

BAZALT LİFİ KULLANIMININ BETONUN MEKANİK ÖZELİKLERİNE VE
KOROZYON DAYANIKLILIĞINA ETKİSİ

Ramazan ÖGÜT

Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Abdullah DEMİR

Ocak – 2020

KABUL VE ONAY SAYFASI

Ramazan ÖGÜT tarafından hazırlanan “BAZALT LİFİ KULLANIMININ BETONUN MEKANİK ÖZELİKLERİNE VE KOROZYON DAYANIKLILIĞINA ETKİSİ” adlı tez çalışması, aşağıda belirtilen jüri tarafından Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek OY BİRLİĞİ ile Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

21/01/2020

Prof. Dr. Önder UYSAL
Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

Prof. Dr. Muhammet Çağatay KARABÖRK
Anabilim Dalı Başkanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

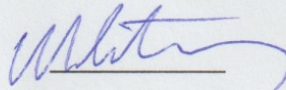
Dr. Öğr. Üyesi Abdullah DEMİR
Danışman, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

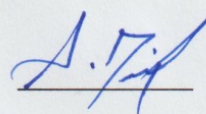
Sınav Komitesi Üyeleri

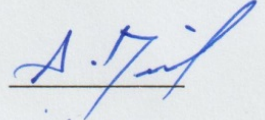
Dr. Öğr. Üyesi Abdullah DEMİR
Danışman, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

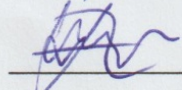
Doç. Dr. Mehmet Uğur TOPRAK
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

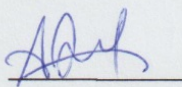
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Raif BOĞA
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyon Kocatepe Üniversitesi





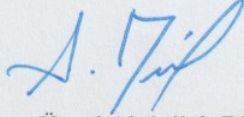




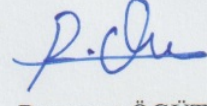


ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının % 17 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.



Dr. Öğr. Üyesi Abdullah DEMİR



Ramazan ÖGÜT

BAZALT LİFİ KULLANIMININ BETONUN MEKANİK ÖZELİKLERİNE VE KOROZYON DAYANIKLILIĞINA ETKİSİ

Ramazan ÖGÜT

İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2020

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Abdullah DEMİR

ÖZET

Beton gibi çimento esaslı malzemelerin çekme dayanımları düşüktür. Bu olumsuz etkiyi ortadan kaldırmak için betona doğal veya sentetik bazlı lifler ilave edilir. Betona liflerin ilave edilmesi ile genellikle çimento matrisinde oluşan çatlakların kontrolsüz bir şekilde ilerlemesi önlenir. Yapılan tez çalışmasında, bazalt lifi kullanımının betonun mekanik özelliklerine ve beton içerisindeki donatının korozyon performansına etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada kontrol karışımı ve % 1, 2, 3 oranlarında bazalt lif katkılı karışım yapılarak beton numuneleri üretilmiştir. Ayrıca betonun dayanıklılık özelliklerini belirlemek için donatılı beton numuneleri üretilmiştir. Mekanik, fiziksel ve dayanıklılık deneylerine tabi tutulacak beton numuneleri standart kür ortamında (su kürü) küre tabi tutulmuştur. Beton numuneler üzerinde fiziksel olarak birim ağırlık, ultrases geçiş hızı deneyi mekanik olarak yüzey sertliği, yarmada-çekme, basınç, eğilme deneyi dayanıklılık olarak ise elektriksel direnç, hızlı klorür geçirimsizliği deneyleri yapılmıştır. Donatılı beton numuneleri üzerinde ise hızlandırılmış korozyon ve yarı hücre potansiyeli deneyi yapılmıştır. Çalışmada üretilen kontrol ve bazalt lif katkılı beton serilerinin korozyon etkisi altında meydana gelen değişimler ile mekanik ve fiziksel özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Beton karışımında bazalt liflerin kullanılması, korozyon dayanıklılığını bir miktar artırdığı görülmüştür. Ayrıca bazalt liflerinin beton karışımında kullanılması ile referans betona göre eğilme ve yarmada çekme dayanımlarında önemli artış görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Bazalt lif, Dayanıklılık, Korozyon, Mekanik özellikler

THE EFFECT OF BASALT FIBER USAGE ON MECHANICAL PROPERTIES AND CORROSION DURABILITY OF CONCRETE

Ramazan ÖGÜT

Civil Engineering M.S. Thesis, 2020

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Dr. Abdullah DEMİR

SUMMARY

Tensile strength of cement-based materials such as concrete is low. Natural or synthetic fibers are added to the concrete to eliminate this negative effect. By adding the fibers to the concrete, the uncontrolled progression of the cracks in the cement matrix is generally prevented. In this thesis, it is aimed to investigate the effects of basalt fiber use on the mechanical properties of concrete and the corrosion performance of the reinforcement in the concrete. In this study, concrete samples were produced by making control mixture and 1, 2, 3 % basalt fiber blended mixture. In addition, reinforced concrete samples were produced to determine the strength properties of concrete. Concrete samples to be subjected to mechanical, physical and durability experiments were cured in standard curing environment (water curing). Unit weight and ultrasonic pulse velocity experiment from physical experiments, surface hardness, splitting-tensile, compression, flexural strength experiment from mechanical experiments and electrical resistance and rapid electrical resistance and rapid chloride permeability experiments were performed on concrete samples. Accelerated corrosion and half cell potential experiment were performed on reinforced concrete samples. In the study, the changes occurring under the influence of corrosion of the control and basalt fiber reinforced concrete series produced and the changes in their mechanical and physical properties were examined. The use of basalt fibers in the concrete mix has been shown to slightly improve corrosion resistance. In addition, with the use of basalt fibers in the concrete mixture, a significant increase in bending and tensile strengths was observed compared to reference concrete.

Keywords: Basalt fiber, Durability, Corrosion, Mechanical properties

TEŐEKKÜR

Lisans eğitimimden başlayarak bilimsel geliŐimimde en önemli rolü üstlenen, her koŐulda yanımda olan, bana zorluklara karşı mücadeleyi öğreten, bir baba gibi kol kanat geren, benden destek ve bilgilerini esirgemeyen, dürüstlüğü, çalıŐkanlıđı ve sabrını örnek aldığım idolüm değerli danıŐmanım, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Abdullah DEMİR'e en içten duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1.GİRİŞ	1
2. LİFLİ BETON.....	2
2.1. GENEL.....	2
2.2. LİF TÜRLERİ	3
2.2.1. Çelik lifler	3
2.2.2. Cam lif.....	4
2.2.3. Bazalt lif.....	4
2.2.4. Sentetik lifler.....	7
3. KOROZYON MEKANİZMASI.....	10
3.1. KOROZYON ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	12
3.1.1. Donatısız beton numuneler üzerinde yapılan korozyon ölçüm yöntemleri.....	12
3.2. DONATILI BETON NUMUNELER ÜZERİNDE YAPILAN KOROZYON ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ.....	14
3.2.1. Ağırlık kaybı yöntemi	14
3.2.2. Yarı hücre potansiyeli yöntemi	15
3.2.3. Hızlandırılmış korozyon yöntemi	16
3.2.4. Lineer polarizasyon yöntemi	17
3.2.5. Elektrokimyasal impedans spektroskopisi (EIS) yöntemi	18
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	19
4.1. KULLANILAN MALZEMELER.....	19
4.1.1. Bazalt lif.....	19
4.1.2. Çimento.....	
4.1.3. Agregalar.....	
4.1.4. Su	
4.1.5. Çelik donatı	22
4.1.6. NaCl tuzu ve süperakışkanlaştırıcı.....	22

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.2. BETON KARIŞIM ORANLARI	22
4.3. ÜRETİLEN NUMUNE TİPLERİ, KÜR KOŞULU VE SÜRELERİ	23
4.4. YAPILAN DENEYLER	23
4.4.1. Mekanik özellik deneyleri.....	23
4.4.2. Fiziksel özellik deneyleri	26
4.4.3. Dayanıklılık özeliği deneyi	27
5. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	32
5.1. MEKANİK ÖZELİK DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	32
5.1.2. Yarmada-çekme dayanımı	33
5.1.3. Eğilme dayanımı	34
5.1.4. Yüzey sertliği deney sonuçları.....	36
5.2. FİZİKSEL ÖZELİK DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	37
5.2.1. Birim ağırlık.....	37
5.2.2. Ultrases geçiş hızı	38
5.3. DAYANIKLILIK ÖZELİĞİ DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	41
5.3.1. Elektriksel direnç	41
5.3.2. Hızlı klorür geçirimsizliği	42
5.3.3. Yarı hücre potansiyeli deneyi.....	44
5.3.4. Hızlandırılmış korozyon.....	49
5.4. ADERANS VE KOROZYONA UĞRAMIŞ DONATILARDA ÇEKME DENEYİ	54
6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER	68
KAYNAKLAR DİZİNİ	70

EKLER

1. Katkısız ve bazalt lif katkılı beton serilerinin fiziksel özellik sonuçları
2. Katkısız ve bazalt lif katkılı beton serilerinin mekanik özellik sonuçları
3. Katkısız ve bazalt lif katkılı beton serilerinin klorür iyonu geçirimsizliği ve elektriksel direnç sonuçları
4. Katkısız ve bazalt lif katkılı beton serilerinin yarı hücre potansiyeli sonuçları
5. Katkısız ve bazalt lif katkılı beton serilerinin hızlandırılmış korozyon deneyi sonuçları
6. Katkısız ve bazalt lif katkılı beton serilerinin hızlandırılmış korozyon deneyi sonuçları

ÖZGEÇMİŞ

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Bazalt lif üretimi	5
2.2. Piyasada bulunan çeşitli ürünler.....	6
2.3. Naylon ve naylonun kristal yapısı.....	8
2.4. (a) Kimyasal formül (b) Aramid lif moleküllerinin yapısı.....	9
3.1. Wenner yöntemi ile elektriksel direnç ölçümü.	14
3.2. Polarizasyon direnci yönteminin uygulanması	17
4.1. Referans ve agrega karışımının granülometri eğrisi.	21
4.2. Yüzey sertliği deneyi.....	24
4.3. Basınç dayanımı deneyi.	25
4.4. Yarmada-çekme dayanımı deneyi.....	25
4.5. Eğilme dayanımı deneyi.....	26
4.6. Ultrases geçiş süresi deneyi.	27
4.7. Hızlandırılmış korozyon deneyi.....	28
4.8. Elektriksel direnç deneyi.....	29
4.9. Hızlı klorür geçirimsizliği deneyi.....	30
4.10. Yarı hücre potansiyeli deneyi.....	30
5.1. Basınç dayanımının bazalt lif miktarına göre değişimi.....	32
5.2. Yarmada çekme dayanımının bazalt lif miktarına göre değişimi.....	33
5.3. Eğilme dayanımının bazalt lif miktarına göre değişimi.	35
5.4. Yüzey sertliği değerinin bazalt lif miktarına göre değişimi.	36
5.5. Birim ağırlık değerinin bazalt lif miktarına göre değişimi.....	37
5.6. Ultrases geçiş hızı değerinin bazalt lif miktarına göre değişimi.	39
5.7. Dinamik elastisite modülü değerinin bazalt lif miktarına göre değişimi.	40
5.8. Elektriksel direnç değerinin bazalt lif miktarına göre değişimi.	42
5.9. Klorür geçirimsizliği değerinin bazalt lif miktarına göre değişimi.	43
5.10. Toplam geçen yük değerleri ile elektriksel direnç değerleri arasındaki ilişki.....	44
5.11. Betonların içerisindeki donatının yarı hücre potansiyeli değerinin bazalt lif miktarına göre değişimi.....	45
5.12. Betonların içerisindeki donatının yarı hücre potansiyeli değerinin bazalt lif miktarına göre değişimi.....	46
5.13. Betonların içerisindeki donatının yarı hücre potansiyeli değerinin bazalt lif miktarına göre değişimi.....	47

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.14. Betonların içerisindeki donatının yarı hücre potansiyeli değerinin bazalt lif miktarına göre değişimi.....	48
5.15. Donatılarda meydana gelen ağırlık kayıplarına göre yarı hücre potansiyeli değerlerindeki değişim.....	49
5.16. Beton içindeki donatıda % 12 ağırlık kaybı oluşana kadar geçen sürede korozyon akımının değişimi.....	50
5.17. Beton içindeki donatıda % 9 ağırlık kaybı oluşana kadar geçen sürede korozyon akımının değişimi.....	51
5.18. Beton içindeki donatıda % 6 ağırlık kaybı oluşana kadar geçen sürede korozyon akımının değişimi.....	52
5.19. Beton içindeki donatıda % 3 ağırlık kaybı oluşana kadar geçen sürede korozyon akımının değişimi.....	53
5.20. Clarke çözeltisi ile korozyon ürünlerinin temizlenmesi.....	55
5.21. Farklı karışım tipleri içerisinde korozyona uğrayan donatıların ağırlık kaybı miktarları. .	55
5.22. Çelik çekme deneyi.....	56
5.23. Farklı tipteki beton karışımlarında korozyona uğrayan donatıların akma dayanımı.....	57
5.24. Farklı tipteki beton karışımlarında korozyona uğrayan donatıların çekme dayanımı.....	59
5.25. Farklı tipteki beton karışımlarında korozyona uğrayan donatıların kopma dayanımı.....	61
5.26. Hızlandırılmış korozyon deneyinde % 12 ağırlık kaybına uğrayan donatıların gerilme-şekil değiştirme diyagramı.....	63
5.27. Hızlandırılmış korozyon deneyinde % 9 ağırlık kaybına uğrayan donatıların gerilme-şekil değiştirme diyagramı.....	64
5.28. Hızlandırılmış korozyon deneyinde % 6 ağırlık kaybına uğrayan donatıların gerilme-şekil değiştirme diyagramı.....	65
5.29. Hızlandırılmış korozyon deneyinde % 3 ağırlık kaybına uğrayan donatıların gerilme-şekil değiştirme diyagramı.....	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Liflerin tipik özellikleri.....	3
3.1. Toplam geçen yük ile klorür geçirimsizliği arasındaki ilişki.....	13
3.2. Elektriksel direnç ile korozyon olasılığı arasındaki ilişki.....	14
3.3. Yarı hücre potansiyeli ile ilişkili korozyon durumu.....	15
4.1. Bazalt lifin kimyasal ve teknik özellikleri.....	20
4.2. Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	20
4.3. Agregata ve karışım granülometrisi.....	21
4.4. Süperakışkanlaştırıcı katkı maddesinin özellikleri.....	22
4.5. Beton karışım oranları (kg/m ³).....	22
5.1. Kopma uzama oranları.....	67

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
R	Elektriksel direnç
ρ	Betonun elektriksel direnci
E_{din}	Dinamik elastisite modülü
μ	Poisson oranı
β_a	Anodik tafel sabiti
β_c	Katodik tafel sabiti
I _{cor}	Korozyon akım yoğunluğu
M	Çözünmüş metalin kütlesi
F	Faraday sabiti
V	Ultrases geçiş hızı
n	Betonun birim ağırlığı
<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
Ref	Bazalt Lif Katkısız Beton Karışımı
BL(%1)	% 1 Bazalt Lif Katkılı Beton Karışımı
BL(%2)	% 2 Bazalt Lif Katkılı Beton Karışımı
BL(%3)	% 3 Bazalt Lif Katkılı Beton Karışımı
CSE	Bakır/bakır sülfat elektrot
SCE	Gümüş/gümüş klorür elektrot
DC	Doğru akım
MPa	Megapaskal
FRC	Lif takviyeli beton
CFRP	Karbon lif takviyeli polimer
GFRP	Cam lif takviyeli polimer
FRP	Lif takviyeli polimer
EIS	Elektrokimyasal impedans spektroskopisi
HCP	Yarı hücre potansiyeli

1.GİRİŞ

Yapısal beton genellikle düz karbon çelik ile güçlendirilir. Belirli koşullar altında, çelik korozyona maruz kalır ve bu hem çeliğe hem de betona zarar verebilir. Tarihsel olarak, tasarımcılar bir yapının takviye edici çelik korozyonuna dayanma kabiliyetini arttırmak için yüksek performanslı beton kullanımını belirtmişlerdir. Bu yöntem ile korozyonu önlemede veya en azından korozyona bağlı hasarı sınırlandırmakda başarılı olunmuştur. Ancak bazı çevresel koşullar altında korozyon başlayabilir. Korozyon tespit edilmemiş ve / veya onarılmamış kalırsa, yapının hizmet ömrünü, kapasitesini ve güvenliğini azaltabilir (Walsh ve Henderson, 2016).

Endüstri her zaman sektöre çok faydalı olan yeni ürünü üretmek için yeni, daha iyi ve ekonomik bir malzeme bulmaya çalışır. Günümüzde kompozit malzemelerin üretiminde önemli bir büyüme gözlenmektedir. Bunu akılda tutarak, enerji tasarrufu, korozyon riski, sürdürülebilirlik ve çevre, bir ürün değiştirildiğinde veya yeni bir ürün üretildiğinde önemlidir (Rathod vd., 2015).

Beton teknolojisindeki son gelişmelere bakıldığında, betonun mekanik ve dayanıklılık özelliklerini geliştirmek için şimdiye kadar çeşitli lifler kullanıldı: asbest, çelik, cam, karbon, polipropilen, naylon vb (Charan ve Gupta, 2016). Lif takviyeli betondaki yeni bir gelişme, beton kompozitlerin basınç ve eğilme mukavemetinin iyileştirilmesinde daha iyi sonuçlar veren bazalt lifinin kullanılmasıdır. Bazalt lifi diğer liflere oranla daha iyi dayanım özelliklerine sahiptir ve alkali, asidik ve tuz saldırısına karşı oldukça dirençli olup beton, köprü ve kıyı şeridi yapıları için uygun bir lifdir. Lifin uzama gücü yüksektir ve mükemmel süneklığe sahiptir ve korozyon direnci diğer elyaf türlerinden çok daha iyidir (Shah ve Kulkarni, 2013). Bazalt liflerinin temel avantajı, hava ve suyla toksik reaksiyona girmemesidir.

2. LİFLİ BETON

2.1. Genel

Beton nispeten kırılğan bir malzeme olarak kabul edilir. Çekme gerilmelerine maruz kaldığında beton çatlar. Bu sorunun üstesinden gelmek için 1800'lerin ortasından beri çelik donatı kullanılmaktadır. Kompozit bir sistem olarak, takviye çeliğinin tüm çekme yüklerini taşıdığı varsayılmaktadır. Lif takviyeli beton, (FRC) rastgele dağıtılmış lif ile güçlendirilmiş betondur. Binlerce küçük lif, karıştırma sırasında betona rastgele dağıtılır ve bu nedenle, en yüksek süneklik performansı, çatlak öncesi çekme dayanımı, yorulma dayanımı ve darbe dayanımı dahil olmak üzere her yöne doğru beton özelliklerini geliştirir. Geleneksel donatıya kıyasla, lif donatılarının özellikleri şöyledir (Abbas, 2013):

- Lifler genellikle bir enine kesit boyunca dağıtılır, oysa çelik çubuklar sadece gereken yere yerleştirilir.
- Lifler nispeten kısa ve yakın aralıklıdır, oysa çelik çubuklar sürekli ve çok yakın yerleştirilmez.
- Çelik çubuklarla, aynı liflerle aynı takviye alanını elde etmek genellikle mümkün değildir.
- Normal betondan çok daha sert ve darbelere karşı daha dayanıklıdır.

Lifler, dayanımı arttırmak için eklenmez, buna rağmen dayanımda bir miktar artış oluşabilir. Aksine, ana rolleri, FRC'nin çatlağını kontrol etmek ve bu çatlaklar arasında köprü kurarak ve böylece bir miktar çatlama sonrası süneklik sağlayarak, matrisin çatlamasından sonra malzemenin davranışını değiştirmektir. Bugün betona dahil edilen lif türlerinin çoğu çelik, cam, sentetik ve doğal bazlıdır. Çizelge 2.1'de bazı ortak lifler ve tipik özellikleri listelenmiştir (Abbas, 2013):

Çizelge 2.1. Liflerin tipik özellikleri (Abbas, 2013).

Lif türü		Bağlı yoğunluk	Çap (µm)	Gerilme direnci (MPa)	Esneklik modülü (MPa)	Kopma uzaması (%)
Çelik		7,8	100-1000	500-2600	210000	0,5-3,5
Bazalt		2,75	9-23	4840	89000	3,15
Cam	E	2,54	8-15	2000-4000	72000	3-4,8
	Ar	2,70	12-20	1500-3700	80000	2,5-3,6
Sentetik	Akrilik	1,18	5-17	200-1000	17000-19000	28-50
	Aramid	1,44	10-12	2000-3100	62000-120000	2-3,5
	Karbon	1,90	8-0	1800-2600	230000-380000	0,5-1,5
	Naylon	1,14	23	1000	5200	20
	Polyester	1,38	10-80	280-1200	10000-18000	10-50
	Polietilen	0,96	25-1000	80-600	5000	12-100
	Polipropilen	0,90	20-200	450-700	3500-5200	6-15

2.2. Lif Türleri

Bu bölümde birbirinden farklı özelliklere sahip lifler hakkında detaylı bilgiler aşağıda verilmiştir.

2.2.1. Çelik lifler

Çelik lifler başlangıçta düz plakalar, kaldırımlar ve tünel kaplamalarında çatlak kontrolü için ikincil donatı olarak kullanılmaktadır. Bugün, kullanımları, geleneksel çelik çubukların yerini almak ya da ikincil bir takviye olarak tamamlayıcı bir şekilde hareket etmek için gerçek yapısal uygulamaları içerecek şekilde genişletilmiştir. Çelik liflerin kullanımı, bu lif tipinin birçok olumlu özelliği nedeniyle popülerdir: yüksek elastisite modülü, yüksek dayanım, yüksek süneklik ve betonun alkali ortamında çok iyi bir dayanıklılık gibi özellikleri vardır. Çelik lifler, sertliği (tokluk, çimento ve betondaki deformasyon sırasında enerjiiyi emme yeteneğinin bir ölçüsüdür) büyük ölçüde artırır. Bu artış, sıcaklık veya bağlı nemdeki değişiklikler nedeniyle çatlama önleyebilir veya en azından azaltabilir. Lif ilavelerinden kaynaklanan dayanım artışının çok az olduğu için (yüksek lif hacimleri hariç) elyaf eklemenin temel amacı, betonun en yüksek yük taşıma kapasitesini (yani, tokluk) arttırmaktır. Artan lif hacminin betonun dayanımını gözle görülür şekilde artırmadığını, sertliğini ise en küçük lif artışlarıyla bile hızla arttırdığını göstermektedir. Örneğin, elyaf hacmi % 0,5'ten % 1'e yükseltildiğinde, normal betonla ilgili tokluk yaklaşık 5 kattan 15 kat artar (Abbas, 2013).

Beton karışımında düzgün bir lif dağılımı elde etmek, çelik liflerin topaklanma eğiliminden dolayı zordur. Bu kümelenme eğilimi birçok faktörden kaynaklanmaktadır (Abbas, 2013):

- Lifler karışıma eklenmeden önce zaten bir araya toplanmış ise; Karışım işlemi kümeleri kıramaz.
- Her bir lif ilavesi arasında çok kısa zaman aralıkları vardır, bunlar mikserde dağılmalarına izin vermezler.
- Mikserin kendisi, lifleri dağıtmak için çok verimsiz olabilir.
- Lifler diğer bileşenlerden önce mikserde eklenirse, bunlar kümelenir.

2.2.2. Cam lif

Cam lifler; sert, korozyona dayanıklı, esnek ve hafif malzemelerdir. Ayrıca diğer malzemelerle tepkimeye girmez ve düşük maliyetlidir. Bu özelliklerinden dolayı endüstriyel uygulamalarda çok fazla kullanılmaktadır. Cam lifler yüksek dayanıma sahip olduklarından lif yüzeyinde oluşan kusurlar hem sayıca az hemde boyutça küçüktür (Barbero vd., 1999).

2.2.3. Bazalt lif

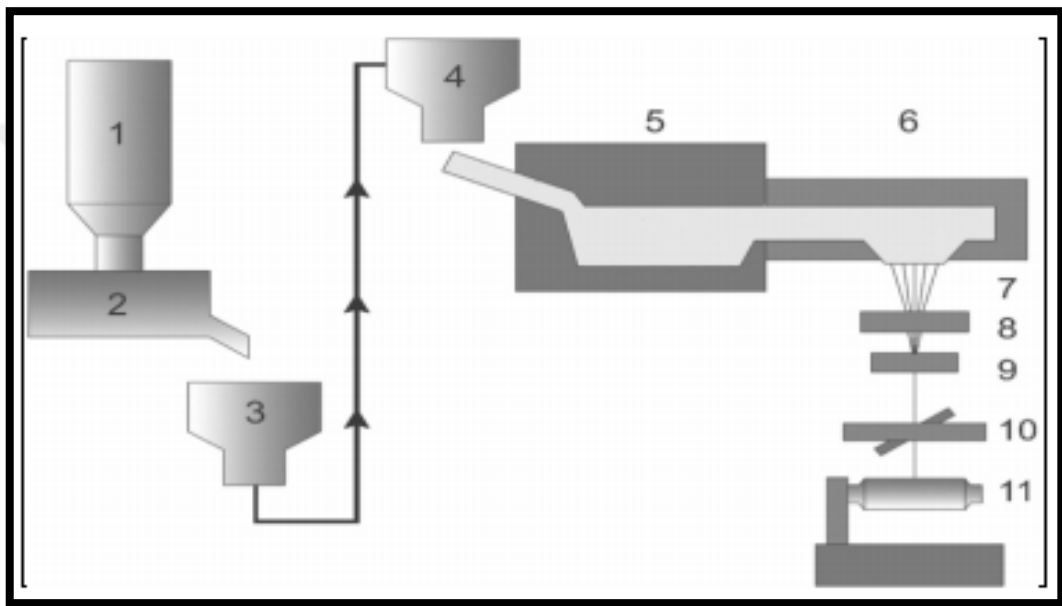
Bazalt, yeryüzünün altında yüzlerce kilometre derinlikte ve erimiş magma olarak yüzeye ulaşan doğal, sert, yoğun, koyu kahverengi ile siyah volkanik magmatik kayadır. Bazalt yoğunluğu 2,7 ila 2,8 g/cm³ arasında değişmektedir. Bazaltın üstün bir aşınma dayanımı vardır bu yüzden dökme bazalt genellikle asfaltlama ve inşaat malzemesi olarak kullanılır. Düşük ve yüksek sıcaklıklara karşı iyi direnç, yalıtım özellikleri, asit ve solvent direnci diğer özellikleridir. Bazalt kayadan elde edilen bazalt lifi tipik bir seramik lifidir. Çimento betonu ve harç ile karıştırıldığında dispersiyonu kolaydır. Bu nedenle bazalt lif betonarme, inşaat alanında daha iyi hizmet vermektedir (Treesa, 2010).

Yapılarda kullanılan bazalt lifin tarihi ve gelişimi

Fransa'dan Paul Dhe, bazalttan lif çıkarma fikrini ortaya atan ilk kişidir. 1960'larda, hem ABD hem de eski Sovyetler Birliği özellikle füzeler gibi askeri donanımlarda bazalt lif uygulamalarını araştırmaya başlamışlardır. Aynı dönemde, 1950'lerde Moskova, Prag ve diğer bölgelerdeki bağımsız gruplar tarafından yürütülen Doğu Avrupa'da yapılan araştırmalar SSCB Savunma Bakanlığı tarafından kamulaştırılmıştır ve teknolojinin daha sonra kapalı olarak geliştirildiği Kiev'de yoğunlaştırılmıştır. Enstitüler ve fabrikalar 1991'de Sovyetler Birliği'nin

dağılmasından sonra, Sovyet araştırmalarının sonuçları sınıflandırılıp sivil uygulamalar için uygun hale getirilmişti. GFRP'lere veya CFRP'lere benzer mekanik özelliklere sahip, ancak daha iyi servis özelliklerine ve önemli ölçüde düşük maliyete sahip olan inşaatta bazalt lifinin çeşitli uygulamalarını bulmak için zaman zaman araştırmalar yapılmaktadır. Bazalt lif üretimi Şekil 2.1'de gösterilmiştir (Treesa, 2010).

Bazalt lif üretimi



Şekil 2.1. Bazalt lif üretimi (Treesa, 2010).

Bazalt lif üretiminde işlem hattının basitleştirilmiş şeması (Treesa, 2010):

- 1) Kırma taş silosu
- 2) Yükleme istasyonu
- 3) Taşıma sistemi
- 4) Toplu şarj istasyonu
- 5) İlk erime bölgesi
- 6) Kesin sıcaklık kontrolü ile ikincil ısı bölgesi
- 7) Filament oluşturucu burçlar
- 8) Aplikatörün boyutlandırılması

9) İplikçik oluşturma istasyonu

10) Fiber germe istasyonu

11) Otomatik sarma istasyonu.

