Tablo 4.8’de her numune için ayrı ayrı verilmiş olup yalın betona göre değişim oranları ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Her iki malzemedен hacimsel olarak aynı oranda kullanılmasına rağmen yoğunluklarının farklı olması sebebi ile m^3 ’te çelik lif miktarı daha fazladır. Endüstriyel çelik liflerin atık liflere göre narinlik oranını daha düşüktür. Çatlak oluşup numunenin kırılma durumuna gelene kadar ki süreçte çatlağın bulunduğu alanda lif miktarının daha fazla olması ve liflerin enerjyi sönümleyip matrise taşımaları daha çok olacağından çelik lif katkılı betonlar daha uzun süreli dayanma davranışı göstermişlerdir. Bu sebeple eğilme dayanımları ve kırılma toklukları endüstriyel çelik lif katkılı betonların atık lif katkılı betonlara göre daha yüksek çıkmıştır. Aşağıdaki şekilde eğilme dayanımı deneyi sonucu numunelerin lif yoğunluğu görülmektedir.



Şekil 4.13: %1 lif katılım oranında ki numunelerin eğilme dayanımı sonrasındaki halleri

Tablo 4.11: Numunelerin eğilme tokluğu değerleri (N*mm)

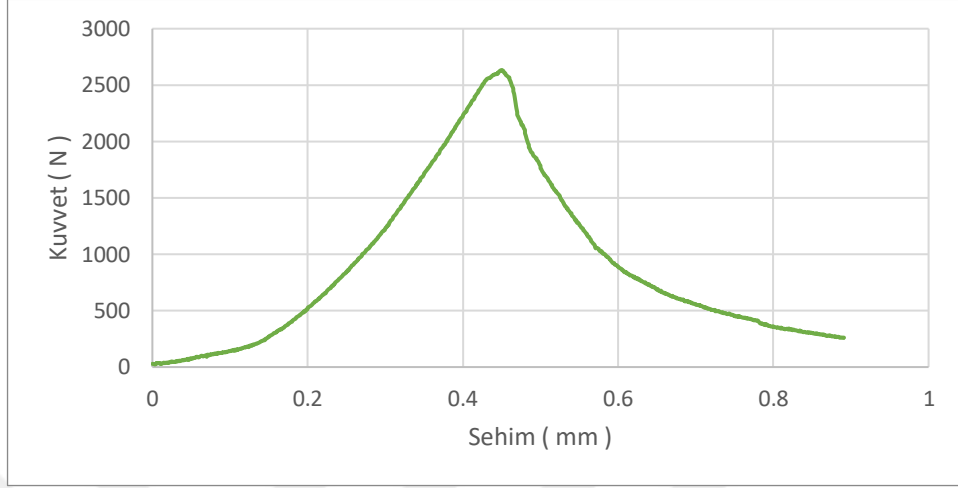
Numune Adı	Tokluk (N*mm)	Her Serinin Tokluk Aritmetik Ortalaması	Değişim Yüzdesi (%)
R	876,25	1009,19	100
R	1142,13		
Ç0,5	17580,2	20697,25	20697
Ç0,5	27098,2		
Ç0,5	17413,36		
Ç1	36865,28	49482,54	49032
Ç1	46154,9		
Ç1	65427,43		
Ç1,5	59397,14	42926,13	42535
Ç1,5	29400,72		
Ç1,5	39980,54		
Ç2	62372,35	65250,58	64656
Ç2	63581,51		
Ç2	69797,89		
A0,5	1198,6	3862,92	383
A0,5	8679,88		
A0,5	1710,28		
A1	12176,11	10845,34	10746
A1	14090		
A1	6269,92		
A1,5	2821,33	7186,99	712
A1,5	11355,74		
A1,5	7383,9		
A2	21454,13	30157,42	29883
A2	36027,77		
A2	32990,37		

Yük-sehim eğrisi altında kalan alandan bulunarak hesaplanan tokluk değerlerine göre betona lif katkısı kırılma tokluğu değerini arttırdığı görülmektedir. Betonun tokluk değerini en çok arttıran serinin Ç2 serisi olduğu sonucuna varılmıştır. Tokluk değerindeki artış oranı olarak A0,5 serilerinin en az artışı gösterdiği görülmüştür. Deney verilerine göre çelik lifli betonların atık lifli betonlara kıyasla kırılma tokluğunu daha fazla arttırdığı sonucuna varılmaktadır.

