

CAM LİFİ KULLANIMININ BETONUN MEKANİK ÖZELİKLERİNE VE KOROZYON
DAYANIKLILIĞINA ETKİSİ

Muhammad Yousaf Agha MUJADIDI

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

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Abdullah DEMİR

Temmuz – 2020

KABUL VE ONAY SAYFASI

Muhammad Yousaf Agha tarafından hazırlanan ‘‘CAM 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 Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

29/07/2020

Prof. Dr. Şahmurat ARIK
Enstitü Müdürü, Lisansüstü Eğitim 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 Hakan KUŞAN
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

CAM LİFİ KULLANIMININ BETONUN MEKANİK ÖZELİKLERİNE VE KOROZYON DAYANIKLILIĞINA ETKİSİ

Muhammad Yousaf Agha MUJADIDI

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 sentetik veya doğal lifler ilave edilir. Betona liflerin ilave edilmesi ile genellikle çimento matrisinde oluşan çatlakların kontrolsüz bir şekilde ilerlemesi önlenir. Yapılan tez çalışmasında, cam lifi kullanımının betonun mekanik özelliklerine ve beton içerisindeki donatının korozyon performansına etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada kontrol karışımı ve % 1, 2, 3 oranlarında cam 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 süresi deneyi mekanik olarak yüzey sertliği, basınç, yarmada çekme, eğilmede çekme deneyi dayanıklılık olarak ise elektriksel direnç deneyi yapılmıştır. Donatılı beton numuneleri üzerinde ise hızlandırılmış korozyon ve yarı hücre potansiyeli deneyleri yapılmıştır. Çalışmada üretilen kontrol ve cam lif katkılı beton serilerinin korozyon etkisi altında meydana gelen değişimler ile mekanik ve fiziksel özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Beton karışımında cam liflerin kullanılması ile referans betona göre yarmada çekme ve eğilmede çekme dayanımlarında artış görülmüştür. Ayrıca beton karışımında cam liflerin kullanılması, korozyon dayanıklılığını bir miktar artırdığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler; Cam lif, Mekanik özellikler, Korozyon, Dayanıklılık

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

Muhammad Yousaf Agha MUJADIDI

Civil Engineering, M. S. Thesis, 2020

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Abdullah DEMIR

SUMMARY

Tensile strength of cement-based materials such as concrete is low. To eliminate this negative effect, synthetic or natural fibers are added to the concrete. By adding the fibers to the concrete, the uncontrolled progression of cracks in the cement matrix is generally prevented. In the thesis study, it was aimed to investigate the effects of glass fiber usage on the mechanical properties of concrete and corrosion performance of reinforcement in concrete. In the study, concrete samples were produced by making a control mixture and % 1, 2, 3 glass fiber added mixture. In addition, reinforced concrete samples were produced to determine the durability properties of concrete. Concrete samples that will be subjected to mechanical, physical and durability tests were cured in a standard curing environment (water curing). Physical test was performed on concrete samples as unit weight, ultrasound transition speed mechanically tests, surface hardness, compressive strength, splitting tensile strength, flexural tensile strength, and electrical resistance test was performed for durability. Accelerated corrosion and half cell potential experiments were carried out on reinforced concrete samples. The changes occurring under the influence of corrosion of the control and glass fiber reinforced concrete series produced in the study and the changes in their mechanical and physical properties were examined. With the use of glass fibers in the concrete mix, there was an increase in splitting tensile strength and flexural tensile strength compared to reference concrete. In addition, the use of glass fiber in the concrete mixture to slightly increase the resistance of corrosion.

Keywords; Glass Fiber, Mechanical properties, Corrosion, Durability

TEŐEKKÜR

Bu çalıőmanın gerçekleőtirilmesinde değerli bilgilerini benimle paylaőan kendisine ne zaman danıősam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenin fazlasını sunan, her sorun yaőadıęımda yanına çekinmeden gidebildiğim güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen ve gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdiği değerli bilgilerden faydalanacağımı düőündüęüm kıymetli ve danışman hoca statüsünü hakkıyla yerine getiren, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Abdullah DEMİR'e teőekkürü bir borç biliyor ve őükranlarımı sunuyorum.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	v
SUMMARY.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİF KATKILI BETON.....	2
2.1. Literatür Çalışması ve Genel Bilgileri.....	2
2.2. Lif Çeşitleri.....	3
2.2.1. Bazalt lif.....	3
2.2.2. Cam lifler.....	6
2.2.3. Çelik lif.....	9
2.2.4. Sentetik lifler.....	10
3. BETONARME YAPILARDA KOROZYON MEKANİZMASI.....	15
3.1. Korozyon Ölçme Metotları.....	16
3.1.1. Donatılı beton numunelerde yapılan korozyon ölçme metotları.....	16
3.1.2. Donatısız beton numunelerde yapılan korozyon ölçme metotları.....	21
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	24
4.1. Kullanılan Malzemeler.....	24
4.1.1. Cam lifi.....	24
4.1.2. Agregalar.....	25
4.1.3. Çimento.....	26
4.1.4. Beton karışım suyu.....	27
4.1.5. Süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkı ve NaCl tuzu.....	27
4.1.6. Çelik donatı.....	28
4.2. Karışım Oranları.....	28
4.3. Deneysel Çalışmalar İçin Üretilen Beton Numune Tipleri ve Hazırlanması.....	29

