

**AVRASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**CAM LİF TAKVİYESİNİN BETON ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Sinan ASLAN

OCAK-2020

TRABZON

**AVRASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**“CAM LİF TAKVİYESİNİN BETON ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ”**

İnş. Müh. Sinan ASLAN

**Avrasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“İnşaat Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 28/01/2020
Tezin Savunma Tarihi: 24/02/2020**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Basri ERTAŞ

Trabzon, 2020

Avrasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Sinan ASLAN tarafından hazırlanan

“CAM LİF TAKVİYESİNİN BETON ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ”

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 03 / 02 / 2020 gün ve 03
sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Basri ERTAŞ
Üye : Prof. Dr. Ümit UZMAN
Üye : Prof. Dr. Ragıp ERDÖL

Prof. .Dr. Ragıp ERDÖL
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu tezi hazırlanmasında değerli bilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve tecrübesi ile bana yol gösteren saygı değer danışman hocam; Prof. Dr. Basri ERTAŞ' a saygılarımı sunarım.

Çalışmalarımın gerçekleşmesinde sağladıkları bilgi ve teknik desteklerinden dolayı Maksimal Yapı Kalite Kontrol Laboratuvarı'na teşekkür ederim.

Bu zorlu süreçte yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme teşekkür ederim.

Sinan ASLAN
TRABZON-2020

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Cam Elyaf Takviyesinin Beton Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Basri ERTAŞ’ ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri ve örnekleri kendim topladığımı, deneyleri ve analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Sinan ASLAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
TEZ BEYANNAMESİ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ	VIII
1.GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1. Yapılmış Olan Çalışmaların İncelenmesi	2
2.2. Lifler Hakkında Bilgiler	5
2.2.1. Lif Çeşitleri	5
A.Doğal Lifler	6
B. Yapay Lifler	13
2.3. Liflerin Çimento Esaslı Kompozitlere Etkileri	17
2.3.1. Liflerin Özelliklerinin Üretilen Kompozit Özelliklerine Etkisi	18
2.3.1.1. Liflerin Geometrisinin Etkisi	19
2.3.1.2. Lif Boyununun Etkisi	19
2.3.1.3. Lif Yüzdesi ve Narinlik Oranının Etkisi	20
2.4. Lifler İle Güçlendirilmiş Kompozit Türleri	22
2.4.1. Çelik Lifler İle Güçlendirilmiş Kompozitler	22
2.4.3. Polimer Lifler ile Güçlendirilmiş Kompozitler	24
2.4.3. Cam Lifler ile Güçlendirilmiş Kompozitlerin Özellikleri	24
2.5. Lif Takviyeli Kompozitlerin Kullanım Alanları	26
3. DENEY ÇALIŞMALARI	28
3.1. Beton Karışımı	28
4.2. Numune Üretimi	30
3.3. Deneylerin Yapılışı	31
4. DENEY SONUÇLARI	35
4.1. Uygulanan Basınç Dayanım Deneyleri Sonuçları	35
4.2. Uygulanan Yarmada Çekme Deneyleri Sonuçları	37
5. SONUÇLAR	40

KAYNAKLAR	41
ÖZGEÇMİŞ	44



ÖZET

CAM LİF TAKVİYESİNİN BETON ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Sinan Aslan

Avrasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Basri ERTAŞ

Beton , yapı elemanları alanında çok yüksek uygulama yüzdesine bir sahip yapı elemanıdır. Son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmeler tüm alanlarda olduğu gibi beton teknolojisinde de büyük gelişmeler kaydedilmesine olanak sağlamıştır. Çeşitli koşullar ve katkı maddeleri sayesinde yüksek dayanımlar da meydana getirilebilmektedir. Taze veya sertleşmiş betonun çeşitli özelliklerini iyileştirmek amacıyla beton karışımına çeşitli organik veya inorganik kökenli malzemeler ilave edilmiştir. İlave edilen bu maddelere Katkı Maddeleri denilmektedir.

Taze beton karışımına eklenen bu maddelerden biri de cam lifi olup, cam lifi ile güçlendirilmiş bu betona “Cam Lif Takviyeli Beton (CTB)” denilmektedir. Beton karışımına cam lif takviye edilmesi ile betonun yangın, basınç ve çekme dayanımında ciddi ölçüde artışlar gözlenmiştir.

Bu çalışmada farklı miktarlarda cam lifleri takviye edilmiş ve sabit su/çimento (w/c) yüzdesiyle üretilen beton numunelerinin, cam lifi takviye edilmemiş betonlara oranla basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

SUMMARY

EXAMINING THE EFFECTS OF GLASS FIBRE ADDITIVE ON CONCRETE

Sinan ASLAN

Avrasya University Institute of Science
Department of Civil Engineering

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Basri ERTAŞ

Concrete is a building element with a very high practice percentage in the field of building elements. In recent years, technological developments have enabled great improvements in concrete technology as well as in all areas. It can also produce high strengths thanks to various conditions and additives. Various organic and inorganic origin materials have been added to the concrete mixture to improve the diverse properties of fresh or hardened concrete. These added substances are called additives.

One of these substances added to the fresh concrete mixture is glass fiber and this concrete reinforced with glass fiber additive is called "Glass Fiber Reinforced Concrete". With reinforcement of the glass fiber to the concrete mixture, significant increases in the fire, pressure and tensile strength of the concrete have been observed.

In this study, different rates of glass fiber are reinforced and the effects of concrete with constant water/cement ratio on compressive and tensile strengths compared to non-reinforced concrete are investigated.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. : Cam ve Polivinil Alkol Lifli Kompozitin Eğilme Dayanımı (Cyr, 2000).....	18
Şekil 2.2. : Cam ve Polipropilen Lifli Kompozitin Eğilme Dayanımı (Cyr; 2000).....	18
Şekil 2.3. : Çatlaklarda Tel boyutlarının etkisi (Betterman, Quyang ve Shah, 1995).	20
Şekil 2.4. : Lif Yüzdesinin Eğilmede Çekme Etkisi (Shah ve Rangan, 1971)	23
Şekil 3.1. : Kür Havuzu Düzeneği	31
Şekil 3.2. : Basınç Dayanım Deneyinde Kullanılan Deney Düzeneği.....	32
Şekil 3.3. : Basınç Dayanım Deneyine Tabi Tutulmuş Numune Örneği.....	33
Şekil 3.4. : Yarmada Çekme Deneyinde Kullanılan Deney Düzeneği	34
Şekil 3.5. : Yarmada Çekme Deneyine Tabii Tutulmuş Numune Örneği	34
Şekil 4.1. : Numunelere ait Basınç Değişim Grafiği	36
Şekil 4.2. : Numunelere Ait Basınç Dayanım Grafiği	37
Şekil 4.3. : Numunelere Ait Çekme Dayanımı Değişim Değerleri	39
Şekil 4.4. : Numunelere Ait Çekme Dayanım Değerleri	39

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. : Doğal Lif Çeşitleri (Aral,2006).....	5
Tablo 2.2. : Yapay Lif Çeşitleri (Aral,2006).....	6
Tablo 2.3. : Lif Çeşitleri (Bunsell,1988)	6
Tablo 2.4. : Farklı Lif Türlerine Ait Tipik Özellikler (Kurt, 2006)	7
Tablo 2.5. : Çeşitli Metal Liflerin Özellikleri (Chawla, 1998).....	11
Tablo 2.6. : ASTM A 820-96'ya göre çelik liflerin sınıflandırılması	11
Tablo 2.7. : Bazı Polimer Liflerin Özellikleri (Aral,2006)	14
Tablo 2.8. : Çeşitli Cam Liflerin Tipik Özellikleri (Chawla, 1998).....	15
Tablo 2.9. : Cam Türleri ve Özellikleri (Şahin,2000)	16
Tablo 2.10. : Bazı Cam Elyafının Yüzdesel Kompozisyonları (Lubin,1969).....	17
Tablo 2.11. : Betonların Lif Miktarlarına Göre Sınıflandırılması (Zollo, 1997).....	21
Tablo 2.12. : Lifler ile güçlendirilmiş betonların bazı özelliklerindeki artış miktarları (Ersoy, 2001).	23
Tablo 2.13. : Çeşitli Camların Bazı Özellikleri (Kurt, 2006).....	26
Tablo 2.14. : Bazı Lif Türlerinin Kullanım Alanları.....	27
Tablo 3.1. : Giresun Tirebolu yöresine ait Agreganın Granülometri Eğrisi.....	28
Tablo 3.2. : Ünye Çimento CEM-I 42,5 R Çimento Kimyasal Kompozisyonları	29
Tablo 3.3. : Ünye Çimento CEM I PÇ 42,5 Portland Çimento Fiziksel Kompozisyonları	29
Tablo 3.4. : Kullanılan Cam Liflerin Özellikleri.....	29
Tablo 3.5. : Süper akışkanlaştırıcının Özellikleri.....	30
Tablo 3.6. : Numune Kodları ve İçerikleri	30
Tablo 4.1. : Basınç Dayanım Deneyinde Numunelerin Kırılma Yükleri.....	35
Tablo 4.2. : Basınç Dayanım Değerleri.....	36
Tablo 4.3. : Yarmada Çekme Deneyinde Numunelerin Kırılma Yükleri	38
Tablo 4.4. : Numunelerin Yarmada – Çekme Dayanımları	38

1.GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin kaydettiği ilerlemeler ışığında her alanda oluşan arz ve talepler değişmektedir. Bu alanlardan birisi de inşaat alanıdır. Beton inşaat alanının vazgeçilmez bir parçası olup, çeşitli özelliklerini geliştirmek amacıyla türlü çalışmalar ve deneyler yapılmaktadır. Bu çalışmalar ışığında 40 yıl öncesi göze alındığında maksimum 40-45 Mpa olan beton basınç dayanımı, gerekli koşullar sağlandığı takdirde neredeyse 3 katından fazla değerlere ulaşabilmektedir.

Betonda istenilen yüksek dayanım; betonun homojenliğinin artırılması, mikro çatlakların engellenmesi ve boşluk oranının azaltılması ile mümkün olabilmektedir. Günümüzde karşılaşılan, sığınaklar, yüksek binalar, köprüler, su ve deniz yapıları, karayolları, köprüler gibi birçok yapıda yüksek performanslı beton karşımıza çıkmaktadır.

Ancak istenilen bu yüksek performanslı beton gösterdiği gevrek davranış nedeniyle dezavantajlıdır. Bu dezavantajın ortadan kaldırılması için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda betona farklı özellik , boyut ve oranlarda lif katılmasının gevreklik sorununa çözüm getirdiği ve enerji yutma kapasitesinin artırdığı ortaya çıkmıştır.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan çeşitli özelliklerde lifler bulunmaktadır. Beton karışımına çeşitli özelliklerdeki liflerin ilave edilmesi vasıtası ile elde edilen betonlara; Lif Takviyeli Betonlar adı verilmektedir. Cam lif takviyeli beton (CLTB); lif takviyeli betonlardan birisidir. Cam lif takviyeli beton; çimento, agrega ve süreksiz dağılmış liflerin suyla karıştırılması ile elde edilen kompozit bir malzeme olarak tanımlanabilir (Kurt, 2006).

Yapılan çalışmalarda değişik lif oranı ve sabit su / çimento oranına sahip, cam lifleri ile takviye edilmiş beton numuneleri kullanmıştır. Çalışmalarda 5-10-15-20 kg/m³ oranlarında cam elyaf katkısının beton üzerindeki basınç ve yarmada çekme dayanımındaki etkileri gözlemlenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Yapılmış Olan Çalışmaların İncelenmesi

Yapı alanının en önemli parçalarından biri olan betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla geçmişte birçok çalışma yapılmış ve çalışmalar günümüzde de yapılmaya devam etmektedir. Yapılan çalışmaların ana konularından biri de, beton karışımına farklı özelliklerde liflerin takviye edilmesi ve meydana gelen değişimlerin incelenmesidir. Bu bölümde yapılmış olan bazı çalışmalar incelenmiş ve özetlenmiştir.

