

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

**FARKLI LİF KOMPOZİSYONLARI İLE ÜRETİLEN GEOPOLİMER KİRİŞ
ELEMENLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS

Fulya ATAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yaşar AYAZ

AĞUSTOS 2023

T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI LİF KOMPOZİSYONLARI İLE ÜRETİLEN GEOPOLİMER KİRİŞ
ELEMENLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS

Fulya ATAY
(36203621024)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yaşar AYZ

AĞUSTOS 2023

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgmeden beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Yaşar AYAZ'a,

Tüm hayatım boyunca bugünlere gelmemde ve bu çalışmamı yürütmemde de emeği büyük olan başta annem Selvihan ATAY, babam Hüseyin ATAY olmak üzere kardeşlerime,

Bu çalışmamda sürecin ilerlemesinde katkıda bulunan, zamanını ve yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım İnş.Yük.Müh. Gamze Cengiz'e, İnş.Yük. Müh Erkay Kutlusoy'a ve İnş. Müh.Yakup Coşanoğlu'na,

Tezin uygulama aşamasında vermiş oldukları maddi ve manevi destekten dolayı, İnönü Üniversitesi BAP birimine

en içten teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışmanın literatüre katkıda bulunmasını dilerim.

ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Farklı Lif Kompozisyonları ile Üretilen Geopolimer Kiriş Elemanların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterildiğini belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Fulya ATAY



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 ÖZETİ.....	1
2.1 Geopolimerler	1
2.2 Geopolimer Malzemelerin Kimyasal Yapısı	2
2.3 Alkali Aktivatörler.....	3
2.4 Geopolimer Beton	4
2.5 Geopolimer Betonun Çevresel Faydaları	6
2.6 Geopolimer Betonun Kullanım Alanları	6
2.7 Geopolimer Betonda Kürleme İşlemi.....	7
2.8 Geopolimer Betonun Priz Süresi	7
2.9 Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu	8
2.9.1 Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun üretimi	8
2.9.2 Granüle yüksek fırın cürufunun çimento ve beton endüstrisinde uygulanması ...	8
2.10 Lifli Geopolimer Beton	9
2.11 Lif Katkılı Geopolimerlerde Basınç Dayanımı	9
2.12 Lif Katkılı Geopolimerlerde Eğilme Dayanımı	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM	12
3.1 Materyal.....	12
3.1.1 Yüksek fırın cürufu.....	12
3.1.2 Agregası	12
3.1.3 Aktivatörler.....	13
3.1.4 Kimyasal katkı	15
3.1.5 Kenevir lif.....	15
3.1.6 Bazalt lif	16
3.1.7 Cam elyaf lif	17
3.1.8 Makro çelik lif	17
3.1.9 Mikro çelik lif.....	18
3.1.10 Karışım suyu.....	19
3.1.10.1 Aletler	19
3.1.10.1.1 Çelik kalıplar	19
3.1.10.1.2 Basınç dayanım cihazı	19
3.1.10.1.3 Eğilme test cihazı	20
3.1.10.1.4 Büyük ölçekli numuneler için eğilme test cihazı.....	20
3.1.10.1.5 Mikser	21
3.1.10.1.6 Hassas terazi	21
3.2 Metod.....	22
3.2.1 Ön döküm geopolimer beton karışım oranların belirlenmesi	22
3.2.2 Geopolimer beton üretimi, numunelerin yerine konması ve bakımı	24
3.2.3 Sertleşmiş beton deneylerinde uygulanan yöntemler	29

3.2.3.1 Ön döküm numunelerin eğilme dayanımı	29
3.2.3.2 Ana numunelerin eğilme dayanımı	30
3.2.3.3 Ön döküm numunelerin basınç dayanımı	31
3.2.4 Geopolimer Beton Kiriş Üretimi	32
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE DEĞERLENDİRME	34
4.1 Geopolimer Harcın Optimizasyonu	34
4.1.1 Basınç dayanımı	34
4.1.2 Ön döküm numunelerin eğilme dayanımı	40
4.1.3 Büyük ölçekli kiriş numunelerin eğilme dayanımı	61
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	71
ÖZGEÇMİŞ	78



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1: Yüksek fırın cürufunun kimyasal bileşimi.....	12
Çizelge 3.2: Aktivatörlere ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler	14
Çizelge 3.3: Bazalt life ait teknik özellikler.....	16
Çizelge 3.4: Cam Elyaf lifine ait teknik özellikler.....	17
Çizelge 3.5: Çelik life ait teknik özellikler	18
Çizelge 3.6: Deney esnasında kullanılan malzeme miktarları	24
Çizelge 3.7: Geopolimer kırıslara ait karışım oranları.....	32
Çizelge 4.1: Ön karışımların basınç dayanımları.....	36
Çizelge 4.2: Optimize edilmiş beton basınç dayanımı.....	36
Çizelge 4.3: Ön döküm numunelerin eğilme dayanım sonuçları.....	43



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Davidovits'e göre poli(siyalatlar) yapılar.....	3
Şekil 2.2: Geopolimer betonun bileşenleri.....	5
Şekil 2.3: Yüksek Fırın Cürufu (YFC).....	8
Şekil 3.1: Deney aşamasında kullanılan iri ve ince agrega.....	13
Şekil 3.2: Deney bünyesinde kullanılan Sodyum Silikat.....	14
Şekil 3.3: Deney esnasında kullanılan Sodyum Hidroksit.....	15
Şekil 3.4: Deneyde esnasında kullanılan kimyasal katkı	15
Şekil 3.5: Deney çalışmasında kullanılan Kenevir Lif.....	16
Şekil 3.6: Deney çalışmasında kullanılan Bazalt Lif	16
Şekil 3.7: Deney çalışmasında kullanılan Cam Elyaf Lif	17
Şekil 3.8: Makro Çelik Lif	17
Şekil 3.9: Deney çalışmasında kullanılan Mikro çelik lif.....	18
Şekil 3.10: Çelik Kalıp.....	19
Şekil 3.11: Basınç Test Cihazı	20
Şekil 3.12: Eğilme test cihazı	20
Şekil 3.13: Kirişler için kullanılan deney düzeneği	21
Şekil 3.14: Mikser	21
Şekil 3.15: Hassas Terazî	22
Şekil 3.16: NaOH Çözeltisinin (Alkali aktivatör) Hazırlanması	25
Şekil 3.17: Lif katkılı geopolimer betonun malzeme ve hazırlanma aşaması.....	27
Şekil 3.18: Döküm sonunda kalıplara yerleştirilen geopolimer beton.....	28
Şekil 3.19: Kalıptan çıkartılan geopolimer beton	28
Şekil 3.20: Su havuzuna bırakılan numuneler	29
Şekil 3.21: Su havuzundan çıkartılıp kuruması için laboratuvar odasına alınan numuneler	29
Şekil 3.22: Eğilme cihazındaki numune	30
Şekil 3.23: Yükleme yapılacak kısmına kauçuk ve çelik dairesel plaka yerleştirme görseli	30
Şekil 3.24: LVDT yerleştirilmiş yüklemeye hazır geopolimer kiriş.....	31
Şekil 3.25: Basınç dayanım cihazındaki numune	31
Şekil 3.26: Geopolimer kiriş içerisinde kullanılan donatı.....	33
Şekil 3.27: Kalıplara yerleştirilen geopolimer beton	33
Şekil 3.28: Kalıptan çıkartılan geopolimer beton	33
Şekil 4.1: Lif katkısız geopolimer beton ile mikro çelik lif katkılı (%) geopolimer betonun basınç dayanım grafiği.....	37
Şekil 4.2: Lif katkısız geopolimer beton ile makro çelik lif katkılı (%) geopolimer betonun basınç dayanım grafiği.....	37
Şekil 4.3: Lif katkısız geopolimer beton ile cam elyaf katkılı (%) geopolimer betonun basınç dayanım grafiği	38
Şekil 4.4: Lif katkısız geopolimer beton ile kenevir elyaf katkılı (%) geopolimer betonun basınç dayanım grafiği.....	38
Şekil 4.5: Lif katkısız geopolimer beton ile bazalt lif katkılı (%) geopolimer betonun basınç dayanım grafiği	39
Şekil 4.6: Ön döküm numunelerinin ilk aşamasında elde edilen optimum değerlerin optimize edilmiş halini kıyaslayan basınç dayanım grafiği	39
Şekil 4.7: Lif katkısız geopolimer beton 7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi	43
Şekil 4.8: Lif katkısız geopolimer beton 28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi	44

Şekil 4.9: Bazalt %0.25-7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi.....	44
Şekil 4.10: Bazalt %0.25-28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi.....	45
Şekil 4.11: Bazalt %0.50-7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi.....	45
Şekil 4.12: Bazalt %0.50- 28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi.....	46
Şekil 4.13: Bazalt %0.75- 7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi.....	46
Şekil 4.14: Bazalt %0.75- 28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi.....	47
Şekil 4.15: Bazalt %1-7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi.....	47
Şekil 4.16: Bazalt %1-28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi.....	48
Şekil 4.17: Kenevir %0.50-7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi	48
Şekil 4.18: Kenevir %0.50-28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi	49
Şekil 4.19: Kenevir %1- 7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi	49
Şekil 4.20: Kenevir %1-28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi	50
Şekil 4.21: Cam elyaf %0.25-7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi	50
Şekil 4.22: Cam elyaf %0.25-28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi	51
Şekil 4.23: Cam elyaf %0.50-7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi	51
Şekil 4.24: Cam elyaf %0.50-28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi	52
Şekil 4.25: Cam elyaf %0.75-7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi	52
Şekil 4.26: Cam elyaf %0.75-28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi	53
Şekil 4.27: Cam elyaf %1-7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi	53
Şekil 4.28: Cam elyaf %1-28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi	54
Şekil 4.29: Makro çelik lif %0.25- 7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi.....	54
Şekil 4.30: Makro çelik lif %0.25- 28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi.....	55
Şekil 4.31: Makro çelik lif %0.50- 7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi.....	55
Şekil 4.32: Makro çelik lif %0.50- 28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi.....	56
Şekil 4.33: Makro çelik lif %0.75- 7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi.....	56
Şekil 4.34: Makro çelik lif %0.75- 28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi.....	57
Şekil 4.35: Makro çelik lif %1- 7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi.....	57
Şekil 4.36: Makro çelik lif %1- 28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi.....	58
Şekil 4.37: Mikro çelik lif %0.50-7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi.....	58
Şekil 4.38: Mikro çelik lif %0.50-28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi.....	59
Şekil 4.39: Mikro çelik lif %1- 7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi.....	59
Şekil 4.40: Mikro çelik lif %1-28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi.....	60
Şekil 4.41: Makro çelik lif %1- 28 günlük su kürü (silikat ve akışkanlaştırıcı) yük deplasman ilişkisi	60
Şekil 4.42: Mikro çelik lif %1- 28 günlük su kürü (silikat ve akışkanlaştırıcı) yük deplasman ilişkisi	61
Şekil 4.43: K2-K5 numaralı kirişin yük deplasman grafiği	62
Şekil 4.44: K2-K6 numaralı kirişin yük deplasman grafiği	63
Şekil 4.45: K3-K4 numaralı kirişin yük deplasman grafiği	64
Şekil 4.46: K3-K5 numaralı kirişin yük deplasman grafiği	65
Şekil 4.47: K4-K6 numaralı kirişin yük deplasman grafiği	66
Şekil 4.48: K5-K6 numaralı kirişin yük deplasman grafiği	67
Şekil 4.49: K2-K3 numaralı kirişin yük deplasman grafiği	68
Şekil 4.50: K2-K4 numaralı kirişin yük deplasman grafiği	69
Şekil 4.51: K2-K5-K6 numaralı kirişin yük deplasman grafiği.....	70
Şekil 4.52: K2-K3-K4 numaralı kirişin yük deplasman grafiği.....	70

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

B	: Bazalt lif
CO₂	: Karbondioksit
cm	: Santimetre
C	: Cam lif
Ç	: Çelik lif
g	: Gram
K	: Kenevir lif
K2	: Lif katkısız donatılı giriş
K3	: Makro çelik lif çekme bölge
K4	: Makro çelik lif tam bölge
K5	: Mikro çelik lif çekme bölge
K6	: Mikro çelik lif tam bölge
MÇ	: Mikro çelik lif
Na₂SiO₃	: Sodyum silikat
NaOH	: Sodyum hidroksit
OPC	: Portland çimentosu
ST	: Çelik
PP	: Polipropilen
PVA	: Polivinil alkol
YFC	: Yüksek fırın cürufu

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI LİF KOMPOZİSYONLARI İLE ÜRETİLEN GEOPOLİMER KİRİŞ ELEMENLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Fulya ATAY

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

78+x sayfa

2023

Danışman: Doç.Dr. Yaşar AYAZ

Bu çalışmada, yüksek fırın cürufu kullanılarak hacimce toplam %1 oranında lif miktarına sahip makro çelik lif tam bölge, makro çelik lif çekme bölgesi, mikro çelik lif tam bölgesi, mikro çelik lif çekme bölgesi ve lifsiz kontrol karışımı olmak üzere toplam 5 adet geopolimer beton kiriş üretilmiştir. Üretilen geopolimer kirişlerin tam bölge ve çekme bölgesinde lif kullanılmasının mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Çalışma içerisinde aktivatör olarak sodyum silikat ve sodyum hidroksit birlikte kullanılmıştır. Sodyum hidroksit çözeltisi 10 mol konsantrasyon da hazırlanmıştır. Lif cinsi olarak 13 mm uzunluğunda mikro çelik lif ve 60 mm uzunluğunda makro çelik lif kullanılmıştır. İlk aşamada optimum karışım oranlarının belirlenmesi için ön döküm amacıyla bazalt, kenevir, cam elyaf, makro ve mikro çelik lifleri %0.25, %0.50, %0.75 ve %1 lif oranlarına sahip 40*40*160 mm boyutlarındaki numunelerde üretilmiştir. 7 ve 28 gün sonunda basınç ve eğilme dayanımlarındaki değişimler irdelenerek en iyi sonuç veren karışım oranı belirlenmiştir. Ön döküm numunelerinde en yüksek basınç ve eğilme dayanımı %1 lif katkılı mikro ve makro çelik lifte görülmüştür. Yüksek dayanım veren karışım oranlarını daha optimize hale getirmek için karışıma akışkanlaştırıcı ve aktivatör olarak sodyum silikat (Na_2SiO_3) ilavesi yapılmıştır. Yapılan ilaveler sonrasında %1 mikro çelik lif katkılı karışımın sırası ile nihai basınç ve eğilme dayanımında %97 ile %30 oranında artış gözlenmiştir. %1 makro çelik lif katkılı karışımın sırası ile nihai basınç ve eğilme dayanımında ise %30 ile %12 oranında artış gözlenmiştir. Kirişlerin eğilme deneyi sonrası deplasman değerleri incelendiğinde en efektif deplasman çelik lifte gözlenmiştir. Çelik lif, betonun enerji yutma kapasitesini artırarak betona sünek davranış kazandırmıştır. Lifleri ekonomik düzeyde kullanmak için makro ve mikro çelik lifin beton içerisinde bölgesel incelemeleri yapılmıştır. Kirişte tam bölge lif kullanımı makro ve mikro çelik lif için kıyaslandığında mikro çelik lifin makro çelik liften daha iyi dayanım gösterdiği ancak yük taşıma sürekliliğini en iyi makro çelik lifin sağladığı görülmüştür. Çekme bölgesi kıyaslaması yapıldığında mikro çelik lifin hem dayanım açısından hemde yük taşıma sürekliliği açısından makro çelik life kıyasla daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: geopolimer beton, kiriş, çelik lif, eğilme dayanımı

ABSTRACT

Msc Thesis

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF GEOPOLYMER BEAM ELEMENTS PRODUCED WITH DIFFERENT FIBER COMPOSITIONS

Fulya ATAY

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

78+x page

2023

Supervisor: Doç. Dr. Yaşar AYZ

In this study, a total of 5 geopolymer concrete beams, including macro steel fiber full zone, macro steel fiber tensile zone, micro steel fiber full zone, micro steel fiber tensile zone and fiberless control mixture, with a total fiber amount of 1% by volume, were used using blast furnace slag. produced. The effect of using fibers on the mechanical properties of the produced geopolymer beams in the full zone and tension zone was examined. Sodium silicate and sodium hydroxide were used together as activators in the study. Sodium hydroxide solution was prepared at 10 mol concentration. As fiber type, 13 mm long micro steel fiber and 60 mm long macro steel fiber were used. In the first stage, to determine the optimum mixing ratios, basalt, hemp, glass fiber, macro and micro steel fibers were produced in 40*40*160 mm sized samples with 0.25%, 0.50%, 0.75% and 1% fiber ratios for pre-casting purposes. At the end of 7 and 28 days, the changes in compressive and bending strengths were examined and the mixture ratio that gave the best results was determined. In pre-cast samples, the highest compressive and bending strength was observed in micro and macro steel fibers with 1% fiber addition. Sodium silicate (Na_2SiO_3) was added to the mixture as a plasticizer and activator in order to optimize the mixture ratios that give high strength. After the additions, an increase of 97% and 30% was observed in the final compressive and bending strength of the 1% micro steel fiber added mixture, respectively. An increase of 30% and 12% was observed in the final compressive and bending strength of the mixture with 1% macro steel fiber addition, respectively. When the displacement values of the beams after the bending test were examined, the most effective displacement was observed in the steel fiber. Steel fiber increases the energy absorption capacity of concrete and gives it ductile behavior. In order to use fibers economically, regional examinations of macro and micro steel fibers in concrete were carried out. When the use of full-zone fiber in the beam was compared for macro and micro steel fiber, it was seen that micro steel fiber showed better strength than macro steel fiber, but macro steel fiber provided the best load carrying continuity. When the tensile zone comparison was made, it was seen that micro steel fiber showed better performance than macro steel fiber in terms of both strength and load carrying continuity.

Keywords: geopolymer concrete, beam, steel fiber, bending strength

1. GİRİŞ

Uygarlığın gelişmesi ve artan nüfusun konut ihtiyacını karşılamak için yapı üretimi alanında sanayi devriminin en önemli ürünü betonarme yapılar olmuştur. Beton düşük maliyeti, kolay şekil alabilmesi ve dayanıklılığıyla en yaygın kullanılan inşaat malzemesidir (Shaikh ve Hosan, 2016). Üretim malzemelerinin kolay bulunması ve ucuz olması betonarme yapıların üretimini destekler yönde etkilemiştir. Bu üretim sonucunda beton sudan sonra dünyada en çok kullanılan ikinci malzeme konumuna gelmiştir (Aitcin, 2000). Beton; çimento, agrega, su ve kimyasal (akışkanlaştırıcı, priz geciktirici, antifiriz) veya mineral katkı (yüksek fırın cürufu, silis dumanı, uçucu kül..) gibi hammaddelerin homojen olarak karıştırılmasıyla meydana gelen kompozit bir yapı malzemesidir. Betonun tüm bu bileşenleri arasında ana bileşeni portland çimentosudur (OPC) (Shaikh, 2016).

Portland çimentosu üretimi esnasında hem yüksek oranda enerji tüketimi hemde çevreye yüksek oranda karbondioksit salınımı yaparak sürdürülebilirlik sorunlarını beraberinde getirmiştir. Çimento üretimi esnasında açığa çıkan CO₂ küresel ısınmaya etki eden toplam enerjinin %5'inden sorumludur (Malhotra ve Mehta (2002)). 1 ton klinker üretimi sırasında 0,822 ton, 1 ton çimento üretimi sırasında ise 0,657 ton CO₂ salınımı gerçekleşmektedir (Li C vd.,2011). Bu nedenle son yıllarda sürdürülebilir üretim anlayışı oluşmaya başlamış ve sürdürülebilir tasarıma yönelik çalışmalar zorunlu hale gelmiş ve alternatif arayışlar başlamıştır.

Portland çimentosuna kısmi alternatif olarak; çevre üzerine çok az olumsuz etkisi olan alüminosilikat fazları içeren endüstriyel atıkların kullanımına çözüm olan geopolimer beton kullanımı gelişmektedir. Geopolimer bağlayıcılar kimyasal aktivelere karşı güçlü direnç göstermektedirler. Endüstri atığı olarak ortaya çıkan uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve doğada amorf halde bulunan volkanik tuf ve volkanik cam portland çimentosuna alternatif bağlayıcı olarak kullanılmaktadır. Atık malzemelerin geri dönüşüm sonucu kullanılabilir olması ve yüksek mekanik dayanım göstermesi diğer olumlu özellikleridir. Geopolimer üretimi esnasında yüksek derecede fırınlama işlemi olmadığı için portland çimentosu üretiminde açığa çıkan CO₂ salınımı geopolimer beton üretim sürecinde görülmemektedir. Bu yönü ile geopolimer beton yeşil beton olarak düşünülebilir.

Beton yapısı gereği düşük süneklilik ve çatlak direnci göstermektedir. Bununla beraber beton yapısında mikro çatlaklar bulundurulur ve bu çatlakların ilerlemesi düşük çekme dayanımına neden olur. Beton yük altındayken bu çatlaklar yayılır ve makro çatlaklara dönüşür. Bu durum sonucunda betonda elastik olmayan deformasyonlar oluşur (Balasubramanian vd., 2015), (R.F. Zollo, 1997), (S. Patil, 2022).

Betonun zayıf olan bu yönünün lif katkısı ile geliştirilmesi amaçlanmıştır. Lifler düşük maliyetleri ve güçlü özellikleri kapsamında beton üretiminde önemli derecede tercih edilmektedir. Lif takviyesi ile betondaki mikro çatlakların büyümesi durdurulur ve betonun dayanımını artırılır. Lifler toplam beton hacminin yüzdesi olarak karışıma ilave edilmektedir (Dawood ve Ramli, 2011; Sabu ve Karthi, 2018; Reed vd., 2014; Aswani ve Karthi, 2017).

Bu çalışmada kenevir, cam elyaf, bazalt, makro ve mikro çelik lif katkılı hacimce %0.25-%0.50-%0.75 ve %1 oranlarına sahip ön döküm numuneleri hazırlanarak mekanik özellikleri incelenmiş ve en iyi mekanik dayanım veren lif yüzde oranı tespit edilmiştir. Malzemeyi ekonomik olarak kullanabilmek için ön döküm numunelerinin analizi sonucunda optimum değere sahip lif yüzde oranını kullanarak büyük ölçekte kirişin tamamı lif katkılı ve sadece kirişin çekme bölgesi lif katkılı geopolimer kiriş numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan kirişlerin eğilme testi sonrası yük deplasman grafikleri ve basınç dayanımları incelenmiş ve dayanım etkileri göz önünde bulundurularak gerekli kıyaslamalar yapılmıştır.

Bu tez kapsamında geopolimer betonun sürdürülebilir yollarla mekanik özelliklerinin artırılması hedeflenmiştir. Doğal lif kaynağı olan bazalt ve kenevir lifi geopolimer betonların içerisinde kullanılarak mekanik özellikleri incelenmiştir. Geopolimer betonların mekanik özelliklerini karşılaştırmak için cam elyaf ve çelik lif katkılı geopolimer beton numuneleri de üretilerek mekanik özellikleri kıyaslanmıştır. Yüksek fırın cürufu bağlayıcılı ön döküm beton numuneleri her lif çeşidi için aynı yüzde oranları üzerinden üretilmiştir. Ön döküm numunelerinde gerekli dayanım kıyaslamaları yapılarak liflerin geopolimer üzerindeki davranışsal etkisi incelenmiştir. Ön döküm numunelerinin yük deplasman grafikleri ve basınç dayanımları analiz edildiğinde optimum değeri veren karışım oranı kullanılarak 10x15x100 cm ölçeğinde geopolimer kirişler üretilmiştir. Liflerin, geopolimer beton kirişin tüm hacmine ve sadece çekme bölgesindeki hacmine katılımı sağlanarak gerekli dayanım kıyaslamaları yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Geopolimerler

"Geopolimer" terimi 1978'de ilk kez Davidovits tarafından kullanılmış ve inorganik polimerik malzemeler üretilerek bulunmuş ve sonrasında tanıtılmıştır. Geopolimer bağlayıcılar portland çimentosunun yerine alternatif olarak kullanılabilir.

"Geopolimer" terimi, genel olarak, "inorganik polimerler", "alkali ile aktifleştirilmiş çimentolar", "jeo-çimentolar", "alkali-bağlı seramikler", "hidroseramikler" vb. ile isimlendirilir. Bu isimlendirme çeşitliliğine rağmen, bu terimlerin hepsinin kimyasal sentez malzemeleri aynıdır (Duxson vd.,2007). Temelinde tekrar eden bir silikat monomer ($-Si-O-Al-O-$) biriminden oluşur. Geopolimerizasyon teknolojisinde Kaolinit, feldspat ve endüstriyel gibi çeşitli alüminosilikat malzemeler; uçucu kül, metalürjik atıklar hammadde olarak kullanılmaktadır. Geopolimerler alüminosilikat malzemelerin alkali aktivatörler ile karıştırılması sonucu meydana gelen bağlayıcı sınıfıdır (Weerd, 2011). Bu bağlayıcıların yüksek performanslı kullanımı, çevre dostu olması ve portland çimentosuna sürdürülebilir bir alternatif olmalarından dolayı önem arz etmektedir.

Geopolimerlerin mukavemetleri hammaddeleri uçucu kül, metakaolin ve cüruf gibi malzemeleri içeren doğal enerji kaynakları ile doğru orantılıdır. Bunlar kaolin kil gibi, kalsin olmayan malzemelere göre daha yüksek basınç dayanımı göstermektedirler (Bakri vd., 2011).

Geopolimer hamuru, uçucu kül, cüruf, kaolin, metakaolin vb. bağlayıcılar ile sodyum silikat, sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit gibi alkali çözeltilerin karışımından elde edilebilirler. Tek bir malzemeden elde edilebileceği gibi birkaç farklı malzemenin karışımından da geopolimer elde edilebilir (Xu and Deventer, 2002).

Geopolimerlerin avantajları aşağıda belirtilmiştir (Li vd., 2004).

1. Zengin hammadde kaynaklarına sahip olması: Alkali çözeltilerde çözünen silikat veya alüminli silikatlar doğada çok miktarda bulunur. Geopolimerler endüstri atıklarından ve yan ürünlerinden de elde edilebilmektedir.

2. Dayanım kazanma süresinin kısa olması: Geopolimerler, prizinin ilk 4 saatinde nihai basınç dayanımının yaklaşık %70'ini kazanabilirler.
3. Çevre dostu olması: Üretimi esnasında az miktarda CO₂ açığa çıkar.
4. Dayanıklılığının yüksek olması
5. Yüksek sıcaklığa karşı dayanım: Geopolimerler 1200°C'ye kadar mükemmel derecede dayanabilirler.

Geopolimer bağlayıcılar yapım, ulaşım gibi birçok sahada uygulanıp değerlendirilmiştir. Güçlü mekanik performans, yüksek dayanım ve aside karşı güçlü direnç göstermesi geopolimer betonun önde gelen özellikleridir. Geopolimer çimento 1200 C'ye kadar olan yüksek sıcaklıklara dayanabilmekte ve 50 kW/m'ye kadar yangına dayanım gösterebilmektedir. Bununla beraber ısı artışından dolayı duman çıkışı gözlenmez (Li vd., 2004).