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.4. Yapılan Deneyler.....	29
4.4.1. Fiziksel özellik deneyleri.....	30
4.4.2. Mekanik özellik deneyleri.....	31
4.4.3. Dayanıklılık özellik deneyleri.....	35
5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMALAR.....	38
5.1. Fiziksel Özellik Deney Sonuçları ve Tartışması.....	38
5.1.1. Birim ağırlık deney sonuçları ve tartışması.....	38
5.1.2. Ultrases geçiş süresi deney sonuçları ve tartışması.....	39
5.2. Mekanik Özellik Deney Sonuçları ve Tartışması.....	42
5.2.1. Basınç dayanımı deney sonuçları ve tartışması.....	42
5.2.2. Yüzey sertlik deney sonuçları ve tartışması.....	44
5.2.3. Eğilmede çekme dayanımı deney sonuçları ve tartışması.....	45
5.2.4. Yarmada çekme dayanımı deney sonuçları ve tartışması.....	46
5.3. Dayanıklılık Özellik Deney Sonuçları ve Tartışması.....	48
5.3.1. Yarı hücre potansiyel deney sonuçları ve tartışması.....	48
5.3.2. Hızlandırılmış korozyon deney sonuçları ve tartışması.....	53
5.3.3. Elektriksel özdirenç deney sonuçları ve tartışması.....	58
5.4. Korozyona Uğramış Donatılarda Çekme Deneyi Sonuçları ve Tartışması.....	59
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	77
EKLER	
1. Cam lif katkılı ve katkısız beton grupların fiziksel özellik sonuçları	
2. Cam lif katkılı ve katkısız beton grupların mekanik özellik sonuçları	
3. Cam lif katkılı ve katkısız beton grupların yarı hücre potansiyel sonuçları	
4. Cam lif katkılı ve katkısız beton grupların hızlandırılmış korozyon sonuçları	
5. Cam lif katkılı ve katkısız beton grupların hızlandırılmış korozyon sonuçları	
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Bazalt lif oluşumunun düzeni.....	5
2.2. Eriyik cam imalatı.....	7
2.3. Cam lifin yapım işlemleri.....	8
2.4. Cam lifinin mikroskopik görüntüsü.....	8
2.5. Dokuma, fitil, keçe ve kırılmış formlardaki cam liflerin ürünleri.....	9
2.6. (a) karbon lif yapısı, (b) karbon sürekli lif, kısa kesilmiş (doğranmış) lif ve karbon lifin mikroskopik görüntüsü.....	11
2.7. Naylon 6 nono kompozitinin kristalleşme davranışı.....	12
2.8. TEM polyester (geri dönüşümlü şişe) lifin mikroskopik görüntüsü.....	13
2.9. Betonlarda kullanılan beyaz polipropilen lif.....	14
3.1. Yarı hücre potansiyel ölçümü.....	19
3.2. Voltaj hücresine uygulanan şematik çizimi.....	22
3.3. Dört nokta (wenner probe) yöntemi.....	23
4.1. Alkaliye dayanıklı 24 mm'lik kırılmış cam lifi.....	24
4.2. Deneysel çalışmada kullanılan agregaların elek analizinin eğrisi.....	26
4.3. Numunelerin kürede bekletilmesi.....	29
4.4. Havuzdan çıkarılmış beton deney numuneleri	30
4.5. Beton numunenin ultrases geçiş süresi deneyi.....	31
4.6. Beton numunenin yüzey sertliği deneyi.....	32
4.7. Beton numunenin basınç deneyi.....	33
4.8. Beton numunenin yarmada çekme deneyi.....	34
4.9. Beton numunenin eğilmede çekme deneyi.....	35
4.10. Hızlandırılmış korozyon deneyi.....	36
4.11. Yarı hücre potansiyel deneyi.....	37
4.12. Elektriksel özdirenç deneyi.....	37
5.1. Birim ağırlık deney sonuçları.....	38
5.2. Ultrases geçiş hızı sonuçları.....	40
5.3. Dinamik elastisite modülü sonuçları.....	41
5.4. Basınç dayanım deneyi sonuçları.....	43
5.5. Yüzey sertliği deneyi sonuçları.....	44
5.6. Eğilmede çekme dayanımı deneyi sonuçları.....	45

