

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİTKİSEL LİF TAKVİYELİ GEOPOLİMER BETON PLAK ELEMANLARIN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS

**Gamze CENGİZ
36203621002**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Mekanik Bilim Dalı**

Tez Danışmanı: Doç. Dr Yaşar AYZ

HAZİRAN -2023

T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİTKİSEL LİF TAKVİYELİ GEOPOLİMER BETON PLAK ELEMANLARIN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gamze CENGİZ
(36203621002)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Mekanik Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yaşar AYZ

HAZİRAN-2023

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının bütün aşamalarında öneri, bilgi, tecrübe ve yardımlarını esirgemededen beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Yaşar Ayaz 'a,

Tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu çalışma sürecinde de maddi, manevi her anlamda yanımda olan , beni yetiştiren ve bugünlere gelmemde büyük emekleri olan, desteklerini esirgemeyen canım babam Abdullah Cengiz ve canım annem Handan Cengiz 'e , tez çalışmamı ithafen yazdığım sevgili kardeşlerim Mehmet , Ömer ve Yunus Emre' ye,

Çalışmanın ilerlemesine katkıda bulunan , zamanını ve yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Yük. İnş. Müh. Fulya Atay ve Yük. İnş. Müh. Erkay Kutlusoy 'a en içten teőekkürlerimi sunarım. Bu çalışmanın literatüre katkıda bulunmasını dilerim.

Bu alışma, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Birimi (FYL-2021-2784) tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teőekkürü borç bilirim.

ONUR SÖZÜ

Doktora veya yüksek lisans tezi olarak sunduđum “Tez Bařlıđı” bařlıklı bu çalıřmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı dűőecek bir yardıma bařvurmaksızın tarafımdan yazıldıđına ve yararlandıđım bűtűn kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yűntemine uygun biçimde gűsterilenlerden oluřtuđunu belirtir, bunu onurumla dođrularım.

İnř. Műh. Gamze CENGİZ



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	4
2.1 Geopolimer	4
2.1.1 Geopolimer kimyası	5
2.1.2 Geopolimer teknolojisinin tarihi.....	7
2.1.3 Geopolimer beton	8
2.1.4 Geopolimer betonun kullanım alanları	10
2.2 Yüksek Fırın Cürufu (YFC)	11
2.2.1. Yüksek fırın cürufunun kimyasal özellikleri	12
2.2.2 Yüksek fırın cürufunun inşaat sektöründe kullanım alanları.....	13
2.2.3 Beton içerisinde yüksek fırın cüruf kullanılması.....	14
2.3 Plaklar	14
2.3.1 Plakların sınıflandırılması.....	15
2.4 Lifler	16
2.4.1 Kenevir lif.....	17
2.4.2 Bazalt lif	18
2.4.3 Cam elyaf lif	20
2.4.4 Çelik lif.....	22
2.5 Lifli Geopolimer Beton	23
2.5.1 Lifli geopolimerlerde eğilme dayanımı	23
3. MATERYAL VE YÖNTEM	27
3.1 Materyal.....	27
3.1.1 Yüksek fırın cürufu.....	27
3.1.2 Agregası	27
3.1.3 Aktivatörler.....	28
3.1.4 Kimyasal katkı.....	30
3.1.5 Kenevir lif.....	31
3.1.6 Bazalt lif	31
3.1.7 Cam elyaf lif	32
3.1.8 Çelik Lif.....	32
3.1.9 Karışım Suyu	33
3.1.10 Aletler	33
3.1.10.1 Elekler.....	33
3.1.10.2 Çelik kalıplar	34
3.1.10.3 Ahşap kalıp malzemesi	34
3.1.10.4 Basınç dayanım cihazı	34
3.1.10.5 Eğilme test cihazı	35
3.1.10.6 Eğilme test cihazı	36
3.1.10.7 Mikser.....	36

3.1.10.8 Hassas terazi	36
3.1.11 Diğer malzemeler	37
3.2 Yöntem	37
3.2.1 Ön döküm geopolimer beton karışımlarının belirlenmesi	37
3.2.2 Ön döküm geopolimer beton numunelerin üretilmesi	39
3.2.3 Sertleşmiş Beton DeneYlerinde Uygulanan Yöntemler	49
3.2.3.1. Basınç Dayanımı	49
3.2.3.2 Eğilme dayanımı	50
3.2.4 Geopolimer Beton Plak Üretimi	51
3.2.5 Geopolimer beton plak için uygulanan deney	58
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	60
4.1. Geopolimer Beton Numuneler Üzerinde Uygulanan DeneYler	60
4.1.1. Basınç dayanım testi deney sonuçları	60
4.1.2. Eğilme dayanım testi deney sonuçları	60
4.2.1 Eğilme dayanımlarının grafikleri	61
4.2 Plakların Diagonal Yükleme Deney Düzenegi	74
4.2.1 Lifsiz plağa ait veriler	75
4.2.2 Hacimce % 0,75 bazalt + % 0,75 cam Elyaf lif içeren plağa ait numune	77
4.2.3 Hacimce % 1,5 çelik lif içeren plağa ait numune	80
4.2.4 Plakların karşılaştırılması	83
5.SONUÇ	84
KAYNAKÇA	86
ÖZGEÇMİŞ	94

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1: YFC'lerin ve Portland Çimentonun Kimyasal İçeriği	13
Çizelge 2.2: Kenevir ve Bazı Diğer Selülozik Liflerin Fiziksel Özellikleri	17
Çizelge 2.3: Bazalt Kayanın Kimyasal Bileşenleri	19
Çizelge 3.1: Yüksek fırın cürufunun kimyasal özellikleri	27
Çizelge 3.2: Aktivatörlerin kimyasal özellikleri	29
Çizelge 3.3: Bazalt lifin kimyasal özellikleri	31
Çizelge 3.4: Cam Elyaf lifin kimyasal özellikleri	32
Çizelge 3.5: Çelik life ait teknik özellikler	32
Çizelge 3.6: Kenevir + Cam Elyaf lif Karışım oranları	38
Çizelge 3.7: Kenevir + Bazalt lif Karışım oranları	38
Çizelge 3.8: Cam elyaf + Bazalt lif Karışım oranları.....	38
Çizelge 3.9: Çelik lif Karışım ait oranları.....	39
Çizelge 3.10: Plaklara ait karışım oranları.....	51



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Çözünmüş alüminosilikatların yeniden örgütlenmesi.....	6
Şekil 2.2: Geopolimerizasyon süreci.....	7
Şekil 2.3: Geopolimerizasyon sürecinin farklı gösterimi.....	7
Şekil 2.4: Geopolimer betonun bileşenleri.....	9
Şekil 2.5: Geopolimer prosesi.....	9
Şekil 2.6: Yüksek fırın cürufu türleri.....	11
Şekil 2.7: Kurumaya bırakılan kenevir sapları.....	18
Şekil 2.8: Bazalt liflerin üretim şeması.....	19
Şekil 2.9: Cam elyaf üretim şeması.....	21
Şekil 2.10: Betonda kullanılan çelik liflerin tipleri.....	23
Şekil 2.11: Lif tipi ve oranlarına göre eğilme dayanımındaki değişim.....	24
Şekil 2.12: Uçucu kül esaslı geopolimer betonda 7 ve 56 günde çelik lif kullanımındaki eğilme dayanımı değişimi.....	25
Şekil 2.13: Uçucu kül esaslı geopolimer betonda 7 ve 56 günde polipropilen lif kullanımındaki eğilme dayanımı değişimi.....	25
Şekil 3.1: Yüksek fırın cürufu.....	27
Şekil 3.2: Deney çalışmasında kullanılan agrega örnekleri.....	28
Şekil 3.3: Deney bünyesinde kullanılan Sodyum Silikat.....	29
Şekil 3.4: Deney bünyesinde kullanılan Sodyum Hidroksit.....	30
Şekil 3.5: Deneyde bünyesinde kullanılan kimyasal katkı.....	30
Şekil 3.6: Deney çalışmasında kullanılan Kenevir Lif.....	31
Şekil 3.7: Deney çalışmasında kullanılan Bazalt Lif.....	31
Şekil 3.8: Deney çalışmasında kullanılan Cam Elyaf Lif.....	32
Şekil 3.9: Deney çalışmasında kullanılan Çelik Lif.....	33
Şekil 3.10: Elekler.....	33
Şekil 3.11: Çelik Kalıplar.....	34
Şekil 3.12: Ahşap Plak Kalıbı.....	34
Şekil 3.13: Basınç Test Cihazı.....	35
Şekil 3.14: Eğilme test cihazı.....	35
Şekil 3.15: Plaklar için kullanılan deney düzeneği.....	36
Şekil 3.16: Mikser.....	36
Şekil 3.17: Hassas Terazı.....	37
Şekil 3.18: Alkali aktivatörlerin hazırlanması.....	40
Şekil 3.19: Numune Kodları.....	41
Şekil 3.20: Kenevir + Cam elyaf lif içeren geopolimer numunelerin hazırlanması.....	42
Şekil 3.21: Kenevir + Cam elyaf lif içeren geopolimer numunelerin kalıptan çıkmış hali.....	43
Şekil 3.22: Kenevir + Bazalt lif içeren geopolimer numunelerin hazırlanması.....	44
Şekil 3.23: Kenevir + Bazalt lif içeren geopolimer numunelerin kalıptan çıkmış hali.....	45
Şekil 3.24: Bazalt + Cam elyaf lif içeren geopolimer numunelerin hazırlanması.....	46
Şekil 3.25: Bazalt+ Cam Elyaf lif içeren geopolimer numunelerin kalıptan çıkmış hali.....	47
Şekil 3.26: Çelik lif içeren geopolimer numunelerin hazırlanması.....	48
Şekil 3.27: Çelik lif içeren geopolimer numunelerin kalıptan çıkmış hali.....	49
Şekil 3.28: Basınç Cihazındaki Numune.....	50
Şekil 3.29: Eğilme Cihazındaki Numune.....	50
Şekil 3.30: Lifsiz geopolimer plak üretim aşamaları.....	53

Şekil 3.31: Lifsiz geopolimer beton Plağın kalıptan çıktıktan sonraki hali	54
Şekil 3.32: Bazalt+Cam elyaf içeren geopolimer beton plak üretim aşamaları.....	55
Şekil 3.33: Bazalt+Cam elyaf içeren geopolimer beton plağın kalıptan çıktıktan sonraki hali	56
Şekil 3.34: Çelik Lif içeren geopolimer beton plak üretim aşamaları	57
Şekil 3.35: Çelik Lif içeren geopolimer beton plağın kalıptan çıktıktan sonraki hali	58
Şekil 3.36: Eğilme deneyi için yerleştirilmiş örnek plak numunesi.....	59
Şekil 4.1: Ön döküm numunelerinin 7 ve 28 günlük Basınç Dayanım Sonuçları	60
Şekil 4.2: Ön döküm numunelerinin 7 ve 28 günlük eğilme dayanım sonuçları.....	61
Şekil 4.3: Lifsiz numuneye ait eğilme dayanımı grafiği	62
Şekil 4.4: % 0,50 Kenevir + % 0,50 Cam elyaf lif içeren numuneye ait eğilme dayanımı grafiği.....	63
Şekil 4.5: % 0,75 Kenevir + % 0,75 Cam elyaf lif içeren numuneye ait eğilme dayanımı grafiği.....	64
Şekil 4.6: % 1 Kenevir + % 1 Cam elyaf lif içeren numuneye ait eğilme dayanımı grafiği	65
Şekil 4.7: % 0,50 Bazalt + % 0,50 Cam elyaf lif içeren numuneye ait eğilme dayanımı grafiği.....	66
Şekil 4.8: % 0,75 Bazalt + % 0,75 Cam elyaf lif içeren numuneye ait eğilme dayanımı grafiği.....	67
Şekil 4.9: % 1 Bazalt + % 1 Cam elyaf lif içeren numuneye ait eğilme dayanımı grafiği	68
Şekil 4.10: % 0,50 Bazalt + % 0,50 Kenevir lif içeren numuneye ait eğilme dayanımı grafiği.....	69
Şekil 4.12: % 1 Bazalt + % 1 Kenevir lif içeren numuneye ait eğilme dayanımı grafiği.....	71
Şekil 4.13: % 1 Çelik lif içeren numuneye ait eğilme dayanımı grafiği	72
Şekil 4.14: % 1,5 Çelik lif içeren numuneye ait eğilme dayanımı grafiği.....	73
Şekil 4.15: % 2 Çelik lif içeren numuneye ait eğilme dayanımı grafiği	74
Şekil 4.16: Lifsiz plağın düzeneğe yerleştirilmesi	75
Şekil 4.17: Lifsiz plağın kırım yapılmadan önceki hali	75
Şekil 4.18: Lifsiz plağın kırılmaya başladığı an.....	76
Şekil 4.19: Lifsiz numunenin kırıldıktan sonraki hali.....	77
Şekil 4.20: Lifsiz plağa ait yük/uzama grafiği	77
Şekil 4.21: Hacimce % 0,75 Bazalt + % 0,75 Cam Elyaf lif içeren plağın kırımdan önceki hali.....	78
Şekil 4.22: Hacimce % 0,75 Bazalt + % 0,75 Cam Elyaf lif içeren plağın kırılmaya başladığı an	78
Şekil 4.23: Hacimce % 0,75 Bazalt + % 0,75 Cam Elyaf lif içeren plağın kırılmaya başladığı an	79
Şekil 4.24: Hacimce % 0,75 Bazalt + % 0,75 Cam Elyaf lif içeren plağa ait yük/uzama grafiği.....	80
Şekil 4. 25: Hacimce % 1,5 Çelik lif içeren plağın kırımdan önceki hali.....	81
Şekil 4.26: Hacimce % 1,5 Çelik lif içeren plağın kırılmaya başladığı an	81
Şekil 4.27: Hacimce % 1,5 Çelik lif içeren numunenin kırıldıktan sonraki hali	82
Şekil 4.28: Hacimce % 1,5 Çelik lif içeren plağa ait yük/uzama grafiği	82

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

Al₂O₃	: Alüminyum Oksit
ASTM	: American Society for Testing and Materials
CaO	: Kalsiyum Oksit
CH	: Kalsiyum Hidroksit
CO₂	: Karbondioksit
CSH	: Kalsiyum-Silikat-Hidrat
Fe₂O₃	: Demir Oksit
GPC	: Geopolimer Beton
K₂SiO₃	: Potasyum Silikat
MgO	: Magnezyum Oksit
MgSO₄	: Magnezyum Sülfat
Na₂O	: Sodyum Oksit
Na₂SiO₃	: Sodyum Silikat
NaOH	: Sodyum Hidroksit
PÇ	: Portland Çimentosu
SiO₂	: Silisyum Dioksit
YFC	: Yüksek Fırın Cüruf

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Bitkisel Lif Takviyeli Geopolimer Beton Plak Elemanların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Gamze CENGİZ

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

94 + x sayfa

2023

Danışman: Doç. Dr. Yaşar AYZAZ

Bu çalışmada yüksek fırın cürufu kullanılarak hacimce toplam %1,5 lif miktarına sahip mikro çelik lifli ile bazalt ve cam elyaf liften oluşan karma lifli 2 adet ve lifsiz kontrol karışımı ile birlikte toplam 3 adet geopolimer beton plak üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen geopolimer plakların lif kullanılmasının diagonal yükleme altındaki mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Geopolimer betonların üretiminde ana bağlayıcı olarak yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Çalışma kapsamında sodyum silikat ve sodyum hidroksit aktivatör olarak kullanılmıştır. Sodyum hidroksit çözeltisi 12 mol konsantrasyonda hazırlanmıştır. Lif cinsi olarak kenevir lif, bazalt lif, cam elyaf lif ve çelik lifler kullanılmıştır. Bu amaçla ilk olarak karışım oranlarının belirlenmesi için ön döküm amacıyla %1, %1,5 ve %2 lif oranlarına sahip 40*40*160 mm boyutlarında, 5 grup toplamda 60 adet numune üretilmiştir. 7 ve 28 gün sonunda basınç ve eğilme dayanımlarındaki değişimler irdelenerek en iyi sonuç veren karışım oranı plak için dökülmüştür. Plakların diagonal yükleme altındaki deney sonucundaki grafikleri incelenecek olursa yükleme taşıma kapasitesi ve deplasman değerleri gözlenmektedir. Göstermiş oldukları deplasman değerlerini bakılacak olursa en fazla deplasman çelik lifte gözlenmiştir. Çelik lif göstermiş olduğu yüksek çekme gerilmesinden dolayı deplasman göstermeye uygun niteliktedir. Buna bağlı olarak en yüksek deplasman değeri çelik lifte çıkmıştır. Bazalt Cam elyaf karışımına bakacak olursak çelik lifle eşit taşıma kapasitesine ulaşmasına rağmen çelik lif kadar deplasman gösterememiştir. Lifsiz numune ise hem deplasman değerleri değerlendirildiğinde, hem taşıma kapasitesi değerlendirildiğinde belirgin ölçüde diğerlerinin gerisinde kalmıştır. Bu durumda bazalt cam elyaf takviyeli karışımı taşıma kapasitesi açısından çelik lifli karışım ile aynı olduğundan dolayı alternatif olarak ekonomik nedenlerden dolayı tercih edilebilirler.

Anahtar Kelimeler: geopolimer beton, plak, lif, basınç, eğilme, deplasman

ABSTRACT

Master of Science Thesis

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF VEGETABLE FIBER REINFORCED GEOPOLYMER CONCRETE PLATE ELEMENTS

Gamze CENGİZ

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

94 + x sayfa

2023

Supervisor: Doç. Dr. Yaşar AYZ

In this study, a total of 3 geopolymer concrete slabs were produced by using blast furnace slag, with a total fiber content of 1.5% by volume, with micro steel fiber, 2 mixed fiber consisting of basalt and glass fiber fiber, and a fiberless control mixture with a total of 3 geopolymer concrete slabs. The effect of using fiber of the produced geopolymer plates on the mechanical properties under diagonal loading was investigated. Blast furnace slag was used as the main binder in the production of geopolymer concretes. Sodium silicate and sodium hydroxide were used as activators within the scope of the study. Sodium hydroxide solution was prepared at a concentration of 12 moles. Hemp fiber, basalt fiber, glass fiber fiber and steel fibers were used as fiber type. For this purpose, in order to determine the mixing ratios, a total of 60 samples were produced in 5 groups, with the dimensions of 40*40*160 mm with 1%, 1.5% and 2% fiber ratios for precasting. At the end of 7 and 28 days, the changes in compressive and flexural strengths were examined and the mixture ratio that gave the best results was poured for the plate. If the graphics of the plates under diagonal loading are examined, the loading carrying capacity and displacement values are observed. Considering the displacement values they have shown, the highest displacement was observed in the steel fiber. Steel fiber is suitable for displacement due to its high tensile stress. Accordingly, the highest displacement value was found in the steel fiber. If we look at the basalt glass fiber mixture, although it reaches the same bearing capacity as steel fiber, it has not shown as much displacement as steel fiber. The fiberless sample, on the other hand, was significantly behind the others when both the displacement values and the bearing capacity were evaluated. In this case, since the basalt glass fiber reinforced mixture is the same as the steel fiber mixture in terms of carrying capacity, they can be preferred as an alternative for economic reasons.

Keywords: geopolymer concrete, slab, fiber, compression, bending, displacement

1. GİRİŞ

Sudan sonra dünyada en çok kullanılan ikinci malzeme betondur. Beton üretiminde temel malzeme Portland çimentosunun (PÇ) küresel karbondioksit (CO₂) emisyonunun yaklaşık %10'unu meydana getirdiği bilinmektedir. Atmosfere salınan CO₂ salınımı zamanla artarak devam etmektedir. Bu nedenlerden dolayı beton üretimine alternatif bir malzeme bulma çalışmalarının popülerliği zamanla artmıştır (Zakka ve diğ., 2020).

Beton üretimindeki temiz teknolojiler ile ilişkili ana hedefler:

- Azaltılmış CO₂ emisyonu sağlanması
- Çimento üretim sürecinde fosil yakıt veya enerji tüketimini azaltılması
- Çevreyi veya sağlığı tehlikeye atabilecek maddelerin azaltılması
- Çimento yerine yüksek oranda uçucu kül (İngiltere) ve diğer atık türleri kullanılarak tasarruf sağlanması
- İnorganik polimerler, alkali ile aktifleştirilmiş bağlayıcılar, magnezyum çimentoları, sülfalüminat çimentoları gibi yeni bağlayıcıların kullanımı
- Geri dönüştürülmüş bağlayıcı-beton oranı ve alternatif agrega kullanmanın farklı olasılıkları (Suhendro, 2014).

Zamanla Portland çimentosuna alternatif olarak geopolimer bağlayıcıların kullanımı ortaya çıkmıştır. Geopolimer bağlayıcıların alternatif olarak seçilmesinin başlıca sebepleri ise çevre dostu olması ve yüksek dayanıma sahip olmasıdır. Bu nedenlerden dolayı da mühendislik alanlarında kullanılması ihtiyacı doğmuştur (Komnitsas, K., Zaharaki, D., & Perdikatsis, V. (2009).

PÇ için alternatif bağlayıcılar üzerine yapılan ana araştırma, yüksek fırın cürufu (YFC), uçucu kül ve benzeri endüstriyel atıkların alkalın aktivasyonudur. Teorik olarak, alümina ve silika içeren malzemeler alkaliler tarafından aktive edilebilir. Uçucu kül, YFC gibi amorf kare karakterli atık malzemeler bu sayede bağlayıcı özellik kazanabilmektedir (Aydın,2010; Açıkgöz 2015).

McCaffrey (2002) çimento endüstrisindeki CO₂ salınımının beton içerisindeki çimentonun tamamen değiştirilmesine alternatif olarak başka bir malzeme kullanılması ya da azaltılmasıyla kontrol altına alınabileceğini belirtmiştir. Böylelikle betonda çimentoya alternatif bir malzeme kullanılması hususu önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir. Joseph Davidovits tarafından geopolimer terimi ilk defa 1970'li yıllarda tanıtılmıştır. Geopolimer sulu çözelti içerisinde SiO₄ ve AlO₄'ün tetrahedral polikondensasyonu ile sentezlenen inorganik bir polimer sınıfı şeklinde tanımlanmıştır (Davidovits, 2011) .

Davidovits (2011) geopolimerlerin çok sayıda amorf ile yarı kristalin faz içeren polimerik üç boyutlu silikon-oksijen-alüminyum materyali olduğunu belirtmiştir.

Geopolimer teknolojisi ile üretilen betonun çimentolu betona alternatif olduğu ancak çimentodan tamamen farklı bir bağlayıcı kullanılarak betonda çimentosuz bir malzeme sağladığı ve ayrıca çimento üretimi sırasında CO₂ emisyonlarını azalttığı bildirilmiştir (Davidovits, 2011).

Bu amaçla yapılan araştırma dört bölümden oluşmuştur. Birinci bölümde; geopolimerler, lifler ve levhalar üzerine daha önce yapılan çalışmalardan yararlanılarak çalışmanın amacı ve kapsamı sunulmuştur. İkinci bölüm, çalışma sırasında modellenen plaklar hakkında bilgi verilmektedir. Bölüm 3'te, çalışmada ele alınan plaklardan elde edilen tablo ve grafiksel sonuçlar sunulmaktadır. Bölüm 4'te , bazı önerilerin sunulduğu bu çalışmadan elde edilen sonuçları sunulmaktadır. Son bölümü bir referans listesi takip eder.

Bu çalışmada farklı lifler ve farklı lif oranları kullanılarak geopolimer teknolojisi ile üretilen geopolimer betonun mekanik özellikleri incelenmiştir. Cüruf, geopolimer beton üretiminde birincil bağlayıcı olarak kullanılır. Bu çalışmada aktivatör olarak sodyum silikat ve sodyum hidroksit birlikte kullanılmıştır. Sodyum hidroksit çözeltisi 12 mol konsantrasyonunda hazırlanmıştır. Lif cinsi olarak kenevir lif, bazalt lif, cam elyaf lif ve çelik lifler kullanılmıştır. Bu amaçla ilk olarak %1 ,%1,5 ve %2 lif oranlarına sahip 60 numune ön döküm olarak üretilmiştir. 7 ve 28 günlük basınç ve eğilme dayanımlarındaki değişimler irdelenerek en iyi sonuç veren karışım oranı plak için dökülmüştür. Lifsiz , çelik lifli ve bazalt cam elyaf karışımı olmak üzere 3 adet 50*50*5 cm plak üretilmiştir.

Plakların eğilme deneyi sonucundaki grafiklerden yük taşıma kapasitesi ve deplasman değerleri gözlenmektedir. Deplasman davranışları karşılaştırıldığında en efektif deplasman çelik lifte gözlenmiştir. Çelik liflerin düşük uzaması nedeniyle, yüksek üniform çekme gerilmesine rağmen mekanik özellikler açısından yer değiştirmeye uygundur. Bazalt , Cam

elyaf karışımı çelik lifle eşit taşıma kapasitesine ulaşmasına rağmen çelik lif kadar deplasman gösterememiştir. Lifsiz numune ise hem deplasman değerleri hem taşıma kapasitesi açısından belirgin ölçüde diğerlerinin gerisinde kalmıştır. Söz konusu durum yapı altında aşırı derecede deplasman gerektirecek durumlar değilse eğer bazalt cam elyaf karışımı taşıma kapasitesi açısından çelik lif parametreleri ile aynı olduğundan dolayı alternatif olarak ekonomik nedenlerden dolayı tercih edilebilmektedir.



2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Geopolimer

Geopolimerler, kireç ve sıradan Portland çimentosundan sonra üçüncü nesil çimento olarak kabul edilir. Geopolimerlerin genellikle "inorganik polimerler", "alkali ile aktive edilmiş çimentolar", "geocementler", "alkali- bağlı seramikler", "hidroseramik" şeklinde farklı isimleri vardır. Bu çeşitli adlandırmalara rağmen, bu terimlerin tümü benzer kimyasal maddelerden sentezlenen malzemeleri tanımlar (Singh vd., 2015).

Geopolimerler inorganik bağlayıcı sınıfı içindedirler. Geopolimerler alüminosilikat kaynağının (uçucu kül , yüksek fırın curufu vb.) hidroksit, silikat, alüminat veya karbonat içeren alkali aktivatörler ile ortam ya da yüksek sıcaklıklarda (90 C° gibi) karıştırılması ile üretilmektedir. Reaksiyon ürünüde esas olarak 3D yapı oluşturan, birbirine bağlı SiO₄ 4- ve AlO₄ 5- tetrahedrallerinden oluşan alüminosilikat fazıdır (Weerd, 2011).