Aral, 2006, yapmış olduğu çalışmada 12 farklı beton üretmiştir. Üretilen numunelerin çimento dozu 600 kg/m^3 , silis dumanı miktarı çimento oranının %10'u, su/çimento oranı %30, polipropilen lif miktarları %0,05 olarak sabit tutulmuş ve farklı özelliklerde 3 tip çelik lif %2 oranında karışımlara eklenmiştir. Ayrıca tüm karışımlarda aynı işlenebilirlik değerini sağlamak için %1,5-2 oranında katkı maddesi eklenmiştir. Üretilen numuneler prizma, disk ve silindir formlarında olup $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ de kürlendikten sonra, silindir basınç, silindir yarmada çekme ve RILEM kırılma deneyleri uygulanmıştır. Uygulanan deneyler sonucunda çelik liflerin hacmen %2 oranında eklenmesi ile basınç ve yarmada çekme dayanım değerlerinde artışların gözlemlendiği, basınç dayanım değerlerinde maksimum %40 , çekme dayanım değerlerinde maksimum %69 oranında bir artış görüldüğü, kırılma enerji değerinde ise 100 kat'a varan artışlar gözlemlenmiştir. Ayrıca çelik lif takviye edilmemiş olan numune daha gevrek kırılma gerçekleştirirken diğer numuneler daha büyük enerjilerde ve daha kontrol edilebilir bir biçimde kırıldığı sonuçlarına varılmıştır (Aral, 2000).

Kurt,2006, ise çalışmasında 8 farklı beton üretmiştir. Üretilen numunelerde su çimento oranları %34 ve %36 olarak seçilmiş ve %0, %2 ,%4 ve %6 cam lifi oranına sahip disk , silindir ve kiriş şeklinde numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler basınç, yarmada çekme ve kırılma enerjisi deneylerine tabi tutulmuştur. Uygulanan deneyler sonucunda, cam lifi oranı arttıkça basınç dayanım değerinde %3,5 ile %20 aralığında azalmalar görüldüğü, çekme dayanım değerinde %52 ile %73 aralığında artışlar ve kırılma

enerjilerinde ise 109 katına varan artışlar olduğu görülmüştür. Ayrıca su/çimento oranındaki %2 değişimin, basınç dayanım değeri, yarma çekme dayanım değeri ve elastisite modülü üzerinde büyük bir farka yol açmadığı sonuçlarına varılmıştır (Kurt, 2006)

Bölükbaş, 2011, yaptığı çalışmada su/çimento oranları %45, %50, %55 olan ve farklı oranlarda cam lifleri eklenen karışımlar üzerinde, porozite, kapiler su emme ve ultrases geçiş hızları deneyleri yapmıştır. Uygulanan deneyler sonucunda cam lifi miktarının yükselmesi ile porozite ve kapiler su emme değerlerinde artışlar meydana gelmiş, ultrases geçiş hızı değerinde ise azalma gözlemlendiği sonuçlarına varılmıştır (Bölükbaş, 2011)

Sarı, 2013, yaptığı çalışmada farklı oranlarda ve farklı özelliklerde liflerin betona ilave edilmesi ile basınç dayanım değeri, elastisite modülü değeri, yarmada çekme değeri ve kırılma enerji değerinin lif ilavesiz betonlarla karşılaştırmıştır. 4 çeşit lif kullanarak 5 farklı beton karışımı oluşturularak yapılan çalışmada, çelik lifler ile güçlendirilen betonların, eğilme dayanım değerleri ve kırılma enerji değerlerinin, hacimsel olarak eşit oranlarda kullanılan bazalt lifli ve iki farklı tip sentetik liflere göre daha yüksek sonuçlar verdiğini gözlemiştir. Ayrıca betona eklenen çelik lif miktarındaki yükselmenin, mekanik özelliklerde olumlu etkiler meydana getirdiği sonucuna varmıştır (Sarı, 2013).

Ali, 2017 , yapmış olduğu çalışmada çeşitli miktarlarda cam lifleri ile güçlendirilmiş betonların 30 dk 60 dk 90 dk ve 120 dk sürelerle yangın deneylerine tabi tutmuştur. Yangın durumunun ve lif takviyesinin betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini irdelemiştir. Yapmış olduğu çalışmalar sonucu cam lif takviyeli betonların yangın sonrası davranışlarının lif takviyesiz betonlara daha göre daya olumlu olduğunu gözlemiştir. Yangın deneyinden sonra lif takviyeli numunelerin basınç ve çekme dayanım değerlerindeki azalmaların yalın betonlara göre ciddi derecede düşük değerlerde olduğu sonuçlarına varmıştır (Ali, 2017).

Tuna, 2010, tarafından yapılmış olan çalışmada cam lifler ile güçlendirilmiş cephe panellerinin çeşitli özelliklerini incelemiştir. Mühendislik

ve yapısal açıdan kullanım alanlarının da değinildiği çalışmalarda geçirimsizlik, boşluk yapıları gibi fiziksel özellikleri incelenmiş ve sonrasında çeşitli hava koşulları altında yıpranma deneyleri uygulanarak üretilen malzemelerin don etkisi altındaki davranışları, rutubet altındaki davranışları incelenmiştir (Tuna, 2010).

Can, Durmuş, Subaşı, Yıldız, ve Arslan, 2009, yapmış oldukları çalışmalarında, beton yol kaplamalarının aşınma formlarını incelemiştir. Polipropilen ve çelik lifler ile güçlendirilen betonların aşınma dirençlerinin, standart betonların betonların aşınma dirençleriyle kıyaslanması amaçlanan çalışmada farklı tiplerde betonlar hazırlanmıştır. Hazırlanan numune betonlar ASTM C-944-99' a uygun olarak aşınma deneylerine tabi tutulmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda, çelik lif katkılı betonların aşınma direncinin en yüksek olduğu, polipropilen lif katkılı betonların aşınma direncinin bir miktar daha düşük olduğu ve lif katkısız numunelerin ise en düşük aşınma direncine sahip olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır (Can, Durmuş, Subaşı, Yıldız ve Arslan, 2009).

Yukarıda incelenen çalışmalarda görüldüğü gibi yapılan çalışmalar çoğunlukla silindir, disk, prizma ve kiriş formundaki numuneler üzerinde yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı çeşitli miktarlardaki cam liflerinin 150 mm'lik küp numuneler üzerinde, basınç dayanım değeri ve yarmada çekme dayanım değeri üzerindeki etkilerinin araştırılması ve incelenmesidir.

2.2. Lifler Hakkında Bilgiler

Lifler, insan tarafından üretilen veya doğal yollarla elde edilen, isteğe bağlı olarak çeşitli boyut ve şekillerde üretilebilen, esneklik ve dayanıklılık özelliklerine sahip olan malzemelerdir. Doğal ve yapay lifler olmak üzere iki sınıfta ele alınmaktadır.

Lifler yapısal olarak çok az kusura sahiptir. Aynı malzemenin büyük kütleli ve büyük hacimli hallerine göre çok daha yüksek elastisite modülüne ve dayanımına sahiptirler. Doğada lif olarak ele alınabilecek pek çok malzeme bulunmaktadır. Tarihe bakıldığında , özellikle doğal liflerin çok uzun süredir insanlar tarafından kullanıldığı görülmektedir.

2.2.1. Lif Çeşitleri

Sahip oldukları özellikler ve kullanım alanları açısından bir çok farklı lif çeşidi bulunmaktadır. Lifler genellikle doğal ve yapay lifler olmak üzere iki grupta incelenebilir.

Tablo 2.1. :Doğal Lif Çeşitleri (Aral, 2006)

A.1. Bitkisel Lifler	A.2. Hayvansal Lifler	A.3 Madensel Lifler
Akwara Lifleri	Yün	Asbest Lifleri
Bambu Lifleri	İpek	Bazalt Lifler
Hindistan Cevizi Lifleri	Kıl	Metal Lifler
Keten Lifleri		Karbon Lifler
Jüt Lifleri		
Sisal Lifleri		
Şekerkamışı Lifleri		
Ahşap Lifleri		

Tablo 2.2. :Yapay Lif Çeşitleri (Aral, 2006)

B.1. Polimer Lifler	B.2.Cam Lifler
Kevlar	
Akrilik	
Aramid	
Naylon	
Polyester	
Polietilen	
Polipropilen	
Poliüretan	

A.R. Bunsell 1998 yılında yaptığı çalışmada lifleri farklı bir şekilde sınıflandırmıştır.

Tablo 2.3. :Lif Çeşitleri (Bunsell,1988)

Doğal Lifler	Yapay Lifler
Hayvansal Kökenli Lifler	Polimer Lifler
Bitkisel Kökenli Lifler	Metalik Lifler
Mineral Kökenli Lifler	Seramik Lifler

A.Doğal Lifler

Doğal lifler doğada bulunan materyallerden elde edilen liflerdir. En önemli özellikleri; az işlem görmeleri nedeniyle kolay elde edilebilir ve ekonomik olmalarıdır. Doğal Lifler;

- Bitkisel Lifler
- Hayvansal Lifler
- Madensel Lifler

olarak 3 ana başlıkta incelenebilir.

Lif takviyeli kompozitlerin oluşturulmasında kullanımına rastlanan en eski doğal lifler at kuyruğu ve yelesi ile samandır. Geleneksel malzemelerden

kerpiç ele alındığında; kil ile bitkisel liflerin kullanıldığı, alçı sıva yapımında; saman, keten, at kuyruğu, keçi kılı gibi doğal liflerin kullanıldığı görülmektedir (Acun,2000).

Hatta Osmanlılar döneminde inşa edilmiş olan bazı cami kubbelerinde saman kullanıldığına rastlanmıştır.

Doğal liflerin kullanımında karşılaşılan genel problem , alkali ortamda bulunduğu özelliğini kaybetme eğiliminde olmalarıdır. Bu nedenle betonun alkalitesini azaltmak için çeşitli katkıları kullanılmalıdır.

Tablo 2.4. : Farklı Lif Türlerine Ait Tipik Özellikler (Kurt, 2006)

Lif Türü	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Elastisite Modülü (Gpa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Maksimum Uzama Oranı (%)
Asbest	3.2	83-138	552-966	0.6
Pamuk	1.5	4.8	414-690	3-10
Naylon	1.1	4.1	759-828	16-20
Polyester	1.4	8.3	724-863	11-13
Polietilen	0.95	0.14-0.4	690	10
Polipropilen	0.90	3.5	552-759	25
Karbon	1.9	230-380	380-5520	0.5-1.6
Kevlar	1.44	60-130	3600	0.2-4
Cam	2.5	69	1035-3795	1.5-3.5
Çelik	7.8	200	276-2760	0.5-35
Bazalt Lif	2,80	89	4840	3,5

A.1 Bitkisel Lifler

Akwara Lifleri

Nijerya ve çevresinde bulunan akwara bitkisinin saplarından elde edilen doğal lif türüdür. Nijerya ve çevresinde rastlanılmaktadır. Akwara lifleri, kuru, nemli ve alkali ortamlarda özelliklerini kaybetmezler. Ancak elastisite modülleri düşüktür (Shah,1995).

Bambu Lifleri

Bambu bitkisine tropikal bölgelerde rastlanmaktadır. Bambu bitkisinden üretilen bu lifler çekmeye karşı dayanıklıdır, ancak düşük elastisite modülüne sahiptir (Shah,1995).

Hindistan Cevizi Kabuğu Lifleri

Hindistan cevizinin dış kabuğundaki sert ve lifli kısmın suya batırılarak liflerinin çıkartılması yoluyla edilen lif türüdür. Bu lifler düşük elastisite modülüne sahip ve nem, sıcaklık gibi etkenlere duyarlıdır (Shah,1995).