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.7. Yarmada çekme dayanımı deneyi sonuçları.....	47
5.8. % 3 ağırlık kaybından önce ve sonra yarı hücre potansiyel deney sonuçları.....	49
5.9. % 6 ağırlık kaybından önce ve sonra yarı hücre potansiyel deney sonuçları.....	50
5.10. % 9 ağırlık kaybından önce ve sonra yarı hücre potansiyel deney sonuçları.....	51
5.11. % 12 ağırlık kaybından önce ve sonra yarı hücre potansiyel deney sonuçları.....	52
5.12. % 3, 6, 9 ve 12 ağırlık kayıplarından önce ve sonra ortalama yarı hücre potansiyel değerlerinin değişimi.....	53
5.13. % 3 ağırlık kaybına uğramış donatıların zaman içerisinde korozyon akım değerlerinin değişimi.....	54
5.14. % 6 ağırlık kaybına uğramış donatıların zaman içerisinde korozyon akım değerlerinin değişimi.....	55
5.15. % 9 ağırlık kaybına uğramış donatıların zaman içerisinde korozyon akım değerlerinin değişimi.....	56
5.16. % 12 ağırlık kaybına uğramış donatıların zaman içerisinde korozyon akım değerlerinin değişimi.....	57
5.17. Elektriksel öz direnç deney sonuçları.....	58
5.18. HCl çözeltisi ile korozyon ürünlerinin temizlenmesi.....	59
5.19. Korozyona uğramış çelik donatı çubukların ağırlık kayıpları sonuçları.....	60
5.20. Korozyona uğramış çelik donatı çubukların çekme dayanımı sonuçları.....	62
5.21. Korozyona uğramış çelik donatı çubukların akma dayanımı sonuçları.....	64
5.22. Korozyona uğramış çelik donatı çubukların kopma dayanımı sonuçları.....	67
5.23. Hızlandırılmış korozyon deneyinde % 3 ağırlık kaybına uğramış ve kontrol çelik donatı çubukların gerilme şekil değiştirme eğrileri.....	69
5.24. Hızlandırılmış korozyon deneyinde % 6 ağırlık kaybına uğramış ve kontrol çelik donatı çubukların gerilme şekil değiştirme eğrileri.....	71
5.25. Hızlandırılmış korozyon deneyinde % 9 ağırlık kaybına uğramış ve kontrol çelik donatı çubukların gerilme şekil değiştirme eğrileri.....	72
5.26. Hızlandırılmış korozyon deneyinde % 12 ağırlık kaybına uğramış ve kontrol çelik donatı çubukların gerilme şekil değiştirme eğrileri.....	73

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Çeşitli liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri.....	3
2.2. Bazalt kayanın kimyasal bileşimi.....	4
2.3. Bazalt lif ve diğer liflerin karşılaştırılması.....	4
2.4. Cam lifleri için kimyasal kompozisyon aralıkları.....	6
2.5. Cam liflerinin fiziksel, elektriksel ve termal özellikleri.....	7
3.1. Potansiyel ve korozyon olasılığı arasındaki ilişki.....	18
3.2. Klorür geçirgenliği ile geçen yükün arasındaki ilişki.....	21
3.3. Tespit edilen klorür penetrasyon seviyelerinin karşılaştırılması. Elektriksel özdirenci (AASHTO TP 95) ve klorür geçirgenliğinin (ASTM C1202) dayalı standartlar için.....	23
4.1. Alkaliye dayanıklı cam lifin kimyasal, fiziksel ve elektriksel özellikleri.....	25
4.2. Deneysel çalışmada kullanılan agregaların elek analizi.....	26
4.3. CEM I 42,5 R çimentosunun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri.....	27
4.4. Karışımlarda kullanılan süperakışkanlaştırıcı katkının fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	28
4.5. Tüm deneylerde kullanılan beton karışım oranları (kg/m ³).....	28

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
a	Elektrotlar arasındaki mesafe
GPa	Giga paskal
K	Numunenin boyutu
MPa	Mega paskal
P	Betonun kırılma yükü
R	Betonun direnci
V	Elektrik potansiyeli
γ	Boyutsuz geometri düzeltme faktörü
ΔW	Ağırlık kaybı
ΔE	Sinüzoidal bozulma potansiyeli
ΔI	Sinüzoidal akım
R_p	Çelik donatının polarizasyon direnci
I_{corr}	Korozyon oranını
\dot{I}_{corr}	Korozyon akım yoğunluğunu
σ	Betonun dayanımı
E_{corr}	Korozyon potansiyeli

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
ABD	Amerika birleşik devleti
AR	Alkaliye dayanıklı
ASTM	Amerikan test ve malzeme kurumu
BL	Bazalt lifi
CL	Cam lif katkılı beton karışımı
DC	Doğru akım
EIS	Elektrokimyasal empedans spektroskopisi
Fcr	Lif takviyeli beton
HCl	Hidroklorik asit
HCP	Yarı hücre potansiyel
Ref	Cam lif katkısız beton
NaCl	Sodyum klörür

1. GİRİŞ

Beton dünyada en çok kullanılan yapı malzemesidir. Düşük çekme mukavemeti yüzünden beton genellikle çelik donatıları ile güçlendirilir. Beton kırılğan bir kompozit olarak karakterize edilmektedir ve çekme dayanımı düşüktür. Betonun bu özelliğini (betonun çatlaması, düşük direnci, yüksek büzülme vs.) iyileştirmek için beton karışıma az miktarda olsa rastgele dağılmış lifler (çelik, cam, bazalt, sentetik vs.) dahil edilmektedir (ACI Committee 544, 1982).

Betonu oluşturan malzemeleri (su, çimento, agrega ve bazı özel bileşenleri) uygun bir şekilde değiştirerek betonun mekanik ve dayanıklılık özelliklerinde iyileşmeler yapılabilir. Geleneksel beton karışımına farklı çeşit liflerin katılması betonun tokluk ve çatlak büyümesine direnme yeteneği arttırmaktadır. Lifler beton içerisindeki mikro çatlaklara gelen yüklerin aktarılması yardımcı olur ve bu şekilde meydana gelen betona lif takviyeli beton (frc) denilmektedir. Betona katılmış lifler birbirine kenetlenir ve agrega parçacıkların etrafına dolanır, lifler beton karışımın işlenebilirliği azaltır, ama betonun ayrışmaya karşı direnci artar. Lifler betonun sünekliliğini geliştirir, yorulma mukavemeti, darbe mukavemeti ve dayanıklılığı artırır (ACI Committee 544, 1982).