1978'de "geopolimer" terimi Davidovits tarafından inorganik polimerik malzemeler üretilerek bulunmuş ve sonrasında tanıtılmıştır. Üç boyutlu amorf mikro yapıya sahip alüminosilikat malzemelerden yapılmış olan geopolimerleri sentezlemek için alkali ortam (Na⁺, K⁺, Li⁺, Ca⁺, vb.) veya fosforik asit veya hümik asit gibi asidik ortam kullanılabilir. Alkali ortamda, geopolimerizasyon işlemi, silikon ve alüminyum minerallerinin veya alüminosilikatların oksitleri, bir polimerik Si-O-Al bağları oluşturmak için alkali çözelti ile reaksiyona girdiğinde gerçekleşir (Ng ve diğ., 2018).

Geopolimer artık yeni bir alternatif bağlayıcı malzeme olarak ortaya çıkmaktadır. Geopolimer harç ve betonların yeşil bağlayıcı malzeme olması ve daha az enerji tüketmesi beklenmektedir (Singh ve diğ., 2019).

Bir geopolimer üretmek için iki tür malzeme gereklidir. Biri alümina ve silika içeren kaynak malzeme, diğeri ise polimerizasyon reaksiyonunu aktive eden bir alkalidir . Hammadde olarak (alümino-silikat), kaolinit, kalsine kaolinit ve kil gibi doğal mineraller kullanılabileceği gibi uçucu kül, cüruf, kırmızı çamur, pirinç kabuğu külü ve silis dumanı gibi endüstriyel atıklar da kullanılabilir (Ganesh ve Muthukannan, 2018).

Geopolimerler, düşük karbon ayak izi ile çevre dostu ve sürdürülebilir bir alternatif malzeme olduklarını kanıtladılar (Duan ve diğ., 2017).

PC'ye kıyasla geopolimerlerin avantajları aşağıdadır (Li ve ark. 2004);

1. Bol hammadde kaynakları: Alkali çözeltilerde çözülmüş silikatlar veya alüminyum silikatlar doğada bol miktarda bulunur.
2. Çevre koruma ve enerji tasarrufu: Geopolimer fazla enerji tüketimi gerektirmez.
3. Basit üretim yöntemi: Geopolimerler, alüminosilikat reaktif malzemeleri güçlü alkali çözeltilerle karıştırarak kolayca sentezlenebilir. Daha sonra oda sıcaklığında sertleştirilerek kısa sürede yeterli gücü elde edilebilir. Bu süreç PÇ'li beton üretimine benzer.
4. Mükemmel hacim kararlılığı: Geopolimer PÇ'den %80 daha az küçülme rötresine sahiptir.
5. Kısa vadede mukavemetin artırılması: Geopolimer kürlendikten sonraki ilk 4 saatte nihai basınç mukavemetinin %70'ine ulaşır.
6. İyi dayanıklılık: Geopolimer beton veya harç, kayda değer bir güç kaybı olmaksızın dış etkilere uzun süre dayanabilir.
7. Yüksek yangın direnci ve düşük termal iletkenlik: Geopolimerler, mukavemetini kaybetmeden 1000-1200 santigrat dereceye kadar sıcaklıklara dayanabilir. Termal iletkenlik de yaklaşık 0,24 W/m K ila 0,3 W/m K arasındadır.

2.1.1 Geopolimer kimyası

Geopolimerlerin oluşum mekanizmaları üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Geopolimer betonun kimyasal bileşimi sıradan çimento betonundan farklıdır. Bunun nedeni, geopolimerin bir kalsiyum silikat hidrat jeli (C-S-H) yerine bir geopolimer alüminosilikat hidrat jelinden (A-S-H) oluşmasıdır (Albitar ve diğerleri, 2017). Davidovits (2008), geopolimerlerin sentezinin üç adımda gerçekleştiğini belirtmektedir. Bunlar, alüminosilikatların kuvvetli alkali çözeltilerde çözünmesi, serbest iyonik grupların dağılımı ve polikondenzasyondur. Geopolimer oluşumu çok hızlı gerçekleşir. Bu, bu üç adımın neredeyse aynı anda çalışmasına izin verecektir. Dolayısıyla araştırmalarda bu üç aşamayı birbirinden ayırmak mümkün değildir (Li ve diğerleri 2004; Maraş 2013).

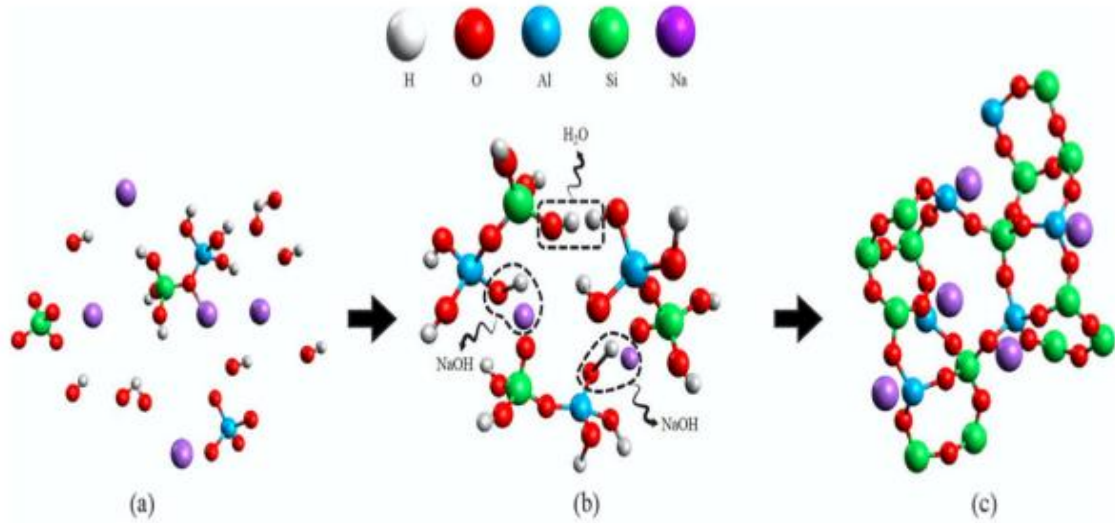
Geopolimerlerin oluşumunda gözlenen reaksiyonlardır (Davidovits, 2002).



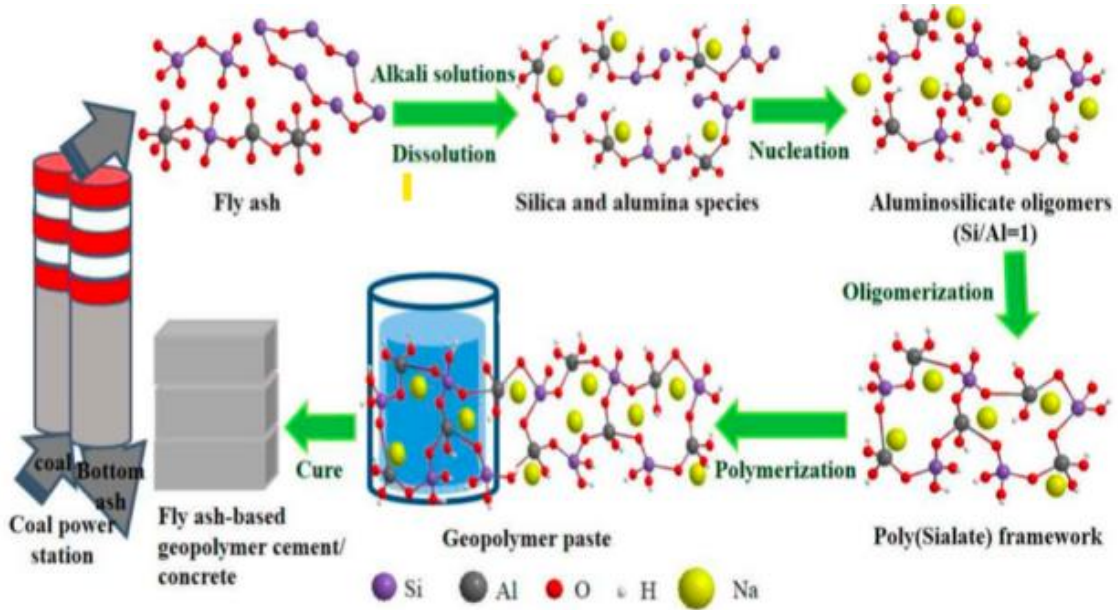
Yukarıdaki denklemden de görülebileceği gibi, geopolimer yapı su içermez. Karışık fazda kullanılan su, işlenebilirliği arttırmak için kullanılır ve geopolimer sertleşip kurudukça ayrı nanovoidler bırakır. Bu da geopolimerlere hafiflik, ısı yalıtımı ve yangına dayanıklılık gibi özellikler kazandırmaktadır (Rangan, 2008; Topçu ve Toprak 2009).

Geopolimerizasyon alüminosilikat içeren hammaddelerin (yüksek fırın curufu gibi) alkali çözeltiler içerisinde çözündürülmesi ve alüminat ve silikat monomerlerinin oluşumuna sebep olmaktadır. Bu monomerler daha sonrasında oligomere (polimere göre çok daha az monomer içeren küçük polimer grubu) ve daha sonrada geopolimerlere dönüşmektedir (Sing & Middendorf, 2020).

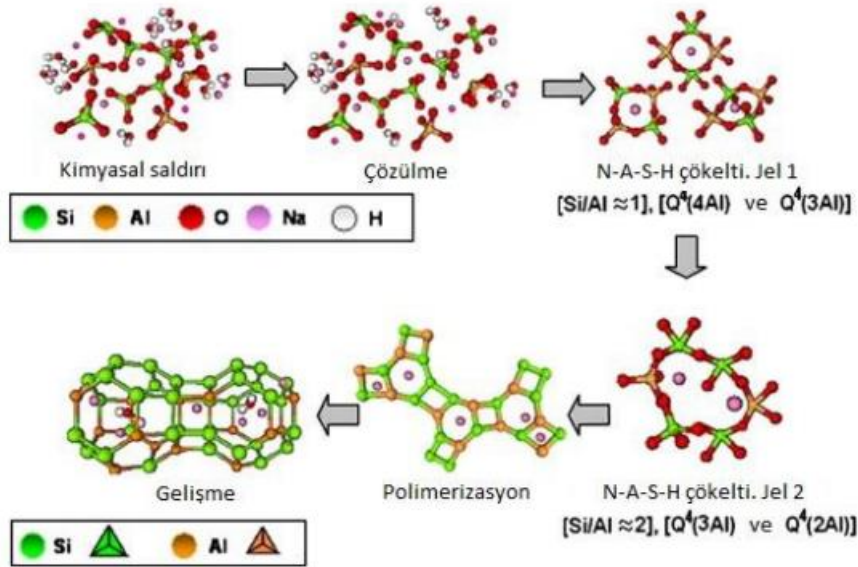
Geopolimerizasyon işlemi çözünme, yeniden düzenlenme ya da organize olma, yoğunlaşma ve polimerizasyon süreçlerinden oluşmaktadır. Çözünme ve yeniden örgütlenme birçok oligomer formu oluşturmaktadır. Oligomerler büyük zincirler oluşturur. OH grupları, oligomerler bağlandığında suyu serbest bırakır. Geopolimerizasyon şeması Şekil 2.1, 2.2 ve 2.3'te sunulmuştur (Sing & Middendorf, 2020).



Şekil 2.1: Çözünmüş alüminosilikatların yeniden örgütlenmesi, (b) oligomer yoğunlaşması ve jel formasyonu başlangıcı, (c) polimerizasyon (Sing & Middendorf, 2020)



Şekil 2.2: Geopolimerizasyon süreci (Singh, 2018)



Şekil 2.3: Geopolimerizasyon sürecinin farklı gösterimi (Singh, 2018).

2.1.2 Geopolimer teknolojisinin tarihi

"Geopolimer" terimi ilk olarak 1970' lerde bir Fransız bilim adamı ve mühendis olan Profesör tarafından literatüre kazandırılmıştır. Bu terim literatüre Joseph Davidovits tarafından girmiştir. Katı materyal sınıfına uygulanmıştır. Alüminosilikat ve alkali çözeltilerinin reaksiyonu ile sentezlenmiştir. Geopolimer teknolojisinin ortaya çıkışı esasen Avrupa'da ortaya çıkan yangın serisini takiben organik termoset polimerlere karşı yangına dayanıklı bir alternatif malzeme üretmek için geliştirilmesine dayanmaktadır .

Ürün bazlı bakıldığında ise ilk çalışmalar ve örnekler yolcu gemilerinde yangın koruması için kaplamalar, karbon fiber kompozitler için yüksek sıcaklığa dayanıklı reçine, ahşap yapılarda termal koruma, ısıya dayanıklı yapışkan, ısıya dayanıklı refraktör olarak karşımıza çıkmaktadır.

Zamanla inşaat sektöründe geopolimer teknolojisinin öncelikli kullanım disiplini haline gelmiştir. Bu durumun genel sebebinin ilk başlarda güvenilir, yüksek performanslı geopolimerlerin kömür yakımından elde edilen uçucu külün alkali aktivasyonu üretilebileceğinin gözlemlenmesi olarak ifade edilmektedir (Provis & van Deventer, 2009).

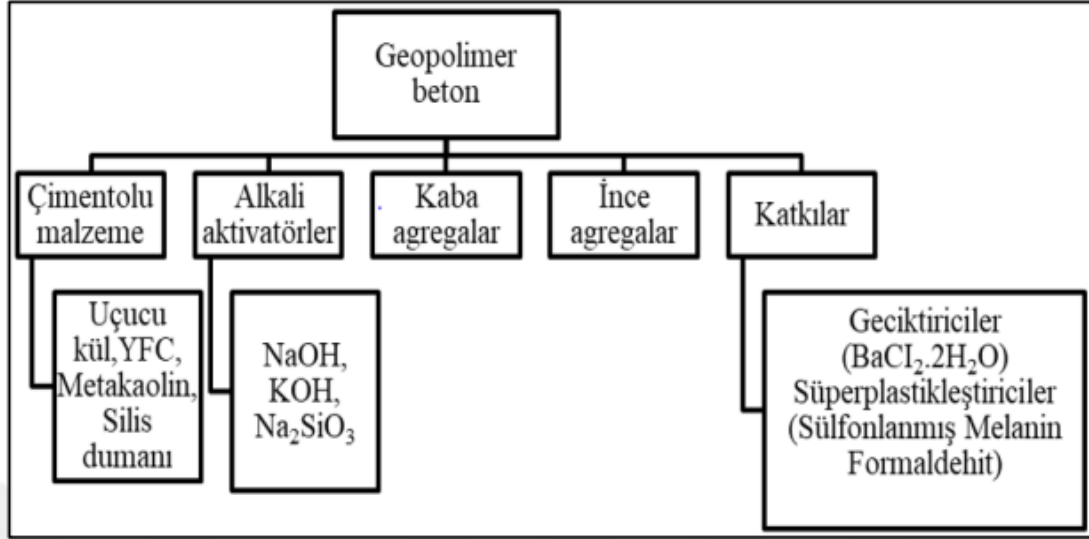
2.1.3 Geopolimer beton

İnsan nüfusunun sürekli olarak artması ve endüstrilerin gelişimi sonucu konut ve altyapılar için büyük bir ihtiyaca gereksinim duyulmaktadır. Bu süreç, Romalılardan beri sürekli olarak kullanılan bir yapı malzemesi olan betona olan talebin artmasına yol açmıştır. Böylelikle beton üretimi için temel bileşenlerden olan ince ve kaba doğal malzemelerle birlikte bağlayıcı olarak PÇ'nin kullanımı da sürekli artmıştır. PÇ'nin üretim süreci doğal kaynakları yok etmekle birlikte aynı zamanda yüksek sıcaklıklarda kireçtaşından dolayı çok fazla CO₂ de yayar. Bu durumda doğa ve küresel ısınma için büyük bir sorun oluşturmaktadır. Bu nedenle, çeşitli atık malzemelerin, PÇ veya doğal agrega için bir ikame malzemesi olarak uygulanmaları amacıyla geopolimer beton geliştirilmiştir (Luhar vd., 2020).

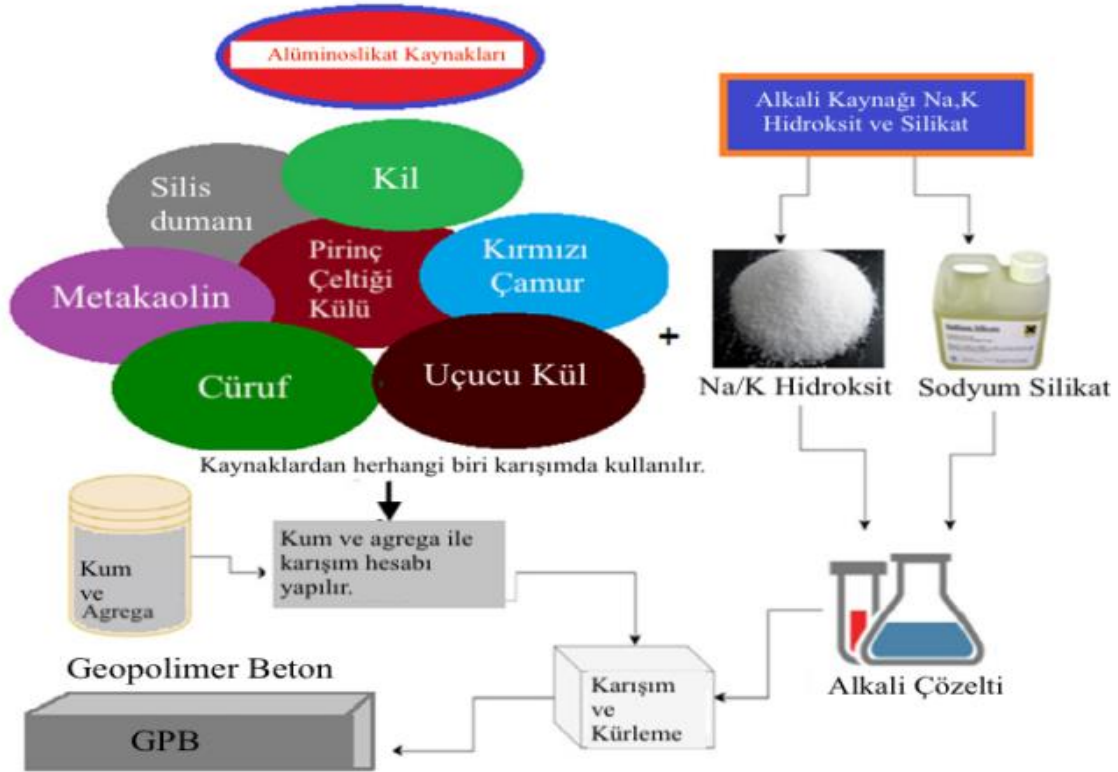
Geopolimer; betonun üretimi sırasındaki, sera gazı emisyonunu azaltması ve çimento yerine kullanılması gibi avantajları nedeni ile inşaat mühendisliği alanındaki uygulayıcılar tarafından ilgi görmeye başlamıştır. Ayrıca geleneksel betona kıyasla mekanik özelliklerinin ve dayanıklılığının daha iyi olduğu belirtilmektedir (Ma vd., 2018).

Geopolimer beton bileşenleri, bağlayıcılar, aktivatörler, agregalar ve çok sayıda katkı maddesinden oluşur.

Geopolimer beton bileşenlerinin ve yaygın olarak kullanılan bazı malzeme türlerinin alternatif temsilleri Şekil 2.4 ve 2.5'te gösterilmektedir (Chowdhury ve diğerleri,2020).



Şekil 2.4: Geopolimer betonun bileşenleri (Chowdhury vd, 2020)



Şekil 2.5: Geopolimer prosesi (Sing & Middendorf, 2020).

Geopolimer beton, çevreye zarar veren sanayiden çıkan atık ve yan ürünleri kullanarak doğal kaynakları koruyan ve çevre dostu olan bir beton çeşididir (Thamilselvi ve diğ., 2017).

Rangan, (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, geopolimer betonların geleneksel betonlara göre birçok avantajları olduğunu altı çizilmiştir. Örneğin, bir ton uçucu kül veya

YFC maliyetinin, bir ton portland çimentosu maliyetinden çok daha az olduğu ve böylece geopolimer üretiminde kullanılacak alkali sıvıların maliyetini hesaba kattıktan sonra bile, geopolimerler ile benzer performans seviyesine ulaşabilecek geleneksel betonların çok daha yüksek maliyete sahip olacağına önemini vurgulamıştır.

Geopolimer beton ve portland çimentolu betonun üretim maliyetlerini kıyaslamak için sodyum hidroksit çözeltisi kullanılarak aynı kalitede 1 m³ geopolimer beton ve Portland çimentolu beton üretilmiştir. Portland çimentolu beton için toplam üretim maliyeti 109.59 \$/m³ olup ve bu maliyetin %53.38'lik kısmını çimento üretim maliyeti oluşturmuştur. Geopolimer beton üretim maliyetine bakıldığında ise toplam üretim maliyetinin 79.22 \$/m³ olduğu görülmüştür. Üretilen beton türleri arasında karşılaştırma yapıldığında geopolimer beton için metreküp başına üretim maliyetinin, Portland çimentolu betona göre %27.71 daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Bu karşılaştırma geopolimer betonun daha ekonomik bir beton olduğunu ortaya koymuştur (Oyebisi vd., 2019).

2.1.4 Geopolimer betonun kullanım alanları

Geopolimerlerin yüksek sıcaklıklara göstermiş oldukları direnç , yüksek dayanım göstermesi, hızlıca priz yapması gibi birçok avantajlı özelliğinden dolayı yangın dayanıklılığında , atık arıtmada , inşaat mühendisliğinde , askeri mühendislikte , biyomalzemelerle kullanılmaktadır (Yao vd., 2009).

Geopolimer teknolojisi için yüksek performans uygulama alanları şunlardır (Vickers vd., 2015);

İnşaat kullanım alanları:

- Tünel kaplaması
- Kanalizasyon arıtması, setler için kimyasal direnç, döşeme kaplaması
- Güneş enerjili ısı transfer elementleri
- Lağım suyu, kanalizasyon boruları
- Gaz ve petrol kuyu dibi çimentolaması
- Mevcut geleneksel portland çimentolu yapılar, ahşap ve çelik için ısı dayanım kaplamaları
- Demiryolu traversleri

Askeri kullanım alanları:

- Yangına dayanıklı yakıt depolama
- Cephane depolama yerleri
- Egzoz gazı termal yalıtımı, düşey kalkış ve iniş rampaları, zırhlanmış araçlar, askeri gemilerin türbin motor egzozu
- Askeri denizcilik: yangına dayanımlı bileşenler

Zararlı atık yönetimi:

- Su saflaştırması
- Toksik metal enkapsülasyonu
- Nükleer atık depolaması

2.2 Yüksek Fırın Cürufu (YFC)

Doğada bulunan bazı kayaçlar yapılarında demir cevheri içerir. Demir cevheri, endüstriyel tesislerde yüksek fırınlarda bu kayaç 1400°C'ye kadar ısıtılarak ergitilir. Erimiş demir, işlenmek üzere çelik üretim alanlarına taşınır. Yüksek fırınlarda, ana kayadan çıkan atık, demir cevherinin ayrışması ve kayanın ısınması nedeniyle atık olarak kalır. Bu kalıntıların yumuşaması biraz zaman alır. Sonrasında boyutları 2 mm ve 5 mm arasında değişen malzemeler elde edilir. Şekil 2.6' da YFC çeşitleri gösterilmiştir. İşte elde edilen bu malzemeye YFC denir (Uğurlu, 2015).



Şekil 2.6: Yüksek fırın cürufu türleri (Engin, 2015).

Betonda kullanılan YFC'nin fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle, 7 ila 28 gün arasında düşük ilk yaşlanma direncine sahip olduğu, 28 günden sonra yüksek ileri yaşlanma direncine sahip olduğu, priz süresini uzattığı, işlenebilirliği iyileştirdiği,

terlemeyi, hidrasyon ısısını ve su geçirgenliğini azalttığı, klor geçirgenliğini azalttığı ve inşaat demiri korozyonuna karşı dirençli olduğu bilinmektedir (Emiroğlu ve diğ., 2011).

Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun bağlayıcı özelliklerini etkileyen faktörler şunlardır (Bilim, 2006) :

1. Cüruf kimyasal bileşimi
2. Ortam sıcaklığı
3. Cüruftaki cam yapı yüzdesi
4. Cüruf ile birlikte kullanılan portland çimentosunun tane boyutu
5. reaksiyonda kullanılan baz konsantrasyonu

Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun beton özelliklerine etkileri (Bilim, 2006) :

1. Portland çimentolu betona göre ilk gün dayanımları daha düşük, nihai dayanımları daha yüksektir.
2. Kükürt ve deniz suyuna karşı daha dayanıklıdır.
3. Alkalisilika reaksiyonunun neden olduğu genleşme, cüruf miktarı fazla olduğunda daha küçüktür.
4. Klor iyonunun sızması azdır ve daha az geçirimlidir.
5. Yüksek sıcaklıklara daha dayanıklıdır.

Şeklinde sıralanabilir.

2.2.1. Yüksek fırın cürufunun kimyasal özellikleri

YFC'nin kimyasal yapısı, yüksek fırın koşullarına ve hammadde kaynağına bağlı olarak değişebilir (Newman ve Choo, 2003).

Yapısında silika, alüminyum oksit ve kireç içerir ancak çok az demir (Fe), magnezyum (Mg), kükürt (S) içerir. Farklı ülkelerde üretilen YFC'lerin kimyasal içeriği Portland çimentosu ile karşılaştırıldı ve Çizelge 2.1'de sunuldu (Onat, 1998).

Çizelge 2.1: YFC'lerin ve Portland Çimentonun Kimyasal İçeriği (Onat, 1998)

Bileşen	ABD ve Kanada	Güney Afrika	Avustralya	Türkiye	Portland Çimentosu
CaO	29-50	30-40	39-44	34-41	60-67
SiO ₂	30-40	30-36	33-37	34-36	17-25
Al ₂ O ₃	7-18	9-16	15-18	13-19	3-8
Fe ₂ O ₃	0.1-1.5	-	0-0.7	0.3-2.5	0.5-6.0
MgO	0-19	8-21	1-3	3.5-7	0.1-4.0
MnO	0.2-1.5	-	0.3-1.5	1.0-2.5	-
S	0-2.0	1.0-1.6	0.6-0.8	1-2	-
SO ₃	-	-	-	-	1-3

Ülkemizde YFC üretimi yapılan tesisler demir çelik fabrikaları olan Ereğli (Zonguldak), Karabük, İskenderun (Hatay)'dur.