Keten Lifleri

Elastisite modülü ve çekme dayanımı gibi mekanik özellikleri yüksektir. Bu tür liflerin birçoğu bitkilerin saplarından elde edilmektedir. (Shah,1995).

Jüt Lifleri

Bu tür lifler sadece kendir lifinden elde edilebilirler. Çin ve Bangladeş gibi Uzakdoğu ülkelerinde yetiştirilirler. Saplarının boyu 2,4 metre ve sap çapları 25 milimetreden küçük olmaktadır. Lifli kabuklarının suya batırılmasıyla içeri su alır ve lifleri. Geleneksel olarak el ile ayrılıp, kurutularak kullanıma hazır lif halini almaktadır. Ayrıca bu işlem geliştirilen mekanik ekipmanlar da vardır. Çekme gerilme dayanımları yüksektir (Shah,1995).

Sisal Lifleri

Sisallana bitkisinin yapraklarından üretilirler. Lignin ve hemiselülözden oluşurlar. Alkali ortam dirençleri düşüktür (Shah,1995).

Şekerkamışı Posası

Suyu sıkılan şekerkamışı bitkisinin posa halinde kalan lifli kısmıdır. %50 lif içeriğine sahiptir. Şekerkamışının olgunluğu ve türü gibi faktörler fiziksel özelliklerini etkiler (Shah,1995).

Ahşap Lifleri

Ahşap lifler kullanım sıklığı araştırıldığında, beton endüstrisinde en yaygın kullanılan doğal lif olarak karşımıza çıkmaktadır. Çoğunlukla asbest liflerin yerine kullanılmaktadır. Üretimini kolay, elastisite modülü ve çekme dayanımının yüksek olması gibi etkenler yaygınlaşma nedenlerindedir. En büyük dezavantajı ise alkali ortamda dirençli olmamasıdır. Kağıt hamuru formunda üretilirler. Liflerin özellikleri bu hamura bağlıdır. Üretim işlemleri, kimyasal, yarı kimyasal ve mekanik olmaktadır. Liflerin temel bileşenleri lignin ve selülozdur. Ligninin lif dayanımı üzerine negatif etkisi olduğu bilinmektedir (Shah,1995).

A.3. Madensel Lifler

Asbest

Doğal bir lif çeşidi olan asbest liflerinin bazı özellikleri:

- Çekme dayanım değerleri 4000 - 5000 kg/cm²' dir.
- Basınç dayanım değerleri 950 kg/cm²' dir.
- Su ve gaz geçirimsizliği yüksektir.
- Kolay delinebilme özelliğidir (Shah,1995).

Bazalt Lifler

Bazalt lifleri, bazalt kayalardan elde edilen inorganik lif türüdür. Bazalt kayaların rengi kurşuni ya da siyah olup, yoğunluk açısından diğer volkanik kayalardan yüksek yoğunluğa sahip olduğu bilinmektedir. Genel yapıtaşları, feldspat, piroksen, olivin ve demir oksitleridir. Neredeyse tamamı kristal yapıda olan bazalt kayalar, lavların hızlı soğumasıyla cama benzer bir görünüm kazanır. Kimyasal kompozisyon olarak silis magnezyum ve demir içeren baz kökenli kayaç olarak tanımlanır (UZ, 1999).

Bazaltların kayaların yoğunluğu ve sertliği yüksek olduğundan dolayı basınç dayanımı en yüksek olan taştır. Gevşek ve gevrek olan bazalt tüfleri fazla poroz, süngerimsi yapıda ve gözenekli olur. Bu özelliklerinden dolayı da hafif yapı malzemesi ve 1300° C de eritenler de asitlere dayanıklı gereç yapımında kullanılır (Kayhan ve diğ., 2011).

Bazalt liflerin özel reçineler yardımıyla, çelik formunda bazalt lifli donatılar halinde kullanıldığı bilinmektedir. Bu sayede korozyon riski yüksek olan bölgelerde önemli bir alternatif sunmaktadır. Ayrıca yüksek dayanım değerleri, hafifliği, termal genleşme katsayısının betona çok yakın olması ve alkali direncinin yüksek olması gibi nedenlerle çeşitli alanlarda çeliğin yerğne kullanılma potansiyeline sahiptir (Brik, 2003; TU, 2009; Klimov ve Piskun, 2010).

Geliştirilen bazalt ürünleri üç ayrı formdadır;

1. Bazalt elyaflar
2. Bazalt ip, lif
3. Bazalt çubuklar

Metal Lifleri

Sanayi ve inşaat başta olmak üzere bir çok alanda metaller kullanılmaktadır. Yüksek fiziksel ve mekanik özelliklerinin yanında plastik şekil değiştirme özelliğine sahiptir. Bu sayede, basit şekillerden oldukça karmaşık şekillerde ve formlarda üretim yapılmasına olanak sağlamaktadır. Lif formundaki metaller uzun zamandır kullanıldığı bilinmekte olup, örnek olarak; lambalarda, elektrik uygulamalarında, öngerilmeli yapılarda, asma köprülerde, süper iletkenlerde ve çeşitli müzik aletlerinin tellerinde kullanılması gösterilebilir.

Tablo 2.5. : Çeşitli Metal Liflerin Özellikleri (Chawla, 1998)

Metal Türü	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Ergime sıcaklığı	Elastisite modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
Al	2,7	660	70	300
Be	1,8	1350	310	1100
Cu	8,9	1083	125	450
Mo	10,2	2625	330	2200
W	19,3	3410	350	2890(<250 µm) 3150(<125 µm) 3850(<25 µm)
0.9 % Karbon çeliği (0.1 mm. çapında)	7,9	1300	210	4000
Paslanmaz çelik (0.05 mm. çapında)	7,8	1535	198	2400

Kullanım sıklığı incelendiği zaman çelik lifler kompozit üretiminde kullanılan metalik lifler içerisinde en yüksek kullanım oranına sahip olanıdır. Ortaya çıkan ürünler ise MLTB (metal lif takviyeli beton) yada ÇLTB (çelik lif takviyeli beton) diye adlandırılmaktadır. Çelik lifler, benzer uzunluklardaki polimer ve cam liflere oranla daha sert ve kalındır.

Tablo 2.6. : ASTM A 820-96'ya göre çelik liflerin sınıflandırılması

Çelik Lif Türleri	Üretim Şekli
Tip 1	Soğuk Halde Çekilmiş Lifler
Tip 2	Plakadan Kesilmiş Lifler
Tip 3	Eritilmiş ve Çekilmiş Lifler
Tip 4	Diğer Tür Lifler

Türk standardı TS 10513/92 ise çelik lifleri şekillerine göre şu şekilde sınıflandırmaktadır:

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

B sınıfı lifler, uzunluğu boyunca deforme olma şekline göre;

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

C sınıfı lifler sonlarındaki kancalara göre;

- İki ucu kıvrılmış lifler
- Bir ucu kıvrılmış lifler olmak üzere ikiye ayrılır.

TS 10513 / 92' de çelik liflerin özellikleri ile ilgili iki önemli parametre vardır:

- Liflerin çekme-kopma dayanım değeri ortalaması en az 345 N/mm² olmalıdır. Her bir lif için çekme-kopma dayanım değeri 310 N/mm² 'den düşük değerde olmamalıdır.
- 16 ± 1 °C'de , 3.18 mm çapa sahip liflerin eğilme deneyinde, %90'ının kırılma gerçekleştirmeden 90° eğilme yapabilmelidir.

Karbon Lifler

1980'lere kadar, fiyatının yüksek olması nedeniyle karbon liflerin kullanımı bazı özel kompozitler dışında görülmemektedir. Genel olarak zift ve pan (poliakrilonitril) malzemelerinden üretilirler. Polimer liflerinden daha pahalıdır ve bu nedenle kullanımı yaygın değildir. Karbon liflerin elastisite modülü çelik liflerin elastisite modülüne yakındır. Ayrıca bazı uygulamalarda çeliğin birkaç katı kadar fazla dayanımlara sahip olduğu bilinmektedir. Hafif olmasının yanı sıra birçok kimyasala karşı dirençlidirler. İplik formunda üretilerek sürekli ve kırılmış olarak iki formda piyasada bulunmaktadır. Tek bir karbon lifi yaklaşık olarak 12000 tekil lif içerir (Shah, 1995).

B. Yapay Lifler

Doğal hammaddelerin çeşitli işlemler sonucu lif haline dönüştürülmesi ile ortaya çıkan lif çeşitleridir. Lif üretiminde kullanılacak olan hammaddeler sıvı forma getirilerek kuru çekme, yağ çekme gibi yöntemlerle lif formuna getirilmektedir (Shah,1995).

Polimer Lifler

Petrokimya endüstrisinde yapılmış olan araştırma ve geliştirmeler sonucunda ortaya çıkan sentetik liflerdir. Genel olarak çok yüksek çekme dayanımına sahip olmalarının yanında bu liflerin çoğu düşük elastisite modülüne sahiptir. Başlıca polimer lifler; polietilen, aramid, polipropilen, naylon, akriliktir (Shah, 1995).

Akrilik Lifler

Lif olarak incelenen malzemedeki %85 akronilit özellik göstermesi durumunda akrilik lifler olarak adlandırılır. Yoğunluğu sudan yüksek olan akrilik lifler, farklı polimer lif çeşitlerine göre daha yüksek elastisite modülüne sahiptir (Shah, 1995).

Aramid Lifler

Aramid lifler halat formunda üretilmektedir. Elastisite modülünün yüksek olması, katıldığı lif katkılı betonların çekme ve eğilme gibi mekanik özelliklerinin iyileştirilmesini sağlamaktadır. Ancak ekonomik açıdan diğer liflere göre pahalıdır (Shah, 1995).

Naylon Lifler

Naylon' dan üretilen bu lif türü ile uygulamalarda sıkça karşılaşılmaktadır. Tekil lif formunda ve farklı uzunluklarda bulunmaktadır. Uygulamalarda genellikle 19 mm boyunda ve çok incedirler (Shah, 1995).

Polyester Lifler

Polyester liflerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri, üretim tekniklerine bağlı olarak değiştirilebilir. Yüksek elastisite modülüne sahiptirler (Shah,1995).

Polipropilen Lifler

Polipropilen lifler tekil ya da hamur biçiminde bulunabilmektedir. 3-50 mm aralığında değişken uzunluklarda üretilirler. Ayrıca hamur formunda kısa lifler ve tekil formda uzun lifler halinde bulunmaktadır. Diğer bir hamur formunda bulunan polietilen hamuruna oranla düşük mekanik özelliklere sahiptir (Shah,1995).

Tablo 2.7. : Bazı Polimer Liflerin Özellikleri (Aral,2006)

Lif Tipleri	Etkili Çap (10 ⁻³ mm)	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Uzama (%)
Akrilik	13-104	1.17	207-1000	14.6-196	7.5-50.0
Aramid I	12	1.44	3620	62	4.4
Aramid II	10	1.44	3620	117	2.5
Naylon	10	1.16	965	5.17	20.0
Polyester	10	1.34-1.39	896-1100	17.5	20.0
Polietilen	25-1020	0.96	200-300	5.0	3.0
Polipropilen	25-1020	0.90-0.91	310-760	3.5-4.9	15.0

B.2. Cam Lifler

Camların elektrikli fırınlarda, 1200-1500 derecede eritilmesi ve ergimiş durumda bulunan camların platin alaşımli bir potanın altındaki deliklerden geçirilip, bir soğuma bölgesinde soğutulması ile üretilen liflerdir. Daha sonra

lifler üzerine kaplama uygulaması yapılarak ve demetler halinde makaralara sarılarak depolanırlar (Şahin, 2000).

Cam lifler, korozyon dayanımı , sertlik ve tepkimeye katılmama gibi genel cam özelliklerini sergilemektedir. Hafif, esnek, ve ucuz olması gibi sebeplerden dolayı, endüstriyel uygulama alanında en çok tercih edilen lif tipidir. Cam lifleri, silis kumu ortaya çıkarmasının yanında demir, alüminyum ve kalsiyum gibi elementlerin oksitlerini içermektedir.