Betonarme yapılarda donatıların korozyonu en önemli bozulma nedenlerinden biridir. Genel olarak korozyon elektrokimyasal bir reaksiyondur; oksijen, su ve klorür iyonlarının varlığından meydana gelir. Bu kimyasallar (klorür, tuz vs.) betonarme yapılarda var olan çelik donatı etrafındaki pasif tabakasıyla reaksiyona girip bu tabakayı zayıflatır ve donatıların korozyon uğramasına neden olurlar. Sonuç olarak ilk başta donatıların bir kısmı ve daha sonra donatıların tümünde korozyon başlamış olur (Isgor, 2001). Bu çalışmada betonarme yapılarda çelik donatıların korozyonunu azaltılması için donatıları saran beton kompozitin zararlı kimyasallara karşı dayanıklı olması için cam lifi katılmıştır ve bazı gerekli deneyler yapılmıştır.

2. LİF KATKILI BETON

2.1. Literatür Çalışması ve Genel Bilgileri

Beton en yaygın olarak kullanılan yapı malzemesidir. Yüksek basınç dayanımı, sertlik ve normal çevresel faktörler altında dayanıklılık gibi çeşitli arzu edilen özelliklere sahiptir. Aynı zamanda beton kırılma ve çekme dayanımı zayıftır. Normal bir beton elemanda iki eksiklik vardır; düşük çekme mukavemeti ve kırılmada düşük süneklik. Bu eksiklikler genellikle betonarme sistemlerde azalır ama betonun sünekliğini artırmak için betona çeşitli lifler katılır. Lif takviyeli beton (frc); çimento, agrega, su ve ayrık takviye liflerinden yapılmış bir betondur (ACI Committee 544, 1982).

Lif katkılı beton nispeten yeni ve yüksek gerilme mukavemetine sahip doğal veya yapay küçük liflerin rastgele dağılımını içeren bir matristen oluşan kompozit bir malzeme grubudur. Bu düzgün dağılmış liflerin varlığı nedeniyle betonun çatlama dayanımını artırır ve lif çatlak durdurucu görevini görür. Mevcut lif katkılı betonların uygulamalarının birçoğu hacimce yaklaşık % 1 liflerin kullanımını içerir (ACI Committee 544, 1989).

Son çalışmalar büyük miktarlarda çelik, cam, bazalt, sentetik ve bazı doğal liflerin betona dahil edilmesini mümkün kılmıştır. Cam, çelik, bazalt, sentetik, hindistan cevizi ve diğer doğal lifler katılarak üretilen beton numunelerde yapılan çekme deneyleri sonuçlarında betonun çekme yükü taşıma kapasitesinde önemli bir artış olduğunu göstermektedir. Betona katılmış liflerin görevi mikro çatlakları makro çatlakların lokalizasyon baskılamasına ve sonuç olarak matrisin görünür gerilme mukavemetinin artmasını sağlamaktadır (Babu ve Kumar, 2004).

Uzun ve kısa liflerin birlikte kullanılmasında uzun lifler makro çatlakları engelleyerek betonun sünekliğini artırır ve kısa lifler mikro çatlakları engelleyerek beton elemanların dayanıklılığını ve çekme dayanımı yükseltir ve tokluğunu geliştirir (Ekincioglu, 2002).

Betonlarda liflerin kullanımın avantajları;

- Betonarme elemanlarda çatlakların kontrolü.
- Betonların sünekliğinin önemli oranda artırılması.
- Betonun büzülmesinin azaltılması.
- Betonarme elemanlarında kullanılan donatı oranlarının azaltılması ve bu şekilde yapının maliyeti düşürülmesi (Karahan, 2006).

Çeşitli liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Çeşitli liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri (Babu ve Kumar, 2004).

Lifler		Yoğunluk (g/cm ³)	Nihai uzuma (%)	Gerilme direnci (MPa)	Esneklik modülü (GPa)
Sentetik	Aramid	1,4	3,3 - 3,7	2000 - 3000	70
	Karbon	1,4	1,4 - 1,8	4000	230 - 240
	Nylon	1,1	16 - 20	1100 - 1200	6,0
	Polyester	1,4	11 - 13	1050 - 1250	12
	Polipropilen	0,95	10	1000	0,2 – 0,6
	Polietilen	0,90	25	800 - 1100	5,0
	Reyon	1,5	10 - 25	600 - 900	10
Akrilik	1,1	25 - 45	300 - 600	3,0	
Doğal	Hindistan Cevizi	1,2	30	175	4,0 – 6,0
	Sisal	1,45	3,0 - 7,0	468 - 640	9,4 – 22
	Pamuk	1,5 - 1,6	7,0 - 8,0	287 - 597	5,5 – 12,6
	Keten	1,5	2,7 - 3,2	345 - 1035	27,6
Bazalt		2,67	3,15	4840	89
Çelik		7,8	0,5 - 3,5	400 - 4000	290
Cam	S	2,5	2,5	2000 - 3500	70
	E	2,5	2,8	4570	86
	AR	2,7	12 - 20	1500 - 3700	80

2.2. Lif Çeşitleri

Bu kısımda çeşitli liflerin detaylı bilgileri verilmiştir.