YFC'lerin içerisinde portland çimentosuna kıyasla daha az miktarda CaO bulunmaktadır. Ancak YFC'lerin SiO₂ ve Al₂O₃ miktarları portland çimentosuna oranla daha fazladır. Portland çimentosunun yoğunluğunun YFC'ye göre daha yüksek olduğu bilinmektedir. YFC'ler yüksek miktarda SiO₂ içerdiği için portland çimentosundan daha zor öğütülme işlemi yapılmaktadır (Engin, 2019).

2.2.2 Yüksek fırın cürufunun inşaat sektöründe kullanım alanları

YFC'ler atık bir malzeme olmasına karşın inşaat sektöründe birçok özellik açısından olumlu değerlere sahip olan malzemelerdir. Durağanlık, işlenebilirlik, geçirimsizlik, yüksek dayanım, ısı ve hafiflik gibi özellikleri sağlamak amacıyla birçok alanda kullanılmaktadır. YFC'nin inşaat sektöründe kullanım alanları aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- Hafif beton agregası olarak
- Bitümlü yol malzemesi ve agregası olarak
- Katkılı çimento ve beton imalatında
- Briket ve tuğla üretiminde
- Yalıtım malzemesi üretiminde
- Cam ve seramik üretiminde kullanılmaktadır.

2.2.3 Beton içerisinde yüksek fırın cüruf kullanılması

Cüruf endüstriyel bir yan üründür. Yapısında kalsiyum, magnezyum ve alüminosilikatlar bulunur. Betonda ortam sıcaklığındaki cürufun çimentoya tercih edilmesi, dayanıklılıkta önemli iyileştirmeler sağlar. Bu nedenle, basınç dayanımındaki azalmanın derecesi, betonda kullanılan yüksek fırın toz haline getirilmiş cürufun aktivitesine bağlıdır. Kalsiyum, silikatlar ve hidratlar çimentoyu daha dayanıklı hale getirir. Çimento ve suyun karışması sırasında, hidrasyon ve kalsiyum silikat hidroksit ve kalsiyum hidroksit oluşumu başlar. Hidrasyon sonucunda kalsiyum hidroksit oluşur. Cüruftaki silikatlar CH ile birleşir. Bu, bağlayıcı olarak çimento kullanılarak yapılan betona kıyasla çekirdek mukavemetini artırabilen daha sert bir bağlayıcı ve yoğunluk ile sonuçlanır (Douglas, E ve Zebino, R. (1986), (Cook, DJ. Hinzak, İ. ve Kao, HT. (1987).

2.3 Plaklar

Plaklar, inşaat mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan yapısal elemanlardır. Bu elemanlar inceliklerine (kalınlık ve kısa kenarlar) göre ince levhalar ve kalın levhalar olarak sınıflandırılır. Teknik literatürde 1/20'den küçük plakalara ince plakalar, daha büyük plakalara ise kalın plakalar denir. Plakalar artık hidrolik yapılar, konteynerler, köprüler, uçaklar, roketler, gemiler ve bazı mekanik parçalar gibi çeşitli mühendislik alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Matapati ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada. uçucu kül ve öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu içeren geopolimer beton levhaların davranışı üzerine deneysel bir çalışma yürütmüştür. Basınç dayanımının, yarmada çekme dayanımının, eğilme mukavemetinin arttığı sonucuna varmışlardır. Geopolimer betonların erken dayanım kazandırma gelişmeleri için daha uygun olduğu kanısına varılmıştır.

Nehemiya ve Rao (2016) yaptıkları çalışmada; 100*100*5 cm boyutlarında döşeme paneller üretmişlerdir. Akma çizgisi teorisi kullanılarak, GPC levhaların eğilme yükü altında maksimum sehim ve direnç momentini hesaplamışlardır. Deneysel ve teorik nihai yük oranı 1.08 , ilk çatlama yükünün nihai yüke oranı 0.36 olarak tespit edilmiştir.

2.3.1 Plakların sınıflandırılması

Levhalar, yapısal etkilerine, gerilme-gerinim ilişkilerine, yönleri boyunca sergiledikleri özelliklere ve kısa kenar uzunluklarının kalınlığa oranına göre farklı şekillerde sınıflandırılır. Levhalar yapısal etkilerine göre dört kategoriye ayrılır (Özdemir, 2007).

- a) Rijit Paneller: İnce, rijit panellerdir. Dış yükler tipik olarak panel düzlemine dik olan bükme, burulma ve kesme kuvvetleri tarafından uygulanır.
- b) Küp: Zar sertliği olmayan ince bir levhadır. Döşeme düzleminde kesme kuvvetleri ile düşey yükler taşırlar. Küçük kalınlık nedeniyle, moment tepkisi ihmal edilebilir.
- c) Eğimli Plakalar: Bu plakalar, rijit plakalar ve membranların bir kombinasyonudur. Bu paneller, mükemmel ağırlık/yük oranları nedeniyle uçak endüstrisinde yaygın olarak tercih edilmektedir.
- d) Levhalar: Bunlar, iç mukavemet durumu 3B sürekliliğinkine benzer olan levhalardır. Plakalar, gerilme-gerinim ilişkilerine göre sınıflandırılabilir. Bunlardan elastik levha teorisi Hooke yasasına dayanmaktadır. Hooke yasasına göre, gerilim ve gerinim arasındaki ilişki doğrusaldır. Öte yandan, doğrusal olmayan esneklik, plastisite ve viskoelastiklik gibi teoriler daha karmaşık gerilim-gerinim ilişkilerini içerir. Levhalar kalınlıklarının (t) kısaltılmış kenar uzunluklarına (a) oranına göre ince ve kalın olmak üzere iki gruba ayrılır. $t/a \leq 1/20$ olan levhaya ince levha, $t/a > 1/20$ olan levhaya kalın levha denir. İnce plakalar, büyük yer değiştirme plakalarına ve küçük yer değiştirme plakalarına ayrılır. Kalın levhalar küçük kaymalarla sınıflandırılır (Özdemir, 2007).

İnce levhalar, farklı varsayımlar kullanılarak incelenebilir. Bu varsayımlar aşağıda gösterilmiştir (Berktaş, 1992).

1. Plak şekli açısından

- a) Diğer ölçülere göre çok ince kalınlık.
- b) Orta kalınlık noktasının geometrik konumu düzdür.
- c) Plakaya etkiyen tüm yükler medyan düzleme diktir.
- d) Plak kalınlığına göre yerdeğiştirme sapması çok küçüktür

2. Malzeme ile ilgili

- a) Malzemeler her yerde aynı fiziksel özelliğe sahiptir. Diğer bir deyişle homojendir.
- b) Malzeme her yönde aynı şekilde davranır.
- c) Malzeme Hookfield'dır.

3. Basit Hesaplamalı Bir Bakış Açısından

- a) Eğilmeden önce medyan düzleme dik olan bir düzlem, bükülmeden sonra medyan düzleme dik kalır.
- b) Plakanın orta düzlemine dik olan σ -z gerilimi ihmal edilebilecek kadar küçüktür;

2.4 Lifler

Lifler, doğal olarak oluşan veya insan yapımı, bir boyutu diğer boyutuna göre uzun olan , direnme ve elastik şekil değiştirmesi aynı malzemenin ana şekli ile kıyaslandığında fazla malzemeler olarak tanımlanmaktadır (Sarı 2013).

Liflerin farklı mekanik özellikleri ve kullanım alanları bakımından farklı birçok çeşiti vardır.

Bu lifler genel olarak şu şekilde sınıflandırılmaktadır (Sarı 2013):

- Sentetik lifler (polimer lifler, metal lifler, seramik lifler)
- Doğal lifler

Sentetik liflerin iyi örnekleri, plastik gıda kaplarında, halılarda, battaniyelerde, kumaşlarda vb. kullanılan termoplastik polimerlerdir. Bu lifin yorulmaya, fiziksel hasara ve aşınmaya karşı mükemmel bir dirence sahip olduğu söylenmektedir (Onochie ve Barkis 2021).

Doğal liflerin otomotiv, raylı taşıtlar, havacılık, askeriye, inşaat, paketleme, tüketici ürünleri ve tavan döşemeleri gibi birçok alanda sentetik liflerin yerini aldığı gösterilmiştir. Her iki lif grubu da benzer mekanik özelliklere sahiptir. Doğal lifler biyolojik olarak parçalanabilir. Doğal lifler, sentetik liflere göre daha düşük emisyon oranına sahiptir. Doğal elyaf-polimer kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri kimyasal işlemlerle daha da geliştirilebilir (Mahir ve ark. 2019).

Lifler betonda meydana gelebilecek olan çatlak başlangıcını ve çatlak yayılmasını yüksek çekme mukavemetine sahip olduğu için önleyebilmektedir (Sarı 2013).

Geçmişte yapı malzemelerinde kullanılan lifler genellikle bitki kökenliydi. Günümüzde cam ve çelik lifler gibi polimer esaslı lifler kullanılmaktadır. Alkali ortamlarda cam elyaf kullanımı dayanıklılık sorununu gündeme getirirse de günümüzde betonda çelik ve polimer elyaflar tercih edilmektedir (Topçu vd. 2017). Doğru polimeri seçmek, betonun performansını önemli ölçüde iyileştirmek için kritik öneme sahiptir. Bunun nedeni, polimer

lifli olduğunda mekanik özelliklerin bağlayıcı özelliklerinden etkilenmesidir (Akkaş ve ark. 2010).

Fiber betonla ilgili ilk çalışmalardan biri, betonun göçme mekanizmalarını araştıran Romualdi ve Batson (Hussin 2018) tarafından yapılmıştır.

2.4.1 Kenevir lif

Kenevir, kenevir familyasından tek yıllık odunsu bir bitkidir (Aksoy ve ark., 2019).

Şu anda iki alt tür var. Botanikte buna Cannabis sativa ve Cannabis indica denir. Cannabis sativa'nın endüstride kullanılan türü 16 vardır (Gedik ve ark., 2010).

İnsanoğlunun ektiği ilk ürünlerden biri kenevirdir. Bu süreç MÖ 1500 yıllarına kadar dayanmaktadır. Anadolu'da kenevir üretimi bu yöntemi izlemiştir (Acar ve Dönmez, 2019).

Ülkemizde kenevir bitkisine kenevir, kangren, kenevir ve kinap adları verilmektedir. Kenevirin anavatanı Orta Asya'dır. Farklı iklim koşullarında geniş bir ekim alanı göstermektedir (Aksoy vd., 2019).

Şekil 2.7'de kurumaya bırakılan kenevir saplarını sunulmuştur. Çevre dostu bir malzeme olan kenevir, aynı zamanda yüksek mukavemet ve sertliğe ve yüksek nem emme özelliğine sahiptir. Kompozit imalatında dökme olarak kullanıldığında kenevir liflerinden düşük yoğunluklu malzemeler yapılır (Göre ve Kurt, 2020).

Çizelge 2.2'de Kenevir ve diğer bazı selülozik liflerin fiziksel özellikleri listelenmiştir.

Çizelge 2.2: Kenevir ve Bazı Diğer Selülozik Liflerin Fiziksel Özellikleri Ulaş 2018, Gedik2010

Lif Cinsi	Tek Lif Uzunluğu (cm)	İşlem Görmüş Lif Uzunluğu (cm)	Kuru Özgül Mukavemet (cN/dtex)	Yaş Özgül Mukavemet (% kuru)	E-Modül(Mpa)	Yıllık Lif Verimi (kg/hektar)
Pamuk		1-6	25-50	105	11	800-1.000
Kenevir	100-300	65-75	35-70	105	12,7	3.000
Jüt	160-360	65-75	30-34	100	19-35	2.200
Keten	20-40	10-40	30-55	105	12-26	2.000



Şekil 2.7: Kurumaya bırakılan kenevir sapları (Trunen ve van der Werf 2006)

2.4.2 Bazalt lif

Bazalt lif üretmeye yönelik ilk çalışmalar, 1923'te patentini alan Paul Dhe tarafından yapılmıştır. II. Dünya Savaşı'ndan sonra ABD, Avrupa ve Sovyetler Birliği'ndeki araştırmacılar tarafından özellikle askeri ve havacılık uygulamaları için daha da geliştirilmiştir. 1995'ten bu yana bazalt lifler daha farklı uygulama alanları bulunmaktadır. (Ross 2006).

Lavların soğuması sonucu oluşan doğal bir kayaç olan bazalt eski çağlardan beri insanlar tarafından kullanılmaktadır. (Abbas 2013).

Koyu siyah renkli, ufak kristalli veya camsı yapıda olan bazalt yoğun ve sert olduklarından basınca karşı oldukça dirençlidirler (Ünsal 2006).

SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO ve demir oksit bazaltın ana bileşenlerini oluşturmaktadır. Bazaltın türüne göre kimyasal bileşenleri farklılıklar gösterir. Bazalt lifin kimyasal bileşenleri Çizelge 2.3'te verilmiştir. Bileşenler lifin çeşitli özelliklerini etkiler (Vincent et al. 2019).

- ♣ SiO_2 ve Al_2O_3 çekme özelliklerini etkiler.
- ♣ Fe_2O_3 ve FeO , nihai ürünlerin ısı iletkenliğini ve yüksek sıcaklık performansını etkiler
- ♣ CaO , TiO_2 , MgO suya ve agresif (korozif) ortamlara karşı direnci artırır.

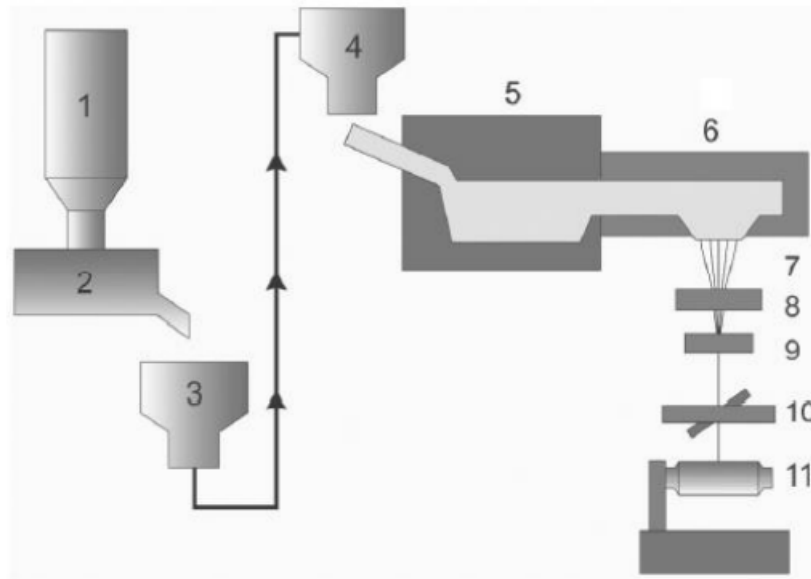
Çizelge 2.3: Bazalt Kayanın Kimyasal Bileşenleri (Vincent et al. 2019)

Bileşenler	Yüzde (%)
	-
Al_2O_3	14-19
SiO_2	50-60
CaO	5-10
MgO	3-5
$Na_2O + K_2O$	3-5
TiO_2	0,5-3
$Fe_2O_3 + FeO$	9-14

Elyaf üretimi için gerekli olan tek hammadde ezilmiş bazalt kayalardır. Bazalt lifler, bazaltın yaklaşık 1500 °C sıcaklıklarda eritilip lif formunda üretilmesi yolu ile elde edilirler (Arivalagan 2012).

Çevreye duyarlıdır. Toksik değildir. Yüksek ısı stabilitesine ve yalıtım özelliklerine sahiptirler. Kompozit malzemeler için kullanıldıklarında yüksek mekanik özellikler sağlarlar. Fabrikada işlenebilmeleri kolaydır (Ramakrishnan et al. 1998).

Bazalt kayanın lif haline dönüştürülmesinin basitleştirilmiş şeması Şekil 2.8'te gösterilmiştir.



Şekil 2.8: Bazalt liflerin üretim şeması (Deák and Czigány 2009)

- 1) Kırma taş Silosu: Kırılarak küçültülen taşların bulunduğu kısım
- 2) Yükleme istasyonu: Yığınları taşıma sistemine aktaran birim
- 3) Taşıma Sistemi: Yığınların doldurma istasyonuna aktarılması
- 4) Doldurma istasyonu: Yığınların fırınlara iletilmesi
- 5) Birincil ısıtma bölgesi: Bazalt taşlar eritilir
- 6) İkincil ısıtma bölgesi: Bazalt son kez homojen ısıtılır
- 7) Filamentler
- 8) Boyutlandırma Bölgesi
- 9) İplik oluşturma Bölgesi
- 10) Germe Bölgesi
- 11) Sarma İstasyonu

2.4.3 Cam elyaf lif

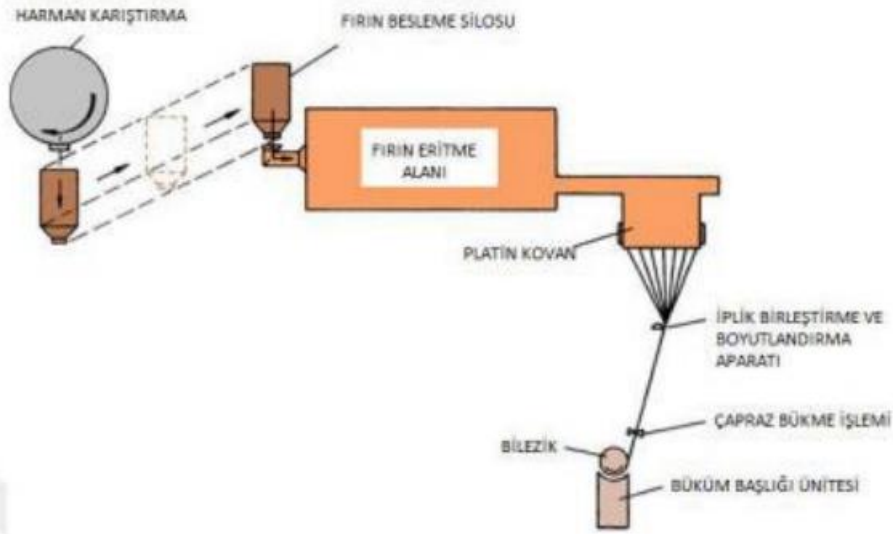
Kompozitlerin üretiminde en yaygın kullanılan cam elyafı ekonomik koşullarda göz önüne alındığında günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Şen, 2022).

İngiltere’de yaklaşık 90 yıl önce ticari açıdan ilk kez üretilmiştir. Günümüzde uzay ve havacılık, otomotiv, endüstri, askeri alanda ve günlük kullanılan eşyaların yapımında sıklıkla kullanılmaktadır (Chawla, 1998; Ersoy, 2001; Artykbaeva, 2022; Korku, 2021).

Silika, alüminyum oksit, soda, kolemanit ve magnezyum oksit çok küçük parçalar şeklinde öğütülür. Böylece karıştırılarak homojen bir karışım elde edilir. Elde edilen bu karışım 1200-1600°C arasında değişen sıcaklıklardaki fırınlarda eritilerek sıvı forma getirilmektedir (Şahin, 2000; Toplaoğlu, 2021).

Sıvı halde bulunan karışım platin alaşımdan imal edilen bir potanın altında bulunan deliklerden 50-70 m/sn arasında değişen bir hızla aşağı doğru demetler şeklinde çekilmektedir. Çekme işleminin amacı demetlerin yıpranmaya karşı dayanımını arttırmaktır. Cam elyafa yapılan kaplama, elyafı nemden koruyarak ve yapısının bozulmasını önlemektedir (Chawla, 1998; Sathishkumar vd., 2014; Artykbaeva, 2022).

Sarılan cam elyaftan bobin, kırılmış lif ve keçe üretilerek takviye malzemesi olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.9’ da cam elyaf üretim şeması sunulmuştur (Artykbaeva, 2022).



Şekil 2.9: Cam elyaf üretim şeması

Her geçen gün kullanım yelpazesini genişleten cam elyafın başlıca özellikleri şunlardır (Bondaletova, 2013);

- Çekme dayanımları oldukça yüksektir.
- Isıl direncinin düşük olması nedeniyle yanma olayı gerçekleşmez. Fakat cam elyaflarda yumuşama meydana gelmektedir.
- Kimyasallara karşı yüksek dirence sahiptirler.
- Neme karşı dayanımları yüksektir.
- Elektrikli iletmeyen yalıtkan malzemelerdir.
- E-camı: mükemmel elektriksel ve mekanik özelliklere sahiptirler. Yalıtım özelliği olan bu cam uygulamada en fazla kullanılan cam elyaf çeşididir.
- A-camı: Alkali oranı oldukça yüksek, maliyeti ise düşüktür. Mukavemet ve elektrik yalıtımının dikkate alınmadığı durumlarda kullanılmaktadır.
- M-camı: Elastik modülü oldukça yüksektir.
- S-camı: mukavemet özelliği en yüksek cam elyaf çeşididir. Alüminyum ve magnezyum oksit miktarı oldukça fazladır. Savunma sanayinde kullanılmaktadır.
- C-camı: Mükemmel kimyasal dayanıma sahip C-camı depolama tanklarının üretiminde kullanılmaktadır.
- D-camı: düşük hacme, yüksek maliyete ve düşük dielektrik sabitine sahip Dcamı elektronik uygulamalarda çok fazla kullanılmaktadır.

- R-camı: Asidik korozyona karşı dayanımı oldukça yüksek olan R-camı mükemmel özellikleri nedeniyle uzay ve havacılık endüstrisinde kullanılmaktadır. Maliyeti yüksektir (Wallenberger, 1999).

Cam elyaflar belirli boylarda veya devamlı lif şeklinde kullanım için uygundur. Bazı uygulamalarda kullanılan cam elyaf keçeler ve dokumalar bu elyaflardan üretilmektedir.

Uygulamalarda kullanılan cam elyafın avantajları (Korku, 2021) ;

- Yüksek basınç dayanımına sahiptirler.
- Yüksek çekme dayanımlarına sahiptirler.
- Kimyasallara karşı dirençleri yüksektir.
- Yüksek dielektrik dayanımına, düşük dielektrik sabitine sahiptirler. Bu özellikleri sayesinde yalıtım uygulamalarında kullanılmaktadır.
- Maliyetleri düşük olmasına rağmen performansları yüksektir.
- Nem direnci oldukça yüksektir.
- Düşük termal genişleme katsayısı ve yüksek termal iletkenlik değerleri bulunmaktadır.
- Elastiklik özellikleri yüksektir (İlhan, 2018).

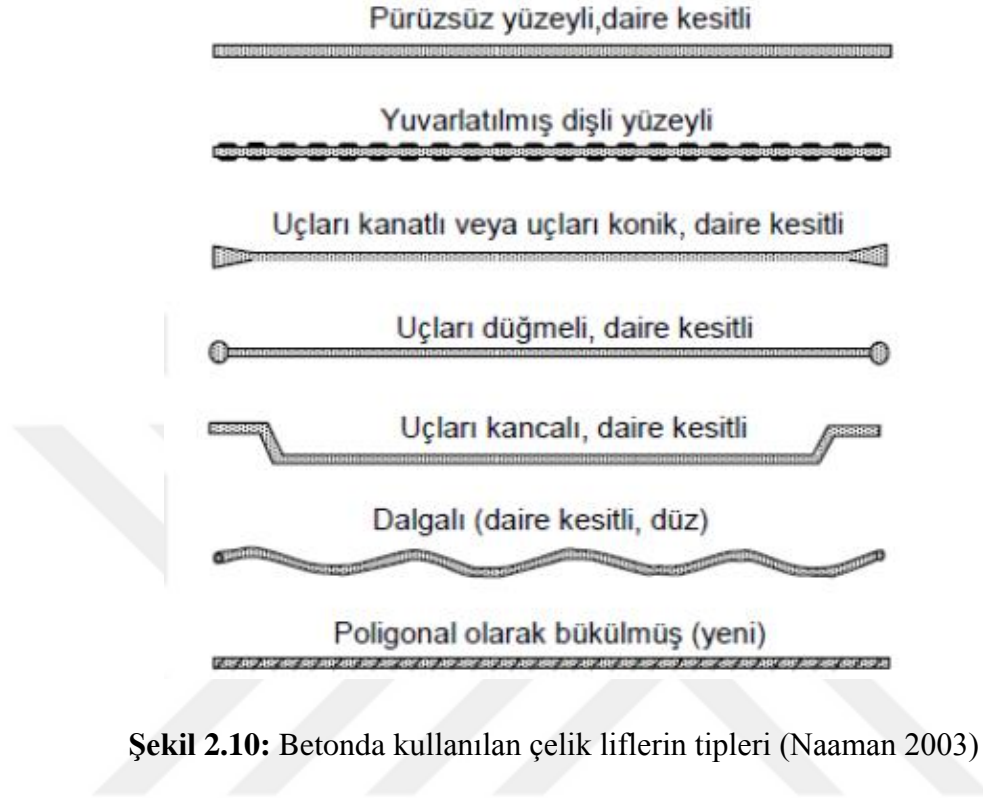
2.4.4 Çelik lif

Çelik lifler lif takviyeli betonlarda en yaygın kullanılan lif türüdür. Bunu nedenleri arasında mukavemetleri, esneklik modülleri ve süneklikleri oldukça yüksek olması gibi sebepleri sayabiliriz. Çelik lifler ilk olarak kaldırım, döşeme ve tünellerde çatlakların kontrolü için ikincil takviye eleman olarak kullanılmışlardır. Günümüzde ise çelik liflerin kullanımı çelik donatı çubuklarının yerine geçebilecek kadar ilerlemiştir (Abbas 2013).

Çelik lifler genellikle harç ve betonlarda kullanılmaktadır. Üretimlerinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Birbirlerine özel yapıştırıcı ile tutturulan teller betonun karıştırılması sırasında karma suyunun etkisiyle kolaylıkla çözülüp dağılabilmektedir. Bu teller, daha etkili olabilmeleri amacıyla farklı şekillerde üretilmektedir (Ersoy 2001).

Bu lifler; düz, dalgalandırılmış (kıvrımlı) veya uçları bükülmüş şeklindedir. Uçları bükülmüş ve dalgalandırılmış liflerin matrinden sıyrılması düz olanlara kıyasla daha zordur. Çelik liflerin çekme kuvvetlerinin etkisinde kırılmaları veya kopmaları da zordur. Bunda mukavemetlerinin yüksek olmasının etkisi vardır. (Uğurlu 1994).

Matris ve lif arasında daha iyi bir bağ geliştirmek için lifin yüzeyi pürüzlendirilerek veya mekanik deformasyonlarla uzunluğu boyunca modifiye edilebilir. Çelik liflerin tipik örnekleri aşağıda Şekil 2.10'da gösterilmektedir (Naaman 2003).