Cam liflerinin çeşitli türleri incelendiğinde elastisite modüllerinin benzerlik gösterdiği gözlenmiştir. Ancak çevresel etkilere karşı davranışları ve dayanım değerleri açısından farklılıklar bulunmaktadır.

Tablo 2.8. : Çeşitli Cam Liflerin Tipik Özellikleri (Chawla, 1998).

Cam Lif Türü	Özgül Ağırlık (g/cm³)	Elastisite Modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (GPa)
E	2.54	69-72	1.7-3.5
S	2.48	85	2.0-4.5
C	2.48	70	1.7-2.8
Cem-Fil	2.70	80	-

Tablo 2.9. : Cam Türleri ve Özellikleri (Şahin,2000)

Cam Tipi	Özellikler
A Tipi Camlar	Ekonomiklik ve Yüksek Alkali Oranı
C Tipi Camlar	Kimyasal Direnç
E Tipi Camlar	Elektriksel Direnç
L Tipi Camlar	Radyasyon Direnci
M Tipi Camlar	Yüksek Elastisite Modülü
S Tipi Camlar	Yüksek Çekme Dayanımı
R Tipi Camlar	Yüksek Çekme Dayanımı
W Tipi Camlar	Yarı Şeffaflık
AR Tipi Camlar	Yüksek Alkali Direnci

Cam liflerin mekanik dayanımları mikro çatlaklar ve yüzeylerinde kusurlara bağlıdır. Üretilen elyaf kalitesinin yüksek olması isteniyorsa, hammaddenin saflığı, malzemenin homojenliği, lif çekiminin uygulama sıcaklığı ve koruyucu kaplamanın hızlı bir şekilde uygulanması gibi belirleyici noktalara dikkat edilmelidir.

Kaplama uygulanan lifler sarılarak 3 kg ağırlığındaki makaralar halinde depolanmaya hazır hale gelmektedir. Uygulanan bu kaplama aynı zamanda elyafı çeşitli hasarlardan korumaktadır. Kaplama maddesi genellikle silan (SiH_4) içermektedir. Silan molekülünün bir kısmı cam ile reaksiyona girerken, silan üzerindeki organik gruplar ile reçine arasında uyumluluk gözlenmektedir. sağlarlar.

Tablo 2.10. : Bazı Cam Elyafının Yüzdesel Kompozisyonları (Lubin,1969)

	A	C	E	R	S
CaO (%)	10,0	13,4	17,2	9,0	-
MgO (%)	2,5	3,3	4,6	6,0	10,3
BaO (%)	-	0,9	-	-	-
Si ₂ O (%)	72,0	64,6	52,4	60,0	64,4
B ₂ O ₃ (%)	-	4,7	10,6	-	-
Al ₂ O ₃ (%)	1,5	4,1	14,4	25,0	25,0
Na ₂ O, K ₂ O (%)	14,2	9,6	0,8	-	0,3

2.3. Liflerin Çimento Esaslı Kompozitlere Etkileri

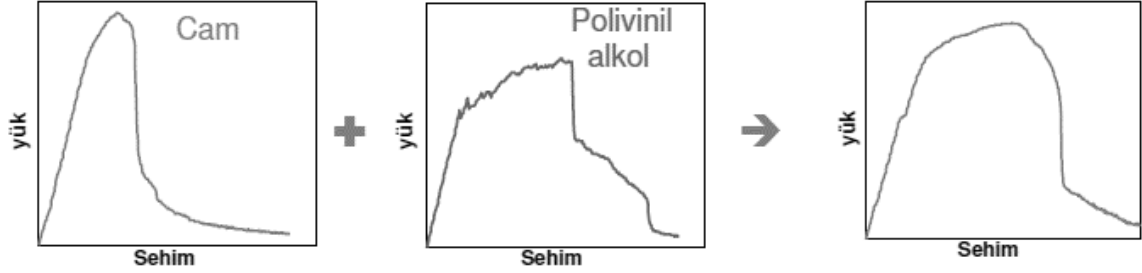
En az iki farklı malzemenin makro boyutlarda birleşerek oluşturduğu yeni malzemeye kompozit adı verilmektedir. Kompozit malzemelerin üretiminde ana sebep; temel malzemelerin yetersiz yönlerinin iyileştirilmesi , daha geniş kullanım alanlarına ve çok yönlü kullanımının gerçekleştirilebilmesidir (Ersoy, 2001). Kompozit malzemeler incelendiği zaman, büyük bir grubunun lif takviyeli kompozitlerden oluştuğu görülmektedir.

Çimento esaslı malzemelerin, düşük çekme dayanımları ve toklukları nedeniyle, çimento matrisinin liflerle güçlendirilmesi oldukça sık karşılaşılan bir yöntemdir. Liflerin bu kompozitlere katılma amacı, malzemenin kullanım ömrünü uzatmak, yeni çatlaklar oluşmasını geciktirmek ve engellemek, oluşan çatlakların ise kontrolsüz bir biçimde ilerlemesini engellemektir. Ayrıca malzemenin şok dayanımında artış ve küçük kesitlerde daha fazla üretim yapılabilmektedir (Özyurt, 2000).

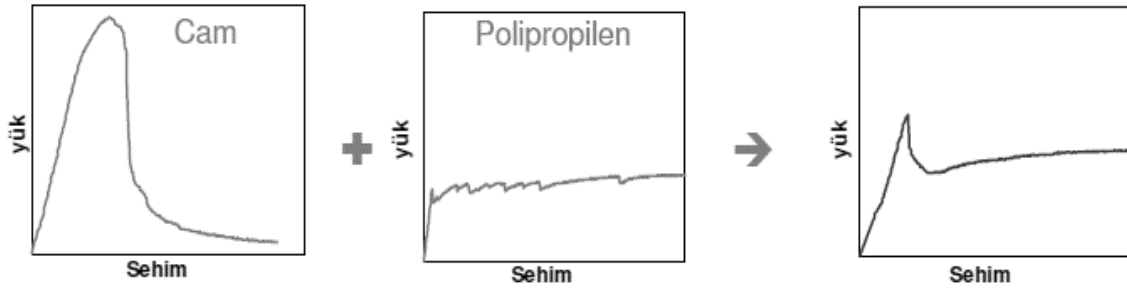
Yapılan araştırmalar incelendiğinde farklı lif türlerinin betonun farklı özelliklerine etki ettiği görülmektedir. Cyr' ın yaptığı çalışmalarda farklı türdeki

lifleri bir arada kullanarak daha iyi mekanik özelliklere sahip betonlar elde etmiştir (Cyr, 2000).

Şekil 2.1. : Cam ve Polivinil Alkol Lifli Kompozitin Eğilme Dayanımı (Cyr, 2000)



Şekil 2.2. : Cam ve Polipropilen Lifli Kompozitin Eğilme Dayanımı (Cyr; 2000)



2.3.1. Liflerin Özelliklerinin Üretilen Kompozit Özelliklerine Etkisi

Üretilen lif takviyeli kompozitlerde görülen özellikleri, içerdiği lifi türü haricinde kullanılan lifin geometrisi, boyu ve narinliği (boy/çap oranı) gibi teknik özelliklere de bağlıdır. Bu nedenle kompozitler üretilirken tüm bu özellikler göz önünde bulundurularak üretim yapıldığında istenilen performansın sağlanması kolaylaşmaktadır.

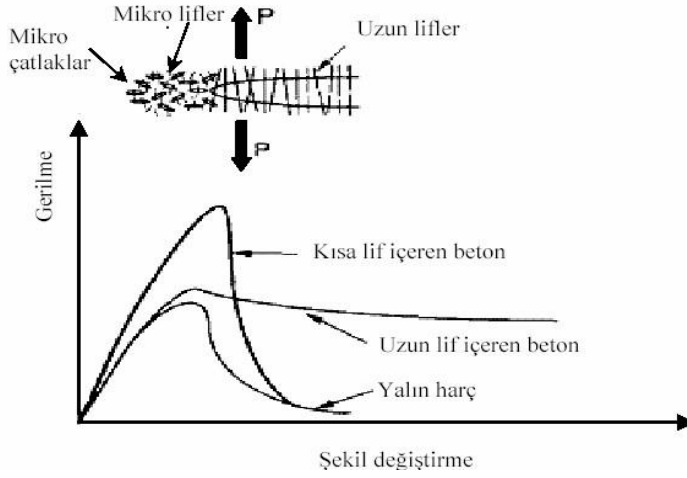
2.3.1.1. Liflerin Geometrisinin Etkisi

Lif geometrisinin üretilen kompozitin dayanımı ile doğrudan bağlantısı vardır. Bunun nedeni lif geometrisinin ile matris arasındaki bağların dayanımını dolayısıyla da kompozitin dayanımını etkilemesidir. Lif takviyeli kompozitler incelendiğinde çeşitli geometrik şekillerde üretiltikleri görülmektedir. Özellikle çelik lifler göz önüne alındığında çok farklı şekillerde üretim söz konusudur. Çelik liflerin çeşitli şekil ve geometrik formlarda üretilmesinin temel amacı lif ile matris arasındaki mekanik bağların güçlendirilerek , liflerin daha etkili olmasını sağlamaktır. Soroushian ve Bayasi' nin yaptığı çalışmada, narinlik değerleri aynı olan ancak geometrik olarak farklı şekillere liflerin takviye edilmesi ile üretilen betonlarda; betonun işlenebilirliğinde genel bir düşüş olduğunu, fakat dalgalı lifler ile üretilen betonda, düz lifler ile üretilen betona göre daha fazla çökme olduğunu ve enerji yutma kapasitesinin de daha yüksek olduğunu gözlemlemiştir. (Soroushian ve Bayasi, 1991).

2.3.1.2. Liflerin Boyunun Etkisi

Kompozitin özelliklerine etki eden ikinci bir parametre de kullanılan liflerin boyudur. Üretilen kompozitlerin, lif yüzdeleri sabit tutularak lif boyları uzun seçildiğinde, çekme dayanımında görülen yükselmenin fazla olmadığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde kısa lifler ile üretilen kompozitlerde ise daha yüksek gerilme değerleri elde edilmiş ancak şekil değiştirmede dezavantajları olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalarda uzun lifler kırılma bölgesinden uzakta olduğu durumlarda mikro çatlakları engelleyemediği ancak kırılma durumunda çatlaklar arası köprü görevi görerek makro çatlaklarda etkili olduğu ve tokluğu artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Kısa lifler incelendiğinde ise boyutsal olarak daha uygun olduklarından dolayı mikro çatlaklarda daha etkili olduğu ve daha yüksek çekme gerilmelerini karşıladığı sonuçları elde edilmiştir. Ancak kısa lifler kullanılan kompozitlerde makro çatlaklar oluşmaya başladıktan sonrasında lif boyu yetersiz kalır ve sıyrıma kolay olduğundan büyük çatlaklarda etkili değildir (Betterman, Quyang ve Shah, 1995).

Şekil 2.3. : Çatlaklarda Tel boyutlarının etkisi (Betterman, Quyang ve Shah, 1995).



2.3.1.3. Lif Yüzdesi ve Narinlik Oranının Etkisi

Narinlik oranı, liflerin tanımlanmasındaki önemli parametrelerden biridir. Kullanılan lifin boyunun (l) çapına (d) oranına narinlik adı verilir. Narinlik, yuvarlak kesitler için (l/d), farklı şekiller için ise boyun, eşdeğer çapa (l/d_c) bölünmesi yöntemi ile bulunmaktadır. Narinlik oranı 35 ile 1000 değer aralığında değişebilmekte, fakat genellikle 300 den küçük değerlerde olmaktadır. Lif takviyeli betonlarda, ilave edilen liflerin miktarı ve narinlik değerinin betonun işlenebilirliğini ve mekanik özelliklerini yüksek oranda etkilemektedir. Lif narinliğinin artması, üretilen betonun performansını artıracığı gibi işlenebilirlik açısından bazı sorunlara yol açacağından, genellikle 100 gibi bir değerde tutulmalıdır. Geçmişte yapılan çalışmalarda, beton karışımına eklenen liflerin narinlik değerlerinin büyük olmasının işlenebilirlik açısından dezavantajlar doğurduğu görülmüştür (Soroshian ve Bayasi, 1991).