2.2.1. Bazalt lif

İlk olarak ABD’de bir Fransız bilim adamı 1993 yılında ilk bazalt lif üretme tekniğini ortaya koymuştur. Daha sonra Sovyet Birleşik Devletlerinde araştırma başlamış, bazalt lif teknolojisinin gelişimi Sovyet Birleşik Devletlerinde gerçekleştirilmiştir. Bu araştırma kapalı bilimsel programlar statüsündeydi. BL’nin ilk örnekleri 1956 – 61’lerde Sovyet Birleşik Devletlerin Ukrayna’daki bilimsel araştırma enstitüsünde elde edilmiştir. Ancak ilk endüstriyel ekipman çok pahalı ve büyük enerji tüketmekteydi. Ama son zamanlarda bu teknolojinin maliyeti

ve ticari kullanımın azaltması için büyük çaba sarf edilmiştir. Bazalt kayanın kimyasal bileşimi Çizelge 2.2’de verilmiştir (Saravanan, 2006).

Çizelge 2.2. Bazalt kayanın kimyasal bileşimi.

Kimyasal Bileşimi	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃
Ağırlığı %	52,8	17,5	10,3	4,63	8,59	3,34	1,46	1,38	0,28	0,16	0,06

Bazalt lifi çevreyi kirletmeyen yeşil, çevre dostu ve sağlıklı yüksek teknoloji ürünüdür. Askeri ve sivil alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bazalt lif diğer lifler ile karşılaştırıldığında sonuçlar şunu gösterir; cam lif, karbon lif ve aramid liflere nazaran bazalt lifin iyi mekanik özelliklere, asit direncine, mükemmel elektriksel özelliklere, yüksek dalga geçirgenliğine, iletken olmayan, mükemmel ses yalıtımına ve yalıtım performansına sahiptir. Bazalt lifi ulusal inşaat ve yeni teknoloji endüstrisinin gelişimi için büyük önem taşımaktadır (Luo YF ve Luo XM, 2016). Bazalt lifi yirmi birinci yüzyılın yeni malzemesi olarak bilinir. Yaygın olarak; havacılık, mimari, kimya endüstrisi, tıp, elektronik gibi askeri ve sivil alanlarda uygulanan yeni bir malzemedir. Bazalt lifi ve diğer liflerin karşılaştırılması Çizelge 2.3’te verilmiştir (Hu ve Sheng 2005; Lei J. Vd., 2007).

Çizelge 2.3. Bazalt lifi ve diğer liflerin karşılaştırılması.

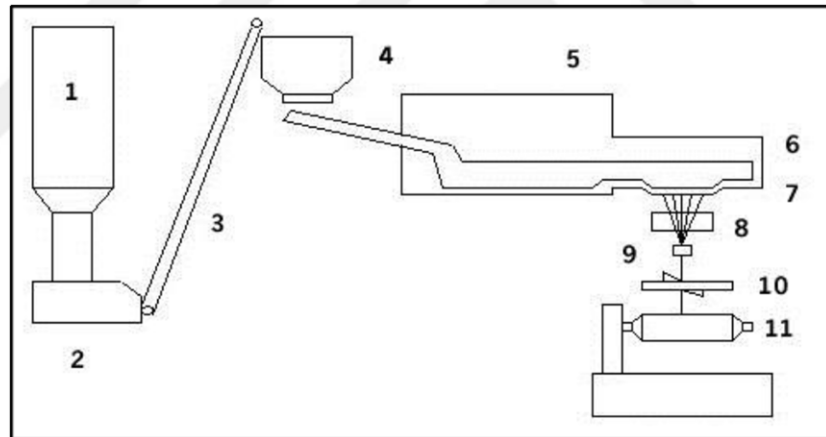
Kapasite	Bazalt lif	E-cam lif	S-cam lif	Poliamid lif	Karbon lif
Gerilme mukavemeti, MPa	3000 ~ 4840	3100~3800	4020~4650	2900~3450	3500~6000
Elastisite modülü, GPa	79,3 ~ 93,1	72,5~75,5	83~86	70~140	230~600
Kopma anındaki uzama, %	3,1~6	4,7	5,3	2,8~3,6	1,5~2,0
Spesifik yer çekimi	2,65~2,8	2,5~2,62	2,46	1,44	1,75~1,95
Filament çapı, µm	6~21	6~21	6~21	-	5~15
Uygulama sıcaklığı, °C	-260~+500	-50~+380	-50~+300	-50~+290	-50~+700
Erime sıcaklığı, °C	1450	1120	1550	-	-

Bazalt kayalardan lif oluşturmak için kullanılan enerji cam liflerin yapımında kullanılan enerjiden daha fazla olduğundan bazalt liflerin fiyatları cam liflerinden daha yüksektir (Saravanan, 2006).

Bazalt lifin üretim süreci

Bazalt lifi bazalt taşlarının 1450 ile 1500 derece arasında eritilmesinden elde edilen sürekli bir üründür. Hammaddeleri ve enerjisi ise bazalt taşları, gaz, elektrik ve emprenye edici bileşiktir. Ekipmanı ise gaz veya elektrik tel çekme fırını, platin rodyum alaşımlı burç, kırıcı, aplikatör, emprenye bileşik konfigürasyon ve taşıma ekipmanları, fitil makinesi ve dokuma tezgahıdır. Yeni bir çevre koruma lifidir ve yirmi birinci yüzyılın ‘volkan kaya ipeği’ olarak bilinir, ayrıca altın lifi de denir çünkü rengi altın kahverengidir (Jongsung, vd., 2005).

Bazalt lifleri bazalt kayalarının ısıtılması ve erimiş sıvı hale gelmesiyle Şekil 2.1’de gösterildiği gibi üretilmektedir (Anil, 2009).