Şekil 2.10: Betonda kullanılan çelik liflerin tipleri (Naaman 2003)

2.5 Lifli Geopolimer Beton

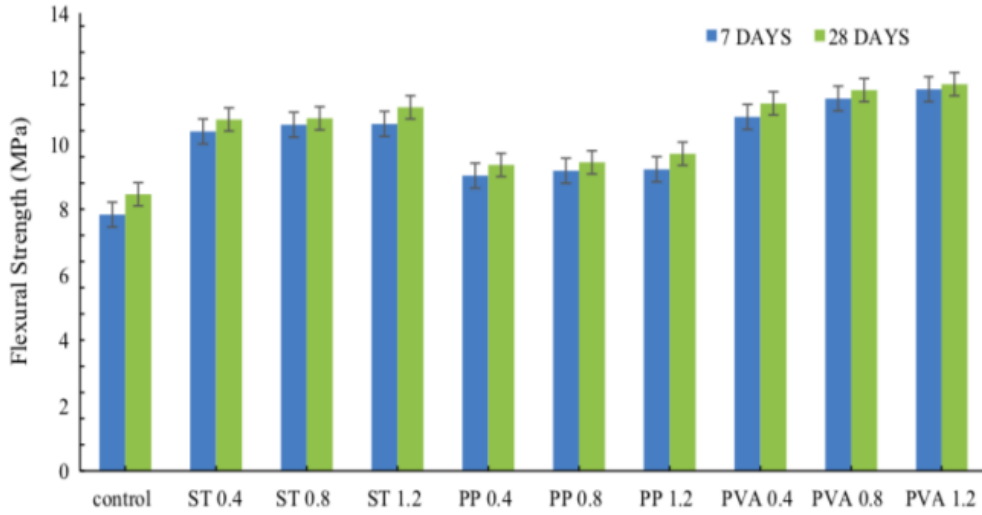
Beton gevrek bir davranış sergilemektedir. Bunda düşük çekme kuvvetinin etkisi vardır. Beton içerisine sürekli veya kısa lif eklenilmesi çekme, çekme uzaması, tokluk ve enerji absorpsiyon kapasitesinin artmasına sebep olmaktadır. Böylece betonun gevrek davranışından kurtularak ve sünek bir malzeme davranışı formuna geçmesine izin vermektedir (Shaikh, 2013).

Geopolimer beton üzerinde çeşitli tipte ve oranlarda lif ile kullanımı ile ilgili birçok çalışma lif etkisinin mekanik ve durabilite davranışlarını belirlemek amacıyla yapılmıştır (Al-Mashhadani, et al., 2018).

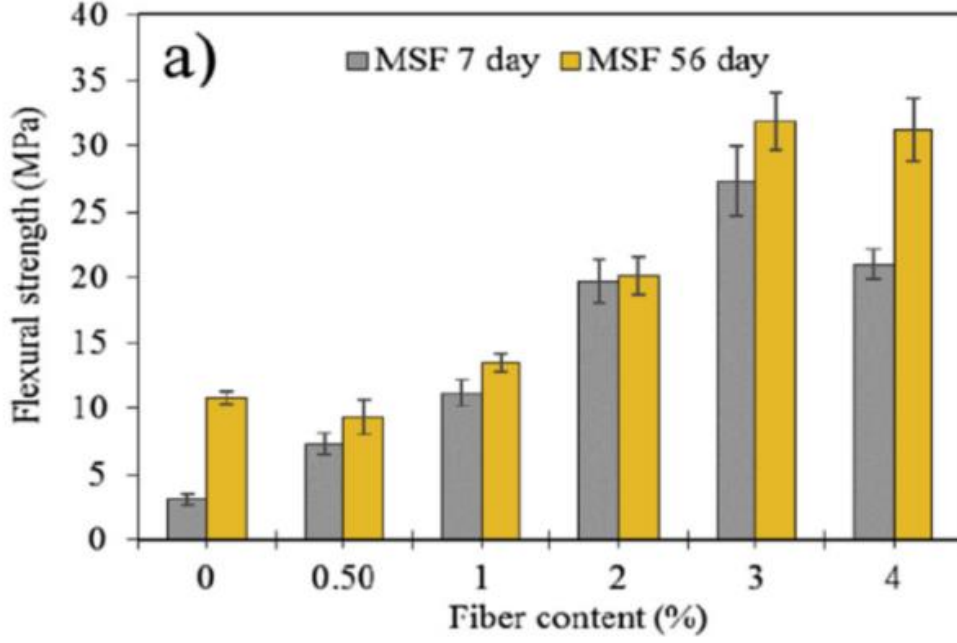
2.5.1 Lifli geopolimerlerde eğilme dayanımı

Beton yada harçta fiber malzeme eklenilmesindeki amaç gevrek kırılmayı sünek davranışa sahip olmasını sağlamak, eğilme ve çekme dayanımını artırmaktır. Fiber takviyeli geopolimer kompozitlerinde çekme ve eğilme dayanımları artmaktadır (Shaikh, 2013).

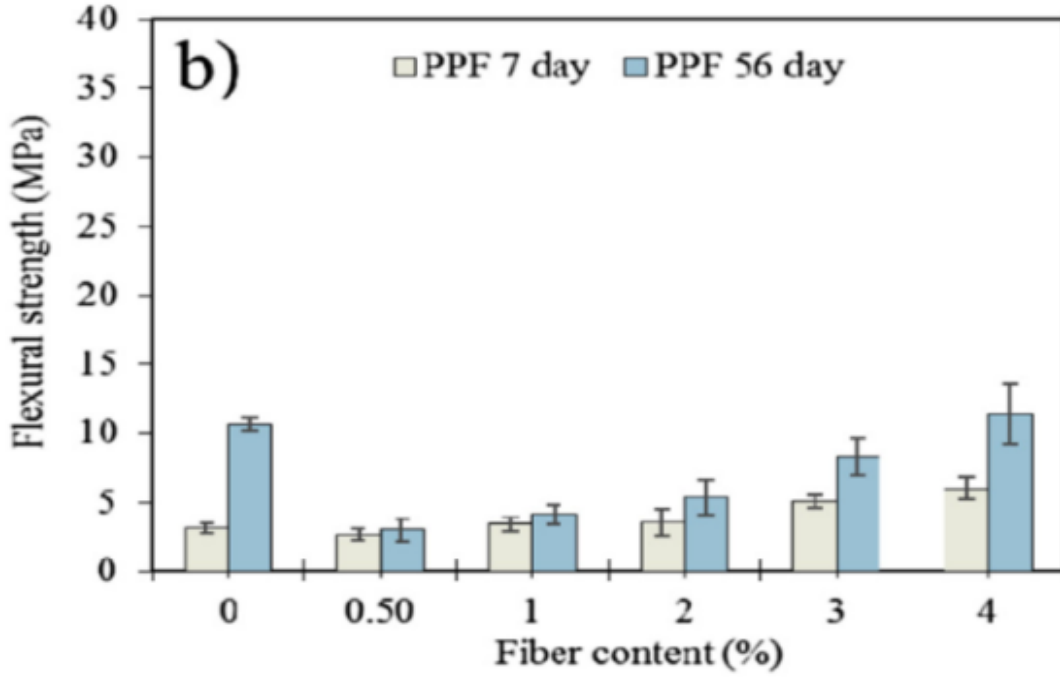
Al- Mashhadani ve diğ. (2018) uçucu kül esaslı olmak üzere farklı oranlarda (%0.4, %0.8 ve %1.2) çelik (ST), polipropilen (PP) ve polivinil alkol (PVA) lifler kullanarak geopolimer harçların mekanik özelliklerini incelemiştir. Lif kullanımının eğilme dayanımı bakımından kontrol numunelerine karşılaştırıldığında dikkate değer bir eğilme dayanım yüzdesi kazandığı ifade edilmektedir. 28 gün için %1.2 çelik ve polivinil alkol lif kullanım oranlarında kontrol numuneleri ile kıyasla sırasıyla %31.45 ve %39.84'lük bir artış gözlenmiştir. Çalışmadaki farklı tipte lifler ve lif oranına göre eğilme dayanımdaki artış Şekil 2.11'de gösterilmektedir. Ranjbar ve diğ. (2016) uçucu kül esaslı hacimce %0.5, %1, %2, %3 ve %4 oranlarında polipropilen (PP) ve çelik (ST) lif kullanılarak ürettikleri geopolimer beton numunelerinde çelik lif kullanımının eğilme dayanımında kayda değer bir artışa sebep olduğunu belirtmektedirler. Çalışmada %3 oranında daha fazla (%4 gibi) lif kullanımının dayanımda çok az da olsa bir dayanım düşüşüne sebep olduğunu sonucuna varmışlardır. Bu durumun taze beton esnasındaki sıkışma, kalıplamadaki zorluk, vibrasyon gibi sebeplerden kaynaklı olduğunu belirtmektedirler. Çelik lif kullanımında elde edilen eğilme dayanımı Şekil 2.12'da gösterilmektedir. Poli-propilen lif için 56 günlük dayanımda lif kullanım oranı artışının dayanımda negatif bir etki yaptığını gözlenmiş ve dayanım gelişimi Şekil 2.13'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11: Lif tipi ve oranlarına göre eğilme dayanımındaki değişim (Al- Masshadani, et al., 2018)



Şekil 2.12: Uçucu kül esaslı geopolimer betonda 7 ve 56 günde çelik lif kullanımındaki eğilme dayanımı değişimi (Ranjbar, et al., 2016)



Şekil 2.13: Uçucu kül esaslı geopolimer betonda 7 ve 56 günde polipropilen lif kullanımındaki eğilme dayanımı değişimi (Ranjbar, et al., 2016)

Bernal ve diğ. (2010) çelik lif kullanımının cüruf esaslı geopolimer betona etkisini araştırdıkları çalışmada 7, 14 ve 28 günlük dayanımların kontrol numunelerine nazaran tüm yaşlarda eğilme dayanımlarının arttığı belirtilmiştir. Çalışmada genel olarak çelik lifli geopolimer betonun kontrol numunesi olarak üretilen çelik lifli portland çimentolu betona

nazaran daha iyi bir eğilme dayanımı performansı gösterdiği görülmektedir. Böylelikle geopolimer betona çelik lif eklemenin çatlak sonrası davranışını alternatif betonlara kıyasla daha iyileştirdiği belirtilmektedir.

Guo ve Pan (2018) tarafından liflerin uçucu kül-çelik cüruf esaslı geopolimer betonda mekanik etkisini araştırmak için polipropilen, bazalt ve çelik liflerin kullanıldığı çalışmada her bir lif sınıfı için %0.1, %0.2, %0.3, %0.4 ve %0.5 hacim oranlarında lif kullanılmıştır. Guo ve Pan polipropilen lif kullanımında 28 günlük eğilme dayanımı için hacimce %0.2'lik lif kullanımda kontrol numunelerine nazaran %7.7'lik bir artış gözlemlenmiştir. Araştırmada hacimce %0.2'den fazla lif kullanım oranının eğilme dayanımında düşüşe sebep olduğu Şekil 2.12'de belirtilmektedir.

Araştırmada kullanılan lifler arasında en fazla dayanım kazanımının hacimce %0.5 oranında çelik lifli geopolimer beton numunelerinde olduğu görülmektedir. 28 günlük dayanımda çelik lifler %21.5 gibi dikkate değer bir dayanım artışına sebep olmaktadır. Araştırmacılar tarafından optimum lif kullanım oranı önerilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Yüksek fırın cürufu

Çalışmada kullanılan YFC , demir çelik fabrikası bulunan Karabük ilindeki Karçimsa firması tarafından temin edilmiştir. Temin edilen yüksek fırın cürufunun özgül yüzeyi 3996 cm²/g ve özgül yüzey ağırlığı 2.86 g/cm³'tür. Çizelge 3.1 'de çalışmada kullanılan öğütülmüş yüksek fırın cürufunun kimyasal kompozisyonu verilmiştir

Çizelge 3.1: Yüksek fırın cürufunun kimyasal özellikleri

Birleşim (%)	YFC (%)
Al ₂ O ₃	9.94
Fe ₂ O ₃	1.25
CaO	32.45
MgO	9.31
Cl-	0.015
SO ₃	0.82
S -2	0.33
Na ₂ O	0.31
K ₂ O	0.85
TiO ₂	1.16
Mn ₂ O ₃	3.51



Şekil 3.1: Yüksek fırın cürufu

3.1.2 Agregat

Geopolimer beton numunelerin hazırlanmasında ince agregat olarak nehir kumu , iri agregat olarak ise dere çakılı kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan agreganın dane dağılım oranı, en büyük dane büyüklüğüne göre TS 802 standartında belirtildiği gibi optimum bölgeye uygun olarak seçilmiştir. Kullanılan agregaların fiziksel özellikleri incelendiğinde ince

agreganın tane boyutu 0-4 mm, iri agreganın ise dane boyutu 4- 8 mm olduğu belirlenmiştir.



şekil 3.2: Deney çalışmasında kullanılan agrega rnekleri

Beton karışımında kullanılan agregalara ait örnekler şekil 3.2’de gösterilmiştir.

3.1.3 Aktivatörler

Bu çalışmada hazırlanan geopolimer beton numunelerinde aktivasyonu sağlamak için alkali aktivatör olarak sodyum hidroksit ve sodyum silikat kullanılmıştır. Su camı veya sıvı cam olarak da sodyum silikat, sulu çözelti içerisinde veya bir katı içerisinde kullanılabilir. Çimento endüstrisinde, yangın korumada, otomobil endüstrisinde, tekstil ve kereste işlemleri gibi kullanım alanları bulunmaktadır. Sodyum silikatlı saf bileşimler renksiz veya beyaz renktedir. Geopolimer beton karışımında kullanılan sodyum hidroksit zeltisi 12 M konstrasyonunda musluk suyu kullanılarak hazırlanmıştır. Çalışmada kullanılan aktivatörlerin kimyasal ve fiziksel özellikleri izelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2: Aktivatörlerin kimyasal özellikleri

Özellikler	Sodyum Hidroksit	Sodyum Metasilikat
Molekül Formülü	NaOH	Na ₂ SiO ₃
Molekül Kütlesi (g/mol)	40.00	122.06
Renk	Beyaz	Beyaz
pH	13-14	-
Bağıl yoğunluk (g/cm ³)	2.13	1.38
Na ₂ O içeriği (%)	-	8.9
SiO ₂ içeriği (%)	-	27.5
H ₂ O içeriği (%)	-	63.6



Şekil 3.3: Deney bünyesinde kullanılan Sodyum Silikat

Çalışmada kullanılan sodyum silikat Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.4: Deney bünyesinde kullanılan Sodyum Hidroksit

Çalışmada kullanılan sodyum hidroksit ise Şekil 3.4’te verilmiştir.

3.1.4 Kimyasal katkı

Bu tez çalışmasında, geopolimer betonun S4 kıvamını elde etmek için bir kimyasal katkı olan akışkanlaştırıcı kullanılmıştır..



Şekil 3.5: Deneyde bünyesinde kullanılan kimyasal katkı

Şekil 3.5’de çalışmada kullanılan akışkanlaştırıcı gösterilmiştir.

3.1.5 Kenevir lif

Kenevir deneyde doğal bir selüloz lif olduğu için tercih edilmiştir. Yüksek su tutma özelliğine sahip elementler içermektedir.



Şekil 3.6: Deney çalışmasında kullanılan Kenevir Lif

Deneyisel çalışmada kullanılan kenevir lif şekil 3.6’da gösterilmiştir.

3.1.6 Bazalt lif

Deneyisel çalışmada kullanılan bazalt lif yüksek aşınma, kırılma ve kopma mukavemeti gibi olumlu özelliklerinden dolayı tercih edilmiştir. Kullanılan bazalt life ait görsel Şekil 3.7’de ve Çizelge 3.3’de bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.3: Bazalt lifin kimyasal özellikleri

Çekme Dayanımı	4840 Mpa
Elastisite Modülü	89 Gpa
Uygulama Sıcaklık limitleri	- +982°C
Özgül Ağırlık	2,60-2,80 gr/cc
Elyaf Çapı	9-23 mikron
Elyaf Uzunluğu	24mm



Şekil 3.7: Deney çalışmasında kullanılan Bazalt Lif

3.1.7 Cam elyaf lif

Deneysel çalışmada kullanılan cam elyaf life ait teknik özellikler çizelgede verilmiştir.

Çizelge 3.4: Cam Elyaf lifin kimyasal özellikleri

Çekme Dayanımı	3400 Mpa
Elastisite Modülü	77 Gpa
Uygulama Sıcaklık Limitleri	-60°C - + 650°C
Ergime Sıcaklığı	1120°C
Özgül Ağırlık	2,60 gr/cc
Elyaf Çapı	13 mikron
Elyaf Uzunluğu	6mm-12mm-19mm



Şekil 3.8: Deneysel çalışmada kullanılan Cam Elyaf Lif

3.1.8 Çelik Lif

Deneyde mikro çelik lifler kullanılmıştır. Çekme dayanımı 2850 MPa 'dan büyüktür.

Çelik life ait görsel Şekil 3.9'da ve teknik özellikler Çizelge 3.5' te verilmiştir

Çizelge 3.5: Çelik life ait teknik özellikler

Ham Malzeme	Karbon Çelik
Tipi	Düz
Renk	Bakır Kaplı
Uzunluk	5-60 mm
Çapı	0.2-0.3 mm
Çekme Dayanımı	>2800 Mpa



Şekil 3.9: Deney çalışmasında kullanılan Çelik Lif

3.1.9 Karışım Suyu

Malatya şebeke suyu tüm karışımlarda karma suyu olarak kullanılmıştır.

3.1.10 Aletler

3.1.10.1 Elekler

Geopolimer beton karışımlarında kullanılan katkı maddeleri TS 706 EN 12620+A1 standardına göre gerekli tane boyutuna göre elenmiştir. Agregalar, gözenek boyutları 4 mm ve 8 mm olan delikli tel eleklerden elenerek üretilmiştir. (Şekil 3.10)



Şekil 3.10: Elekler

3.1.10.2 Çelik kalıplar

Ön döküm için hazırlanan geopolimer beton numunesi Şekil 3.11'de gösterildiği gibi 40 x 40 x 160 mm'lik çelik kalıba yerleştirildi.



Şekil 3.11: Çelik Kalıplar

3.1.10.3 Ahşap kalıp malzemesi

Deneyde kalıp malzemesi kullanılmak üzere 50*50*10 cm büyüklüğünde tekrar kullanılabilen , temin edilmesi kolay ahşap kalıp özel olarak yaptırılmıştır. Kalıba ait görsel Şekil 3.12'de sunulmuştur.



Şekil 3.12: Ahşap Plak Kalıbı

3.1.10.4 Basınç dayanım cihazı

Üretilen geopolimer numunelerin basınç dayanımlarını belirlemek için Şekil 3.13'de sunulan ELE marka 3000 kN yükleme kapasitesine sahip tek eksenli basınç dayanımı test cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.13: Basınç Test Cihazı

Çalışmada kullanılan basınç dayanım cihazı Şekil 3.13’de gösterilmiştir.

3.1.10.5 Eğilme test cihazı

Eğilme testi, 1 kN yük kapasiteye sahip bir Shimadzu AGS-X çekme cihazı ve 3 noktalı bir eğme cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eğilme testlerine, numune sonunda hasar tespit edilene kadar devam edilmiştir.



Şekil 3.14: Eğilme test cihazı

Deneyde kullanılan cihaz şekil 3.14’ de gösterilmiştir.

3.1.10.6 Eğilme test cihazı

Büyük ölçekli plaklar şekil 3.15 'te gösterilen deney düzeneği ayarlanarak test edilmiştir.



Şekil 3.15: Plaklar için kullanılan deney düzeneği

3.1.10.7 Mikser

Deneysel Çalışmadan şekil 3.16 'da verilen karıştırma mikseri kullanılmıştır.



Şekil 3.16: Mikser

3.1.10.8 Hassas terazi

Çalışma aşamalarında lif ağırlık ölçümleri ve çözelti hazırlamak için Şekil 3.17'de görülen 0.01 g hassasiyete sahip terazi kullanılmıştır.



Şekil 3.17: Hassas Terazi

3.1.11 Diğer malzemeler

Geopolimer beton numunelerinin ve geopolimer plak elemanlarının kalıptan kolay çıkarılabilmesi için kalıpların dökümden önce kalıbın döküm yüzeyine ince motor yağı ile yağlanmıştır. Plağın parçalarını birleştirmek amacıyla tornavida kullanılmıştır. Plak kalıbına betonun daha iyi yerleşmesi için vibrasyon görevini görecek demir donatılarla şişleme yapılmıştır.

3.2 Yöntem

Bu bölümde üretilen ön döküm geopolimer betonların karışım oranlarının tespit edilmesi, bu belirlenen oranlara göre betonun hazırlanması, kalıplara yerleştirilmesi, kür edilmesi süreçlerinden ayrıntılı bir şekilde bahsedilmiştir. Ayrıca daha sonra sertleşen geopolimer betonlara uygulanan deneylerden söz edilmiştir.

3.2.1 Ön döküm geopolimer beton karışımlarının belirlenmesi

YFC geopolimer beton üretiminde bağlayıcı malzeme olarak kullanılmıştır. Kullanılan bağlayıcının dozajı 800 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Geopolimer beton üretiminde tane boyutu 4-8 mm olan dere çakılı iri agregaya olarak , 0-4 mm tane boyutunda dere kumu ise ince agregaya olarak kullanılmıştır. Kullanılan agregaya oranları hacimce % 75 ince agregaya , %25 iri agregadır. İncelenen literatür çalışmalarına göre lif içerikleri hacimce %1 , %1,5 ve %2 olmak üzere lifli geopolimer beton numunesi ve karşılaştırma grubu olan liffsiz geopolimer beton numuneleri ile birlikte toplam 60 adet numune üretilmiştir. Ön döküm çalışmaları için çelik kalıplar kullanılmıştır. Bu çelik kalıpların ölçüleri 40 mm x 40 mm x 160 mm'dir

Literatür çalışmalarının incelenmesi ve laboratuvarında yapılan denemeler sonucunda, çözelti/bağlayıcı oranı 0.52 ve çözeltinin molaritesi 12 M olarak belirlenmiştir. Bu ölçümlere dayanarak aktivatörün miktarı ve hacmi hesaplandı. oplam agrega hacmi, m³'den bağlayıcı miktarı ve aktivatör miktarının toplamı çıkarılarak belirlendi. Geopolimer beton üretimi için belirlenen karışım miktarları aşağıdaki çizelgelerde gösterilmiştir.

Çizelge 3.6: Kenevir + Cam Elyaf lif Karışım oranları

Lif yüzdeleri (%)	% 0,50 Kenevir + % 0,50 Cam elyaf	% 0,75 Kenevir + % 0,75 Cam elyaf	% 1 kenevir + % 1 Cam elyaf
YFC miktarı (gr)	800	800	800
İri agrega(gr)	640	640	640
İnce agrega (gr)	960	960	960
NaOH çözeltisi (gr)	220	220	220
Sodyum silikat (gr)	220	220	220
Akışkanlaştırıcı (gr)	16	16	16
Kenevir lif (gr)	1,5	8,8	11,6
Cam elyaf lif (gr)	13,3	20	11,6

Çizelge 3.7: Kenevir + Bazalt lif Karışım oranları

Lif yüzdeleri (%)	% 0,50 Kenevir + % 0,50 Bazalt	% 0,75 Kenevir + % 0,75 Bazalt	% 1 kenevir + % 1 Bazalt
YFC miktarı (gr)	800	800	800
İri agrega(gr)	640	640	640
İnce agrega (gr)	960	960	960
NaOH çözeltisi (gr)	220	220	220
Sodyum silikat (gr)	220	220	220
Akışkanlaştırıcı (gr)	16	16	16
Kenevir lif (gr)	1,5	8,8	11,6
Cam elyaf lif (gr)	13,3	20	26,6

Çizelge 3.8: Cam elyaf + Bazalt lif Karışım oranları

Lif yüzdeleri (%)	% 0,50 Bazalt + % 0,50 Cam elyaf	% 0,75 Bazalt + % 0,75 Cam elyaf	% 1 Bazalt + % 1 Cam elyaf
YFC miktarı (gr)	800	800	800
İri agrega(gr)	640	640	640
İnce agrega (gr)	960	960	960
NaOH çözeltisi (gr)	220	220	220
Sodyum silikat (gr)	220	220	220
Akışkanlaştırıcı (gr)	16	16	16
Kenevir lif (gr)	1,5	8,8	11,6
Cam elyaf lif (gr)	13,3	20	26,6

Çizelge 3.9: Çelik lif Karışım ait oranları

Lif yüzdeleri (%)	% 1 Çelik Lif	% 1,5 Çelik Lif	% 2 Çelik lif
YFC miktarı (gr)	800	800	800
İri agrega(gr)	640	640	640
İnce agrega (gr)	960	960	960
NaOH çözeltisi (gr)	220	220	220
Sodyum silikat (gr)	220	220	220
Akışkanlaştırıcı (gr)	16	16	16
Çelik lif (gr)	73,27	110,60	147,56

3.2.2 Ön döküm geopolimer beton numunelerin üretilmesi

Geopolimer betonu üretmek için kullanılan malzemeler, karıştırma işlemine başlamadan önce 0,1 g hassasiyetle (Şekil 3.18) terazi üzerinde orantısal olarak tartılmış ve kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Yapılmış olan deney kapsamında alkali aktivatör olarak sodyum hidroksit ve sodyum silikat olmak üzere iki çeşit alkali aktivatör kullanılmıştır. Deneylerde sodyum silikat/sodyum hidroksit oranı olarak 1 kullanılmıştır. Sodyum hidroksitin aktif hale gelmesi için su ile karıştırılması gerekmektedir (Şekil 3.18). Su ile tepkimeye girdiği zaman ısı ortaya çıkar. Isınan solüsyonu geopolimer betonda kullanabilmesi için bir gün öncesinden hazırlanmalı ve laboratuvar ortamında soğuması amacıyla bekletilmelidir. Böylece soğuk NaOH çözeltilerinin kullanımından kaynaklanan erken sertleşme gibi problemlerin önüne geçilmiş olur.

İlk önce alkali aktivatör çözeltisi olarak kullanılan NaOH çözeltisi hazırlanmıştır. Çözeltinin molaritesi 12 M'dir. NaOH çözeltisi 5 dakika süresince karıştırılmış ve karıştırma sırasında ısı açığa çıktığından dolayı, karışıma başlamadan önce çözelti hazırlanıp soğuması için bekletilmiştir.