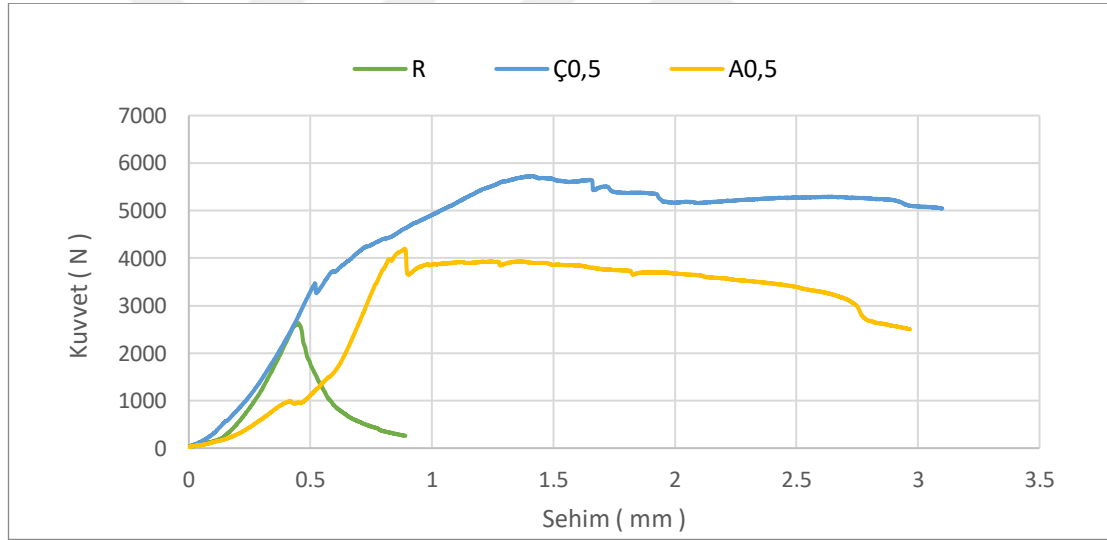
4.6.3.1 Çelik lif ile atık lifin kırılma tokluğunun grafiklerle karşılaştırılması

Kırılma tokluğu verilerine yük-sehim grafiklerinden ulaşılmaktadır. Bu bölümde şahit numune ve her iki lifin yük-sehim grafikleri katılım oranlarına göre ayrı ayrı

incelenmektedir. Referans olarak yalın betonun yük-sehim grafiği Şekil 4.7’de verilmiştir.



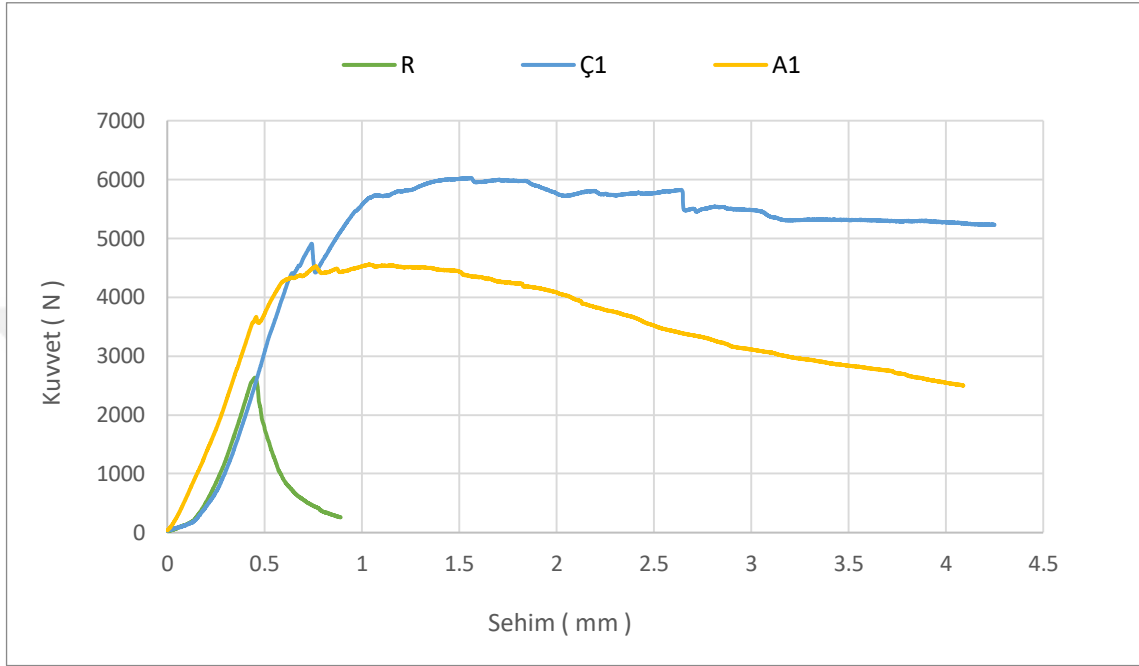
Şekil 4.14: Şahit beton numunelerinin ortalama yük-sehim eğrisi



Şekil 4.15: Lif katılım oranı %0,5 olan numuneler için yük-sehim eğrisi

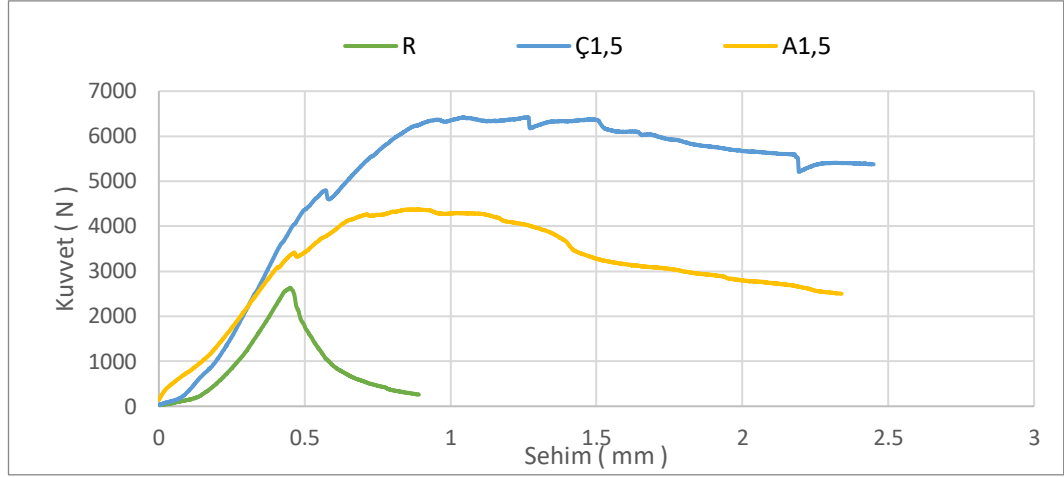
Betona hacimce %0,5 lif katılımı ile oluşan yük-sehim değişimi grafiklerde görülmektedir. %0,5 lif katılımıyla betonun daha fazla yük aldığı, daha fazla sehim yaptığı ve tokluğunun arttığı görülmüştür. Lif katılım oranı %0,5 olan numunelerde Ç0,5 serisinin; R ve A0,5 serilerine göre betonun tokluğunu daha çok arttırdığı görülmektedir. Yükün artmasıyla lifler çatlak köprülemesi yaparak numunenin kırılma süresini uzatmaktadır. Bu şekilde betonun enerji yutabilme kapasitelerinin artmasını sağlamaktadırlar. Ç0,5 serisinde beton max. kuvveti aldıktan sonra yük taşımaya uzun