Yapılan bir başka çalışmada, narinlik değerleri farklı olan çelik lifler, çeşitli yüzdelerde betona ilave edilmiş, çelik lif donatısına sahip betonlarda meydana gelen mekanik özelliklerdeki değişimler incelenmiştir (Bayramov, 2004). Çalışmalar sonucunda:

- Çelik tellerin basınç dayanımında etkileri belirgin değildir. Narinlik değeri 65 olan tellerin takviye edilmesi ile üretilen betonlarda, tel içeriği 20kg/m^3 ten 50kg/m^3 e çıkarıldığında basınç dayanımında %30 oranında bir artış gözlemlenmiştir.

- Normal beton ve çelik lif takviyeli betonlar incelendiğinde, çelik liflerle takviye edilmiş betonun çekme dayanımının daha yüksek olduğu ve çelik lif oranına bağlı olarak çekme dayanımının arttığı görülmüştür. Ayrıca narinlik değeri 65 olan liflerde çekme dayanımındaki artış daha belirginleşmektedir. Narinlik değeri 80 olan lifler koparak ikiye ayrılır iken, narinlik değeri 65 olan liflerin beton matrisinden sıyrıldığı fakat kırılma olmadığı görülmüştür.
- Lif miktarındaki artışın, karakteristik boylarda ve eğilme dayanımlarında artışlara neden olduğu görülmüştür. Narinlik değeri 80 olan ve 50kg/m^3 lif içeriğine sahip kirişler, normal betona oranla 2 kat fazla eğilme dayanımına sahip olduğu görülmektedir.
- Kırılma enerjisi, çelik lif miktarı ve narinlik değerine bağlı olarak büyük ölçüde artmaktadır. Narinlik değeri 80 olan ve 50 kg/m^3 lif içeriğine sahip olan kirişlerde yaklaşık 5 mm ölçülen kırılma enerji değeri, takviyesiz betonlara oranla 50 kat daha yüksek olmaktadır (Bayramov, 2004).

Zollo ise lif takviyeli betonların lif miktarına göre sınıflandırmıştır.

Tablo 2.11. : Betonların Lif Miktarlarına Göre Sınıflandırılması (Zollo, 1997)

Beton Tipi	Lif İçeriği (%)
Düşük Lif Yüzdeli Betonlar	0,1 - 1
Normal Lif Yüzdeli Betonlar	1 - 3
Yüksek Lif Yüzeli Betonlar	3 - 12

Teorik açıdan betondaki lif içeriğinin yüksek olması mekanik davranışlarda iyileştirmeler sağlasa da pratik açıdan bu doğru değildir. Liflerin kullanım yüzdesinin artması topaklanmaları beraberinde getirerek betonun işlenebilirliğinde ve kalıba yerleştirilmesinde sorunlar oluşturmaktadır.

2.4. Lifler İle Güçlendirilmiş Kompozit Türleri

2.4.1. Çelik Lifler İle Güçlendirilmiş Kompozitler

Çelik lifler betondaki çatlakların artmasını yavaşlatma, genişlemesini engelleme ve ya çatlakla köprü oluşturma amaçları ile betona ikame edilmektedir. Optimum tasarımda ve uygun şartlarda üretilmiş çelik lif takviyeli betonların kırılma enerjileri, yorulma ve darbelere karşı gösterdikleri direnç yüksektir.

Lif ile güçlendirilmemiş betonlarda oluşan çatlağın yayılması için gerekli olan bir hayli enerji düşük olmakta ve çatlağın başlaması için gerekli olan enerji miktarının yaklaşık yarısı kadardır. Ancak lif takviyeli betonlarda ise mikro çatlağın oluşmasına neden olan enerji lifler vasıtası ile çatlağın etrafındaki sağlam çimento matrisine aktarılmaktadır. Bu aktarım ile çatlağın yayılması ve büyümesi için çok daha yüksek enerji gerekmektedir. Çelik liflerin maksimum yük değerine ulaştıktan (beton kırılması) sonra dahi bir miktar daha fazla yük taşıdıkları bilinmektedir (Vural,1998).

Çelik lifler ile güçlendirilmiş betonların mekanik özelliklerinde, kullanılan liflerin miktarı, narinlik değerleri, boyları, şekilleri, hazırlama metodu, çimento cinsi, su/çimento oranı, agrega cinsi, ısı işlem uygulanması gibi faktörler büyük rol oynamaktadır.

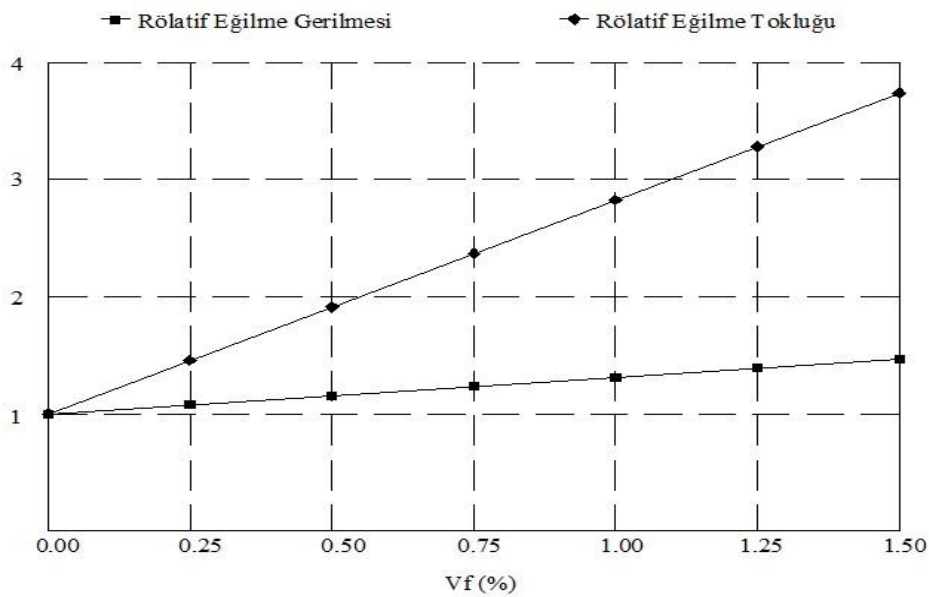
Lif takviyesinin betonun basınç dayanımına etkisi çok olup, nadiren %25'i geçmektedir. Çelik lif takviyeli kompozitler çoğu uygulamalarda eğilme yüklerine maruz kalmaktadır. Bu nedenle lif takviyesi ile betonun eğilme direnci artırılır. Lifler ile güçlendirilmiş betonların eğilme dayanımlarında, basınç ve çekme dayanımlarına oranla daha fazla artış olmaktadır. Eğilme dayanımındaki artışın başlıca etkenleri; kullanılan liflerin miktarları, türleri, geometrileri, karışımın matris yapısı ve numune boyutlarıdır (Shah ve Balaguru, 1992).

Tablo 2.12. : Lifler ile güçlendirilmiş betonların bazı özelliklerindeki artış miktarları (Ersoy, 2001).

Özellikler	Artış
Tokluk Değeri	% 100 - % 1200
Darbe Dayanımı	% 100 - % 1200
İlk Çatlak Dayanımı	% 25 - % 100
Çekme Dayanımı	% 25 - % 100
Basınç Dayanımı	% \pm 25
Yorulma Dayanımı	% 50 - % 100
Şekil Değiştirme Oranı	% 50 - % 300
Çekme Dayanımı (eğilmede)	% 25 - % 200
Kavitasyon Direnci	% 200 - % 300
Elastisite Modülü	% \pm 25

Lif oranındaki artış, betonların basınç, çekme, eğilme dayanımı gibi özelliklerine etki ederken en büyük etkisi ise tokluk değeri üzerinde olmaktadır.

Şekil 2.4. : Lif Yüzdesinin Eğilmede Çekme Etkisi (Shah ve Rangan, 1971)



2.4.2. Polimer Lifler ile Güçlendirilmiş Kompozitler

Polimer lifler ile güçlendirilmiş betonların üretilmesinde en yaygın kullanım oranına sahip olan ve en iyi sonuçlar gözlemlenen lif türü polipropilen liflerdir. Polipropilen liflerin, betonun basınç dayanım değerleri ve elastisite modüllü değerlerinde büyük etkileri olmaz iken, yarmada çekme dayanım değerlerinde artışlar görülmektedir.

Yaygın olarak kullanılan bazı polimer lifler; polipropilen, naylon, ve polyester liflerdir. Polipropilen lifler hamur ve tekil formlarda bulunabilirken, polyester ve naylon lifler sadece tekil formda bulunabilmektedir. Genellikle taze betonun özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılmaktadırlar. Polimer lifler ile güçlendirilmiş betonların işlenebilmeleri, kullanılan liflerin uzunluklarına, liflerin türlerine ,içeriklerine ve ayrıca beton matrisin özellikleri gibi değişkenlere bağlı olarak değişmektedir.

Polipropilen liflerin sertleşmiş betonun mukavemetinde önemli bir etkisi olmamaktadır. Genellikle betonun plastik durumunda etki etmekte ve bir tür katkı maddesi gibi görev almaktadırlar. (Acun, 2000). Beton matrisinde görülen kimyasal tepkimeler ile suyun buharlaşması sonucu plastik büzülme oluşmaktadır. Polipropilen lif kullanımının en önemli amacı, plastik büzülmelemlerden dolayı meydana gelebilecek çatlakların kontrol altında tutulmasıdır.

2.4.3. Cam Lifler ile Güçlendirilmiş Kompozitlerin Özellikleri

Portland tipi çimento, alkali dirençli cam lifler, ince agrega ve çeşitli katkı maddelerinin bir araya gelerek oluşturduğu beton türüne cam lifler ile güçlendirilmiş ve ya cam lif takviyeli betonlar adı verilmektedir. Genel olarak esnek ve çarpmaya karşı dirençli kompozitlerdir. Bu tür kompozitler ağırlıklarının hafif olması ve esneklik özelliklerinden dolayı pek çok uygulamada kullanılmaktadır.

Farklı tiplerde cam liflerinin üretiminde, cam cinsleri, uygulama sıcaklıkları, çekim hızları ve kullanılan camın viskozite değeri gibi faktörler değiştirilmekte ve farklı özelliklerde cam lifleri üretilmektedir. Üretimi tamamlanan cam lifleri Avrupa'da çoğunlukla 2,5 µm ile 20 µm aralığında farklı

kalınlıklarla piyasaya sürülmektedir. 1000 metre uzunluğunda ve yaklaşık 400 adet lif içeren bir cam lifi demetinin ağırlığı “teks (tex)” olarak adlandırılmaktadır.

İlk liflerinin üretiminde A-tipi “Alkali Cam” kullanılmıştır. Sonrasında ise alkali oranı daha düşük olan ve elektrik dayanımına sahip E-camları ile lif üretimi yapılmıştır. E-camı, sanayi uygulamalarında fazlasıyla tercih edilirken, alkali direncinin düşük olması nedeniyle inşaat sektöründe pek tercih edilmemektedir. Yapılan araştırmalar sonucu 1971 yılında İngiltere’de “CEM-FİL” adı verilen, alkali etkisine dirençli cam liflerinin üretilmesi ile harçların donatılmasında, bu lifler kullanılmaya başlamıştır.