Şekil 3.18: Alkali aktivatörlerin hazırlanması

Şekil 3.18’de alkali aktivatör çözeltilerinin hazırlanmasına ilişkin görsel verilmiştir.

Daha sonra sırasıyla YFC, ince agrega ve iri agrega karışım kabına ilave edilmiştir. Kuru olarak 2-3 dakika kadar karıştırılmıştır. Daha sonra sodyum hidroksit çözeltisi , sodyum silikat ve akışkanlaştırıcı ilave edilerek 6-7 dakika el mikseri ile karıştırılmıştır. Ön döküm için hazırlanan geopolimer beton karışımı 40x40x160 mm boyutlarındaki çelik kalıplara yerleştirilmiştir.İlk olarak çelik kalıplar iyice temizlenmiştir. Kalıplara yerleştirilmeden önce kalıptan kolayca çıkması için kalıp yağı ile boşluk kalmayacak şekilde yağlanmıştır. Karışım kalıba döküldükten sonra kalıba bir titreşim etkisi vermek ve karışımın kalıba düzgün oturmasını sağlamak için kalıba tokmakla vurulmuştur.Döküm işleminden sonra beton numaralarını karıştırmamak için numune isimlerinin yazılı olduğu kağıtlar numunelerin üzerine yerleştirilmiştir. İsimlendirme işlemi tamamlanan numunelerin yüzeyi mala ile düzeltilip 24 saat kalıpta bekletilmiştir. 24 saat sonra kalıptan çıkarılmış numuneler oda koşullarında deney günü olan 7. ve 28. günlere kadar laboratuvar ortamında düzgün bir yere bırakılarak bekletilmiştir. Numune kodları tablo halinde sunulmuştur.

Numune Kodları	Lif İÇeriği
G0	Lifsiz Numune
G1	%0,50 Kenevir + % 0,50 Cam elyaf
G2	%0,75 Kenevir + % 0,75 Cam elyaf
G3	%1 Kenevir + % 1 Cam elyaf
G4	%0,50 Kenevir + % 0,50 Bazalt
G5	%0,75 Kenevir + % 0,75 Bazalt
G6	%1 Kenevir + % 1 Bazalt
G7	%0,50 Cam Elyaf+ % 0,50 Bazalt
G8	%0,75 Cam Elyaf+ % 0,75 Bazalt
G9	%1 Cam Elyaf+ % 1 Bazalt
G10	%1 Çelik Lif
G11	%1,5 Çelik Lif
G12	%2 Çelik Lif

Şekil 3.19: Numune Kodları

Deneysel çalışma kapsamında tasarlanan 5 grup numunelerin sıralı döküm şartları ve üretilen numunelere ait görseller; kenevir+cam elyaf lif içeren geopolimer numuneler, kenevir+bazalt lif içeren geopolimer numuneler, bazalt+cam elyaf lif içeren geopolimer numuneler ile çelik lif içeren geopolimer numuneler için sırasıyla; Şekil 3.20 ve Şekil 3.21, Şekil 3.22 ve Şekil 3.23, Şekil 3.24 ve Şekil 3.25, Şekil 3.26 ve Şekil 3.27 olarak sunulmuştur.



Şekil 3.20: Kenevir + Cam elyaf lif içeren geopolimer numunelerin hazırlanması



Şekil 3.21: Kenevir + Cam elyaf lif içeren geopolimer numunelerin kalıptan çıkmış hali



Şekil 3.22: Kenevir + Bazalt lif içeren geopolimer numunelerin hazırlanması



Şekil 3.23: Kenevir + Bazalt lif içeren geopolimer numunelerin kalıptan çıkmış hali



Şekil 3.24: Bazalt + Cam elyaf lif içeren geopolimer numunelerin hazırlanması



Şekil 3.25: Bazalt+ Cam Elyaf lif içeren geopolimer numunelerin kalıptan çıkmış hali



Şekil 3.26: Çelik lif içeren geopolimer numunelerin hazırlanması



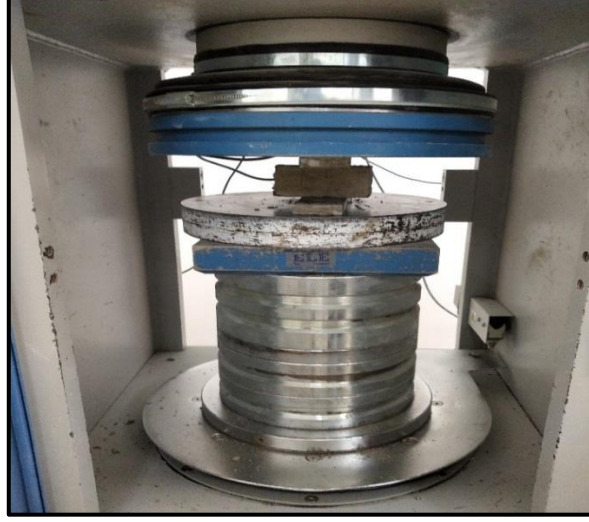
Şekil 3.27: Çelik lif içeren geopolimer numunelerin kalıptan çıkmış hali

3.2.3 Sertleşmiş Beton Deneylerinde Uygulanan Yöntemler

Bu çalışmada üretilen geopolimer betonlar 7 ve 28 günlük laboratuvar koşullarında kürlenmesinin ardından basınç ve eğilme deneylerine tabi tutulmuştur. Lif içeren numuneler lifsiz numuneler ile karşılaştırılmıştır.

3.2.3.1. Basınç Dayanımı

Geopolimer beton numuneleri toplam 60 adet olmak üzere altı grup halinde hazırlanmış ve hazırlanan karışımlar kalıplara konularak bir gün laboratuvar koşullarında bekletildikten sonra, deneyin 7. ve 28. günleri kalıplardan çıkarılarak oda sıcaklığında saklanmıştır. Lifli numunelerin mukavemeti belirlenmiş ve aynı anda lifsiz kontrol numunelerinin basınç mukavemeti ile karşılaştırıldı. Basınç dayanımı test cihazına (Şekil 3.28) bir geopolimer beton numunesi, numuneye uygulanan yükün yönü numunenin kalıp içindeki yüzeyi olacak şekilde yerleştirildi. Aletin yükleme yüzeyi ve iç kısmı, numune alete yüklenmeden önce temizlendi. Numuneyi cihaza düzgün bir şekilde yerleştirdikten sonra cihazın ekranında numunenin boyutu ve yükleme hızı seçilmiştir. Numune, aparat tarafından 2.40 kN/s yükleme hızı ile yüklenmiştir. Basınç dayanımı belirlenirken her karışım için iki numune yapılmış ve bu iki örneğin basınç dayanımının aritmetik ortalaması kullanılmıştır. 7 ve 28 gün sonra olan deney gününde basınç dayanımının aritmetik ortalaması kullanıldı.



Şekil 3.28: Basınç Cihazındaki Numune

Geopolimer beton numuneleri basınç dayanım test cihazına yerleştirilmesi Şekil 3.28’de gösterilmiştir.

3.2.3.2 Eğilme dayanımı

Üretilen geopolimer beton kiriş numuneleri 7. ve 28. günün sonunda eğilme deneylerine tabi tutulmuştur. Her bir seri için iki adet numune hazırlanmıştır. Eğilme dayanımları bu iki örneğin aritmetik ortalaması alınarak elde edilmiştir. Toplamda 60 adet numunenin sonuçlarına bakılmıştır.



Şekil 3.29: Eğilme Cihazındaki Numune

40*40*160 mm büyüklüğündeki kiriş numunelerin eğilme dayanımlarını elde etmek için Şekil 3.29' daki cihaz kullanılmıştır.

3.2.4 Geopolimer Beton Plak Üretimi

YFC , geopolimer beton plak üretiminde bağlayıcı malzeme olarak kullanılmıştır. Kullanılan bağlayıcının dozajı 500 kg/ m³ olarak belirlenmiştir. Geopolimer plak beton üretiminde iri agregalar olarak tane boyutu 4-8 mm olan dere çakılı, ince agregalar olarak ise 0-4 mm tane boyutunda dere kumu kullanılmıştır. Kullanılan agregalar oranları hacimce % 70 ince agregalar , %30 iri agregadır. Öncesinde yapılan ön döküm sonuçlarına göre optimum lif oranı bazalt+ cam elyaf karışımı için %1,5 çelik lif için % 1,5 olarak belirlenmiştir. Karşılaştırma numunesi olarak lifsiz plak dökümünde gerçekleştirilmiştir. Ahşap kalıbın boyutları 500 mm x 500mm x 50mm'dir. Laboratuvarında yapılan ön denemelerin sonucu optimum çözelti/bağlayıcı oranı 0.55 ve çözeltinin molaritesi 12 M olarak tespit edilmiştir. Bu belirlenen değerlere göre aktivatör miktarı ve hacmi hesaplanmıştır. Bağlayıcı miktarının ve aktivatör miktarının toplamının 1 m³'den çıkarılması ile toplam agregalar hacmi bulunmuştur. Geopolimer plak üretimi için belirlenen karışım miktarları Çizelge 3.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.10: Plaklara ait karışım oranları

	Lifsiz Plak (L1)	% 1,5 Bazalt + Cam Elyaf (BC1)	% 1,5 Çelik Lif (CL1)
YFC (gr)	9765.62	9765.62	9765.62
İri Agregalar (4-8mm) (gr)	7812,5	7812,5	7812,5
İnce Agregalar (0-4mm) (gr)	11718,75	11718,75	11718,75
Akışkanlaştırıcı (gr)	195	195	195
Na ₂ SiO ₃ (gr)	2685.55	2685.55	2685.55
NaOH (gr)	2685.55	2685.55	2685.55
Bazalt Lif (gr)	-	244,140	-
Cam Elyaf Lif	-	244,140	-
Çelik Lif	-	-	1350

Geopolimer beton plak üretiminde kullanılan malzemeler belirlenen oranlarda hassas terazide tartılarak alınıp karışıma başlamadan önce kullanım için hazırlanmıştır.

Çalışmada alkali aktivatör olarak sodyum hidroksit ve sodyum silikat olmak üzere iki çeşit alkali aktivatör kullanılmıştır. Deneylede sodyum silikat/sodyum hidroksit oranı olarak 1 kullanılmıştır. Sodyum hidroksitin aktif hale gelmesi için su ile karıştırılmış laboratuvar ortamında soğuması amacıyla bekletilmiştir. 480 gr NaOH 1000 ml çözünerek, molaritesi 12 M olan çözelti hazırlanmıştır

Mikserin içine ilk olarak YFC, ince agrega ve iri agrega ilave edilmiştir. Kuru olarak 2-3 dakika kadar karıştırılmıştır. Daha sonra lifli dökümler için belirlenen miktardaki lifler kuru olarak karışıma ilave edilmiştir. Daha sonra sodyum hidroksit çözeltisi , sodyum silikat ve akışkanlaştırıcı ilave edilerek 7-8 dakika karıştırılmıştır. Hazırlanan geopolimer beton karışımı 500x500x50 mm ölçülerindeki ahşap kalıba yerleştirilmiştir. İlk olarak ahşap kalıp tozlardan arındırılarak iyice temizlenmiştir. Kalıba yerleştirilmeden önce kalıptan kolayca çıkması için ahşap kalıp yağı ile boşluk kalmayacak şekilde yağlanmıştır. Karışımlar kalıplara döküldükten sonra, karışımın kalıp içinde uygun şekilde konumlandırılması için kalıplara demir donatı ve tokmak ile vurularak vibrasyon etkisi uygulanmıştır. Bu karışımların isimlendirmesinde kullanılan ifadelerin ne anlama geldiği şu şekildedir;

KONTROL (L1) : Geopolimer lifsiz beton

(CL 1): Toplam hacimce % 1,5 13 mm uzunluğundaki mikro çelik lif

(BL 1): Toplam hacimce % 1,5 Bazalt + camelyaf karışımı içeren geopolimer plak

Yerleştirilen numunelerin yüzeyi mala ile düzeltilip 24 saat kalıpta bekletilmiştir. 24 saat sonra kalıptan çıkarılan numuneler oda koşullarında deney günü olan 28. güne kadar laboratuvar ortamında oda koşullarında düzgün bir yere bırakılarak bekletilmiştir.

Deneysel çalışma kapsamında tasarlanan 6 grup numunelerin sıralı döküm şartları ve üretilen numunelere ait görseller; lifsiz geopolimer beton plak numuneler, bazalt+cam elyaf içeren geopolimer beton plak numuneler, çelik lif içeren geopolimer beton plak numuneler için sırasıyla; Şekil 3.30 ve Şekil 3.31, Şekil 3.32 ve Şekil 3.33, Şekil 3.34 ve Şekil 3.35 olarak sunulmuştur.



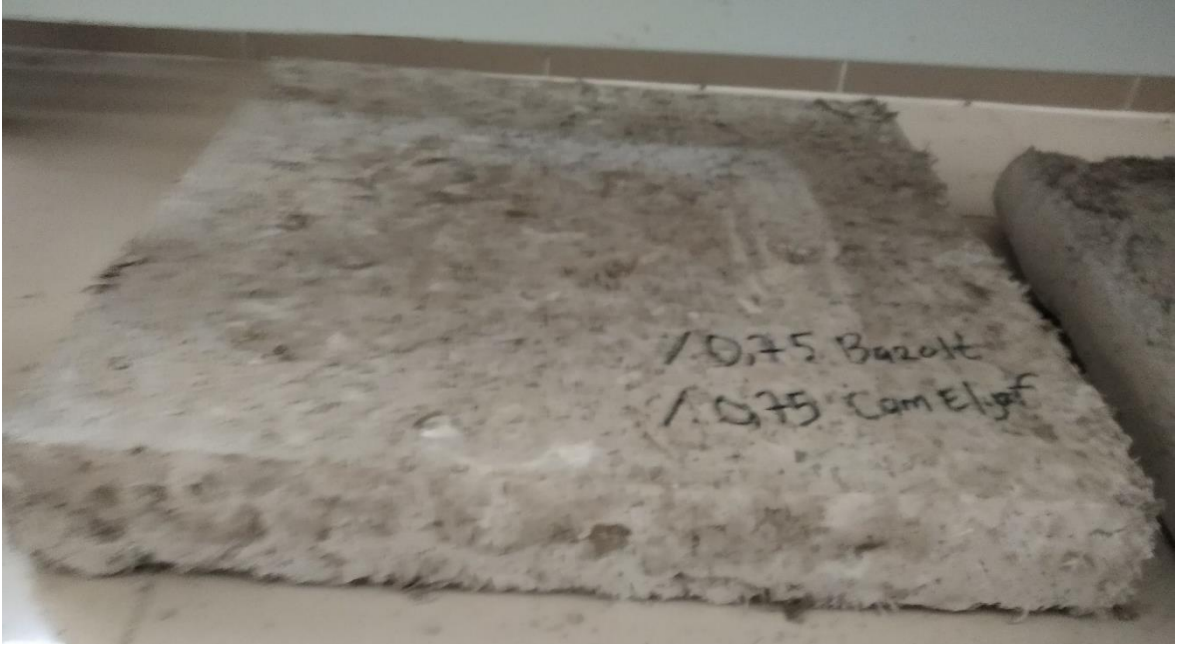
Şekil 3.30: Lifsiz geopolimer plak üretim aşamaları



Şekil 3.31: Lifsiz geopolimer beton Plağın kalıptan çıktıktan sonraki hali



Şekil 3.32: Bazalt+Cam elyaf içeren geopolimer beton plak üretim aşamaları



Şekil 3.33: Bazalt+Cam elyaf içeren geopolimer beton plağın kalıptan çıktıktan sonraki hali



Şekil 3.34: Çelik Lif içeren geopolimer beton plak üretim aşamaları



Şekil 3.35: Çelik Lif içeren geopolimer beton plağın kalıptan çıktıktan sonraki hali

3.2.5 Geopolimer beton plak için uygulanan deney

Büyük ölçekli plaklar, diagonal yükleme deney düzeneğine yerleştirilerek sonra deneylerin yapımına başlanmıştır. Yükleme başlığı sisteme yerleştirildikten sonra, yükleme başlığı ve deplasman ölçerin deney için hazır olduğunu doğrulamak için bir bilgisayar kullanıldı. Yükleme hızı 1 mm/dak olarak ayarlanmış olan testte, lifsiz geopolimer karışıma ait numunelerin deney süresi 25-30 dakika sürerken, lifli geopolimer karışımlarına ait numunelerin deneyleri 30-40 dakika arasında tamamlanmıştır. Şekil 3.36'da eğilmeye maruz plağın deney düzeneği verilmiştir.



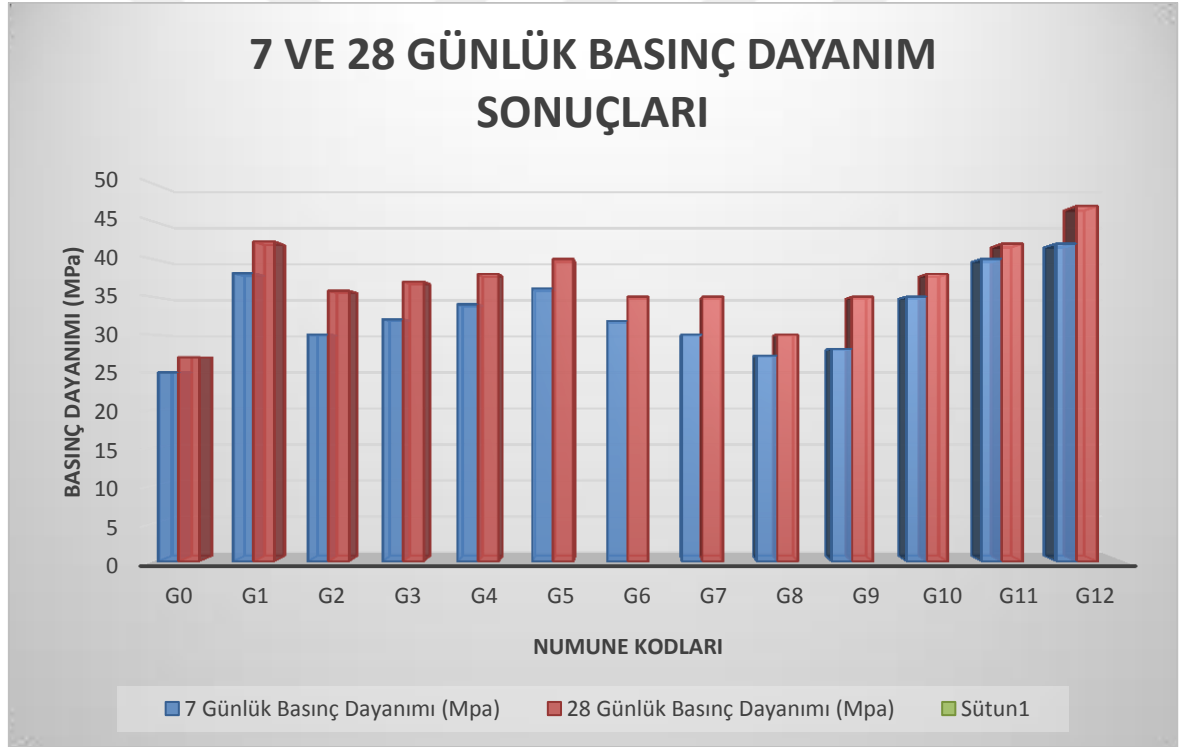
Şekil 3.36: Eğilme deneyi için yerleştirilmiş örnek plak numunesi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Geopolimer Beton Numuneler Üzerinde Uygulanan Deneyler

4.1.1. Basınç dayanım testi deney sonuçları

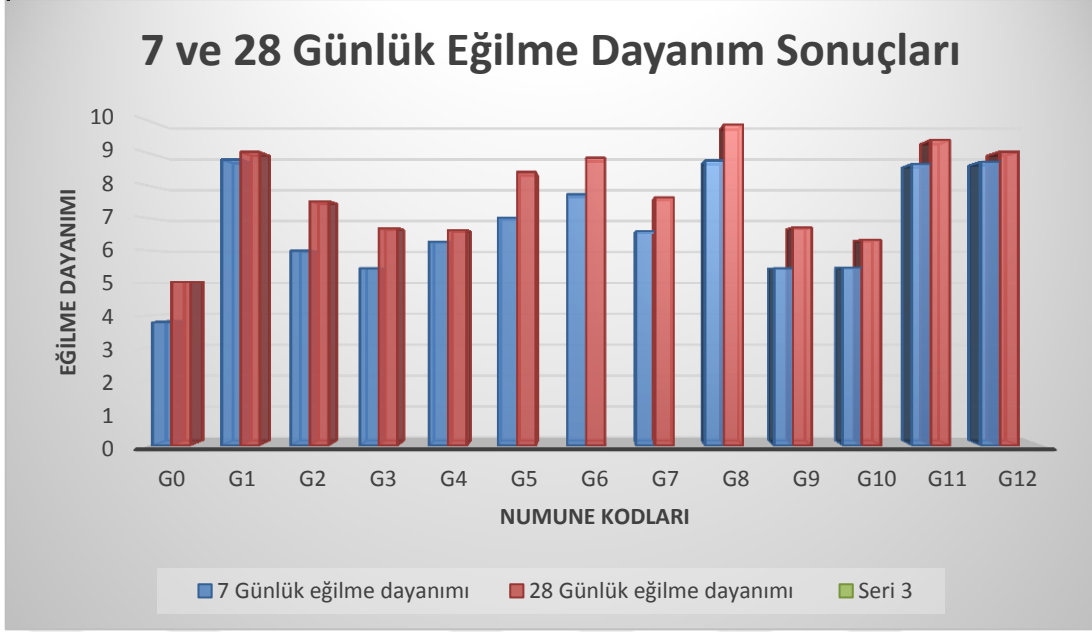
Hacimce toplam %1 %1,5 ve %2 oranlarında lif karışımları 3. Bölümde verilen karışım oranları dikkate alınarak her bir lif grubu ve lif miktarı için ikişer tane üretilerek 7. ve 28. Gün basınç dayanımları bu iki numunenin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Değerler şekil 4.1 'de sırasıyla verilmiştir.



Şekil 4.1: Ön döküm numunelerinin 7 ve 28 günlük Basınç Dayanım Sonuçları

4.1.2. Eğilme dayanım testi deney sonuçları

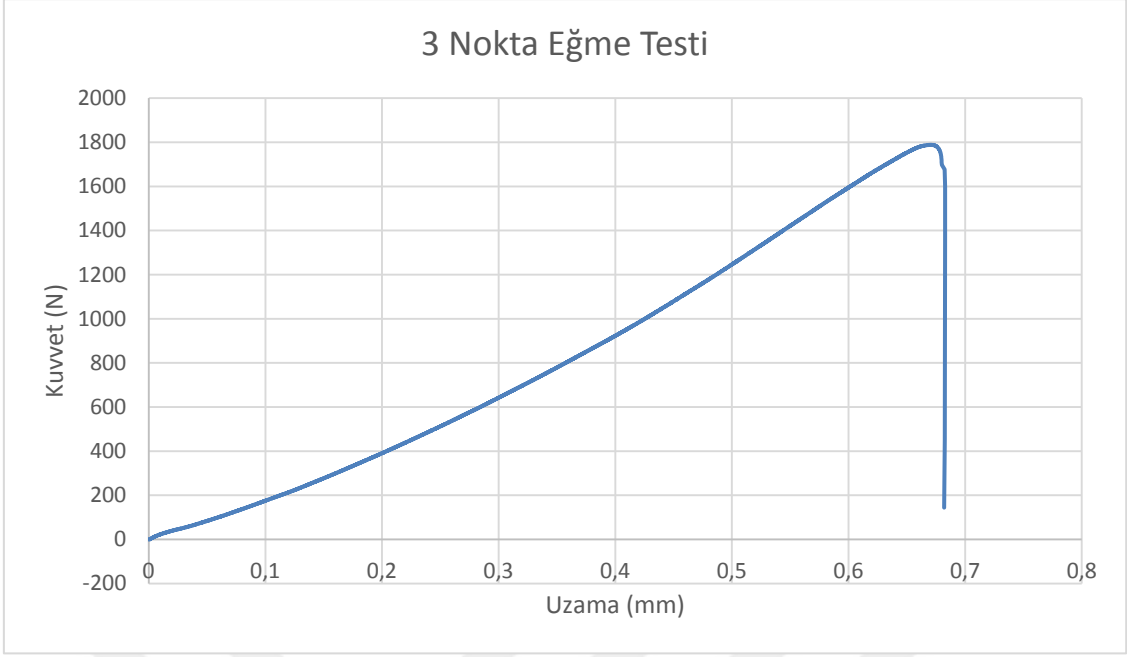
Hacimce toplam %1 %1,5 ve %2 oranlarında lif karışımları 3. Bölümde verilne karışım oranları dikkate alınarak her bir lif grubu ve lif miktarı için ikişer tane üretilerek 7. ve 28. Gün eğilme dayanımları bu iki numunenin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Değerler Şekil 4.2' de sırasıyla verilmiştir.