süre daha devam ettiği grafiklerden görülmektedir. R serisinde beton max kuvveti aldıktan sonra ani bir düşüş görülmektedir. Lif katkısı bulunmadığı ve betonun eğilme dayanımı düşük olduğundan yük taşımaya devam edememektedir. Atık lifte ise %0,5 lif katılım oranında kırılma tokluğunu 3 kattan fazla arttırdığı görülmüştür.



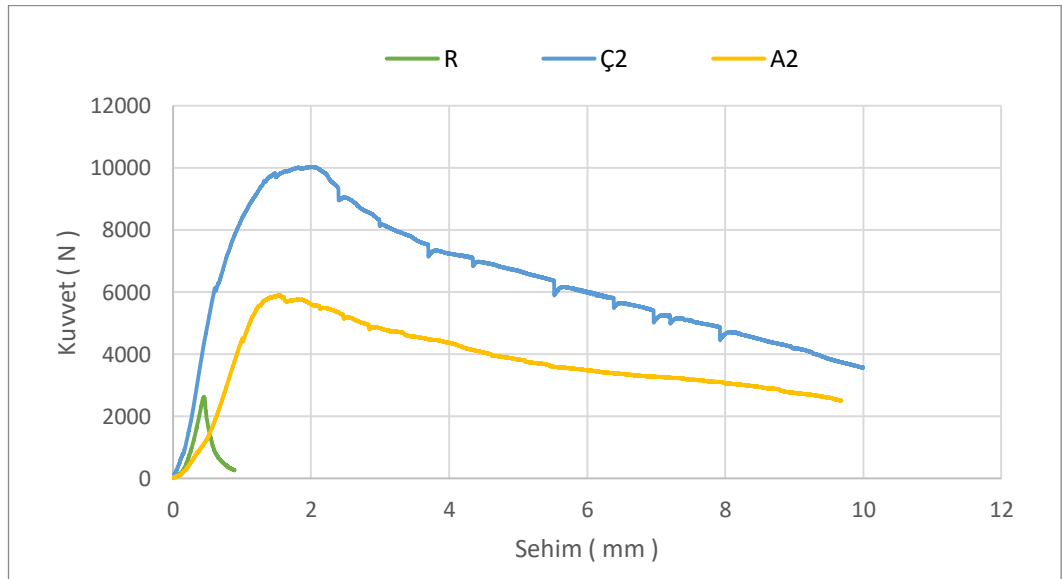
Şekil 4.16: Lif katılım oranı %1 olan numuneler için yük-sehim eğrisi

Betona hacimce %1 lif katılımı ile oluşan yük-sehim değişimi grafiklerde görülmektedir. Grafik ve deney sonuçları incelendiğinde her iki lif takviyesinin de R serisi numuneleri göre kırılma tokluğunu arttırdığı görülmüştür. %1 lif takviyesinde tokluk değerini en çok arttıran Ç1 serisidir. Ç1 serisi betonun tokluğunu R serisine göre yaklaşık 50 kat artırırken, A1 serisi de yaklaşık 10 kat arttırmıştır.



Şekil 4.17: Lif katılım oranı %1,5 olan numuneler için yük-sehim eğrisi

Betona hacimce %1,5 lif katılımı ile oluşan yük-sehim değişimi grafiklerde görülmektedir. Grafik ve deney sonuçları incelendiğinde her iki lif takviyesinin de R serisi numuneleri göre kırılma tokluğunu arttırdığı görülmüştür. Ç1,5 serisi betonun tokluğunu R serisine göre yaklaşık 42 kat artırırken, A1 serisi de yaklaşık 7 kat arttırmıştır. Kırılma tokluğundaki artış oranları lif katılım oranı %1'e göre bir miktar azalmıştır. Bunun sebebinin ise liflerin homojen olarak dağılmamış olabileceği, numunelerin yeterli miktarda sıkıştırılmamış olabileceği ve numune içerisinde liflerin topaklaşmış olabileceği sonuçlarına varılmıştır.