Hammadde olarak doğal bir volkanik bazalt taşı kullanılarak, bazalt lifi, bazalt taşının 1450-1500 °C'de eritilmesi ile üretilir. Lif oluşturmak için erimiş malzeme bir platin / rodyum pota burcu içinde zorlanır. Sürekli eğirme olarak adlandırılan bu teknoloji, takviye malzemesini, tekstil sahası imalat işleminde kullanılabilen ve kompozit malzemelere büyük bir potansiyel uygulayabilen doğranmış lifler veya sürekli lifler halinde sunabilmektedir. Geleneksel işlemler ve ekipmanlar kullanılarak kolayca işlenebilme yeteneğine ek olarak, bazalt lifler, tek bir üretim işleminde farklı bir katkı maddesi içermediğinden maliyet bakımından ek avantaj sağlar. Üfleli eriyik teknolojileri, zayıf mekanik özelliklere sahip kısa ve ucuz bazalt liflerinin üretimi için önerilmektedir. Son zamanlarda, laboratuvar ölçeğinde lif üretmek için dielektrik ısıtmaya dayanan eriyik-eğirme yöntemi önerilmektedir (Treesa, 2010).

Bazalt liften elde edilen ürünler



a-) Bazalt lif

b-) Bazalt ip

c-) Bazalt çubuk

Şekil 2.2. Piyasada bulunan çeşitli ürünler.

Bazalt lifi, son derece ince bazalt elyaflarından yapılmış bir malzemedir. Bazalt lifi imalatı, taş ocağı bazalt taşını eriterek gerçekleştirilir. Erimiş kaya daha sonra bazalt lifi sürekli filamentleri üretmek için küçük nozullar boyunca sıkılır. Bazalt lifleri, tek bir üretim işleminde başka ek katkı maddeleri içermediği için maliyet bakımından ek avantaj sağlar. Bazalt liflerinin E-cam liflerinden daha iyi çekme dayanımına sahip olduğu, karbon liflerinden daha büyük başarısızlık yükünün yanı sıra kimyasal ataklara karşı iyi bir direnç, darbe yükü ve daha az zehirli duman ile ateş olduğu bilinmektedir (Sim vd., 2005).

Bazalt ipler ise direkt olarak kullanımı hemen hemen olmayan ancak havacılık, otomotiv, denizcilik ve lifli kumaş üretimi sektöründe yaygın kullanım alanı olan, inşaat sektöründe ise sentetik ve karbon lifli kumaşların alternatifi olarak karşımıza çıkmaktadır (Araz vd., 2018).

Bazalt çubuk, epoksi bağlayıcı kullanılarak bazalt liflerinden oluşturulur. Korozyona dayanıklı değildir, çekme dayanımı normalde bina yapımında kullanılan çelik çubuklardan üç kat daha yüksek olmaktadır. Bununla birlikte, bu çubuklar maliyetli ve aynı zamanda alkalilere karşı dayanıklı olmamaktadır (Ólafsson ve Þórhallsson, 2009).

2.2.4. Sentetik lifler

Farklı tipte sentetik lifler geliştirilmiştir, bunların sağlamlılıkları ve elastisite modülü, Çizelge 2.1'de gösterildiği gibi geniş ölçüde değişir. Çizelgedeki değerler üreticiden üreticiye büyük ölçüde değişebilir. Sentetik liflerle ilgili bazı sorunlar vardır, bunlardan en önemlisi çoğu sentetik lif için düşük elastisite modülüdür. Bu özellik, kompozitin gücünü artırmak için matrisinkinden daha yüksek olmalıdır. Bununla birlikte, düşük elastisite modüllü liflerle bile betonun daha iyi gerilme kapasitesi ve tokluk gibi özelliklerde önemli gelişmeler elde edilebilir (Abbas, 2013).

Polipropilen lif

Polipropilen lifler homopolimer polipropilen reçineden üretilir ve üç farklı geometrik formda sunulur: monofilamentler, film ve bant. Bu liflerin birkaç avantajı vardır; alkalilere dayanıklıdır, nispeten yüksek bir erime noktasına sahiptir ve fiyatları düşüktür. Öte yandan, düşük elastisite modülü, güneş ışığına ve oksijene duyarlılık ve düşük matris bağı içeren dezavantajları da mevcuttur. Polipropilen lifler, betonu güçlendirmek için esas olarak iki şekilde kullanılır. Bunlar, birincil takviye olarak (hacim içeriğinin nispeten yüksek olduğu ince tabaka bileşenlerinde olduğu gibi) veya hacim içeriğinin düşük olduğu ikincil takviye olarak kullanılır. Düşük modüllü bu fiberler, plastik büzülme çatlağını kontrol etmek için kullanılmıştır (Abbas, 2013).

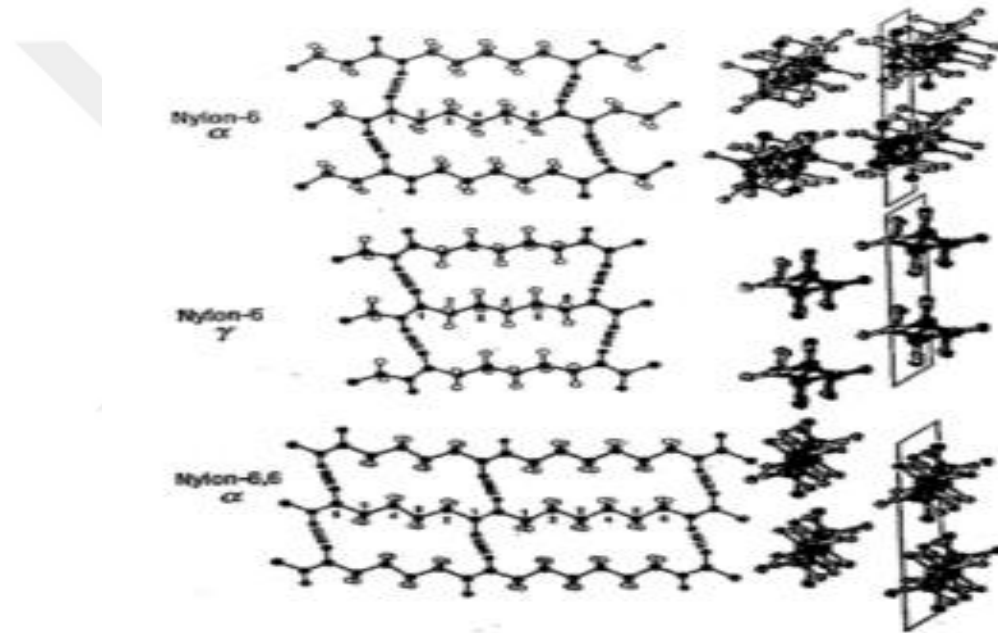
Akrilik lif

Akrilik lifler ilk olarak 1940'ların ortalarında geliştirilmiştir, ancak 1950'lere kadar büyük miktarlarda üretilmemiştir. Genellikle kazaklar, eşofmanlar, botlar ve eldivenler için astar olarak kullanılmıştır. Bu akrilik lif tipleri 200-400 MPa aralığında bir çekme dayanımına sahiptir ve alkali dirençli değildir (Wang vd., 1987) ve bu nedenle FRC'de kullanım için uygun

değildirler. Bununla birlikte, son zamanlarda yüksek gerilme mukavemetli (1000 MPa'ya kadar) yüksek elastisite modüllü akrilik lifler geliştirilmiştir ve FRC'de kullanılmaktadır (Abbas, 2013).

Naylon lifleri

Naylon, 1939'da piyasaya sürülen ilk gerçek sentetik lifdi. Bu lifler, naylon polimerden bükülmüş ve bir kristal lif yapı oluşturmak için ekstrüzyon, germe ve ısıtma yoluyla dönüştürülmüştür (Şekil 2.3) (Abbas, 2013).



Şekil 2.3. Naylon ve naylonun kristal yapısı (Abbas, 2013).

Naylon lif sadece monofilament formunda gelir. Polipropilen ve polyester liflerin aksine, naylon liflerin % 4,5'lik doğal nem dengesi olan hidrofilik bir doğası bulunmaktadır (Vikan, 2007).

Polyester lifler

Bu lifler sadece monofilament formunda gelir ve termoplastik polyester grubuna aittir. Sıcaklığa karşı hassastırlar ve normal servis sıcaklıklarının üstünde özellikleri değiştirilebilirler. Polyester lifler geleneksel akrilik lifler gibi, alkali çimento ortamındaki kararsızlıkları nedeniyle FRC'de kullanılamaz (Abbas, 2013).

Polietilen lifleri

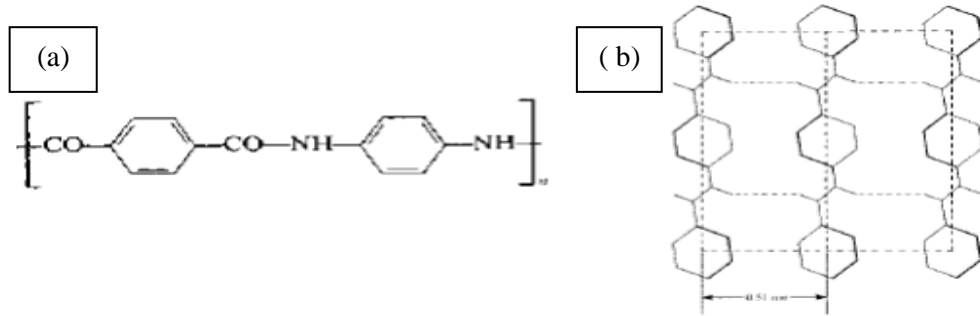
Mekanik bağı iyileştiren siğil benzeri yüzey deformasyonları ile monofilament formda beton için polietilen lifler üretilmiştir. Kağıt hamuru formundaki polietilen (sürekli fibrilize fiber ağ) asbest yerine kullanılabilir. Gerilme mukavemeti 80-590 MPa aralığındadır ve elastisite modülü, beton takviye olarak kullanılan polietilen lifler için yaklaşık 5 GPa'dır. Bununla birlikte, daha yüksek elastisite modüllü (15,4-31,5 GPa) lifler mevcuttur (Abbas, 2013).

Karbon lifleri

Karbon atomlarının yapısı altıgen bir dizide düzenlenmiştir. Çok sayıda filamentler (yaklaşık 10 000) bir çekme maddesi oluşturur ve bu çekme maddesinden karbon lifi oluşur. Havacılık endüstrisindeki uygulamalar için yüksek dayanımlarından ve sertlik özelliklerinden dolayı karbon lifler geliştirilmiştir. Bugün genel yapı mühendisliği uygulamalarında kullanılmaktadır. Diğer lif türlerinden daha pahalıdır ve bu nedenle ticari kullanımları sınırlıdır. Karbon lifler iki şekilde üretilir; Elde edilen yüksek elastisite modüllü, yüksek dayanımlı (PAN karbon lifi) veya petrol ve kömürde bulunan ziftten (zift karbon lifi) oluşan akrilik liflerin pişirilmesi şeklindedir. Zift karbon lifi PAN karbon lifinden çok daha ucuzdur ve çoğu diğer sentetik liflere göre üstün özelliklere sahiptir. Daha düşük bir elastisite modülü ve dayanımı vardır (Abbas, 2013).

Aramid lifleri

Aramid lifleri ayrıca ticari işletmede Kevlar ismini de alır. Yüksek çekme dayanımı ve yüksek çekme modülü vardır. Elastisite modülü, moleküllerin üretim sırasında elyaf eksenine hizalanmasına bağlı olarak 130 GPa kadar yüksek olabilir. Aramid lifinin yapısı ve aramid lifinin aromatik poliamidin kimyasal formülü Şekil 2.4'de gösterilmiştir (Abbas, 2013):



Şekil 2.4. (a) Kimyasal formül (b) Aramid lif moleküllerinin yapısı (Abbas, 2013).

3. KOROZYON MEKANİZMASI

Korozyon, bir malzemede gerçekleşen ve zamanla malzemenin kademeli olarak bozulmasına neden olan radikal bir yıkıcı işlemdir. Karayolu köprüleri, otoyollar ve diğer altyapıların korozyon hasarından kaynaklanan ekonomik kayıplar birçok ülkede yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu nedenle, korozyona karşı malzeme performansının artırılması ile altyapıların hizmet ömrü boyunca önemli tasarruflar sağlanabilir. Betonda donatı çeliğinin korozyona uğramasının başlıca iki nedeni karbondioksit ve klor girişidir. Bu maddelerin her ikisi de, donatı çeliğinin pasif katmanında bozulmaya neden olarak aktif korozyonun ilerlemesini sağlamaktadır. Çeliğin aktif aşınması başladığında, birkaç zararlı etki meydana gelmektedir. Korozyon ürünleri, çelikteki demir atomlarından daha fazla yer kaplar. Bu korozyon ürünleri arttıkça, takviye çeliğinin etrafındaki alan genişlemeye çalışmaktadır. Betonun gerginlikteki nispi zayıflığı nedeniyle, bu genişleme betonda çatlakların gelişmesine neden olur. Sonunda, bu çatlaklar yüzeye ulaşabilir ve dış ortamdan inşaat demiri yüzeyine açık bir yol sağlanmaktadır (Lewis, 2012).

Betonun çatlamasına ek olarak, korozyon ürünleri çelik ile beton arasındaki bağ kuvvetini de azaltır. Bu bağ aderansı, betonarme bir kompozit malzeme olarak işlev görmesi için esastır. Betonun çatlama yoluyla bozulması, sonunda betonun yapıdan düşmesine neden olabilir. Bu daha kapsamlı çatlama şekli, yayılma olarak bilinmektedir. Çatlama ve ayrılma, çiplak gözle görülebilen bir bozulma belirtisidir. Ancak, bu uyarı işaretleri korozyon hasarının ileri aşamalarıdır. Beton yapıdan uzaklaşmaya başladığında, beton elemanın yapısal bütünlüğü zaten tehlikeye girmiştir. Bazalt lifinin performansını değerlendirmek için, ilk olarak korozyon hasarının normal betonarme betonu nasıl etkilediğini anlamak önemlidir. Beton, çelik takviyeyi korozyondan koruyan iki ana koruma mekanizmasına sahiptir. İlk olarak, çeliğin dış ortamla temas etmesini önleyen fiziksel bir bariyer sağlar. Bu, su, tuz veya diğer zararlı iyonlar gibi maddelerin çeliği oluşturan demir atomlarına ulaşmasını önler. İkincisi, beton, normal olarak pH 12,5 ile 13,5 arasında olan son derece alkali bir ortam sağlar. Bu ortamda, çelik aktif olarak paslanmaz, aksine çelik koruyucu, pasif bir tabaka oluşturur. Bu iki koruma yöntemi nedeniyle çelik daha fazla paslanamaz ve sabit bir duruma ulaşılır. Döküm ve sertleştikten sonra beton hizmet ömrü boyunca çeşitli ortamlar etkisinde kalır. Klor içeren ortamlara odaklanan bazı örnekler şunları içerir: deniz ortamları veya buz çözücü tuzlara maruz kalan yollar ve köprüler. Bu klor iyonları betona zararlı değildir; ancak, takviye çeliğinde korozyona neden olurlar. Çeliği etkilemek için bu iyonların önce betondan taşınması gerekir. Bu aşamada, gerçek bir korozyon meydana gelmez. Bu işlemin süresi, birçok değişkene bağlıdır: betonun kalitesi, karışım

tasarımları, çatlakların varlığı, beton gözenek büyüklüğü, havalandırma seviyeleri, iyon konsantrasyonu, sıcaklık ve örtme kalınlığı. Belli bir klor iyon miktarı çeliğin yüzeyine ulaştığında, korozyon meydana gelmeye başlar. Bu sırada çelik üzerindeki koruyucu pasif filmin etkisi ortadan kalkar ve açık olarak paslanmaya başlayarak çeşitli korozyon ürünlerine dönüşen demir atomlarını kaybeder. Bu korozyon ürünleri orijinal demir atomunununkinden çok daha büyük bir hacme sahiptir. Bu nedenle, korozyon ürünleri çevresindeki beton üzerinde bir baskı yapmaya başlar. Bu süre zarfında, çelik çevresinde korozyon ürünlerinin birikimi göreceli olarak aynıdır. Basınç birikmesi çeliği çevreleyen betonun çekme kuvvetlerine maruz kalmasına neden olur. Bir noktada, çeliği çevreleyen beton çatlamaya başlayacaktır. Çelik-beton ara yüzünün yakınında çoklu çatlaklar oluşmaya başlayacak ve beton boyunca ilerlemeye başlayacaktır. Bu süre zarfında, korozyon ürünleri çelik etrafında eşit bir şekilde oluşmaya devam eder. Korozyon ürünleri birikmeye devam ettikçe, bir çatlak daha baskın olacak ve beton yüzeyine ulaşacaktır. Hakim çatlak yüzeye ulaştığında, birkaç şey meydana gelmeye başlar. İlk olarak, korozyon ürünleri betonun içini hızlı bir şekilde bırakabilir ve dış yüzeyde çatlağı çevreleyen pas olarak ortaya çıkar. İkincisi, iyonların beton içinde taşınması çok daha kolay hale gelir. Çatlak, betonda gözeneklerden geçen kıvrımlı yoldan daha hızlı bir yol oluşturur. İyonların mevcudiyetindeki bu artıştan dolayı, korozyon oranı çarpıcı bir şekilde hızlanabilir. Üçüncüsü, bu çatlama, takviye çeliğini çevreleyen sınırlayıcı basıncı azaltmaya başlar. Korozyon ürünleri beton içerisinde birikmeye devam ettikçe, ilave baskılar betonun yerel yapısal bütünlüğünü kaybetmesine neden olur. Sonunda, beton parçaları yapıdan düşmeye veya dağılmaya başlar. Düşen betonun belirgin tehlikelerine ek olarak, çelik doğrudan dış ortama maruz kalır ve bu da korozyon hasarına karşı herhangi bir korumayı tamamen ortadan kaldırır (Lewis, 2012).

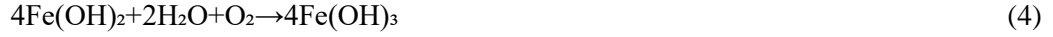
Korozyon, batarya veya yakıt hücresine çok benzeyen bir elektrokimyasal süreçtir, sadece tersidir. Elektronların hareketini içeren ve korozyon ürünlerinin oluşumuyla sonuçlanan anodik ve katodik bir reaksiyon vardır. Anodik reaksiyonda, elektronlar çelikteki demir atomlarından uzaklaştırılır, katodik reaksiyonda ise bu elektronlar tüketilir. Anodik reaksiyon aşağıdaki gibidir (Broomfield, 2007):



Katodik reaksiyon aşağıdaki gibidir (Broomfield, 2007):



Katodik reaksiyondan görülebileceği gibi, bu korozyon işlemi oksijen ve su varlığını gerektirir. Bunlardan herhangi biri veya her ikisi olmadan, bu tip bir korozyon meydana gelmez. Bu ilk elektrokimyasal reaksiyonlar meydana geldiğinde, aşağıdaki reaksiyonlar korozyon ürünlerinin oluşumuna neden olur (Broomfield, 2007):



Daha önce de belirtildiği gibi, bu korozyon ürünleri demir atomundan çok daha fazla yer kaplar (Lewis, 2012).

3.1. Korozyon Ölçüm Yöntemleri

Bu kısımda donatısız beton numuneleri üstünde yapılan elektriksel direnç ve hızlı klorür geçirimsizliği deneyleri hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Aynı zamanda donatılı beton numuneler üzerinde yapılan yarı hücre potansiyeli, ağırlık kaybı, lineer polarizasyon, hızlandırılmış korozyon ve elektrokimyasal impedans spektroskopisi deneyleri anlatılmıştır.

3.1.1. Donatısız beton numuneler üzerinde yapılan korozyon ölçüm yöntemleri

Donatısız beton numuneler üzerinde gerçekleştirilen elektriksel direnç ve hızlı klorür geçirimsizliği deneyleri hakkında ayrıntılı bilgiler aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

Hızlı klorür geçirimsizliği yöntemi

Bu test aslında doğrudan klorür iyonu penetrasyonunu değil, betonun elektrik iletkenliğini ölçmektedir. İletkenlik, elektrik akımı iletme yeteneğinin ölçüsüdür. Bu nedenle, test betonun elektrik akımı iletme kabiliyetini, klorür iyonu penetrasyonuyla ilişkili olduğu kanıtlanmış bir kabiliyeti ölçer. Test bir şartlandırma evresinden ve bir test fazından oluşur. Test aşamasında, numunenin uçları boyunca 60 V'luk bir voltaj korunur. Test bloğunun bir tarafı, numunenin bu ucunu batırmak için bir sodyum klorür (NaCl) çözeltisi ile doldurulur. Benzer şekilde, test bloğunun diğer ucu, numunenin bu ucunu daldırmak için bir sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi ile doldurulur. Numunenin iki ucu karşılıklı şarjlara sahip ve beton numuneye sabit bir voltaj uygulanır. Daha sonra mevcut ölçümler, coulomblarda geçirilen toplam yükü elde etmek için testin 6 saatlik süresi boyunca entegre edilir (Ryan, 2011).

Daha önce belirtildiği gibi, geçen bu toplam yükün, numunenin klorür iyon penetrasyonuna direnci ile ilişkili olduğu bulunmuştur; bu nedenle, klorür iyonu

penetrasyonunun elektriksel bir göstergesi olarak kullanılır. Betonun klorür iyon penetrasyonunun kalitatif değerlendirilmesi, ASTM C1202 (1997)'de verilen sınır değerler kullanılarak yapılabilir. ASTM C 1202 (1997)'de verilen sınır değerler Çizelge 3.1'de gösterilmiştir. Bu çizelge kullanılarak yapılan kalitatif değerlendirmeler, sadece belirli test ve kür koşullarında yapılan betonlar içindir, betonun veya farklı koşullarda sertleşmiş betonun gelecekteki veya önceki değerlendirmeleri değildir (Ryan, 2011).

Çizelge 3.1. Toplam geçen yük ile klorür geçirimsizliği arasındaki ilişki.

Toplam Geçen Yük (Coulomb)	Klorür Geçirimsizliği
>4000	Yüksek
2000-4000	Orta
1000-2000	Düşük
100-1000	Çok Düşük
<100	Önemsiz

Betonun elektriksel direncinin ölçümü yöntemi

Direnç, korozyon başladıktan sonra kilit kontrol faktörlerinden biridir. Korozyon, beton takviyesinde anodik ve katodik alanlar arasında bir iyon akışı gerektirir; öz direnç, bu iyon akışının oranını kontrol eder ve dolayısıyla doğrudan beton korozyon oranını kontrol eder. Bunun anlamı, beton direncinin ölçülmesiyle, aşınan ve hızlı bir şekilde bozulacak bir yapının olup olmadığını veya korozyon oranının yavaş olup olmadığını ve daha basit bir şekilde ele alınabileceğini belirlemek mümkündür. Bu, korozyon olasılığı için sıcak noktaları tespit etmek için yarı hücre potansiyel ölçümü ile birlikte çok faydalı bir test olabilir. Şekil 3.1'de Wenner sondası prensibi ile çalışan resipod, beton veya kayanın elektrik direncini ölçmek için bir direnç ölçer olarak tasarlanmıştır. İki dış sondaya bir akım uygulanır ve iki iç sonda arasındaki potansiyel farkı ölçülür. Akım, gözenek sıvısındaki iyonlar tarafından taşınır. Hesaplanan direnç, problemin aralığına bağlıdır (Morris vd., 2002).

$$R = V/I \quad (6)$$

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R \quad (7)$$

I = Dış elektrotlar arasındaki akım

V = Akım geçişi sonrası iki iç elektrot arasında oluşan potansiyel düşüş

a = Elektrotlar arasındaki mesafe (cm)

R = Ölçülen direnç (ohm)

ρ = Betonun elektriksel direnci ($k\Omega.cm$)



Şekil 3.1. Wenner yöntemi ile elektriksel direnç ölçümü.

Çizelge 3.2. Elektriksel direnç ile korozyon olasılığı arasındaki ilişki.

Elektriksel Direnç ($k\Omega.cm$)	Korozyon Olasılığı
<5	Çok Yüksek
5-10	Yüksek
10-20	Düşük
>20	Önemsiz

3.2. Donatılı beton numuneler üzerinde yapılan korozyon ölçüm yöntemleri

Betonarme elemanlar gibi üretilen donatılı beton numuneler üstünde yapılan ağırlık kaybı, lineer polarizasyon, yarı hücre potansiyeli, hızlandırılmış korozyon ve elektrokimyasal impedans spektroskopisi deneyleri hakkında ayrıntılı bilgiler aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

3.2.1. Ağırlık kaybı yöntemi

Korozyon ölçüm yöntemlerinden en çok tercih edilen ağırlık kaybı yöntemi, korozyona uğratılacak maddenin korozyona uğramadan önce ağırlığı tartılır ve madde korozyon ortamına bırakılır ve belirli bir zaman bekledikten sonra korozyon ortamından çıkarılan madde tekrar ağırlığı ölçülür ve iki tartım farkından maddede oluşan kütle kaybı bulunur. Maddede meydana gelen ağırlık kaybından korozyon hızı belirlenir. Korozyona uğramış madde üzerindeki

korozyon ürünleri kimyasal veya mekanik yollarla temizlenir (Oparaodu ve Okpokwasili, 2014).

$$\text{Korozyon hızı} = \frac{\Delta W}{A \times T} \quad (8)$$

Burada,

ΔW = Kütle kaybı (mg),

A = Yüzey alanı (cm²),

T = Uygulanan zaman (saat)

3.2.2. Yarı hücre potansiyeli yöntemi

Yarı hücre potansiyeli ölçüm tekniği, Amerika Ulusal Standartları (ASTM C876) tarafından belirlenen RCS'deki korozyon olasılığını denetlemek için standart bir yöntemdir. Tipik olarak, millivolt (mV) içindeki korozyon potansiyelini (E_{corr}) ölçmek için iki tür yarı hücreli, yani bir bakır-bakır sülfat elektrotu (CSE) ve bir gümüş-gümüş klorür elektrotu (SCE) kullanılır. Test, takviye çeliğine doğrudan bir bağlantı yapılması gerektiği ile sınırlıdır. Ayrıca, yüzeyin bir di-elektrik malzeme ile kaplanmadığı betona gömülmüş kaplanmamış donatı çeliği için de geçerlidir. Yarı hücre, doymuş bir bakır sülfat çözeltisi içinde süspanse edilmiş, bakır çubuklu, reaktif olmayan bir dış kovandan oluşur. Çözülmemiş kristal bakır sülfatın, yarı hücre içindeki damıtılmış su çözeltisinde görünmesini sağlayarak doymuş bir çözelti sağlanır. Yarı hücrenin ucu (ayrıca bir referans elektrodu olarak da bilinir), gözenekli bir malzemeden, normal olarak ahşap veya seramiktir ve bu, kılcal hareketle ıslak kalmasını sağlar. Ölçülen potansiyel değer yalnızca korozyon aktivitelerinin olasılığını genel olarak belirtmek için kullanılabilir. Ölçümler Çizelge 3.3'ye göre yorumlanmıştır. Potansiyel okumaların, önemli korozyon aktivitesi olmadan, 350 mV'den daha negatif değerleri yansıtacağı durumlarda belirli koşulların ortaya çıkabileceği belirtilmelidir. Beton direnci, matris özelliklerine bağlıdır ve HCP okuması, dirençten etkilenir (Paul ve Babafemi, 2018).

Çizelge 3.3. Yarı hücre potansiyeli ile ilişkili korozyon durumu.

Korozyon Potansiyeli (E _{corr}) Değerleri		Korozyon Olasılığı (%)
(mV vs. SCE *)	(mV vs. CSE+)	
E _{corr} > -125	E _{corr} > -200	10 (düşük korozyon riski)
-126 ≤ E _{corr} ≤ -275	-200 ≤ E _{corr} ≤ -350	Orta düzey
E _{corr} < -276	E _{corr} < -350	90 (yüksek korozyon riski)
E _{corr} < -426	E _{corr} < -500	Şiddetli korozyon

Oksijen, korozyon önleyiciler, karbonatlaşma, çelikte epoksi kaplama, çelik türleri, beton yoğunluğu vb. Gibi çeşitli faktörler, HCP okumasını önemli ölçüde etkiler. Betondaki oksijen yetersizliği, korozyon belirtisi olmasa bile çeliğin daha aktif hale gelmesine neden olur ve sonuç olarak, betonda yarı hücreli bir okumadan daha negatif bir potansiyel değer elde edilebilir. HCP değeri, beton katmanının takviye çeliğinden daha yüksek yoğunluğundan da etkilenebilir. Yoğun beton, oksijenin difüzyonunu sınırlamanın yanı sıra çeliğe ulaşan kloride karşı güçlü bir bariyer sağlar. Tipik olarak, HCP okumaları, betonun içinde bulunan ve tasarlanan kapak derinliğine göre değişen bir derinlikte bulunan donatı çeliğinden belirli bir mesafede alınır. Bu durumda, elde edilen HCP okumaları aslında karma potansiyele sahiptir. Bu, katodik bölgenin potansiyel okumaları etkilediğini ve dolayısıyla okumaların, takviye çeliğine yakın gerçek potansiyelden daha negatif olduğunu göstermektedir (Montemor vd., 2003).