Farklı matris malzemelerinin donatılması amacıyla, cam lifleri çeşitli niteliklerde üretilmektedir. Örneğin E-camına göre daha üstün mekanik özelliklere sahip olan S camı havacılık ve uzay endüstrilerinde kullanılabilir. Aynı şekilde Avrupa’da üretilen ve S-camına benzer özelliklere sahip R-camları bulunmaktadır. Lif takviyeli plastiklerin yapımında kullanılan diğer bir tür cam ise C-camıdır. C-camları yüksek kimyasal dirençli cam türlerindedir.

Tablo 2.13. : Çeşitli Camların Bazı Özellikleri (Kurt, 2006)

Özellikler	E-Camı	A-Camı	C-Camı	R-Camı	D-Camı	M-Camı	S-Camı
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2,54	2,45	2,45	2,58	2,16	2,89	2,49
Çekme Dayanımı (MPa)	3600	3100	3400	4400	2450	3500	4500
Kopma Uzama Oranı (%)	4,8	-	4,8	-	-	-	5,4
Çekme E-Modülü (GPa)	76	72	70	85	53	111.3	86
Kırılma İndisi	1,548	1,512	-	-	1,47	1,635	1,523
Isıl Genleşme Katsayısı (cm/cm [°] K)	1,6X10 ⁻⁶	-	1,6X10 ⁻⁶	-	3,1-6X10 ⁻⁶	-	1,7X10 ⁻⁶
Lif çapı (mm)	3-20X10 ⁻³	-	-	-	-	-	3-13X10 ⁻³
Yumuşama Noktası (°C)	850	700	690	990	770	-	-
Dielektrik Sabiti (1 MHz)	6,33	-	-	-	5,8	-	5,34

2.5. Lif Takviyeli Kompozitlerin Kullanım Alanları

Liflerle donatılı kompozitler inşaat ve sanayi alanlarında sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. İstenilen verimliliğin sağlanabilmesi için eklenen liflerin özellikleri, lif ve matris uyumu, kompozitten beklenen özellikler ve kompozitin maruz kalacağı etkenler göz önünde bulundurulmalıdır.

Çelik lifler sahip oldukları çekme mukavemeti ve sünek davranış gösterme gibi mekanik özellikleri sayesinde deprem dayanımı yüksek yapıların inşa edilmesinde, tünel yapılarında, prekast cephe elemanlarında, yüksek

güvenlikli yapılarda ve yol yapılarının inşa edilmesi ve benzeri bir çok alanda karşımıza çıkmaktadır.

Polimer liflerin kullanımı incelendiğinde, betonda görülen plastik rötrenin erken oluşmasını engellemek, betonun tokluk değerini arttırma ve betonun içindeki suyu emerek betondan uzaklaşmasını engellemek amaçlarıyla betona ilave edilmektedir. Çelik liflerin püskürtme beton uygulamalarında ekipmanlara kalıcı zararlar vermesinden dolayı, son yıllarda çelik liflerin yerine polimer lifler kullanılmaya başladığı görülmektedir.

Cam lif takviyeli betonlar sağladığı hafiflik ve üretim kolaylığı sayesinde çok çeşitli tasarımlar yapılabilmesine imkan vermektedir. İşlenebilirliği yüksek olan cam lifli betonlar, özellikle tarihi restorasyon çalışmalarında karşımıza çıkmaktadır. Sağladığı üstün özellikler sayesinde: cephe kaplama panelleri, geçici ve kalıcı kalıplar, sandwich panel üretimi, kanallar, su depoları, ses bariyerleri, bölme duvarları, oluk, kapı ve pencere gibi alanlarda kullanılabilir.

Tablo 2.14. : Bazı Lif Türlerinin Kullanım Alanları

Lif Türü	Kullanılan Uygulamalar
Cam Lifler	Cephe Kaplamaları, Kanalizasyon Boruları, Beton Çatılar, Prekast Paneller, Beton Bloklar gibi alanlar
Çelik Lifler	Gözenekli Betonlar ve Çatı Uygulamaları, Kaldırımlar, Köprü Döşemeleri, Sıcaklık Dirençli Yapılar, Rüzgar Dirençli Yapılar, Beton Boru İmalatları, Havalimanları, Tünel Yapıları, Deniz Yapıları gibi alanlar
Polipropilen Lifler	Temel Kazıkları, Öngerilmeli Kazıklar, Cephe Kaplama Panelleri, Deniz Yapıları, Su Altı Boru İmalatları , Yol Onarımları gibi alanlar
Asbest Lifler	Yangın Dayanımlı Malzemeler, Yalıtım Malzemeleri, Çatı Levhaları, Duvar Kaplamaları, Kanalizasyon Boruları gibi alanlar
Karbon Lifler	Çatı Kaplama Elemanları, Membran Üretimi, Tekneler, İnşaat İskeleleri gibi alanlar
Mika Lifler	Tamirat Malzemeleri, Beton Borular, Levhalar (asbest yerine) gibi alanlar

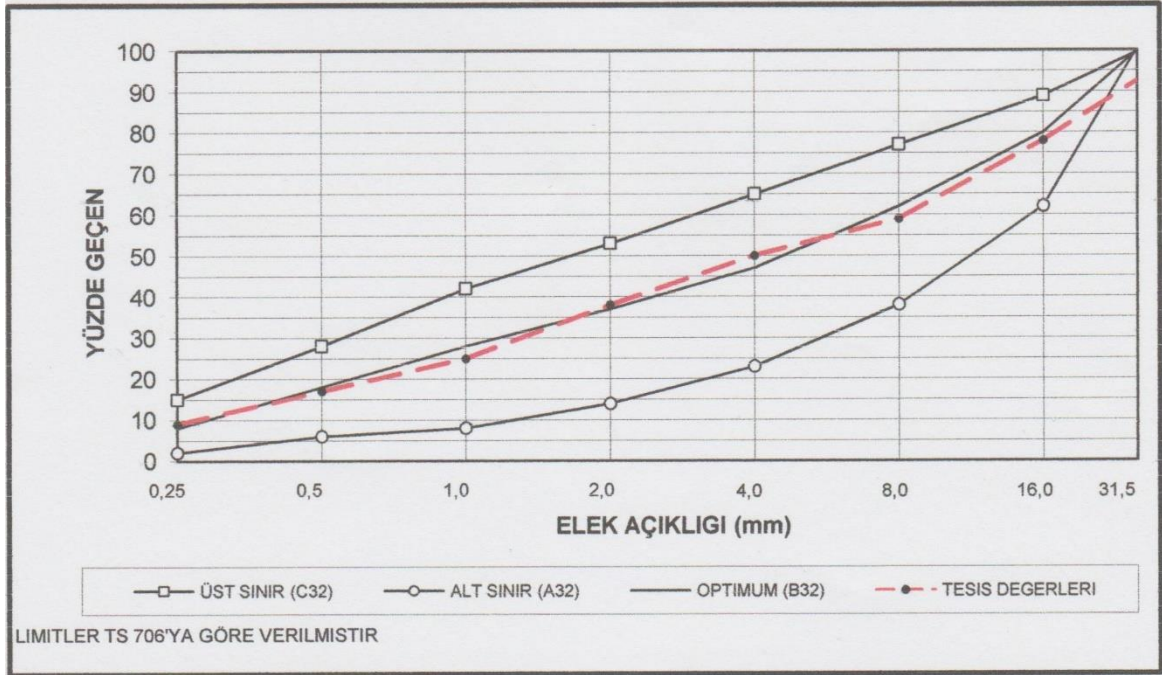
3. DENEY ÇALIŞMALARI

Bu bölümde numunelerin üretiminde kullanılmış olan malzemeler, malzemelerin özellikleri, yapılan deneyler, yapılışı ve deney sonuçlarına ait bilgiler yer almaktadır.

3.1. Beton Karışımı

Yapılan çalışmada kullanılan 150 mm'lik beton numunelerinin üretilmesi amacıyla Giresun-Tirebolu bölgesine ait yıkanmış dere agregası, Ünye Çimento Sanayii ve Ticaret Anonim Şirketi tarafından üretilen CEM-I 42,5 R çimento, 12 mm boyunda cam elyaf ve yüksek oranda su azaltıcı, süper akışkanlaştırıcı olarak Ekan Flex 506 W kullanılmıştır.

Tablo 3.1. : Giresun Tirebolu yöresine ait Agreganın Granülometri Eğrisi



Tablo 3.2. : Ünye Çimento CEM-I 42,5 R Çimento Kimyasal Kompozisyonları

Kimyasal Özellikler	Elde Edilen Değerler (%)
Kükürt Trioksit (SO ₃)	2,83
Klorür (Cl)	0,0125
Kızdırma Kaybı	3,4
Çözünmeyen Kalıntı	0,63
Sodyum Oksit (Na ₂ O)	0,40
Potasyum Oksit (K ₂ O)	1,00
Toplam Alkali (Na ₂ O eşdeğeri)	1,06

Tablo 3.3. : Ünye Çimento CEM I PÇ 42,5 Portland Çimento Fiziksel Kompozisyonları

Fiziksel Özellikler	Elde Edilen Değerler
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	3,14
Özgül Yüzey (cm ² /g)	3514
Priz Başlangıcı (dk)	170
Hacim Genleşmesi (mm ³)	1
2 Gün Dayanımı (Mpa)	32,2
28 Gün Dayanımı (Mpa)	51,4

Tablo 3.4. : Kullanılan Cam Liflerin Özellikleri

Özellikler	Değerler
Lif Boyları (mm)	12
Lif Çapı (µm)	14
Bağıl Yoğunluk (mg/m ³)	2,68
Özgül Yüzey (cm ² /g)	1050
Elastisite Modülü (MPa)	72000
Çekme Dayanımı (MPa)	1700

Tablo 3.5.:Süper akışkanlaştırıcının Özellikleri

Özellikler	Değerler
Görünüm	Homojen
Renk	Kahverengi
Yoğunluk (kg/l)	1,170 ± 0,03
pH Değeri	9,0 ± 1,5
Katı Madde İçeriği	34,9 ± % 5
Klorür İçeriği	< % 0,1
Alkali İçeriği	< % 6

3.2. Numune Üretimi

Yapılan çalışmada su/çimento oranı sabit tutulup, cam lifi içeriği değiştirilerek 5 farklı içerikli, toplam 10 adet numune üretilmiştir. Üretilen numuneler 150 mm' lik küp numunelerdir olup 225 cm² kesit alanına sahiptir. Beton dayanım sınıflı olarak C30 olarak alınmış olup, su/ çimento oranı sabit tutularak 0,50' dir. Lif miktarları, 0 kg/m³, 5 kg/m³, 10 kg/m³, 15 kg/m³ ve 20 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Süper akışkanlaştırıcı katkı miktarı sabit olup 3kg/m³'tür. Numune kodlarının belirlenmesinde, cam lifi miktarları kullanılmıştır. Lif takviyesiz beton " NUM-0S", 5 kg/m³ lif takviyeli beton "NUM-5S" , 10 kg/m³ lif takviyeli beton "NUM-10S", 15 kg/m³ lif takviyeli beton "NUM-15S" ve 20 kg/m³ lif takviyeli beton "NUM-20S" olarak adlandırılmıştır.

Tablo 3.6. : Numune Kodları ve İçerikleri

Numune Kodu	Çimento (kg)	Su (kg)	Cam Lif (kg)	Süper akışkanlantırıcı (kg)
NUM-0S	300	150	0	3
NUM-5S	300	150	5	3
NUM-10S	300	150	10	3
NUM-15S	300	150	15	3
NUM-20S	300	150	20	3

Hazırlanan numuneler 24 saat sonra kalıptan alınmış ve 28 gün boyunca 20 ± 2 °C de kür edilmiştir.