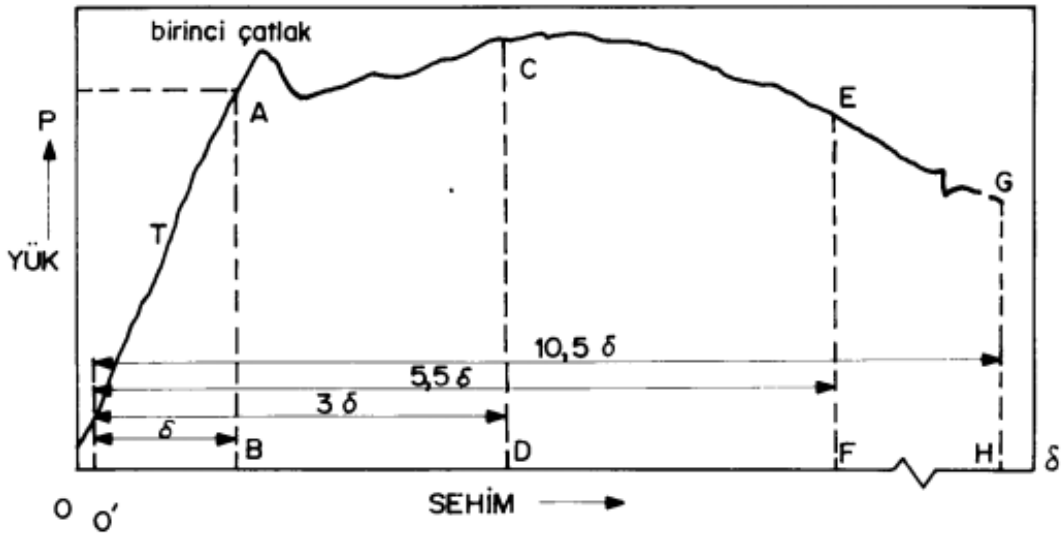


Şekil 4.18: Lif katılım oranı %2 olan numuneler için yük-sehim eğrisi

Betona hacimce %2 lif katılımı ile oluşan yük-sehim değişimi grafiklerde görülmektedir. Grafik ve deney sonuçları incelendiğinde her iki lif takviyesinin de R serisi numuneleri göre kırılma tokluğunu arttırdığı görülmüştür. %2 lif ve tüm katılım oranları arasında tokluk değerini en çok arttıran Ç2 serisidir. Ç2 serisi betonun tokluğunu R serisine göre yaklaşık 64 kat artırırken, A2 serisi de yaklaşık 30 kat arttırmıştır. Betona lif katılım oranı arttıkça; betonun kırılma tokluğunun yani enerji yutabilme kapasitesinin de arttığı görülmüştür.

4.7. Elastik Şekil Değişirme İndislerinin Hesaplanması ve Değerlendirilmesi

Numunelere uygulanan eğilme deneyi sonucunda elde ettiğimiz yük- sehim grafiklerinden faydalanılarak standarda uygun belirtilen sehime kadar eğri altında kalan alanın, ilk çatlak oluşumuna kadar olan alana bölünmesi ile hesaplanan sayılar elastik şekil değişirme indeksleridir. TS 10515'e göre \dot{I}_5 , \dot{I}_{10} ve \dot{I}_{20} indeksleri hesaplanmaktadır. Elastik şekil değişirme indeksi \dot{I}_5 , ilk çatlak sehiminin 3 katı sehime kadar olan eğri altındaki alanın, ilk çatlak oluşumuna kadar olan eğri altındaki alana bölünerek elde edilen sayıdır. \dot{I}_{10} ve \dot{I}_{20} indeksleri de aynı şekilde 5,5 ve 10,5 katı olan alanların bölünmesiyle elde edilir. Eğer 5,5 ve 10,5 katına kadar bir sehim gerçekleşmemiş ise oluşan son sehime kadar hesaplamalar yapılmaktadır.



Şekil 4.19: Eğilmede kırılma tokluğunun yük-deplasman eğrisi

Tablo 4.12: TS 10515'e göre elastik şekil değiştirme indislerinin sınır değerleri

İndeks	Eğilme Kriteri	Yalın Beton	Elastik - Plastik Malzeme	Lifli Beton
İ ₅	3	1	5	1 - 6
İ ₁₀	5,5	1	10	1 - 12
İ ₂₀	10,5	1	20	1 - 25

Ardından deney sonuçlarının standartta verilen sınır değerlerin içerisinde olup olmadığına bakılmakta ve sonuçlar değerlendirilmektedir. Elastik şekil değiştirme indeksleri İ₅, İ₁₀ ve İ₂₀ betonun fiili performansının, kolayca anlaşılabilir performans referans seviyesi ile karşılaştırılmasını sağlar. İndeksler liflerin beton yapısı üzerindeki fonksiyonları ve lifli betonların birbirleri ile mukayeseleri konusunda somut sayılardır. Ayrıca betona karıştıırılacak lif miktarı ve cinsinin bu değerler dikkate alınarak tayin edilmesi tavsiye edilmektedir.

Aşağıda yapılan deneyler sonucu iki lif için de lif katılım oranlarının ayrı ayrı indeksleri hesaplanmış ve sonuçları tablolar halinde verilmiştir.