3.2.3. Hızlandırılmış korozyon yöntemi

Hızlandırılmış korozyon yöntemi, korozyon mekanizmalarının normal şartlar altında olduğundan daha kısa bir süre içerisinde malzeme ve ürünlerde bozulmalar meydana getiren yöntemdir. Hızlandırılmış korozyon deneyi farklı serilere ait donatılı beton numunelerinin korozyon dayanıklılığını belirlemek için yapılır. Bu deney aslında üretilen betonların geçirimsizlikleri hakkında bize bilgi verir. Deney düzeneği ise DC güç kağınağı, % 3-5 konsantrasyonlu NaCl çözeltisi ve iki adet paslanmaz çelik plakadan oluşur. Bu deneyde numunelerin hasar oluşum süreleri belirlenir ve her bir hazneden geçen korozyon akımı değerleri belirli zaman aralıklarında toplanıp zamana bağlı korozyon akım grafikleri çizilmektedir (Soleymani ve Ismail, 2004). Hızlandırılmış korozyon yöntemine göre donatıdaki kütle azalması Faraday Kanunu ile hesaplanır.

$$M = \frac{I.t.A_w}{n.F} \quad (9)$$

M = Çözünmüş metalin veya dönüştürülmüş oksidin kütlesi (g),

I = Akım (A),

t = Zaman (sn),

A_w = Demir atom birim ağırlığı (55,847g),

n = Demir atom değeri (genelde oluşan pas Fe(OH)₂ olduğundan; 2 ya da 3),

F = Faraday sabiti (96487 coulomb), (A×sn)

3.2.4. Lineer polarizasyon yöntemi

Buna yönteme göre aktivasyon polarizasyonu ile denetlenen bir sistemde, korozyon potansiyeli civarında uygulanan akım değişikliği (ΔI) etkisiyle oluşan potansiyel farkı (ΔE) arasında aşağıdaki gibi çizgisel bir bağıntı vardır (Bereket ve Gerengi, 2015).

$$\frac{\Delta E}{\Delta I} = \frac{\beta_a \cdot \beta_c}{2,203 \cdot I_{cor} \cdot (\beta_a + \beta_c)} \cdot \frac{1}{R_p} \quad (10)$$

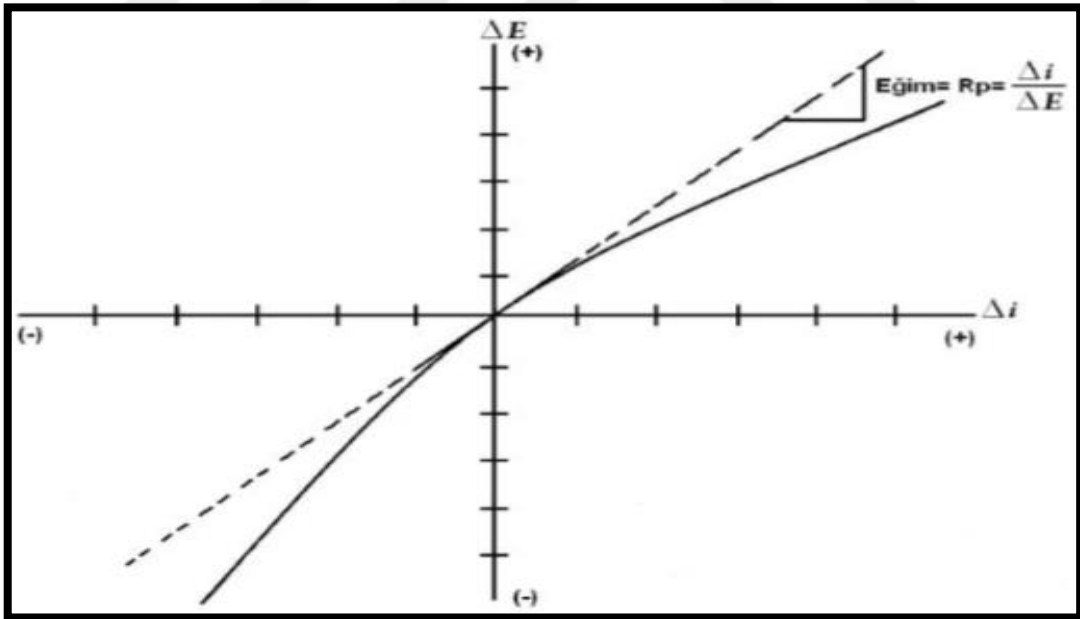
Bu bağıntıda;

β_a = Anodik tafel sabiti

β_c = Katodik tafel sabiti

I_{cor} = Korozyon akım yoğunluğu

$\Delta E/\Delta I$ = Akım potansiyel eğrisinin (Şekil 3.2) korozyon potansiyeli civarındaki eğimidir ve polarizasyon direnci olarak adlandırılmaktadır (Bereket ve Gerengi, 2015).



Şekil 3.2. Polarizasyon direnci yönteminin uygulanması (Bereket ve Gerengi, 2015).

Eşitlik 10'da gösterilen β_a ve β_c değerlerinin kesin olarak bilinmediği durumda $\beta_a = \beta_c = 0,12$ V olarak alınabilir. Değerler yerleştirildiğinde B ile ifade edilen bir sabit elde edilir (Gerengi ve Bereket, 2012). B değeri 26 mV olarak kabul edilmektedir (Morris vd., 2002).

$$i_{\text{corr}} = \frac{\Delta I}{\Delta E} \cdot B \quad \text{ve} \quad i_{\text{corr}} = \frac{B}{R_p} \quad (11)$$

Polarizasyon direncinin tersi korozyon hızı ile orantılıdır. Eğer anodik ve katodik tepkimelerin tafel sabitleri elde edilebilirse korozyon hızı formülden bulunabilir. Şekil 3.2’de görülen eğrinin korozyon potansiyeli civarında çizgisel olduğu görülmektedir. Eğrinin eğiminden $\Delta I/\Delta E$ yani polarizasyon direncinin tersi belirlenerek, korozyon hızı akım yoğunluğu hesaplanır (Bereket ve Gerengi, 2015).

3.2.5. Elektrokimyasal impedans spektroskopisi (EIS) yöntemi

Elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS), frekans alanında çalışan bir korozyon ölçüm tekniğidir. EIS Aşındırıcı çelik takviyenin yüzeyinde bulunan elektrokimyasal bir ara yüzün, direnç, kapasitans ve endüktans gibi elektrik devresi elemanlarının bir kombinasyonu olarak yorumlanabileceğini ileri süren bir tekniktir. EIS, diğer elektrokimyasal tekniklerle karşılaştırıldığında birçok avantaja sahiptir. EIS deneyleri sırasında, elemana alternatif bir voltaj uygulanır ve ortaya çıkan akım Ohm kanunu kullanılarak hesaplanır. Bu nedenle EIS, kaplamalar, anodize filmler ve korozyon önleyiciler dahil geniş bir yelpazedeki malzemelerin değerlendirilmesi için kullanılan tahribatsız yöntemlerden biridir (Paul ve Babafemi, 2018).

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, üretilen donatısız beton numunelerde bazalt lifi kullanımı ile mekanik özelliklerdeki değişiklikler ve donatılı olarak üretilen beton numunelerde ise bazalt lifi kullanımı ile donatı korozyonunda meydana gelen değişiklikler deneysel olarak araştırılmıştır. Yaptığımız çalışmada katkısız ve % 1, 2, 3 oranlarında bazalt lifi katkılı beton karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 7 ve 28 gün olmak üzere iki farklı kür süresine tabi tutulmuşlardır. Üretilen numunelerin fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özellikleri yapılan deneylerle belirlenmiştir. Fiziksel özellikleri belirlemek için birim ağırlık ve ultrases geçiş süresi deneyleri yapılmıştır. Mekanik özelliklerini belirlemek için basınç, yarmada-çekme, eğilme, yüzey sertliği deneyleri yapılmıştır. Dayanıklılık özeliğini belirlemek amacıyla üretilen donatılı silindir numunelerde hızlandırılmış korozyon ve yarı hücre potansiyeli deneyi donatısız silindir numunelerde ise elektriksel direnç ve hızlı klorür geçirimsizliği deneyi yapılmıştır. Hızlandırılmış korozyon deneylerinden sonra korozyona uğramış donatı clarke çözültisi ile temizlendikten sonra donatıda meydana gelen kütle kayıpları hesaplanmıştır. Ayrıca korozyona uğramış donatıların çekme deneyleri yapılarak korozyon sonrasında donatılarda meydana gelen değişimler incelenmiştir.

4.1. Kullanılan Malzemeler

4.1.1. Bazalt lif

Deneylerde Belice Group firmasından temin edilen bazalt lif kullanılmıştır. Bazalt life ait kimyasal ve fiziksel özellikler Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

4.1.2. Çimento

Deneysel çalışmamızda TS EN 197-1 standartlı CEM I 42.5 R Portland Çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentoya ait fabrikadan elde edilen kimyasal ve fiziksel analiz sonuçları Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Bazalt lifin kimyasal ve teknik özellikleri.

Kimyasal Özellikler	Kimyasal Bileşim, %	Bazalt Lif
	SiO ₂	51,6-59,3
	Al ₂ O ₃	14,6-18,3
	CaO	5,9-9,4
	MgO	3-5,3
	Na ₂ O+ K ₂ O	3,6-5,2
	TiO ₂	0,8-2,25
	Fe ₂ O ₃ +FeO	9,0-14,0
Fiziksel Özellikler	Çalışma sıcaklığı °C	(-269) - 700°C
	Termal iletkenlik katsayısı (w/m ^o K)	0,03 - 0,038
	Yoğunluk (g/cm ³)	2,63 - 2,8
	Çekme Dayanımı (MPa)	4100 - 4840
	Elastisite Modülü (GPa)	93,1 - 110

Çizelge 4.2. Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri.

Kimyasal Özellikler	Kimyasal Bileşim, %	CEM I 42.5 R
	SiO ₂	19,31
	Al ₂ O ₃	5,17
	Fe ₂ O ₃	2,51
	CaO	62,93
	MgO	2,08
	Na ₂ O	0,14
	K ₂ O	0,58
	MnO	-
	SO ₃	2,80
	Cl ⁻	0,007
	Kükürt (S)	-
	Serbest Kireç	1,90
	Çözünmeyen Kalıntı	0,40
Kızdırma kaybı	3,90	
Fiziksel Özellikler	Özgül ağırlık	3,0
	Özgül yüzey, cm ² /gr	3415
	Priz Başlama Süresi, dk	185
	Priz Sona Erme Süresi, dk	250
	Hacim Genleşmesi, mm	1
	Standart Kıvam Su Miktarı, %	28,5
	0.090 mm Elek Kalıntısı, %	0,30
0.045 mm Elek Kalıntısı, %	5,10	

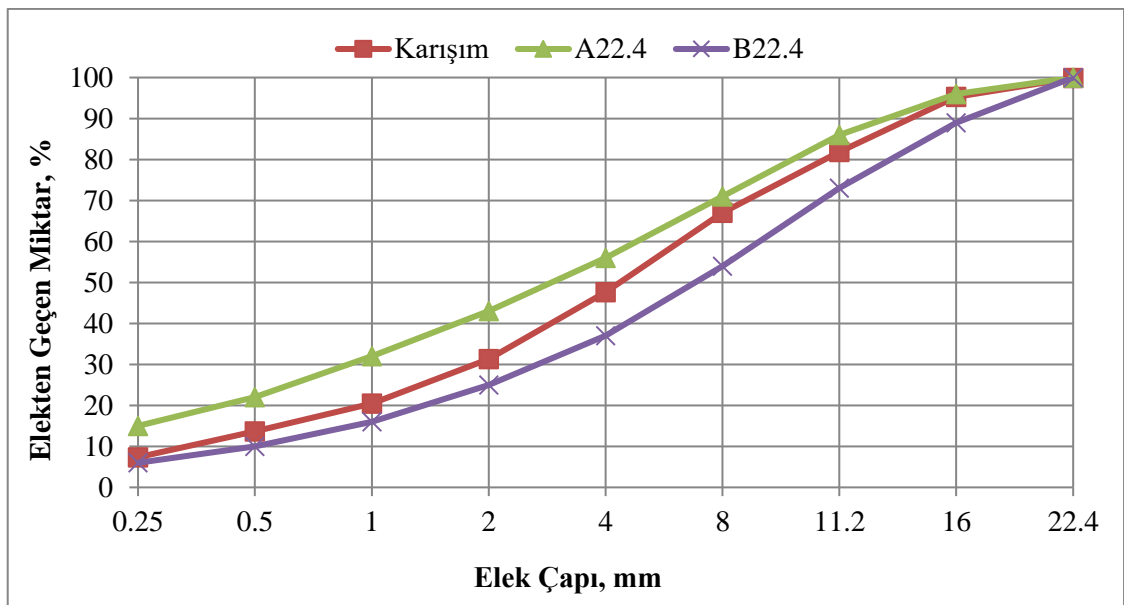
4.1.3. Agregalar

Deneysel çalışmamızda kalker esaslı kırma kum ve kırmataşlar kullanılmıştır. İri agrega olarak kullanılan kırmataşların en büyük tane büyüklüğü 22 mm'dir. Karışım granülometrisinde ince, orta ve iri agregalar sırasıyla % 50, 30 ve 20 oranlarında kullanılmıştır. İnce agrega, orta agrega ve iri agreganın incelik modülleri sırasıyla 2,61, 5,46 ve 7,06 olarak hesaplanmıştır. İnce, orta ve iri agreganın özgül ağırlıkları ise sırasıyla 2,64, 2,68 ve 2,69 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3. Agrega ve karışım granülometrisi.

Elek Açıklığı, mm	Elekten geçen malzeme miktarları, %			
	İri agrega (12-22mm)	Orta agrega (5-12mm)	İnce agrega (0-5mm)	Karışım
22,4	99,4	100	100	99,88
16	76,4	100	100	95,28
11,2	15,47	95,83	100	81,84
8	1,6	55,57	100	66,99
4	0,23	2,6	93,6	47,63
2	0,2	0,13	62,4	31,28
1	0,2	0,07	40,77	20,45
0,5	0,2	0,07	27,17	13,65
0,25	0,2	0,07	14,6	7,36
İncelik Modülü	7,06	5,46	2,61	4,35

Referans ve karışımın granülometri eğrileri Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Referans ve agrega karışımının granülometri eğrisi.

4.1.4. Su

Beton karışım suyu olarak Kütahya bölge suyu kullanılmıştır.

4.1.5. Çelik donatı

Deneylerde Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Yapı Deprem Laboratuvarından temin edilen 16 mm çapındaki donatılar kullanılmıştır.

4.1.6. NaCl tuzu ve süperakışkanlaştırıcı

Hızlandırılmış korozyon deneyinde kullanılan çözeltilerde sanayi tipi sodyum klorür tuzu kullanılmıştır. Beton yapımında CHRYSO markalı süperakışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan süperakışkanlaştırıcı katkı maddesinin özellikleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Süperakışkanlaştırıcı katkı maddesinin özellikleri.

Bağıl Yoğunluk, g/ml	1,195
pH (20°C)	8,8
Alkali Miktarı (Na₂O eşdeğeri), %	<7
Suda çözünür klorür, %	<0,1
Kuru madde, %	37,2
İçeriği	Naftalin Sülfanat
Renk	Koyu kahverengi sıvı
Homojenlik	Ayrışma gözlenmemiştir

4.2. Beton Karışım Oranları

Beton karışımında, su/çimento oranı 0,47 oranında sabit tutulmuş ve çimento dozajı 400 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Betonun ortalama 13 cm'lik çökme değeri % 2 oranında süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi ile sağlanmıştır.

Çizelge 4.5. Beton karışım oranları (kg/m³).

Karışım Kodu	Çimento	Su	İri agregası (12-22mm)	Orta agregası (5-12mm)	İnce agregası (0-5mm)	SA	Bazalt lif	Bazalt lif
Ref	400	202	348	521	867	8	0	0
BL(%1)	400	202	348	521	867	8	1	%1*
BL(%2)	400	202	348	521	867	8	2	%2*
BL(%3)	400	202	348	521	867	8	3	%3*

(*);Çimento hacminin yüzdesi

Numuneler 7 ve 28 gün olmak üzere iki farklı kür süresine tabi tutulmuştur. Deneylede 4 seri beton karışımı üretilmiştir.

4.3. Üretilen Numune Tipleri, Kür Koşulu ve Süreleri

Deneyleler için donatılı ve donatısız beton olmak üzere iki ayrı tipte numune üretilmiştir. Üretilen numuneler 150 x 300 mm boyutlarındaki silindir, 150 x 150 x 150 mm boyutlarında olan küp ve 150 x 150 x 600 mm boyutlarındaki prizmatik numunelerden oluşmaktadır. Kalıplara doldurulan taze beton laboratuvar ortamında 24 saat bekledikten sonra kalıplardan çıkarılan numuneler deneylelerin yapılacağı zamana kadar standart kür (su kürü) ortamında bekletilmiştir. Mekanik ve fiziksel deneyleler için üretilen numunelerin hepsi 20 ± 2 °C sıcaklıkta tutulan kirece doymun kür havuzlarında bekletilip 7 ve 28 gün sonunda deneyleleri yapılmıştır. Dayanıklılık özelliklerinin belirlenmesi için donatılı ve donatısız üretilen beton numunelerde kirece doymun kür havuzlarında 28 gün bekletildikten sonra gerekli deneyleler yapılmıştır.

4.4. Yapılan Deneyleler

Üretilen betonların mekanik özelliklerini belirlemek için 7 ve 28 gün kür edilen numunelerde hasarlı ve hasarsız bazı deneyleler yapılmıştır. Hasarlı deneyle olarak küp numunede basınç, silindir numunede yarmada-çekme ve son olarak prizmatik numunelerde eğilme deneyle yapılmıştır. Hasarsız deneyleler ise, betonun birim hacim ağırlığı, schmidt çekici ve ultrases geçiş süresi deneylelerdir. Üretilen farklı beton serilerinin korozyona karşı dayanıklılığını belirlemek için betonarme eleman şeklinde üretilen numunelere hızlandırılmış korozyon ve yarı hücre potansiyeli deneyle donatısız olarak üretilen silindir numunelere ise elektriksel direnç ve hızlı klorür geçirimliliği deneyle yapılmıştır. Hızlandırılmış korozyon deneyleinden sonra donatılı silindir beton numuneler içerisindeki korozyona uğramış donatılar çıkartılmış ve clarke çözeltisi içerisinde temizlenip korozyon sonrası donatıda meydana gelen ağırlık kayıpları bulunmuştur. Son olarak korozyona uğratılan donatılara çekme deneyle yapılip korozyon sonrası donatıların çekme dayanımlarındaki değişimler incelenmiştir.

4.4.1. Mekanik özellik deneyleleri

Üretilen betonların mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla 7 ve 28 gün kür edilen numunelerde hasarlı ve hasarsız bazı deneyleler yapılmıştır. Hasarlı deneyle olarak küp numunede basınç, silindir numunede yarmada-çekme ve son olarak prizmatik numunelerde eğilme deneyle yapılmıştır. Hasarsız deneyle olarak küp numuneler üzerinde yüzey sertliği deneyle yapılmıştır.

Yüzey sertliği

Yüzey sertliği deneyi 150x150x150 mm boyutundaki ve 7 ve 28 gün standart kür ortamına tabi tutulan küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Küp numuneler beton presinde 4 tonluk ön yükleme ile sıkıştırıldıktan sonra beton test çekici cihazı ile belirli noktalarına 12 vuruş yapılarak numunelerin yüzey sertliği belirlenmiştir. Deney düzeneği Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Yüzey sertliği deneyi.

Basınç dayanımı deneyi

Basınç dayanımı deneyi 150 x 150 x 150 mm boyutundaki küp numunelerin standartlara uygun şekilde pürüzsüz yüzeyler sıkıştırma tablalarının altında kalacak şekilde deney gerçekleştirilmiştir. Deney sırasında küp numunelere 0,6 MPa/sn'lik sabit hızla yükleme yapıp kırılma yükleri belirlenmiştir. Belirlenen kırılma yüklerinin küp numunenin yüzey alanına bölünmesi ile basınç dayanımı hesaplanmıştır. Deney standart kür ortamında bekletilen 7 ve 28 günlük numunelere uygulanmıştır. Deney düzeneği Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Basınç dayanımı deneyi.

Yarmada-Çekme dayanımı deneyi

Bu deney 7 ve 28 gün standart kür koşullarında bekletilen silindir numuneler üzerinde yapılmıştır. Betonun çekme dayanımı için 150 x 300 mm boyutlarındaki silindir numuneler standartlara uygun bir şekilde pres tablaları arasına boyuna şekilde yerleştirilmiştir ve numune üzerine 0,05 MPa/sn yükleme yapılarak kırılma yükleri bulunmuştur. Kırılma yükleri belirlendikten sonra çekme gerilmeleri ilgili denklem ile hesaplanmıştır. Silindir numunede basınç yükünün artmasıyla numunenin çekme dayanımı aşılmıştır ve sonuç olarak numuneler genellikle ortasından boyuna yarılarak kırılmıştır. Deney düzeneği Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Yarmada-çekme dayanımı deneyi.

Eğilme dayanımı deneyi

Bu deney 7 ve 28 gün standart kür koşullarında bekletilen prizmatik numuneler üzerinde yapılmıştır. Betonun eğilme dayanımı için 150 x 150 x 600 mm boyutlarındaki prizmatik numuneler açıklığı 450 mm olan mesnetler üzerine yerleştirilip orta noktasından 0,05 MPa/sn yükleme hızı ile kırılma oluşana kadar yükleme yapıp kırılma yükleri belirlenmiştir. Deney düzeneği Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Eğilme dayanımı deneyi.

4.4.2. Fiziksel özellik deneyleri

Birim ağırlık deneyi

Birim ağırlık 150 x 150 x 150 mm boyutundaki küp numuneler, 150 x 300 mm boyutundaki silindir numuneler ve 150 x 150 x 600 mm boyutlarındaki prizmatik numuneler üzerinde yapılmıştır. 7 ve 28 gün standart kür ortamında bekletilen numuneler kür sonunda kür havuzundan çıkarılan numuneler belirli bir zaman laboratuvar ortamında kurutulduktan sonra ilgili terazilerde tartılmıştır. Ağırlıkları belirlenen numuneler hacimlerine bölünerek birim ağırlıkları hesaplanmıştır.

Ultrases geçiş süresi deneyi

Küp, silindir ve prizmatik numunelerin birim ağırlıkları belirlendikten sonra ultrases geçiş süresi ölçümleri yapılmıştır. Deneyde kullanılan ultrases aletinin frekansı 55 kHz 'dir.

Deneyde mikro saniye cinsinden okuma yapılmıştır. Ses geçiş hızları deneye tabi tutulan numune boyutunun geçiş süresine oranlanması ile ses geçiş hızları hesaplanmıştır. Deney düzeneği Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Ultrases geçiş süresi deneyi.

4.4.3. Dayanıklılık özeliği deneyi

Betonarme eleman şeklinde üretilen numunelerin dayanıklılık özelliklerini belirlemek için hızlandırılmış korozyon ve yarı hücre potansiyeli deneyi yapılmıştır. Donatısız olarak üretilen silindirik beton numunelerin dayanıklılık özeliğini belirlemek için ise elektriksel direnç ve hızlı klorür geçirirliliği deneyi yapılmıştır.

Hızlandırılmış korozyon deneyi

Bu deneyde DC güç kaynağı, veri toplama cihazı, içerisinde iki adet paslanmaz çelik plaka ve % 5 oranında NaCl çözeltisi bulunan bir kap kullanılmıştır. Deneye tabi tutulacak 150 x 300 mm boyutlarındaki silindirik numune içerisine 16 mm çapında ve 55 cm'lik donatının 25 cm'lik kısmı numune içerisinde kalacak şekilde üretim yapılmıştır. Deneyde numunelere sabit 24 volt gerilim uygulanmıştır. Doğru akım kaynağında negatif kutba plaka, pozitif kutba ise donatı bağlanmıştır.

Betonarme eleman şeklinde üretilen numuneler kirece doymun kür havuzlarında 28 gün bekletilir ve kür havuzundan çıkarılan numuneler üzerinde yarı hücre potansiyeli deneyi yapıldıktan sonra numuneler hızlandırılmış korozyon deneyine tabi tutulmuştur. Deney için 16 adet donatılı silindir beton numuneleri üretilmiştir ve deney iki aşamada sonlandırılmıştır. İlk aşamada 8 adet donatılı silindir beton numuneler hazırlanan NaCl çözeltisi içerisinde bırakılarak sırasıyla hedeflenen % 12, 9 ağırlık kaybına uğratıldıktan sonra, ikinci aşamada aynı şekilde sırasıyla % 6, 3 ağırlık kaybına ulaştığında deney sonlandırılmıştır. Deneyde her bir haznedan geçen korozyon akımı değerleri saatte bir toplanıp deney sonunda zamana bağlı korozyon akımı grafikleri çizilmiştir. Deney düzeneği Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Hızlandırılmış korozyon deneyi.

Elektriksel direnç deneyi

Elektriksel direnç deneyi 150 x 300 mm boyutlarındaki silindirik numuneler üzerinde yapılmıştır. Şekil 4.8'de elektriksel direnç deney düzeneği gösterilmiştir. Standart kür koşullarında (su kürü) bekletilen numuneler üzerinde 28. gün sonunda elektriksel direnç deneyi yapılmıştır. Suya doymun olan numunelerin ölçüm yapılacak bölgelerine iletken jel sürülerek okuma yapılmıştır.

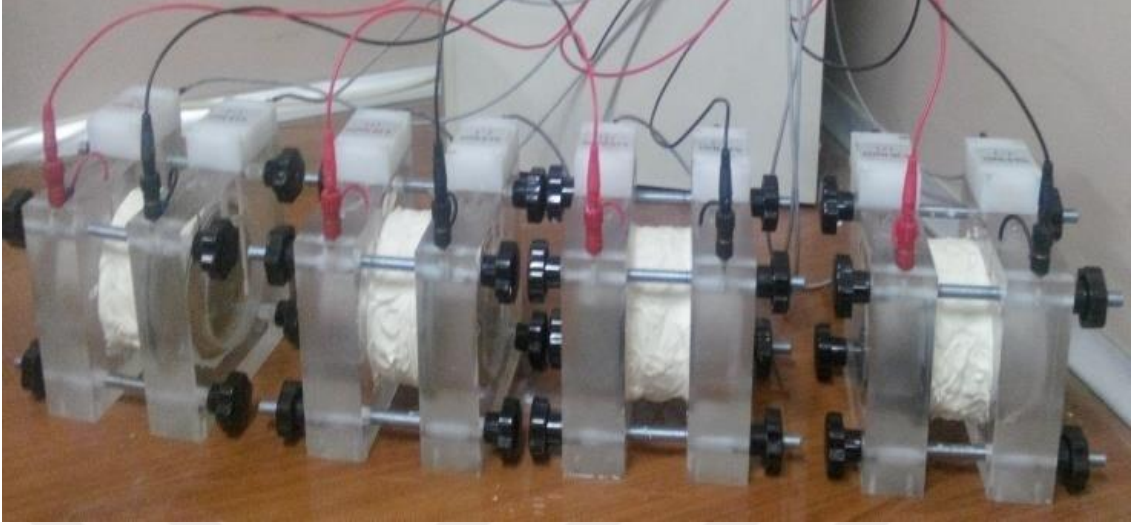


Şekil 4.8. Elektriksel direnç deneyi.

Deneysel sonuçta elde edilen elektriksel direnç değeri Çizelge 2.3’de verilen değeri karşılaştırılıp bazalt lifi kullanımının beton numunelerinin korozyon performansını nasıl etkilediği hakkında bilgi sahibi olunmuştur.

Hızlı klorür geçirimsizliği deneyi

Deney 150 x 300 mm boyutundaki silindirik numunelerden elde edilen 10 x 5 cm disk numuneler üzerinde ASTM C 1202 (1997) yöntemine göre yapılmıştır. Deneyde disk numunelerin elektriksel iletkenliği incelenerek betonun klorür iyonu geçişine ne oranda direnç gösterdiği esasına dayanmaktadır. Hızlı klorür geçirimsizliği deney düzeneği Şekil 4.9’de gösterilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen toplam geçen yük değeri ile Çizelge 3.1’de verilen ASTM C 1202 sınır değeri karşılaştırılarak üretilen betonların klorür geçirimsizlik seviyeleri belirlenmiştir. Hızlı klorür geçirimsizliği deneyi kirece doygun kür havuzlarında 28 gün bekleyen donatısız beton numuneler üzerinde yapılmıştır. Deney düzeneği Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Hızlı klorür geçirirliği deneyi.

Yarı hücre potansiyeli deneyi

Deney betona gömülü haldeki donatının ASTM C 876'ya göre korozyon potansiyelinin (Ecor) ölçülmesine dayanmaktadır. Deney düzeneği Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Yarı hücre potansiyeli ölçümünde yüksek empedanslı bir voltmetre aracılığıyla donatı potansiyeli bir referans elektroda göre ölçülmüştür. Beton içine gömülü donatının elektropotansiyeli, belirli bir yarı hücrenin donatı ile bağlantısı kurularak saptanmıştır. Çalışmada referans elektrot olarak Cu/CuSO₄ (bakır/bakır sülfat)(CSE) kullanılmıştır.