Şekil 4.2: Ön döküm numunelerinin 7 ve 28 günlük eğilme dayanım sonuçları

4.2.1 Eğilme dayanımlarının grafikleri

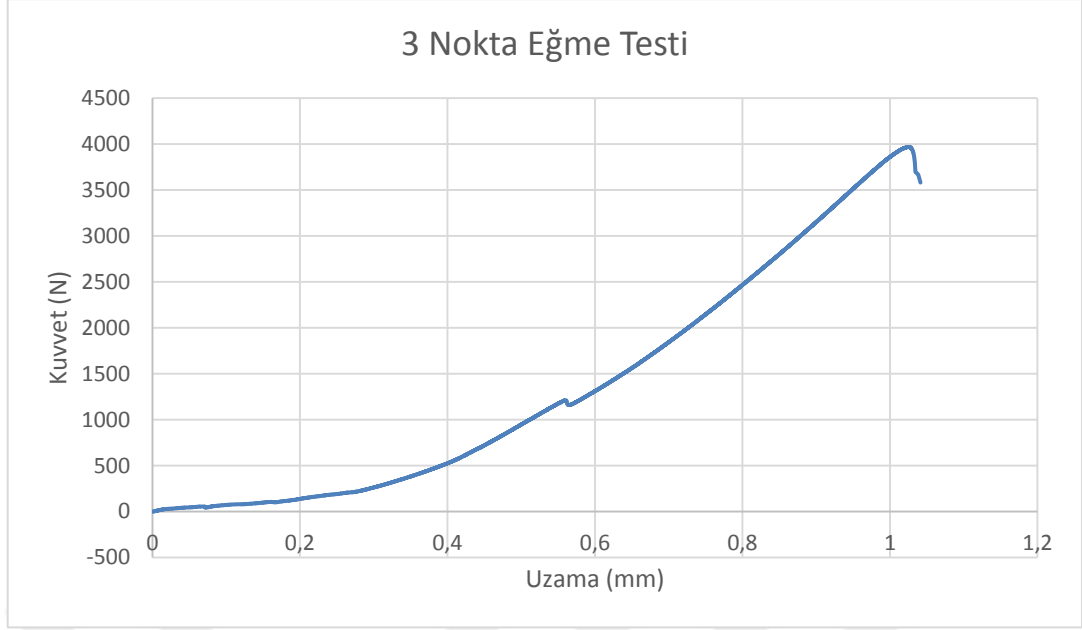
Yürütülen deneysel çalışma kapsamında, numune kodlarına göre, ayrıca ölçülen eğilme dayanım grafikleri sırasıyla, G0: lifsiz numune için Şekil 4.3'te; G1: %0,50 kenevir + %0,50 cam elyaf lif içeren numune için Şekil 4.4'te; G2: %0,75 kenevir + %0,75 cam elyaf lif içeren numune için Şekil 4.5'te; G3: %1 kenevir + %1 cam elyaf lif içeren numune için Şekil 4.6'da; G4: %0,50 bazalt + %0,50 cam elyaf lif içeren numune için Şekil 4.7'de; G8: %0,75 bazalt + %0,75 cam elyaf lif içeren numune için Şekil 4.8'de; G9: %1 bazalt + %1 cam elyaf lif içeren numune için Şekil 4.9'da; G4: %0,50 bazalt + %0,50 kenevir lif içeren numune için Şekil 4.10'da; G5: %0,75 bazalt + %0,75 kenevir lif içeren numune için Şekil 4.11'de; G6: %1 bazalt + %1 kenevir lif içeren numune için Şekil 4.12'de; G10: %1 çelik lif içeren numune için Şekil 4.13'te; G11: %1,5 çelik lif içeren numune için Şekil 4.14'de; G12: %2 çelik lif içeren numune için Şekil 4.15'de verilmiştir.



Parametreler	Değerler
Max Kuvvet (N)	1788,42
Max Gerilme (N/mm ²)	5,02992
Max Uzama (mm)	0,67090
Kopma Kuvveti (N)	1730,99
Kopma Gerilmesi (N/mm ²)	4,86840
Kopma Uzaması (mm)	0,67957

Şekil 4.3: Lifsiz numuneye ait eğilme dayanımı grafiği

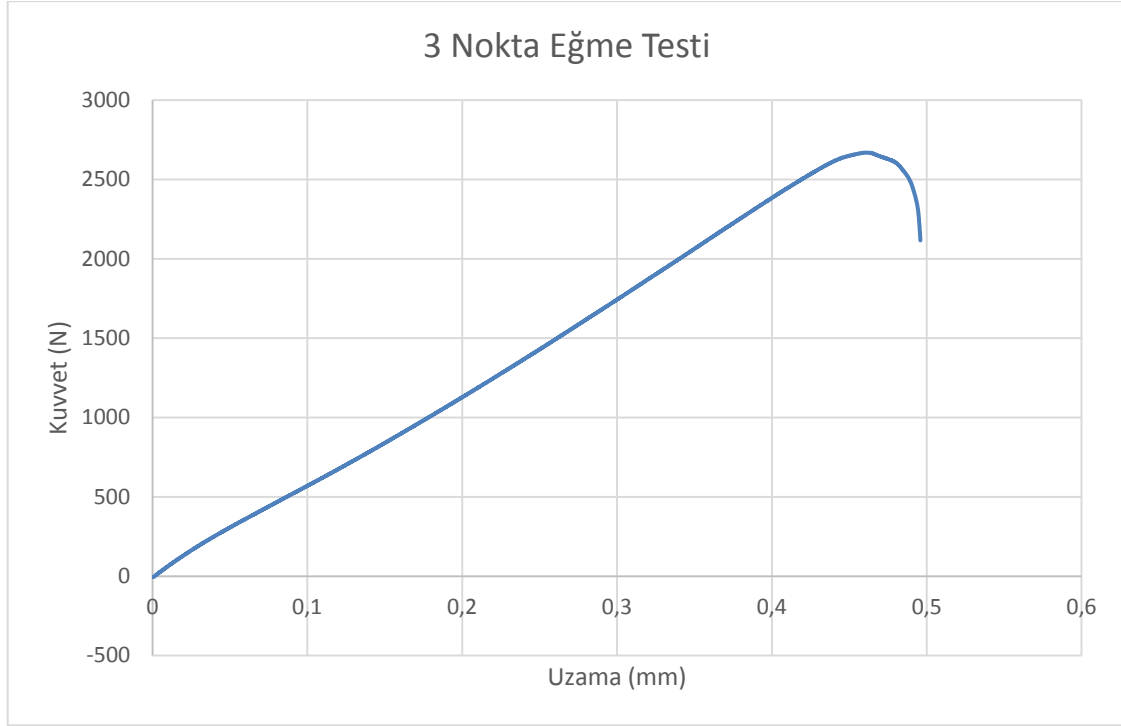
Lifsiz numune deney çalışması kapsamında kontrol numunesidir. Lif ekleyerek eğilme dayanımında artış sağlamak amacıyla lifsiz dökümlerde yapılmıştır.



Parametreler	Değerler
Max Kuvvet (N)	3968,91
Max Gerilme (N/mm ²)	11,1625
Max Uzama (mm)	1,02557
Kopma Kuvveti (N)	3794,07
Kopma Gerilmesi (N/mm ²)	10,6708
Kopma Uzaması (mm)	1,03373

Şekil 4.4: % 0,50 Kenevir + % 0,50 Cam elyaf lif içeren numuneye ait eğilme dayanımı grafiği

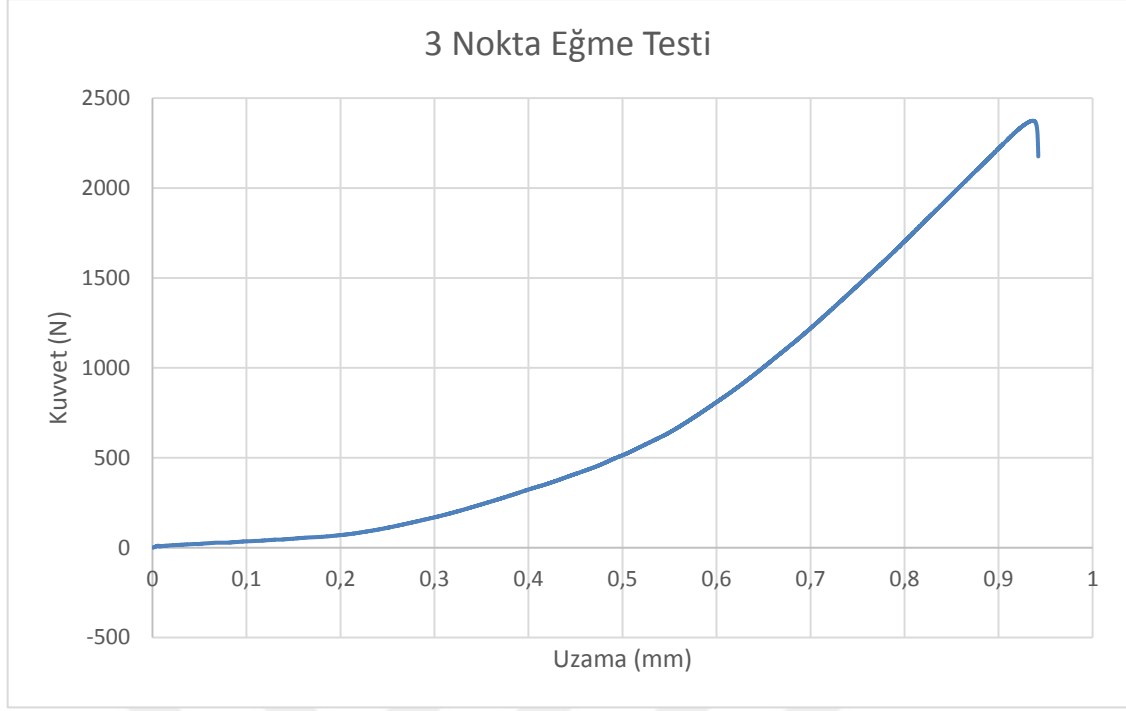
Grafik incelendiğinde kopma noktasına kadar davranışın iyi bir şekilde ilerlediği ancak ani bir kopma meydana geldiği gözlenmiştir.



Parametreler	Değerler
Max Kuvvet (N)	2669,04
Max Gerilme (N/mm ²)	7,50667
Max Uzama (mm)	0,461
Kopma Kuvveti (N)	2244,98
Kopma Gerilmesi (N/mm ²)	6,31402
Kopma Uzaması (mm)	0,49503

Şekil 4.5: % 0,75 Kenevir + % 0,75 Cam elyaf lif içeren numuneye ait eğilme dayanımı grafiği

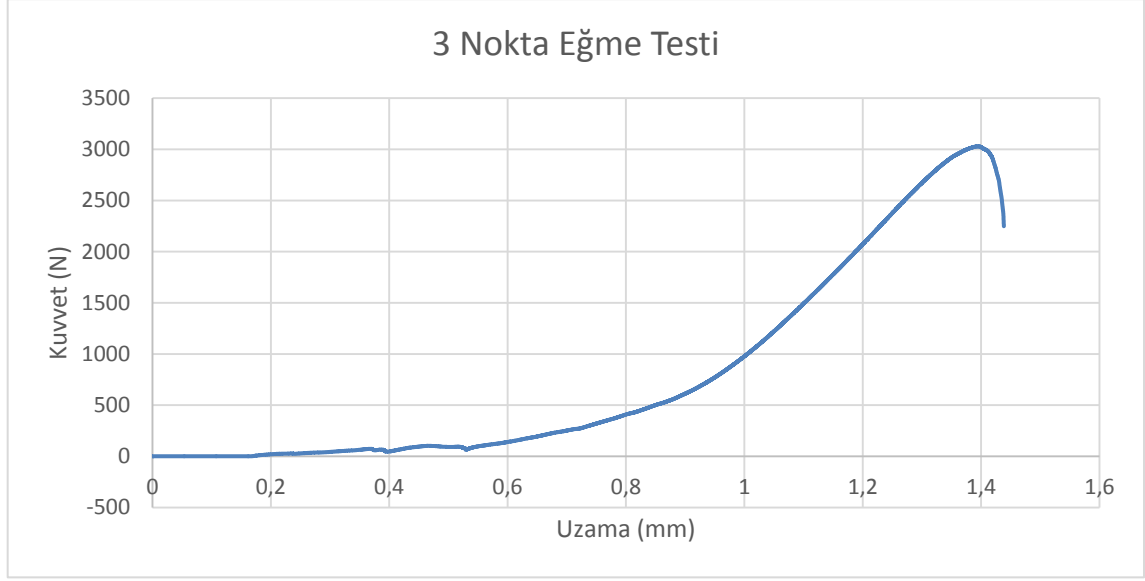
Grafik incelendiğine lif miktarındaki artışa da bağlı olarak kopma gerilmesi azalmıştır. Bunda kenevir ve cam elyaf lifinin bir arada topaklanması etkili olduğu sonucunu çıkarabiliriz.



Parametreler	Değerler
Max Kuvvet (N)	2374,18
Max Gerilme (N/mm ²)	6,67738
Max Uzama (mm)	0,9365
Kopma Kuvveti (N)	2302,68
Kopma Gerilmesi (N/mm ²)	6,4763
Kopma Uzaması (mm)	0,94143

Şekil 4.6: % 1 Kenevir + % 1 Cam elyaf lif içeren numuneye ait eğilme dayanımı grafiği

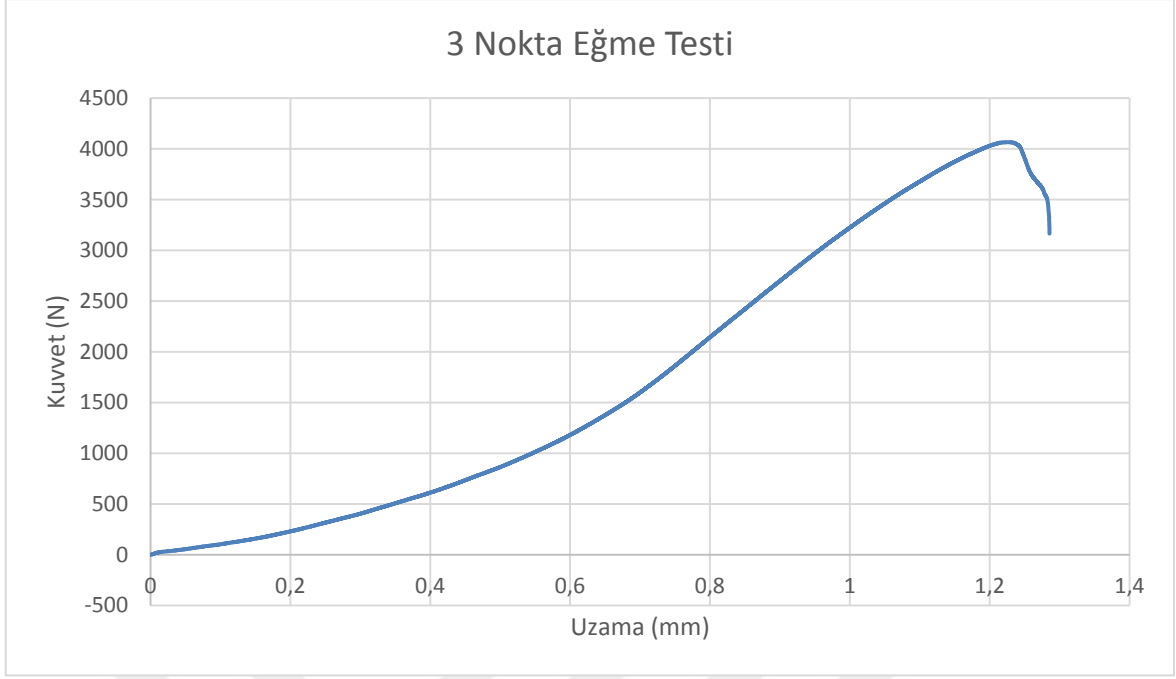
Lif miktarındaki artışa bağlı olarak değerlerde azalma meydana gelmiştir. Bunda kenevir ve cam elyafın karışım esnasında çok fazla topaklanması , homojen bir karışım sağlayamamızın etkili olduğu sonucunu çıkarabiliriz



Parametreler	Değerler
Max Kuvvet (N)	3029,78
Max Gerilme (N/mm ²)	8,52127
Max Uzama (mm)	1,39410
Kopma Kuvveti (N)	2354,56
Kopma Gerilmesi (N/mm ²)	6,62219
Kopma Uzaması (mm)	1,43770

Şekil 4.7: % 0,50 Bazalt + % 0,50 Cam elyaf lif içeren numuneye ait eğilme dayanımı grafiği

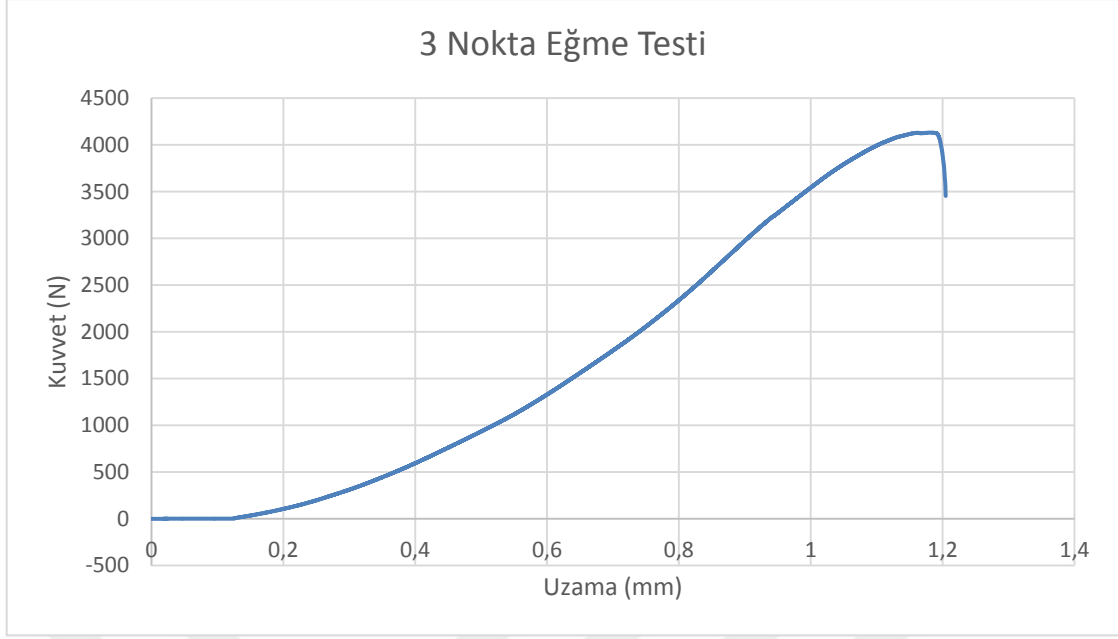
Bazalt + camelyaf lif içeriğine sahip numune lif miktarının az olmasına bağlı olarak maksimum kuvveti diğer karışımlara nazaran daha az olmuştur



Parametreler	Değerler
Max Kuvvet (N)	4066,12
Max Gerilme (N/mm ²)	11,436
Max Uzama (mm)	1,22757
Kopma Kuvveti (N)	3358,84
Kopma Gerilmesi (N/mm ²)	9,44673
Kopma Uzaması (mm)	1,28463

Şekil 4.8: % 0,75 Bazalt + % 0,75 Cam elyaf lif içeren numuneye ait eğilme dayanımı grafiği

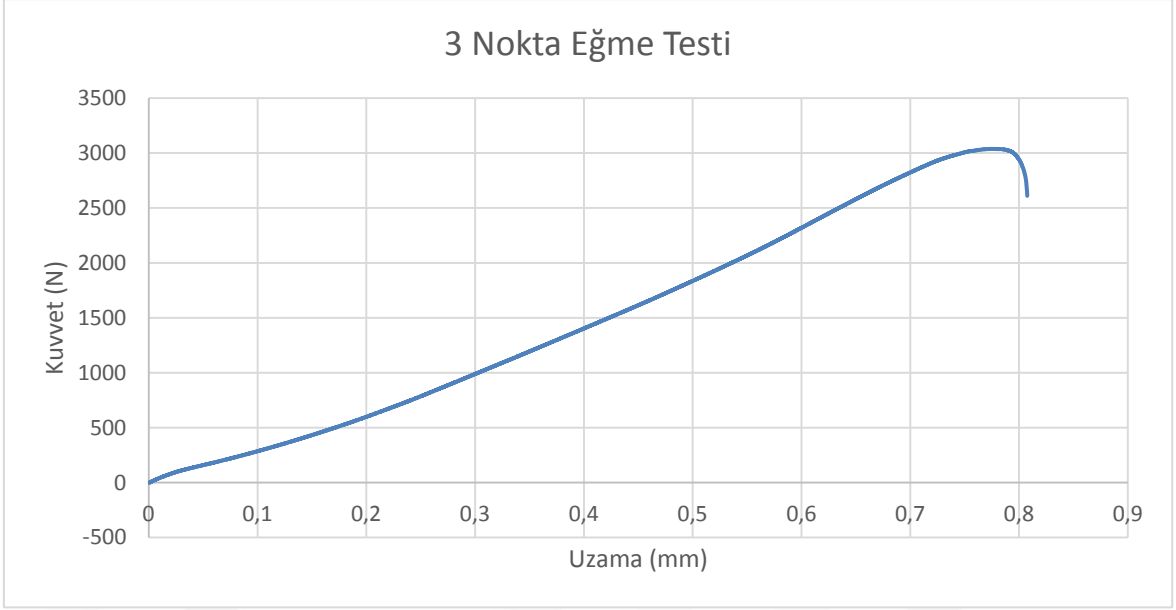
Lif miktarının artmasına bağlı olarak kopma kuvveti ve maksimum kuvvette kayda değer bir artış meydana gelmiştir.



Parametreler	Değerler
Max Kuvvet (N)	4132,00
Max Gerilme (N/mm ²)	11,6213
Max Uzama (mm)	1,18140
Kopma Kuvveti (N)	3610,87
Kopma Gerilmesi (N/mm ²)	10,1556
Kopma Uzaması (mm)	1,20373

Şekil 4.9: % 1 Bazalt + % 1 Cam elyaf lif içeren numuneye ait eğilme dayanımı grafiği

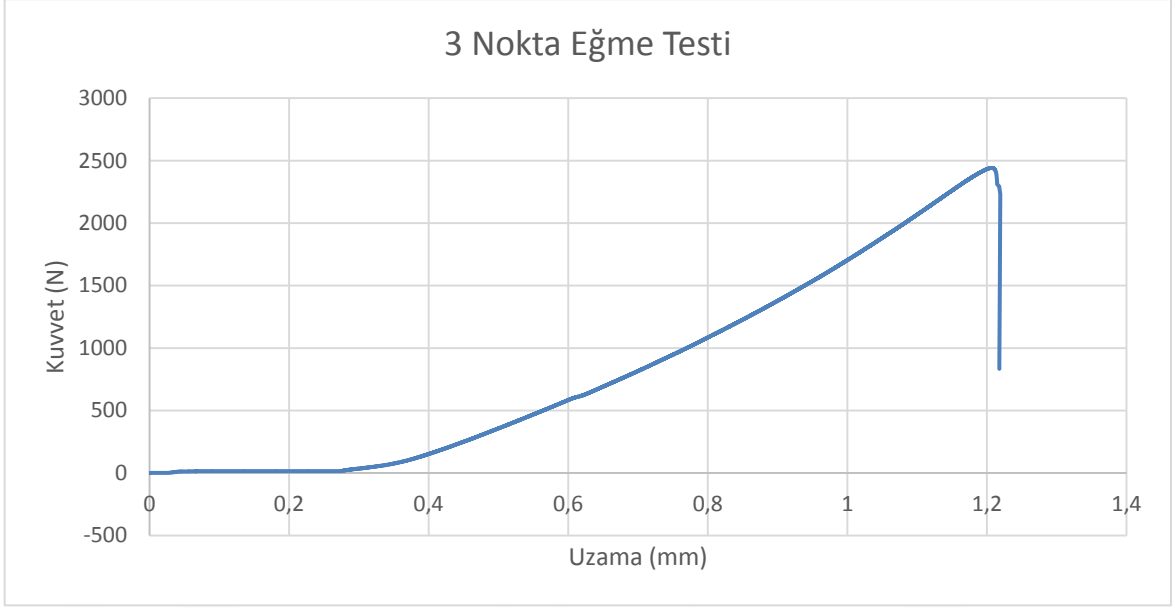
Lif miktarında artış olmasına rağmen maksimum kuvvette kayda değer bir artış meydana gelmemiştir, ancak kopma aniden gerçekleşmemiş ve kopma kuvveti artmıştır.



Parametreler	Değerler
Max Kuvvet (N)	3037,70
Max Gerilme (N/mm ²)	8,54352
Max Uzama (mm)	0,77470
Kopma Kuvveti (N)	2715,59
Kopma Gerilmesi (N/mm ²)	7,63761
Kopma Uzaması (mm)	0,80680

Şekil 4.10: % 0,50 Bazalt + % 0,50 Kenevir lif içeren numuneye ait eğilme dayanımı grafiği

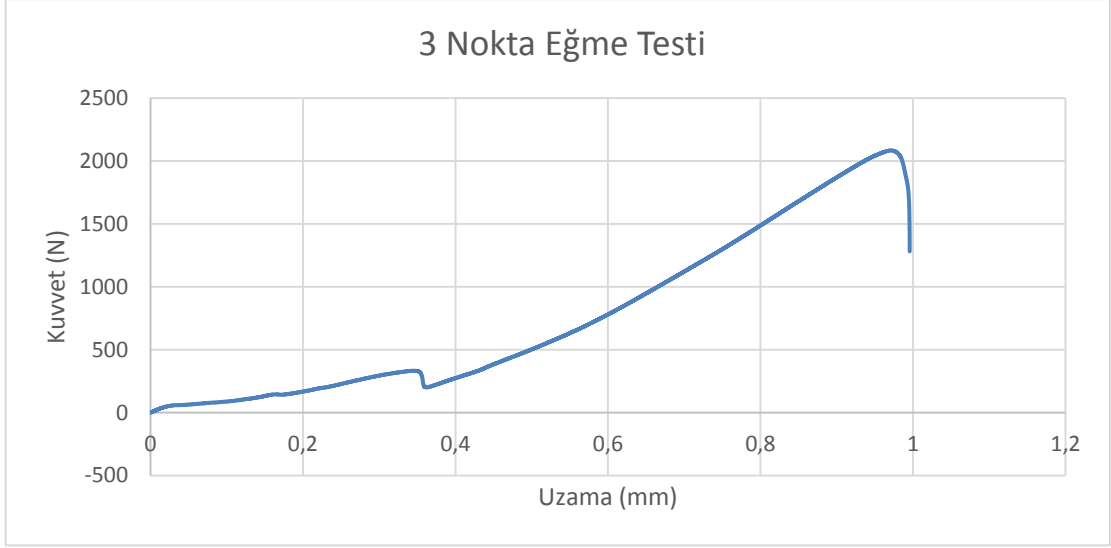
Kenevir + Bazalt karışım grubundaki en iyi değerler hacimce toplam %1 lif içeren numune grubunda meydana gelmiştir



Parametreler	Değerler
Max Kuvvet (N)	2441,14
Max Gerilme (N/mm ²)	6,86572
Max Uzama (mm)	1,20733
Kopma Kuvveti (N)	2352,04
Kopma Gerilmesi (N/mm ²)	6,61511
Kopma Uzaması (mm)	1,21417

Şekil 4.11 : % 0,75 Bazalt + % 0,75 Kenevir lif içeren numuneye ait eğilme dayanımı grafiği

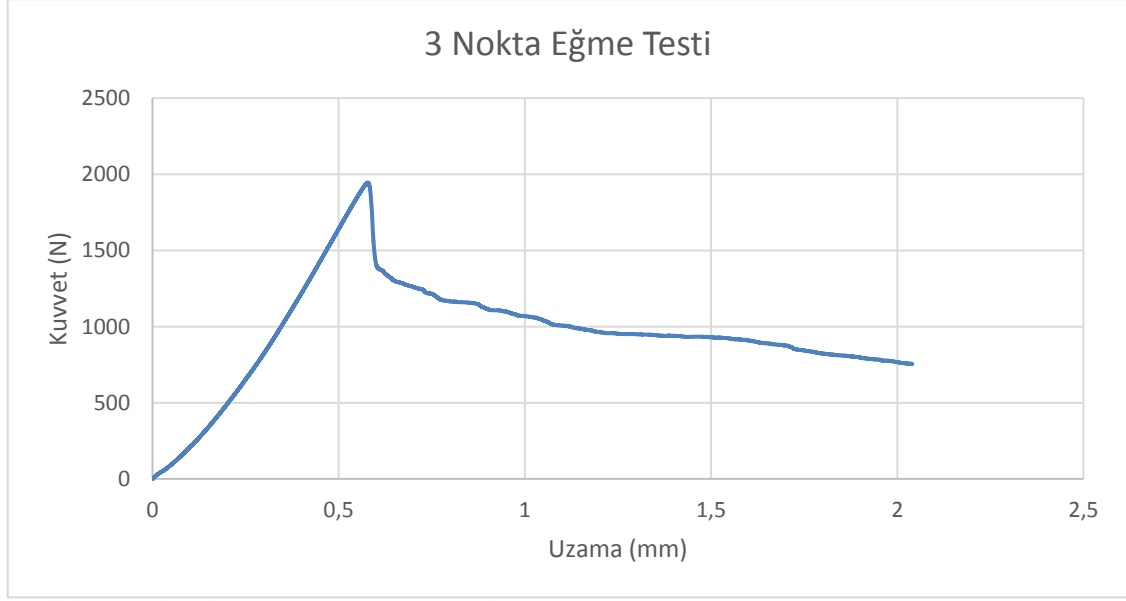
Hacimce toplam % 1,5 lif içeren numunelerin maksimum kuvvet kendi grubu içinde iyi olmasına rağmen ani kopma göstermiş ve kopma kuvveti azalmıştır.