2.2 Geopolimer Malzemelerin Kimyasal Yapısı

Geopolimerler ilk defa 1970'lerin başında Davidovits tarafından piyasaya sürülmüştür. Geopolimerler, ortam sıcaklığında veya yükseltilmiş sıcaklıkta genellikle katı veya alüminosilikatlı bir tozun konsantre bir alkali metal silikat veya hidroksit çözeltisi ile reaksiyona sokulmasıyla sentezlenen amorf alüminosilikat sınıfına bağlıdır (Davidovits, 1991). İçeriğinde çok miktarda silikat ve alümin bulunduran puzolanik malzemeler, alkali çözeltiyle reaksiyona girerek, agregayı bağlayan iyi derecede sertleştirilmiş bir materyal olan alüminosilikat jellerini oluşturarak geopolimeri meydana getirir. Oluşumu sinterleme veya erime süreci olmayan geopolimerler polimerizasyon süreci ile oluşurlar. Geopolimerler, Si-Al-Mg-Ca-P-K-Na gibi mineral molekülleri içeren monomerler arasındaki polikondenzasyon sonucu olan polimer zincirlerinin oluşumundan meydana gelir (Görhan vd., 2014).

Geopolimerlerin oluşumu üzerine oldukça fazla araştırma yapılmıştır. Geopolimerin kimyasal tanımı için Davidovits, Sialate'in alüminosilikat oksitin kısaltması olduğu "polisialatlar" adını önerir. Sialat ağı, (Na⁺, K⁺, Li⁺, Ca²⁺, Na⁺, Ba²⁺) gibi pozitif iyonlara ihtiyaç duyan oksijeni paylaşan [SiO₄]⁴⁻ ve [AlO₄]⁵⁻ tetrahedral anyonlardan oluşur. (+NH₄⁺, H₃O⁺) Tetrahedral koordinasyonda Al³⁺'ün elektrik yükünü telafi etmek için (dehidroksilasyondan sonra alüminyum koordinasyon 6'dan (oktahedral) koordinasyon 4'e



Şekil 2.1: Davidovits'e göre poli(siyalatlar) yapılar (Davidovits,

eksek teknoloji kullanıcıları için, jeopolimerler polimerlerdir ve bu ne
 etilen organik polimerlere benzer şekilde, dönüştürülürler, polikonden
 birkaç dakika içinde düşük sıcaklıkta hızla sertleşirler (Davidovits, 2003)

teknoloji kullanıcıları için, jeopolimerler polimerlerdir ve bu nedenle,

Geopolimerler zeolit eğimli kristal olmayan bağlar olarak açıklanabilir. Geopolimerler kristal zeolitler gibi aynı altyapılardan oluşurlar fakat uzun mesafeli düzenleri yoktur. Geopolimerler kür sıcaklığı, kür süresi gibi reaksiyon koşullarının yanı sıra katı hammadde ve aktivatör solüsyonunun bileşimine bağlı olarak sertleşmeden sonra değişken kristal özellik gösterirler (Buchwald et al., 2009).

2.3 Alkali Aktivatörler

3

zaman düşük mukavemetli geopolimer ile sonuçlanır (Görhan ve Kürklü, 2014). Na_2SiO_3 kullanılması mukavemet gelişimine olumlu yönde katkı sağlar (Phoo-ngernkham vd. 2015). Geopolimerlerde basınç dayanımı kullanılan alüminosilikat hammaddesi ile doğrudan bağlantılıdır (Dimas vd. 2009). Bununla birlikte NaOH ve Na_2SiO_3 çevreye yaptıkları CO_2 salınımı açısından kıyaslandığında NaOH daha çevre dostudur. Çünkü, NaOH üretiminde tuzlu suyun elektroliz işlemi gerçekleşir ve bu işlem sonucunda C_{12} ve H_2 serbest kalır. Ancak, NaSiO_3 üretmek için NaCO_3 ve SiO_2 1200°C - 1400°C 'de yakılmalıdır ve bu yakım sonucunda CO_2 meydana gelir (Speight, 2002; Tekin, 2016).

Sodyum hidroksit veya potasyum hidroksitin sodyum silikat veya potasyum silikat ile karıştırılması geopolimerizasyon reaksiyonlarında en sık kullanılan alkali aktivatör karışımıdır (Davidovits, 1999; Palomo vd. 1999; Xu and van Deventer, 2000; Swanepoel ve Strydom, 2002).

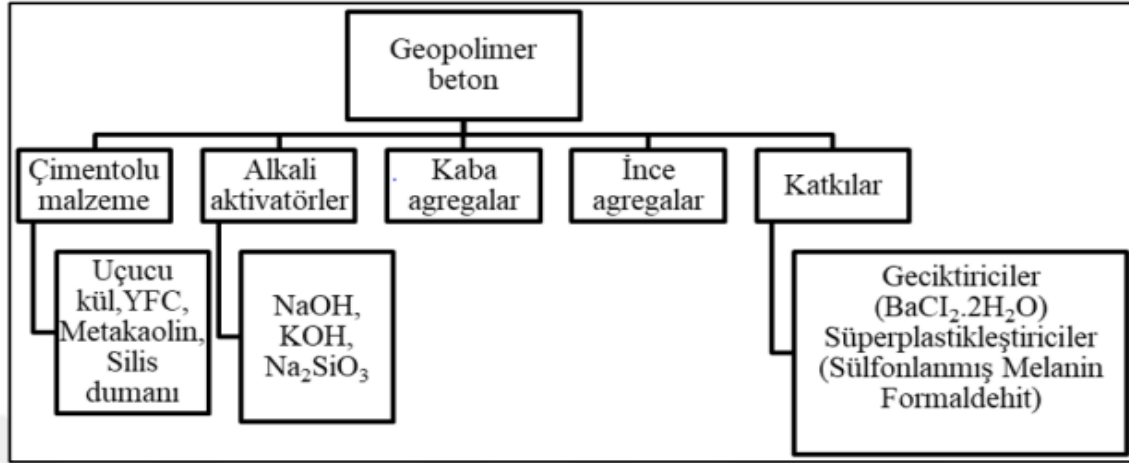
2.4 Geopolimer Beton

İnsan nüfusunun sürekli olarak artması ve endüstrilerin gelişimi sonucu dünyada sudan sonra en çok kullanılan yapı malzemesi betondur (Aitcin, 2000). Böylelikle beton üretimi için temel bileşenlerden olan bağlayıcı olarak kullanılan portland çimentosunun kullanımında sürekli artış göstermiştir.

Çimento endüstrisi, endüstriyel enerjinin yaklaşık %12-15'ini temsil eden önemli miktarda fosil yakıt tüketimiyle de bağlantılıdır. Küresel olarak, OPC üretim sürecinde her yıl yaklaşık 1,35 milyar ton sera gazı oluşumu gözlenmektedir. Bu durum yakıtın fırında yanması sonucu oluşan küresel sera gazı emisyonlarının %6-9'unu oluşturmaktadır. Üretimi esnasında açığa çıkardığı CO_2 salınımı ile küresel ısınma için büyük bir sorun teşkil etmektedir. Bu nedenle, çeşitli atık malzemelerin, Portland çimentosu için bir alternatif malzeme olarak uygulanmaları amacıyla geopolimer beton geliştirilmiştir (Luhar vd., 2020).

Geopolimer betonun üretimi sırasındaki sera gazı emisyonunu azaltması ve çimento yerine alternatif olarak kullanılması gibi avantajları nedeni ile inşaat mühendisliği alanında çevre dostu malzeme olarak ilgi görmeye başlamıştır. Ayrıca mekanik özellikleri beton ile kıyaslandığında mekanik özelliklerinin daha iyi olduğu belirtilmektedir (Ma vd., 2018).

Geopolimer betonun bileşenleri bağlayıcı malzeme, aktivatör, agrega ve birtakım kimyasal katkılardan oluşur. Geopolimer betona ait bileşenler ve yaygın kullanılan malzeme türleri Şekil 2.2’de gösterilmiştir (Chowdhury vd., 2020).



Şekil 2.2: Geopolimer betonun bileşenleri (Chowdhury vd, 2020)

Geopolimer beton, sanayiden çıkan atık ve yan ürünleri kullanarak doğal kaynakları koruyan malzemeleri sürdürülebilir hale getiren ve çevre dostu olan bir beton çeşididir (Thamilselvi ve diğ., 2017).

Geopolimer betonun teknik zorlukları:

1. Jeopolimer/inorganik polimer sistemleri için tek tip terminoloji eksikliği,
2. Çimento endüstrisinde yerleşik tutumlar (örneğin, alkalinin tüm sistemler için kötü olduğu ve uçucu kül içeren çimentoların tuz varlığında donma-çözülme direncinin zayıf olduğu),
3. Bileşime dayalı bina kodlarına ve standartlarına uygunluk (yani, jeopolimerler OPC içermez ve bu nedenle, izin verilen maksimum ek çimentolu malzeme içeriğini belirten standartları karşılamaz),
4. Bu alandaki araştırmaların nispeten yakın zamanda popüler hale gelmesi nedeniyle dayanıklılıkla ilgili nicel verilerin eksikliği

Daha pratik bir bakış açısıyla, geopolimer teknolojisi, inşaat sektörü için henüz kabul görmüş, geçerli ve kanıtlanmış bir teknoloji çözümü olarak kendisini kanıtlamamıştır. Teknolojinin pratik olarak kabul edilmemesi, OPC ve ilgili bağlayıcılarla karşılaştırıldığında geopolimerlerin çok farklı kimyasıyla birleşen inşaat endüstrisinin zorunlu olarak muhafazakâr doğasından kaynaklanmaktadır. Kamu alanındaki literatürün

büyük bir kısmı, geopolimerler için en yaygın, kârlı ve aynı zamanda 'yeşil' uygulama olarak algılandığından, bir "çimento ikamesi" malzemesi oluşturmaya odaklanmıştır. Bununla birlikte, mevcut çimento endüstrisinin aktif olarak bir asırlık veya daha fazla bilgi ve deneyimi, kanıtlanmamış bir malzemeyle değiştirmeye çalıştığı varsayımı kolay kabul görür bir durum değildir. Teknolojinin, ticari ve çevresel yönleri, inşaat endüstrisinde geopolimerlerin piyasaya sürülmesinin zamanlaması, araştırma ve geliştirmeden ziyade büyük ölçüde endüstrinin elinde olacak şekilde yeterince kanıtlanmıştır. Bu nedenle, geopolimer teknolojisi alımı için en kritik itici güç olan değişim arzusu şu anda bir öncelik değildir (P. Duxson vd.,2007).

2.5 Geopolimer Betonun Çevresel Faydaları

Geopolimerlerin çevresel açıdan geleneksel çimentolara göre birincil avantajlarından biri, OPC üretimine kıyasla geopolimer üretiminden kaynaklanan çok daha düşük CO₂ emisyon oranıdır. Bunun başlıca nedeni, küllerden ve/veya cüruflardan geopolimer sentezinde yüksek sıcaklıkta bir kalsinasyon adımının olmamasıdır. Oysa çimento klinkerinin kalsinasyonu sadece büyük miktarda fosil yakıt türevi enerji tüketmekle kalmaz aynı zamanda CO₂'yi bir gaz olarak salar. Çimento hidrasyonu için su yerine alkalin hidroksit veya silikat aktive edici solüsyon kullanılması sera maliyetini yeniden gündeme getirmektedir (P. Duxson vd., 2007).

Çimento klinker üretimi ile ilgili CO₂ emisyonlarını araştıran yakın tarihli bir makale, kül ve cüruflarla karıştırma da dahil olmak üzere, bağlayıcının tonu başına salınan CO₂ miktarının yaklaşık 0,815 ton olduğunu tahmin etmektedir (E. Gartner, 2004).

2.6 Geopolimer Betonun Kullanım Alanları

Geopolimerlerin yüksek ısıya dayanıklı, yüksek mukavemet dayanımı, kısa sürede hızlı priz alması gibi birçok avantajlı özelliğinden dolayı yangın dayanıklılığında, 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
- Askeri denizcilik: yangına dayanımlı bileşenler

2.7 Geopolimer Betonda Kürleme İşlemi

Geopolimer betonda priz alma süresi alkali sıvısı/yüksek fırın cürufu faktörüne dayanmaktadır. Ancak Al Bakri vd. (2012) geopolimer beton için yaptıkları çalışmada priz alma süresinde en önemli faktörün kürleme ısısı olduğunu ortaya koymuşlardır. Chanh ve diğ. (2019) tarafından yapılan çalışmada priz süresi ile kürleme ısısının doğru orantılı olduğu saptanmıştır. Kür sıcaklığının artması ile polimerizasyon süresi kısalmakta ve yaklaşık 3 ila 4 saat arasında geopolimer beton dayanımının önemli bir oranını kazanmaktadır (Al Bakri, vd., 2011).

2.8 Geopolimer Betonun Priz Süresi

Priz süresi betonunun dökümlenme sonrası rijit bir hale gelip dayanım kazanmasına kadar geçen süre olarak tanımlanmaktadır. Betonun priz süresi ASTM C807 (2008) ve British Standards Institution (2009) standardınca vicat iğnesi ile ölçülmektedir (Hassan, vd., 2019). Jumrat ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmada görülmüştür ki geopolimer betonun priz alma süresine alkali aktivatör/uçucu kül ve $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ oranlarının gözle görülür

bir etkisi olmamıştır. İlerleyen süreçte yapılan çalışmalar göstermiştir ki NaOH molaritesi geopolimer betonun priz alma süresini etkilemiştir. Aynı zamanda NaOH molaritesindeki azalma ile priz alma süresinin geciktiği görülmüştür (Antoni, vd., 2017).

2.9 Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu

2.9.1 Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun üretimi

Yüksek fırın cürufu, bir yan ürün olup demir üretim sürecinden açığa çıkmaktadır (Siddique ve Bennacer, 2012). Matematiksel olarak, üretilen 1000 kg demir üretiminde yaklaşık 300 kg erimiş yüksek fırın cürufu açığa çıkmaktadır (Yüksel, 2018). Erimiş cüruf, suyla söndürme ile hızla soğutulduğunda, yüksek fırın cürufunu camsı amorf bir hale getirir ve yapısı yüksek bir cam içeriğine sahiptir. Öğütülme işlemi sonrasında kimyasal reaksiyonlar için elverişli bir malzeme haline gelir.



Şekil 2.3: Yüksek Fırın Cürufu (YFC) (URL 1)

2.9.2 Granüle yüksek fırın cürufunun çimento ve beton endüstrisinde uygulanması

Çimento endüstrisinde çimentomsu malzemeye aktif olarak puzolanik malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır. Alkali koşullar altında veya alkalilerle birleşmesiyle, "puzolanik reaksiyon" olarak bilinen bir kimyasal reaksiyon süreci başlar ve çimento hidratasyonu ile benzerlik gösterir (Siddique ve Bennacer, 2012).

YFC çimento ile benzer kimyasal birleşime sahip olduğundan portland çimentosuna alternatif olarak çimento ve beton endüstrisinde yaygın kullanılmaktadır. GBFS'nin çimento ve beton endüstrisindeki kullanımı dışında tarımsal gübreler ve atık su arıtımı (Dhrees ve diğerleri, 2018; Li ve diğerleri, 2020; Shao ve diğerleri, 2018; Verma ve diğerleri, 2019). yer alır. YFC, çevresel, ekonomik ve mekanik özellik faydaları nedeniyle

çimento endüstrisinde yaygın kullanılan alternatif çimentomsu malzemedir. Yüksel, 2018 tarafından yapılan çalışmada YFC çimento endüstrisinde CO₂ emisyonlarını önemli oranda azaltılabileceği saptanmıştır. Bunun yanında YFC'nin eklenmesi, çimentonun mukavemet, dayanıklılık ve işlenebilirlik özelliklerinde olumlu bir katkı sunmaktadır. Camsı cüruf yapısının Portland çimentosunun hidrasyonu ile salınan hidroksil iyonları tarafından çözünmesi GBFS'nin hidrasyonunu etkilemektedir (Pal ve diğerleri, 2003).

Hidrasyon işlemi sırasında çimento parçacıklarının çözünmesi ile parçacıkların yüzeyinden hidroksit iyonları ve kalsiyum iyonları çözeltiye karışır ve CSH jeli oluşturur. Ayrıca GBFS, alkali ortamda çözünmesi ile silikat ve alüminat iyonları salar (Q. Zeng vd., 2023).

2.10 Lifli Geopolimer Beton

Çekme dayanımının düşük olması sebebiyle beton gevrek davranış göstermektedir. Beton içerisine lif eklenilmesi çekme uzaması, çekme, tokluk ve enerji absorpsiyon kapasitesinin artmasına katkı sağlamakta ve betonun sünek bir malzeme davranışı sergilemesine destek olmaktadır (Shaikh, 2013). Çeşitli lif karışım oranları hazırlanarak lif etkisinin beton üzerindeki mekanik davranışları gözlemlenmiştir. Lif kullanımı ile ilgili çeşitli birçok çalışma yapılmıştır (Al-Mashhadani, vd., 2018).

2.11 Lif Katkılı Geopolimerlerde Basınç Dayanımı

Al- Mashhadani ve diğ. (2018) yaptıkları çalışma da bağlayıcı malzeme 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 mukayese etmişlerdir. Araştırmacılar harçların basınç dayanımında fiber artışın önemli bir etkisinin olmadığını belirtmektedirler. Çelik ve polivinil alkol lif katkılı 7 ve 28 günlük numunelerin dayanımları incelendiğinde her ikisinde en yüksek basınç dayanımının %1.2 oranında elde edildiği gözlemlenmiştir. Bu oran kontrol harçları ile mukayesi edildiğinde sadece %3.37 ve %4.26'lık basınç dayanımı artışı gözlemlenmiştir. Lif çeşitlerine ve oranlarına göre geopolimer harçların basınç dayanımı önemli artış göstermemiştir (Al-Mashhadani, vd., 2018).

Ranjbar ve diğ. (2016) yaptıkları çalışmada çelik lif kullanımı artışının 7 günlük erken dayanımda gözle görülür bir şekilde arttığını gösterirlerken uzun dönem dayanımlarda lif kullanım oranı artışının basınç dayanımına gözle görülür önemli bir etki yapmadığını ifade

etmektedirler. Bunun aksine araştırmacılar erken dayanımda polipropilen (PP) lif artışının basınç dayanımına herhangi bir etkisi olmadığını ortaya koyarken, polipropilen lif oranındaki artışın 56 günlük basınç dayanımında önemli ölçüde bir basınç dayanımı azalmasına sebep olduğunu göstermektedirler.

Bernal vd. (2010) yaptığı çalışmada cüruf esaslı geopolimer betona çelik lif kullanımının etkisini araştırmışlardır. Hem geleneksel portland çimentolu betonda hemde cüruf esaslı geopolimer betonda çelik lif eklenmesinin lif katkısız beton numunelerine kıyasla basınç dayanımında düşüşe sebebiyet verdiğini göstermektedirler. Çelik liflerin betondaki hacminin artışıyla basınç dayanımındaki düşüşün daha gözle görülür olduğu ifade edilmektedir.

2.12 Lif Katkılı Geopolimerlerde Eğilme Dayanımı

Beton yada harçta fiber malzeme eklenilerek gevrek kırılmayı önleyip malzemenin sünek davranmasını sağlamak hedeflenir. Bu sayede eğilme ve çekme dayanımında artış gözlemlenir. Geopolimer kompozitlerde çimento bazlı kompozitlerdeki gibi çekme ve eğilme dayanımları artmaktadır (Shaikh, 2013).

Al-Mashhadani ve diğ. (2018) yaptıkları çalışmada uçucu kül esaslı olmak üzere geopolimer harçların mekanik özelliklerini farklı oranlarda çelik (ST), polipropilen (PP) ve polivinil alkol (PVA) lifler kullanarak incelemiştir. Kontrol numuneleri ile kıyaslandığında lif kullanımlı betonun eğilme dayanımının önemli bir dayanım gösterdiği ifade edilmektedir. Kontrol numuneleri ile, 28 gün için %1.2 çelik ve polivinil alkol lif kullanım oranlarında üretilen numuneler kıyaslandığında sırasıyla %31.45 ve %39.84'lük değerler gözlenmiştir.

Ranjbar ve diğ. (2016) yaptıkları çalışmada uçucu kül esaslı hacimce %0.5, %1, %2, %3 ve %4 oranlarında polipropilen (PP) ve çelik (ST) lif kullanılarak geopolimer beton üretmişlerdir. Sonuçlar çelik lif kullanımının eğilme dayanımında önemli bir artışa sebep olduğunu ortaya koymuştur. Çalışmada %3 oranından daha fazla lif kullanımının dayanımda az da olsa bir düşüklüğe sebep olduğunu ve bu durumun taze beton esnasındaki sıkışma, kalıplamadaki zorluk, vibrasyon ve fazla boşluk içeriğinden kaynaklı zayıf fiber-matris temasından kaynaklı olduğunu belirtmektedirler. Lif tipi ve oranlarına göre eğilme dayanımındaki değişim değişiklik göstermektedir (Al- Masshadani, et al., 2018).

Bernal ve diğ. (2010) elik lif kullanımının cüruf esaslı geopolimer betona etkisini araştırmışlardır. 7, 14 ve 28 günlük hazırlanan numuneler kontrol numuneleri ile kıyaslandığında tüm yaşlarda eğilme dayanımlarının arttığı belirtilmiştir. Çalışma sonucunda elik lif katkılı geopolimer betonun alternatif olarak üretilen elik lifli portland çimentolu betona kıyasla daha iyi bir eğilme dayanımı performansı gösterdiği görülmektedir. elik lif katkılı geopolimer betonun çatlak sonrası davranışı portland çimentolu betonlar ile kıyaslandığında lif katkısının çatlak sonrası davranışını iyileştirdiği belirtilmektedir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Yüksek fırın cürufu

Bu tez çalışmasında kullanılan yüksek fırın cürufu Karabük ilinde faaliyet yürüten Karçimsa firmasından temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan yüksek fırın cürufunun özgül yüzeyi $3996 \text{ cm}^2/\text{g}$ ve özgül ağırlığı 2.86 g/cm^3 'tür. Çalışmada kullanılan öğütülmüş yüksek fırın cürufunun kimyasal bileşeni aşağıdaki çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1: Yüksek fırın cürufunun kimyasal bileşimi.

Birleşim	(%)
Al_2O_3	9.94
Fe_2O_3	1.25
CaO	32.45
MgO	9.31
Cl-	0.015
SO_3	0.82
S -2	0.33
Na_2O	0.31
K_2O	0.85
TiO_2	1.16
Mn_2O_3	3.51

3.1.2 Agregat

Deney numunelerin üretim aşamasında ince agregat olarak dere kumu agregası, iri agregat olarak ise dere agregası kullanılmıştır. Deney çalışmalarında kullanılan agreganın dane büyüklüğü TS 802 standartında belirtildiği gibi seçilmiştir. Kullanılan ince agregaların dane boyutu 0-4 mm, iri agreganın dane boyutu ise 4- 8 mm olarak belirlenmiştir.

Beton karışımında kullanılan agregalara ait örnekler Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Deney aşamasında kullanılan iri ve ince agrega

3.1.3 Aktivatörler

Bu çalışmada üretilen geopolimer beton numunelerinde aktivasyonu başlatmak için alkali aktivatör olarak sodyum hidroksit ve sodyum silikat kullanılmıştır. Geopolimer beton karışımında kullanılan sodyum hidroksit çözeltisi 10M olarak hazırlanmıştır. Ön döküm analiz numunlerinde optimum sonuçları elde ettiğimiz karışımları daha optimize hale getirmek için hazırlanan karışıma aktivatör olarak alkali çözeltilere ağırlıkça Na_2SiO_3 eklenerek kimyasal aktiviteye katkı sağlanmıştır. Na_2SiO_3 'un temini Detsan firması tarafından sağlanmıştır.

Kullanılan aktivatörlerin kimyasal özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çalışmada kullanılan sodyum silikat Şekil 3.2'de sodyum hidroksit Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ise Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2: Aktivatörlere ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler

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 3.2: Deney bünyesinde kullanılan Sodyum Silikat



Şekil 3.3: Deney esnasında kullanılan Sodyum Hidroksit

3.1.4 Kimyasal katkı

Bu çalışmada geopolimer mekanik özellikleri artırmak için kimyasal bir katkı olan akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Şekil 3.4'te çalışmada kullanılan akışkanlaştırıcı gösterilmektedir.



Şekil 3.4: Deneyde esnasında kullanılan kimyasal katkı

3.1.5 Kenevir lif

Bu çalışmanın ilk aşaması doğal lifler ile sentetik ve çelik liflerin belirli yüzdelerde kullanılarak optimum değerlerinin bulunmasıdır. Kenevir deneyde doğal bir lif olduğu için

ve yapılan diğer çalışmalarda yüksek mukavemet özelliğinden bahsedilmesinden ötürü tercih edilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan kenevir lif şekil 3.5’de gösterilmektedir.



Şekil 3.5: Deney çalışmasında kullanılan Kenevir Lif

3.1.6 Bazalt lif

Bu çalışmada bazalt lifi çevre dostu olması, yüksek mukavemet özelliği ve kimyasal katkılara karşı iyi direnç göstermesinden ötürü tercih edilmiştir. Deneyde kullanılan bazalt lifine ait malzeme özellikleri aşağıda yer alan Çizelge 3.3’de verilmiş olup bazalt lifinin görseli Şekil 3.6’da gösterilmektedir.

Çizelge 3.3: Bazalt life ait teknik özellikler

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



Şekil 3.6: Deney çalışmasında kullanılan Bazalt Lif

3.1.7 Cam elyaf lif

Bu çalışmada cam elyaf lifi daha önce yapılan çalışmalarda betona sünek bir yapı kazandırmasının kanıtlanmış olması sebebiyle tercih edilmiştir. Çalışmada kullanılan bazalt life ait teknik özellikler çizelge 3.4’de verilmiştir. Cam elyafın görseli Şekil 3.7’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.4: Cam Elyaf lifine ait teknik özellikler

Çekme Dayanımı	3400
Elastisite Modülü	77 Gpa
Elyaf Çapı	13-15 mikron
Elyaf Uzunluğu	12 mm
Uygulama sıcaklığı	minimum -60 C -maksimum +650 C
Erime Noktası Maksimum	1120 C
Yoğunluk maksimum	2,60 gr/cm ³



Şekil 3.7: Deney çalışmasında kullanılan Cam Elyaf Lif

3.1.8 Makro çelik lif

Deneyde kullanılan makro çelik lif, 60 mm uzunluğunda ve 0.90 mm çapındadır. Çelik lifin temini Kemerli Metal A.Ş tarafından sağlanmıştır. (Özgül ağırlığı 7.8 g/cm³).



Şekil 3.8: Makro Çelik Lif (URL 2)

3.1.9 Mikro elik lif

Deneyde kullanılan mikro elik lif 13 mm uzunluğunda 0.2 mm çapındadır. Çekme dayanımı 2850 MPa ‘dan buyktr.

elik life ait teknik özellikler izelge 3.5’te verilmiştir. (zgl Ağırlığı 7.2 gr/cm³).

Çizelge 3.5: elik life ait teknik zellikler

Ham malzeme	Karbon elik
Tipi	Düz
Renk	Bakır kaplı
Uzunluk	5 ~ 60mm
apı	0.2 ~ 0.3mm
Çekme dayanımı	≥ 2800Mpa



şekil 3.9: Deney çalışmasında kullanılan Mikro elik lif

3.1.10 Karışım suyu

Malatya şebeke suyu tüm karışımlarda karma suyu olarak kullanılmıştır.

3.1.10.1 Aletler

3.1.10.1.1 Çelik kalıplar

Ana dökümlerde kullanılacak optimum karışım oranlarının belirlenmesi için ön dökümler yapılmıştır. Ön dökün için hazırlanan geopolimer beton karışımı Şekil 3.10'da görülen 40x40x160 mm boyutuna sahip çelik kalıplara, kalıpların makine yağı ile yağlanması sonucu yerleştirilmiştir.