Şekil 4.10. Yarı hücre potansiyeli deneyi.

Yarı hücre potansiyelinin ölçüleceği donatılı numuneler, 28 gün boyunca kirece doygun kür havuzlarında bekletildikten sonra havuzdan çıkarılan numuneler üzerinde ilk yarı hücre potansiyeli okuması yapılmış ve bu değer 0. gün değeri olarak kaydedilmiştir. Sonra donatılı numuneler % 5 konsantrasyonlu NaCl karışımı içine konularak hızlandırılmış korozyon deneyi başlatılmıştır, donatılı numunelerde hedeflenen ağırlık kayıpları oluşunca NaCl karışımı içerisinden çıkarılan numuneler üzerinde ikinci okumalar yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen korozyon potansiyellerinin değerlendirilmesinde Çizelge 3.2’de gösterilen ASTM C 876’nın sınır değerlerinden yararlanılmıştır.



5. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

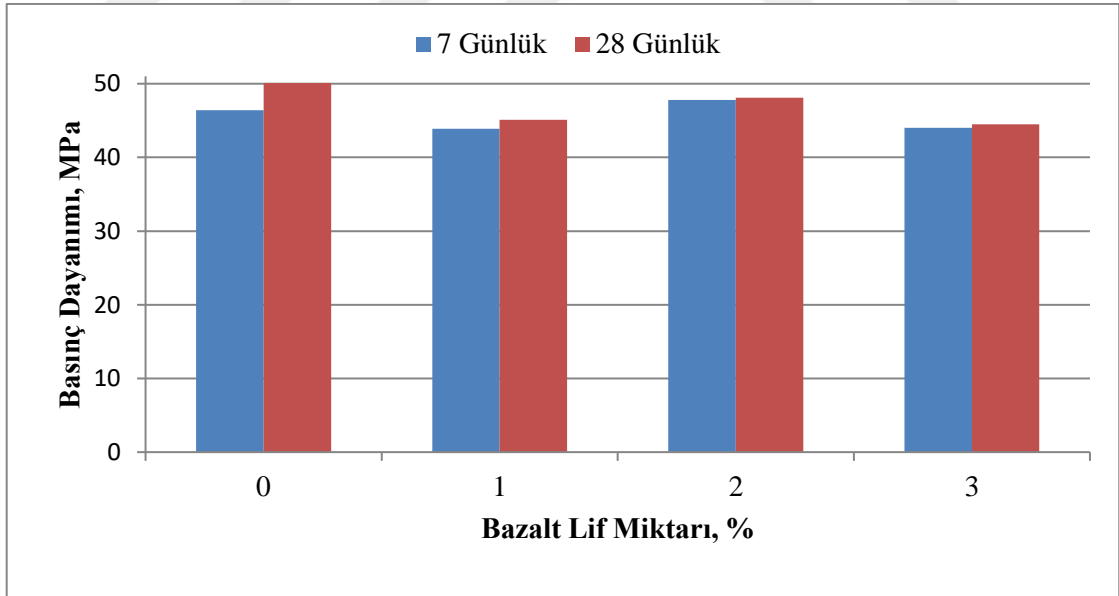
Bazalt lifi kullanımının betonun mekanik özelliklerine ve beton içerisindeki donatının korozyon performansına etkilerinin deneysel olarak araştırıldığı bu çalışmada; betonlar üzerinde yapılan fiziksel, mekanik ve dayanıklılık deneylerinden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı olarak verilmiştir.

5.1. Mekanik Özellik Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Beton numunelerde yapılan basınç, yarmada-çekme, eğilme ve yüzey sertliği deneyleri ile ilgili değerlendirmeler aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı olarak verilmiştir. Ek 2’de mekanik özellik deney sonuçları verilmiştir.

5.1.1. Basınç dayanımı

7 ve 28 gün süreyle kür tankında bekletilen katkısız ve % 1, 2, 3 bazalt lifi katkılı betonların basınç dayanımı değerleri Ek 2’de verilmiştir. Bu değerlere göre basınç dayanımının lif içeriğine göre değişimi Şekil 5.1’de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



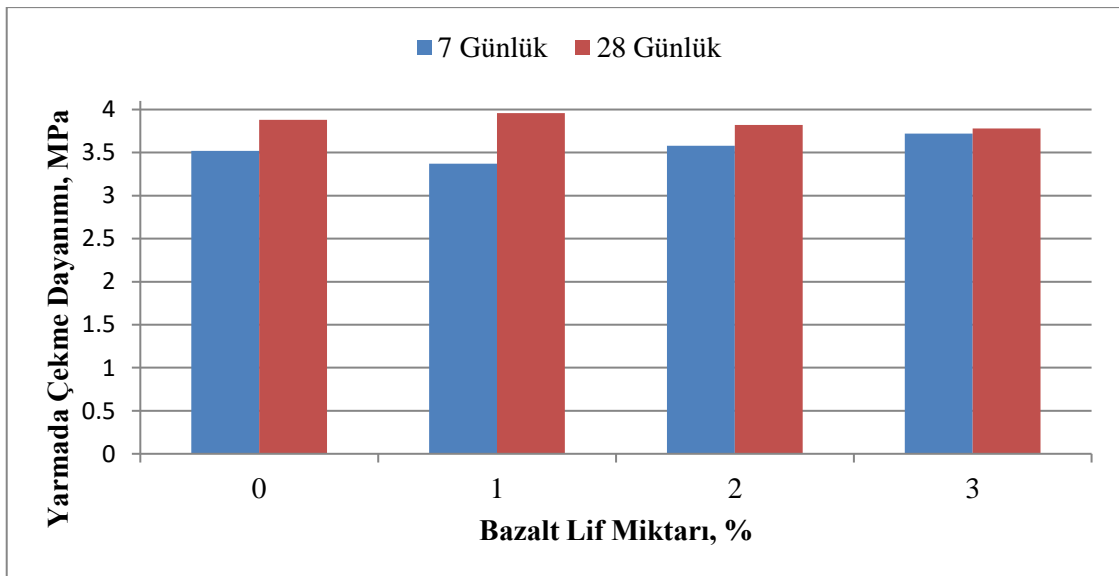
Şekil 5.1. Basınç dayanımının bazalt lif miktarına göre değişimi.

Şekil 5.1 incelendiğinde, 7 günlük liffsiz numunelerin basınç dayanımları 46,4 MPa olurken % 1 lif katkılı numunelerin basınç dayanımı ise 43,9 MPa, % 2 lif katkılı numunelerin basınç dayanımı ise 47,8 MPa, % 3 lif katkılı numunelerin basınç dayanımı ise 44 MPa olarak

belirlenmiştir. % 1 bazalt lif katkısının 7 günlük numunelerin basınç dayanımlarında % 5,7 oranında azalışa sebep olurken % 2 bazalt lif katkısının 7 günlük numunelerin basınç dayanımlarında % 3 oranında artışa ve % 3 bazalt lif katkısının 7 günlük numunelerin basınç dayanımlarında % 5,5 oranında azalışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde 28 günlük betonların basınç dayanımındaki değişimleri incelerseniz, lifsiz numunelerin basınç dayanımları 50,1 MPa olurken % 1 lif katkılı numunelerin basınç dayanımı ise 45,1 MPa, % 2 lif katkılı numunelerin basınç dayanımı ise 48,1 MPa, % 3 lif katkılı numunelerin basınç dayanımı ise 44,5 MPa olarak belirlenmiştir. % 1 bazalt lif katkısının 28 günlük numunelerin basınç dayanımlarında % 11,1 oranında azalışa sebep olurken % 2 bazalt lif katkısının 7 günlük numunelerin basınç dayanımlarında % 4,2 oranında azalışa ve % 3 bazalt lif katkısının 7 günlük numunelerin basınç dayanımlarında % 12,6 oranında azalışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre referans betonu ve bazalt lif katkılı beton serilerinde kür sürelerinin artması ile birlikte basınç dayanımı değerlerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca sadece bazalt lif katkılı beton serileri incelendiğinde 7 ve 28 günlük serilerde en yüksek basınç dayanımının elde edildiği serinin % 2 bazalt lif katkılı beton serisi olduğu görülmüştür. Genel olarak bazalt lif katkısının basınç dayanımını azalttığı görülmüştür.

5.1.2. Yarmada-çekme dayanımı

7 ve 28 gün süreyle kür tankında bekletilen katkısız ve % 1, 2, 3 bazalt lifi katkılı betonların yarmada çekme dayanımı değerleri Ek 2'de verilmiştir. Bu değerlere göre yarmada çekme dayanımının lif içeriğine göre değişimi Şekil 5.2'de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

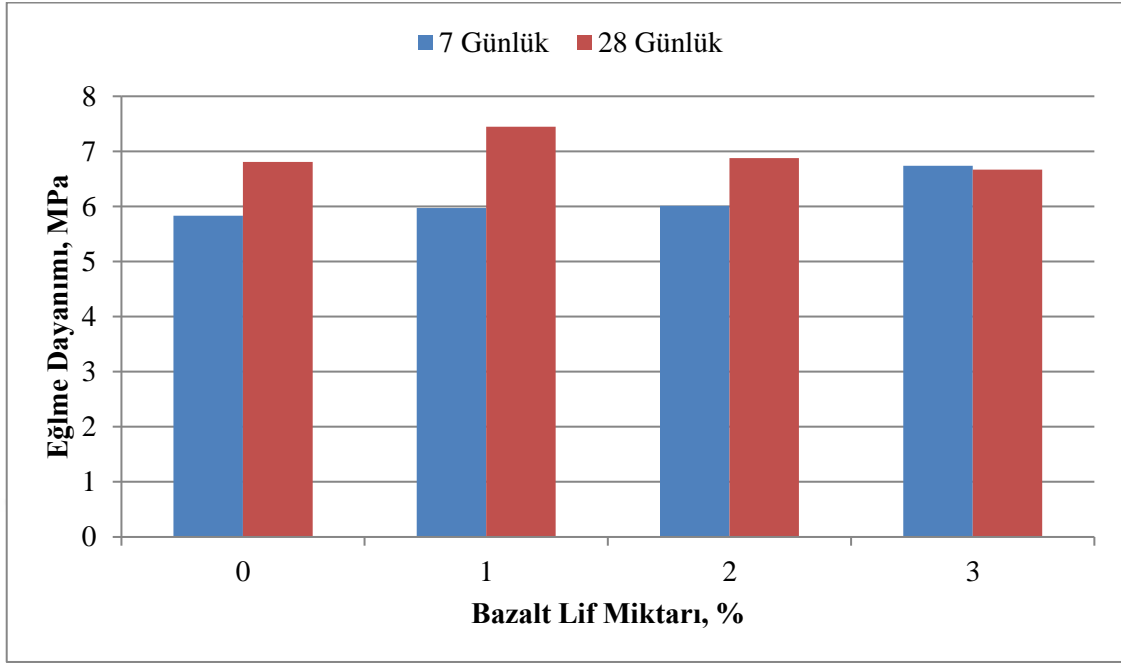


Şekil 5.2. Yarmada çekme dayanımının bazalt lif miktarına göre değişimi.

Şekil 5.2 incelendiğinde, 7 günlük lifsiz numunelerin yarmada çekme dayanımları 3,52 MPa olurken % 1 lif katkılı numunelerin yarmada çekme dayanımı ise 3,37 MPa, % 2 lif katkılı numunelerin yarmada çekme dayanımı ise 3,58 MPa, % 3 lif katkılı numunelerin yarmada çekme dayanımı ise 3,72 MPa olarak belirlenmiştir. % 1 bazalt lif katkısının 7 günlük numunelerin yarmada çekme dayanımlarında % 4,5 oranında azalışa sebep olurken % 2 bazalt lif katkısının 7 günlük numunelerin yarmada çekme dayanımlarında % 1,7 oranında artışa ve % 3 bazalt lif katkısının 7 günlük numunelerin yarmada çekme dayanımlarında % 5,7 oranında artışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde 28 günlük betonların yarmada çekme dayanımındaki değişimleri incelersek, lifsiz numunelerin yarmada çekme dayanımları 3,88 MPa olurken % 1 lif katkılı numunelerin yarmada çekme dayanımı ise 3,96 MPa, % 2 lif katkılı numunelerin yarmada çekme dayanımı ise 3,82 MPa, % 3 lif katkılı numunelerin yarmada çekme dayanımı ise 3,78 MPa olarak belirlenmiştir. % 1 bazalt lif katkısının 28 günlük numunelerin yarmada çekme dayanımlarında % 2,1 oranında artışa sebep olurken % 2 bazalt lif katkısının 28 günlük numunelerin yarmada çekme dayanımlarında % 1,6 oranında azalışa ve % 3 bazalt lif katkısının 28 günlük numunelerin yarmada çekme dayanımlarında % 2,6 oranında azalışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre referans betonu ve bazalt lif katkılı beton serilerinde kür sürelerinin artması ile birlikte yarmada çekme dayanımı değerlerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca sadece bazalt lif katkılı beton serileri incelendiğinde 7 günlük serilerde en yüksek yarmada çekme dayanımının elde edildiği seri % 3 bazalt lif katkılı beton serisi olurken 28 günlük serilerde en yüksek yarmada çekme dayanımının elde edildiği seri ise % 1 bazalt lif katkılı beton serisi olduğu saptanmıştır.

5.1.3. Eğilme dayanımı

7 ve 28 gün süreyle kür tankında bekletilen katkısız ve % 1, 2, 3 bazalt lifi katkılı betonların eğilme dayanımı değerleri Ek 2'de verilmiştir. Bu değerlere göre eğilme dayanımının lif içeriğine göre değişimi Şekil 5.3'de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



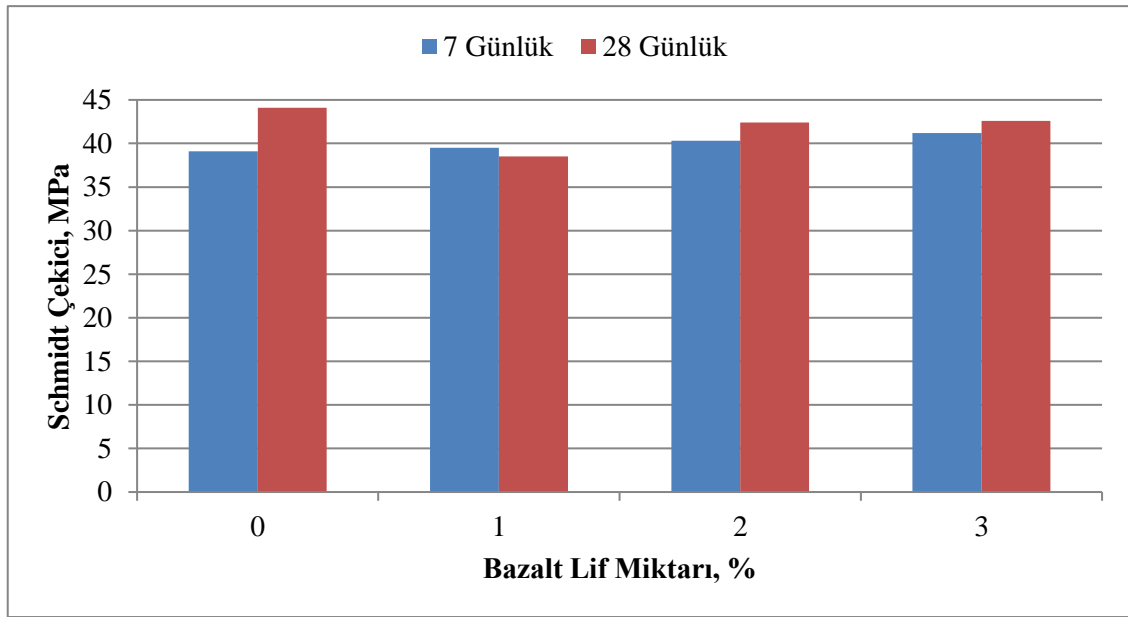
Şekil 5.3. Eğilme dayanımının bazalt lif miktarına göre değişimi.

Şekil 5.3 incelendiğinde, 7 günlük lifsiz numunelerin eğilme dayanımları 5,83 MPa olurken % 1 lif katkıli numunelerin eğilme dayanımı ise 5,97 MPa, % 2 lif katkıli numunelerin eğilme dayanımı ise 6,01 MPa, % 3 lif katkıli numunelerin eğilme dayanımı ise 6,74 MPa olarak belirlenmiştir. % 1 bazalt lif katkısının 7 günlük numunelerin eğilme dayanımlarında % 2,4 oranında artışa sebep olurken % 2 bazalt lif katkısının 7 günlük numunelerin eğilme dayanımlarında % 3,1 oranında artışa ve % 3 bazalt lif katkısının 7 günlük numunelerin eğilme dayanımlarında % 15,6 oranında artışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde 28 günlük betonların eğilme dayanımındaki değişimleri incelersek, lifsiz numunelerin eğilme dayanımları 6,81 MPa olurken % 1 lif katkıli numunelerin eğilme dayanımı ise 7,45 MPa, % 2 lif katkıli numunelerin eğilme dayanımı ise 6,88 MPa, % 3 lif katkıli numunelerin eğilme dayanımı ise 5,67 MPa olarak belirlenmiştir. % 1 bazalt lif katkısının 28 günlük numunelerin eğilme dayanımlarında % 9,4 oranında artışa sebep olurken % 2 bazalt lif katkısının 28 günlük numunelerin eğilme dayanımlarında % 1 oranında artışa ve % 3 bazalt lif katkısının 28 günlük numunelerin eğilme dayanımlarında % 2,1 oranında azalışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre referans betonu ve bazalt lif katkıli beton serilerinde kür sürelerinin artması ile birlikte eğilme dayanımı değerlerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca sadece bazalt lif katkıli beton serileri incelendiğinde 28 günlük serilerde en yüksek eğilme dayanımının elde edildiği seri % 1 bazalt lif katkıli beton serisi olurken 7 günlük serilerde en yüksek eğilme dayanımının elde

edildiği seri ise % 3 bazalt lif katkıli beton serisi olduğu saptanmıştır. Genel olarak bazalt lif katkısının eğilme dayanımını artırdığı görülmüştür.

5.1.4. Yüzey sertliği deney sonuçları

Katkısız ve % 1, 2, 3 bazalt lifi katkıli betonların 7 ve 28 gün sonunda yüzey sertliği deneyi yapılmıştır. Küp numuneler üzerinde yapılan yüzey sertliği deneyine ait sonuçlar Ek 2'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre yüzey sertliği değerinin lif içeriğine göre değişimi Şekil 5.4'de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Yüzey sertliği değerinin bazalt lif miktarına göre değişimi.

Şekil 5.4 incelendiğinde, 7 günlük lifsiz numunelerin yüzey sertliği dayanımları 39,1 MPa olurken % 1 lif katkıli numunelerin yüzey sertliği dayanımı ise 39,5 MPa, % 2 lif katkıli numunelerin yüzey sertliği dayanımı ise 40,3 MPa, % 3 lif katkıli numunelerin yüzey sertliği dayanımı ise 41,2 MPa olarak belirlenmiştir. % 1 bazalt lif katkısının 7 günlük numunelerin yüzey sertliği dayanımlarında % 1 oranında artışa sebep olurken % 2 bazalt lif katkısının 7 günlük numunelerin yüzey sertliği dayanımlarında % 3,1 oranında artışa ve % 3 bazalt lif katkısının 7 günlük numunelerin yüzey sertliği dayanımlarında % 5,4 oranında artışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde 28 günlük betonların yüzey sertliği dayanımındaki değişimleri incelersek, lifsiz numunelerin yüzey sertliği dayanımları 44,1 MPa olurken % 1 lif katkıli numunelerin yüzey sertliği dayanımı ise 38,5 MPa, % 2 lif katkıli numunelerin yüzey sertliği dayanımı ise 42,4 MPa, % 3 lif katkıli numunelerin yüzey sertliği dayanımı ise 42,6

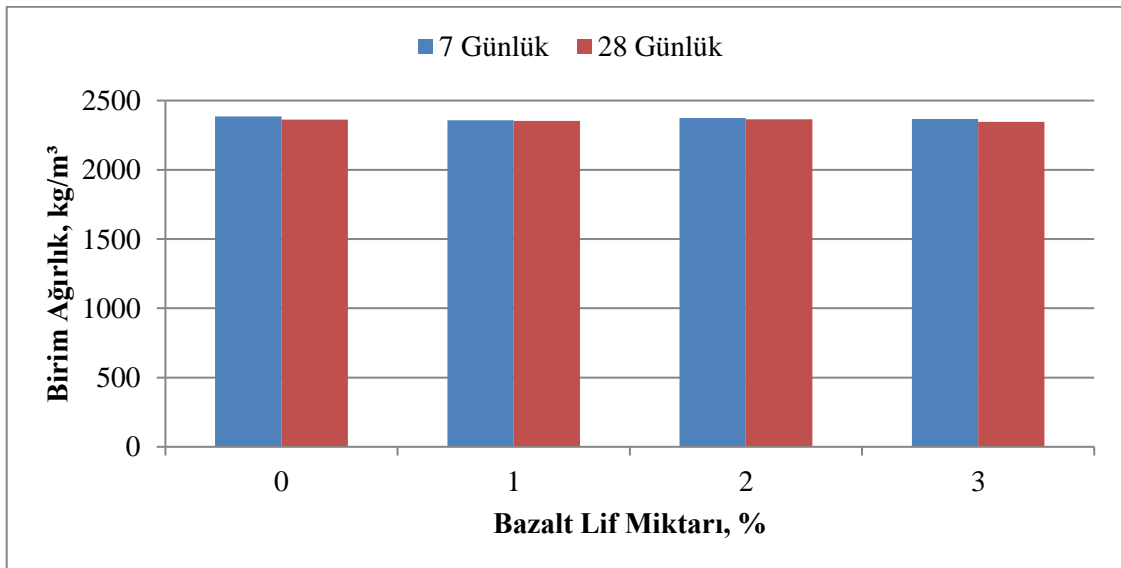
MPa olarak belirlenmiştir. % 1 bazalt lif katkısının 28 günlük numunelerin yüzey sertliği dayanımlarında % 14,5 oranında azalışa sebep olurken % 2 bazalt lif katkısının 28 günlük numunelerin yüzey sertliği dayanımlarında % 4 oranında azalışa ve % 3 bazalt lif katkısının 28 günlük numunelerin yüzey sertliği dayanımlarında % 3,5 oranında azalışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre referans betonu ve bazalt lif katkılı beton serilerinde kür sürelerinin artması ile birlikte yüzey sertliği dayanımı değerlerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca bütün serilere baktığımızda en yüksek yüzey sertliği dayanımının 28 günlük referans betonuna ait olduğu görülürken sadece bazalt lif katkılı beton serileri incelendiğinde 7 ve 28 günlük serilerde en yüksek yüzey sertliği dayanımının elde edildiği serinin % 3 bazalt lif katkılı beton serisi olduğu görülmüştür.

5.2. Fiziksel Özellik Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Sertleşmiş betonun birim ağırlığı ve ultrases geçiş hızı ile ilgili değerlendirmeler aşağıdaki bölümde ayrıntılı olarak verilmiştir. Ek 1’de fiziksel özellik deney sonuçları verilmiştir.

5.2.1. Birim ağırlık

Katkısız ve % 1, 2, 3 bazalt lifi katkılı betonların 7 ve 28 gün sonunda birim ağırlık deneyi yapılmıştır. Küp, silindir ve prizmatik numuneler üzerinde yapılan birim ağırlık deneyine ait sonuçlar Ek 1’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre birim ağırlık değerinin lif içeriğine göre değişimi Şekil 5.5’de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

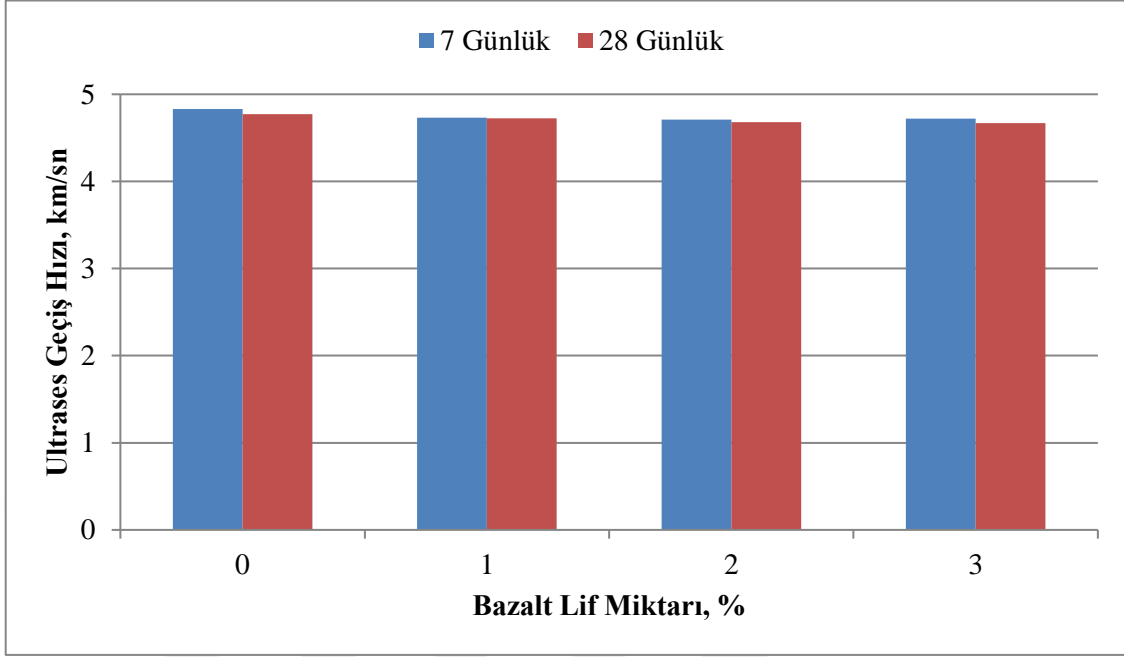


Şekil 5.5. Birim ağırlık değerinin bazalt lif miktarına göre değişimi.

Şekil 5.5 incelendiğinde, 7 günlük lifsiz numunelerin birim ağırlık değerleri 2386 kg/m^3 olurken % 1 lif katkılı numunelerin birim ağırlık değerleri ise 2357 kg/m^3 , % 2 lif katkılı numunelerin birim ağırlık değerleri ise 2375 kg/m^3 , % 3 lif katkılı numunelerin birim ağırlık değerleri ise 2366 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. % 1 bazalt lif katkısının 7 günlük numunelerin birim ağırlık değerleri % 1,7 oranında azalışa sebep olurken % 2 bazalt lif katkısının 7 günlük numunelerin birim ağırlık değerleri % 0,5 oranında azalışa ve % 3 bazalt lif katkısının 7 günlük numunelerin birim ağırlık değerleri % 0,8 oranında azalışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde 28 günlük betonların birim ağırlık değerleri değişimleri incelersek, lifsiz numunelerin birim ağırlık değerleri 2363 kg/m^3 olurken % 1 lif katkılı numunelerin birim ağırlık değerleri ise 2354 kg/m^3 , % 2 lif katkılı numunelerin yüzey sertliği dayanımı ise 2364 kg/m^3 , % 3 lif katkılı numunelerin birim ağırlık değerleri ise 2346 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. % 1 bazalt lif katkısının 28 günlük numunelerin birim ağırlık değerleri % 0,4 oranında azalışa sebep olurken % 2 bazalt lif katkısının 28 günlük numunelerin birim ağırlık değerleri % 0,1 oranında artışa ve % 3 bazalt lif katkısının 28 günlük numunelerin birim ağırlık değerleri % 0,7 oranında azalışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre referans betonu ve bazalt lif katkılı beton serilerinde kür sürelerinin artması ile birlikte birim ağırlık değerlerinin azaldığı görülmüştür. Ayrıca referans betonu ile bazalt lif katkılı beton serileri karşılaştırıldığında bazalt lif katkılı beton serilerinin referans betonlarına oranla daha düşük birim ağırlığa sahip olduğu görülmüştür. Genel olarak bazalt lif katkısının birim ağırlık değerleri azalttığı görülmüştür.

5.2.2. Ultrases geçiş hızı

Katkısız ve % 1, 2, 3 bazalt lifi katkılı betonların 7 ve 28 gün sonunda ultrases geçiş süresi deneyi yapılmıştır. Küp numuneler üzerinde yapılan ultrases geçiş süresi deneyine ait sonuçlar Ek 1'de verilmiştir. Ultrases geçiş süresi sonuçlarına göre hesaplanan ultrases geçiş hızı değerlerinin lif içeriğine göre değişimi Şekil 5.6'da karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Ultrases geçiş hızı değerinin bazalt lif miktarına göre değişimi.