Şekil 2.1. Bazalt lif oluşumunun düzeni (Anil, 2009).

1. Yığın siloları; hammadde temini,
2. Tartım, dozaj ve karıştırma,
3. Pnömatik taşıma,
4. Yığın kutusu,
5. Eritme fırını,
6. Besleyici,
7. Burçlar (sürekli filament oluşumu),
8. Boyutlandırma uygulaması,
9. Çekme plakası besleyici; tel oluşumu

10. Yağlayıcı,
11. Otomatik sarma istasyon.

Bu birincil ürünler (bazalt kayaları) kullanılarak bazalt inşaat demiri, Bazalt jeo tekstil, Bazalt mesh, bazalt lif boruları ve bazalt laminatlar gibi ikincil ürünler üretilir (Anil, 2009).

2.2.2. Cam lifler

Cam üreticileri eski zamanlardan itibaren cam lif üretimini denemişlerdir. Ancak seri olarak cam lif üretimi 1893'te ipek ve cam lifi birleştiren kumaştan yapılmış bir elbiseyi sergileyen Edward Drummond Libbey tarafından başlamıştır. 1938'de Russell Games Slayter, cam yünü üretiminde ilk patenti almıştır. Üretilen lif iyi bir elektriksel yalıtım özellikleri gösterdiği için elektrikli cam veya E-cam lif olarak adlandırılmıştır. 1939'dan itibaren ABD donanması savaş gemilerinde izolator olarak cam lifi kullanmaktadır. Ayrıca ikinci dünya savaş sırasında cam lif üretimi ve doymamış polyester reçine üretimindeki gelişmeler, radar kubbeleri (radomlar) ve uçakların el ile yerleştirme tekniği kullanılarak yapısal parçalarının üretilmesi için itici güç olmuştur (Lowenstein, 1983). Cam liflerin kimyasal bileşenleri, cam liflerin fiziksel, elektriksel ve termal özellikleri Çizelge 2.4 ve 2.5'te verilmiştir.

Çizelge 2.4. Cam lifleri için kimyasal kompozisyon aralıkları.

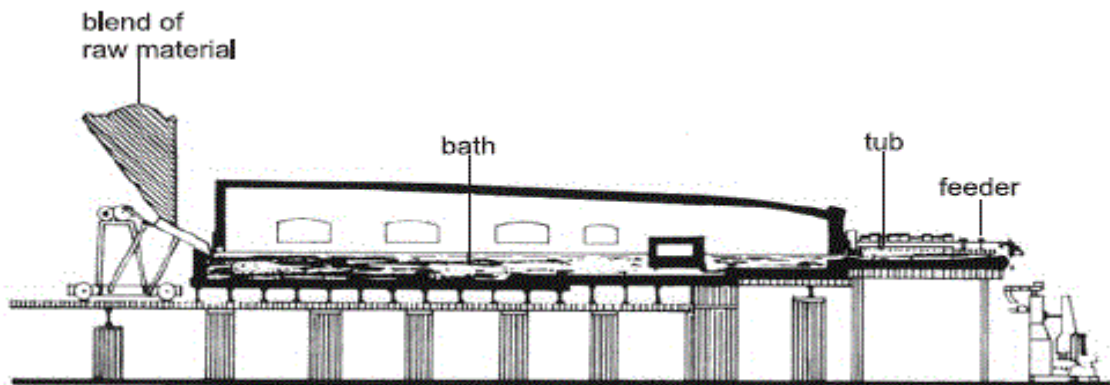
Kimyasal bileşenleri	Advatex	AR cam	C cam	D cam	E cam	E-CR cam	R cam	S-2 cam
SiO ₂	59 - 62	55 - 75	64 - 68	72 - 75	52 - 56	54 - 62	56 - 60	64 - 66
Al ₂ O ₃	12 - 15	0 - 5	3 - 5	0 - 1	12 - 16	9 - 15	23 - 28	24 - 25
B ₂ O ₃	< 0,2	0 - 8	4 - 6	21 - 24	5 - 10		0 - 0,35	
CaO	20 - 24	1 - 10	11 - 15	0 - 1	16 - 25	17 - 25	8 - 15	0 - 0,18
MgO	1 - 4	...	2 - 4	...	0 - 5	0 - 4	4 - 7	9,5 - 10
ZnO	...	...	...	...	...	2 - 5	...	...
BaO	...	...	0 - 1	...	...	...	...	...
Li ₂ O	...	0 - 1,5	...	...	...	...	...	...
Na ₂ O+K ₂ O	...	11 - 21	7 - 10	0 - 4	0 - 2	0-2	...	0 - 0,2
TiO ₂	...	0 - 12	...	...	0 - 0,8	0 - 4	...	...
ZrO ₂	...	1 - 18	...	...	...	...	...	...
Fe ₂ O ₃	...	0 - 5	0 - 0,8	0 - 0,3	0 - 0,4	0 - 0,8	0 - 0,5	0 - 0,1
F ₂	...	0 - 5	...	...	...	...	0 - 0,1	...

Çizelge 2.5. Cam liflerinin fiziksel, elektriksel ve termal özellikleri.