Şekil 3.10: Çelik Kalıp

3.1.10.1.2 Basınç dayanım cihazı

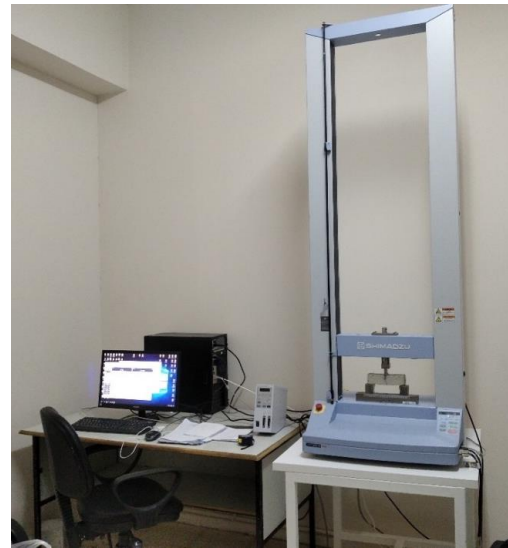
Farklı karışım oranları ile üretilen geopolimer betonların eğilme deneyinden sonra basınç deneyine tabi tutularak basınç değerleri elde edilmiştir. Basınç dayanım testi Şekil 3.11'de görülen ELE marka 3000 kN yükleme kapasitesine sahip tek eksenli basınç dayanım test cihazı ile yapılmıştır. Şekil 3.11'de Basınç dayanım cihazı gösterilmektedir.



Şekil 3.11: Basınç Test Cihazı

3.1.10.1.3 Eğilme test cihazı

Eğilme deneyi 1 kN kapasiteli Shimadzu AGS-X çekme cihazında 3 nokta eğme aparatı ile gerçekleştirilmiştir. Cihazda ± 200 kN dinamik kapasite, ± 240 kN statik kapasite mevcuttur. Hareket mesafesi ± 50 mm'dir. Elde edilen sonuçlar bilgisayar ortamında kayıt altına alınmıştır. Eğilme deneyinin yapıldığı Shimadzu AGS-X çekme cihazına ait görsel Şekil 3.14'te gösterilmektedir.

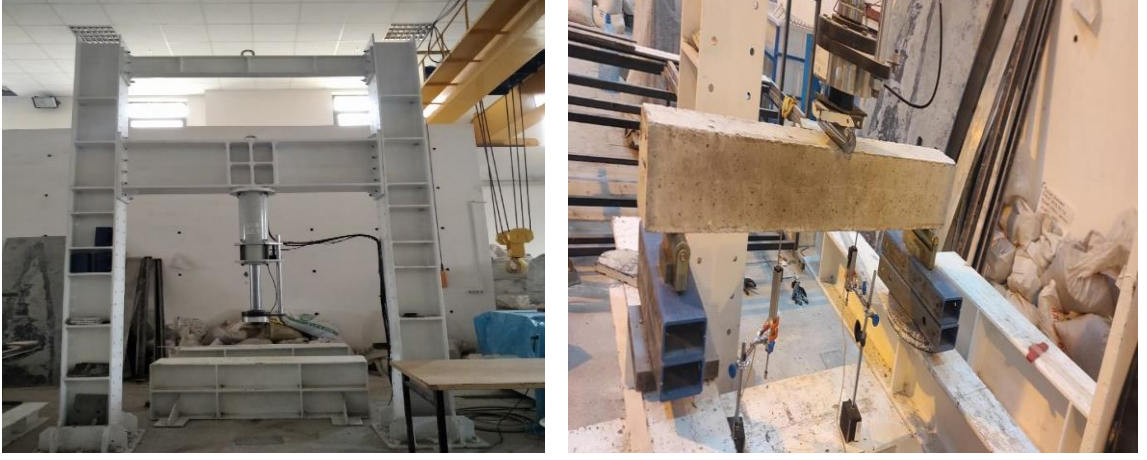


Şekil 3.12: Eğilme test cihazı

3.1.10.1.4 Büyük ölçekli numuneler için eğilme test cihazı

Ön döküm sonucu tespit edilen optimum değerler büyük ölçekli kirişlere uyarlanarak hazırlanan geoplimer beton 10x15x100 cm'lik kiriş numunelerine dökülmüştür. Büyük

ölçekli kiriş numunelerine Şekil 3.15’de gösterilen deney düzeneğinde eğilme deneyi uygulanmıştır.



Şekil 3.13: Kirişler için kullanılan deney düzeneği

3.1.10.1.5 Mikser

Hazırlanan karışım malzemelerinin homojen olarak karıştırılması için Şekil 3.16 ‘da verilen karıştırma mikseri kullanılmıştır.



Şekil 3.14: Mikser

3.1.10.1.6 Hassas terazi

Deney sürecinde deney malzemelerinin tartım işlemlerini için Şekil 3.17’de görülen 0.01 g hassasiyetli terazi kullanılmıştır.



Şekil 3.15: Hassas Terazi

3.2 Metod

Bu bölümde büyük ölçekli ana numunelerin dökümünde kullanılacak lif tipleri ve liflerin optimum karışım oranlarının tespiti anlatılmaktadır. Ön döküm sonucu bulunan optimum değerlere göre betonun hazırlanması, kalıplara yerleştirilmesi ve kürlenme koşulları ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. Kürlenme sonucu 7 ve 28 günlük dayanım özellikleri detaylıca incelenmiştir.

3.2.1 Ön döküm geopolimer beton karışım oranların belirlenmesi

Geopolimer beton üretiminde bağlayıcı malzeme olarak yaygın portland çimentosu yerine alternatif olarak yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Kullanılan bağlayıcının dozajı 780 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Geopolimer beton üretiminde ince agregası 0-4 mm tane boyutunda dere kumu agregası kullanılmıştır. İri agregası olarak da tane boyutu 4-8 mm olan dere agregası kullanılmıştır. Kullanılan agregası miktarı hacimce %60 ince agregası, %40 iri agregası içermektedir.

İncelenen literatür çalışmalarına göre lif içerikleri hacimce %0.25, %0.50, %0.75, %1 ve %1.50 ve daha da artan değerlerin kullanıldığı görülmüştür. Bu tez çalışmasında kullanılan lifler %0.25, %0.50, %0.75 %1 oranlarında katılmıştır. Toplam 102 tane lif katkılı ön döküm numunesi dökülmüştür. Kıyas numunesi olarakta 3 tane kontrol numunesi olan lif katkısız geopolimer beton dökülmüştür. Ön döküm numuneleri 40x40x160 mm ölçütünde çelik kalıplara yerleştirilmiştir. Ön hazırlık süreci iki aşamada hazırlanmıştır. Optimum değerleri bulmak için yukarıda belirtilen yüzde oranlarınca dökümler yapıp kırım

günlerinde kırıldıktan sonra optimum değerleri daha optimize hale getirmek için yeni karışım oranları belirlenmiştir. Optimum lif yüzde oranları için yeni bir geopolimer beton döküm süreci başlatılmıştır. Optimum değerler bulunduktan sonra mevcut karışım oranlarına ilave olarak sodyum silikat ve akışkanlaştırıcı eklenmiştir. Aktivatör olarak alkali çözeltilere ağırlıkça Na_2SiO_3 takviyesi yapılmıştır. Bu sayede kimyasal aktivite desteklendi. Na_2SiO_3 'un temini Detsan firması tarafından sağlanmıştır. Kullandığımız akışkanlaştırıcının kullanım miktarı üzerinde belirtilen değerlere göre bağlayıcı malzemenin kütlege %0.8 ile %3'ü arasında kullanılmaktadır. Karışım içerisinde akışkanlaştırıcı kullanmış olmamızın sebebi NaOH çözeltisini hazırlanırken içerisine su ilavesi gerçekleştirilmesidir. Su ilavesine bağlı olarak üretimdeki kapiler boşluk miktarı artmaktadır. Bu durum dayanımın yüksek oranlara çıkmamasına neden olmaktadır. Bu sebeplerden ötürü akışkanlaştırıcı kullanılması ile kullanılan çözelti miktarı sınırlandırılmış olup buna bağlı olarak su miktarı azaltılmaktadır. Buna bağlı olarak daha az boşluk oranına sahip yüksek performanslı bir beton üretimi gerçekleştirilmektedir.

Literatür taraması yapılarak lif türüne göre çözelti/bağlayıcı oranı 0.52-0.54 ve çözeltinin molaritesi 10 M olarak belirlenmiştir. Bu belirlenen değerlere göre aktivatör miktarı ve hacmi hesaplanmıştır. Bağlayıcı miktarının ve aktivatör miktarının toplamının 1 m³'den çıkarılması ile toplam agrega hacmi bulunmuştur. Bu çalışma kapsamında lif eklemesi yapıldıkça agrega miktarından kısma işlemi gerçekleştirilmemiştir. Bu işlem ile iri agrega yüzey alanı artırılarak çözelti/bağlayıcı oranı azaltılıp daha yüksek dayanım elde edilmesi hedeflenmiştir. Geopolimer beton üretimi sürecinde her bir parametre için 7 günlük 3 kontrol numunesi ve 28 günlük 3 kontrol numunesi olacak şekilde toplam 6 numune üretilmiştir. Karışımlar 6 numunenin toplam hacmi üzerinden hesaplanmıştır. Belirlenen karışım miktarları çizelge 3.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 3.6: Deney esnasında kullanılan malzeme miktarları

Lif yüzdeleri (%)	0.25	0.50	0.75	1
YFC miktarı (gr)	1200	1200	1200	1200
İri agrega(gr)	960	960	960	960
İnce agrega (gr)	1440	1440	1440	1440
NaOH çözeltisi %	%0.50-%0.55			
Bazalt (gr)	9,98	19.96	29.94	39.93
Makro Çelik Lif (gr)	30	60	90	120
Mikro Çelik Lif (gr)	27.5	55	82.5	110
Kenevir lif (gr)	35	70	105	140
Cam elyaf lif (gr)	9,98	19.96	29.94	39.93

Optimum değerler bulunduktan sonra ikinci aşamada ilave olarak YFC'nin kütlece ağırlığının %2 oranında akışkanlaştırıcı eklenmiştir. Silikat ilavesinin örnek hesabı aşağıda anlatılmıştır.

Örnek NaOH ve Na₂SiO₃ miktar hesabı:

Bağlayıcı oranı 0,52 için:

YFC ağırlığı 1200 gr

$0.52 \times 1200 = 624$ gr

Na₂SiO₃ NaOH'ın 1.5 katı olarak alındı

NaOH=X ise Na₂SiO₃=1,5X

$2,5X = 624$ ise $X = 250$ gr $1,5X = 375$ gr olarak hesaplandı

3.2.2 Geopolimer beton üretimi, numunelerin yerine konması ve bakımı

Geopolimer betonun hazırlanmasında kullanılacak malzemeler belirlenen oranlarda 0.1 g hassasiyetli terazide tartılarak karışım hazırlanmıştır.

Ön döküm numunelerinde alkali aktivatör olarak sodyum hidroksit kullanılmıştır. NaOH Çözeltisinin (Alkali aktivatör) Hazırlanması Şekil 3.16'da gösterilmektedir. Sodyum hidroksiti aktif hale getirmek için 10M sodyum hidroksit su ile karıştırılmıştır. Sodyum hidroksit su ile tepkimeye girdiği zaman egzotermik tepkimeye girmekte ve ısı açığa çıkmaktadır. Isınan çözelti soğuyuncaya kadar bekletildikten sonra karışımda kullanılmaktadır.



Şekil 3.16: NaOH Çözeltisinin (Alkali aktivatör) Hazırlanması

Sırasıyla YFC, ince agrega ve iri agrega karışım kabına eklendi. Kuru malzemeler homojen hale gelinceye kadar yani yaklaşık 2-3 dakika süre boyunca karıştırıldı. Devamında lifler katı karışıma eklendi. Eklemeden sonra lifler homojen olarak karışımaya kadar tekrar karıştırıldı. Daha sonra sodyum hidroksit çözeltisi ilave edilerek 5 dakika el mikseri ile karıştırıldı. Homojen karışımı sağlanan geopolimer beton karışımı kalıptan kolayca çıkması için yağlanan 40x40x160 mm boyutlarındaki çelik kalıplara yerleştirildi. Geopolimerin kalıplara dökümünde en önemli işlemi sıkıştırma işlemidir. Kademeli olarak kalıba dökülen geopolimer betona her kademedede sıkıştırma işlemi gerçekleştirildi. Son aşamada karışımın tamamı kalıplara döküldükten sonra karışımın kalıp içerisine düzgün şekilde yerleşmesi ve boşlukların oluşmaması için kalıplara tokmakla vurularak vibrasyon etkisi yapıldı. Yerleştirilen numunelerin yüzeyi mala ile düzeltilip laboratuvar odasında klima 28C' ye ayarlanarak 24 saat kalıpta bekletildi. 24 saatin sonunda kalıptan çıkarılan numuneler kürlenme süresi için su havuzuna bırakıldı. Kür havuzunda 7 ve 28 güne kadar bekletildi. Kırım gününden bir önceki gün sudan çıkartılarak numunelerin kuruması beklenildikten sonra kırım işlemine geçildi. Şekil 3.17'de lif katkılı geopolimer betona ait malzemelerin tanıtımı ve hazırlanma aşaması gösterilmiştir.



a: bazalt lif



b: yüksek fırın cürufu



c: ince agrega



d: iri agrega



e: cam elyaf



f: karışımda kullanılacak sodyumhidroksit



g: katı malezemelerin mikser ile karışımı



ğ: katı karışımların sodyumhidroksit ile karışımı



h: çelik kaplara yerleşen beton

Şekil 3.17: Lif katkılı geopolimer betonun malzeme ve hazırlanma aşaması



Şekil 3.18: Döküm sonunda kalıplara yerleştirilen geopolimer beton



Şekil 3.19: Kalıptan çıkartılan geopolimer beton



Şekil 3.20: Su havuzuna bırakılan numuneler



Şekil 3.21: Su havuzundan çıkartılıp kuruması için laboratuvar odasına alınan numuneler

3.2.3 Sertleşmiş beton deneylerinde uygulanan yöntemler

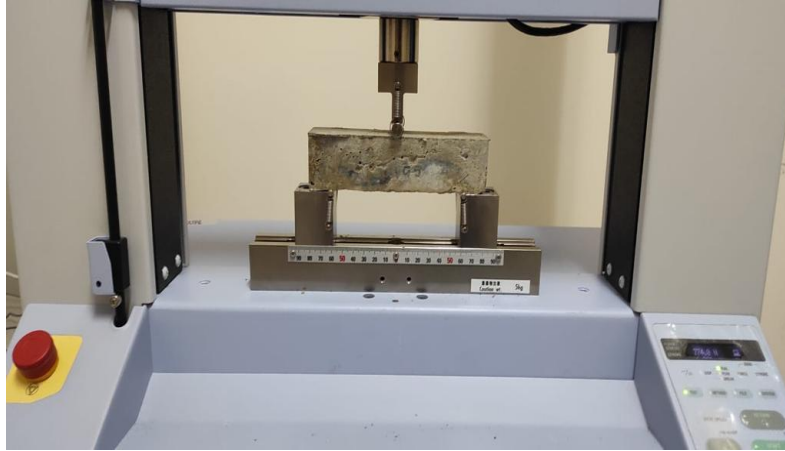
Bu çalışmada üretilen geopolimer betonlar 7 ve 28 gün su havuzunda bekletildikten sonra basınç ve eğilme deneylerine tabi tutuldu. Lif içeren numunelerin mekanik özellikleri ile lifsiz numunelerin mekanik özellikleri karşılaştırıldı.

3.2.3.1 Ön döküm numunelerin eğilme dayanımı

40*40*160 mm büyüklüğündeki kiriş numunelerin eğilme dayanımlarını bulmak için şekil 3.23'deki cihaz kullanıldı. 16 cm uzunluğundaki numune için 12 cm açıklığında cihaza yerleştirilerek orta noktadan yükleme yapıldı.

Üretilen geopolimer beton kiriş numuneleri 7. ve 28. günün sonunda eğilme deneylerine tabi tutuldu. Her bir parametre için üç adet numune hazırlandı. Eğilme dayanımları bu üç

örneğin aritmetik ortalaması alınarak elde edildi. Toplamda 102 adet numunenin sonuçları analiz edildi. Elde edilen sonuçlar bilgisayar ortamında kayıt altına alındı.



Şekil 3.22: Eğilme cihazındaki numune

3.2.3.2 Ana numunelerin eğilme dayanımı

Geoplimer beton kirişlerin eğilme testi yükleme kapasitesi 60 ton olan çerçeve sistem tarafından gerçekleştirildi. Eğilme dayanımının tespiti için kiriş elemanlarının orta noktası bulunarak yükleme yapıldı. Yükleme; donatılı lif katkısız geoplimer kiriş, tamamı makro lif katkılı donatılı geoplimer kiriş, çekme bölgesi makro lif katkılı donatılı geoplimer kiriş, tamamı mikro lif katkılı geoplimer kiriş, çekme bölgesi mikro lif katkılı geoplimer lif olmak üzere 5 adet yapı elemanı üzerinden gerçekleştirildi. Deplasmanların tespit edilebilmesi açısından köşelerden merkeze kadar olan uzaklığın 3/4'ü mesafede 2 adet LDVT cihazlar yerleştirildi. Yükleme işlemini başlatmadan önce hazırlık aşamasında kiriş elemanlarının yükleme yapılacak kısmına çelik dairesel plaka ve kauçuk yerleştirildi.

Yük, eğilme altında sabit olarak 1 mm/dk hızında uygulandı. Cihazın bağlı olduğu bilgisayar tarafından sayısal veriler kaydedildi (M. Maras ve F. Kantarci 2022).



Şekil 3.23: Yükleme yapılacak kısmına kauçuk ve çelik dairesel plaka yerleştirme görseli

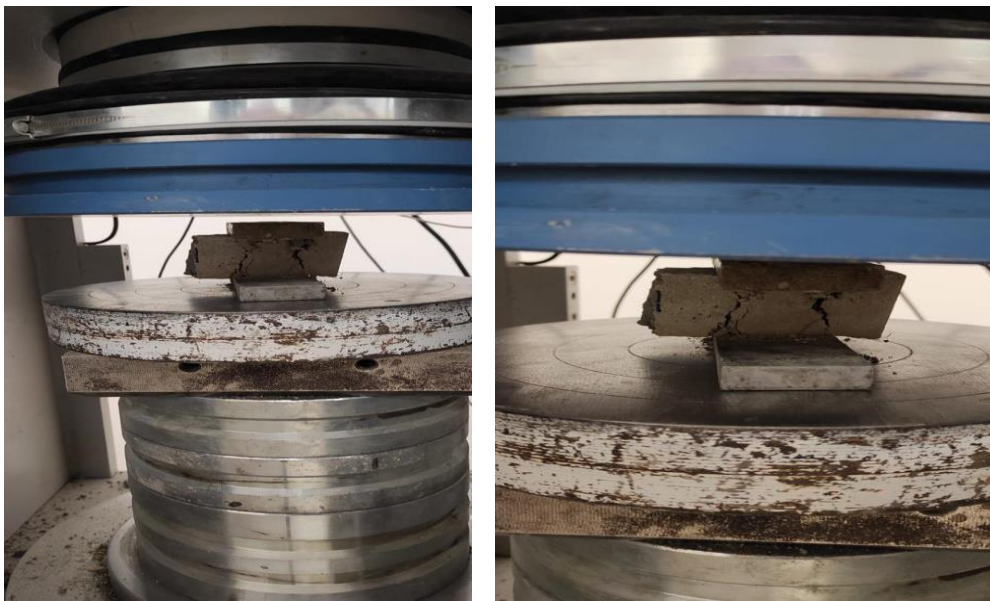


Şekil 3.24: LVDT yerleştirilmiş yüklemeye hazır geopolimer kiriş

3.2.3.3 Ön döküm numunelerin basınç dayanımı

Beton numunelerin eğilme dayanımları sonucu numune ortadan kırılarak kalan parçalar üzerinden basınç dayanımına bakıldı. Basınç dayanımı testleri laboratuvarında bulunan görseli Şekil 3.27’de yer alan basınç cihazında, TS EN 12390-3 standartlarına uygun olarak yapıldı. Numuneler 4x4 cm alana sahip aparata düzgün şekilde yerleştirildikten sonra cihaz ekranından yükleme hızı seçildi. Cihazın yükleme hızı standartlara uygun olarak 2.40 kN/s olarak seçildi.

Numuneler pres cihazına yerleştirilirken, cihazın yükleme bölgesinin ortasına gelecek şekilde konumlandırıldı. Basınç dayanımı yükleme sonrasında elde edilen kuvvet değerinin yüzey alanına bölünmesi ile hesaplandı. Birimi MPa’dır. Basınç dayanımları belirlenirken, 7 ve 28 günlük numunelerde her bir karışım için 3’er adet numune üretildi ve bu 3 adet numunenin dayanımlarının aritmetik ortalaması alındı.



Şekil 3.25: Basınç dayanım cihazındaki numune

3.2.4 Geopolimer Beton Kiriş Üretimi

Geopolimer beton kiriş üretiminde bağlayıcı malzeme olarak YFC kullanıldı. Kullanılan bağlayıcının dozajı 780 kg/m^3 olarak belirlendi. Geopolimer plak beton üretiminde iri agrega olarak tane boyutu 4-8 mm olan dere agregası, ince agrega olarak ise 0-4 mm tane boyutunda dere kumu agregası kullanıldı. Kullanılan agrega oranları hacimce % 60 ince agrega, %40 iri agrega olarak belirlendi. Üretilen kiriş numunelerine çapı 12 mm olan boyuna donatı ve çapı 10 mm etriye donatısı konuldu. Öncesinde yapılan ön döküm sonuçları lif katkısız geopolimer beton ile kıyaslandığında mikro çelik lif hariç bazalt, cam elyaf, kenevir ve çelik lifte önemsenecek bir artış gözlenmedi. Ancak mikro çelik lifte önemsenecek artış gözlenildi. Makro çelik lif boyu ön döküm numuneleri için kullanılan kalıplara büyük gelmiş olup homojen yayılım göstermedi. Aynı zamanda yatay yerleşme gösteremediğinden eğilme deneyi sonuçlarında istenilen sonuçlar alınamadı. Büyük ölçekte makro çelik lifin homojen yayılım göstereceği düşünüldüğü için büyük ölçekte üretilen kiriş numuneleri hem makro çelik lifin optimum değeri hemde mikro çelik lifin optimum değeri üzerinden üretildi. Karşılaştırma numunesi olarak lif katkısız donatılı geopolimer beton dökümü gerçekleştirildi. Çizelge 3.7’de geopolimer kirişlere ait karışım oranları gösterilmiştir. Çelik kalıbın boyutları $100 \times 150 \times 1000 \text{ mm}^3$ ’dur. Laboratuvarda yapılan ön denemelerin sonucu çözelti/bağlayıcı oranı 0.52 ve literatür taraması sonucu referans alınan çözeltinin optimum molaritesi 10M olarak belirlendi. Bu belirlenen değerlere göre aktivatör miktarı ve hacmi hesaplandı. Bağlayıcı miktarının ve aktivatör miktarının toplamının 1 m^3 ’den çıkarılması ile toplam agrega hacmi bulundu. Geopolimer beton kiriş üretimi için belirlenen karışım miktarları ve kalıp görselleri Şekil 3.26’da ve Şekil 3.27’de gösterildi.

Çizelge 3.7: Geopolimer kirişlere ait karışım oranları

	Lifsiz Kiriş	% 1 Tamamı Lif Katkılı	% 1 Sadece Çekme Bölgesi Lif Katkılı
YFC (gr)	11718	11718	11718
İri Agrega (gr)	9375	9375	9375
İnce Agrega (gr)	14062	14062	14062
Akışkanlaştırıcı (gr)	235	235	235
Na₂SiO₃ (gr)	3656	3656	3656
NaOH (gr)	2437	2437	2437
Mikro Çelik Lif (gr)	x	108	54
Makro Çelik Lif (gr)	x	116	58



Şekil 3.26: Geopolimer kiriş içerisinde kullanılan donatı



Şekil 3.27: Kalıplara yerleştirilen geopolimer beton



Şekil 3.28: Kalıptan çıkartılan geopolimer beton

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, bazalt, kenevir, cam elyaf, makro çelik lif, mikro çelik lif ve referans numunesi olarak lifsiz geopolimer beton üretildi. Başlangıçta, geopolimer betonun sürdürülebilirliğini artırmak için doğal kökenli liflerin kullanımı hedeflenmişti. Ancak yapılan ön döküm analiz sonuçlarına göre doğal kaynaklı lifler beklenen sonuçları vermedi. Yapılan çalışmalarda çelik lifler ile betonun sünek davranışı, deplasman kapasiteleri ve enerji yutma kapasitelerinin artışı sağlandı. Sürdürülebilirlik ve ekonomiklik açısından, lifler sadece çekme bölgesine yerleştirilerek tam bölge lifli numuneler ile karşılaştırıldı. Deneyler sonucunda elde edilen grafikler detaylı bir şekilde kıyaslanarak geopolimer kirişlerde bölgesel lif kullanımının sonuçları değerlendirildi.

4.1 Geopolimer Harcın Optimizasyonu

4.1.1 Basınç dayanımı

Alkali aktivatörler ile yüksek fırın cürufunun polimerizasyon tepkimelerine girmesi ile Si-O-AL-O bağlarını içeren polimerik zincir halkasal yapı açığa çıkar. Bu kimyasal reaksiyonların geopolimer üretimlerde dayanım kazandırdığı düşünülmektedir (Van Chanh ve diğ., 2008).

Bununla beraber yüksek fırın cürufunun yapısında bulunan yüksek CaO nedeniyle polimerizasyon tepkimeleri sonucunda C-S-H jelleri (tobermorit) oluşmasıyla dayanım kazandığı düşüncesi desteklenmektedir (Aziz ve diğ., 2020).

Aktivatör olarak kullanılan Na_2SiO_3 sıvı formda iken güçlü bağlanmayı sağlayan ve basınç dayanımını artırmayı destekleyen polimerizasyon reaksiyonlarının veriminin artmasını sağlar. Bununla beraber Na_2SiO_3 yüksek viskozite özelliği gösteren bir malzeme olup karışımda fazla miktarda kullanılırsa aktivatör/bağlayıcı oranını yükseltip polimerizasyon reaksiyonlarının verimini düşüreceğinden dayanımı olumsuz etkileyecektir (Aziz ve diğ., 2020).

DeneySEL bulgular incelendiğinde, en düşük 7 günlük basınç dayanımı, K0.25 numaralı karışımda 18.09 MPa olarak belirlenmiştir. 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde

en düşük basınç dayanımı K0.25 numaralı karışımda 21.44 MPa olarak belirlenmiştir. En yüksek 7 günlük basınç dayanım değeri MÇ1 numaralı karışımda 37.5 MPa olarak belirlenmiştir. 28 günlük dayanımlara bakılacak olursa en yüksek değerin MÇ1 numaralı karışımda 49 MPa olduğu görülmüştür. Geopolimer üretimde hızlı reaksiyon gerçekleştiği için dayanımın büyük bir kısmı 7 günde elde edilmiştir. Ön döküm numuneleri sonucunda optimum değer gözlenen karışım değerlerini daha optimize hale getirip dayanım değerlerini yükseltmek için karışıma ilave olarak YFC'nin kütlece %2'si kadar akışkanlaştırıcı ve NaOH'ın 1.5 katı kadar Na_2SiO_3 eklemesi yapılmıştır. Yapılan eklemeler sonucunda 28 günlük basınç dayanımı %1 katkılı mikro çelik lif için 97 MPa'a, %1 katkılı makro çelik lif için ise 70 MPa'a yükseldiği gözlenmiştir. %1lif katkılı mikro çelik lifin optimize edilmiş hali optimize edilmemiş hali ile kıyaslandığında %97,95'lik bir artış göstermiştir. %1lif katkılı makro çelik lifin optimize edilmiş hali optimize edilmemiş hali ile kıyaslandığında %59,24'lük bir artış gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar alkali aktivatörlerin basınç dayanımını olumlu yönde etkilediğini desteklemektedir.