Şekil 5.6 incelendiğinde, 7 günlük lifsiz numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri 4,83 km/sn olurken % 1 lif katkılı numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri ise 4,73 km/sn, % 2 lif katkılı numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri ise 4,71 km/sn, % 3 lif katkılı numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri ise 4,72 km/sn olarak belirlenmiştir. % 1 bazalt lif katkısının 7 günlük numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri % 2,1 oranında azalışa sebep olurken % 2 bazalt lif katkısının 7 günlük numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri % 2,5 oranında azalışa ve % 3 bazalt lif katkısının 7 günlük numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri % 2,3 oranında azalışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde 28 günlük betonların ultrases geçiş hızı değerleri değişimleri incelersek, lifsiz numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri 4,77 km/sn olurken % 1 lif katkılı numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri ise 4,73 km/sn, % 2 lif katkılı numunelerin ultrases geçiş hızı değeri ise 4,68 km/sn, % 3 lif katkılı numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri ise 4,67 km/sn olarak belirlenmiştir. % 1 bazalt lif katkısının 28 günlük numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri % 0,8 oranında azalışa sebep olurken % 2 bazalt lif katkısının 7 günlük numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri % 1,9 oranında azalışa ve % 3 bazalt lif katkısının 28 günlük numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri % 2,1 oranında azalışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre referans betonu ve bazalt lif katkılı beton serilerinde kür sürelerinin artması ile birlikte ultrases geçiş hızı değerlerinin azaldığı görülmüştür. Ayrıca referans betonu ile bazalt lif katkılı beton serileri karşılaştırıldığında bazalt lif katkılı beton

serilerinin referans betonlarına oranla daha düşük ultrases geçiş hızı değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

Dinamik elastisite modülü

Üretilen silindir beton numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri belirlendikten sonra bu değerlere göre hesaplanan dinamik elastisite modülü Şekil 5.7'de gösterilmiştir. Ayrıca dinamik elastisite modülü sonuçları EK 1'de verilmiştir. Dinamik elastisite modülü değerlerini belirlemek için aşağıdaki (12) formülünden yararlanılmıştır.

$$E_{\text{din}} = \frac{V^2 n (1 + \mu)(1 - 2\mu)}{1 - \mu} (10^{-6}) \quad (12)$$

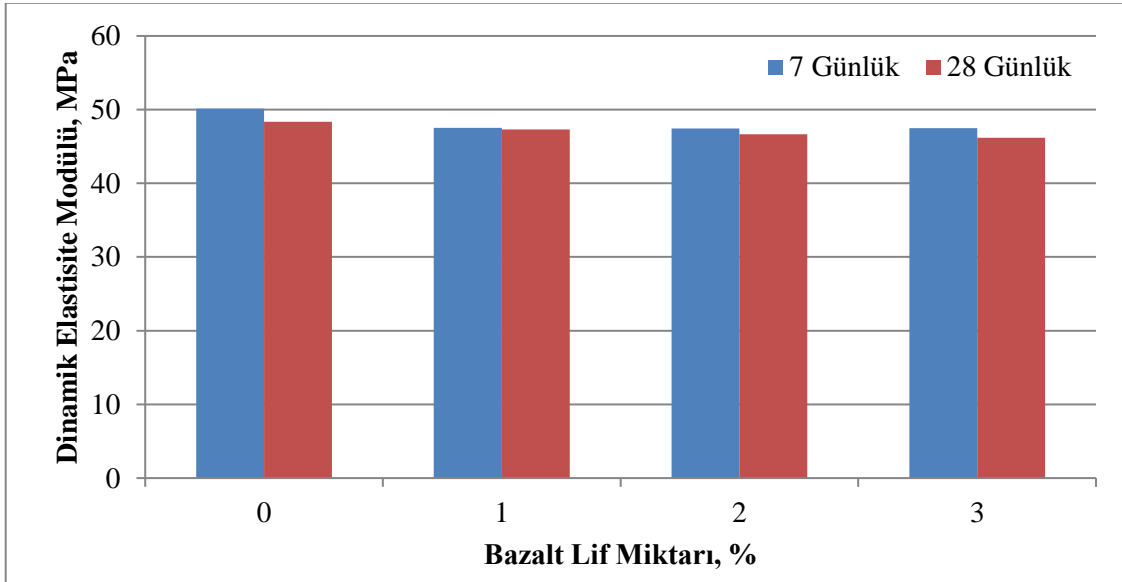
E_d = Dinamik elastisite modülü (MPa),

V = Ultrases geçiş hızı (m/sn),

n = Betonun birim ağırlığı (kg/m^3),

μ = Poisson oranı

Genellikle formülde $\mu = 0,2$ gibi bir değer kullanılmaktadır.



Şekil 5.7. Dinamik elastisite modülü değerinin bazalt lif miktarına göre değişimi.

Şekil 5.7 incelendiğinde, 7 günlük lifsiz numunelerin dinamik elastisite modülü değeri 50,12 MPa olurken % 1 lif katkılı numunelerin dinamik elastisite modülü değeri ise 47,55 MPa, % 2

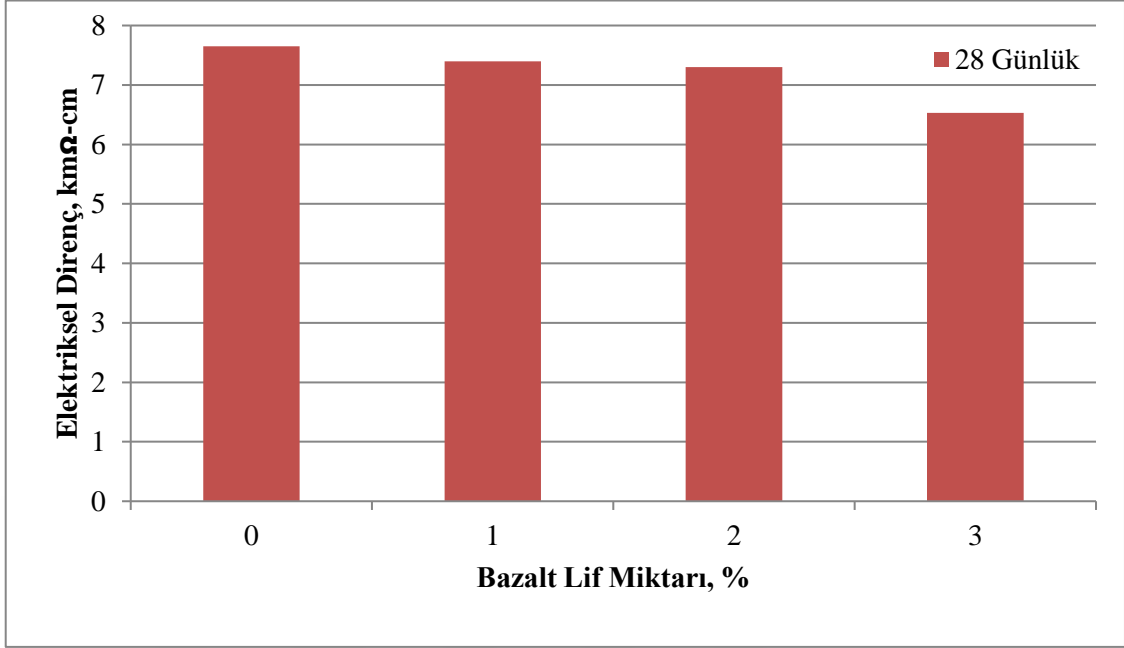
lif katkıli numunelerin dinamik elastisite modülü değeri ise 47,45 MPa, % 3 lif katkıli numunelerin dinamik elastisite modülü değeri ise 47,47 MPa olarak belirlenmiştir. % 1 bazalt lif katkısının 7 günlük numunelerin dinamik elastisite modülü değeri % 5,4 oranında azalışa sebep olurken % 2 bazalt lif katkısının 7 günlük numunelerin dinamik elastisite modülü değeri % 5,6 oranında azalışa ve % 3 bazalt lif katkısının 7 günlük numunelerin dinamik elastisite modülü değeri % 5,5 oranında azalışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde 28 günlük betonların dinamik elastisite modülü değeri değişimleri incelersek, lifsiz numunelerin dinamik elastisite modülü değeri 48,36 MPa olurken % 1 lif katkıli numunelerin dinamik elastisite modülü değeri ise 47,32 MPa, % 2 lif katkıli numunelerin dinamik elastisite modülü değeri ise 46,66 MPa, % 3 lif katkıli numunelerin dinamik elastisite modülü değeri ise 46,18 MPa olarak belirlenmiştir. % 1 bazalt lif katkısının 28 günlük numunelerin dinamik elastisite modülü değeri % 2,2 oranında azalışa sebep olurken % 2 bazalt lif katkısının 28 günlük numunelerin dinamik elastisite modülü değeri % 3,6 oranında azalışa ve % 3 bazalt lif katkısının 28 günlük numunelerin dinamik elastisite modülü değeri % 4,7 oranında azalışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre referans betonu ve bazalt lif katkıli beton serilerinde kür sürelerinin artması ile birlikte dinamik elastisite modülü değerlerinin azaldığı görülmüştür. Genel olarak bazalt lif katkısının artması ile dinamik elastisite modülü değeri azalmıştır.

5.3. Dayanıklılık Özeliği Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Donatısız olarak üretilen beton numunelerin dayanıklılık özelliklerini belirlemek için elektriksel direnç ve hızlı klorür geçirimsiliği deneyi yapılmıştır. Donatılı olarak üretilen beton numunelerin ise dayanıklılık özelliklerini belirlemek amacıyla yarı hücre potansiyeli ve hızlandırılmış korozyon deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler ile ilgili değerlendirmeler aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı olarak verilmiştir.

5.3.1. Elektriksel direnç

Katkısız ve % 1, 2, 3 bazalt lifi katkıli betonlar kirece doğun kür havuzlarında 28 gün kür edildikten sonra elektriksel direnç deneyi yapılmıştır. Silindir numuneler üzerinde yapılan elektriksel direnç deneyine ait sonuçlar Ek 3'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre elektriksel direnç değerinin lif içeriğine göre değişimi Şekil 5.8'de gösterilmiştir.



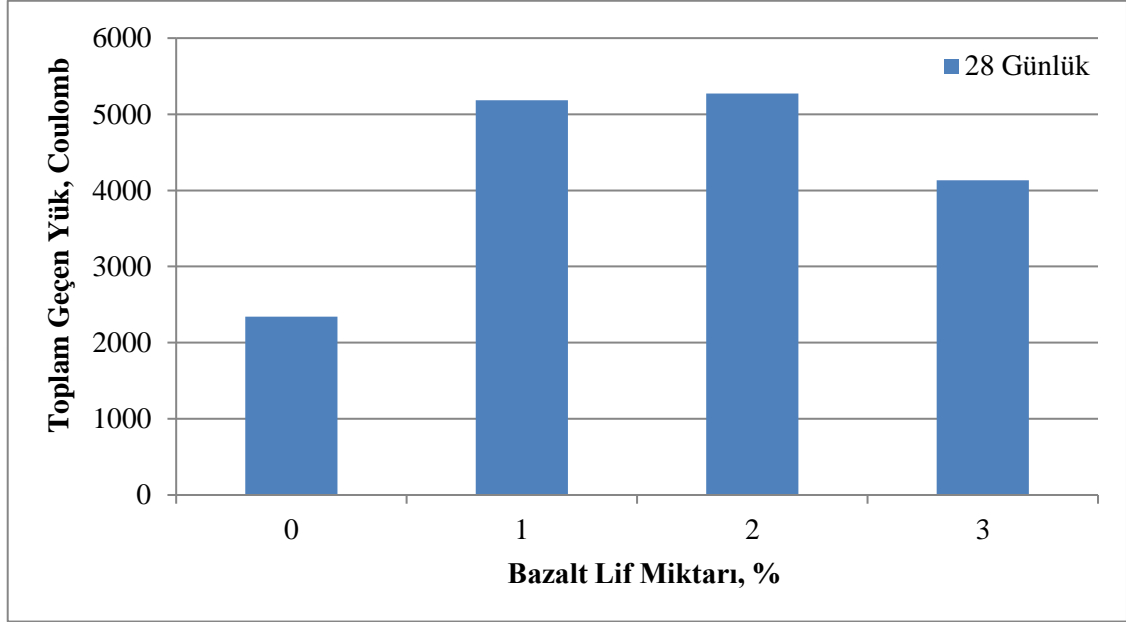
Şekil 5.8. Elektriksel direnç değerinin bazalt lif miktarına göre değişimi.

Şekil 5.8 incelendiğinde, 28 günlük lifsiz numunelerin elektriksel direnç değerleri 7.65 kΩ-cm olurken % 1 lif katkıli numunelerin elektriksel direnç değerleri ise 7.40 kΩ-cm, % 2 lif katkıli numunelerin elektriksel direnç değerleri ise 7.30 kΩ-cm, % 3 lif katkıli numunelerin elektriksel direnç değerleri ise 6.53 kΩ-cm olarak belirlenmiştir. % 1 bazalt lif katkısının 28 günlük numunelerin elektriksel direnç değerleri % 3,4 oranında azalışa sebep olurken % 2 bazalt lif katkısının 28 günlük numunelerin elektriksel direnç değerleri % 4,8 oranında azalışa ve % 3 bazalt lif katkısının 28 günlük numunelerin elektriksel direnç değerleri % 17 oranında azalışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre referans betonu ve bazalt lif katkıli beton serilerinde bazalt lif oranı arttıkça elektriksel direnç değerlerinde doğrusal azalış meydana gelmiştir. Elde edilen bu sonuçlarla Çizelge 3.2'deki değerleri karşılaştırdığımızda korozyon olasılıkları yüksek olduğu anlaşılmıştır.

5.3.2. Hızlı klorür geçirimsizliği

Katkısız ve bazalt lif katkıli beton serilerinin hızlı klorür geçirimsizliği deneyi sonucunda elde edilen değerlerle ilgili değerlendirmeler aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Çizelge 3.1'de verilen ASTM C 1202'nin sınır değerleri ile hızlı klorür geçirimsizliği deneyi sonunda elde edilen toplam geçen yük değerleri karşılaştırılarak betonların klorür geçirimsizlikleri hakkında bilgi edinilmiştir. Hızlı klorür geçirimsizliği deney sonuçları Ek

3'te verilmiştir. Bu sonuçlara göre toplam geçen yük değerinin lif içeriğine göre değişimi Şekil 5.9'da karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

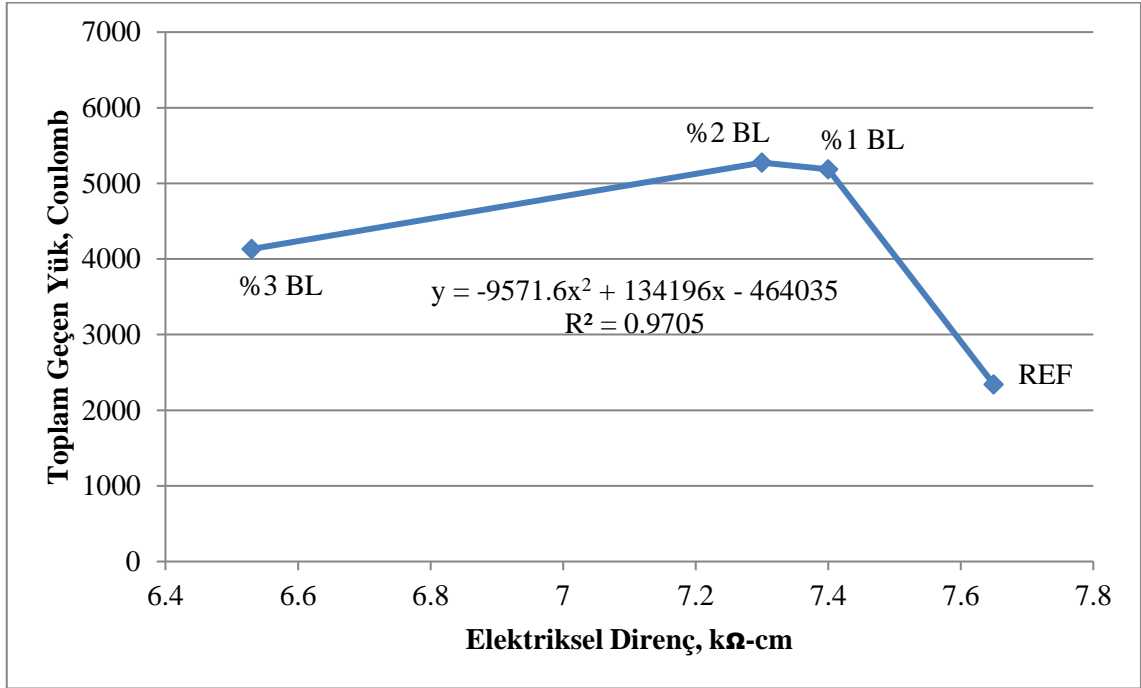


Şekil 5.9. Klorür geçirimsizliği değerinin bazalt lif miktarına göre değişimi.

Şekil 5.9 incelendiğinde, 28 günlük liffsiz numunelerin toplam geçen yük değerleri 2341 coulomb olurken % 1 lif katkılı numunelerin toplam geçen yük değerleri ise 5185 coulomb, % 2 lif katkılı numunelerin toplam geçen yük değerleri ise 5274 coulomb, % 3 lif katkılı numunelerin toplam geçen yük değerleri ise 4132 coulomb olarak belirlenmiştir. Bu sonuçları ASTM C 1202 (1997)'de verilen sınır değerlerle karşılaştırdığımızda, bazalt lif katkısız beton serisinde orta seviyede klorür geçirimsizliği elde edilirken bazalt lif katkılı serilerin tümünde yüksek seviyede klorür geçirimsizlikleri elde edilmiştir.

Toplam geçen yük ile elektriksel direnç arasındaki ilişki

Şekil 5.10'da referans ve sırasıyla % 1, 2, 3 bazalt lif katkılı seriler üzerinde yapılan hızlı klorür geçirimsizliği deneyleri sonucunda elde edilen toplam geçen yük değerleri ile elektriksel direnç değerleri arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Toplam geçen yük değerleri ile elektriksel direnç değerleri arasındaki ilişki.

Şekil 5.10'da bazalt lif katkı ve katkısız beton serilerini incelediğimizde bazalt lif oranı arttıkça elektriksel direnç değerlerinin düştüğü ve korozyon olasılıklarının arttığı görülmüştür. Aynı şekilde referans beton serilerine bazalt lif ilavesi sonucunda toplam geçen yük değerleri yani klorür geçirimsizlikleri artmaktadır. Sonuç olarak referans ve bazalt lif katkı serilerde toplam geçen yük ile elektriksel direnç arasındaki ilişkinin oldukça güçlü olduğu ve iki değer arasında bir ilişki bahsedilebileceği anlaşılmıştır. Şekil 5.10 incelendiğinde elektriksel direnç değerlerinin azalması ile toplam geçen yük değerlerinin arttığı görülmüştür. Bu sonuçlardan elektriksel direnci düşük olan yani korozyon olasılığı yüksek olan bir betonun klorür geçirimsizliğinde yüksek olacağı sonucuna varılmıştır. Tüm serilerde yapılan regresyon analizi sonucunda toplam geçen yük ile elektriksel direnç değerleri arasında Denklem 13'de gösterilen polinom bir ilişki elde edilmiştir. Denklemlerdeki toplam geçen yükün (y) birimi Coulomb, elektriksel direncin (x) birimi kΩ-cm'dir.

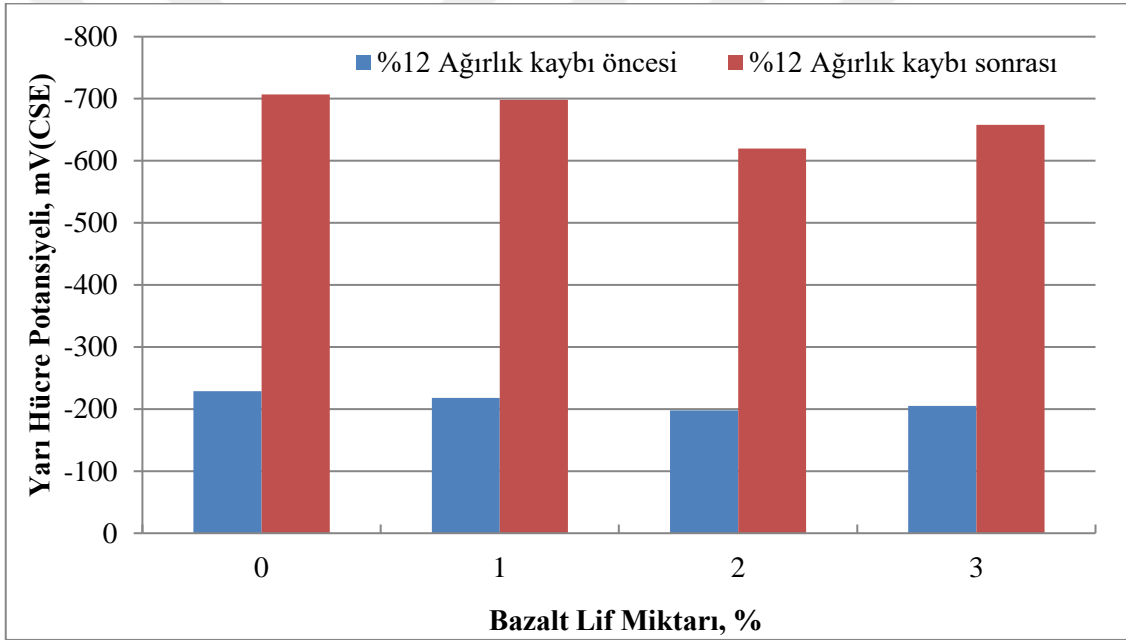
$$y = -9571 \cdot x^2 + 13419 \cdot x - 46403 \quad (R^2 = 0,970) \quad (13)$$

5.3.3. Yarı hücre potansiyeli deneyi

Katkısız ve bazalt lif katkı betonların yarı hücre potansiyeli deneyi sonunda elde edilen değerler aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmiştir. Çizelge 3.2'de verilen ASTM C 876'nın sınır değerleri ile yarı hücre potansiyeli deneyi sonuçları

karşılaştırılarak betonların içindeki donatıların korozyon olasılıkları hakkında bilgi edinilmiştir. Yarı hücre potansiyeli deney sonuçları Ek 4'de verilmiştir.

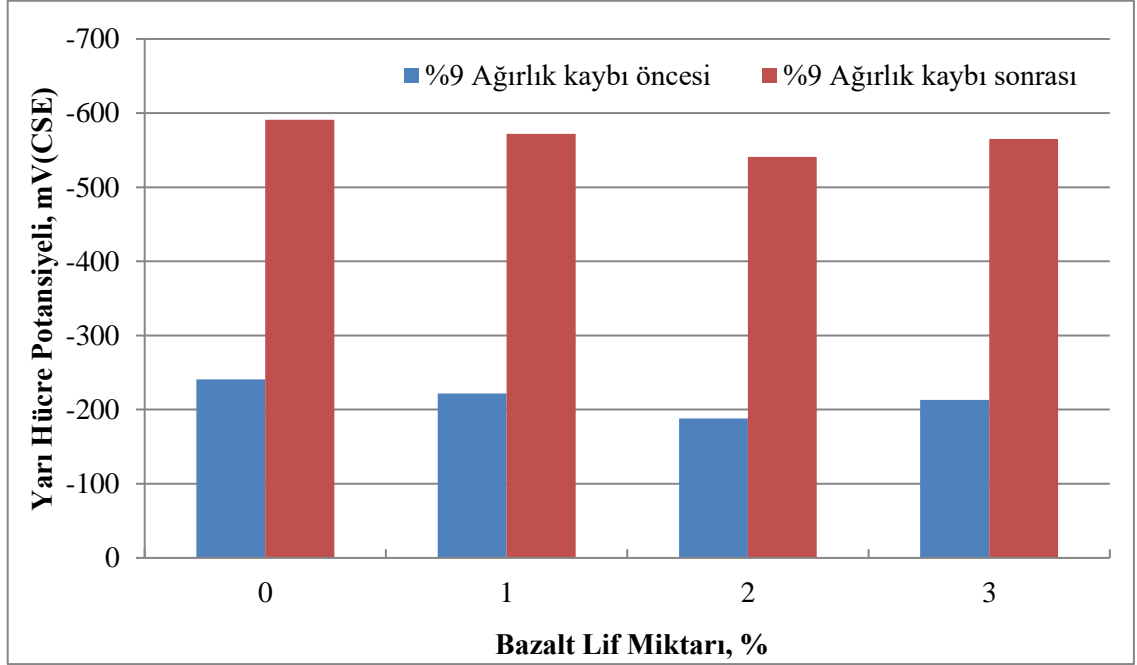
Aşağıdaki şekillerde bazalt lif katkılı ve katkısız betonların içerisindeki donatının korozyondan önce ve korozyondan sonraki yarı hücre potansiyeli değişimi gösterilmiştir. Yarı hücre potansiyelinin ölçüleceği donatılı numuneler, 28 gün boyunca kirece doymun kür havuzlarında bekletildikten sonra % 5'lük NaCl çözeltisine bırakılmıştır. NaCl çözeltilerine konmadan önce numunelerin ilk yarı hücre potansiyeli okuması yapılmış ve numuneler belirlenen ağırlık kaybına uğradıktan sonra NaCl çözeltisinden çıkarılıp tekrar yarı hücre potansiyeli okumaları yapılmıştır.



Şekil 5.11. Betonların içerisindeki donatının yarı hücre potansiyeli değerinin bazalt lif miktarına göre değişimi.

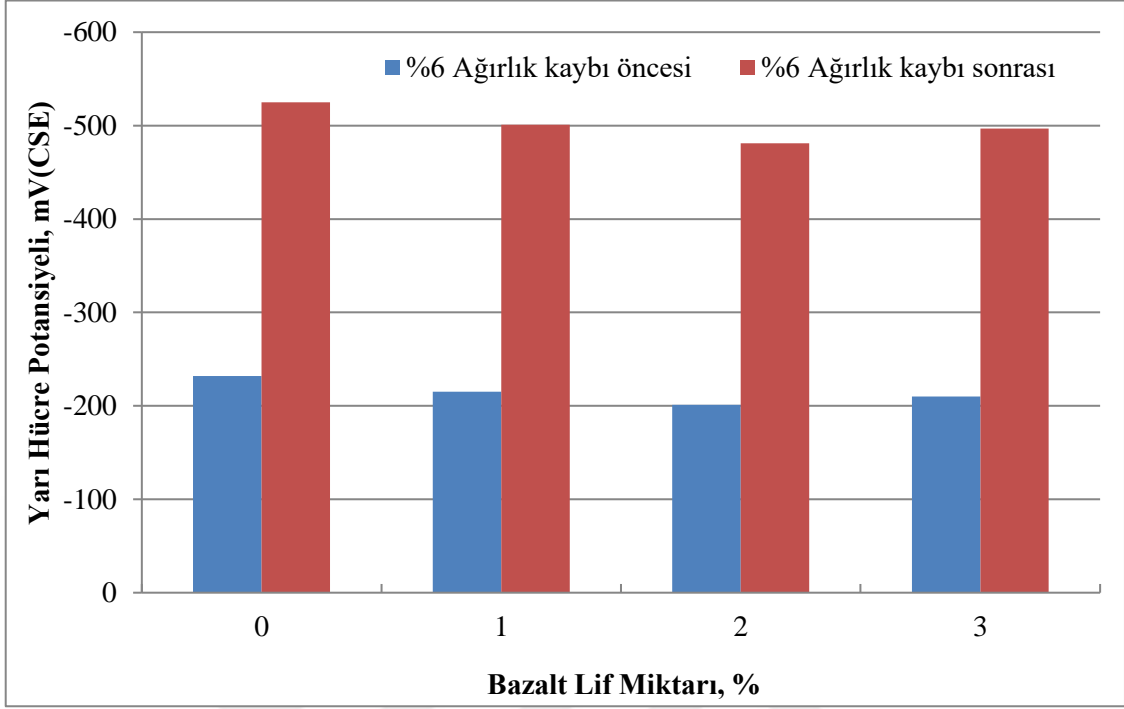
Şekil 5.11 incelendiğinde kür havuzlarından çıkarılan numuneler üzerinde yapılan ilk okumada sırasıyla -229, -218, -198 ve -205 mV değerleri elde edilmiş ve bu üç değerinde korozyonun belirgin olmadığı -200 ile -350 mV aralığında olduğu görülmüştür. Numuneler NaCl çözeltisinde % 12 ağırlık kayıpları oluşana dek bekletildikten sonra yarı hücre potansiyeli okumalarında sırasıyla -707, -698, -620 ve -658 mV değerleri elde edilmiş ve bu üç değerinde korozyon olasılığı yüksek olan -350 mV sınır değerinden daha negatif değerler aldığı görülmüştür. Sonuç olarak kullanılan bazalt lif miktarının artması ile katkısız olan numunelere oranla daha az negatif yarı hücre potansiyeli değerleri elde edilmiştir. Farklı beton serileri incelendiğinde bazalt lif miktarının artması ile daha az negatif değerler oluşurken bazalt lifinin

korozyona karşı olumlu etkileri görülmüş ve korozyona karşı en dirençli beton serisinin % 2 bazalt lifli beton serisi olduğu görülmüştür.