Tablo 4.13: Numunelerin \dot{I}_5 , \dot{I}_{10} ve \dot{I}_{20} indisleri

Numune Adı	İndeksler	Sonuç	Referans Aralığı
R	\dot{I}_5	1,6	1
	\dot{I}_{10}	1,65	1
	\dot{I}_{20}	1,65	1
Ç0,5	\dot{I}_5	5,37	1 - 6
	\dot{I}_{10}	9,33	1 - 12
	\dot{I}_{20}	10,84	1 - 25
Ç1	\dot{I}_5	5,8	1 - 6
	\dot{I}_{10}	11,95	1 - 12
	\dot{I}_{20}	22,76	1 - 25
Ç1,5	\dot{I}_5	6,16	1 - 6
	\dot{I}_{10}	11,75	1 - 12
	\dot{I}_{20}	19,52	1 - 25
Ç2	\dot{I}_5	4,14	1 - 6
	\dot{I}_{10}	6,18	1 - 12
	\dot{I}_{20}	6,68	1 - 25
A0,5	\dot{I}_5	4,94	1 - 6
	\dot{I}_{10}	6,4	1 - 12
	\dot{I}_{20}	6,4	1 - 25
A1	\dot{I}_5	5,89	1 - 6
	\dot{I}_{10}	11,8	1 - 12
	\dot{I}_{20}	18,5	1 - 25
A1,5	\dot{I}_5	5,84	1 - 6
	\dot{I}_{10}	8,77	1 - 12
	\dot{I}_{20}	8,77	1 - 25
A2	\dot{I}_5	4,41	1 - 6
	\dot{I}_{10}	7,49	1 - 12
	\dot{I}_{20}	8,94	1 - 25

TS 10515'e göre yapılan değerlendirmeler sonucu tüm lif katılım oranlarına göre iki lif içinde elastik şekil değiştirme indisleri hesaplanmış ve tüm numuneler referans aralığının içerisinde yer almaktadır. Çelik lif katkılı numunelerin indisleri atık lif katkılı betonlara daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bunun sebebi olarak kırılma toklukları ve çatlak dirençlerinin daha yüksek olduğu düşünülmektedir.

4.8. Liflerin Maliyet Etkisi

İnşaat mühendisliğin asıl amacı inşa edilecek yapının rijit, sünek ve ekonomik olmasını sağlamaktır. Ekonomiklik, aynı görevi görecektir benzer alternatifler arasından en uygun, karlı veya verimli olanının seçilmesidir.

Günümüzde inşaat sektörünün yapıtaşı betondur. Ancak betonunda ihtiyaçlara göre düşük olan bazı özellikleri bulunmaktadır. Gerekli durumlarda mekanik özelliklerini istenilen seviyeye çekebilmek için betona katkı malzemeleri eklenmektedir. Bu amaçla; betonun çekme, eğilme ve tokluk gibi özelliklerini arttırmak için lif takviyeleri kullanılmaktadır. Piyasada cam, çelik, polipropilen, karbon gibi lifler en çok tercih edilenleridir. Şüphesiz ki betona ekstra bir malzeme eklenmesi betonun maliyetini arttıracaktır. Bu maliyet artışını minimum seviyeye indirmek için bu çalışmada da lif katkısı olarak atık bir malzemenin katılması ile ilgili araştırmalar yapılmıştır.

Atık ve endüstriyel çelik lif katkılı betonlar üzerinde gerekli deneyler yapılmış olup basınç ve eğilme dayanım sonuçları bulunmaktadır. Aşağıda bu sonuçlar üzerinden referans, atık lif katkılı ve çelik lif katkılı betonların “dayanım / birim dayanım maliyeti” karşılaştırılması yapılarak tablolar halinde verilmiştir.

4.8.1. Basınç Dayanımı / Birim Dayanım Maliyeti Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada C30/37 sınıfında beton kullanılmıştır. Piyasada C30/37 betonun güncel m³ fiyatı 300 TL'dir. Piyasada çelik liflerin kg fiyatı 10 TL iken atık metallerin ortalama kg fiyatı 4TL'dir. Betonun m³ fiyatına katıldığı oranda lifin fiyatı eklenerek hesaplamalar yapılmıştır. Basınç dayanım sonuçları elimizde bulunan numunelerin Mpa/TL oranlaması yapılmıştır. Bu sayede her numuneden 1 TL için ne kadar dayanım elde edildiği tabloda görülecek aralarında karşılaştırılma yapılabilecektir.

Tablo 4.14: Numunelerin basınç dayanımı / birim dayanım maliyeti sonuçları

Numune Adı	Basınç Dayanımı	Mpa / TL	TL / Mpa
R	56,41	0,188	5,31
Ç0,5	44,5	0,063	15,7
Ç1	49,71	0,045	22,1
Ç1,5	39,27	0,026	38,2
Ç2	47,01	0,024	40,4
A0,5	47,97	0,108	9,25
A1	54,08	0,091	10,9
A1,5	49,09	0,067	14,9
A2	54,03	0,061	16,2

Basınç dayanımı deneyinde de bahsettiğimiz gibi liflerin basınç dayanımını pozitif etkisi çok olmamakla birlikte atık lif katkılı betonların çelik lif katkılı betonlara göre daha iyi sonuçlar verdiği tercih edilmesinin hem dayanım hem maliyet açısından daha uygun olduğu görülmektedir.

4.8.2. Eğilme Dayanımı / Birim Dayanım Maliyeti Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi

Önceden de tahmin edileceği gibi her iki lifte eğilme dayanımına olumlu bir etki yaratmıştır. Fakat bu olumlu etkinin maliyet üzerinde ki artış ya da azalışı irdelenmelidir. Bu tabloda her numune için ayrı ayrı Mpa/TL oranı yapılmıştır. Bu sayede 1 TL karşılığında elde edilen dayanım hesaplanmıştır. Çelik lif katkılı betonların eğilme dayanımları yüksek olmasına rağmen atık lif katkılı betonların çelik lif katkılı betonlara göre daha ekonomik oldukları görülmektedir.