Lif katkısız geopolimer betonun deney sonuçları ile üretilen karışımın 7 ve 28 günlük optimum değer sonuçları kıyaslanmıştır. 7 günlük dayanım lif katkısız karışıma kıyasla %1 lif katkılı mikro çelik lif (MÇ1) karışımında yaklaşık olarak %61.02'lik bir dayanım elde edilmiştir. 28 günlük nihai dayanımlar için MÇ1 numaralı karışımda, lif katkısız karışıma kıyasla yaklaşık olarak %85 'lik bir dayanım artışı gözlenmiştir.

Hazırlanan karışımlar ile ilgili 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri ayrıntılı olarak Çizelge 4.1'de gösterilmektedir. Bu tez kapsamında önceliğimiz olan doğal liflerin lif katkısız geopolimer betonlar ile kıyaslaması yapıldığında:

Kenevir gurubundan en yüksek dayanım %1 oranında kenevir karışımından elde edilmiştir. %1 kenevir lif katkılı geopolimer beton lif katkısız geopolimer betona kıyasla 7 ve 28 günlük dayanımlar sırası ile %14.66 ve %10.57'lik bir artış göstermiştir.

Bazalt lif oranı artırıldıkça beton karışım içerisinde topaklanma gösterdiğinden işlenebilirlik özelliğini kaybetmiştir. Bu sebeple bazalt gurubunda en yüksek dayanım %0.50 bazalt karışımında elde edilmiştir. %0.50 bazalt lif katkılı geopolimer beton, lif katkısız geopolimer betona göre 7 günlük dayanımda %19.91'lik bir artış göstermiştir. Nihai dayanım olan 28 günlük geopolimer beton lif katkısız geopolimer betona kıyasla dayanım artışı gözlenmemiştir.

Sentetik ve Çelik lif gurubunun lif katkısız geopolimer betona kıyaslaması yapıldığında:

Cam gurubundan en yüksek dayanım %1 cam elyaf karışımından elde edilmiştir. %1 cam elyaf katkılı geopolimer beton, lif katkısız geopolimer betona kıyasla 7 günlük ve 28 günlük dayanımlar sırası ile %23,98 ve %17'lik bir artış göstermiştir. Makro çelik lif gurubundan en yüksek dayanım %1 çelik lif katkılı karışımından elde edilmiştir. %1 çelik lif katkılı geopolimer beton, lif katkısız geopolimer betona göre 7 ve 28 günlük dayanımlar sırası ile %48 ve %66'lık bir artış göstermiştir.

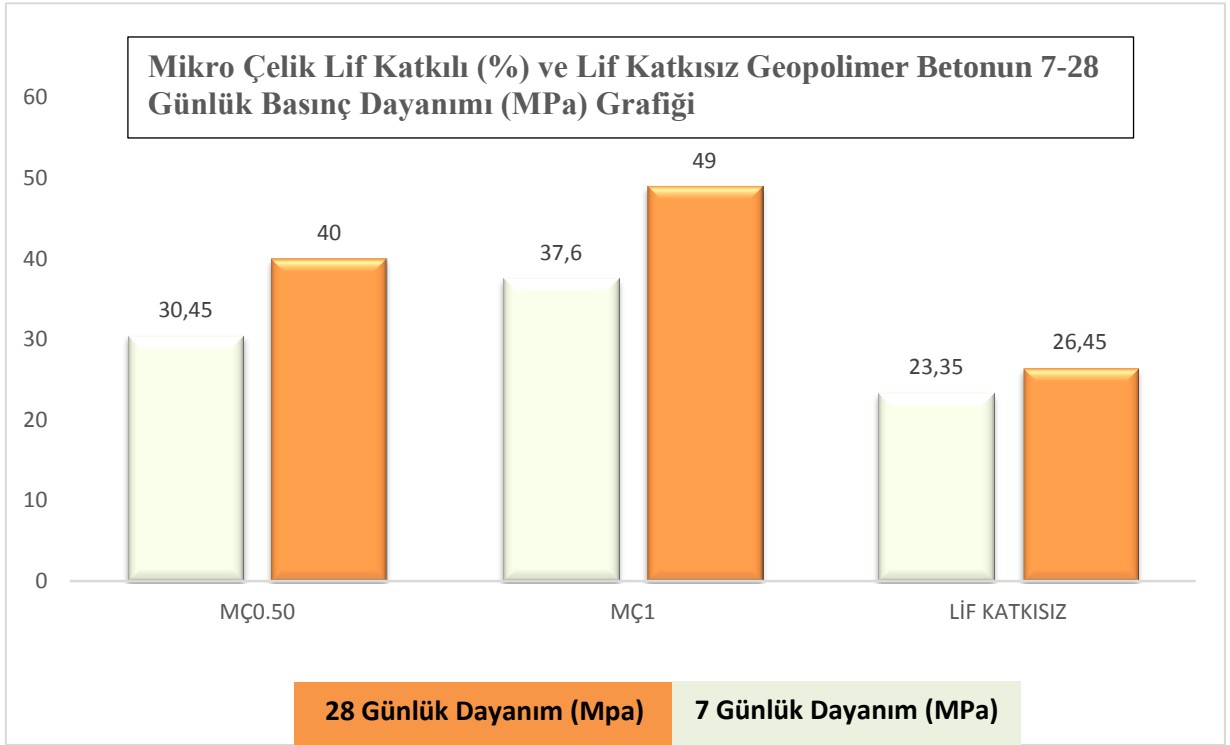
Çizelge 4.1'de 7 ve 28 günlük basınç dayanımı deney sonuçları verilmektedir. Şekil 4.1-4.2-4.3-4.4-4.5-4.6'da deney aşamasında kullanılan parametrelerin kıyaslaması grafik üzerinden gösterilmektedir.

Çizelge 4.1: Ön karışımların basınç dayanımları

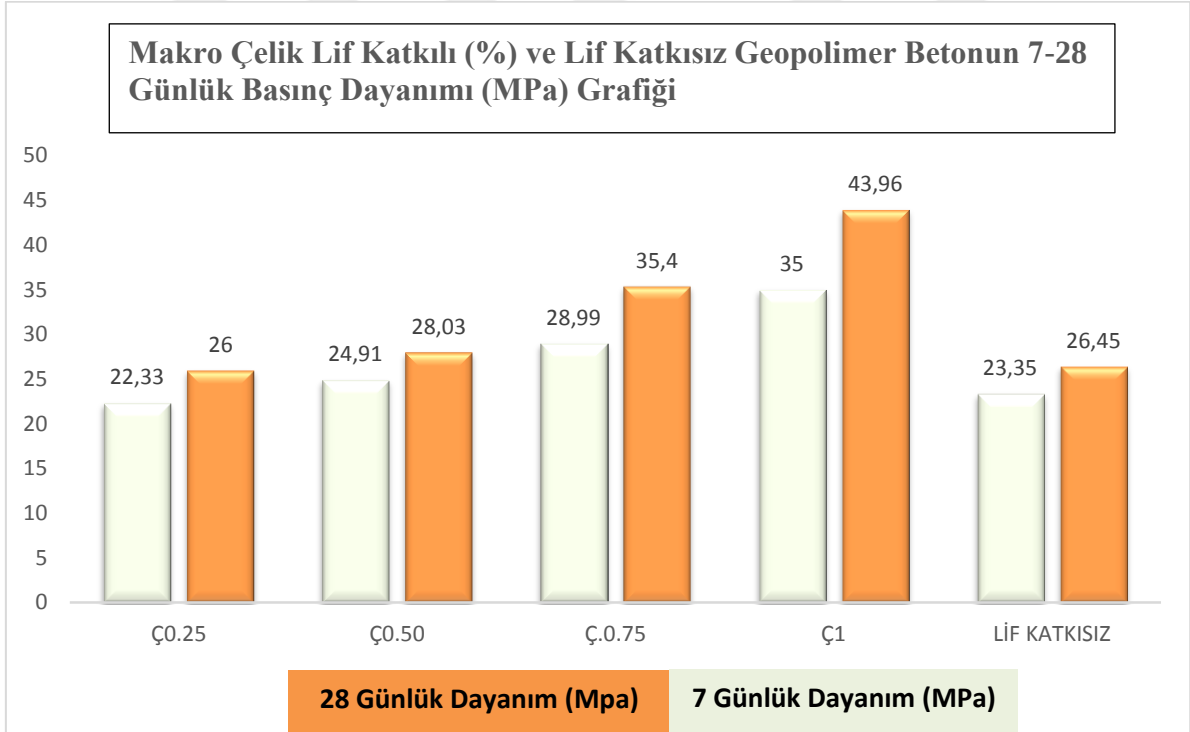
BASINÇ DAYANIMI (4X4X16 cm)		
Karışım no	7 Günlük Dayanım (MPa)	28 Günlük Dayanım (MPa)
B0.25	21,91	22,4
B0.50	28	26,44
B0.75	25,48	27,45
B1	25,91	25,01
K0.25	18,09	21,44
K0.50	24,3	27,66
K0.75	23,85	21,75
K1	26,78	23,98
C0.25	24,38	27,35
C0.50	24,96	29,4
C0.75	27,75	26,33
C1	28,95	31,03
Ç0.25	22,33	26,00
Ç0.50	24,91	28,03
Ç.0.75	28,99	35,4
Ç1	35	43,96
MÇ0.50	30,45	40
MÇ1	37,60	49
LİF KATKISIZ	23,35	26,45

Çizelge 4.2: Optimize edilmiş beton basınç dayanımı

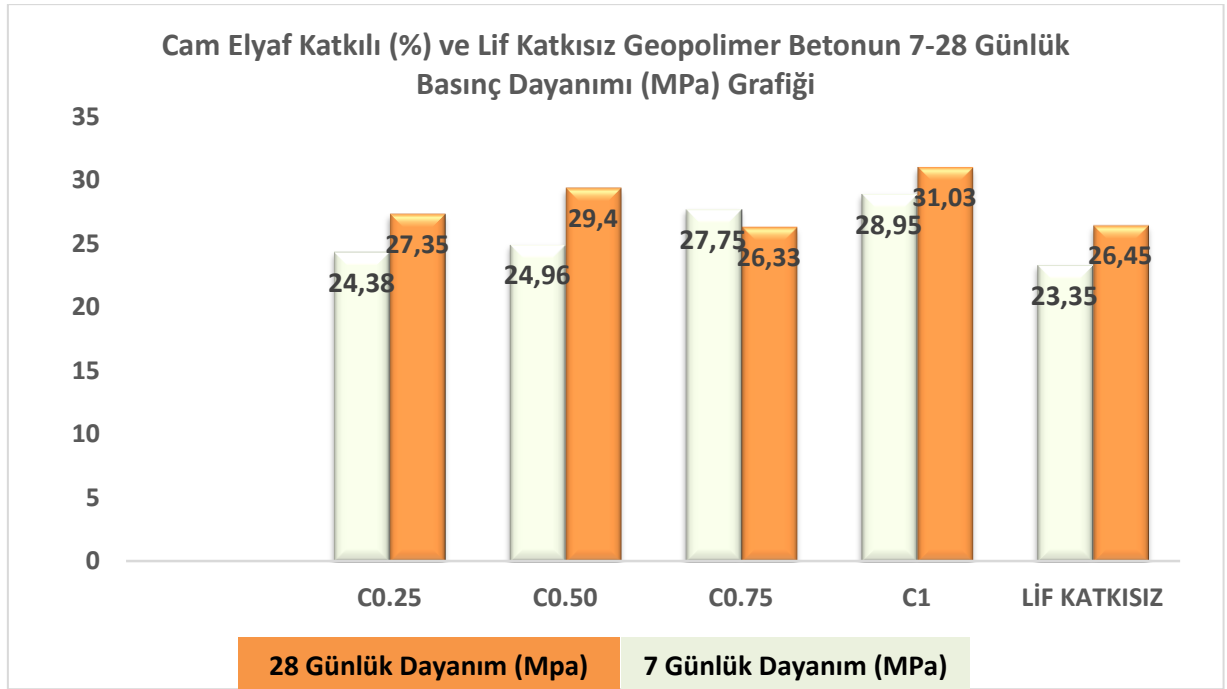
BASINÇ DAYANIMI (4x4x16cm)		
Karışım No	28 Günlük Optimize Dayanım MPa	28 Günlük İlk Dayanım Mpa
Mikro Çelik Lif %1	97	49
Makro Çelik Lif %1	70	43,96
Lif Katkısız	26,45	26,45



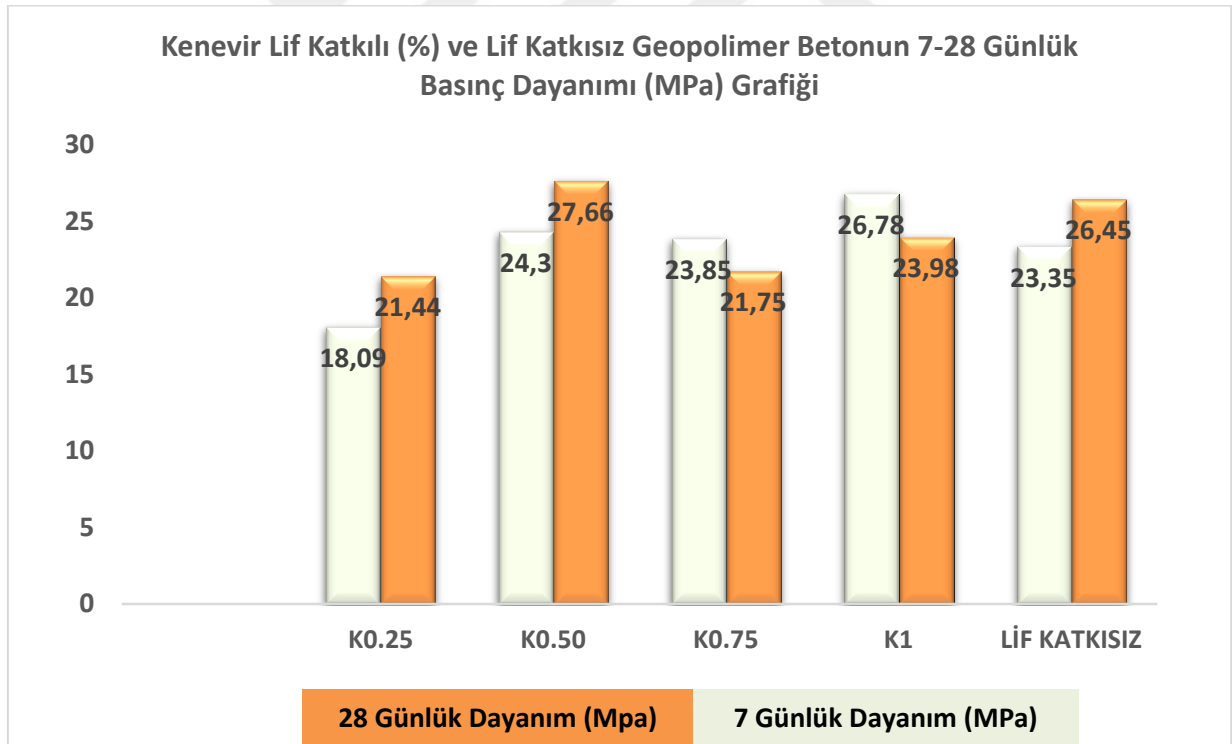
Şekil 4.1: Lif katkısız geopolimer beton ile mikro çelik lif katkılı (%) geopolimer betonun basınç dayanım grafiği



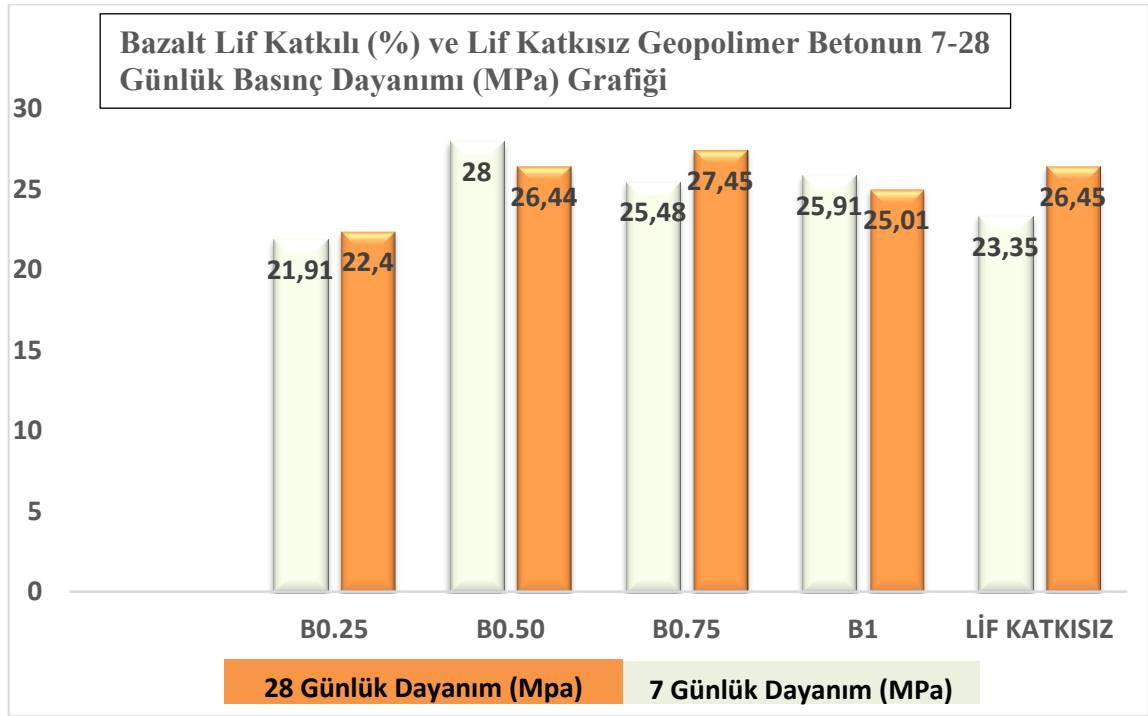
Şekil 4.2: Lif katkısız geopolimer beton ile makro çelik lif katkılı (%) geopolimer betonun basınç dayanım grafiği



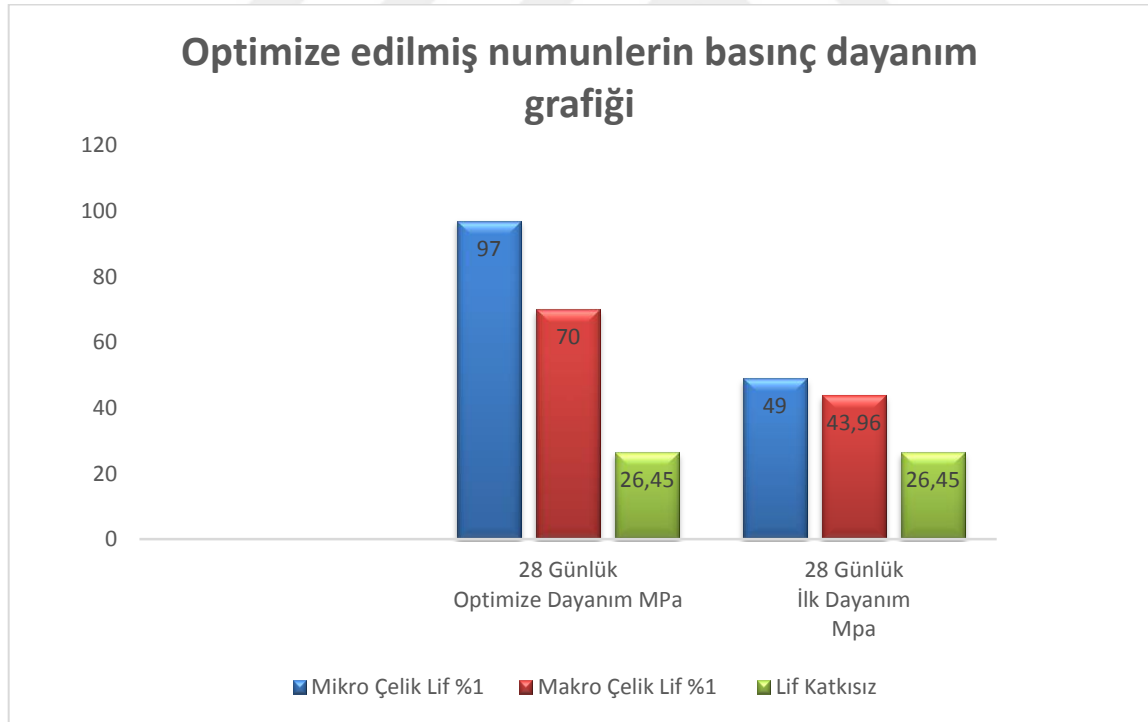
Şekil 4.3: Lif katkısız geopolimer beton ile cam elyaf katkılı (%) geopolimer betonun basınç dayanım grafiği



Şekil 4.4: Lif katkısız geopolimer beton ile kenevir elyaf katkılı (%) geopolimer betonun basınç dayanım grafiği



Şekil 4.5: Lif katkısız geopolimer beton ile bazalt lif katkılı (%) geopolimer betonun basınç dayanım grafiği



Şekil 4.6: Ön döküm numunelerinin ilk aşamasında elde edilen optimum değerlerin optimize edilmiş halini kıyaslayan basınç dayanım grafiği

4.1.2 Ön döküm numunelerin eğilme dayanımı

Ön döküm deney numuneleri ve ana döküm kiriş numunelerinin deney sonrası grafikleri aşağıda yer alan şekillerde gösterilmiştir. Aynı zamanda çizelge 4.3'te ön döküm numunelerinin eğilme dayanım sonuçlarının sayısal değerleri verilmiştir. Sayısal değerler incelendiğinde bazalt en yüksek nihai dayanımı %1'lik karışımda $7,22 \text{ N/mm}^2$ değerinde verdiği görülmüştür. Lif katkısız geopolimer betonun 28 günlük nihai dayanım değeri ile karşılaştırılacak olursak %6,83 dayanım kaybettiği görülmüştür. Bununla beraber yük deplasman ilişkisi incelendiğinde betonun sünek davranış sergilemediği ve ani kopma davranışı gözlenmiştir. Bazalt lifi su küründen çıkartılıp kırım sonrası betonun içerisi incelendiğinde bazalt lifin su ile teması sonrası liflerin beton içerisinde ayrıştığı gözlenmiştir. Lif bütünlüğünü koruyamadığı için betona süneklik kazandırma noktasında destek sağlayamamıştır. Lif artışı ile dayanımın sağlanamaması taze beton esnasındaki sıkışması, kalıplamadaki zorluk, vibrasyonun iyi düzeyde sağlanamaması ile boşluklu yapının oluşması bununla beraber zayıf fiber-matris temasının oluşmasındandır (Al-Masshadani, vd. 2018).

Kenevir lifi malzeme olarak çok hafif ve çok zayıf olduğundan dolayı yüzdesel olarak küçük yüzde oranlarının ya da bir birine yakın yüzde oranlarının sonuca çok bir katkı sağlayacağını düşündürmediğinden direkt %0.50 ve %1 oranında inceleme gerçekleştirilmiştir. Karışım hazırlanırken mikser ile karıştırma esnasında kenevir lifi aynı bazalt lifi gibi bütünlüğünü bozarak topaklanma göstermiştir. Deney sonuçlarında en yüksek dayanımı 7 günlük numunede elde edilmiş olup bu değer $6,46 \text{ N/mm}^2$ 'dir. Lif katkısız betonun 7 günlük numune değeri ile kıyaslama yapılacak olursa %9,86 dayanım artışı gözlenmiştir. Ancak 28 günlük nihai dayanımda lif katkısız geopolimer betona kıyasla %23,61'lik azalma göstermiştir. Kırım sonrası betonun içerisi incelendiğinde kenevir lifi su ile teması sonrası ayrışmış ve bütünlüğünü bozmuş durumda idi. Kenevir lif katkılı geopolimer betonun yük deplasman ilişkisi incelendiğinde betona eğilme dayanımı esnasında katkı sağlamamış olup beton eğilme yükü altında sünek davranış göstermeyip ani kopma göstermiştir.

Bu tezin ilk çıkış amacı olan betonu daha sürdürülebilir kılma hedefi kenevir ve bazalt lif kullanarak doğal liflerle betonun eğilme yükü altındaki davranışını iyileştirmek ve betonun kopma davranışı göstermeden enerji yutma kapasitesini artırarak betonun sünek davranış sergilemesini sağlamak idi. Ancak yapılan deney sonuçları sonrasında kenevir ve bazalt lifi betonda hedeflenen davranışları göstermemiştir.

Cam elyaf ile yapılan ön dökümler incelenecek olursa en yüksek dayanımı %1'lik karışımda 28 günlük nihai dayanımda $8,56 \text{ N/mm}^2$ değerinde verdiği görülmüştür. Lif katkısız geopolimer betonun 28 günlük nihai dayanımı ile kıyaslanacak olursa %10'luk bir artış gösterdiği görülmüştür. Eğilme dayanım grafiği incelenecek olursa beton sünek davranış göstermemiş olup ani kopma gözlenmiştir.

Yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde çelik lif yüzde oranı arttığında betonun eğilme dayanımı da artmaktadır. Yapılan bu çalışmada makro çelik lif artışı ile eğilme dayanımının düzenli artış göstermediği görülmüştür. Bunun sebebinin deneyde kullanılan 60 mm uzunluğundaki makro çelik lif boyunun (60mm) $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$ 'lik numuneler için büyük gelmiş olup yerleştirme esnasında zorluk yaşanmış olmasıdır. Kalıp numunesi içerisine yerleşmede homojen yayılım göstermediği görülmüştür. Betonarme yapılarda lifli betonun içerisindeki lif dağılımının homojen olup olmaması lifli betonların dayanım performansını önemli ölçüde etkilemektedir.

Beton içerisinde lif dağılımının iyi olması durumunda lifler çimento matrisinde oluşan çatlağın yol açtığı gerilmeleri üzerlerine alarak matrisin çatlamamış bölgelerine aktarırlar. Lifsiz durumda ya da lif dağılımının homojen olmaması nedeniyle beton içerisinde lif olmayan bölgeler, yük altında betonda oluşan mikro çatlaklar gerilmelerin artması ile birlikte beton içerisinde yayılım göstererek betonun parçalanmasına neden olurlar (Kang vd., 2011).

Makro çelik liflerin yük deplasman ilişkisi incelendiğinde sünek davranış göstermemiş olup kopma davranışı sergilediği görülmüştür. Bunun sebebi ön döküm numuneleri için kullanılan 60 mm uzunluğundaki lif boyunun uygun olmamasıdır. Bu sebeple makro çelik lif tezin ana dökümleri olan büyük ölçekli kirişlerde kullanılmıştır.