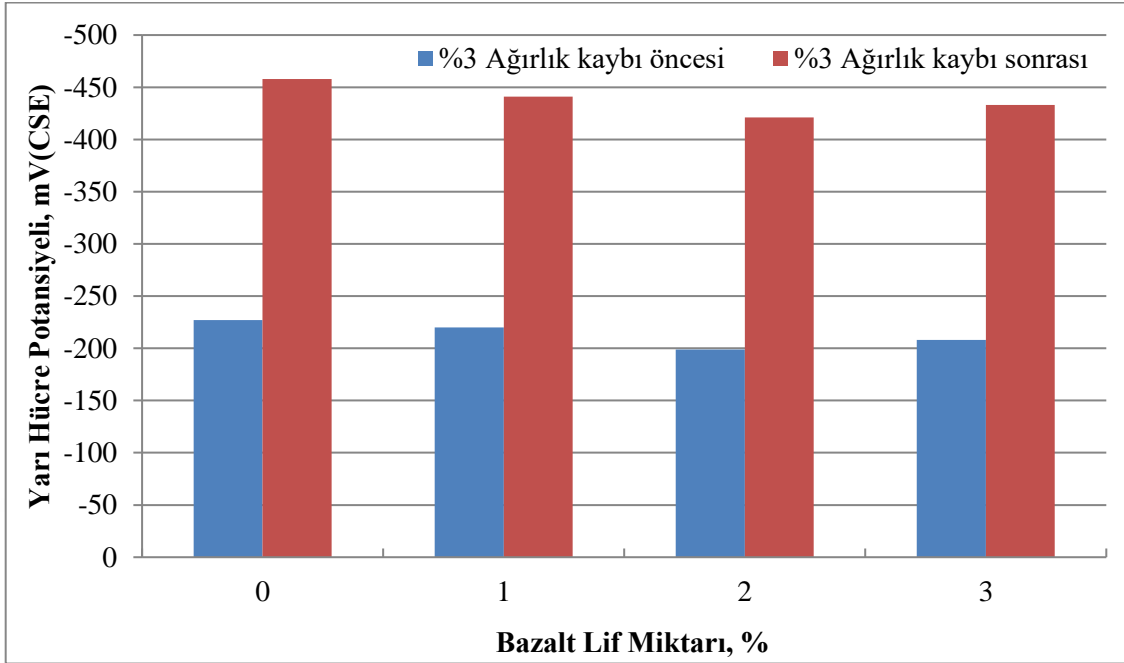
Şekil 5.12. Betonların içerisindeki donatının yarı hücre potansiyeli değerinin bazalt lif miktarına göre değişimi.

Şekil 5.12 incelendiğinde kür havuzlarından çıkarılan numuneler üzerinde yapılan ilk okumada sırasıyla -241, -222, -188 ve -213 mV değerleri elde edilmiş ve bu üç değerinde korozyonun belirgin olmadığı -200 ile -350 mV aralığında olduğu görülmüştür. Numuneler NaCl çözeltisinde % 9 ağırlık kayıpları oluşana dek bekletildikten sonra yarı hücre potansiyeli okumalarında sırasıyla -591, -572, -541 ve -565 mV değerleri elde edilmiş ve bu üç değerinde korozyon olasılığı yüksek olan -350 mV sınır değerinden daha negatif değerler aldığı görülmüştür. Sonuç olarak kullanılan bazalt lif miktarının artması ile katkısız olan numunelere oranla daha az negatif yarı hücre potansiyeli değerleri elde edilmiştir. Farklı beton serileri incelendiğinde bazalt lif miktarının artması ile daha az negatif değerler oluşurken bazalt lifinin korozyona karşı olumlu etkileri görülmüş ve korozyona karşı en dirençli beton serisinin % 2 bazalt lifli beton serisi olduğu görülmüştür.



Şekil 5.13. Betonların içerisindeki donatının yarı hücre potansiyeli değerinin bazalt lif miktarına göre değişimi.

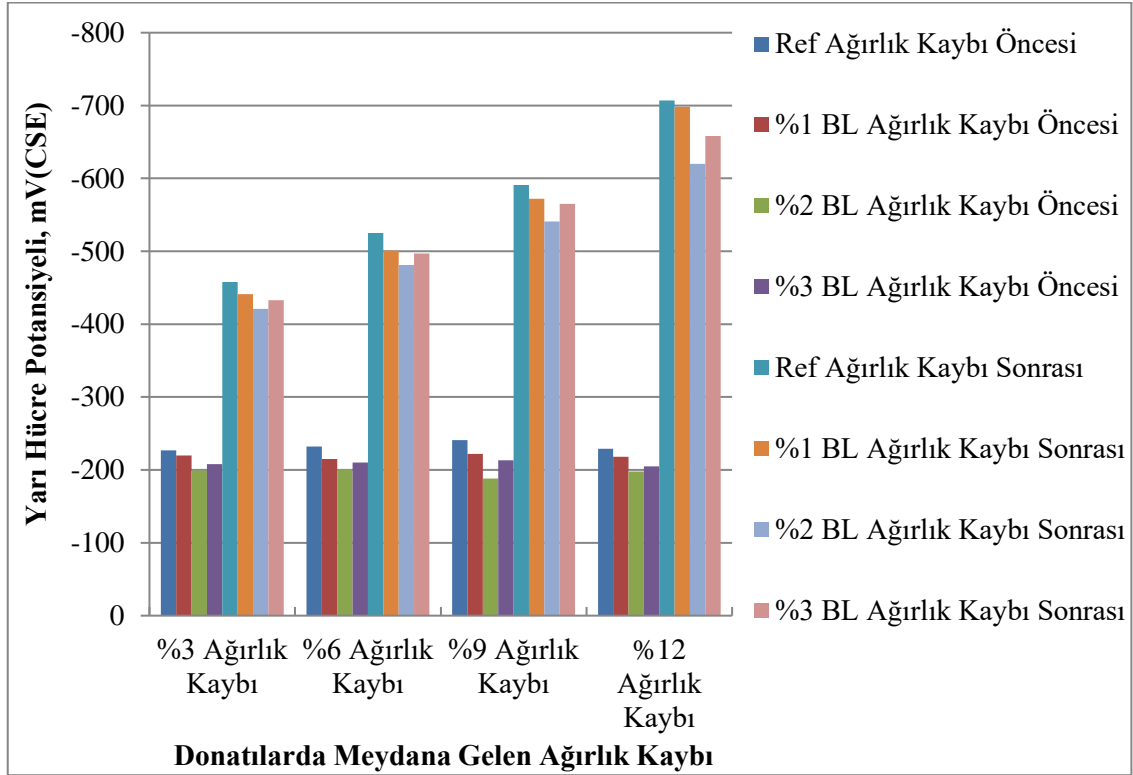
Şekil 5.13 incelendiğinde kür havuzlarından çıkarılan numuneler üzerinde yapılan ilk okumada sırasıyla -232, -215, -201 ve -210 mV değerleri elde edilmiş ve bu üç değerinde korozyonun belirgin olmadığı -200 ile -350 mV aralığında olduğu görülmüştür. Numuneler NaCl çözeltisinde % 6 ağırlık kayıpları oluşana dek bekletildikten sonra yarı hücre potansiyeli okumalarında sırasıyla -525, -501, -481 ve -497 mV değerleri elde edilmiş ve bu üç değerinde korozyon olasılığı yüksek olan -350 mV sınır değerinden daha negatif değerler aldığı görülmüştür. Sonuç olarak kullanılan bazalt lif miktarının artması ile katkısız olan numunelere oranla daha az negatif yarı hücre potansiyeli değerleri elde edilmiştir. Farklı beton serileri incelendiğinde bazalt lif miktarının artması ile daha az negatif değerler oluşurken bazalt lifinin korozyona karşı olumlu etkileri görülmüş ve korozyona karşı en dirençli beton serisinin % 2 bazalt lifli beton serisi olduğu görülmüştür.



Şekil 5.14. Betonların içerisindeki donatının yarı hücre potansiyeli değerinin bazalt lif miktarına göre değişimi.

Şekil 5.14 incelendiğinde kür havuzlarından çıkarılan numuneler üzerinde yapılan ilk okumada sırasıyla -227, -220, -199 ve -208 mV değerleri elde edilmiş ve bu üç değerinde korozyonun belirgin olmadığı -200 ile -350 mV aralığında olduğu görülmüştür. Numuneler NaCl çözeltisinde % 3 ağırlık kayıpları oluşana dek bekletildikten sonra yarı hücre potansiyeli okumalarında sırasıyla -458, -441, -421 ve -433 mV değerleri elde edilmiş ve bu üç değerinde korozyon olasılığı yüksek olan -350 mV sınır değerinden daha negatif değerler aldığı görülmüştür. Sonuç olarak kullanılan bazalt lif miktarının artması ile katkısız olan numunelere oranla daha az negatif yarı hücre potansiyeli değerleri elde edilmiştir. Farklı beton serileri incelendiğinde bazalt lif miktarının artması ile daha az negatif değerler oluşurken bazalt lifinin korozyona karşı olumlu etkileri görülmüş ve korozyona karşı en dirençli beton serisinin % 2 bazalt lifli beton serisi olduğu görülmüştür.

Şekil 5.15'de bütün serileri karşılaştırdığımızda, ağırlık kaybı öncesi yarı hücre potansiyeli değerleri ortalama sabit iken, ağırlık kaybı sonrası ise donatıların korozyona uğrama miktarları arttıkça doğrusal olarak daha düşük yarı hücre potansiyeli değerleri elde edilmiştir.

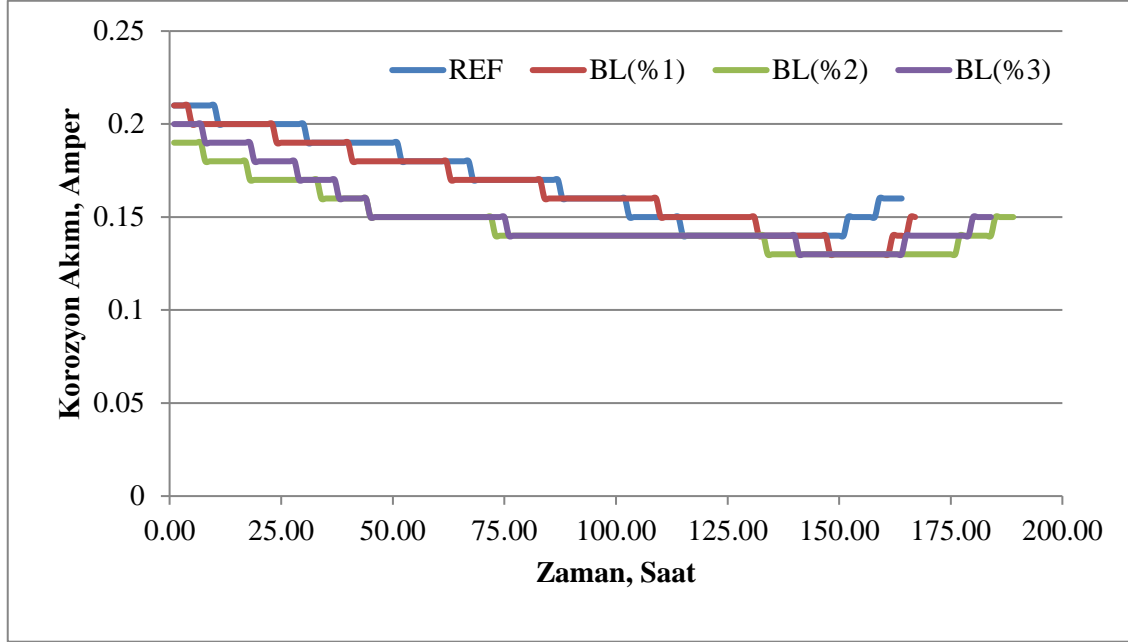


Şekil 5.15. Donatılarda meydana gelen ağırlık kayıplarına göre yarı hücre potansiyeli değerlerindeki değişim.

5.3.4. Hızlandırılmış korozyon

Katkısız ve bazalt lif katkılı betonların korozyon akımları ve hasar oluşum süreleri ile ilgili değerlendirmeler aşağıdaki bölümlerde verilmiştir. Hızlandırılmış korozyon deneyi sonunda silindir beton numuneler içerisindeki donatılarda hasar meydana gelmiştir. 150 x 300 mm boyutlarında üretilen silindir beton numuneler içerisinde 16 mm çapındaki donatılar numunenin alt tabanından 5 cm boşluk bırakılarak 25 cm'lik kısmı gömülerek üretilmiştir. Üretilen numuneler kirece doymun kür havuzlarında 28 gün bekledikten sonra havuzdan çıkarılan numuneler içerisinde % 5 konsantrasyonlu NaCl çözeltisi bulunan bir kaba konmuştur. Sisteme sabit 24 volt gerilim uygulayan doğru akım kaynağının pozitif kutupuna donatı çubuğu (çalışan elektrot) ve negatif kutupuna plakalar (karşıt elektrot) olacak şekilde bağlanmıştır. Bu devrede donatı çubuğu anot, plakalar katod ve NaCl çözeltisi de elektrolit görevini görmektedir. Ayrıca bu sisteme 8 adet solüsyon haznesi paralel olarak bağlanmış ve oluşturulan deney düzeneği ile 8 adet numunede aynı anda deney yapılmıştır. Hızlandırılmış korozyon düzeneğinde dirençler yardımı ile her bir numuneden geçen akım değerleri her saat başı toplanmıştır. Hızlandırılmış korozyon deney sonuçları Çizelge Ek 5, 6'da verilmiştir. Bu

sonuçlara göre % 12 ağırlık kaybı neticesinde oluşan korozyon akım değerinin zamana bağlı değişimi Şekil 5.16'da gösterilmiştir.



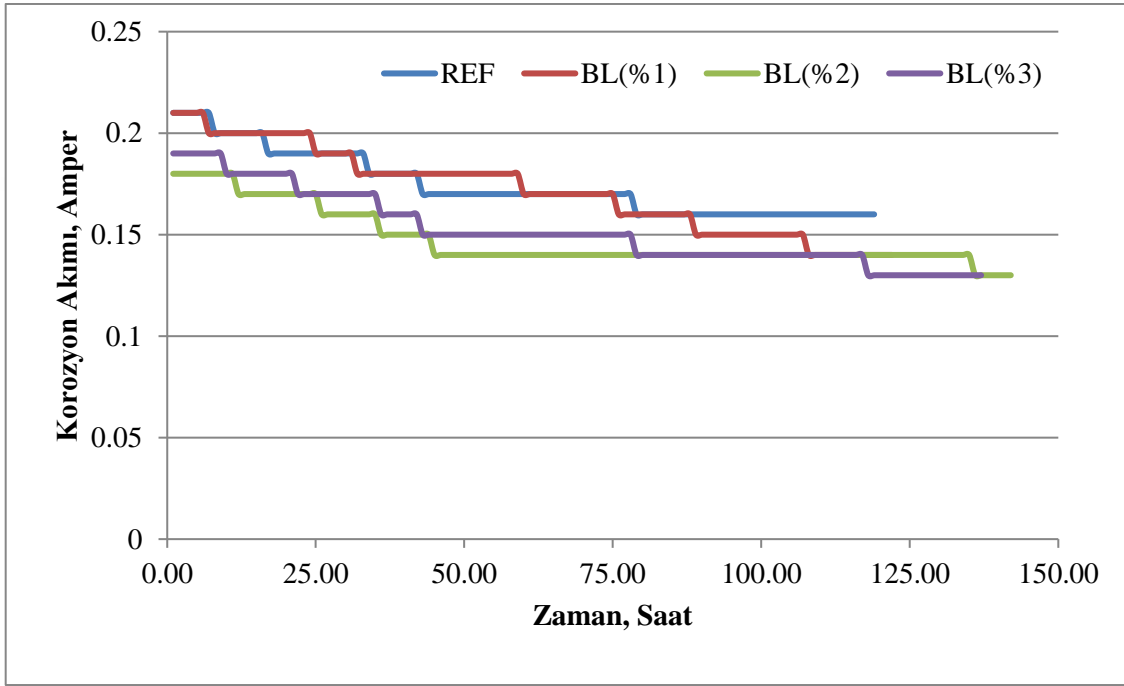
Şekil 5.16. Beton içindeki donatıda % 12 ağırlık kaybı oluşana kadar geçen sürede korozyon akımının değişimi.

Şekil 5.16 incelendiğinde, deney başlangıcında 28 günlük lifsiz numunelerin korozyon akım değeri 0,21 amper olurken % 1 lif katkılı numunelerin korozyon akım değeri 0,21 amper, % 2 lif katkılı numunelerin korozyon akım değeri 0,20 amper ve son olarak % 3 lif katkılı numunelerin korozyon akım değeri 0,19 amper olarak belirlenmiştir. Deney sonunda ise 28 günlük lifsiz numunelerin korozyon akım değeri 0,16 amper olurken % 1 lif katkılı numunelerin korozyon akım değeri 0,15 amper, % 2 lif katkılı numunelerin korozyon akım değeri 0,15 amper ve son olarak % 3 lif katkılı numunelerin korozyon akım değeri 0,15 amper değerlerine düştüğü tespit edilmiştir.

Şekil 5.16'da lifsiz numunelerin korozyon akım değerlerinin deney başlangıcından itibaren bir süre boyunca azalır, sonunda ani artışların olduğu gözükmektedir. Ancak % 1, 2, 3 lif katkılı numunelerde bu ani artışlardan önce korozyon akım değerlerinin belirli bir süre boyunca sabit gittiği ve ani artışların hemen olmadığı görülmüştür. Bunun nedeni ise beton içerisine belirli oranlarda dağılmış olan lifler matriste ilerleyen çatlakların yol açtığı gerilmeleri kendi üzerlerine aldıkları ve matrisin çatlamaş bölgelerine ilettikleri için ani artışlar hemen gerçekleşmemiştir. Sonuç olarak korozyon akım değerlerindeki ani artış, numunelerde oluşan

çatlakların iyice büyümesinden ve çözeltilerde bulunan Cl^- iyonlarının doğrudan donatıya ulaşmasından kaynaklanmaktadır. Bu sonuçlara göre bazalt lif oranı artması ile birlikte hasar oluşum sürelerinin arttığı gözükmektedir.

Hızlandırılmış korozyon deney sonuçlarına göre % 9 ağırlık kaybı neticesinde oluşan korozyon akım değerinin zamana bağlı değişimi Şekil 5.17'de gösterilmiştir.



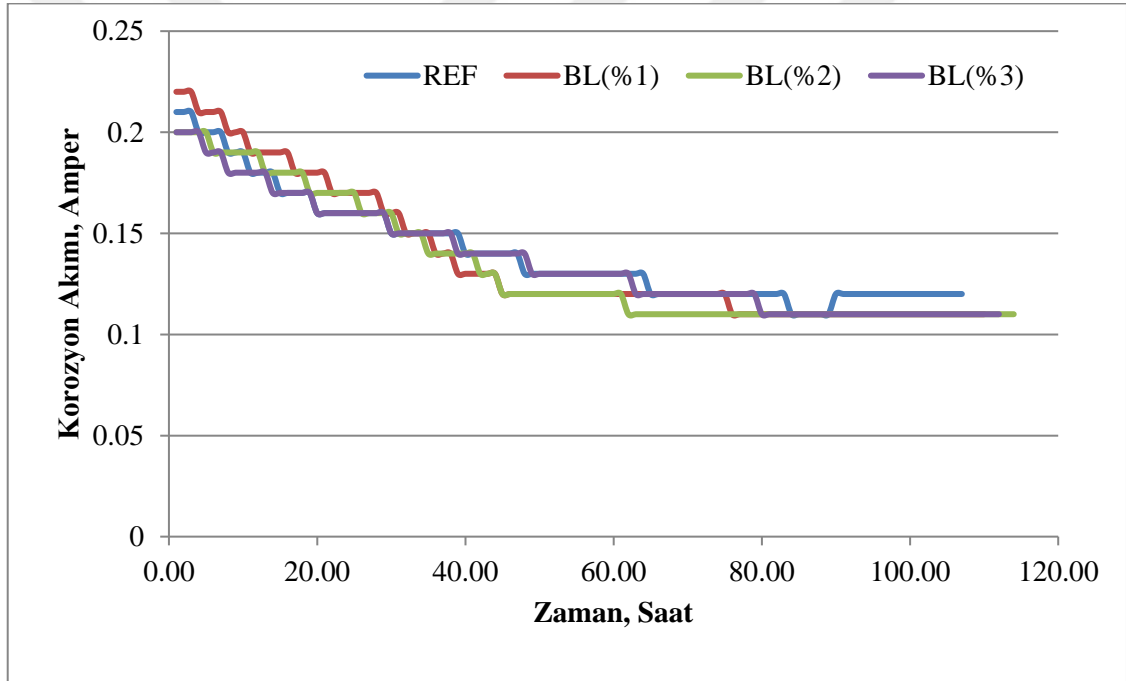
Şekil 5.17. Beton içindeki donatıda % 9 ağırlık kaybı oluşana kadar geçen sürede korozyon akımının değişimi.

Şekil 5.17 incelendiğinde, deney başlangıcında 28 günlük liffsiz numunelerin korozyon akım değeri 0,21 amper olurken % 1 lif katkılı numunelerin korozyon akım değeri 0,21 amper, % 2 lif katkılı numunelerin korozyon akım değeri 0,19 amper ve son olarak % 3 lif katkılı numunelerin korozyon akım değeri 0,18 amper olarak belirlenmiştir. Deney sonunda ise 28 günlük liffsiz numunelerin korozyon akım değeri 0,16 amper olurken % 1 lif katkılı numunelerin korozyon akım değeri 0,14 amper, % 2 lif katkılı numunelerin korozyon akım değeri 0,13 amper ve son olarak % 3 lif katkılı numunelerin korozyon akım değeri 0,13 amper değerlerine düştüğü tespit edilmiştir.

Şekil 5.17'de liffsiz numunelerin korozyon akım değerlerinin deney başlangıcından itibaren bir süre boyunca azalır, sonunda ani artışların olduğu gözükmektedir. Ancak % 1, 2, 3 lif katkılı numunelerde bu ani artışlardan önce korozyon akım değerlerinin belirli bir süre

boyunca sabit gittiği ve ani artışların hemen olmadığı görülmüştür. Bunun nedeni ise beton içerisine belirli oranlarda dağılmış olan lifler matriste ilerleyen çatlakın yol açtığı gerilmeleri kendi üzerlerine aldıkları ve matrisin çatlamamış bölgelerine ilettikleri için ani artışlar hemen gerçekleşmemiştir. Sonuç olarak korozyon akım değerlerindeki ani artış, numunelerde oluşan çatlakların iyice büyümesinden ve çözültide bulunan Cl^- iyonlarının doğrudan donatıya ulaşmasından kaynaklanmaktadır. Bu sonuçlara göre bazalt lif oranı artması ile birlikte hasar oluşum sürelerinin arttığı gözükmektedir.

Hızlandırılmış korozyon deney sonuçlarına göre % 6 ağırlık kaybı neticesinde oluşan korozyon akım değerinin zamana bağlı değişimi Şekil 5.18'de gösterilmiştir.

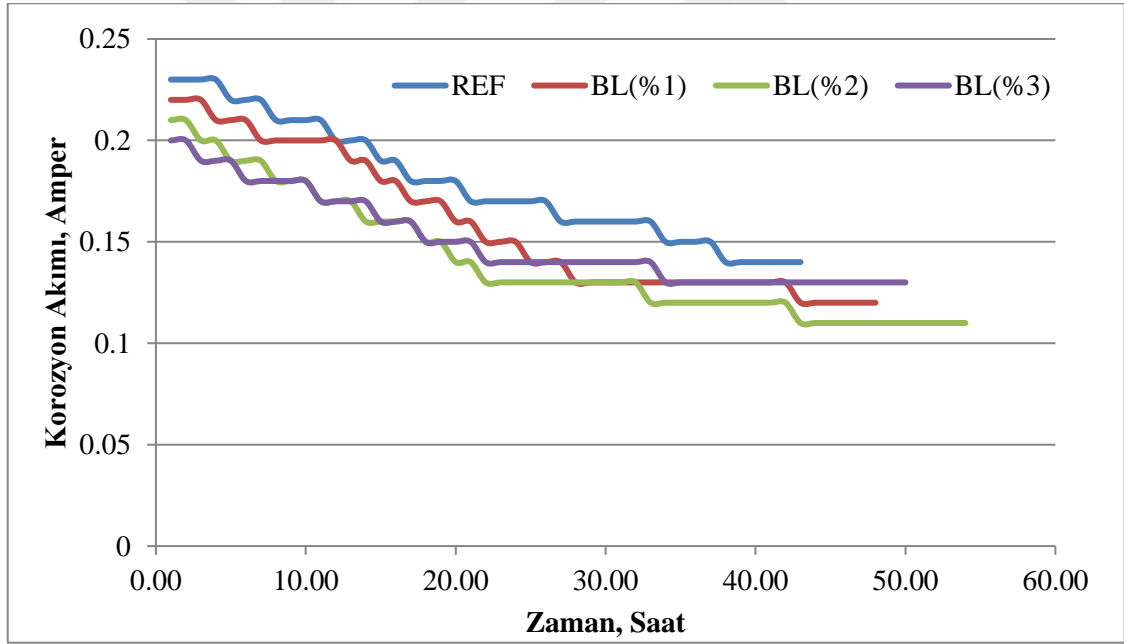


Şekil 5.18. Beton içindeki donatıda % 6 ağırlık kaybı oluşana kadar geçen sürede korozyon akımınının değişimi.

Şekil 5.18 incelendiğinde, deney başlangıcında 28 günlük lifsiz numunelerin korozyon akım değeri 0,21 amper olurken % 1 lif katkılı numunelerin korozyon akım değeri 0,22 amper, % 2 lif katkılı numunelerin korozyon akım değeri 0,20 amper ve son olarak % 3 lif katkılı numunelerin korozyon akım değeri 0,20 amper olarak belirlenmiştir. Deney sonunda ise 28 günlük lifsiz numunelerin korozyon akım değeri 0,12 amper olurken % 1 lif katkılı numunelerin korozyon akım değeri 0,11 amper, % 2 lif katkılı numunelerin korozyon akım değeri 0,11 amper ve son olarak % 3 lif katkılı numunelerin korozyon akım değeri 0,11 amper değerlerine düştüğü tespit edilmiştir.

Şekil 5.18'de lifsiz numunelerin korozyon akım değerlerinin deney başlangıcından itibaren bir süre boyunca azalıp, sonunda ani artışların olduğu gözükmektedir. Ancak % 1, 2, 3 lif katkılı numunelerde bu ani artışlardan önce korozyon akım değerlerinin belirli bir süre boyunca sabit gittiği ve ani artışların hemen olmadığı görülmüştür. Bunun nedeni ise beton içerisine belirli oranlarda dağılmış olan lifler matriste ilerleyen çatlakların yol açtığı gerilmeleri kendi üzerlerine aldıkları ve matrisin çatlamamış bölgelerine ilettikleri için ani artışlar hemen gerçekleşmemiştir. Sonuç olarak korozyon akım değerlerindeki ani artış, numunelerde oluşan çatlakların iyice büyümesinden ve çözültide bulunan Cl⁻ iyonlarının doğrudan donatıya ulaşmasından kaynaklanmaktadır. Bu sonuçlara göre bazalt lif oranı artması ile birlikte hasar oluşum sürelerinin arttığı gözükmektedir.

Hızlandırılmış korozyon deney sonuçlarına göre % 3 ağırlık kaybı neticesinde oluşan korozyon akım değerinin zamana bağlı değişimi Şekil 5.19'da gösterilmiştir.



Şekil 5.19. Beton içindeki donatıda % 3 ağırlık kaybı oluşana kadar geçen sürede korozyon akımının değişimi.

Şekil 5.19 incelendiğinde, deney başlangıcında 28 günlük lifsiz numunelerin korozyon akım değeri 0,23 amper olurken % 1 lif katkılı numunelerin korozyon akım değeri 0,22 amper, % 2 lif katkılı numunelerin korozyon akım değeri 0,21 amper ve son olarak % 3 lif katkılı numunelerin korozyon akım değeri 0,20 amper olarak belirlenmiştir. Deney sonunda ise 28 günlük lifsiz numunelerin korozyon akım değeri 0,14 amper olurken % 1 lif katkılı numunelerin korozyon

akım değeri 0,12 amper, % 2 lif katkılı numunelerin korozyon akım değeri 0,11 amper ve son olarak % 3 lif katkılı numunelerin korozyon akım değeri 0,13 amper değerlerine düştüğü tespit edilmiştir.

Şekil 5.19'da lifsiz numunelerin korozyon akım değerlerinin deney başlangıcından itibaren bir süre boyunca azalıp, sonunda ani artışların olduğu gözükmektedir. Ancak % 1, 2, 3 lif katkılı numunelerde bu ani artışlardan önce korozyon akım değerlerinin belirli bir süre boyunca sabit gittiği ve ani artışların hemen olmadığı görülmüştür. Bunun nedeni ise beton içerisine belirli oranlarda dağılmış olan lifler matriste ilerleyen çatlakın yol açtığı gerilmeleri kendi üzerlerine aldıkları ve matrisin çatlama b6lgelerine ilettikleri için ani artışlar hemen gerçekleşmemiştir. Sonuç olarak korozyon akım değerlerindeki ani artış, numunelerde oluşan çatlakların iyice büyümesinden ve çözeltide bulunan Cl⁻ iyonlarının doğrudan donatıya ulaşmasından kaynaklanmaktadır. Bu sonuçlara göre bazalt lif oranı artması ile birlikte hasar oluşum sürelerinin arttığı gözükmektedir. Şekiller incelendiğinde kullanılan bazalt lif miktarının artması ile birlikte korozyon akımlarının azaldığı görülmektedir. Buradan bazalt lif kullanımının yararlı olduğu gözükmektedir.