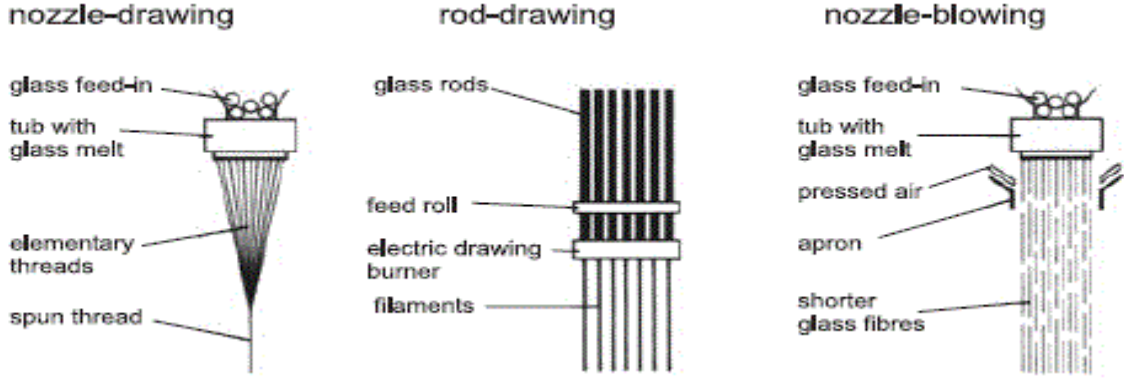
	Advantex	AR cam	C cam	D cam	E cam	E-CR cam	R cam	S-2 cam
Yoğunluk g/cm³	2,624	2,70	2,52	2,11	2,55 - 2,62	2,68 - 2,62	2,54	2,48
Kırılma indeksi	1,561	1,562	1,533	1,465	1,558	1,574- 1,576	1,546	1,521 - 1,525
Yumuşama Noktası, °C	...	773	750	771	846	882	952	1056
Gerginlik Noktası, °C	691	...	522	477	610 - 630	...	736	766
Isıl genişleme katsayısı	5,8	6,5	6,3	2,5	5,4	5,9	3,8	1,6
Dielektrik kuvvet kV/mm	10,12	...	...	...	10,4 - 10,6	9,84	10,8	13,0
Özgül ısı kapasitesi, J/g °C	...	...	0,787	0,733	0,810	...	0,732	0,737

Cam lif üretimi

Modern cam lif üretim tesisinde doğrudan imalat süreci tercih edilmektedir. Bu işlemde hammaddeler siloda ayrı olarak depolanır ve doğru tartımın ve ardından fırına yüklenmek üzere yığın silosuna transfer edilmek üzere karıştırma tankına gönderilir. Bu sistem bilgisayar kontrollüdür ve tozun yayılmasını önlemek için hava geçirmez sistemler kullanılmaktadır. Cam liflerin imalatı ve yapım işlemleri Şekil 2.2 ve 2.3'te gösterilmiştir (Agy, 2004).

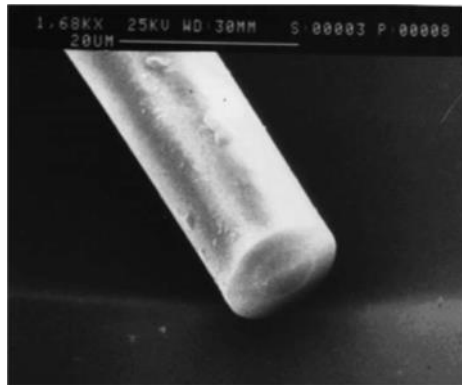


Şekil 2.2. Eriyik cam imalatı.



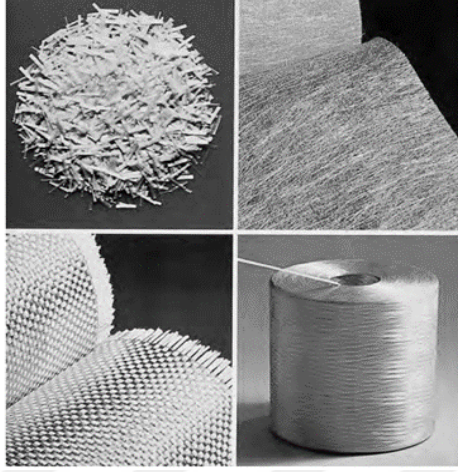
Şekil 2.3. Cam lifin yapım işlemleri.

Silikatlar, kireçtaşı veya metalik oksitler gibi ham maddeler ince öğütülüp karıştırılır ve yığın olarak adlandırılır. Karışımın yarısından fazlası olan silis kumu; herhangi bir cam lifin temel yapı taşıdır. Karışım daha sonra küçük bir fırına taşınır, kum ve diğer bileşenlerin erimiş camda çözünmesi için sıcaklık 1250 - 1400 °C arasına getirilir. Fırının duvarları çok yüksek sıcaklıklara dayanmak için özel yapım astarlarla korunur. Erimiş cam; platin ve rodyum burcundan hassas bir şekilde delinmiş deliklere sahip bir metal bloğa doğru akar ve daha sonra 0,75 ila 2 mm çap arasında değişen münferit burç uçları ve deliklere gider. Yüksek mukavemetli camlar tipik olarak E-camdan yaklaşık 120 °C daha yüksekte işlenir, cam daha sonra hızlı bir şekilde söndürülür ve kristalleşmeyi önlemek için hava ve suda zayıflatılmış çapı 5 ila 26 µm arasında ince lifler oluşur (Majumdar ve Ryder, 1968). Şekil 2.4'te cam lifinin mikroskopik görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Cam lifinin mikroskopik görüntüsü (Agy, 2004).