Mikro çelik lifler ön döküm numunelerinde hacimce %0.50 ve %1 oranında kullanılmıştır. Mikro çelik lif 28 günlük nihai dayanımda $7,09 \text{ N/mm}^2$ eğilme dayanımı göstermiş olup aynı zamanda yük deplasman ilişkisi incelendiğinde enerji yutma kapasitesinin arttığı ve betonun sünek davranış sergilediği gözlenmiştir.

Bu analizler sonrasında ana dökümlerimiz olan büyük ölçekli kirişlerimizde %1 makro çelik lif ve %1 mikro çelik lif kullanma kararı verildi.

Elde edilen optimum sonuçları daha optimize hale getirmek için aktivatör olarak kullanılan Na_2SiO_3 ve akışkanlaştırıcı ilave edilerek yeni karışım hazırlanmıştır. Bu ilave malzemeler diğer ön dökümlerde kullanılmamıştır. Bunun sebebi malzemeyi efektif

kullanmaktır. Sadece optimum değerlerin nihai dayanımları için Na_2SiO_3 ve akışkanlaştırıcı kullanarak malzemeyi ekonomik kullanmak hedeflenmiştir. Akışkanlaştırıcı kullanmamızdaki temel sebep NaOH katısını suyun içerisinde çözerek hazırladığımız için beton karışımın içerisine suda dahil olmaktadır. Bu çözelti kimyasal reaksiyonların başlaması için oldukça önemlidir. Çözelti miktarının işlenebilirliği belirli bir oranın üzerine çıkması karışımdaki su miktarını da artırmaktadır. Bu durum bizim dayanımlarımızı olumsuz etkilemektedir. Bu sebeple karışıma akışkanlaştırıcı ilave edilerek karışıma dahil olan su miktarı azaltıp yüksek dayanım koşulları elde edilmektedir. Aynı şekilde alkali aktivatör olan Na_2SiO_3 ile yüksek fırın cürufunun polimerizasyon tepkimelerine girmesi ile açığa çıkan polimerik zincir halkasal yapının geoplimer üretimlerde dayanım kazandırdığı düşünülmektedir.

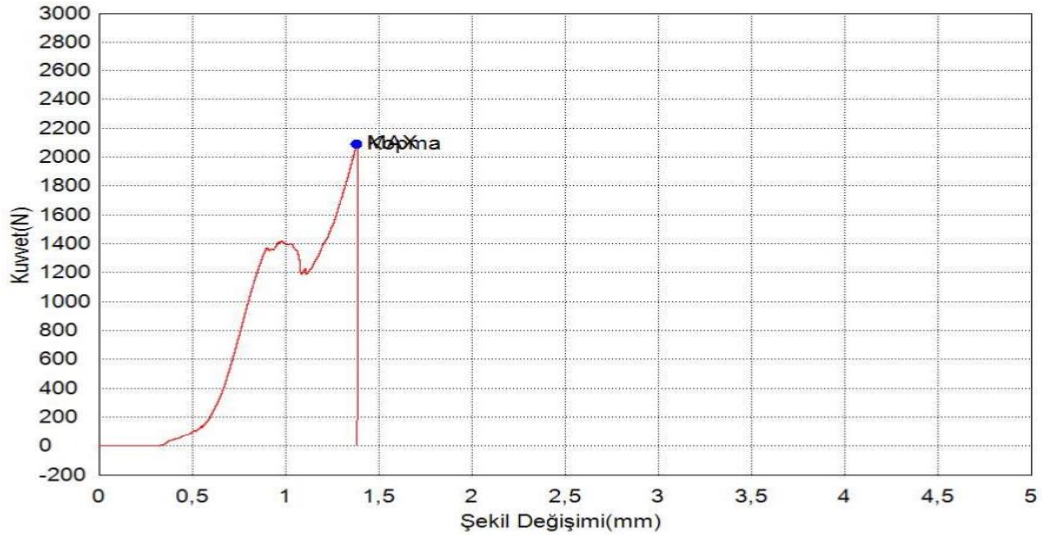
Akışkanlaştırıcı ve alkali aktivatör ilavesi sağlanarak hazırlanan beton karışım 28 günlük nihai dayanımı sonunda makro ve mikro çelik lif için sırası ile 9 N/mm^2 ve $9,25 \text{ N/mm}^2$ dayanım göstermiştir. Lif katkısız geopolimer beton ile kıyaslandığında makro ve mikro çelik lif için sırası ile %16 ve %19,35'lik artışa sebep olduğu görülmüştür. Eğilme dayanımının artmasıyla beraber eğilme dayanım grafikleri incelendiğinde mikro çelik lif enerji yutma kapasitesi ile sünek davranış göstermiştir. Makro çelik lifin sünek davranış göstermeden kopmasındaki sebep yukarıda da açıklandığı üzere çelik lifboyutunun büyük olması ve kullandığımız ön analiz numune kalıplarının da küçük olması sebebiyle homojen yerleşme gösterememesidir.

Çizelge 4.3: Ön döküm numunelerin eğilme dayanım sonuçları

Lif Katkısız	7-g N/mm2				28-g N/mm2			
	5,88				7,75			
	7 - g N/mm2	28- g N/mm2	7-g N/mm2	28-g N/mm2	7-g N/mm2	28-g N/mm2	7-g N/mm2	28-g N/mm2
Lif Yüzdeleri	%0.25	%0.25	%0.50	%0.50	%0.75	%0.75	1%	1%
Bazalt	6,70	6,87	7,73	7,15	6,59	7,15	6,83	7,22
Kenevir	xxxx		5,7	6,46	xxxx		6,14	5,92
Cam Elyaf	6,79	7,84	7,39	7,7	6,33	8,27	6,23	8,56
Makro Çelik Lif	6,47	7,63	4,78	5,95	5,99	8,07	8,45	7,9
Mikro Çelik Lif	xxxx		5,49	6,63	xxxx		7,27	7,09
Optimize Edilmiş Makro Çelik Lif	xxxx							9
Optimize Edilmiş Mikro Çelik Lif	xxxx							9,25

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1 _ 1	2091,91	5,88350	1,38140	2088,85

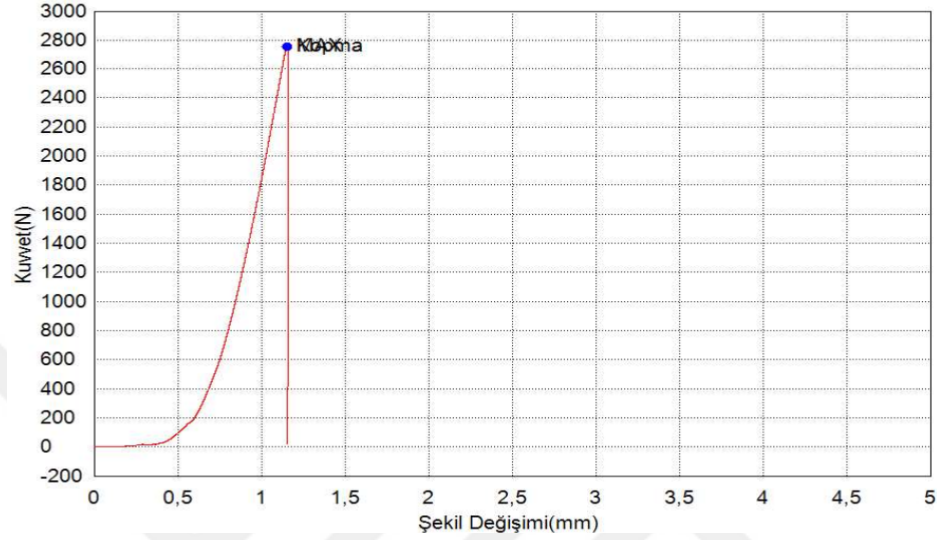
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1 _ 1	5,87490	1,38233	2,30389



Şekil 4.7: Lif katkısız geopolimer beton 7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1 _ 1	2757,98	7,75682	1,15307	2753,99

İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1 _ 1	7,74560	1,15440	1,92400

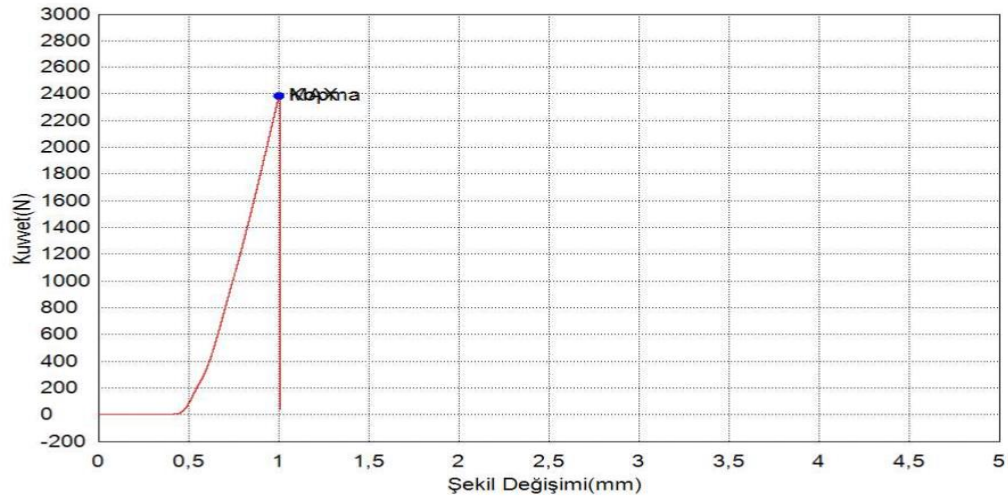


Şekil 4.8: Lif katkısız geopolimer beton 28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

Test Modu	Tek	Test Tipi	3 Nokta Eğme
Hız	0,5mm/min	Şekil	Plaka
Grup Sayısı:	1	Alt Grup Sayısı:	1

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1 _ 1	2385,56	6,70940	1,00340	2382,64

İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1 _ 1	6,70116	1,00393	1,67322

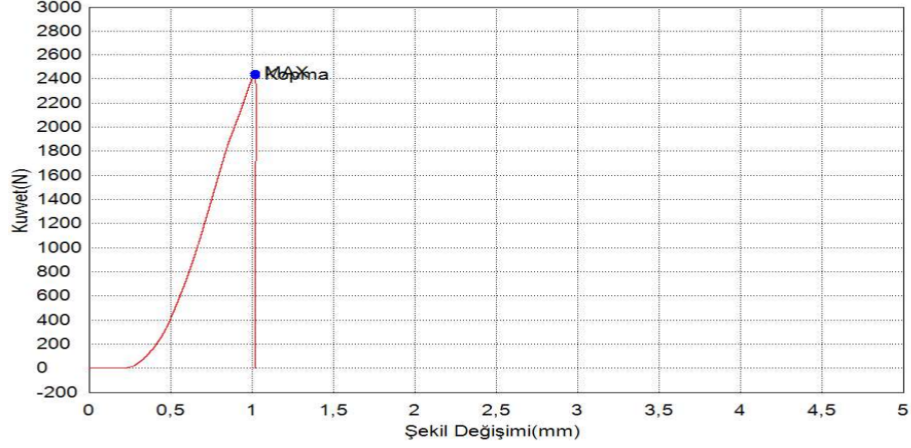


Şekil 4.9: Bazalt %0.25-7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

Test Modu	Tek	Test Tipi	3 Nokta Eğme
Hız	0,5mm/min	Şekil	Plaka
Grup Sayısı:	1	Alt Grup Sayısı:	1

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1 _ 1	2445,33	6,87750	1,01823	2428,89

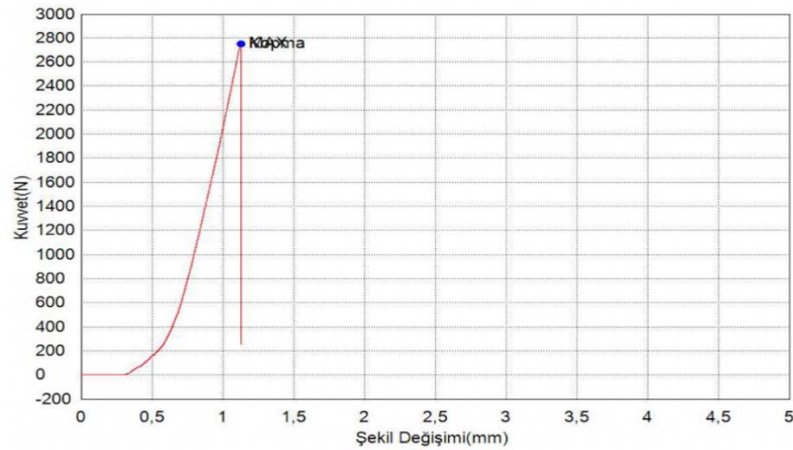
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1 _ 1	6,83125	1,02033	1,70056



Şekil 4.10: Bazalt %0.25-28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1 _ 1	2749,02	7,73161	1,12557	2746,59

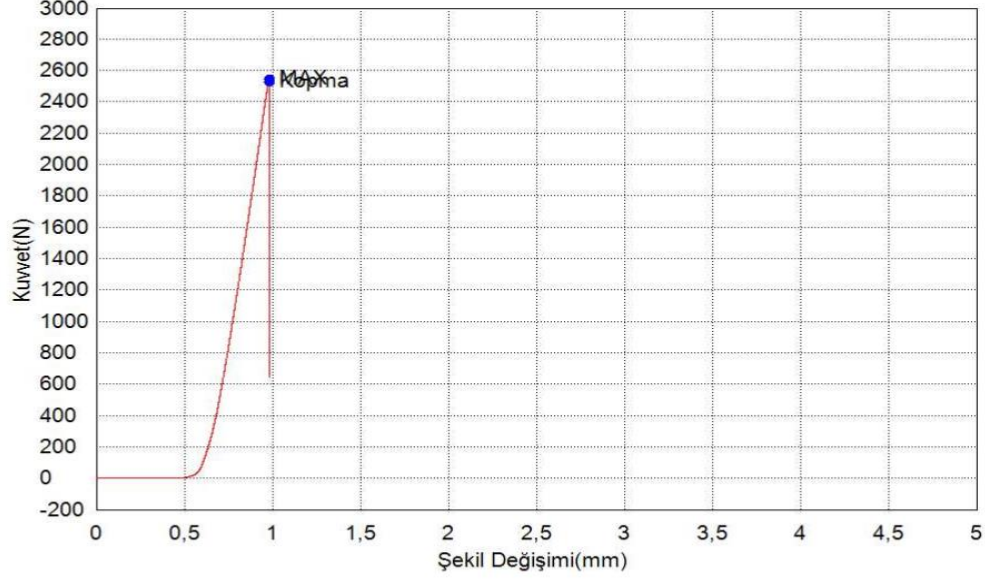
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1 _ 1	7,72479	1,12600	1,87667



Şekil 4.11: Bazalt %0.50-7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1_1	2545,26	7,15854	0,98180	2526,44

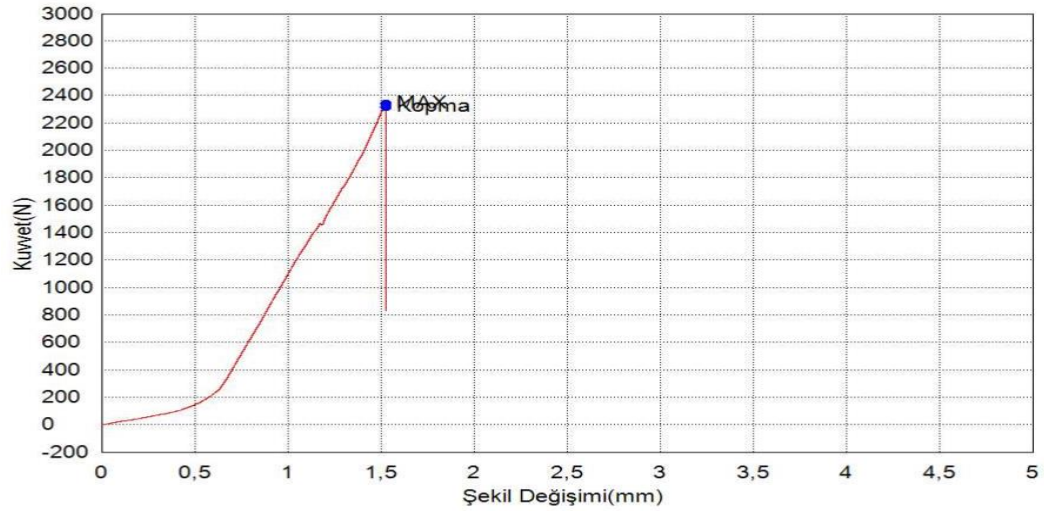
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1_1	7,10561	0,98283	1,63806



Şekil 4.12: Bazalt %0.50- 28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1_1	2343,80	6,59194	1,52410	2317,31

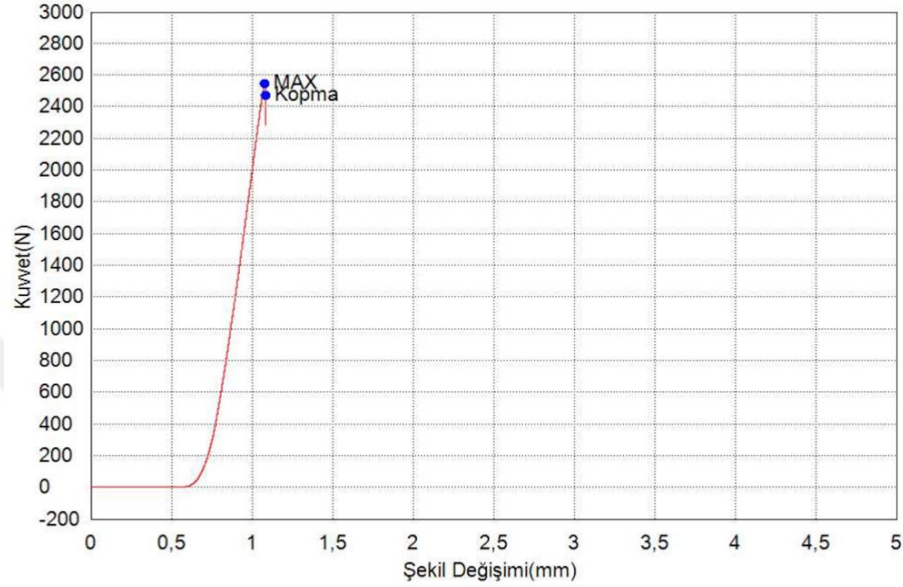
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1_1	6,51745	1,52627	2,54378



Şekil 4.13: Bazalt %0.75- 7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1_1	2543,23	7,15283	1,07920	2467,91

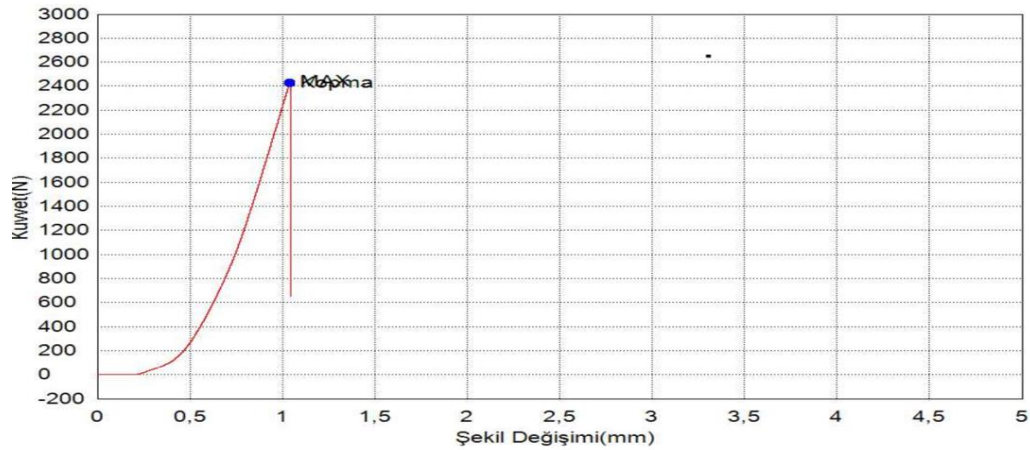
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1_1	6,94099	1,08427	1,80711



Şekil 4.14: Bazalt %0.75- 28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

Parametreler	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Birim	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
1_1	N	N/mm2	mm	N
1_1	2431,87	6,83962	1,04147	2419,57

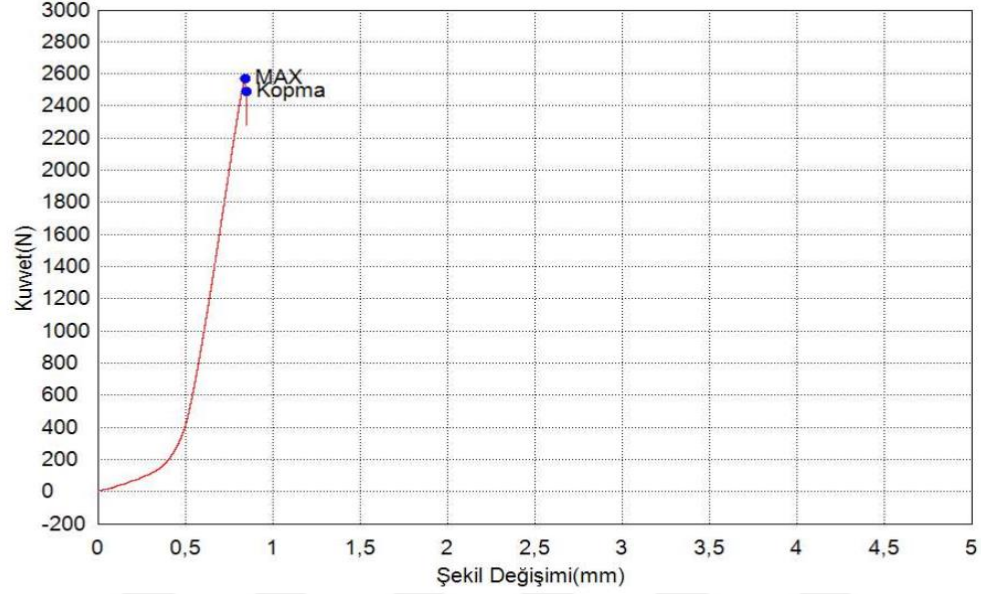
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1_1	6,80505	1,04247	1,73744



Şekil 4.15: Bazalt %1-7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1 _ 1	2567,78	7,22187	0,84200	2490,00

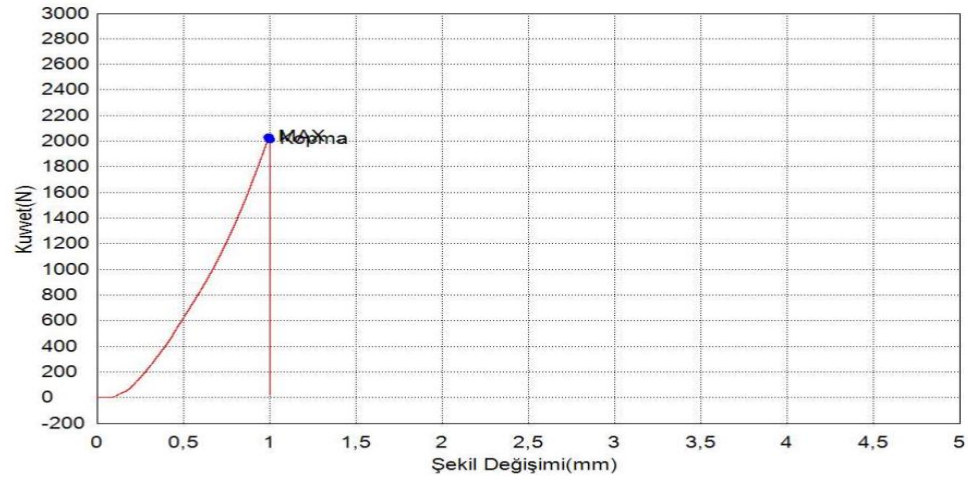
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1 _ 1	7,00312	0,84787	1,41311



Şekil 4.16: Bazalt %1-28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1 _ 1	2029,13	5,70693	0,99847	2014,79

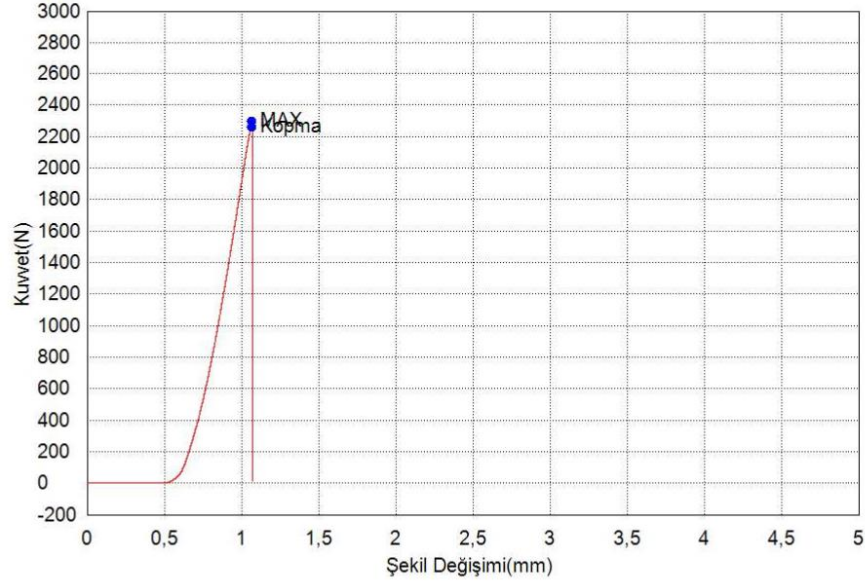
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1 _ 1	5,66661	0,99983	1,66639



Şekil 4.17: Kenevir %0.50-7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1_1	2298,81	6,46540	1,06570	2258,95

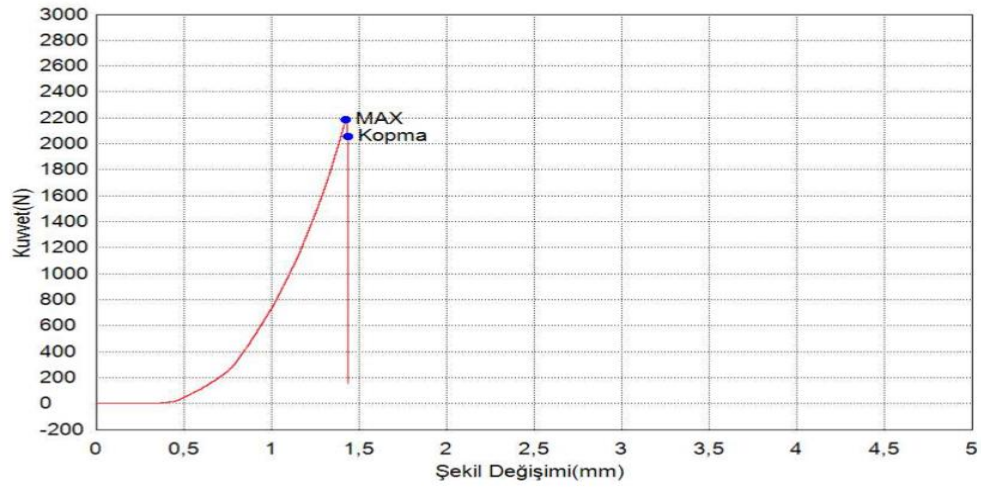
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1_1	6,35329	1,06697	1,77828



Şekil 4.18: Kenevir %0.50-28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1_1	2185,42	6,14649	1,42630	2053,37