Şekil 3.1. : Kür Havuzu Düzenegi



3.3. Deneylerin Yapılışı

3.3.1. Basınç Dayanım Deneyinin Uygulanması

Üretilmiş olan 150' mmlik küp numuneler 28 gün boyunca kür havuzunda bekletilmiş ve ardından basınç dayanım testi uygulanmıştır. Deneyin yapılmasında 2000 kN kapasiteli Yüksel Kaya Makine Material Testing Equipments YKM – C 205 /1 beton test presi kullanılmıştır. Küp numuneler pres makinesinin basınç levhaları arasına yerleştirilmiş ve 0,6 MPa / sn sabit hızla yüklemeye tabi tutulmuştur. Deney sonucu farklı miktarlarda cam lifleri

ile güçlendirilmiş numunelerin kırılma yükleri tayin edilmiş ve MPa cinsinden basınç dayanım değerleri elde edilmiştir.

$$f_c = F/A_c$$

f_c : Basınç Dayanım Değeri

F : Numunenin Kırılma Sırasında Ulaşılan Enerji Değeri

A_c : Numunenin Basınca Tabi Tutulan Kesit Alanı

Formülü kullanılarak dönüşüm yapılmıştır.

Şekil 3.2. : Basınç Dayanım Deneyinde Kullanılan Deney Düzenegi



Şekil 3.3 : Basınç Dayanım Deneyine Tabi Tutulmuş Numune Örneği



3.3.2. Yarma Çekme Deneyinin Uygulanması

Üretilmiş olan 150'mmlik küp numuneler 28 gün boyunca kür havuzunda bekletilmiş ve ardından basınç dayanım testi uygulanmıştır. Deneyin yapılmasında 2000 kN kapasiteli Yüksel Kaya Makine Material Testing Equipments YKM – C 205 /1 beton test presi kullanılmıştır. Küp numuneler pres makinesinin basınç levhaları arasına yerleştirilmiş, 3mm kalınlığında dolgu malzemesi ile şerit halinde beslenmiş ve 0,6 MPa / sn sabit hızla yüklemeye tabi tutulmuş ve düşey çap doğrultusunda yarıma gerçekleşinceye kadar yüklemeye devam edilmiştir. Deney sonucu farklı miktarlarda cam lifleri ile güçlendirilmiş numunelerin yarıma anındaki enerjileri tayin edilmiş ve MPa cinsinden yarmada çekme dayanımı değeri elde edilmiştir.

$$f_{ct} = (2 \times F) / (\pi \times a^2)$$

f_{ct} : Yarmada Çekme Dayanım Değeri

F : Numunenin Yarıma Anında Ulaşılan Enerji Değeri

a : Numunenin Kenar Uzunluğu

Formülü kullanılarak dönüşüm yapılmıştır.

Şekil 3.4. :Yarmada Çekme Deneyinde Kullanılan Deney Düzeneği



Şekil 3.5. : Yarmada Çekme Deneyine Tabii Tutulmuş Numune Örneği



4. DENEY SONUÇLARI

4.1. Uygulanan Basınç Dayanım Deneyleri Sonuçları

Üretilen 150 mm'lik küp şeklindeki numunelerin tamamı TS-EN 12390 – 3 yönergelerine uygun biçimde basınç dayanım testine tabi tutulmuştur.

Yapılan deneyler sonucu numunelerin basınç dayanım değerleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 da verilmektedir. Uygulanan deneylerin sonuçlarına göre cam lifi içermeyen numunenin basınç dayanım değeri 54,23 MPa iken , 5 kg/m³ cam lifi oranına sahip olan “NUM-5S” numunesinin basınç dayanımında %2,41'lik bir artış meydana gelerek 55,53 MPa olmuş, 10 kg/m³ cam lifi oranına sahip olan “NUM-10S” numunesinin basınç dayanımında %5,96'lik bir artış meydana gelerek 57,46 MPa olmuştur, 15 kg/m³ cam lifi oranına sahip olan “NUM-15S” numunesinin basınç dayanımında % 0,84 gibi az bir artış meydana gelerek 54,6 MPa olmuştur. Ancak 20 kg/m³ cam lifi oranına sahip olan “NUM-20S” numunesinin basınç dayanımında %14,82'lik bir azalma meydana gelmiş ve 46,19 MPa olmuştur.

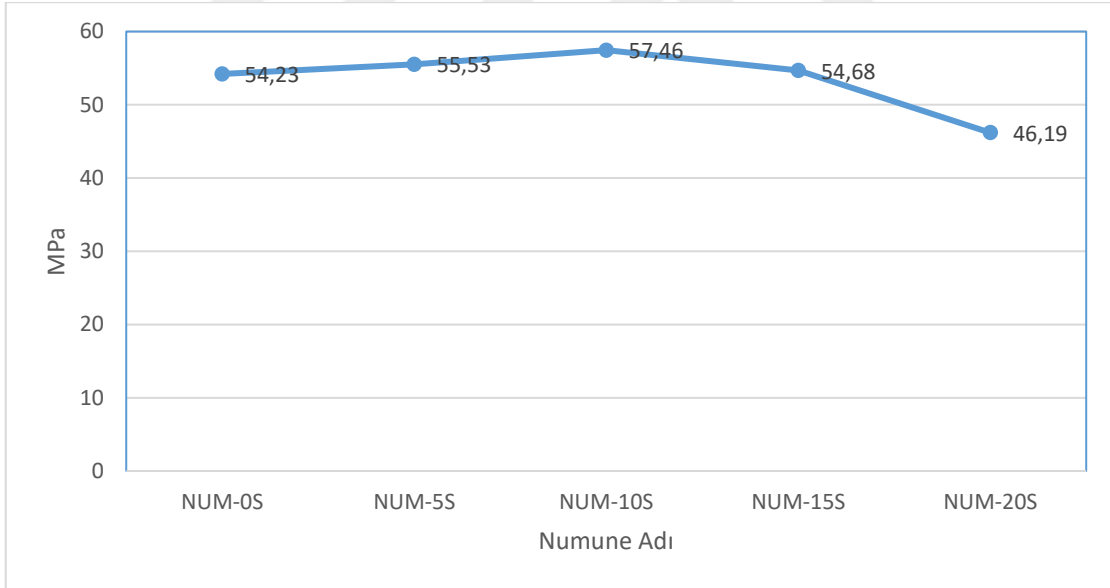
Tablo 4.1. : Basınç Dayanım Deneyinde Numunelerin Kırılma Yükleri

Numune Adı	Kesit Alanı (cm ²)	Hacim (cm ³)	Alınış Tarihi	Test Tarihi	Numune Yaşı (gün)	Kırılma yükü (kN)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
NUM-0S	225,0	3375,0	22.10.2019	20.11.2019	28	1220,175	54,23
NUM-5S	225,0	3375,0	22.10.2019	20.11.2019	28	1249,425	55,53
NUM-10S	225,0	3375,0	22.10.2019	20.11.2019	28	1292,850	57,46
NUM-15S	225,0	3375,0	22.10.2019	20.11.2019	28	1230,300	54,68
NUM-20S	225,0	3375,0	22.10.2019	20.11.2019	28	1039,275	46,19

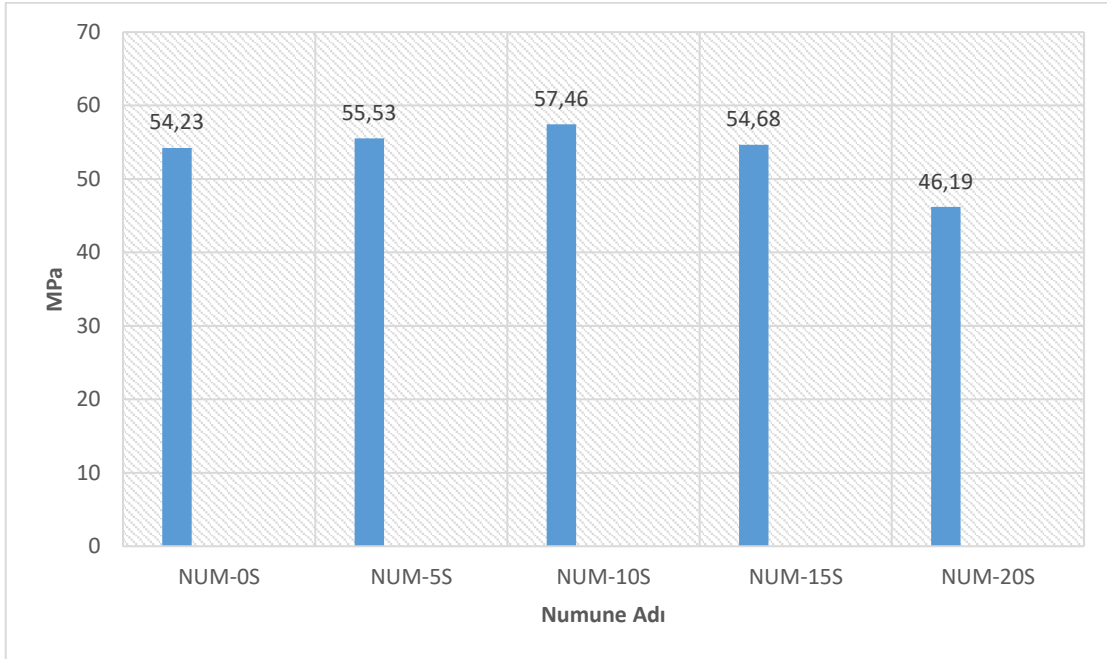
Tablo 4.2. :Basınç Dayanım Değerleri

Numune Adı	Basınç Dayanımı (MPa)
NUM-0S	54,23
NUM-5S	55,53
NUM-10S	57,46
NUM-15S	54,68
NUM-20S	46,19

Şekil 4.1. :Numunelere ait Basınç Değişim Grafiği



Şekil 4.2. : Numunelere Ait Basınç Dayanım Grafiği



4.2. Uygulanan Yarmada Çekme Deneyleri Sonuçları

Üretilen 150 mm'lik küp numuneler TS-EN 12930 – 6 yönergelerine uygun biçimde yarmada çekme deneyine tabi tutulmuştur.

Yapılan deneyler sonucu numunelerin yarmada çekme dayanım değerleri Şekil 4.3. ve Şekil 4.4. da verilmektedir. Uygulanan deneylerin sonuçlarına göre cam lifi içermeyen numunenin yarmada-çekme dayanım değeri 3,17 MPa iken , 5 kg/m³ cam lifi oranına sahip olan “NUM-5S” numunesinin yarmada-çekme dayanımında %8,91'lik bir artış meydana gelerek 3,45 MPa olmuş, 10 kg/m³ cam lifi oranına sahip olan “NUM-10S” numunesinin yarmada-çekme dayanımında %16,32'lik bir artış meydana gelerek 3,68 MPa olmuştur, 15 kg/m³ cam lifi oranına sahip olan “NUM-15S” numunesinin yarmada-çekme dayanımında % 21,91 artış meydana gelerek 3,86 MPa olmuş, 20 kg/m³ cam lifi oranına sahip olan “NUM-20S” numunesinin yarmada-çekme dayanımında %15,97'lik bir artış meydana gelmiş ve 3,67 MPa olmuştur.