Parametreler	Değerler
Max Kuvvet (N)	2084,83
Max Gerilme (N/mm ²)	5,86359
Max Uzama (mm)	0,97080
Kopma Kuvveti (N)	1762,23
Kopma Gerilmesi (N/mm ²)	4,95626
Kopma Uzaması (mm)	0,99363

Şekil 4.12: % 1 Bazalt + % 1 Kenevir lif içeren numuneye ait eğilme dayanımı grafiği

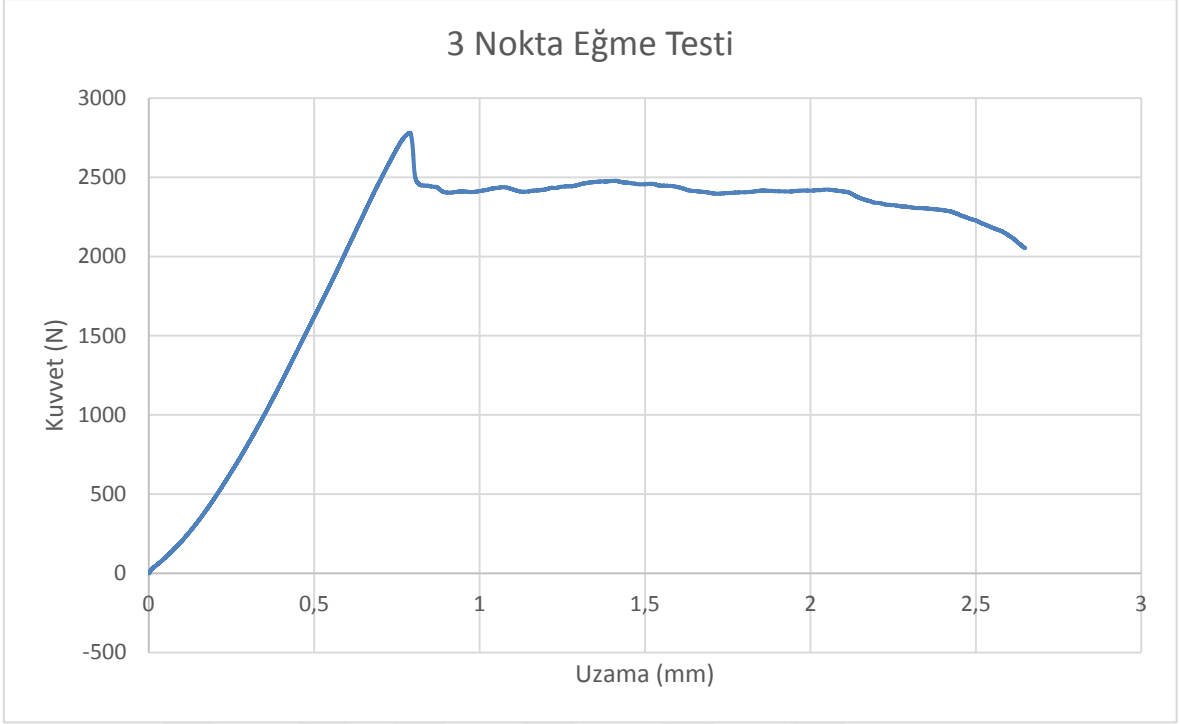
Lif miktarındaki artışa bağlı olarak maksimum kuvvet azalmıştır. Bunda liflerin topaklanması ve özellikle kenevirin alkali çözeltilerin karışmasını engellediği sonucuna varabiliriz.



Parametreler	Değerler
Max Kuvvet (N)	1946,26
Max Gerilme (N/mm ²)	5,47386
Max Uzama (mm)	0,57907
Kopma Kuvveti (N)	-
Kopma Gerilmesi (N/mm ²)	-
Kopma Uzaması (mm)	-

Şekil 4.13: % 1 Çelik lif içeren numuneye ait eğilme dayanımı grafiği

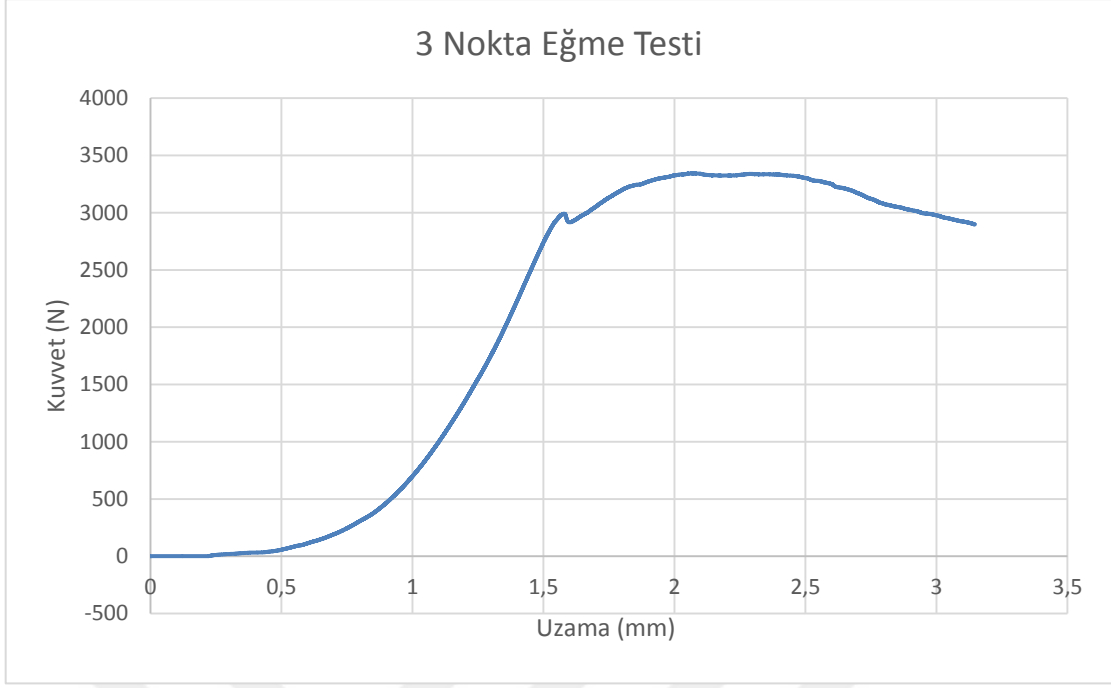
Lif miktarının az olmasına bağlı olarak diğerlerine kıyasla daha düşük değerlere sahip lif içeriği içeren gruptur.



Parametreler	Değerler
Max Kuvvet (N)	3077,87
Max Gerilme (N/mm ²)	8,65652
Max Uzama (mm)	1,41290
Kopma Kuvveti (N)	-
Kopma Gerilmesi (N/mm ²)	-
Kopma Uzaması (mm)	-

Şekil 4.14: % 1,5 Çelik lif içeren numuneye ait eğilme dayanımı grafiği

Beklenildiği üzere lif miktarındaki artışa bağlı olarak değerlerde olumlu yönde bir gelişim meydana gelmiştir.



Parametreler	Değerler
Max Kuvvet (N)	3343,61
Max Gerilme (N/mm ²)	9,40391
Max Uzama (mm)	2,06947
Kopma Kuvveti (N)	-
Kopma Gerilmesi (N/mm ²)	-
Kopma Uzaması (mm)	-

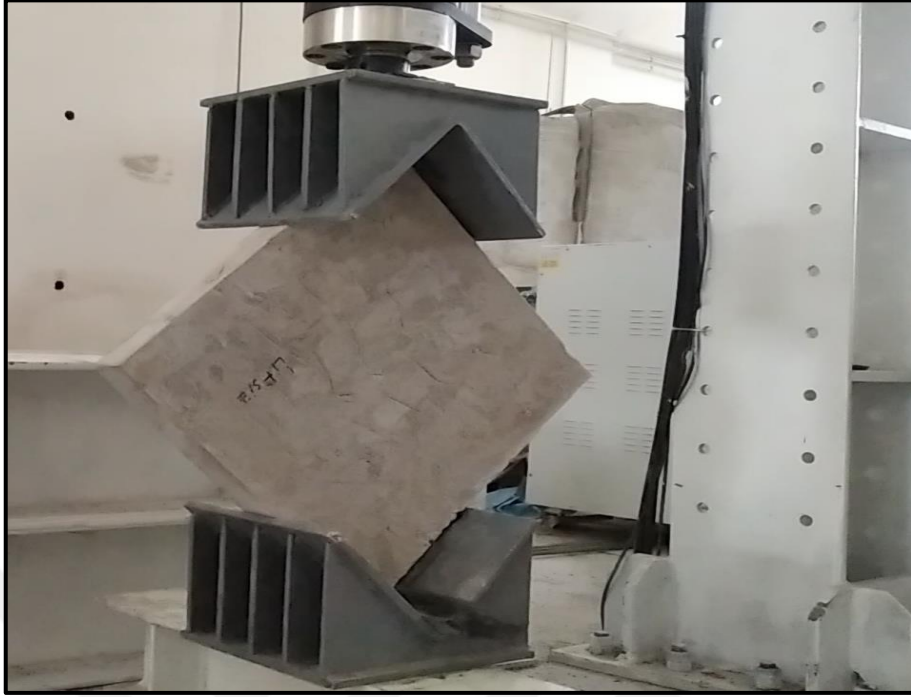
Şekil 4.15: % 2 Çelik lif içeren numuneye ait eğilme dayanımı grafiği

Lif miktarındaki artışa bağlı olarak maksimum gerilmede artış olmasına rağmen döküm aşamasında lif miktarına bağlı olarak topaklanma , karışımın homojen yayılmaması, işlenebilirlikte artış gibi sorunlar meydana gelmiştir.

4.2 Plakların Diagonal Yükleme Deney Düzenegi

Diagonal yük testi düzenegini (Şekil 4.35), (Şekil 4.36) hazırladıktan sonra deneye başlanmıştır. Her bir plak örneğini yükleme başlığına yerleştirdikten sonra, 'Yükleme düzeneginin hazırlanması' bölümünde açıklandığı gibi, tahtaya monte edilmiş bir deplasman ölçer kullanılarak deplasman ölçüsü yerleştirmesi yapıldı. Yükleme başlığı sisteme yerleştirildikten sonra, yükleme başlığı ve deplasman ölçerin deney için hazır olduğunu doğrulamak için bir bilgisayar kullanıldı.

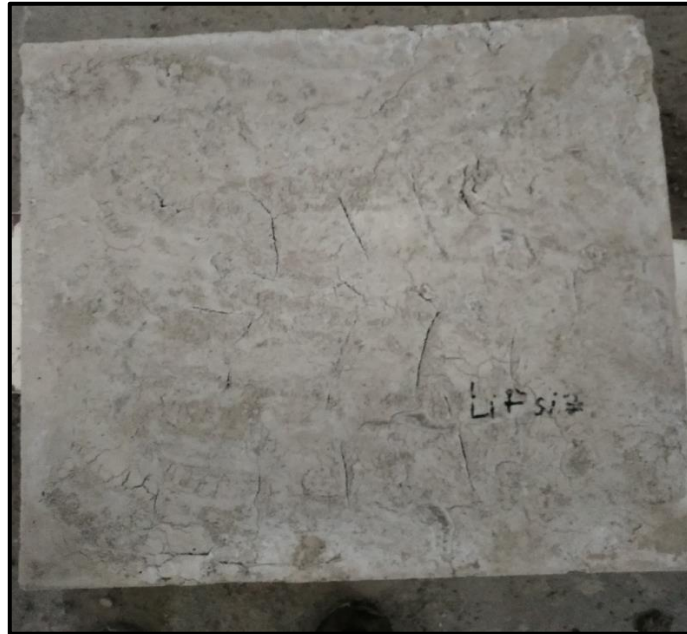
4.2.1 Lifsiz plağa ait veriler



Şekil 4.16: Lifsiz plağın düzeneğe yerleştirilmesi

Lifsiz plak numunenin Şekil 4.16’da diagonal yükleme deneyine ait görseller aşağıda verilmiştir.

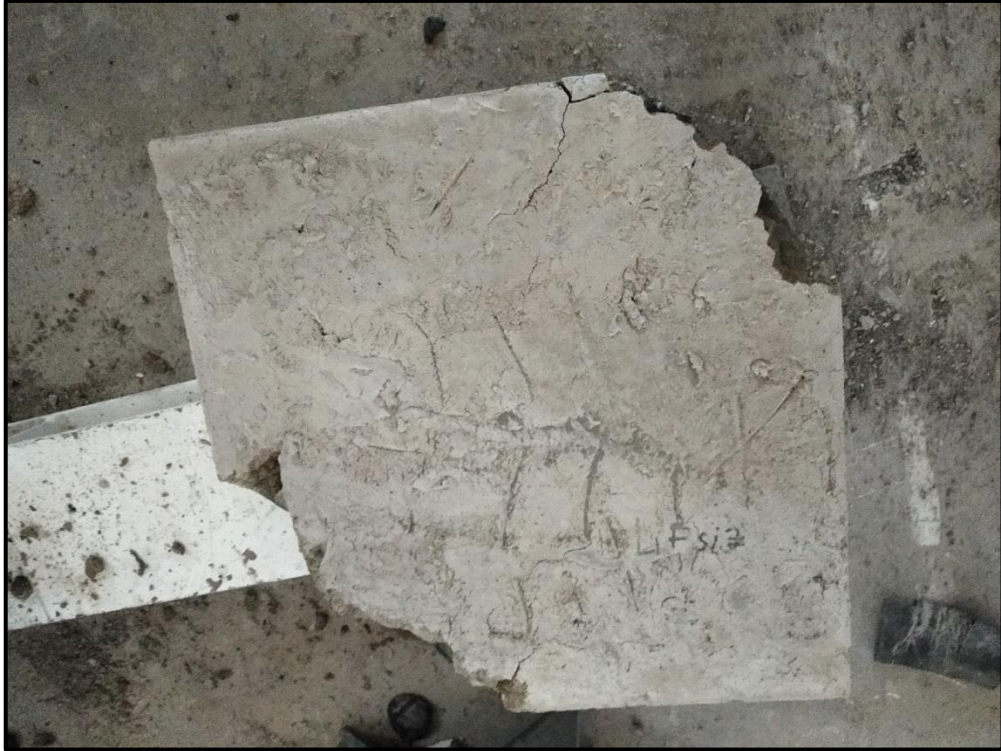
Bu kapsamda; lifsiz plağın düzeneğe yerleştirilmesi, kırım yapılmadan önceki hali, kırılmaya başladığı an ve kırıldıktan sonraki hali genelleştirilmiştir.



Şekil 4.17: Lifsiz plağın kırım yapılmadan önceki hali



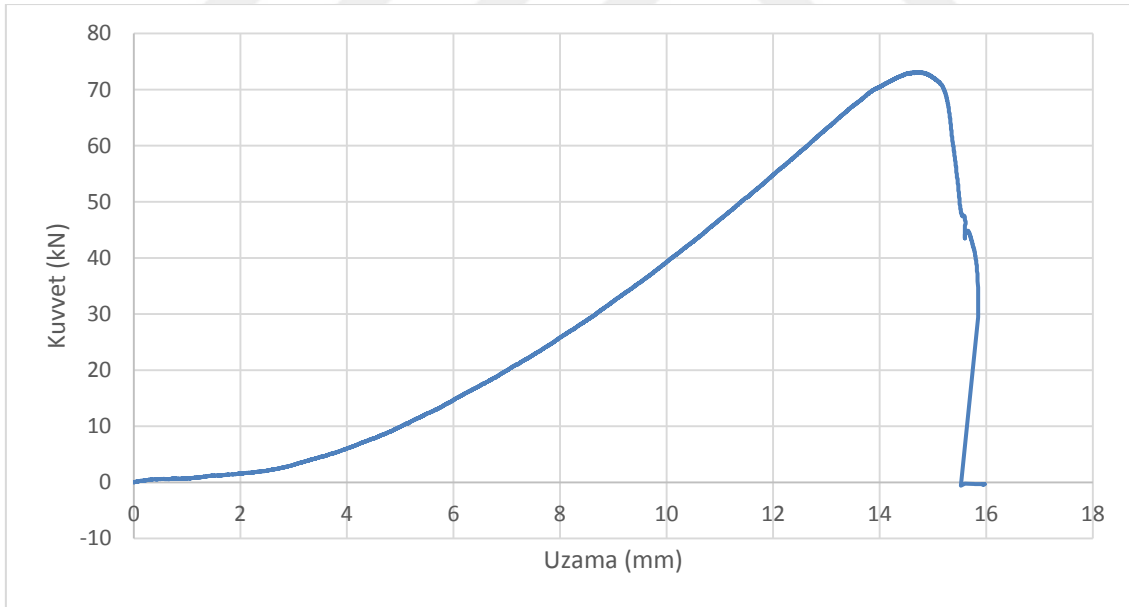
Şekil 4.18: Lifsiz plağın kırılmaya başladığı an





Şekil 4.19: Lifsiz numunenin kırıldıktan sonraki hali

Şekil 4.20’de Lifsiz plağın eğilme deneyi sonucundaki grafiği ölçülmüştür ve yükleme taşıma kapasitesi ile deplasman davranışı şeklinde sunulmuştur.



Şekil 4.20: Lifsiz plağa ait yük/uzama grafiği

4.2.2 Hacimce % 0,75 bazalt + % 0,75 cam Elyaf lif içeren plağa ait numune

Hacimce % 0,75 bazalt + % 0,75 cam elyaf lif içeren plak numunenin eğilme deneyine ait görseller Şekil 4.21-Şekil 4.23’de verilmiştir. Bu kapsamda; hacimce % 0,75 bazalt + %

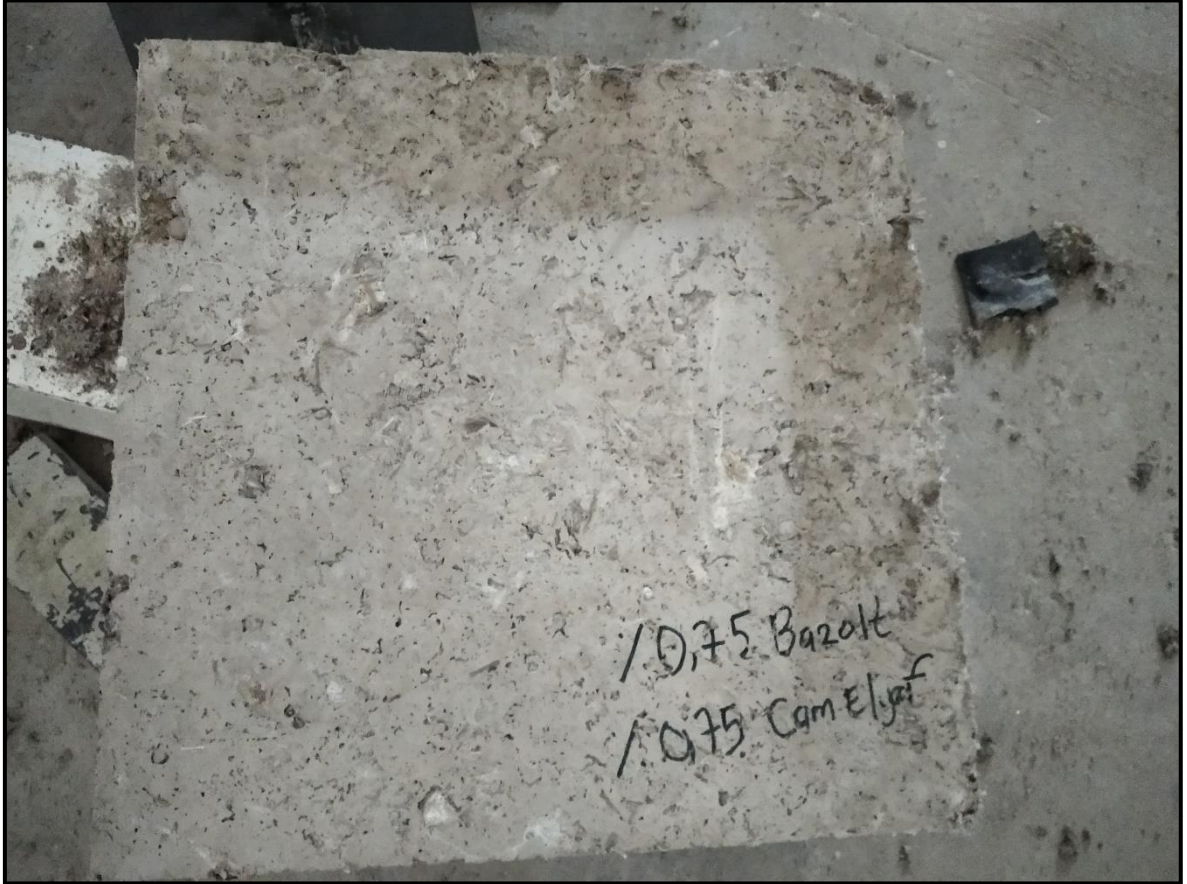
0,75 cam elyaf lif içeren plağın kırım yapılmadan önceki hali, kırılmaya başladığı an ve kırıldıktan sonraki hali genelleştirilmiştir.



Şekil 4.21: Hacimce % 0,75 Bazalt + % 0,75 Cam Elyaf lif içeren plağın kırımdan önceki hali

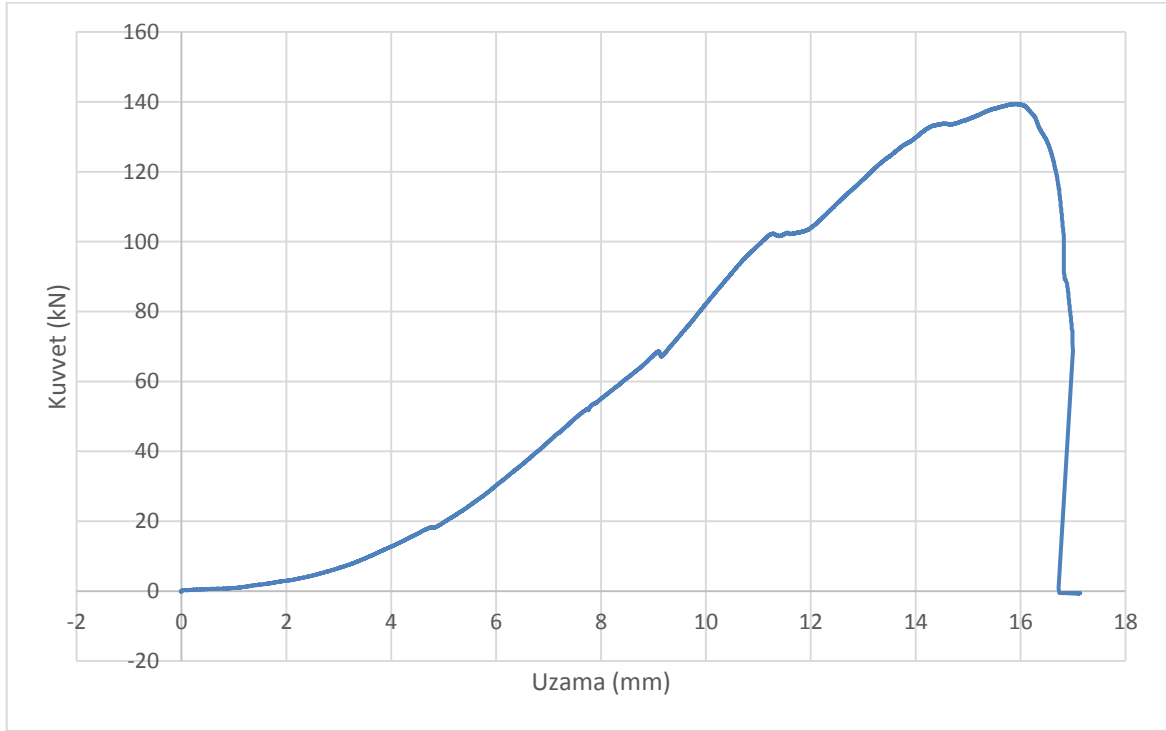


Şekil 4.22: Hacimce % 0,75 Bazalt + % 0,75 Cam Elyaf lif içeren plağın kırılmaya başladığı an



Şekil 4.23: Hacimce % 0,75 Bazalt + % 0,75 Cam Elyaf lif içeren plağın kırılmaya başladığı an

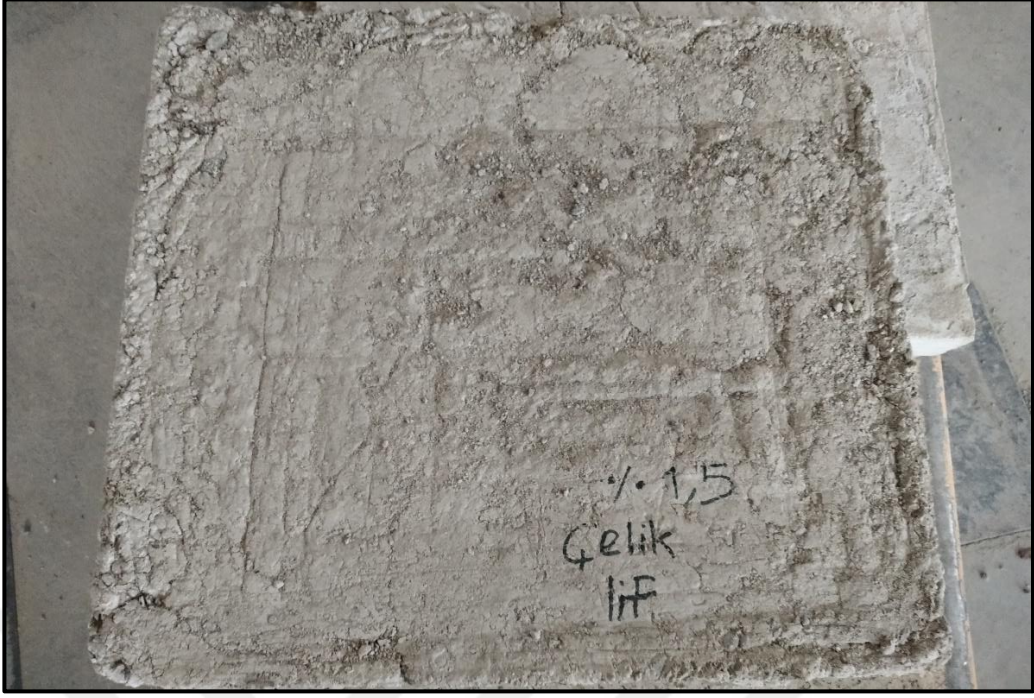
Şekil 4.24’de, Bazalt ve cam elyaf içeren plağın eğilme deneyi sonucundaki grafiği ölçülmüştür. Yükleme taşıma kapasitesi ile deplasman davranışı şekilde sunulmuştur.