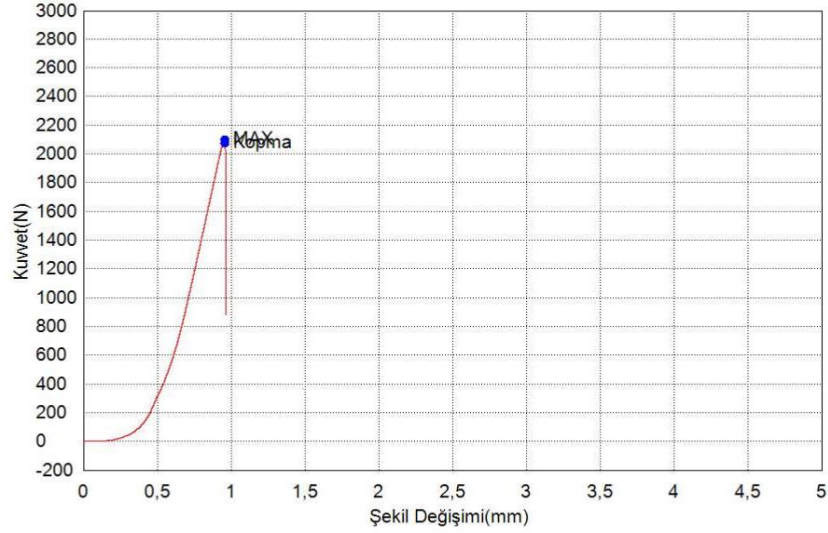
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1_1	5,77510	1,43500	2,39167



Şekil 4.19: Kenevir %1- 7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1_1	2098,53	5,90212	0,95507	2071,62

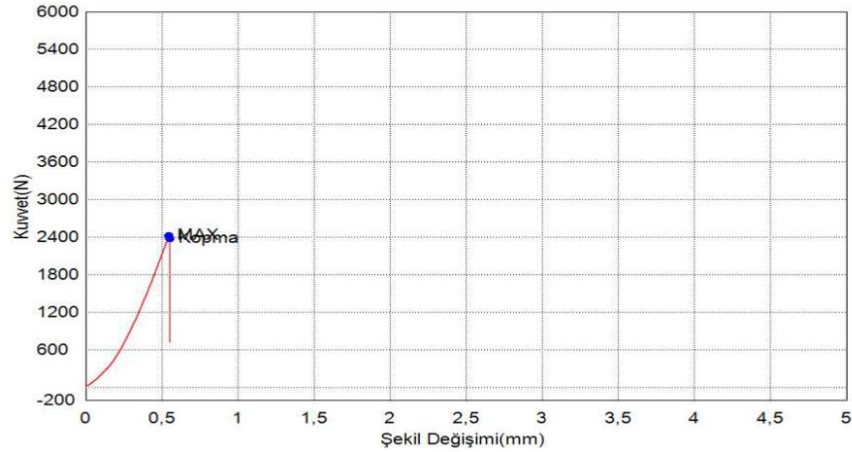
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1_1	5,82644	0,95930	1,59883



Şekil 4.20: Kenevir %1-28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1_1	2417,44	6,79904	0,54857	2370,96

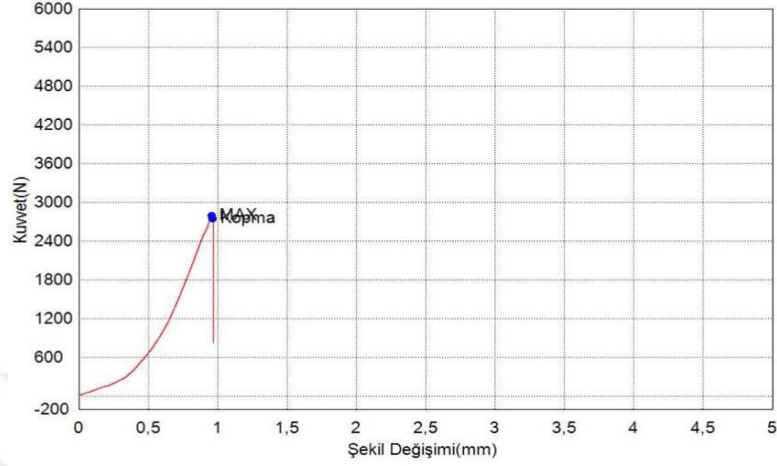
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1_1	6,66832	0,55150	0,91917



Şekil 4.21: Cam elyaf %0.25-7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1_1	2788,20	7,84182	0,96077	2741,85

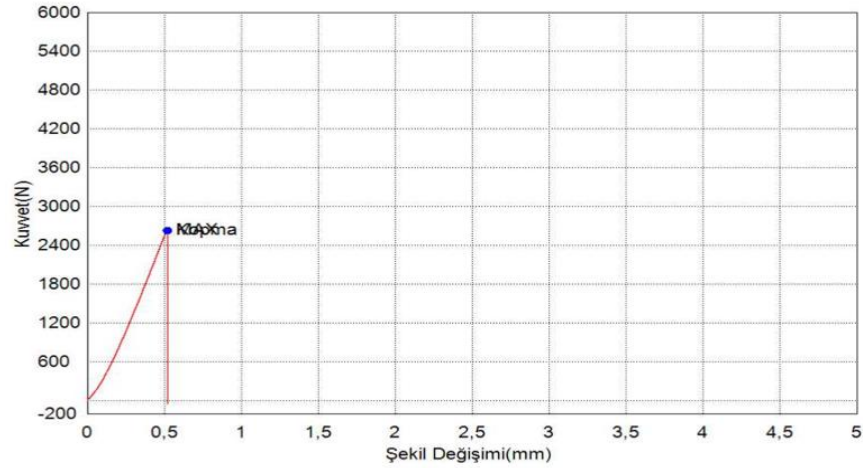
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1_1	7,71145	0,96567	1,60944



Şekil 4.22: Cam elyaf %0.25-28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1_1	2627,63	7,39021	0,51923	2627,22

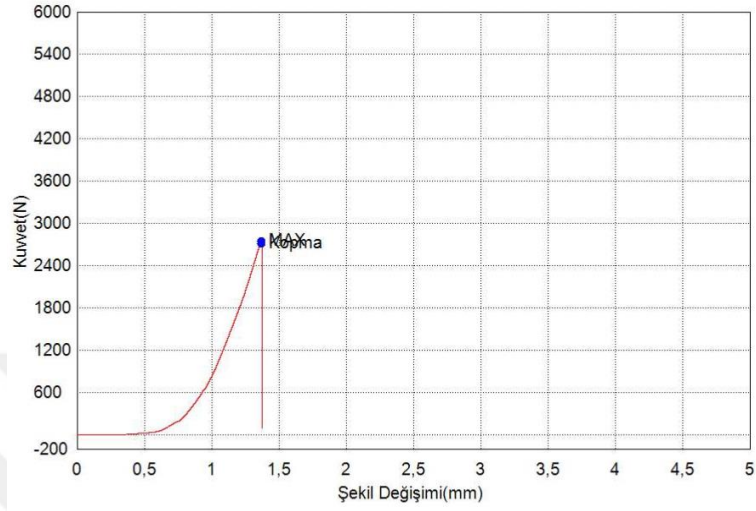
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1_1	7,38906	0,51940	0,86567



Şekil 4.23: Cam elyaf %0.50-7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1_1	2740,04	7,70637	1,36897	2709,06

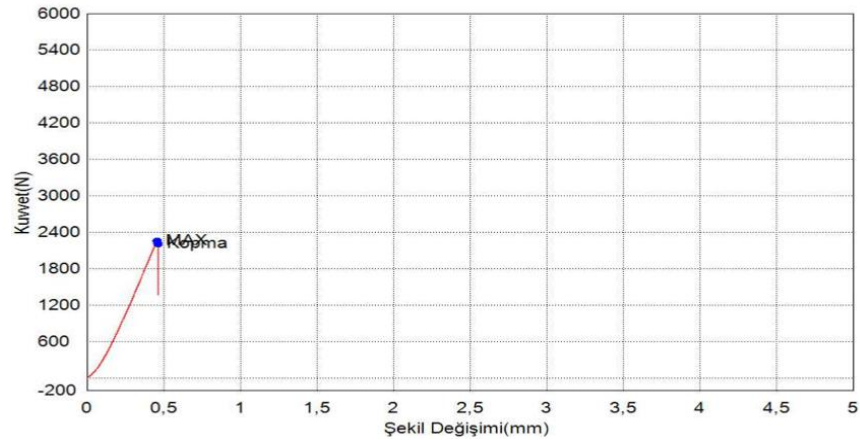
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1_1	7,61923	1,37167	2,28611



Şekil 4.24: Cam elyaf %0.50-28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1_1	2251,04	6,33106	0,46103	2208,33

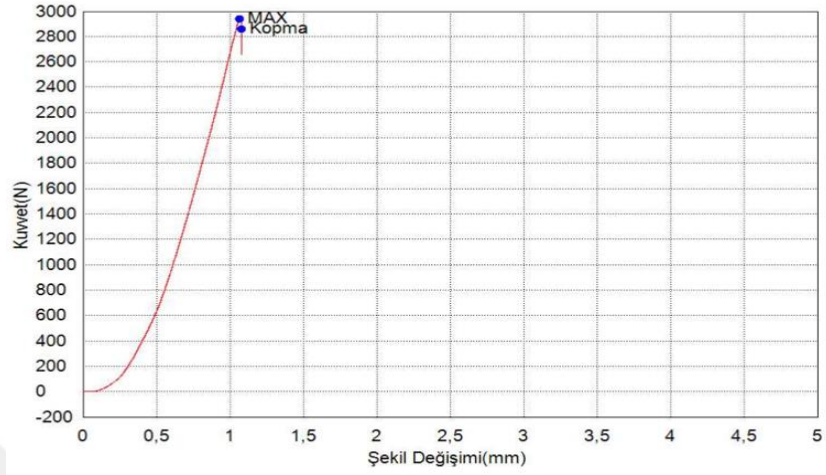
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1_1	6,21092	0,46513	0,77522



Şekil 4.25: Cam elyaf %0.75-7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1_1	2940,87	8,27119	1,06673	2859,03

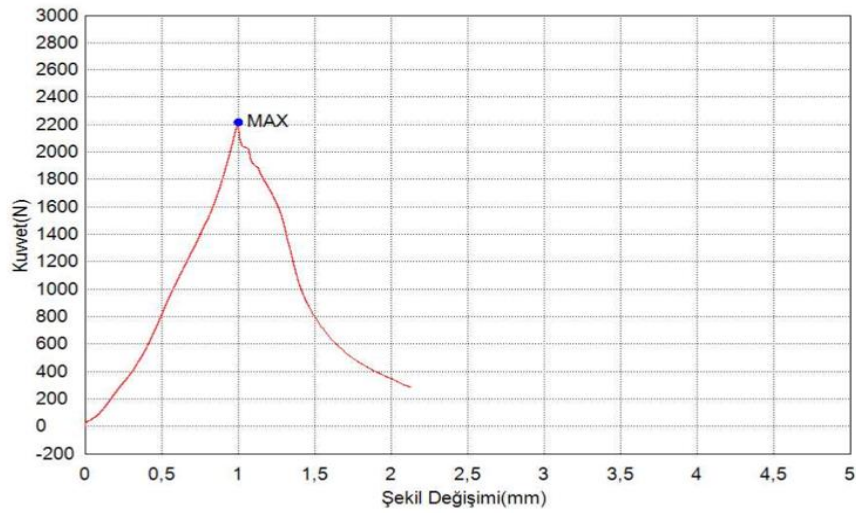
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1_1	8,04103	1,07820	1,79700



Şekil 4.26: Cam elyaf %0.75-28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1_1	2217,55	6,23687	1,00063	—

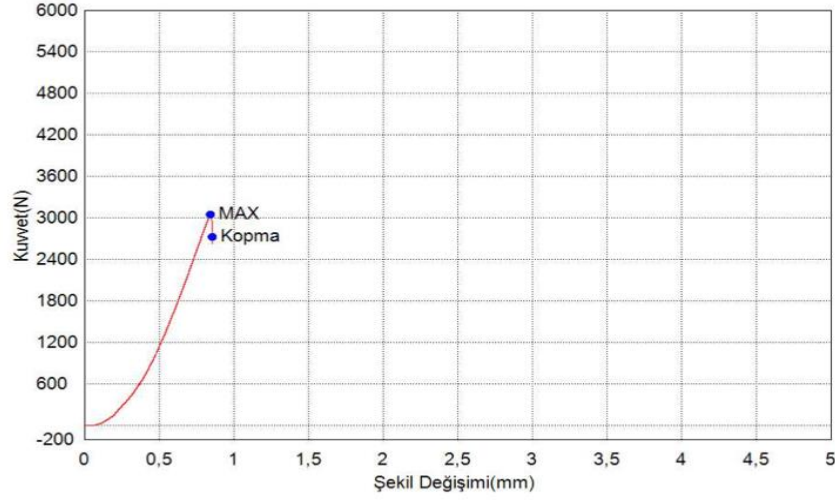
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1_1	—	—	—



Şekil 4.27: Cam elyaf %1-7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1_1	3046,86	8,56929	0,84360	2718,16

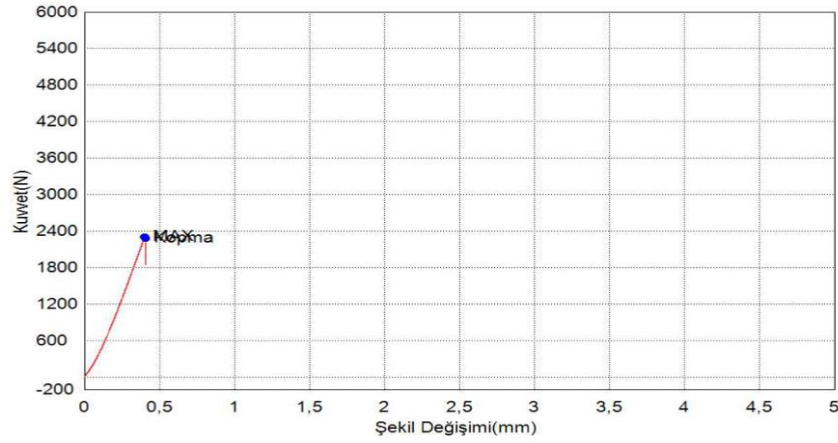
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1_1	7,64483	0,85847	1,43078



Şekil 4.28: Cam elyaf %1-28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1_1	2302,95	6,47705	0,40327	2273,81

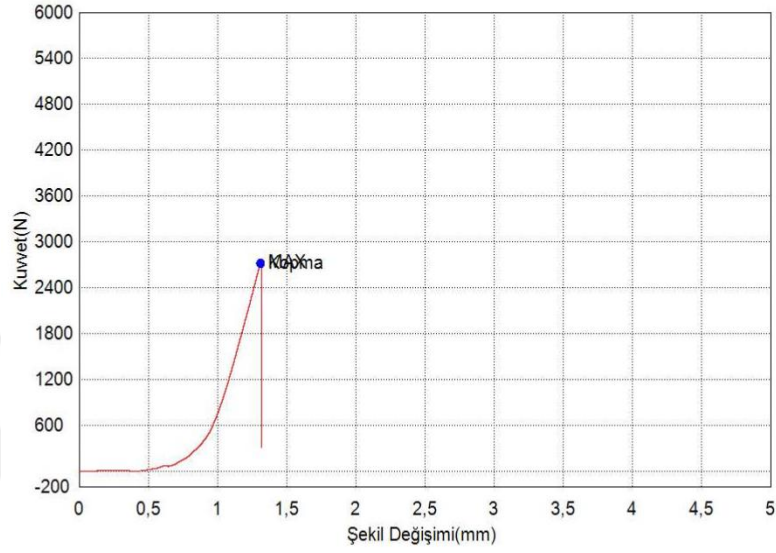
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1_1	6,39510	0,40627	0,67711



Şekil 4.29: Makro çelik lif %0.25- 7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1_1	2715,55	7,63748	1,31300	2707,29

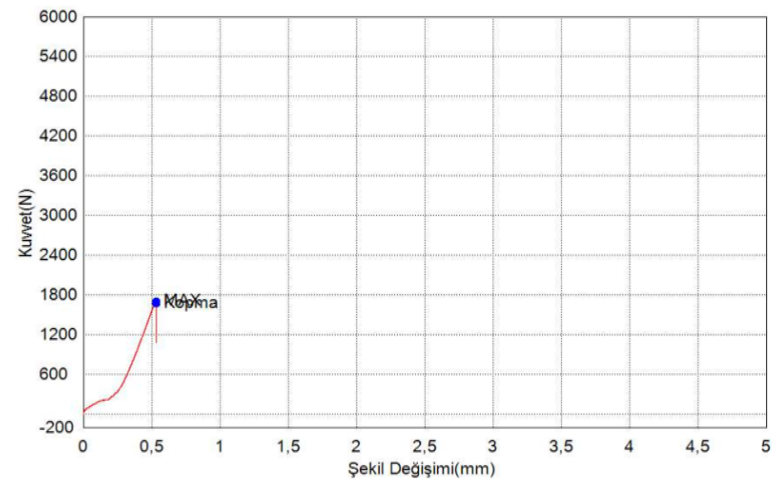
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1_1	7,61425	1,31367	2,18944



Şekil 4.30: Makro çelik lif %0.25- 28 günlük su kücü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1_1	1699,85	4,78084	0,53190	1662,44

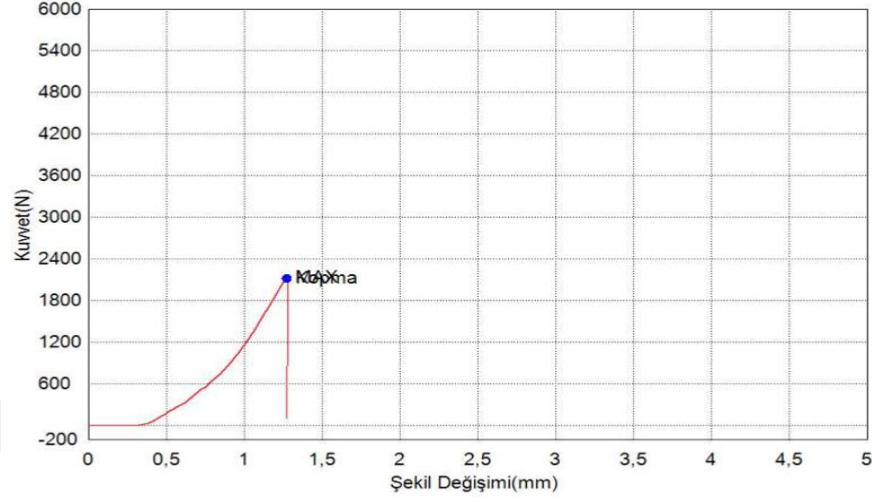
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1_1	4,67561	0,53327	0,88878



Şekil 4.31: Makro çelik lif %0.50- 7 günlük su kücü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1_1	2117,91	5,95662	1,27257	2107,26

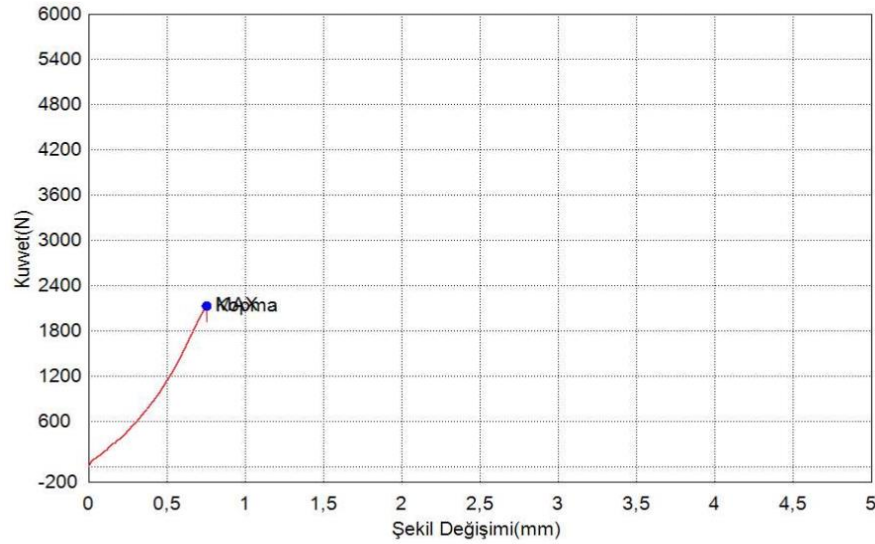
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1_1	5,92666	1,27390	2,12317



Şekil 4.32: Makro çelik lif %0.50- 28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1_1	2130,16	5,99106	0,75400	2122,67

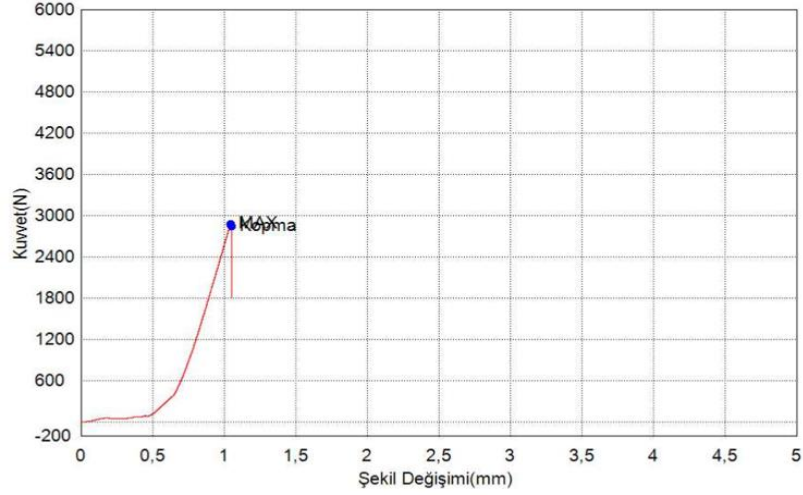
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1_1	5,97001	0,75510	1,25850



Şekil 4.33: Makro çelik lif %0.75- 7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1_1	2872,71	8,07949	1,04730	2835,33

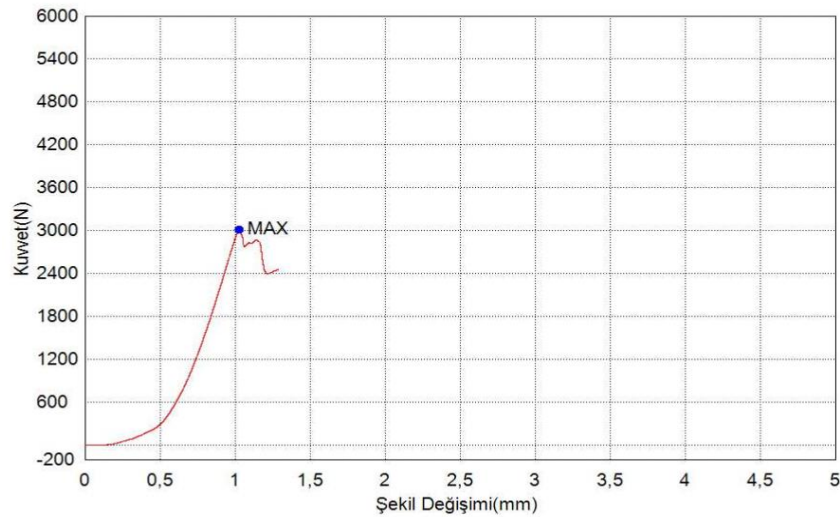
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1_1	7,97435	1,05273	1,75456



Şekil 4.34: Makro çelik lif %0.75- 28 günlük su kuru yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1_1	3005,70	8,45352	1,02930	—

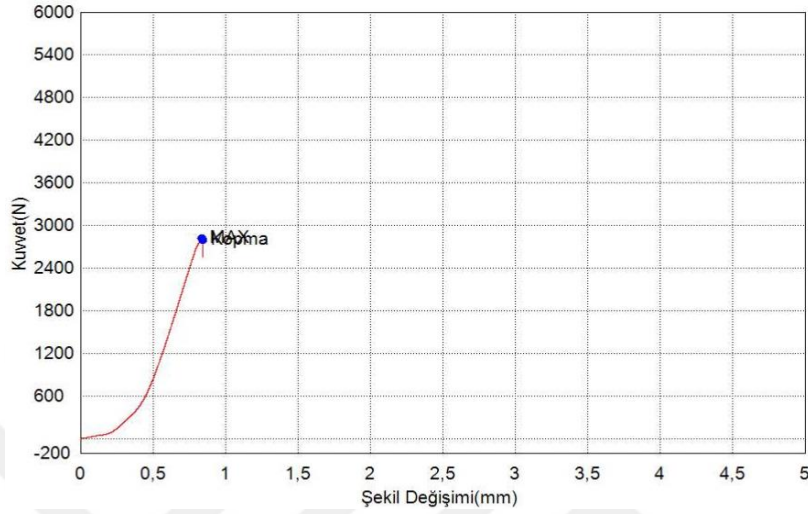
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1_1	—	—	—



Şekil 4.35: Makro çelik lif %1- 7 günlük su kuru yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1 _ 1	2811,33	7,90687	0,83787	2792,81

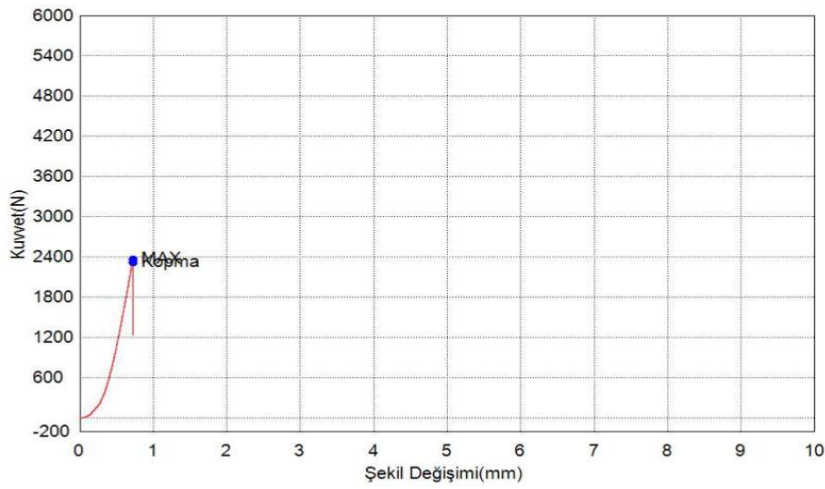
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1 _ 1	7,85478	0,84350	1,40583



Şekil 4.36: Makro çelik lif %1- 28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1 _ 1	2357,76	6,63121	0,72663	2315,87

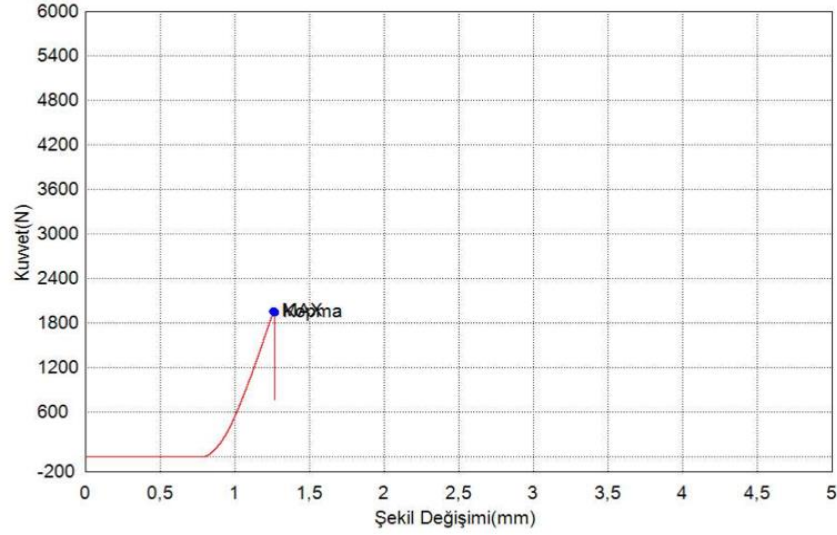
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1 _ 1	6,51338	0,72923	1,21539