Örneğin; 8 Mpa eğilme dayanımına ihtiyacımız var ise bu dayanımı çelik lif katılım oranı 1, 1,5 ve 2 olan numunelerden sağlayabiliyorken, atık lif katılım oranı 2 olan numuneden sağlayabiliyoruz. İkisi arasında karşılaştırma yapıldığında çelik lif katkılı betonların en ekonomik olanı Ç1 serisi ile A2 serisi arasında yapılmalıdır.

$$\text{Ç1 serisi için } 8 / 0,009 = 888,88 \text{ TL}$$

$$\text{A2 serisi için } 8 / 0,01 = 800 \text{ TL}$$

Bu çalışma sonucunda atık ve çelik lif katkılı numunelerin karşılaştırmasında A2 betonunun Ç1 betonuna göre daha ekonomik olduğu görülmüştür.

Tablo 4.15: Numunelerin eğilme dayanımı / birim dayanım maliyeti sonuçları

Numune Adı	Eğilme Dayanımı	Mpa / TL	TL / Mpa
Ç0,5	7,59	0,01	92,2
Ç1	9,95	0,009	110,5
Ç1,5	11,03	0,007	135,9
Ç2	14,02	0,007	135,5
A0,5	5,69	0,012	78,03
A1	6,69	0,011	87,9
A1,5	6,52	0,008	112,3
A2	8,75	0,01	100,1

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu deneysel çalışmanın amacı betonun eksik olan mekanik özelliklerinin geliştirmek için katkı malzemesi olarak kullanılan liflere bir yenisini ekleyebilmektir. Bu yeni lifin piyasada bulunan liflere kıyasla daha ekonomik olması hedeflendiğinden geri dönüşüm malzemesi olarak bir endüstriyel atık olan Kale Kilit firmasının galvaniz atık metalleri kullanılmıştır. Atık metallere oluşan bu liflerin betona etkisinin incelenebilmesi için gerekli deneylerin yanı sıra piyasa da kullanılmakta olan çelik lifler ile karşılaştırılması yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- a) Dramix4D çelik lifin mekanik özellikleri ile atık lif karşılaştırıldığında; atık lifin çekme gerilmesi çelik lifin çekme gerilmesine oranla yaklaşık 4 kat daha az olduğu görülmüştür. Çeliğin elastisite modülü 200.000 N/mm^2 değerinde iken atık lifin deney sonucu $15198,67 \text{ N/mm}^2$ 'dir. Atık lifin elastisite modülünün çelik lifin elastisite modülüne oranla yaklaşık 17 kat daha az olduğu sonucuna varılmıştır.
- b) Birim hacim ağırlık deneyi sonucunda; R numunelerin ortalaması 2335 kg/m^3 , çelik lifli numunelerin ortalaması $2397,5 \text{ kg/m}^3$, atık lifli numunelerin ortalaması 2390 kg/m^3 bulunmuştur. Deney sonuçlarına göre çelik lif katkılı betonların birim hacim ağırlıklarının daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin ise çelik liflerin yoğunluğunun atık liflerden daha fazla olması ve çelik lifli betonların daha boşluksuz yerleşmesinden dolayı olduğu düşünülmektedir.
- c) Çökme deneyi sonuçlarına göre çelik lif katkılı betonlarda atık lif katkılı betonlara göre çökmenin daha az olduğu görülmektedir. Çelik lif katkılı betonların atık lif katkılı betonlara göre çökme değerlerinin daha düşük çıkma sebepleri; et kalınlıklarının daha az olması ve çelik liflerin atık liflere kıyasla (et kalınlıkları daha az olduğundan) beton içerisinde daha fazla topaklaşması olarak gösterilmektedir. Ayrıca beklenildiği gibi yalın betonun hem çelik lifli hem de

atık lifli betonlara göre daha işlenebilir olduğu görülmektedir. Lif oranı arttıkça işlenebilirlik azalmaktadır.

- d) Şahit numuneye göre çelik lif ve atık lif katkılı betonların basınç dayanımları düşük çıkmasına rağmen tüm numunelerde hedeflenen basınç dayanımına ulaşılmıştır. Betona lif takviye edilmesi betonun basınç dayanımına olumlu yönde pek bir etki yaratmamıştır.
- e) Deney sonuçlarına bakıldığında lif takviyeli betonların daha boşluksuz bir yapıya sahip olduğu anlaşılmaktadır. Sonuçlara göre ultrases geçiş hızının çelik lif katkılı betonlarda daha yüksek çıktığı görülmektedir.

Çelik lifli numunelerin atık lifli numunelere göre ultrases geçiş hızlarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi olarak atık lif katkılı betonlarda çelik lif katkılı betonlara göre topaklaşmanın ve gözenekli yapının daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca atık lifli numunelerin yeterli sıkıştırılmaması topaklaşma ve gözenekli yapıda olmasına sebep olduğu düşünülmektedir.

Numunelerin ortalama ultrases geçiş hızı deney sonucu 5,002 değeri göz önüne alındığında beton kalitesinin çok iyi olarak sınıflandırıldığı sonucuna varılabilmektedir.