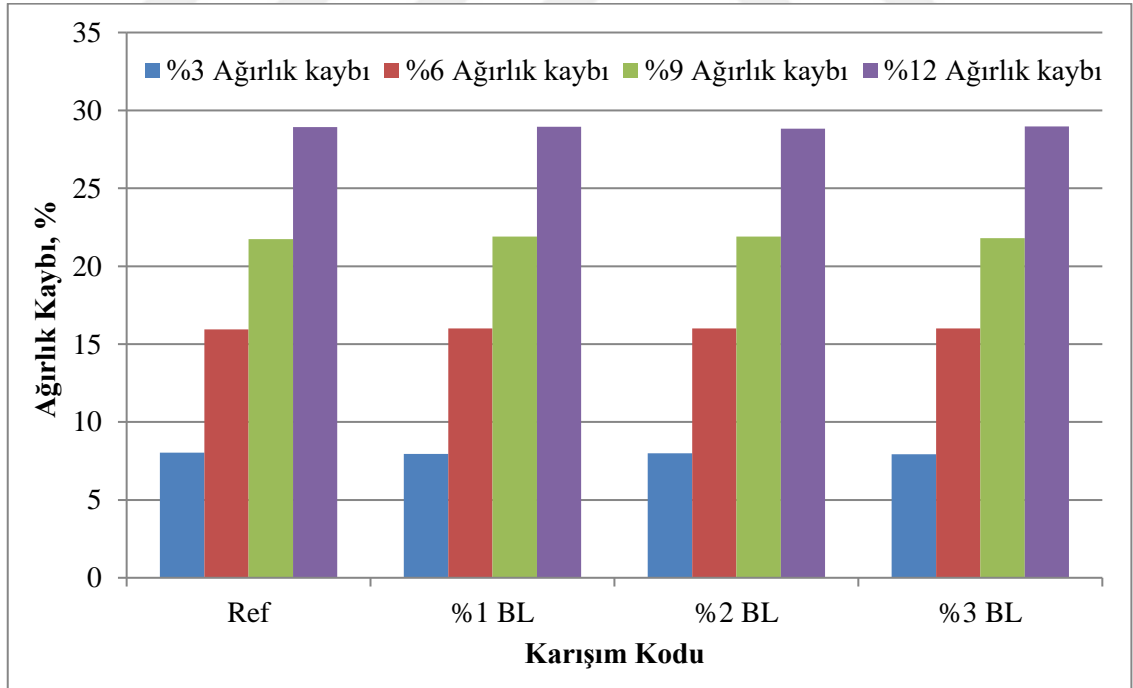
5.4. Aderans ve korozyona uğramış donatılarda çekme deneyi

Hızlandırılmış korozyon deneyi sonrasında hasara uğrayan donatılı beton numunelerinden donatılar aderans deneyine tabi tutularak çıkarılmıştır. Şekil 5.20'de görüldüğü gibi donatılar clarke çözeltisi içerisine bırakılıp donatı üzerindeki korozyon ürünleri tamamen kaybolunca donatılar çözelti içerisinden çıkarılıp ağırlıkları belirlenip meydana gelen kütle kaybı hesaplanmıştır.



Şekil 5.20. Clarke çözeltisi ile korozyon ürünlerinin temizlenmesi.

Donatılarda meydana gelen ağırlık kayıpları Şekil 5.21'de gösterilmiştir.



Şekil 5.21. Farklı karışım tipleri içerisinde korozyona uğrayan donatıların ağırlık kaybı miktarları.

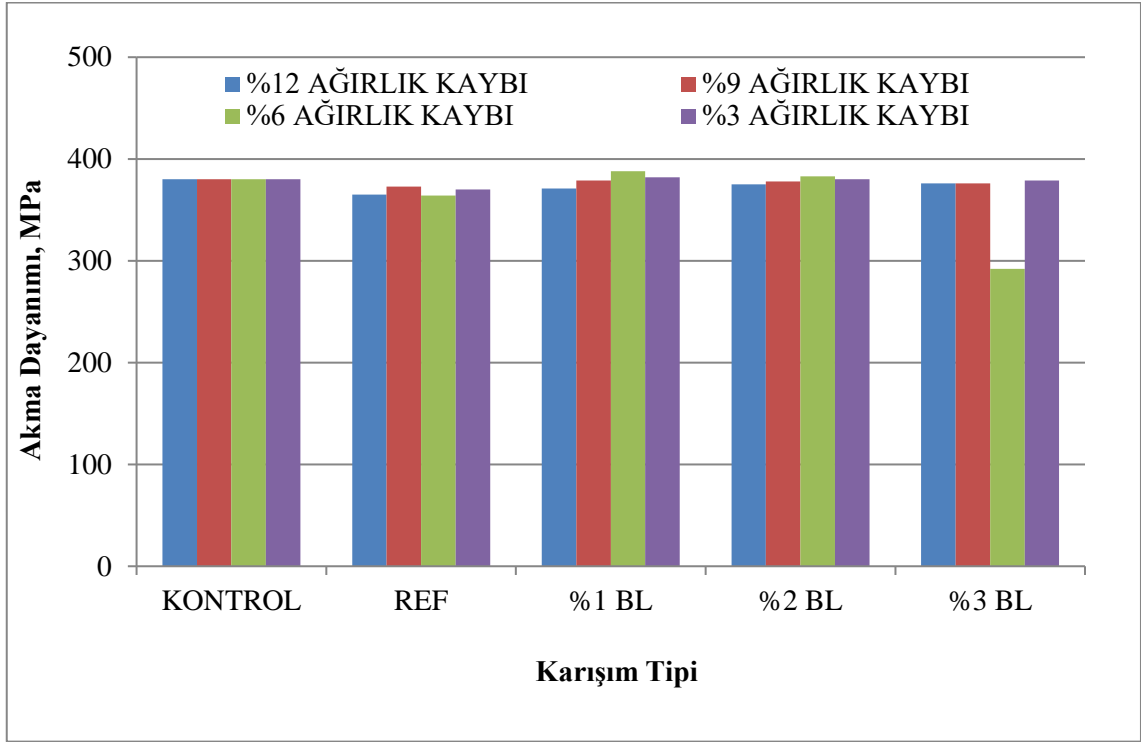
Şekil 5.21'de donatılarda oluşan teorik ağırlık kayıpları faraday formülü ile belirlenmiştir. Ağırlık kayıpları belirlendikten sonra 55 cm'lik donatının korozyona uğramayan 35 cm'lik kısmı

kesilmiştir ve geriye kalan 20 cm'lik kısımda çekme deneyleri yapılmıştır. Bu deneyde donatıların çekme, akma ve kopma dayanımları belirlenmiştir. Deney Şekil 5.22'deki çekme cihazında yapılmıştır. Korozyona uğramış donatıların çekme dayanımları hesaplanırken donatıların incelmış kesiti yerine gerekli karşılaştırmaların yapılabilmesi için ilk kesit alanı kullanılmıştır.



Şekil 5.22. Çelik çekme deneyi.

Hızlandırılmış korozyon deney sonuçlarına göre % 3, 6, 9, 12 ağırlık kayıpları meydana gelen donatılar üzerinde yapılan çekme deneyi sonucunda oluşan akma dayanımının lif içeriğine göre değişimi Şekil 5.23'de gösterilmiştir;



Şekil 5.23. Farklı tipteki beton karışımlarında korozyona uğrayan donatıların akma dayanımı.

Şekil 5.23’de karışım tiplerinde gösterilen kontrol ifadesinin anlamı hiç korozyona uğramayan donatı grubunu göstermektedir. % 12 ağırlık kaybı oluşan donatılarda akma dayanımının lif oranına göre değişimini incelediğimizde hiç korozyona uğramayan donatının akma dayanımı değeri 380 MPa olurken, 28 günlük lifsiz numunelerden çıkan donatının akma dayanımları 365 MPa, % 1 lif katkılı numunelerden çıkan donatının akma dayanımı 371 MPa, % 2 lif katkılı numunelerden çıkan donatıların akma dayanımı 375 MPa, ve son olarak % 3 lif katkılı numunelerden çıkan donatının akma dayanımı 376 MPa olarak belirlenmiştir. Hiç korozyona uğramayan donatıların akma dayanımları baz alındığında, bazalt lif katkısız 28 günlük numunelerden çıkan donatının akma dayanımlarında % 4,1 oranında azalış olurken, % 1 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının akma dayanımında % 2,4 oranında azalış, % 2 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının akma dayanımında % 1,3 oranında azalış meydana gelirken, % 3 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatılardaki akma dayanımı % 1,1 oranında azalışa sebep olduğu tespit edilmiştir.

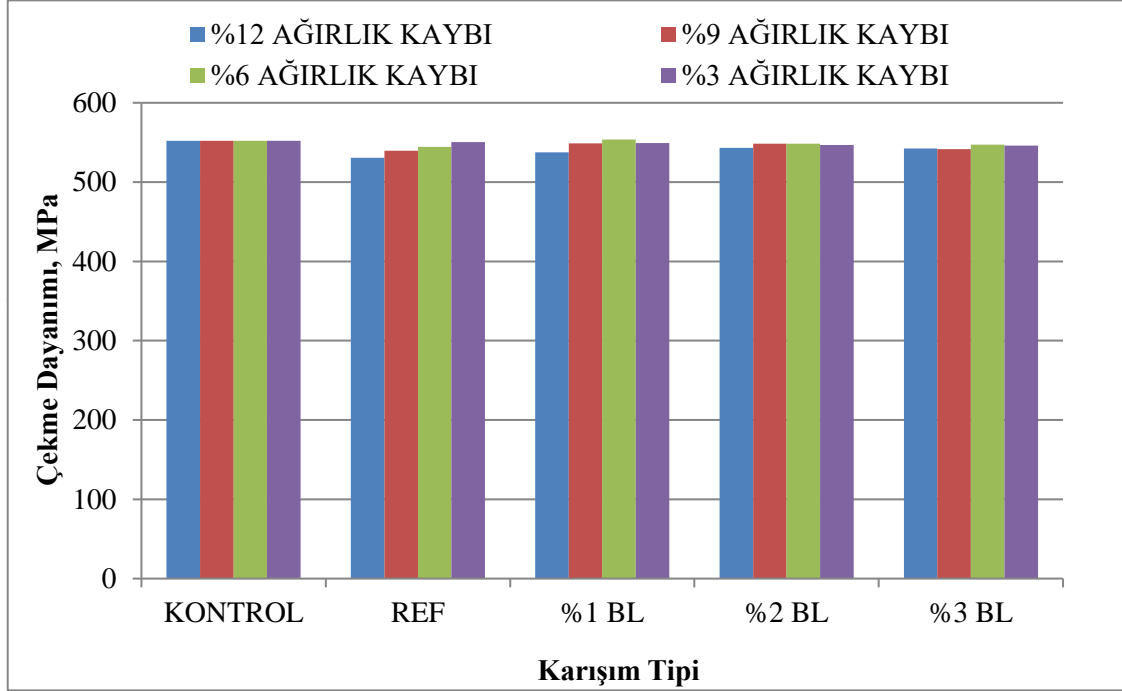
% 9 ağırlık kaybı oluşan donatılarda akma dayanımının lif oranına göre değişimini incelediğimizde hiç korozyona uğramayan donatının akma dayanımı değeri 380 MPa olurken, 28 günlük lifsiz numunelerden çıkan donatının akma dayanımları 373 MPa, % 1 lif katkılı numunelerden çıkan donatının akma dayanımı 379 MPa, % 2 lif katkılı numunelerden çıkan

donatıların akma dayanımı 378 MPa, ve son olarak % 3 lif katkılı numunelerden çıkan donatının akma dayanımı 376 MPa olarak belirlenmiştir. Hiç korozyona uğramayan donatıların akma dayanımları baz alındığında, bazalt lif katkısız 28 günlük numunelerden çıkan donatının akma dayanımlarında % 1,9 oranında azalış olurken, % 1 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının akma dayanımında % 0,3 oranında azalış, % 2 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının akma dayanımında % 0,5 oranında azalış meydana gelirken, % 3 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatılardaki akma dayanımı % 1,1 oranında azalışa sebep olduğu tespit edilmiştir.

% 6 ağırlık kaybı oluşan donatılarda akma dayanımının lif oranına göre değişimini incelediğimizde hiç korozyona uğramayan donatının akma dayanımı değeri 380 MPa olurken, 28 günlük lifsiz numunelerden çıkan donatının akma dayanımları 364 MPa, % 1 lif katkılı numunelerden çıkan donatının akma dayanımı 388 MPa, % 2 lif katkılı numunelerden çıkan donatıların akma dayanımı 383 MPa, ve son olarak % 3 lif katkılı numunelerden çıkan donatının akma dayanımı 292 MPa olarak belirlenmiştir. Hiç korozyona uğramayan donatıların akma dayanımları baz alındığında, bazalt lif katkısız 28 günlük numunelerden çıkan donatının akma dayanımlarında % 4,4 oranında azalış olurken, % 1 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının akma dayanımında % 2,1 oranında artış, % 2 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının akma dayanımında % 0,8 oranında artış meydana gelirken, % 3 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatılardaki akma dayanımı % 30 oranında azalışa sebep olduğu tespit edilmiştir.

% 3 ağırlık kaybı oluşan donatılarda akma dayanımının lif oranına göre değişimini incelediğimizde hiç korozyona uğramayan donatının akma dayanımı değeri 380 MPa olurken, 28 günlük lifsiz numunelerden çıkan donatının akma dayanımları 370 MPa, % 1 lif katkılı numunelerden çıkan donatının akma dayanımı 382 MPa, % 2 lif katkılı numunelerden çıkan donatıların akma dayanımı 380 MPa, ve son olarak % 3 lif katkılı numunelerden çıkan donatının akma dayanımı 379 MPa olarak belirlenmiştir. Hiç korozyona uğramayan donatıların akma dayanımları baz alındığında, bazalt lif katkısız 28 günlük numunelerden çıkan donatının akma dayanımlarında % 2,7 oranında azalış olurken, % 1 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının akma dayanımında % 0,5 oranında artış, % 2 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının akma dayanımında değişme meydana gelmez iken, % 3 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatılardaki akma dayanımı % 0,3 oranında azalışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Şekile bakıldığında akma dayanımında en fazla düşüşün referans beton serilerine ait olduğu gözüküyor. Bazalt lif miktarının artışı ile akma dayanımlarında iyileşmeler olduğu görülmektedir.

Hızlandırılmış korozyon deney sonuçlarına göre % 3, 6, 9, 12 ağırlık kayıpları meydana gelen donatılar üzerinde yapılan çekme deneyi sonucunda oluşan çekme dayanımının lif içeriğine göre değişimi Şekil 5.24'de gösterilmiştir;



Şekil 5.24. Farklı tipteki beton karışımlarında korozyona uğrayan donatıların çekme dayanımı.

Şekil 5.24'de karışım tiplerinde gösterilen kontrol ifadesinin anlamı hiç korozyona uğramayan donatı grubunu göstermektedir. % 12 ağırlık kaybı oluşan donatılarda çekme dayanımının lif oranına göre değişimini incelediğimizde hiç korozyona uğramayan donatının akma dayanımı değeri 552 MPa olurken, 28 günlük lifsiz numunelerden çıkan donatının çekme dayanımları 531 MPa, % 1 lif katkılı numunelerden çıkan donatının çekme dayanımı 538 MPa, % 2 lif katkılı numunelerden çıkan donatıların çekme dayanımı 543 MPa, ve son olarak % 3 lif katkılı numunelerden çıkan donatının çekme dayanımı 543 MPa olarak belirlenmiştir. Hiç korozyona uğramayan donatıların çekme dayanımları baz alındığında, bazalt lif katkısız 28 günlük numunelerden çıkan donatının çekme dayanımlarında % 4 oranında azalış olurken, % 1 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının çekme dayanımında % 2,6 oranında azalış, % 2 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının çekme dayanımında % 1,7 oranında azalış meydana gelirken, % 3 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatılardaki çekme dayanımı % 1,7 oranında azalışa sebep olduğu tespit edilmiştir.

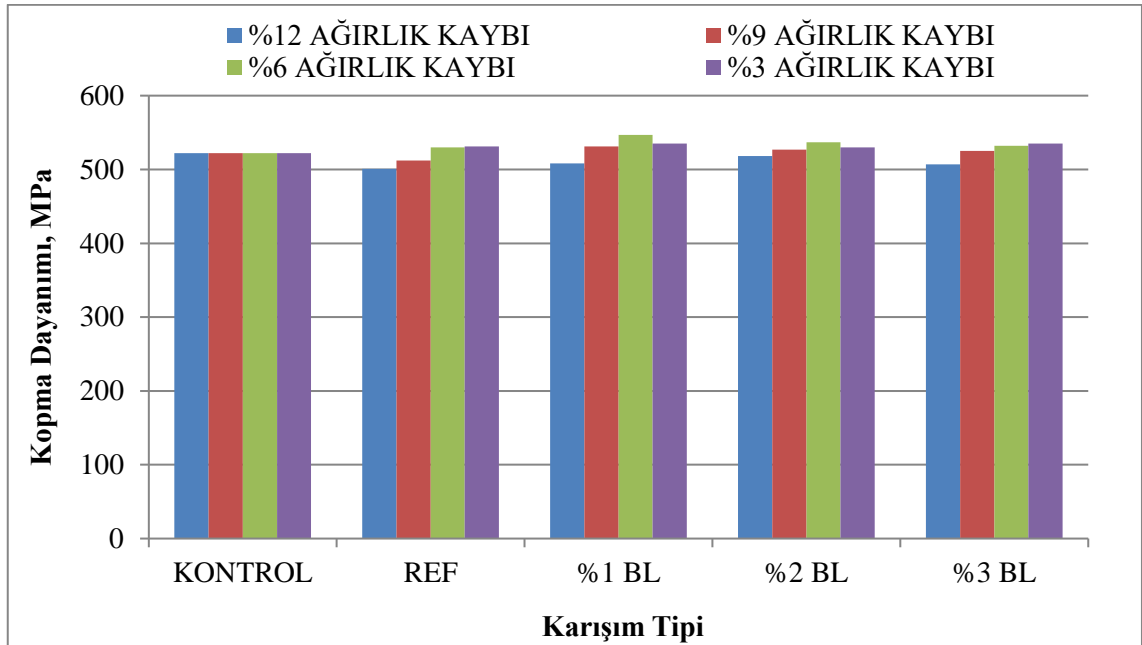
% 9 ağırlık kaybı oluşan donatılarda çekme dayanımının lif oranına göre değişimini incelediğimizde hiç korozyona uğramayan donatının akma dayanımı değeri 552 MPa olurken, 28 günlük lifsiz numunelerden çıkan donatının çekme dayanımları 540 MPa, % 1 lif katkılı numunelerden çıkan donatının çekme dayanımı 549 MPa, % 2 lif katkılı numunelerden çıkan donatıların çekme dayanımı 549 MPa, ve son olarak % 3 lif katkılı numunelerden çıkan donatının çekme dayanımı 542 MPa olarak belirlenmiştir. Hiç korozyona uğramayan donatıların çekme dayanımları baz alındığında, bazalt lif katkısız 28 günlük numunelerden çıkan donatının çekme dayanımlarında % 2,2 oranında azalış olurken, % 1 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının çekme dayanımında % 0,5 oranında azalış, % 2 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının çekme dayanımında % 0,5 oranında azalış meydana gelirken, % 3 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatılardaki çekme dayanımı % 1,8 oranında azalışa sebep olduğu tespit edilmiştir.

% 6 ağırlık kaybı oluşan donatılarda çekme dayanımının lif oranına göre değişimini incelediğimizde hiç korozyona uğramayan donatının akma dayanımı değeri 552 MPa olurken, 28 günlük lifsiz numunelerden çıkan donatının çekme dayanımları 544 MPa, % 1 lif katkılı numunelerden çıkan donatının çekme dayanımı 554 MPa, % 2 lif katkılı numunelerden çıkan donatıların çekme dayanımı 548 MPa, ve son olarak % 3 lif katkılı numunelerden çıkan donatının çekme dayanımı 547 MPa olarak belirlenmiştir. Hiç korozyona uğramayan donatıların çekme dayanımları baz alındığında, bazalt lif katkısız 28 günlük numunelerden çıkan donatının çekme dayanımlarında % 1,5 oranında azalış olurken, % 1 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının çekme dayanımında % 0,4 oranında artış, % 2 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının çekme dayanımında % 0,7 oranında azalış meydana gelirken, % 3 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatılardaki çekme dayanımı % 0,9 oranında azalışa sebep olduğu tespit edilmiştir.

% 3 ağırlık kaybı oluşan donatılarda çekme dayanımının lif oranına göre değişimini incelediğimizde hiç korozyona uğramayan donatının akma dayanımı değeri 552 MPa olurken, 28 günlük lifsiz numunelerden çıkan donatının çekme dayanımları 550 MPa, % 1 lif katkılı numunelerden çıkan donatının çekme dayanımı 549 MPa, % 2 lif katkılı numunelerden çıkan donatıların çekme dayanımı 547 MPa, ve son olarak % 3 lif katkılı numunelerden çıkan donatının çekme dayanımı 546 MPa olarak belirlenmiştir. Hiç korozyona uğramayan donatıların çekme dayanımları baz alındığında, bazalt lif katkısız 28 günlük numunelerden çıkan donatının çekme dayanımlarında % 0,4 oranında azalış olurken, % 1 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının çekme dayanımında % 0,5 oranında azalış, % 2 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının çekme dayanımında % 0,9 oranında azalış meydana

gelirken, % 3 bazalt lif katkıli 28 günlük numunelerden çıkan donatılardaki çekme dayanımı % 1,1 oranında azalışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak bazalt lif miktarının artışı ile birlikte donatıların çekme dayanımlarının arttığı gözükmemektedir. Üretilen beton numunelerinin içindeki donatıların korozyon nedeni ile ağırlık kayıpları arttıkça kesit kayıpları da artmıştır ve dolayısıyla çekme dayanımları azalmıştır.

Hızlandırılmış korozyon deney sonuçlarına göre % 3, 6, 9, 12 ağırlık kayıpları meydana gelen donatılar üzerinde yapılan çekme deneyi sonucunda oluşan kopma dayanımının lif içeriğine göre değişimi Şekil 5.25'de gösterilmiştir;



Şekil 5.25. Farklı tipteki beton karışımlarında korozyona uğrayan donatıların kopma dayanımı.

Şekil 5.25'de karışım tiplerinde gösterilen kontrol ifadesinin anlamı hiç korozyona uğramayan donatı grubunu göstermektedir. % 12 ağırlık kaybı oluşan donatılarda kopma dayanımının lif oranına göre değişimini incelediğimizde hiç korozyona uğramayan donatının kopma dayanımı değeri 522 MPa olurken, 28 günlük liffsiz numunelerden çıkan donatının kopma dayanımları 501 MPa, % 1 lif katkıli numunelerden çıkan donatının kopma dayanımı 508 MPa, % 2 lif katkıli numunelerden çıkan donatıların kopma dayanımı 518 MPa, ve son olarak % 3 lif katkıli numunelerden çıkan donatının kopma dayanımı 507 MPa olarak belirlenmiştir. Hiç korozyona uğramayan donatıların kopma dayanımları baz alındığında, bazalt lif katkısiz 28 günlük numunelerden çıkan donatının kopma dayanımlarında % 4,2 oranında azalış olurken, % 1 bazalt lif katkıli 28 günlük numunelerden çıkan donatının kopma dayanımında % 2,8 oranında azalış,

% 2 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının kopma dayanımında % 0,8 oranında azalış meydana gelirken, % 3 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatılardaki kopma dayanımı % 2,9 oranında azalışa sebep olduğu tespit edilmiştir.

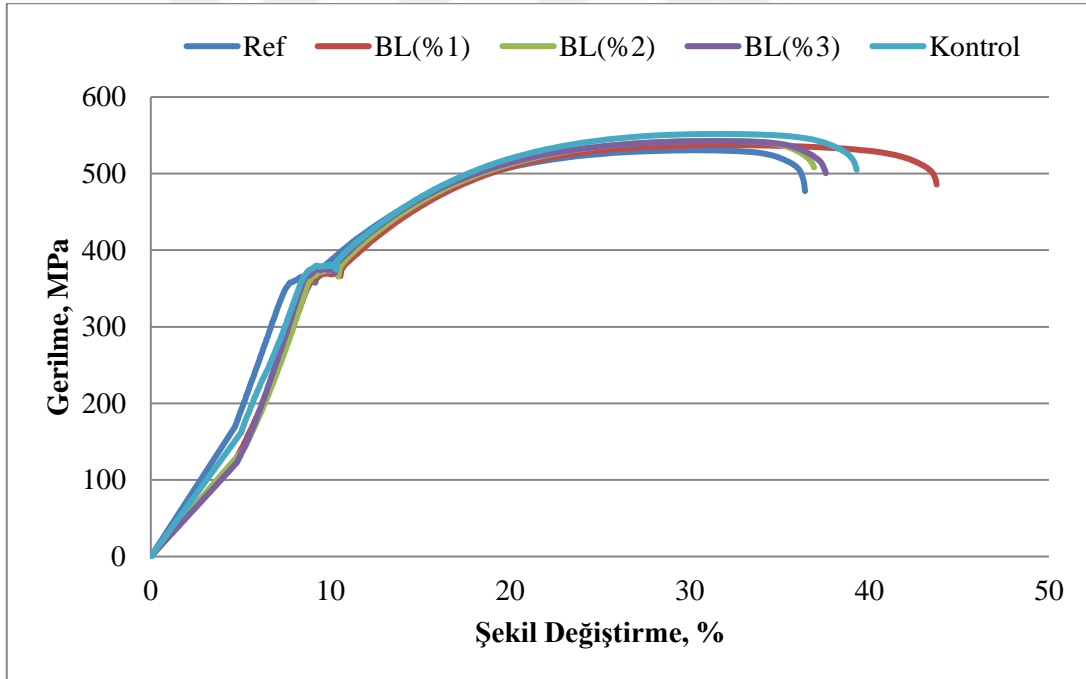
% 9 ağırlık kaybı oluşan donatılarda kopma dayanımının lif oranına göre değişimini incelediğimizde hiç korozyona uğramayan donatının kopma dayanımı değeri 522 MPa olurken, 28 günlük lifsiz numunelerden çıkan donatının kopma dayanımları 512 MPa, % 1 lif katkılı numunelerden çıkan donatının kopma dayanımı 531 MPa, % 2 lif katkılı numunelerden çıkan donatıların kopma dayanımı 527 MPa, ve son olarak % 3 lif katkılı numunelerden çıkan donatının kopma dayanımı 525 MPa olarak belirlenmiştir. Hiç korozyona uğramayan donatıların kopma dayanımları baz alındığında, bazalt lif katkısız 28 günlük numunelerden çıkan donatının kopma dayanımlarında % 1,9 oranında azalış olurken, % 1 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının kopma dayanımında % 1,7 oranında artış, % 2 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının kopma dayanımında % 0,9 oranında artış meydana gelirken, % 3 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatılardaki kopma dayanımı % 0,6 oranında artışa sebep olduğu tespit edilmiştir.

% 6 ağırlık kaybı oluşan donatılarda kopma dayanımının lif oranına göre değişimini incelediğimizde hiç korozyona uğramayan donatının kopma dayanımı değeri 522 MPa olurken, 28 günlük lifsiz numunelerden çıkan donatının kopma dayanımları 530 MPa, % 1 lif katkılı numunelerden çıkan donatının kopma dayanımı 547 MPa, % 2 lif katkılı numunelerden çıkan donatıların kopma dayanımı 537 MPa, ve son olarak % 3 lif katkılı numunelerden çıkan donatının kopma dayanımı 532 MPa olarak belirlenmiştir. Hiç korozyona uğramayan donatıların kopma dayanımları baz alındığında, bazalt lif katkısız 28 günlük numunelerden çıkan donatının kopma dayanımlarında % 1,53 oranında artış olurken, % 1 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının kopma dayanımında % 4,8 oranında artış, % 2 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının kopma dayanımında % 2,9 oranında artış meydana gelirken, % 3 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatılardaki kopma dayanımı % 1,9 oranında artışa sebep olduğu tespit edilmiştir.

% 3 ağırlık kaybı oluşan donatılarda kopma dayanımının lif oranına göre değişimini incelediğimizde hiç korozyona uğramayan donatının kopma dayanımı değeri 522 MPa olurken, 28 günlük lifsiz numunelerden çıkan donatının kopma dayanımları 531 MPa, % 1 lif katkılı numunelerden çıkan donatının kopma dayanımı 535 MPa, % 2 lif katkılı numunelerden çıkan donatıların kopma dayanımı 530 MPa, ve son olarak % 3 lif katkılı numunelerden çıkan donatının kopma dayanımı 535 MPa olarak belirlenmiştir. Hiç korozyona uğramayan

donatıların kopma dayanımları baz alındığında, bazalt lif katkısız 28 günlük numunelerden çıkan donatının kopma dayanımlarında % 1,7 oranında artış olurken, % 1 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının kopma dayanımında % 2,5 oranında artış, % 2 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının kopma dayanımında % 1,5 oranında artış meydana gelirken, % 3 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatılardaki kopma dayanımı % 2,5 oranında artışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak kopma dayanımlarının bazalt lif ilavesi ile üretilen serilerde daha iyi olduğu gözükmektedir.