Şekil 4.37: Mikro çelik lif %0.50-7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1_1	1952,02	5,49005	1,26240	1941,07

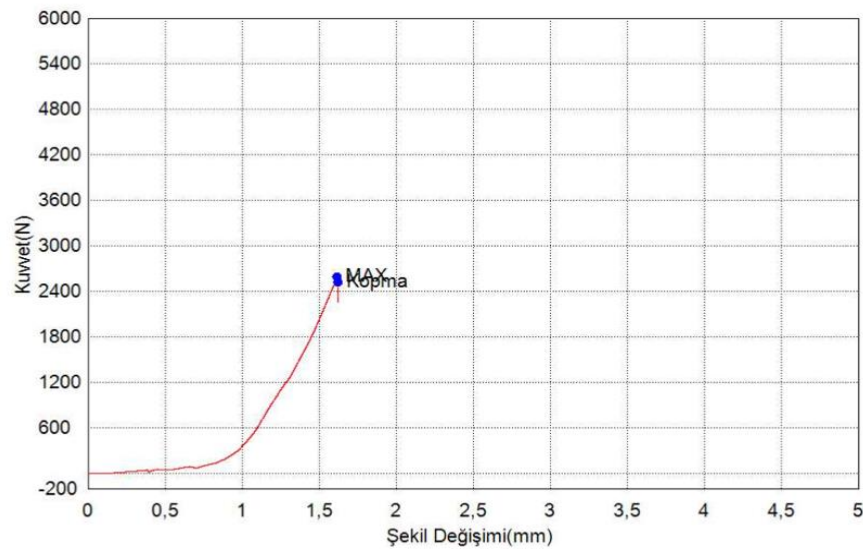
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1_1	5,45927	1,26433	2,10722



Şekil 4.38: Mikro çelik lif %0.50-28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1_1	2588,29	7,27956	1,61697	2517,12

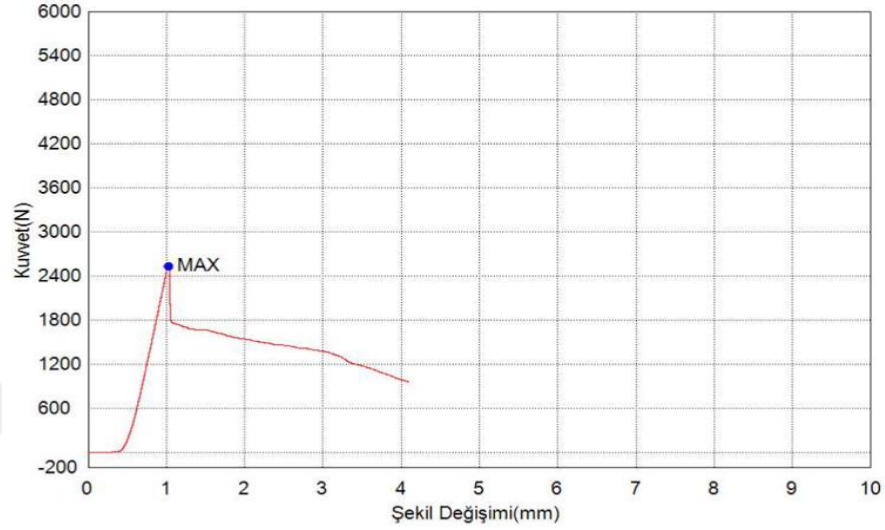
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1_1	7,07940	1,62250	2,70417



Şekil 4.39: Mikro çelik lif %1- 7 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1_1	2524,10	7,09904	1,03097	-,-

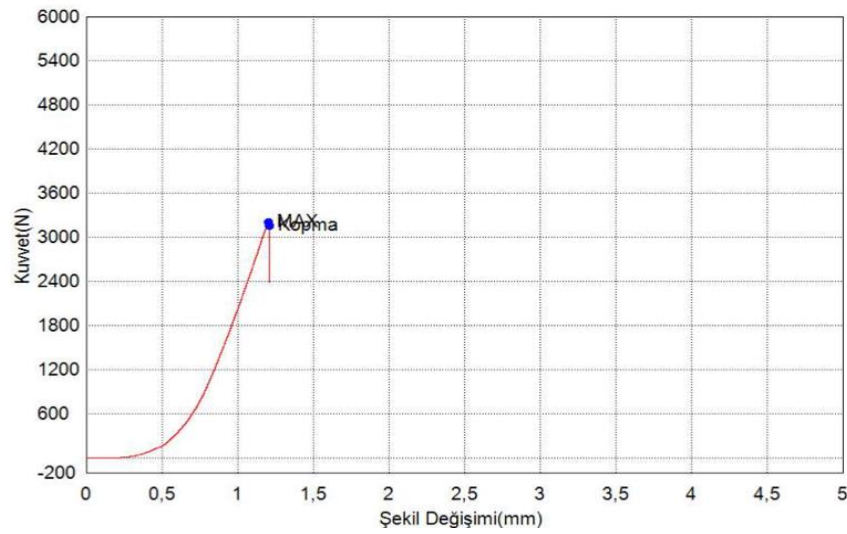
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1_1	-,-	-,-	-,-



Şekil 4.40: Mikro çelik lif %1-28 günlük su kürü yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1_1	3201,85	9,00521	1,20430	3150,06

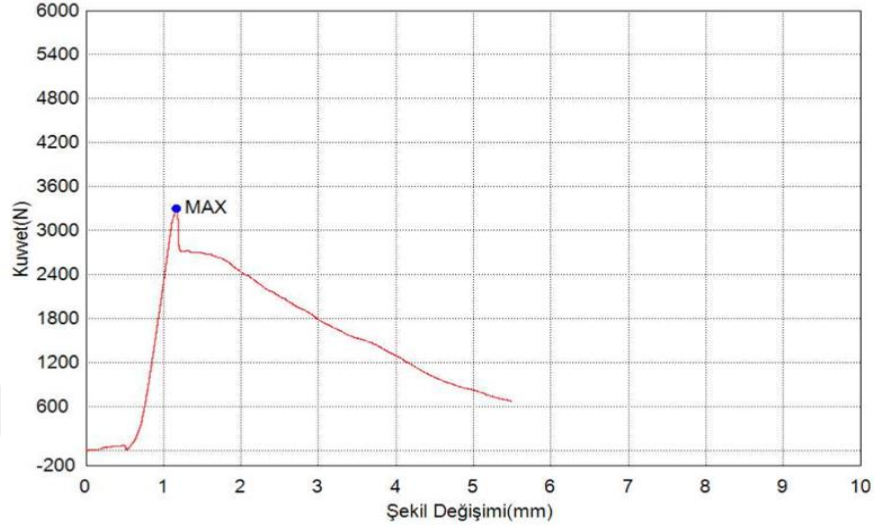
İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1_1	8,85956	1,20790	2,01317



Şekil 4.41: Makro çelik lif %1- 28 günlük su kürü (silikat ve akışkanlaştırıcı) yük deplasman ilişkisi

İsim	Max_Kuvvet	Max_Gerilme	Max_Uzama	Kopma_Kuvvet
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	N
1_1	3292,21	9,25935	1,16923	--

İsim	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N/mm2	mm	%
1_1	--	--	--



Şekil 4.42: Mikro çelik lif %1- 28 günlük su kürü (silikat ve akışkanlaştırıcı) yük deplasman ilişkisi

4.1.3 Büyük ölçekli kiriş numunelerin eğilme dayanımı

K2 / Lifsiz Donatılı

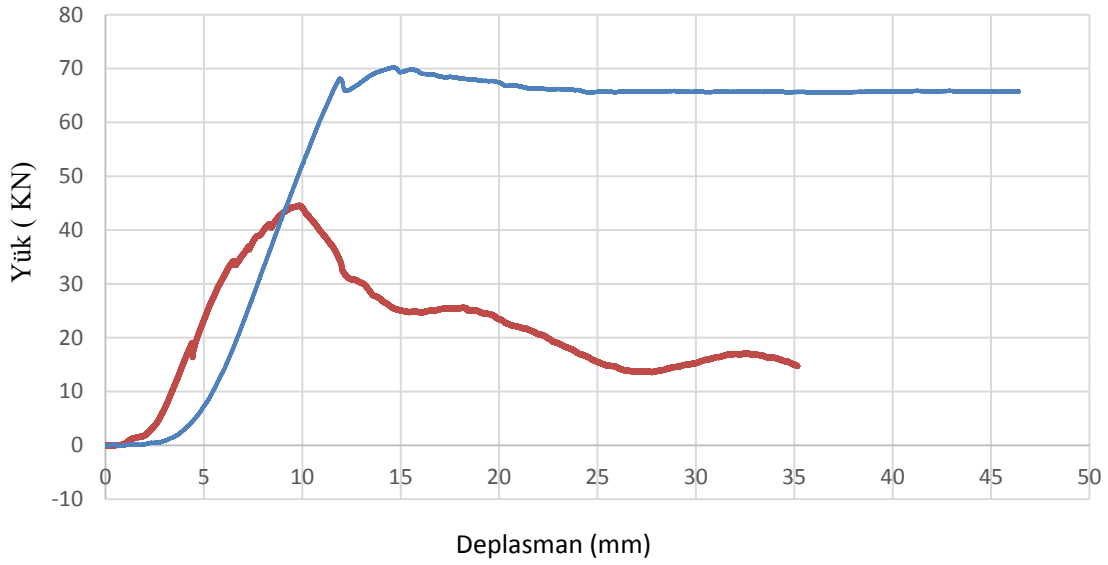
K3 / Makro Çelik Lif Çekme Bölge

K4 / Makro Çelik Lif Tam Bölge

K5 / Mikro Çelik Lif Çekme Bölgesi

K6 / Mikro Çelik Tam Bölge

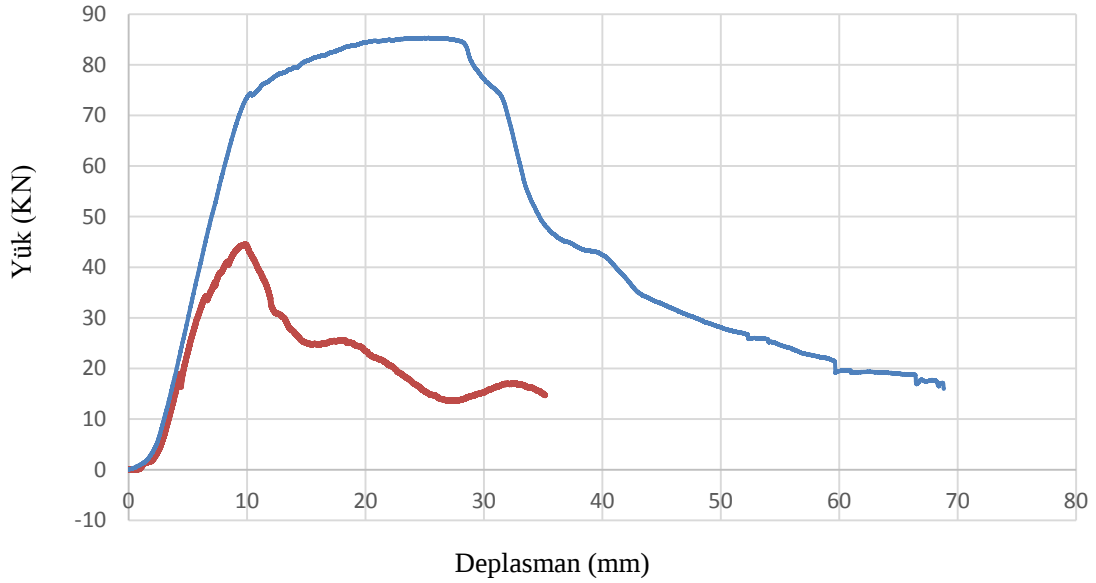
K2 (Lifsiz Donatılı) - K5(Mikro Çelik Lif Çekme Bölgesi)



Şekil 4.43: K2-K5 numaralı kırışın yük deplasman grafiği

Üretilen kırış elemanlarının yük deplasman değerleri incelendiğinde K2 numaralı kırış elemanı yaklaşık olarak eğilme altında 45 KN yük taşıırken çekme bölgesi mikro lif katkılı K5 numaralı kırış elemanı yaklaşık olarak 70 KN yük taşıdığı tespit edildi. Yük deplasman grafiği incelendiğinde K5 numaralı kırış elemanı yaklaşık olarak K2 numaralı kırış elemanına kıyasla yaklaşık olarak %55 daha fazla yük taşıdığı görüldü. Ayrıca K2 karışıımı yaklaşık olarak 10 mm deplasman değerinde yük taşıma kapasitesini kaybederken K5 karışıımı yaklaşık olarak 49 mm deplasman değerinde hala üzerine gelen yükü verimli bir şekilde taşımaya devam ettiği görüldü. Bu durum çekme bölgesinde mikro çelik lif kullanımının oldukça verimli sonuçlar verdiği gözlemlendi.

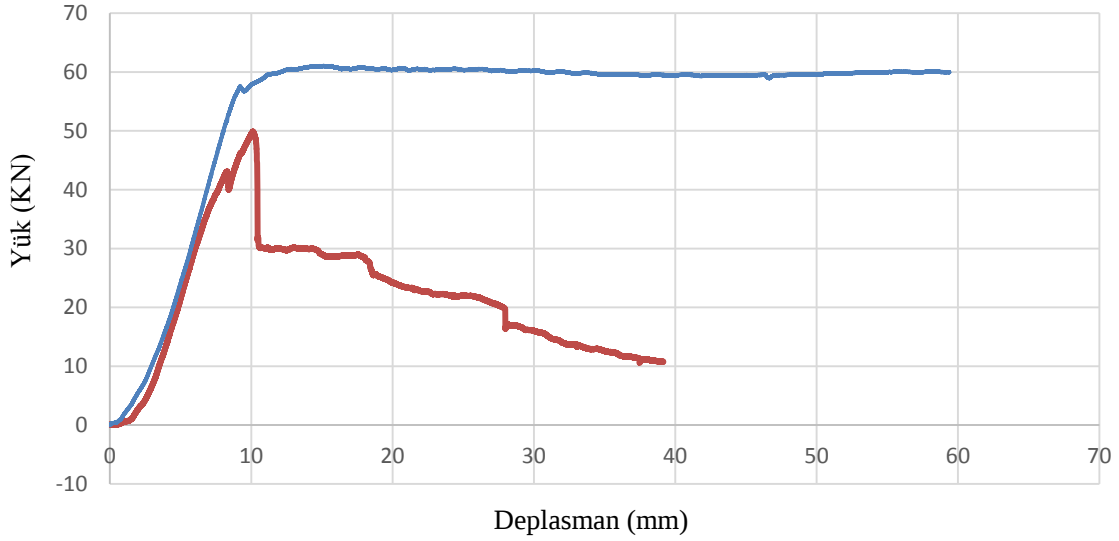
K2 (Lifsiz Donatılı) – K6 (Mikro Çelik Lif Tam Bölge)



Şekil 4.44: K2-K6 numaralı kirişin yük deplasman grafiği

Kiriş elemanlarının yük deplasman değerleri incelendiğinde K2 numaralı kiriş elemanı eğilme altında yaklaşık olarak 45 KN yük taşıırken K6 numaralı kiriş elemanının 85 KN kadar yük taşıma kapasitesi sergilediği tespit edildi. Dayanım değerleri kıyaslandığında K6 numaralı kiriş elemanı K2 numaralı kiriş elemanına göre yaklaşık olarak %88 daha fazla yük taşıdığı görüldü. Bu durum mikro çelik lifin tam bölgede kullanılmasıyla birlikte oldukça yüksek dayanım parametrelerine çıkılabileceğinin göstergesidir. Bu yüksek dayanım sonucunda, çelik lifin yüksek dayanımlı bir malzeme olması ve betonun içerisinde homojen dağılmasıyla birlikte eğilme kuvveti altında çekme muakvemetini artırarak ani kırılmayı önlediği görülmüştür.

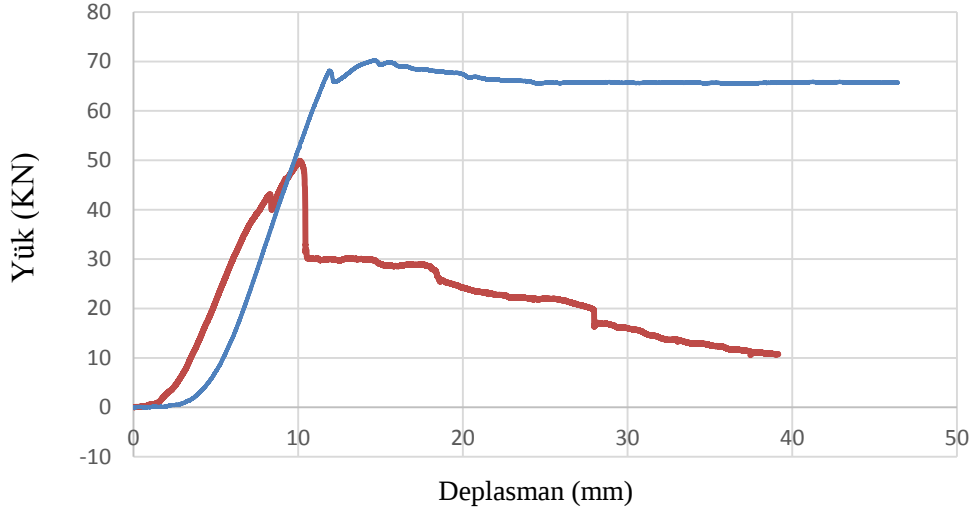
K3 (Makro Çelik Lif Çekme Bölge) – K4 (Makro Çelik Lif Tam Bölge)



Şekil 4.45: K3-K4 numaralı kirişin yük deplasman grafiği

K3 ve K4 numaralı kiriş elemanları incelendiğinde K3 numaralı kiriş elemanı yaklaşık olarak 50 KN yük taşıırken K4 numaralı kiriş elemanı yaklaşık olarak 60 KN yük taşıdığı tespit edildi. Dayanım değerleri kıyaslandığında K4 numaralı kiriş elemanın K3 numaralı kiriş elemanına kıyasla daha %20 fazla yük taşıdığı görüldü. Ayrıca yaklaşık olarak 10 mm deplasman değeri için K3 karışımı yük taşıma kapasitesinde kayıplar sergilerken, K4 karışımı yaklaşık olarak 60 mm deplasman değerine kadar yük taşıma kapasitesini sürdürdü. Makro çelik lifin boyutları dolayısıyla üretilen kiriş elemanında sadece çekme bölgesinde kullanılması daha küçük hacimli bir bölge temsil etmesi nedeniyle verimsiz kaldığını gösterdi. Ancak tam bölgede kullanılmasıyla beraber lifin etkisini göstereceği kiriş hacminin artmasıyla birlikte daha verimli sonuçlara ulaşıldığı tespit edildi.

K3 (Makro Çelik Lif Çekme Bölge) – K5 (Mikro Çelik Lif Çekme Bölge)



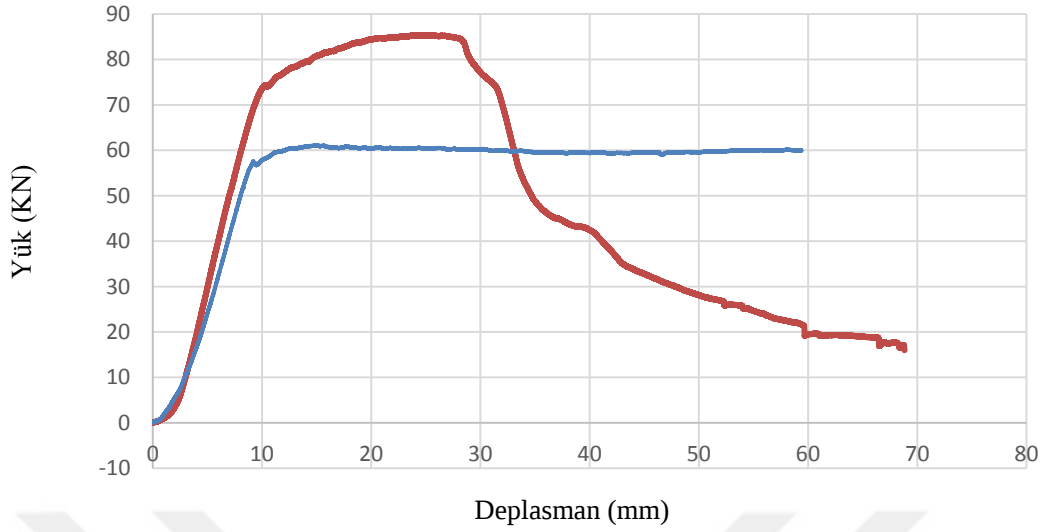
Şekil 4.46: K3-K5 numaralı kirişin yük deplasman grafiği

Yük deplasman değerleri incelendiğinde K5 karışımının K3 karışıma kıyasla yaklaşık olarak %40 daha fazla yük taşıdığı görüldü.

Grafik incelendiğinde K5 numaralı kiriş elemanında plastik bölgede kalıcı hasar görülmesine rağmen yük taşıma performansını kaybetmediği görüldü. Olası bir deprem anı düşünüldüğünde bina kalıcı hasar alsa dahi bina uniform özelliğini kaybetmeyecek ve insanların binadan çıkması için süre kazandırmış olacaktır. Ancak K3 numaralı kiriş elemanını incelediğimizde plastik deformasyonların başladığı zaman taşıma kapasitesinin ciddi oranda düşüş sergilediği görüldü.

K5 karışımı yaklaşık 4,9 cm deplasman yaptığı esnada taşıma kapasitesi 65 KN iken K3 karışımı 4 cm deplasman yaparken taşıma kapasitesi yaklaşık 10 KN'a kadar düştüğü gözlemlendi.

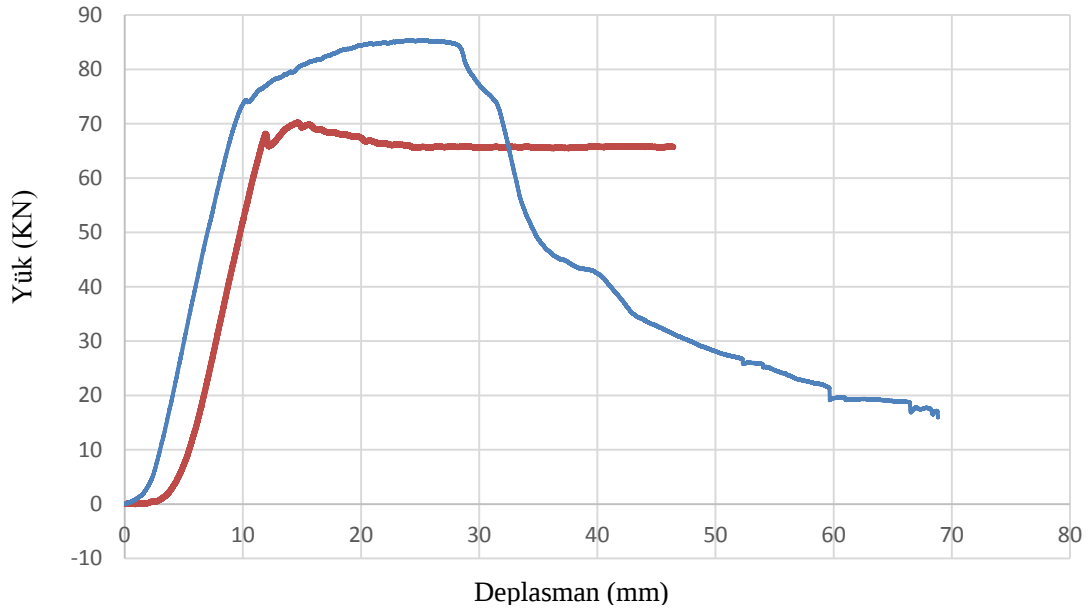
K4 (Makro Çelik Lif Tam Bölge) – K6 (Mikro Çelik Lif Tam Bölge)



Şekil 4.47: K4-K6 numaralı kırışin yük deplasman grafiği

Üretilen kırış elemanlarının yük deplasman değeri incelendiğinde K4 numaralı kırış elemanı yaklaşık olarak 60 kN yük taşıırken, K6 numaralı kırış elemanının yaklaşık olarak 85 kN yük taşıdığı tespit edildi. Dayanım değeri kıyasında K6 numaralı kırış elemanı K4 numaralı kırış elemanına kıyasla %42 daha fazla yük taşıdığı görüldü. Ancak yaklaşık olarak 30 mm deplasman değeri için K4 numaralı kırış elemanı yük taşıma kapasitesinde kayba uğramazken K6 numaralı kırış elemanında yüklemeye kapasitesi kaybı gözlemlendi. Basınç dayanımında K6 numaralı kırış elemanın daha yüksek değere çıkması lif boyutlarının küçük olması sebebiyle liflerin karışım içerisinde daha homojen bir yayılım göstermesinin neticesi olarak görüldü. Ancak yük taşıma kapasitesinin korunması açısından makro çelik lif kancalı olması ve daha büyük boyutlara sahip olması nedeniyle kırış elemanının bütünlüğünün korunmasının sağladığı tespit edildi.

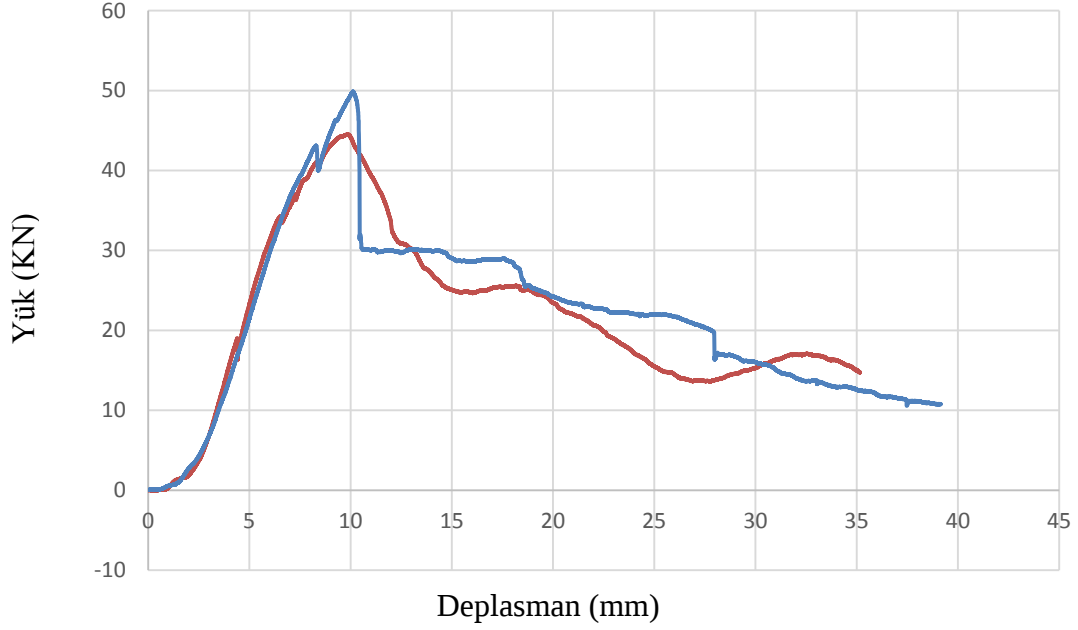
K5 (Mikro Çelik Lif Çekme Bölge) – K6 (Mikro Çelik Lif Tam Bölge)



Şekil 4.48: K5-K6 numaralı kirişin yük deplasman grafiği

Kiriş elemanlarının yük deplasman değerlerine bakıldığında K5 karışımı yaklaşık olarak 70 KN yük taşıırken K6 karışımı yaklaşık olarak 85 KN yük taşıdığı tespit edildi. Dayanım değerleri kıyaslandığında K6 karışımının K5 karışımına kıyasla %21 daha fazla yük taşıdığı görüldü. Bu durum mikro çelik lifin tam bölgede kullanılması sebebiyle kiriş elemanda daha fazla lif kullanılmasına neden oldu. Dolayısıyla yüksek dayanımlı malzeme miktarının artması ile daha etkin bir dayanım elde edildiği görüldü. Ancak 30 mm deplasman değeri için K6 numaralı kiriş elemanı dayanım kayıplarına uğrarken K5 numaralı kiriş elemanı yük taşıma kapasitesini korumaya devam ettiği görüldü.