- f) Eğilme dayanımı deneyinin sonuçlarına göre; betona hem atık lif hem de çelik lif takviye edilmesinin eğilme dayanımını arttırdığı görülmüştür. Bu artış miktarı şahit numuneye göre çelik lif katkılı betonlarda %400'e kadar, atık lif katkılı betonlarda ise %200'e kadar çıkabilmektedir. Çelik lif katkılı betonların eğilme dayanımına katkısı atık lifin katkısına nazaran daha yüksektir. Fakat atık lif şahit betona göre önemli miktarda eğilme dayanımını geliştirmiştir. Ayrıca hem çelik lif hem de atık lif oranı arttıkça eğilme dayanımı artmaktadır.
- g) Yük-sehim eğrisi altında kalan alandan bulunarak hesaplanan tokluk değerlerine göre betona hem çelik lif hem de atık lif katkısının kırılma tokluğu değerini önemli oranda arttırdığı görülmektedir. Bu artış miktarı şahit numuneye göre çelik lif katkılı betonlarda %650'e kadar, atık lif katkılı betonlarda ise %300'e kadar çıkabilmektedir. Deney verilerine göre çelik lifli betonların atık lifli betonlara kıyasla kırılma tokluğunu daha fazla arttırdığı sonucuna varılmaktadır.

h) Liflerin maliyet üzerindeki etkisi incelendiğinde atık lif katkılı betonların çelik lif katkılı betonlara göre daha ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır. Fakat çelik lifin karşıladığı dayanım değerlerine atık lifin ulaşamadığı bu sebepten isteğe göre yeterli dayanımlarda atık liflerin bir alternatif olarak kullanılabilmesi aksi takdirde yüksek dayanım gerektiğinde kullanılamayacağı sonucuna varılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında; yalnız, atık lif katkılı ve çelik lif katkılı beton numuneleri üretilmiştir. Üretilen bu numunelere her iki liften sırasıyla %0,5, %1, %1,5 ve %2 oranında katılıp numuneler üzerinde birim hacim ağırlık, çökme, ultrases geçiş hızı, basınç ve eğilme deneyleri yapılmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre çelik lif katkılı betonların atık lif katkılı betonlara göre çok daha iyi performans sergilediği görülmüştür. Bununla birlikte atık lif ikamesi yalnız betonun birçok özelliğini önemli oranda iyileştirmektedir. Ayrıca bu atık malzemenin bir geri dönüşüm malzemesi olarak tekrar kullanımı hem ekonomik hem de çevresel kazançlar sağlayacaktır. Bu sebeple çalışmada kullanılmış olan atık lifin beton üretiminde kullanılabilmesi tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

- ACI Committee 544. 2002. State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete. ACI 544.1R-96 (Reapproved 2002), p. 66, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan
- ACI Committee 544.3R-93, 1998, "Guide for Specifying Proportioning, Mixing, Placing, and Finishing Steel Fiber Reinforced Concrete", ACI Journal, 90 (1): 94-101.
- Acun, S., *Yüksel Dayanımlı Beton Üretiminde Dizayn Parametresi Olarak Lifsel Katkıların İrdelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). İTÜ, İstanbul, 2000.
- Altun, F., Özcan, D. M., Vekli, M. ve Karahan, O. 2004. "Çelik Lif Katkılı C20 Betonun Mekanik Özelliklerinin Deneysel Araştırılması", Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, Cilt-4, Sayı 1-2, Ekim, Afyon.
- Bahadır, B., 2007, *Liflerin Beton Kırılma Tokluğuna Etkileri*. (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Baradan, B., Yazıcı, H., Aydın, S. 2012. Beton. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, Türkiye.
- Bayasi, Z. and Soroushian P., 1991, "Fiber Type Effects on the Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete", ACI Materials Journal, Volume 88, Pages 129-134.
- Bayraktar, O. Y. (2020). The Use of Rice Husk Waste in Foam Concrete Production. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 8(12), 2716-2722.
- Bekaert. (2011). Retrieved May 25, 2011, from <http://213.153.169.41/beksawebe ng/Contents.aspx?Ctype=Cnt&ID=149>
- Bentur A, Mindess S.2007. Fiber Reinforced Cementitious Composites. 2nd edition, Taylor & Francis, Abingdon
- Bentur, A., & Mindness, S., 1990, "Fiber Reinforced Cementitious Composites", Elsevier Applied Science, London and NewYork.
- Biber, S.A., 2001. *Karmasık Çelik Tel Takviyeli Betonların Mekanik Davranışı*. (Bitirme Ödevi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Bilgiç, M., (2009). *Yüksek Performanslı Prefabrikte Hafif Betonların Özelliklerinin Araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