Şekil 4.24: Hacimce % 0,75 Bazalt + % 0,75 Cam Elyaf lif içeren plağa ait yük/uzama grafiği

4.2.3 Hacimce % 1,5 çelik lif içeren plağa ait numune

Hacimce %1,5 çelik lif içeren plak numunenin eğilme deneyine ait görseller Şekil 4.25-Şekil 4.27’de verilmiştir. Bu kapsamda; hacimce %1,5 çelik lif içeren plağın kırım yapılmadan önceki hali, kırılmaya başladığı an ve kırıldıktan sonraki hali geliştirilmiştir.



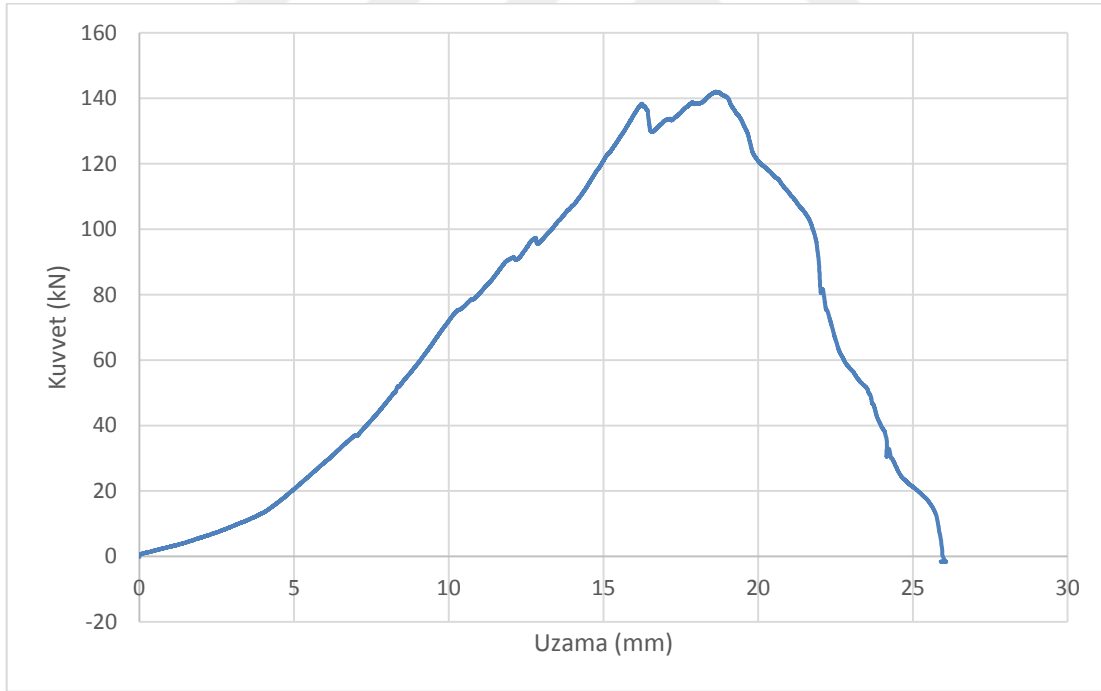
Şekil 4. 25: Hacimce % 1,5 Çelik lif içeren plağın kırılmadan önceki hali



Şekil 4.26: Hacimce % 1,5 Çelik lif içeren plağın kırılmaya başladığı an



Şekil 4.27: Hacimce % 1,5 Çelik lif içeren numunenin kırıldıktan sonraki hali



Şekil 4.28: Hacimce % 1,5 Çelik lif içeren plağa ait yük/uzama grafiği

Şekil 4.28'de, %1,5 çelik lif içeren plağın eğilme deneyi sonucundaki grafiği ölçülmüştür ve yükleme taşıma kapasitesi ile deplasman davranışı şekilde sunulmuştur.

4.2.4 Plakların karşılaştırılması

Plakların eğilme deneyi sonucundaki grafiklerinden yükleme taşıma kapasitesi ve deplasman davranışları gözlenmektedir. Deplasman değerlerine bakacak olursak en efektif deplasman çelik lifte gözlenmiştir. Çelik liflerin düşük uzaması, onları yüksek ve düzgün çekme gerilimlerine rağmen yer değiştirmeye uygun hale getirir. Bazalt Cam elyaf karışımına bakacak olursak çelik lifle eşit taşıma kapasitesine ulaşmasına rağmen çelik lif kadar efektif deplasman davranışı gösterememiştir. Lifsiz numune ise hem deplasman değerleri, hem de taşıma kapasitesi değerlendirildiğinde belirgin ölçüde diğerlerinin gerisinde kalmıştır. Söz konusu durum yapı altında aşırı derecede deplasman gerektirecek durumlar değilse eğer bazalt cam elyaf karışımı taşıma kapasitesi açısından çelik lif parametreleri ile aynı olduğundan dolayı alternatif olarak ekonomik nedenlerden dolayı tercih edilebilmektedir.

5.SONUÇ

Bu çalışmada, çelik lif takviyeli , bazalt + camelyaf lif takviyeli ve Lifsiz geopolimer betondan üretilmiş plak elemanlar üretilmiştir. Lif etkisinin mekanik özelliklere etkisi ve çelik life alternatif bir malzeme araştırılmıştır. Bu amaçla, büyük ölçekli olarak üretilmiş geopolimer plak numuneleri diagonal yüklemeye maruz bırakılarak test edilmiştir. Deneylelerden elde edilen test sonuçları, grafiklerle analiz edilerek , karşılaştırılmış ve böylece geopolimer plakların kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Deneysel sonuçlardan ve analitik hesaplamalardan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir;

- Deneysel çalışma kapsamında yapılan mekanik özelliklere ait test sonuçlarından, karışımlara kenevir lif takviye edilmesinin , karışımdaki alkali çözeltiyi hızlıca emmesinden dolayı basınç ve eğilme dayanımlarında, işlenebilirlikte , beton kıvamında olumsuz bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur.
- Deneysel çalışmadaki karışımlara düz ve kısa mikro çelik liflerin takviye edilmesinin basınç ve eğilme dayanımlarında, olumlu bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Ancak hacimce toplam %1,5 ve %2 çelik lif içeren karışımlar kıyaslandığında %2 çelik lif içeren karışım işlenebilirlik ve homojenlik açısından olumsuz bir davranış göstermiştir. Plakların eğilme deneyi sonucundaki deplasman değerlerine bakacak olursak en efektif deplasman davranışı çelik lifte gözlenmiştir. Çelik lif göstermiş olduğu özellikler açısından deplasman göstermeye uygun niteliktedir. Buna bağlı olarak en yüksek deplasman değeri çelik lifte çıkmıştır.
- Bazalt Cam elyaf karışımına bakacak olursak çelik lifle eşit taşıma kapasitesine ulaşmasına rağmen çelik lif kadar deplasman gösterememiştir. Lifsiz numune ise hem deplasman ölçütleri, hem de taşıma kapasitesi değerlendirildiğinde belirgin ölçüde diğerlerinin gerisinde kalmıştır.Söz konusu durum yapı altında aşırı derecede deplasman gerektirecek durumlar değilse eğer bazalt cam elyaf karışımı taşımakapasitesi açısından çelik lif parametreleri ie aynı olduğundan dolayı alternatif olarak ekonomik nedenlerden dolayı tercih edilebilmektedir.

- Çalışmadan elde edilen sonuçlardan, bazalt ve cam elyaf lif takviyeli geopolimer betondan üretilmiş plakların çelik lif takviyeli plağa önemli bir alternatif olacağı düşünülmektedir.



KAYNAKÇA

- [1] **Zakka, W. P., Lim, N. H. A. S., ve Khun, M. C. (2020).** A scientometric review of geopolymer concrete. *Journal of Cleaner Production*, 124353.
- [2] **Suhendro, B. (2014).** Toward green concrete for better sustainable environment. *Procedia Engineering*, 95, 305-320.
- [3] **Komnitsas, K., Zaharaki, D., & Perdikatsis, V. (2009).** Effect of synthesis parameters on the compressive strength of low-calcium ferronickel slag inorganic polymers. *Journal of Hazardous Materials*, 161(2-3), 760-768.
- [4] **Açıkğöz A. (2015).** Alkalilerle Aktive Edilmiş Yüksek Fırın Cürufllu Betonların Hidratasyon Sıcaklığının Araştırılması. Yüksek lisans tezi, Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde.
- [5] **McCaffrey, R., 2002.** Climate Change and the Cement Industry. *GCL Magazine*
- [6] **Davidovits, J., 2011.** Geopolymer Chemistry and Applications. 3. dü. Saint-Quentin: Institut Géopolymère
- [7] **Singh, B., Ishwarya, G., Gupta, M., Bhattacharyya, S.K., (2015).** Geopolymer concrete: A review of some recent developments. *Construction and Building Materials*, 85, 78-90.
- [8] **Weerdt, K. D., 2011.** Geopolymers – State of the art, Oslo : SINTEF Building and Infrastructure.
- [9] **Ng, C., Alengaram, U. J., Wong, L. S., Mo, K. H., Jumaat, M. Z., ve Ramesh, S. (2018).** A review on microstructural study and compressive strength of geopolymer mortar, paste and concrete. *Construction and Building Materials*, 186, 550-576. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.075>
- [10] **Singh, N. B., Saxena, S. K., Kumar, M., ve Rai, S. (2019).** Geopolymer cement: Synthesis, characterization, properties and applications. *Materials Today: Proceedings*, 15, 364-370.
- [11] **Ganesh, C. A., ve Muthukannan, M. (2018).** A review of recent developments in geopolymer concrete. *International Journal of Engineering ve Technology*, 7(4.5), 696. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.5.25061>

- [12] **Ren, D., Yan, C., Duan, P., Zhang, Z., Li, L., Yan, Z. (2017).** Durability performances of wollastonite, tremolite and basalt fiber-reinforced metakaolin geopolymer composites under sulfate and chloride attack. *Construction and Building Materials*, 134, 56-66.
- [13] **Li Z., Ding Z., Zhang Y. (2004).** Development of sustainable cementitious materials (pp:55-76). *Proceedings of International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology*, Beijing, China.
- [14] **Davidovits J., (2008),** *Geopolymer Chemistry and applications*, Saint Quantin, France
- [15] **Maraş M. (2013).** Elazığ ferrokrom cürufundan üretilen geopolimer çimentolu betonların sülfat direncinin araştırılması. Yüksek lisans tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya.
- [16] **Davidovits J. (2002),** 30 Years of Successes and Failures in Geopolymer Applications. *Market Trends and Potential Breakthroughs* (pp:28-29). *Geopolymer 2002 Conference*, October, Melbourne.
- [17] **Rangan, B.V. (2008).** Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. Research report, Curtin University of Technology, Perth.
- [18] **Topçu İ.B, Toprak M.U., (2009).** Alkalilerle aktive edilen taban küllü hafif harç üretimi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt:XXII, Sayı:2.
- [19] **Singh, N., & Middendorf, B. (2020).** Geopolymers as an alternative to Portland cement: An overview. *Construction and Building Materials*, 237, 117455.
- [20] **Singh, N.B., 2018.** Foam geopolymer concrete. *Material Today: Proceeding*, 5(2018), 15243-15252.
- [21] **Provis, J.L. and J.S.J. van Deventer.(2009).** “Geopolymers: Structure, processing, properties and industrial applications” Woodhead Cambridge, UK.
- [22] **Ma, C. K., Awang, A. Z., & Omar, W. (2018).** Structural and material performance of geopolymer concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 186, 90–102. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.111>

- [23] **Chowdhury, S., Mohapatra, S., Gaur, A., Dwivedi, G., & Soni, A. (2020).** Study of various properties of geopolymer concrete - A review. *Materials Today: Proceedings*, 46, 5687–5695. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.835>
- [24] **Thamilselvi, P., Siva, A., ve Oyejobi, D. (2017).** Geopolymer concrete: Overview. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, 8(6), 10-14
- [25] **Rangan, B. V. (2014).** Geopolymer Concrete for Environmental Protection. *The Indian Concrete Journal*, 88(4), 41–59.
- [26] **Oyebisi, S. O., Ede, A., Olutoge, F. A., Ofuyatan, O., & Alayande, T. (2019).** Building a Sustainable World: Economy Index of Geopolymer Concrete. *ISEC 2019 - 10th International Structural Engineering and Construction Conference*, June.
- [27] **Yao, X., Zhang, Z., Zhu, H., & Chen, Y. (2009).** Geopolymerization Process of AlkaliMetakaolinite Characterized by Isothermal Calorimetry. *Thermochimica Acta*, 493(1– 2), 49–54. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2009.04.002>
- [28] **Vickers, L., Riessen, A. van, & Rickard, W. (2015).** Fire-Resistant Geopolymers: Role of Fibres and Fillers to Enhance Thermal Properties. In *SpringerBriefs in Materials*.
- [29] **Uğurlu, S. (2015).** Yeni Nesil Yüksek Fırın Cürüflü CEM III B-C Tipli Çimentoların Yüksek Sülfatlı Ortamlarda Performansı (Uzmanlık Tezi). İller Bankası Anonim Şirketi.
- [30] **Engin, Y. (2015).** Yüksek Fırın Cürufu & Yüksek Fırın Cürüflü Çimento Üretimi Özellikleri Etkileri, 1-20. <https://www.betonvecimento.com>
- [31] **Bilim, C. (2006).** Yüksek fırın cürufu katkısının çimento tabanlı malzemelerde kullanılabilirliği [Doktora tezi]. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [32] **Emiroğlu, M., Koçak, Y., ve Subaşı, S. (2011).** Yüksek Fırın Cürufunun Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 1, 113-117.

- [33] **Newman, J., Choo, B. S., 2003.** Advanced Concrete Technology. Constituent Materials, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- [34] **Onat, O. B., 1998.** Türkiye’de Üretilen Yüksek Fırın Cüruflarının Çimento Özelliklerine Etkisi. (Y. Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [35] **Douglas, E and Zebino, R. (1986).** “Characterisation of Granulated and Pelletized Blast- furnace Slag” Cement and Concrete Research, retrieved from <http://www.sciencedirect.com>, 16, 662–670.
- [36] **Cook, DJ. Hinczak, I. and Cao, HT. (1987).** “Heat of Hydration, Strength, and Morphological Development in Blast-furnace/Cement Blends” International Workshop on Granulated Blast-Furnace Slag in Concrete, Toronto, Canada.
- [37] **Mathapati, P., Babu, R., and Aswath, M.U. (2016).** An Experimental Investigation on Behaviour of Geo-Polymer Concrete Slab With Fly-Ash& GGBS Under Ambient Curing, International Journal of Research in Engineering and Technology, 5(7), 165-171
- [38] **Nehemiya, K., and Rao, T.C. (2016).** Experimental Investigation on Studying The Flexural Behaviour Of Geopolymer Concrete Slabs Under Fixed Boundary Condition, International Journal of Research in Engineering and Technology, 5(2), 133-141.
- [39] **Özdemir Y. I. ve Ayvaz Y., 2007.** Shear Locking-Free Analysis of Thick Plates Using Mindlin’s Theory (accepted for publication), Structural Engineering and Mechanics, 311-332. Özdemir. Y.I., 2007. Deprem Etkisindeki Kalın Plakların Mindlin Teorisi Kullanılarak Parametrik Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-164.
- [40] **Sarı M, (2013),** Farklı Tipteki Liflerin Betonun Mekanik Davranışına Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [41] **Onochie K K, Balkis A P, 2021,** Polypropylene Fiber Reinforced Alker as a Structurally Stable and Sustainable Building Material. Journal of Cleaner Production, 279,123600.

- [42] **Mahir F I, Keya K N, Sarker B, Nahiun K M, Khan R A, 2019**, A Brief Review on Natural Fiber Used as a Replacement of Synthetic Fiber in Polymer Composites. *Materials Engineering Research*, 1, 88–99.
- [43] **Topçu İ B, Demirel O E, Uygunoğlu T, 2017**, Polipropilen Lif Katkılı Harçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri. *Journal of Polytechnic*, 20, 91–96.
- [44] **Akkaş A, Alpaslan L, Arabaci S, Başığit C, 2010**, Polipropilen Lif Katkılı Yarı Hafif Betonların Basınç Dayanımı Özellikleri. *SDU International Technologic Science*, 2, 9–14.
- [45] **Hussin K A, 2018**, Cam Elyaf, Bazalt Elyaf ve Çelik Elyaf Tel ile Takviyelendirilmiş Beton Blokların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 59s, Kayseri.
- [46] **Aksoy D. ve ark**, Endüstriyel Kenevir Gerçeği, 2. Uluslararası 19 Mayıs Yenilikçi Bilimsel Yaklaşımlar Kongresi, Samsun, 850-858, 27-29 Aralık, 2019.
- [47] **Gedik, G., Avinç, O. O., Yavaş, A.**, Kenevir Lifinin Özellikleri ve Tekstil Endüstrisinde Kullanımıyla Sağladığı Avantajlar. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(3), 39-48, 2010
- [48] **Acar, M., Dönmez, A.**, Kenevire Farklı Bir Bakış. 2. Ulusal Biyoyakıtlar Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 27-30 Eylül, 2016, Samsun, Türkiye, 265-270, 2016.
- [49] **Aksoy D. ve ark**, Endüstriyel Kenevir Gerçeği, 2. Uluslararası 19 Mayıs Yenilikçi Bilimsel Yaklaşımlar Kongresi, Samsun, 850-858, 27-29 Aralık, 2019.
- [50] **Göre, M. ve Kurt, O. (2020)**. Bitkisel Üretimde Yeni Bir Trend: Kenevir. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*. Cilt: 4, Sayı: 1. (s138-157).
- [51] **Ulaş, E.**, Gerçek Köye Dönüş Projesi: Kenevir. Hatice Bahtiyar (Editör), Hiperlink Yayınları, İstanbul, 2018.
- [52] **Gedik, G., Avinç, O. O., Yavaş, A.**, Kenevir Lifinin Özellikleri ve Tekstil Endüstrisinde Kullanımıyla Sağladığı Avantajlar. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(3), 39-48, 2010.

- [53] **Ross, A., 2006.** Basalt fibers: Alternative to glass. *Composites Technology*, 12(4), 44–48.
- [54] **Abbas, U., 2013.** Materials Development of Steel and Basalt Fiber-Reinforced Concretes. MS Thesis, Norwegian University of Science and Technology Department of Structural Engineering, Trondheim, Norway.
- [55] **Ünsal, N., 2006.** İnşaat Mühendisleri İçin Jeoloji. Alp Yayınevi, 376 s, Ankara.
- [56] **Vincent, G.J., Rao, R.S., and Gangadhar, Y., 2019.** Basalt Rock Fibre on Mechanical Properties of M30 Grade Concrete-An Experimental Study. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 6(5), 837-841
- [57] **Arivalagan, S., 2012.** Study on the Compressive and Split Tensile Strength Properties of Basalt Fibre Concrete Members. *Global Journal Of Research In Engineering*, 12(4), 22-28.
- [58] **Ramakrishnan, V., Tolmare, N.S., and Brick, V.B., 1998.** Performance Evaluation of 3-D Basalt Fiber Reinforced Concrete and Basalt Rod Reinforced Concrete. NCHRP-IDEA Program Project Final Report, Madison, USA.
- [59] **Deák, T. and Czigány, T., 2009.** Chemical Composition and Mechanical Properties of Basalt and Glass Fibers: A Comparison. *Textile Research Journal*, 79(7), 645–651.
- [60] **Şen, E.G. (2022).** Polipropilen/Üzüm Sapı/Çeltik Polimer Kompozitinin Özelliklerinin Atık Cam Elyaf İle Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [61] **Chawla, K.K. (1998)** *Composite Materials: Science and Engineering*. Springer-Verlag, New York, 380-404. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4757-2966-5>.
- [62] **Ersoy Y.H., (2001).** *Kompozit Malzeme*, 1.basım, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- [63] **Korku, M. (2021).** Cam Elyaf Takviyeli Polyester Kompozit Malzemelerin Farklı Çevresel Koşullardaki Aşınma Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

- [64] **Artykbaeva, E. (2022).** Cam Elyaf Takviyeli PA6/PA12 ve PA6/PA610 Karışımlarının Hazırlanması ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Kocaeli.
- [65] **Şahin, Y. (2000).** Kompozit malzemelere giriş, Ankara, Türkiye: Gazi Kitabevi.
- [66] **Topaloğlu, K. (2021).** Öğütülmüş Cam Elyaf Takviyeli Beton (GRC) Atıklarının Tekrar Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- [67] **Chawla, K.K. (1998)** Composite Materials: Science and Engineering. Springer-Verlag, New York, 380-404. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4757-2966-5>.
- [68] **Sathishkumar, T., Satheeshkumar, S. ve Naveen, J. (2014).** Glass Fiber-Reinforced Polymer Composites – A Review. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 33(13), 1258–1275
- [69] **Bondaletova L.I. (2013).** Polymer Composite Materials (Part 1) (1st ed.). Tomsk: Tomsk Polytechnic University Publishing House.
- [70] **Wallenberger F.T. (1999).** Structural Silicate and Texturizing Silica Glass Fibers, Advanced Inorganic Fibers Processes, Structures, Properties, Applications, 1st. ed., Kluwer Academic Publishers, Berlin.
- [71] **İlhan, R. (2018).** Cam Elyaf Takviyeli Polyester Kompozit Malzemelerin Tribolojik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [72] **Abbas, U., 2013.** Materials Development of Steel and Basalt Fiber-Reinforced Concretes. MS Thesis, Norwegian University of Science and Technology Department of Structural Engineering, Trondheim, Norway.
- [73] **Ersoy, H.Y., 2001.** Kompozit Malzeme. Literatür Yayınları, 227 s, İstanbul.
- [74] **Uğurlu, A., 1994.** Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Yayın No: MLZ-878, Ankara.
- [75] **Shaikh, F. U. A., 2013.** Review of mechanical properties of short fibre reinforced geopolymer composites. Construction and Building Materials, Cilt 43, pp. 37-49.

- [76] **Al-mashhadani, M. M. ve diğeri, 2018.** Mechanical and microstructural characterization of fiber reinforced fly ash based geopolymer composites. *Construction and Building Materials*, Cilt 167, pp. 505-513
- [77] **Ranjbar, N. ve diğeri, 2016.** Mechanisms of interfacial bond in steel and polypropylene fiber reinforced geopolymer composites. *Composites Science and Technology*, Cilt 122, pp. 73-81.
- [78] **Bernal, S., Gutierrez, R. D., Delvesto, S. & Rodriguez, E., 2010.** Performance of an alkaliactivated slag concrete reinforced with steel fibers. *Construction and Building Materials*, Cilt 24, pp. 208-214.
- [79] **Guo, X. & Pan, X., 2018.** Mechanical properties and mechanisms of fiber reinforced fly ash– steel slag based geopolymer mortar. *Construction and Building Materials*, Cilt 179, pp. 633- 641.
- [80] **Albitar, M., Ali, M. M., Visintin, P., & Drechsler, M. (2017).** Durability evaluation of geopolymer and conventional concretes. *Construction and Building Materials*, 136, 374-385.
- [81] **Luhar . (2020)** Shaikh, FUA, Luhar, S., Arel, H. Ş., & Luhar, I. (2020). Ultra yüksek performanslı fiber takviyeli betonun performans değerlendirmesi – Bir inceleme. *İnşaat ve Yapı Malzemeleri* , 232 , 117152.
- [82] **Engin Y. (2019).** <http://www.betonvecimento.com/surdurulebilirlik/curuf-el-kitabi> (on-line access on 23 April, 2019).
- [83] **Berktaş. (1992)** Ellis, KV, GH Mortimer ve A. Berktaş. "Basınç etkisi altında biyolojik atık su arıtımı." *Su ve Çevre Dergisi* 6.4 (1992): 468-474.
- [84] **Naaman, A. E. (2003).** Engineered steel fibers with optimal properties for reinforcement of cement composites. *Journal of advanced concrete technology*, 1(3), 241-252.
- [85] **Aydın (2003)** Yazıcı, H., Yardımcı, M. Y., Yiğiter, H., Aydın, S., & Türkel, S. (2010). Mechanical properties of reactive powder concrete containing high volumes of ground granulated blast furnace slag. *Cement and Concrete Composites*, 32(8), 639-648.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad: Gamze CENGİZ

ÖĞRENİM DURUMU:

• **Lisans** : 2020. İnönü Üniversitesi. Mühendislik Fakültesi. İnşaat Mühendisliği

Bölümü

• **Yüksek Lisans** : Halen devam etmekte. İnönü Üniversitesi. İnşaat Mühendisliği

Mekanik Anabilim Dalı Program

MESLEKİ DENEYİM:

• Haziran 2018- Ağustos 2018 İnşaat Mühendisi Malatya Büyükşehir Belediyesi. Fen işleri müdürlüğü