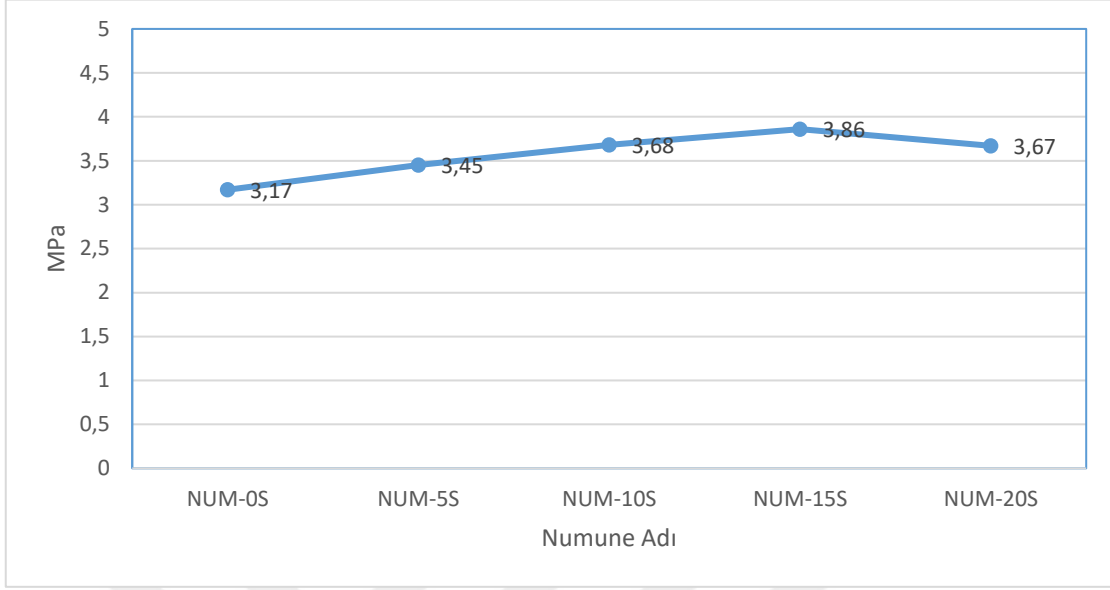
Tablo 4.3. : Yarmada Çekme Deneyinde Numunelerin Kırılma Yükleri

Numune Adı	Kesit Alanı (cm ²)	Hacim (cm ³)	Alınış Tarihi	Test Tarihi	Numune Yaşı (gün)	Kırılma yükü (kN)	Yarmada Çekme Dayanımı (N/mm ²)
NUM-0S	225,0	3375,0	22.10.2019	20.11.2019	28	112,04	3,17
NUM-5S	225,0	3375,0	22.10.2019	20.11.2019	28	121,93	3,45
NUM-10S	225,0	3375,0	22.10.2019	20.11.2019	28	130,06	3,68
NUM-15S	225,0	3375,0	22.10.2019	20.11.2019	28	136,42	3,86
NUM-20S	225,0	3375,0	22.10.2019	20.11.2019	28	129,71	3,67

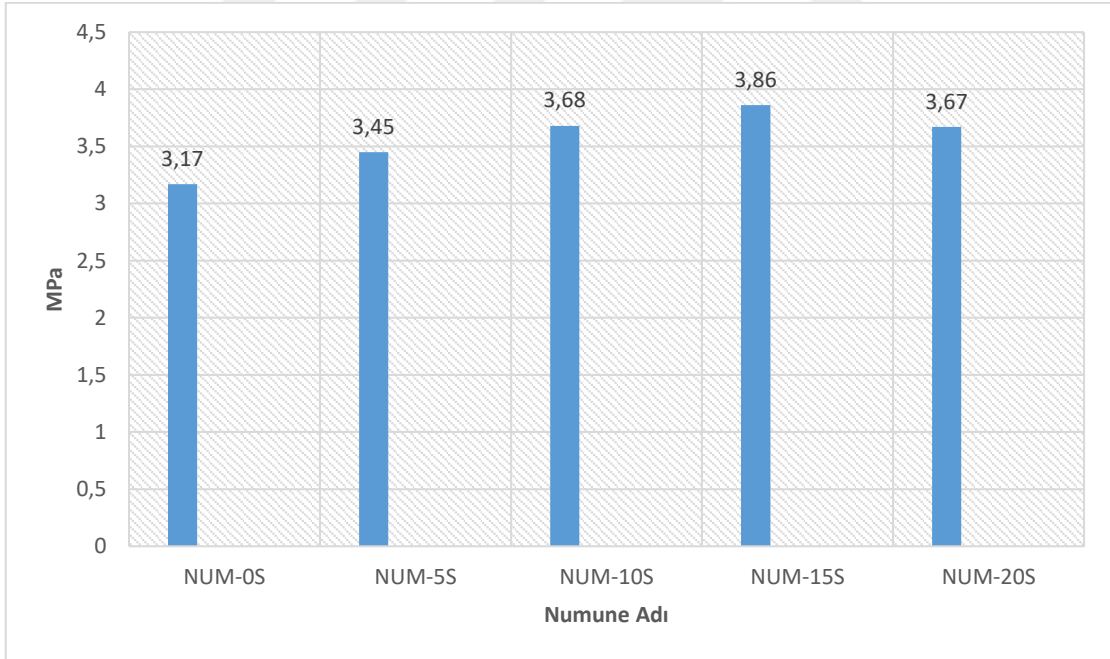
Tablo 4.4. : Numunelerin Yarmada – Çekme Dayanımları

Numunenin Adı	Yarmada-Çekme Dayanımı (Mpa)
NUM-0S	3,17
NUM-5S	3,45
NUM-10S	3,68
NUM-15S	3,86
NUM-20S	3,67

Şekil 4.3.: Numunelere Ait Çekme Dayanımı Değişim Değerleri



Şekil 4.4. : Numunelere Ait Çekme Dayanım Değerleri



5. SONUÇLAR

Yapılan deneyler sonucunda ;

- Cam liflerinin betona takviye edilmesi ile cam lifi miktarına bağlı olarak, basınç dayanımında ve çekme dayanımında değişiklikler görülmüştür.
- Cam lifi katkısının numunelerin basınç dayanımlarına belirli lif oranlarında pozitif olurken, bazı lif oranlarında negatif olmuştur. Pozitif etki %2 ile %6 arasında , negatif etki ise %14,82 oranındadır.
- Basınç dayanımı testleri sonucunda, 10kg/m³ lif katkılı “NUM-10S” numunesinde, şahit numuneye göre %5,96 ‘lık artış görülmüş ve 57,46 MPa ile en yüksek değere sahip numunedir.
- Basınç dayanımı testleri sonucunda, 20 kg/m³ lif katkılı “NUM-20S” numunesinde, şahit numuneye göre % 14,82’lik düşüş görülmüş ve 46,19 MPa ile en düşük değere sahip numunedir.
- Cam lifi katkısının numunelerin çekme dayanımlarına katkısı belirgin olmuştur. Çekme dayanımlarında görülen artış %8 ile %22 arasında değişmektedir.
- Yarmada çekme dayanımı testleri sonucunda 15 kg/m³ lif katkılı “NUM-15S” numunesinde, şahit numuneye göre %21.91’lik artış görülmüş ve 3,86 MPa ile en yüksek değere sahip numunedir.
- Yarmada çekme dayanımı testleri sonucunda 5 kg/m³ lif katkılı “NUM-5S” numunesinde, şahit numuneye göre %8,91’lik bir artış görülmüş ve 3,45 MPa ile en az artışa sahip numunedir.
- Cam lifi takviyeli betonlarda lif miktarına göre karşımın kalıba alınması ve işlenebilirliğinde sorunlar meydana gelmiştir. 15 kg/m³ ve 20 kg/m³ lif içerikli numunelerin işlenebilirliğinin düşük olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

ACUN, S.,2000. Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Dizayn Parametresi Olarak Lifsel Kalıntıların İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ALİ, A.M., 2017. Cam Lif Takviyeli Betonun Yangın Dayanımlarının Çeşitli Parametreler Açısından İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Konya.

ARAL, M., 2006. Karma Lif İçeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı Bir Optimum Tasarım, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ASTM A 820,1996. Standart Spefication for Steel Fibers for Fiber-Reinforced Concrete, The Amerikan Society for Testing and Materials,USA.

ASTM C 1116, 1997. Standart Spefication for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete, The Amerikan Society for Testing and Materials,USA.

BAYASI, Z. and SOROUSHIAN, P., 1991. Fiber Type Effects on the Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete, ACI Materials Journal, 88.

BAYRAMOV, F., 2004. Çimento Esaslı Kompozit Malzemelerin Optimum Tasarımı, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

BETTERMAN, L.R., QUYANG, C. and SHAH, S.P., 1995. Fiber-Matrix Interaction in Microfiber-Reinforced Mortar, Adv. Cem. Bas.,2.

BRİK, V.B., 1999 Performance Evalution Basalt Fibers and Composite Rebars As Concrete Reinforcement, Tech Res Report Submitted to NCHRP-IDEA, Project 4.

BUNSELL, A.R., 1998. Fiber Reinforcement for Composite Materials, Vol:2 Composite Materials Series , Elseiver Science, The Netherlands.

CAN, O., DURMUŞ, G., SUBAŞI, S., YILDIZ, K., ARSLAN, M., 2009. Lif Katkılı Betonların Aşınma Direnci Üzerindeki Etkileri. IATS.

CHAWLA, K.K., 1998. Fibrous Materials, Cambridge University Press, United Kingdom.

CYR, M., 2004. Hybrid-Fiber Reinforcement in Cementitious Composites. Center for Advanced Cement-Based Materials. Northwestern University Evanston. IL U.S.A.

DSİ., 1994. Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton, Devlet Su İşleri, Ankara.

- ERSOY, H.Y., 2001.** Kompozit Malzeme, Literatür Yayınları :66 , İstanbul.
- KAYHAN, A.H., HALDENBİLEN, S., AYDIN, Y., USLU, A., SHVED, O, 2011.** Bazalt Lifli Donatı Çubuklarının Mekanik Özelliklerinin Betonarme Elemanlarının Davranışına Etkisi, İMO Denizli Dergisi, Sayı:66.
- KLIMOV, U.A., PISKUN, R.A., 2010.** Report on the Results of Experimental Research to Determine Strength, Hardness, and Crack Resistance of Concrete Elements Reinforced by non-Metallic composite Rebar Produced by Technobasalt-Invest LLC, Kiev.
- KURT, G., 2006.** Lif İçeriği ve Su/Çimento Oranının Fibrobetonun Mekanik Davranışlarına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü , İstanbul.
- LUBIN, G.,1969.** Handbook of Fiberglass and Advanced Plastic Composites, Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- ÖZYURT, N., 2000.** Ultra Yüksek Dayanımlı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- SARI, M., 2013.** Farklı Tipteki Liflerin Betonun Mekanik Davranışlarına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., İstanbul.
- SHAH, B., 1995.** Fiber Reinforced Composites, American Concrete Institute, Detroit, U.S.A.
- SHAH, S. P., and BALAGURU, P. N., 1992.** Fiber Reinforced Cement Composites, McGraw- Hill Inc., Singapore.
- SHAH, S. P. and RANGAN, B. V., 1971.** Fiber Reinforced Concrete Properties,ACI Journal.
- ŞAHİN, Y., 1999.** Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Kitapevi Tic. Ltd .Şti, Ankara.
- TUNA, Ş., 2010.** Dış Cephe Kullarılan Cam Elyaf Takviyeli Panellerin Durabilitesi ,Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., İstanbul.
- TS EN 12390-3, 2003.** Sertleşmiş Beton Deneyleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12309-6, 2003.** Sertleşmiş Beton Deneyleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 10513, 1992.** Beton Takviyesinde Kullarılan Çelik Teller, Türk Stadartları Enstitüsü, Ankara.

UZ, B., 1999. Bazaltların Kırmataş Yönünden Değerlendirilmesi. 'Trakya-Tekirdağ Bazalt Örnekleri' 2. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul.

VURAL, T., 1998. Fiberli Betonun Basınç Dayanımına Etkisi, Bitirme Ödevi, İ.T.Ü İnşaat Mühendisliği Fakültesi, İstanbul.

ZOLLO, R. F., 1997. Fiber Reinforced Concrete: An Overview After 30 Years of Development, Cement and Concrete Composites,19.



ÖZGEÇMİŞ

1992 yılında Balıkesir’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Giresun’da tamamladı. 2010 yılında Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. Şubat 2015 ‘te mezun oldu ve “İnşaat Mühendisi “ ünvanını aldı. Eylül 2016 da Avrasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Tezsiz Yüksek Lisans programına başladı. Şubat 2018 de Avrasya Üniverstesi Fen Bilimleri Entitüsü İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programına katıldı.