- Brandt, A. M. 2009. Cement-Based Composites: Materials, Mechanical Properties and Performance, Taylor & Francis, New York.
- Çivici, F. ve Eren, İ., “Çelik lifli betonun direkt çekme dayanımının ölçülmesi üzerine deneysel bir çalışma”, Türkiye Mühendislik Haberleri 434, 49-53,2004.
- Ekinciöglü, Ö., “Karma lif içeren çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışının incelenmesi”. Sika Teknik Bülten, 10-11. 2002/3.
- Erdoğan Y.T., (1995). Karışım ve Bakım Suları, Türkiye Hazır Beton Birliği, Ankara
- Erdoğan, T. Y., 2003. Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, s.741, Ankara
- Erdoğdu, Ş., Kurbetçi Ş., 2003. Betonun performansına sağladıkları etkinlik açısından kimyasal ve mineral katkı maddeleri. Türkiye Mühendislik Haberleri. 426: 115-120.
- Eshtewi, S. S. T., (2021). Geridönüşüm Agregası Kullanılan Polipropilen Lif Takviyeli Beton Yolların Özellikleri (Yüksek Lisans Tezi). Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Kastamonu.
- Gököz, N.Ü., 1978. *Ön Yorulmanın Yalın ve İnce Tellerle Donatılı Betonların Özelliklerine Etkisi*. (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 128s.
- Güneş, A. (2011). *Kendiliğinden yerleşen lifli betonların mühendislik özellikleri*. (Yüksek lisans tezi). Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Hamzaçebi, D. 2015. *Atık Çelik Liflerin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kaplan, G., Öztürk, A.U., Uğur Kaplan A.B. (2020). Çimento ve Uçucu Kül Bünyesindeki Ağır Metallerin Etkilerinin Hidratasyon ve Çevre Sağlığı Açısından İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(1), 305-313. DOI: 10.21923/jesd.512389
- Kiremitçi, C. A. (2008). *Çelik tel donatılı ultra yüksek performanslı çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kozak M., 2013. Çelik Lifli Betonlar ve Kullanım Alanlarının Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Bilimler Dergisi, 5:3:26-35, Isparta.
- Mehta, P.K. and Monteiro, P.J.M. 2006. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. 3rd Edition. McGraw-Hill, New York.
- Öztürk, C.A., Nasuf E. & Fişne, A., (2003). "Türkiye ve Dünyada Agregasyonları ve İşlevleri", III. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 3-4 Aralık İstanbul.
- Öztürk, İ. Ş. (2020). *Çelik lifli betonlarda geri dönüştürülmüş nano karbon siyahı ve kandıra taşı tozunun değerlendirilmesi*. (Yüksek lisans tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

- Öztürk, M., (2005). "İnşaat Atıkları Yönetimi", Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- Pehlivan, E. & Gönüllü, T., (1995). "Konya Metropolü Eysel Katı Atıklarından Geri Kazanılabilir Maddelerin Potansiyelinin Araştırılması" Çevre Sempozyumu. Atatürk Üniv. Müh. Fak., Çevre Müh. Bölümü. 18-20 Eylül, 406-420. Erzurum.
- Saran, A.Z., (2007). *Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Betonun Durabilite Özelliklerine Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sekban, İ., 2007. *Çelik lif katkısının tekrarlı yük etkisindeki geleneksel ve yüksek performanslı betonarme kolonların davranışlarına etkisinin incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- SHAH, S. P. and RANGAN, B. V., 1971. Fiber Reinforced Concrete Properties, ACI Journal.
- Şimşek, O., (2000). Yapı Malzemesi, 1374, Beta Basım, Ankara.
- Şimşek, O., 2012. Beton ve Beton Teknolojisi, 4. Baskı, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Song, P.S. and Hwang, S. 2004. "Mechanical Properties of High-Strength Steel Fiber-Reinforced Concrete", Construction and Building Materials 18, 669–673.
- Söylemez, H., Balcı, B., & Bayraktar, O. Y. (2019c). Endüstriyel Atıklardan Üretilen Geopolimer Harçların Özellikleri, 5th International European Conference On Science, Art & Culture, 202-207.
- Taşdemir M.A., Bayramov F. ve Yerlikaya M. (2003). Geleneksel ve Yüksek Performanslı Çelik Donatılı Betonlar, Türk Mühendislik Haberleri, 426(4), 76-84.
- Topçu, İ. B., 2006, "Beton Teknolojisi", Uğur Ofset A.Ş., Eskişehir.
- Topgül, S. S. 2016. *Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Geri Kazanılmış Agregali Betonların Özelliklerine Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği.
- TS10153. (1992). Beton Takviyesinde Kullanılan Çelik Teller, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- Uğurlu, A., 1994. Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton. DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Dairesi Başkanlığı, Yayın No: MLZ-878, Ankara, 175s.
- URL-5. Çevko, Kadıköy İstanbul, Entegre Atık Yönetimi ve Gen Kazanım, Çevre Koruma ve Ambalaj Atıkları Değerlendirme Vakfı, www.cevko.org.tr, 29 Mayıs 2020.
- Ünal, O., 1994, *Isıl İşlem Uygulamasının Lifli Beton Özelliklerine Etkisi*. (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Ünal, O., Uygunođlu, T. ve Gençel, O. 2006. "Lif Tipinin Betonun Tokluğu Üzerindeki Etkisinin Araştırılması", V. GAP Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı Cilt 2, 26-28 Nisan, şanlıurfa, s. 941-942.
- Yardımcı, M. Y. 2007, *Çelik Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik, Mekanik, Kırılma Parametrelerinin Araştırılması ve Optimum Tasarımı*. (Doktora Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Yazıcı, ř., İnan Sezer, G., 2008. Çelik Lifli Betonların Darbe Direncine Agregada Maksimum Boyutunun Etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 14, Sayı 3, Sayfa 237-245
- Yerlikaya, M., 1998. "Çelik Teller İle Donatılmış Beton Elemanların Düşey Yük Altında Davranışları", Hazır Beton Dergisi, Eylül-Ekim, s. 72-73.
- Yiđiter, H., *Yüksek Performanslı Betonların Süneklik Özelliklerinin Araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi). DEÜ, Fen bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2002
- Zeynal, E., *Çelik lif ve s/ç oranlarının çelik lifli betonların darbe mukavemetine ve mekanik özelliklerine etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi). Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2008.