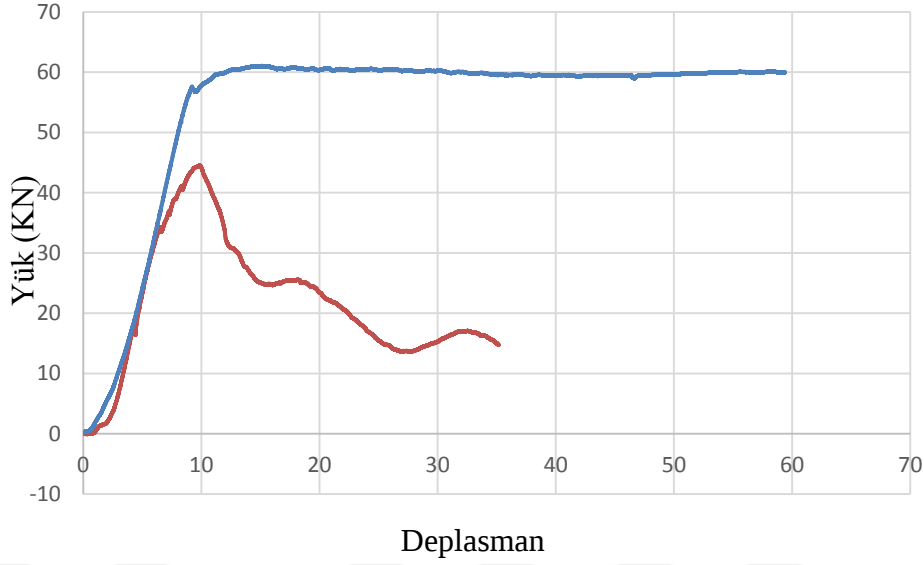
K2 (Lifsiz Donatılı) – K3 (Makro Çelik Lif Çekme Bölge)



Şekil 4.49: K2-K3 numaralı kirişin yük deplasman grafiği

Yük deplasman grafiği incelendiğinde K2 karışımı yaklaşık olarak 44 KN değerinde bir taşıma kapasitesi sergilerken K3 karışımı yaklaşık olarak 50 KN bir taşıma kapasitesi sergilediği görüldü. Taşıma kapasiteleri kıyaslandığında K3 karışımının K2 karışımına kıyasla yaklaşık olarak %14 daha fazla yük taşıdığı görüldü. Dayanım değerleri analiz edilecek olursa çekme bölgesinde makro çelik lif kullanımının dayanım değerlerini iyileştirdiği görüldü. Yaklaşık olarak 10 mm deplasman değerinde iki üretiminde taşıma kapasitesini kaybettiği gözlemlendi. Bu sebeple elde edilen sonuçlar neticesinde taşıma kapasitesinin korunması açısından makro çelik lifin çekme bölgesinde kullanılmasının etkili olmadığı görüldü.

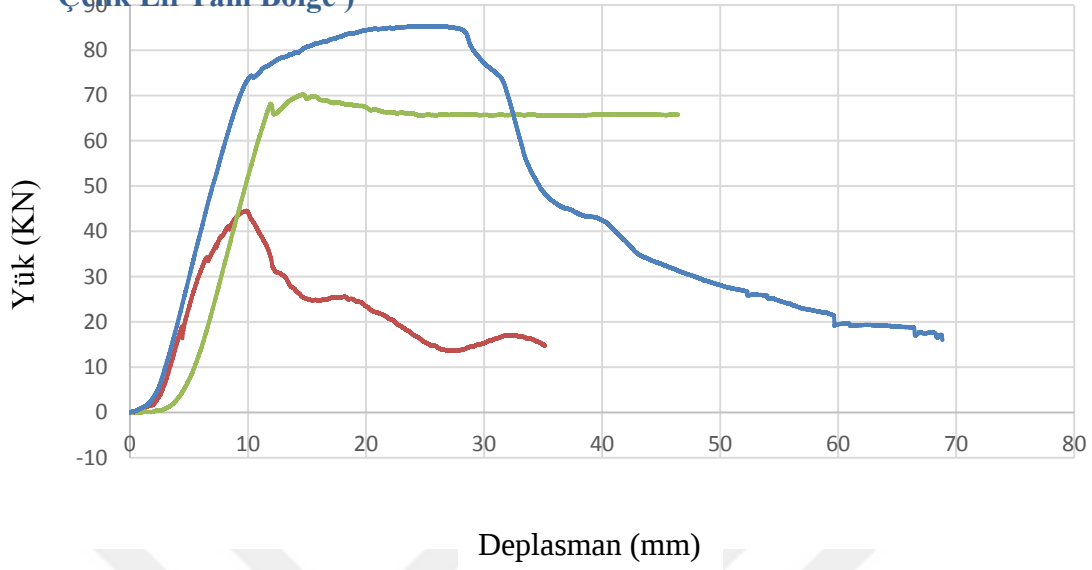
K2 (Lifsiz Donatılı) – K4 (Makro Çelik Lif Tam Bölge)



Şekil 4.50: K2-K4 numaralı kirişin yük deplasman grafiği

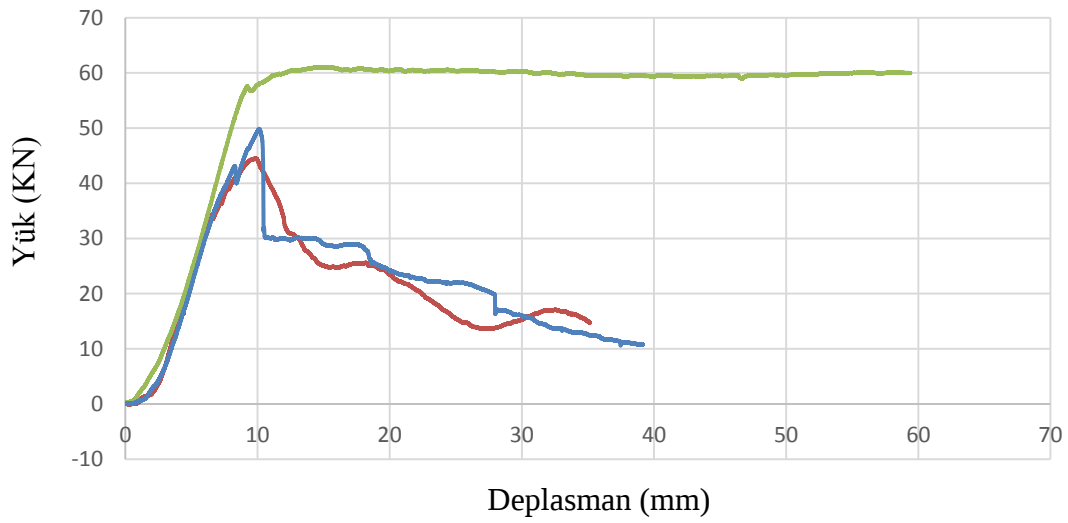
Yük deplasman grafiği incelendiğinde K4 karışımının K2 karışıma kıyasla yaklaşık olarak %36 daha fazla yük taşıdığı görüldü. K4 ve K2 numaralı kiriş elemanları incelendiğinde K4 numaralı kiriş elemanı yaklaşık olarak 60 KN yük taşıırken K2 numaralı kiriş elemanının yaklaşık olarak 44 KN yük taşıdığı tespit edildi. Ayrıca yaklaşık olarak 36 mm deplasman değeri için K2 karışımı yük taşıma kapasitesinde kayıplar sergilerken, K4 karışımı yaklaşık olarak 60 mm deplasman değerine kadar yük taşıma kapasitesini sürdürdüğü görüldü. Bu durum makro çelik lifin tam bölgede kullanılmasıyla birlikte lif katkısız geopolimer kirişe kıyasla oldukça yüksek dayanıma çıkabileceğini gösterdi. Bu yüksek dayanım değeri çelik lifin yüksek dayanımlı bir malzeme olması sebebiyle betonun içerisinde de homojen dağılmasıyla birlikte betonarme elemanın çekme kuvvetini artırıp ani kırılmaları önleyerek deplasmanı artırdığı tespit edildi.

K2 (Lifsiz Donatılı) – K5 (Mikro Çelik Lif Çekme Bölge) – K6 (Mikro Çelik Lif Tam Bölge)



Şekil 4.51: K2-K5-K6 numaralı kirişin yük deplasman grafiği

K2 (Lifsiz Donatılı) – K3 (Makro Çelik Lif Çekme Bölge) – K4 (Makro Çelik Lif Tam Bölge)



Şekil 4.52: K2-K3-K4 numaralı kirişin yük deplasman grafiği

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Deneysel sonuçlardan ve analitik hesaplamalardan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir;

- Deneysel çalışma sonucunda elde edilen mekanik özelliklere ve karışımın hazırlanmasındaki sürece bağlı olarak, karışımlara kenevir lif takviye edilmesi ve nuunenin su kürüne bırakılması sonucu lif su ile teması sonrası beton içerisinde ayrışma göstererek lif bütünlüğünün bozulmasıyla görevini yerine getirememiş olup dayanıma önemli bir katkı sağlayamadığı görülmüştür. Ayrıca lifler mikser ile karıştırma anında topaklanma göstererek işlenebilirliği azaltmıştır.
- Bazalt elyaf kırılımı incelenecek olursa bazalt lif lif yüzde oranının artması ile dayanım artışı gösterememiş en yüksek dayanımı %1'lik karışımda göstermesine rağmen lifsiz geopolimer betona göre az da olsa dayanımında düşüş göstermiştir. Bu durumda lif yüzdesinin artmasıyla taze betonda sıkışma esnasında iyi performans gösteremeyip vibrasyonun zayıf kalmasıyla boşluklu yapı artış göstermiştir. Bu durum zayıf fiber-matris davranışına sebep olmuştur. Aynı zamanda geopolimer beton mikser ile temasında topaklanma yapmıştır. Su kürüne konulması sonucunda bazalt lif aynı kenevir lif gibi beton içerisinde ayrışma göstererek bütünlüğünü koruyamamıştır. Bu durumda betona dayanım desteği verememesine sebep olmuştur.
- Cam elyaf deney numuneleri incelendiğinde en yüksek dayanımı %1'lik karışımda vererek lif katkısız geopolimer betona göre %17'lik dayanım artışı göstermiştir. Ancak betona enerji yutma kapasitesi kazandırarak sünek davranış sergilemesini sağlayamamış olup deplasman yapmadan ani kopma göstermiştir.
- Yapılan ön analizler sonucunda optimum karışım oranı bulunarak ana deneyde kullanılacak lif oranları belirlendikten sonra karışımı daha optimize hale getirmek için akışkanlaştırıcı ve aktivatör ilavesi yapılmıştır. Yapılan eklemeler sonucunda hem basınç hem de eğilme dayanımı açısından artış sağlanmıştır.
- Deneysel çalışmadaki karışımlara makro ve mikro çelik liflerin takviye edilmesinin basınç ve eğilme dayanımlarında, olumlu bir etkiye sahip olduğu tespit edildi. Ancak yapılan çalışmalar göstermiştir ki %1 katkılı mikro çelik lif betonun tam bölgesine

katılımının çekme bölgesine katılımına kıyasla daha iyi dayanım gösterip ancak yük taşıma kapasitesinde süreklilik göstermediği görülmüştür. %1 katkılı makro çelik lif betona lifin tam bölgeye katılımı ile hem dayanım noktasında hemde yük taşıma sürekliliği noktasında çekme bölgesine göre olumlu sonuç göstermiştir. Yapılan ön dökümlerde de gördüğümüz üzere makro lif küçük bir alanda değil büyük alanda etki gösterdiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak mikro çelik lifin tam bölgede kullanılmasında en iyi dayanımı verdiği tespit edilmiştir. Mikro çelik lifin çekme bölgesinde kullanımı ile yükü taşıma sürekliliğinin daha iyi olduğu görülmüştür.

- Makro çelik lif ise tam bölgede hem dayanım açısından hemde yükü taşıma sürekliliği açısından sadece çekme bölgesine makro lif kullanımından daha iyi performans göstermiştir. Tam bölge lif kullanımını makro ve mikro lif için kıyaslayacak olursak mikro çelik lif makro çelik liften daha iyi dayanım sergilemiş ancak yük taşıma sürekliliğini en iyi makro çelik lif sağlamıştır. Çekme bölgesi kıyaslaması yapılacak olursa mikro çelik lif hem dayanım açısından hemde yük taşıma sürekliliği açısından makro çelik life kıyasla daha iyi performans göstermiştir. Makro çelik lifin çekme bölgesinde etkin dayanımı gösterememesinin sebebi çekme bölgesinde homojen karışım gösterememesidir. Liflerin homojen karışım gösterememe durumu yük altında mikro çatlakların yayılmasına sebep olarak eğilme altında iyi performans sergileyememesine neden olmuştur.

KAYNAKÇA

- Antoni, A., Sugiarto, A. & Hardjito, D., 2017.** Effect of Variability of Fly Ash Obtained from the Same Source on the Characteristics of Geopolymer. MATEC Web of Conferences, 97(1026).
- Al Bakri, A. M. M. ve diğerleri, 2012.** The Processing, Characterization and Properties of Fly Ash Based Geopolymer Concrete. Rev. Adv. Material Science, Cilt 30, pp. 90-97.
- Al Bakri, M. M. ve diğerleri, 2011.** Review on fly ash-based geopolymer concrete without Portland Cement. Journal of Engineering and Technology Research, 3(1), pp. 1-4.
- Aswani, E. and Karthi, L. (2017).** A literature review on fiber reinforced geopolymer concrete. International Journal of Scientific & Engineering Research, 8(2), 408-411.
- A.S. Dhmees, N.M. Khaleel, S.A. Mahmoud.** Synthesis of silica nanoparticles from blast furnace slag as cost-effective adsorbent for efficient azo-dye removal, Egypt. J. Pet., 27 (2018), pp. 1113-1121
- Al Bakri, M.M., Mohammed, H., Kamarudin, H., Niza, I.K., Zarina, Y. (2011).** Review on fly ash-based geopolymer concrete without Portland Cement. J. Eng. Technol. Res. 3(1), 1-4.
- Aitcin, P.C., 2000,** Cements of yesterday and today; concrete of tomorrow, Cement and Concrete Research, 30:1349-1359pp.
- Aswani, E. and Karthi, L. (2017).** A literature review on fiber reinforced geopolymer concrete. International Journal of Scientific & Engineering Research, 8(2), 408-411.
- Al-mashhadani, M. M. ve diğerleri, 2018.** Mechanical and microstructural characterization of fiber reinforced fly ash based geopolymer composites. Construction and Building Materials, Cilt 167, pp. 505-513.
- A. Verma, R. Kore, D.R. Corbin, et al.** Metal recovery using oxalate chemistry: a technical review, Ind. Eng. Chem. Res., 58 (2019), pp. 15381-15393
- Bakri A.M.M.A., Kamarudin H., Mohamed H., Ruzaidi C.M., Rafiza A.R., Faheem, M.T.M., Izzat, Izzat, A.M. 2011,** Properties and microstructural characteristics of geopolymers using fly ash with different percentages of kaolin at room temperature curing, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(10), 824-828.
- Aziz, I. H., Abdullah, M. M. A. B., Salleh, M. M., Azimi, E. A., Chaiprapa, J., & Sandu, A. V. (2020).** Strength Development of Solely Ground Granulated Blast Furnace Slag Geopolymers. Construction and Building Materials, 250, 118720.
- Buchwald A. , Hohmann M. , Posern K. , Brendler E.,** The Suitability of Thermally Activated Illite/Smectite Clay As Raw Material for Geopolymer Binders, Applied Clay Science, 46, 300–304, (2009).
- Bernal, S., Gutierrez, R. D., Delvesto, S. & Rodriguez, E., 2010.** Performance of an alkali- activated slag concrete reinforced with steel fibers. Construction and Building Materials, Cilt 24, pp. 208-214.

- Chanh, N. V., Trung, B. D. & Tuan, D. W., 2019.** Recent Research Geopolymer Concrete. Sappora, Asian Concrete Federation & Japan Concrete Federation.
- 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>
- Duxson, P., Provis, J. L., Lukey, G. C. & van Deventer, J. S., 2007.** The role of inorganic polymer technology in the development of ‘green concrete’. *Cement and Concrete Research*, 37(12), pp. 1590-1597.
- Davidovits, J. (2008).** *Geopolymer Chemistry and applications*, Geopolymer Institute, Saint Quentin, France, 620 p.
- Duxson, P., Fernandez-Jimenez, A., Provis, J.L., Lukey, G.C., Palomo, A. and Van Deventer, J.S.J. (2007)** Geopolymer Technology: The Current State of the Art. *Journal of Materials Science*, 42, 2917-2933.
- Dawood, E. T. and Ramli, M. (2011).** Contribution of hybrid fibers on the properties of high strength concrete having high workability. *Procedia Engineering*, 14, 814-820. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.103>
- Duxson, P., Provis, J. L., Lukey, G. C. and Van Deventer, J. S. (2007).** The role of inorganic polymer technology in the development of ‘green concrete’. *Cement and Concrete Research*, 37(12), 1590-1597.
- Davidovits, J. (1991).** Geopolymers: inorganic polymeric new materials. *Journal of Thermal Analysis and calorimetry*, 37(8), 1633-1656.
- Davidovits J.** Geopolymer chemistry and sustainable development. The poly(sialate) terminology: a very useful and simple model for the promotion and understanding of green-chemistry. In: *Proceedings of 2005 geopolymere conference*, vol. 1; 2005. p. 9–15.
- Davidovits J., (2008),** *Geopolymer Chemistry and applications*, Saint Quentin, France
- Duxson, P., Provis, J. L., Lukey, G. C. & van Deventer, J. S., 2007.** The role of inorganic polymer technology in the development of ‘green concrete’. *Cement and Concrete Research*, 37(12), pp. 1590-1597.
- Dimas, D., Giannopoulou, I., Panias, D. (2009).** Polymerization in sodium silicate solutions: a fundamental process in geopolymerization technology. *J. Mater. Sci.* 44(14), 3719–3730.
- Davidovits, J. (1999).** Chemistry of Geopolymeric Systems, Terminology (pp: 9-40). *Proc. Geopolymer '99 International Conference*, June 30-July 2, Saint- Quentin.
- E. Gartner, (2004).** Industrially interesting approaches to “low-CO₂” cements. *Cem. Concr. Res.*, 34 (9) (2004), pp. 1489-1498
- Görhan, G., Kürklü, G. (2014)** The influence of the NaOH solution on the properties of the fly ash-based geopolymer mortar cured at different temperatures. *Composites Part B*. 58, 371–377.
- Hassan, A., Arif, M. & Shariq, M., 2019.** Use of geopolymer concrete for a cleaner and sustainable environment e A review of mechanical properties and microstructure. *Journal of Cleaner Production*, Cilt 223, pp. 704-728.

- J.Y. Lim, Y.G. Kang, K.M. Sohn, et al.** Creating new value of blast furnace slag as soil amendment to mitigate methane emission and improve rice cropping environments, *Sci. Total Environ.*, 806 (2022), Article 150961
- Jumrat, S., Chatveera, B. & Rattanadecho, P., 2011.** Dielectric properties and temperature profile of fly ash-based geopolymer mortar. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Cilt 38, pp. 242-248.
- Kang, S.T., Lee, B.Y., Kim, J.K., Kim, Y.Y., 2011.** The Effect of Fibre Distribution Characteristics on the Flexural Strength of Steel Fibre-reinforced Ultra High Strength Concrete, *Construction and Building Materials*, vol. 25(5), pp. 2450–2457.
- Li C, Gong X, Cui S, Wang Z, Zheng Y, Chi B.** CO₂ Emissions due to Cement Manufacture, *Material Science Forum*. 2011;685: 181-187.
- Li Z., Ding Z., Zhang Y.,** Development of Sustainable Cementitious Materials, *Proceedings of International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology*, Beijing, China, 55-76, (2004).
- 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.
- M. Murat Maraş ve Fatih Kantarcı (2022).** Structural behavior of RC beams strengthened using fiber-reinforced polymer U-jackets . Article in *Structural Concrete* · February 2023 DOI: 10.1002/suco.202200932
- Malhotra V.M., Mehta, P.K.,** High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete Materials, Mixture Proportioning, Properties, Construction Practice, and Case Histories. Ottawa, Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc, (2002).
- 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>
- M.T.M., Izzat A.M., (2011),** Properties and Microstructural Characteristics of Geopolymers Using Fly Ash With Different Percentages of Kaolin At Room Temperature Curing, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, ISSN 1991-8178, 824-828.
- N. Shao, S. Tang, Z. Liu, et al.** Hierarchically structured calcium silicate hydrate-based nanocomposites derived from steel slag for highly efficient heavy metal removal from wastewater, *ACS Sustain. Chem. Eng.*, 6 (2018), pp. 14926-14935.
- Phoo-ngernkham, T., Maegawa, A., Mishima, N., Hatanaka, S., Chindaprasirt, P. (2015).** Effects of sodium hydroxide and sodium silicate solutions on compressive and shear bond strengths of FA–GBFS geopolymer. *Constr. Build. Mater.* 91, 1–8.
- Palomo, A., Grutzeck, M.W., Blanco, M.T. (1999).** Alkali-Activated Fly Ashes: A Cement for the Future. *Cem. Concr. Res.* 29(8), 1323-1329.
- Pal, A. Mukherjee, S. Pathak.** Investigation of hydraulic activity of ground granulated blast furnace slag in concrete, *Cement Concr. Res.*, 33 (2003), pp. 1481-1486.

- R. Siddique, R. Bennacer** Use of iron and steel industry by-product (GGBS) in cement paste and mortar, *Resour. Conserv. Recycl.*, 69 (2012), pp. 29-34
- Ranjbar, N. ve diğerleri, 2016.** Mechanisms of interfacial bond in steel and polypropylene fiber reinforced geopolymer composites. *Composites Science and Technology*, Cilt 122, pp. 73-81.
- Reed, M., Lokuge, W. and Karunasena, W. (2014).** Fibre-reinforced geopolymer concrete with ambient curing for in situ applications. *Journal of materials science*, 49(12), 4297-4304. <https://doi.org/10.1007/s10853-014-8125-3>
- Sabu, A. and Karthi, L. (2018).** A review on strength properties of fibre and hybrid fibre reinforced geopolymer concrete. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 5, 1686- 1690.
- Sabu, A. and Karthi, L. (2018).** A review on strength properties of fibre and hybrid fibre reinforced geopolymer concrete. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 5, 1686- 1690.
- Speight, J.G. (2002)** Chemical and Process Design Handbook. McGraw-Hill, USA, 633 p.
- Shaikh, F. and Hosan, A. 2016.** Mechanical properties of steel fibre reinforced geopolymer concretes at elevated temperatures. *Construction and Building Materials*. 114: pp. 15-28
- Shaikh, F., Hosan, A. (2016).** Mechanical properties of steel fibre reinforced geopolymer concretes at elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, 114, 15– 28.
- Shaikh F.(2016).** Mechanical and durability properties of fly ash geopolymer concrete containing recycled coarse aggregates. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5, 277–287.
- Siddique, R., Bennacer, R., “Use of iron and steel industry by-product (GGBS) in cement paste and mortar”, Resources, Conservation and Recycling, 69, 29-34, (2012)**
- Swanepoel, J.C., Strydom, C.A. (2002).** Utilisation of Fly Ash in A Geopolymeric Material. *Appl. Geochem.* 17(8), 1143-1148.
- Shaikh, F. U. A., 2013.** Review of mechanical properties of short fibre reinforced geopolymer composites. *Construction and Building Materials*, Cilt 43, pp. 37-49.
- Thakur R.N., Ghosh S., Effect of Mix Composition on Compressive Strength and Microstructure of Fly Ash Based Geopolymer Composites, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, VOL: 4, ISSN 1819-6608, 68-74, (2009).**
- Thamilselvi, P., Siva, A., ve Oyejobi, D. (2017).** Geopolymer concrete: Overview. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, 8(6), 10-14.
- Vickers, L., Riessen, A. van, & Rickard, W. (2015).** Fire-Resistant Geopolymers: Role of Fibres and Fillers to Enhance Thermal Properties. In *SpringerBriefs in Materials*.

- Van Chanh, N., Trung, B. D., & Van Tuan, D. (2008, November).** Recent research geopolymer concrete. In The 3rd ACF international conference-ACF/VCA, Vietnam (Vol. 18, pp. 235-241).
- 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>
- Y. Li, C. Qiao, W. Ni.** Green concrete with ground granulated blast-furnace slag activated by desulfurization gypsum and electric arc furnace reducing slag, *J. Clean. Prod.*, 269 (2020), Article 122212
- Weerdt, K. D., 2011.** Geopolymers – State of the art, Oslo : SINTEF Building and Infrastructure.
- Zollo, R. F. (1997).** Fiber-reinforced concrete: an overview after 30 years of development. *Cement and concrete composites*, 19(2), 107-122.
- Tekin, İ. (2016).** Properties of NaOH activated geopolymer with marble, travertine and volcanic tuff wastes. *Constr. Build. Mater.* 127, 607–617.
- Xu, H., van Deventer, J.S.J. (2000).** The geopolymerisation of aluminosilicate minerals. *Int. J. Miner. Process.* 59(3), 247–266.
- Xu, H. ve Van Deventer, JSJ (2002)** Microstructural Characterisation of Geopolymers Synthesized from Kaolinite/Stilbite Mixtures Using XRD, MAS-NMR, SEM/EDX, TEM/EDX and HREM. *Cement and Concrete Research*, 32, 1705-1716.
- Qingsen Zeng, X. Liu, Z. Zhang, C.Wei, Chunbao (Charles) Xu.** Synergistic utilization of blast furnace slag with other industrial solid wastes in cement and concrete industry: Synergistic mechanisms, applications, and challenges.

İnternet Kaynakları

URL 1: <https://insapedia.com/yuksekk-firin-curufu/>

URL2: <https://www.sanalsantiye.com/lifli-beton-nedir/> (Erişim Tarihi 17.06.2023)

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Fulya ATAY

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2019,Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2023, İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi/Mekanik Anabilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM:

- 2021-2023 Sevis Asistanı/Halkbank
- 2023-Halen İnşaat Mühendisi/Türkiye Belediyeler Birliği