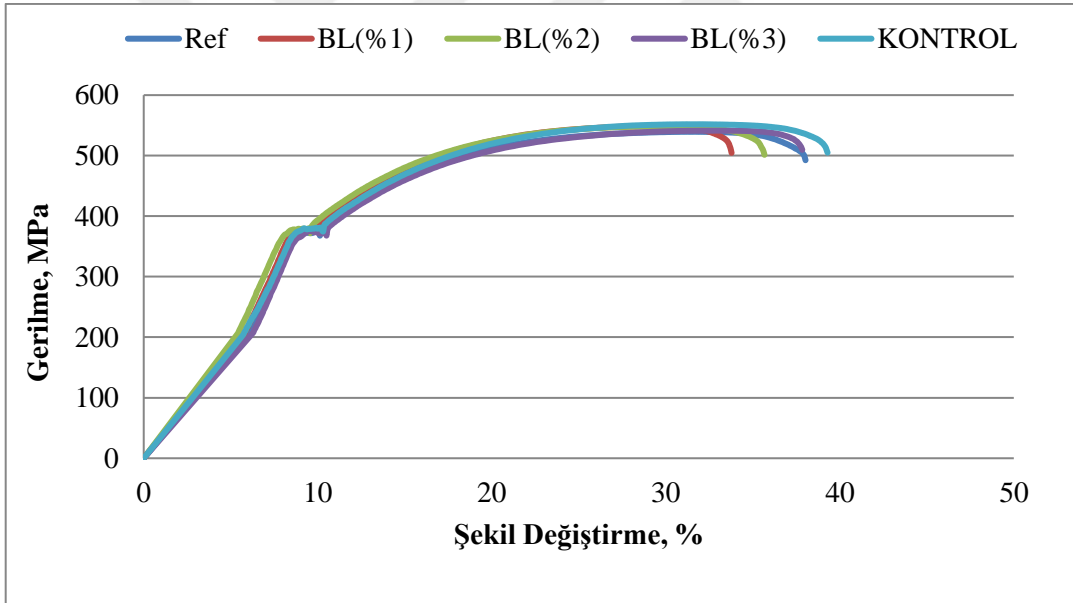
Çekme deneyi yapılan her bir donatının ayrıca gerilme şekil değiştirme diyagramları da çizilmiştir. Diyagramlar Şekil 5.26-5.29'da gösterilmiştir. Ref, BL(%1), BL(%2), BL(%3) kodları farklı beton karışımlarında korozyona uğramış donatıların gerilme şekil değiştirme diyagramlarını belirtirken Kontrol kodu ise hiç korozyona uğramayan donatının gerilme şekil değiştirme diyagramını göstermektedir.



Şekil 5.26. Hızlandırılmış korozyon deneyinde % 12 ağırlık kaybına uğrayan donatıların gerilme-şekil değiştirme diyagramı.

Şekil 5.26'da korozyona uğramayan donatı ile katkısız ve bazalt lif katkılı beton numunelerinin içerisinde korozyona uğrayan donatıların gerilme-şekil değiştirme diyagramları gösterilmiştir. % 12 ağırlık kaybı oluşan donatılarda gerilme şekil değiştirme grafiğini incelediğimizde hiç korozyona uğramayan donatının şekil değiştirme oranı % 39 olurken, 28 günlük liffsiz numunelerden çıkan donatının şekil değiştirme oranı % 36, % 1 lif katkılı numunelerden çıkan

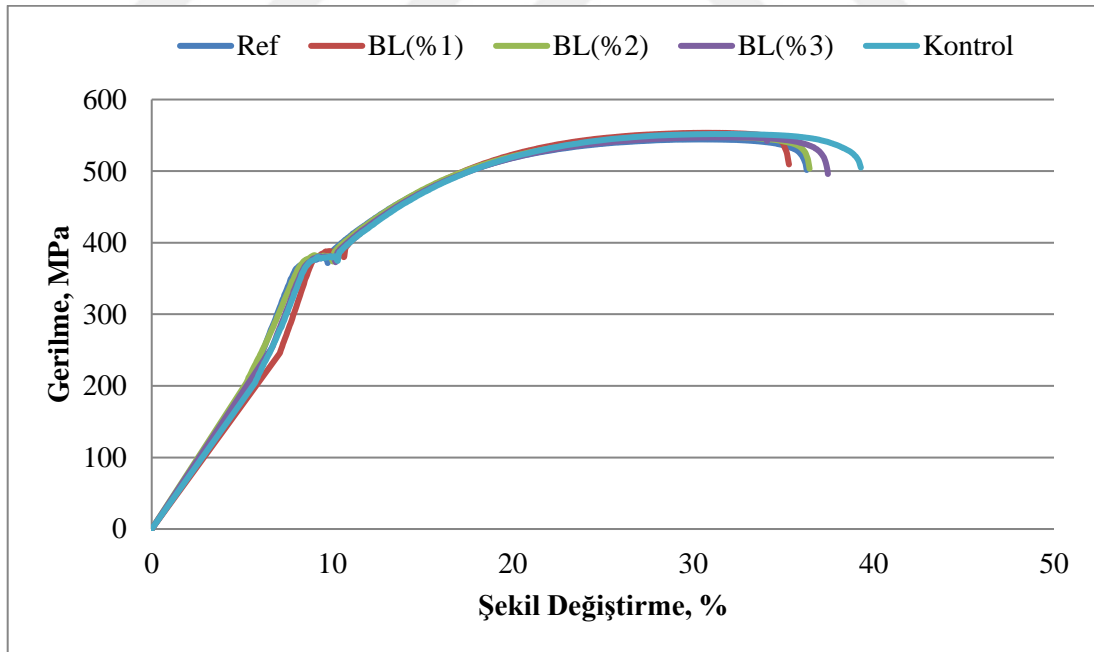
donatının kopma gerilmesi değerine karşılık gelen şekil değiştirme oranı % 43,2, % 2 lif katkılı numunelerden çıkan donatıların kopma gerilmesi değerine karşılık gelen şekil değiştirme oranı % 37 ve son olarak % 3 lif katkılı numunelerden çıkan donatının kopma gerilmesi değerine karşılık gelen şekil değiştirme oranı % 38 olarak belirlenmiştir. Hiç korozyona uğramayan donatıların kopma dayanımına karşılık gelen şekil değiştirme oranı baz alındığında, bazalt lif katkısız 28 günlük numunelerden çıkan donatının kopma dayanımına karşılık gelen şekil değiştirme oranında % 8,3 oranında azalış olurken, % 1 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının kopma dayanımına karşılık gelen şekil değiştirme oranında % 10,8 oranında artış, % 2 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının kopma dayanımına karşılık gelen şekil değiştirme oranında % 5,4 oranında azalış meydana gelirken, % 3 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatılardaki kopma dayanımına karşılık gelen şekil değiştirme oranında % 2,6 oranında azalışa sebep olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.27. Hızlandırılmış korozyon deneyinde % 9 ağırlık kaybına uğrayan donatıların gerilme-şekil değiştirme diyagramı.

Şekil 5.27'de korozyona uğramayan donatı ile katkısız ve bazalt lif katkılı beton numunelerin içerisinde korozyona uğrayan donatıların gerilme-şekil değiştirme diyagramları gösterilmiştir. % 9 ağırlık kaybı oluşan donatılarda gerilme şekil değiştirme grafiğini incelediğimizde hiç korozyona uğramayan donatının kopma gerilmesi değerine karşılık gelen şekil değiştirme oranı % 39 olurken, 28 günlük lifsiz numunelerden çıkan donatının kopma gerilmesi değerine karşılık gelen şekil değiştirme oranı % 37,4, % 1 lif katkılı numunelerden çıkan donatının kopma gerilmesi değerine karşılık gelen şekil değiştirme oranı % 33, % 2 lif katkılı numunelerden

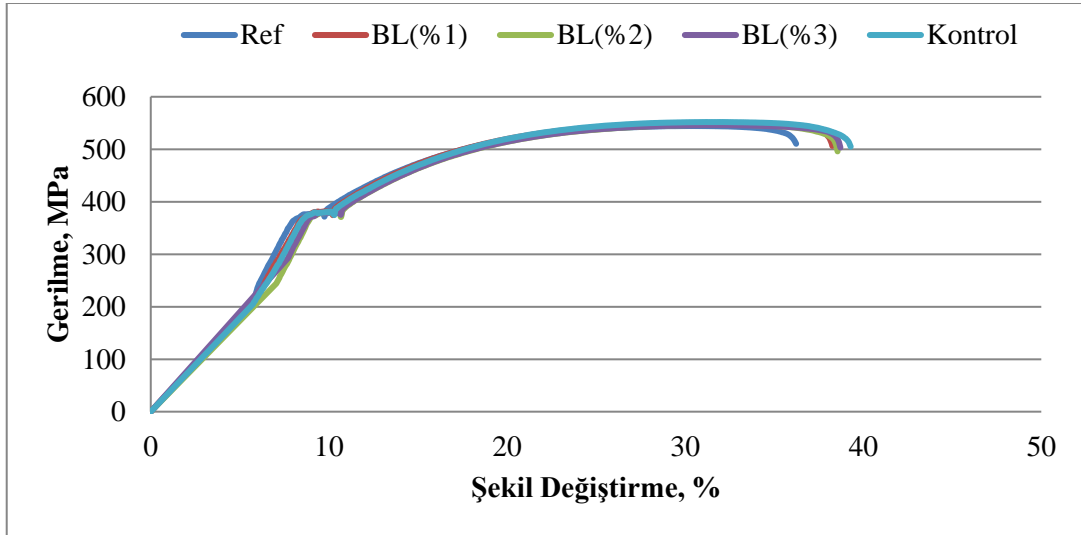
çıkan donatıların kopma gerilmesi değerine karşılık gelen şekil değiştirme oranı % 35 ve son olarak % 3 lif katkıli numunelerden çıkan donatının kopma gerilmesi değerine karşılık gelen şekil değiştirme oranı % 37,4 olarak belirlenmiştir. Hiç korozyona uğramayan donatıların kopma dayanımına karşılık gelen şekil değiştirme oranı baz alındığında, bazalt lif katkısiz 28 günlük numunelerden çıkan donatının kopma dayanımına karşılık gelen şekil değiştirme oranında % 4,27 oranında azalış olurken, % 1 bazalt lif katkıli 28 günlük numunelerden çıkan donatının kopma dayanımına karşılık gelen şekil değiştirme oranında % 18,2 oranında azalış, % 2 bazalt lif katkıli 28 günlük numunelerden çıkan donatının kopma dayanımına karşılık gelen şekil değiştirme oranında % 11,4 oranında azalış meydana gelirken, % 3 bazalt lif katkıli 28 günlük numunelerden çıkan donatılardaki kopma dayanımına karşılık gelen şekil değiştirme oranında % 4,3 oranında azalışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak hiç korozyona uğramayan kontrol numunelerine en yakın sonuçlar % 1 ve % 2 bazalt lif katkıli seriler olduğu görülmüştür. Kullanılan bazalt lif miktarı arttıkça donatıların korozyona karşı dayanıklılıklarının arttığı bu şekilden de görülmektedir. Katkısız olarak üretilen seriden elde edilen dayanım kontrol numunesinin altında kalmıştır.



Şekil 5.28. Hızlandırılmış korozyon deneyinde % 6 ağırlık kaybına uğrayan donatıların gerilme-şekil değiştirme diyagramı.

Şekil 5.28'de korozyona uğramayan donatı ile katkısiz ve bazalt lif katkıli beton numunelerinin içerisinde korozyona uğrayan donatıların gerilme-şekil değiştirme diyagramları gösterilmiştir. % 6 ağırlık kaybı oluşan donatılarda gerilme şekil değiştirme grafiğini incelediğimizde hiç

korozyona uğramayan donatının kopma gerilmesi değerine karşılık gelen şekil değiştirme oranı % 39 olurken, 28 günlük lifsiz numunelerden çıkan donatının kopma gerilmesi değerine karşılık gelen şekil değiştirme oranı % 35,6, % 1 lif katkılı numunelerden çıkan donatının kopma gerilmesi değerine karşılık gelen şekil değiştirme oranı % 34, % 2 lif katkılı numunelerden çıkan donatıların kopma gerilmesi değerine karşılık gelen şekil değiştirme oranı % 35,7 ve son olarak % 3 lif katkılı numunelerden çıkan donatının kopma gerilmesi değerine karşılık gelen şekil değiştirme oranı % 36,8 olarak belirlenmiştir. Hiç korozyona uğramayan donatıların kopma dayanımına karşılık gelen şekil değiştirme oranı baz alındığında, bazalt lif katkısız 28 günlük numunelerden çıkan donatının kopma dayanımına karşılık gelen şekil değiştirme oranında % 9,6 oranında azalış olurken, % 1 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının kopma dayanımına karşılık gelen şekil değiştirme oranında % 14,7 oranında azalış, % 2 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının kopma dayanımına karşılık gelen şekil değiştirme oranında % 9,24 oranında azalış meydana gelirken, % 3 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatılardaki kopma dayanımına karşılık gelen şekil değiştirme oranında % 5,9 oranında azalışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Bazalt lif katkısının kullanılması ile birlikte kontrol serilerine yakın diyagramlar elde edilmiştir. Lif miktarının artması ile birlikte daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.29. Hızlandırılmış korozyon deneyinde % 3 ağırlık kaybına uğrayan donatıların gerilme-şekil değiştirme diyagramı.

Şekil 5.29'da korozyona uğramayan donatı ile katkısız ve bazalt lif katkılı beton numunelerinin içerisinde korozyona uğrayan donatıların gerilme-şekil değiştirme diyagramları gösterilmiştir. % 3 ağırlık kaybı oluşan donatılarda gerilme şekil değiştirme grafiğini incelediğimizde hiç

korozyona uğramayan donatının kopma gerilmesi değerine karşılık gelen şekil değiştirme oranı % 39 olurken, 28 günlük lifsiz numunelerden çıkan donatının kopma gerilmesi değerine karşılık gelen şekil değiştirme oranı % 36, % 1 lif katkılı numunelerden çıkan donatının kopma gerilmesi değerine karşılık gelen şekil değiştirme oranı % 38, % 2 lif katkılı numunelerden çıkan donatıların kopma gerilmesi değerine karşılık gelen şekil değiştirme oranı % 38,5 ve son olarak % 3 lif katkılı numunelerden çıkan donatının kopma gerilmesi değerine karşılık gelen şekil değiştirme oranı % 38 olarak belirlenmiştir. Hiç korozyona uğramayan donatıların kopma dayanımına karşılık gelen şekil değiştirme oranı baz alındığında, bazalt lif katkısız 28 günlük numunelerden çıkan donatının kopma dayanımına karşılık gelen şekil değiştirme oranında % 7,7 oranında azalış olurken, % 1 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının kopma dayanımına karşılık gelen şekil değiştirme oranında % 2,6 oranında azalış, % 2 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatının kopma dayanımına karşılık gelen şekil değiştirme oranında % 1,3 oranında azalış meydana gelirken, % 3 bazalt lif katkılı 28 günlük numunelerden çıkan donatılardaki kopma dayanımına karşılık gelen şekil değiştirme oranında % 2,6 oranında azalışa sebep olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.1. Kopma uzama oranları.

Numune Kodu	Kopma Uzama Oranı, %			
	% 12 Ağırlık kaybı	% 9 Ağırlık kaybı	% 6 Ağırlık kaybı	% 3 Ağırlık kaybı
	28 Günlük	28 Günlük	28 Günlük	28 Günlük
Ref	14,9	15,5	14,8	15,7
BL(%1)	17,8	13,8	14,3	15,5
BL(%2)	15,0	14,5	14,8	15,7
BL(%3)	15,3	15,4	15,2	15,8
Kontrol	16,1			

Çizelge 5.1'de çekme deneyleri sonucunda elde edilen kopma uzama oranları verilmiştir. Çizelge 5.1'i incelediğimizde korozyona uğrayan donatılarda kopma uzama oranlarının azaldığı görülmektedir. Örneğin hiç korozyona uğramayan kontrol numunesinin kopma uzama oranı % 16,1 iken bu oran % 2 bazalt lif katkılı olarak üretilen betonun içinde korozyona uğrayan donatılarda sırasıyla % 15, 14,5, 14,8, 15,7 değerlerini almıştır. Bu sonuca göre korozyon nedeniyle çelik donatının sünekliğinin azaldığı anlaşılmaktadır. Bazalt lif miktarının artışı ile birlikte kopma uzama oranlarında iyileşmelerin olduğu görülmektedir.

6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bazalt lif ile üretilen betonların mekanik özellikleri lif kullanılmadan üretilen betonların mekanik özelliklerinden çok fazla bir değişim olmamıştır. Genel olarak bazalt lif katkısının basınç dayanımını azalttığı görülmüştür. % 2 bazalt lif katkılı beton serisinin mekanik özellikleri düşük olmasına rağmen, korozyon deneylerinde en iyi sonuçlar bu oran ile üretilen betonlardan elde edilmiştir. Korozyon nedeni ile numunelerdeki hasar oluşum süreleri incelendiğinde en uzun süreler % 2 bazalt lif oranı ile üretilen betonlardan elde edilmiştir. Korozyon deneyleri sonrasında betonların içerisinde çıkarılan donatıların akma, çekme ve kopma dayanımları incelendiğinde de % 2 bazalt lifli betonların içinde korozyona uğrayan donatılarda hiç korozyona uğramayan kontrol numunelerinden elde edilen dayanımlara yakın değerler elde edilmiştir.

Genel olarak bazalt lifinin kullanıldığı beton serilerinde korozyon deneylerinde iyi sonuçlar elde edilmiştir. Lif oranının artması ile çekme dayanımlarında da iyileşmeler görülmüştür. Aslında bazalt lif katkısı ile üretilen ve basınç dayanımı değerleri düşük olan betonların bazalt lif katkısı olmadan üretilen betonlara göre daha kısa sürelerde hasara uğraması gerekmektedir. Ancak beton içerisine belirli oranlarda dağılmış olan lifler matriste ilerleyen çatlakların yol açtığı gerilmeleri kendi üzerlerine alırlar ve matrisin çatlamamış bölgelerine iletirler, betonda lif bulunmaması halinde ise betona herhangi bir gerilme uygulandığında meydana gelen mikro çatlaklar gerilmenin artması ile çeşitli yönlere yayılarak belirli bir gerilme değerinde betonun parçalanmasına neden olurlar. Çatlak oluşuktan sonra ilerlerken yayılma için gereken enerjinin yarısı olarak kabul edilir. Beton içerisinde lif bulunması halinde, başlangıçta mikroçatlak meydana getiren enerji, lifler aracılığı ile çatlakların yanındaki sağlam bölgelere aktarılır. Bu nedenle çatlakların yayılması için daha fazla enerji gerekir. Böyle bir enerjinin bulunması halinde bile bu enerjinin büyük bir bölümü yine lifler tarafından taşınır ve bu taşıma liflerin matristen sıyrılması için gereken kuvvete kadar devam eder. Numunelerin çektiği korozyon akımlarına bakıldığında da bazalt lif miktarının artışı ile birlikte korozyon akımlarının düştüğü görülmektedir. Korozyon sonrası donatıların akma, çekme ve kopma dayanımları incelendiğinde hiç korozyona uğramayan kontrol numunelerine göre en yakın değerler % 2 bazalt lif oranı ile üretilen betonların içerisinde korozyona uğratılan donatılardan elde edilmiştir. Ayrıca bazalt lif miktarının artışı ile birlikte de kontrol numunelerine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Tez amacıyla da belirtildiği gibi korozyona karşı daha dayanıklı beton üretmek amacıyla yapılan bu çalışmada hedeflenen amaca ulaşılmıştır. Bazalt lif kullanılarak üretilen

betonların korozyona karşı daha dayanıklı oldukları görülmüştür. Ancak sonuçların farklı bazalt oranları ile tekrarlanması önerilmektedir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abbas, U. (2013). Materials Development of Steel-and Basalt Fiber-Reinforced Concretes, Master Thesis, Norwegian University of Science and Technology Department of Structural Engineering, Norway, 162s.
- Araz, N. G., Aksoy, A., İskender, E., ve Sayın, A. (2018). Beton Üretiminde Bazalt Fiber Kullanımının Değerlendirilmesi, 9. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, 298-309.
- ASTM C1202. (1997). Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, ASTM International, West Conshohocken.
- ASTM C876. (1999). Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete, ASTM International, West Conshohocken.
- Barbero, E. J., Makkapati, S., Tomblin, J. S. (1999). Experimental determination of the compressive strength of pultruded structural shapes. Composites Science and Technology, 2047-2054.
- Bereket, G., Gerengi, H. (2015). How truly electrochemical measurements are evaluated in corrosion researches. Corrosion Science and Engineering, 21(1-3), 33-44.
- Broomfield, J. P. (2007). Corrosion of Steel in Concrete (İkinci Baskı). London and Newyork: Taylor and Francis Group, 7-9.
- Charan, S. S., Gupta, CH. L., (2016). A Comparative Study on Mechanical Properties of Basalt Fiber Reinforced Concrete with Partial Replacement of Cement with GGBS. International Journal of Engineering Research and Technology, 62-63.
- Gerengi, H., Bereket, G. (2012). Adsorption and Inhibition Effect of Benzotriazole on Brass118 and BrassMM55 in Artificial Seawater¹, Physicochemical Problems of Materials Protection, Pleiades Publishing, 48(3), 361-366.
- Lewis, J. (2012). The Effects of Corrosion on Reinforced Concrete With Fiber Addition. License Thesis, The Graduate Faculty of The University of Akron, ABD, 145s.
- Montemor, M. F., Simoes, A. M., Ferreira, M. S. G. (2003). Chloride-induced corrosion on reinforcing steel: From the fundamentals to the monitoring techniques. Cement and Concrete Composites, 25(4-5), 491-502.
- Morris, W., Vico, A., Vazquez, M., Sanches, S. R. (2002). Corrosion of reinforcing steel evaluated by means of concrete resistivity measurements. Corrosion Science, 44(1), 81-99.
- Ólafsson, H., Þórhallsson, E. R. (2009). Basalt fiber bar Reinforcement of concrete structures. Conference: Basalt fiber Seminar, Reykjavik University, 3-6.
- Oparaodu, K. O., Okpokwasili, G. C. (2014). Comparison of Percentage Weight Loss and Corrosion Rate Trends in Different Metal Coupons from two Soil Environments. International Journal of Environmental Bioremediation and Biodegradation, Science and Education Publishing, 2(5), 243-249.
- Paul, S. C., Babafemi, A. J. (2018). A Review on Reinforcement Corrosion Mechanism and Measurement Methods in Concrete. Civil Engineering Research Journal, 5(3), 80-90.
- Rathod, N., Gonbare, M., Pujari, M. (2015). Basalt Fiber Reinforced Concrete. International Journal of Science and Research (IJSR), 4(5), 359-361.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ryan, E. W. (2011). Comparison of Two Methods for the Assessment of Chloride Ion Penetration in Concrete: A Field Study, Master Thesis, A thesis presented for the Master of Science Degree The University of Tennessee, Knoxville, 49s.
- Shah, K. R., Kulkarni, S. M. (2013). The Performance of Basalt Fibre in High Strength Concrete. *Journal of Information, Knowledge and Research in Civil Engineering*, 2(2), 117-119.
- Sim, J., Park, C., Moon, D. Y. (2005). Characteristics of basalt fiber as a strengthening material for concrete structures. *Composites Part B: Engineering*, Science Direct, 36(6), 504-512.
- Soleymani, H. R., Ismail, M. E. (2004). Comparing corrosion measurement methods to assess the corrosion activity of laboratory OPC and HPC concrete specimens. *Cement and Concrete Research*, 2037-2044.
- Treesa, A. (2010). Structural Upgrade Using Basalt Fibers for Concrete Confinement. *Journal of Composites for Construction*. 14(5), 3-5.
- Vikan, H. (2007). Concrete workability and fibre content. Trondheim: Sintef Report, 5-9.
- Walsh, M., Henderson, C. (2016). Alternative Reinforcement for Concrete in Corrosive Environments, Research and Development Office Science and Technology Program Final Report, Denver, 1-10.
- Wang, Y., Backer, S., Li, V. (1987). An experimental study of synthetic fibre reinforced cementitious composites. *Journal of Materials Science*, 22(12), 4281-4291.

EKLER

EK-1 Katkısız ve bazalt lif katkılı beton serilerinin fiziksel özellik sonuçları.

Numune Kodu	Kür Süresi	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)	E _{din} (GPa)
REF	7	2386	4,83	50,12
BL(%1)	7	2357	4,73	47,55
BL(%2)	7	2375	4,71	47,45
BL(%3)	7	2366	4,72	47,47
REF	28	2363	4,77	48,36
BL(%1)	28	2354	4,73	47,32
BL(%2)	28	2364	4,68	46,66
BL(%3)	28	2346	4,67	46,18

EK-2 Katkısız ve bazalt lif katkılı beton serilerinin mekanik özellik sonuçları.

Numune Kodu	Kür Süresi	Basınç Dayanımı (MPa)	Yarmada-Çekme Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Yüzey Sertliği (MPa)
REF	7	46,4	3,52	5,83	39,1
BL(%1)	7	43,9	3,37	5,97	39,5
BL(%2)	7	47,8	3,58	6,01	40,3
BL(%3)	7	44,0	3,72	6,74	41,2
REF	28	50,1	3,88	6,81	44,1
BL(%1)	28	45,1	3,96	7,45	38,5
BL(%2)	28	48,1	3,82	6,88	42,4
BL(%3)	28	44,5	3,78	6,67	42,6

EK-3 Katkısız ve bazalt lif katkılı beton serilerinin klorür iyonu geçirimsiliği ve elektriksel direnç sonuçları.

Numune Kodu	Kür Süresi	Toplam Geçen yük (Coulomb)	Klorür İyonu Geçirimsiliği	Elektriksel Direnç (k Ω -cm)
REF	28	2341	Orta	7,65
BL(%1)	28	5185	Yüksek	7,40
BL(%2)	28	5274	Yüksek	7,30
BL(%3)	28	4132	Yüksek	6,53

EK-4 Katkısız ve bazalt lif katkılı beton serilerinin yarı hücre potansiyeli sonuçları.

	Numune Kodu	Kür Süresi	Yarı Hücre Potansiyeli, mV (CSE)	
			Ağırlık kaybı öncesi değer	Ağırlık kaybı sonrası değer
% 3 Ağırlık kaybı	REF	28	-227	-458
	BL(%1)	28	-220	-441
	BL(%2)	28	-199	-421
	BL(%3)	28	-208	-433
% 6 Ağırlık kaybı	REF	28	-232	-525
	BL(%1)	28	-215	-501
	BL(%2)	28	-201	-481
	BL(%3)	28	-210	-497
% 9 Ağırlık kaybı	REF	28	-241	-591
	BL(%1)	28	-222	-572
	BL(%2)	28	-188	-541
	BL(%3)	28	-213	-565
% 12 Ağırlık kaybı	REF	28	-229	-707
	BL(%1)	28	-218	-698
	BL(%2)	28	-198	-620
	BL(%3)	28	-205	-658

EK-5 Katkısız ve bazalt lif katkılı beton serilerinin hızlandırılmış korozyon deneyi sonuçları.

Numune Kodu	Kür Süresi	% 3 Ağırlık Kaybı için geçen Süre (Saat)	Başlangıç Korozyon Akımı (mA)	% 6 Ağırlık Kaybı için geçen Süre (Saat)	Başlangıç Korozyon Akımı (mA)
REF	28	43	0,23	107	0,22
BL(%1)	28	48	0,22	110	0,21
BL(%2)	28	54	0,20	114	0,20
BL(%3)	28	50	0,21	112	0,20



EK-6 Katkısız ve bazalt lif katkılı beton serilerinin hızlandırılmış korozyon deneyi sonuçları.

Numune Kodu	Kür Süresi	% 9 Ağırlık Kaybı için geçen Süre (Saat)	Başlangıç Korozyon Akımı (mA)	% 12 Ağırlık Kaybı için geçen Süre (Saat)	Başlangıç Korozyon Akımı (mA)
REF	28	119	0,21	164	0,21
BL(%1)	28	122	0,21	167	0,21
BL(%2)	28	142	0,18	189	0,19
BL(%3)	28	137	0,19	184	0,20



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Uyruk : T.C.
Adı Soyadı : Ramazan ÖGÜT
Doğum Yeri ve Tarihi : EREĞLİ/KONYA-08.02.1995

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Dumlupınar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans(Tezsiz) : Cumhuriyet Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı
Bildiği Yabancı Diller İngilizce

İş Deneyimi

Stajlar :Konya Ereğli Belediyesi

İletişim 5452944050

E-Posta Adresi ramazanogut20@gmail.com