Şekil 2.5'teki gibi cam lifler dokuma, fitil, keçe ve kırılmış gibi formlarda temin edilebilir.



Şekil 2.5. Dokuma, fitil, keçe ve kırılmış formlardaki cam lif ürünleri.

Cam takviyeli beton 30 yılı aşkın bir süredir çeşitli yapı elemanlarda kullanılmaktadır. Esasen taşıyıcı olmayan cephe panelleri, sanitasyon ağı için boru sistemleri ve diğer ürünlerde kullanılmıştır. Cam lif takviyeli betonun gelişiminin başlangıcındaki problem, cam lifli betonun zaman içinde alkaliye dayanıksız kırılğan bir yapı oluşturması olarak kabul edilmiştir. O zamandan beri önemli ilerlemeler kaydedilmiş ve yeni alkaliye dayanıklı cam lifi (AR cam lif) üretimiyle şu anda sorun pratik olarak çözülmüştür (Bentur ve Mindess, 1990)

Cam lifin betonda kullanım avantajları;

- Yüksek sıcaklık kararlılığı, düşük sıcaklık çatlama direnci
- Yorulma önleyici performans
- Beton yollarda kullanıldığında yolun ömrünün uzatılmasını
- Aşındırıcı direnç
- Aşınmaya dayanıklı ve elektrik yalıtımına sahip (Majumdar ve Ryder, 1968)

2.2.3. Çelik lif

Çelik lifler yirmi birinci yüzyılın ilk on yılında sürtünme malzemesi olarak kullanılırdı örneğin; Amerika Birleşik Devletlerinde araba fren balatalarında bakırın yasaklanmasından sonra çelik lifi kullanılması güzel bir seçenek olmuştur. Çelik lif metal bir takviyedir. Genel olarak çelik lifi, betonun mekanik performansını ve çatlak yayılma direncini arttırmak için kullanılır; çünkü çelik lif doğal olarak üstün malzeme özelliklerine sahiptir. Betonu takviye için

kullanılan çelik lifleri, farklı enine kesitlerine sahip farklı en boy oranları (uzunluk / çap oranı) yaklaşık 20 ile 100 olan normal karıştırma prosedürleri kullanılarak sertleşmemiş bir beton karışımında rastgele dağıtılır. Betondaki belirli bir miktar çelik lif betonun fiziksel özelliklerinde kalitatif değişikliklere neden olarak çatlama, darbe, yorulma, bükülme, diğer özelliklere karşı ve dayanıklılık özelliklerinde büyük ölçüde iyileşme sağlamaktadır. Çelik lifli betonlar ayrıca otoyol bariyerlerinin yanı sıra köprü döşemeleri, havaalanı kaldırımları, park alanları, kavitsiyon ve erozyon ortamlarında kullanılmaktadır. Çelik lif takviyeli yüksek mukavemetli betonlar darbeye ve depreme karşı dayanıklı oldukları için kritik bölgelerdeki yapılarda kullanılması da bir seçenektir (Al-Ghamdy vd., 1993).

2.2.4. Sentetik lifler

Aramid lif

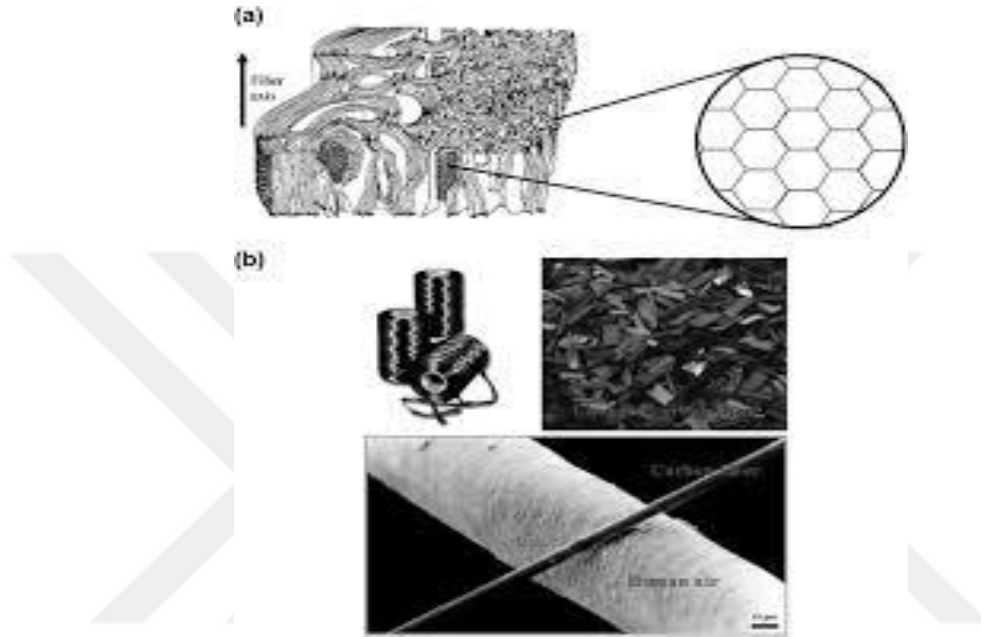
Aromatik poliamidler ilk olarak ticari uygulamalarda 1960'ların başlarında DuPont tarafından HT-1 olarak üretilmiştir ve daha sonra Nomex ticari ismi altında üretilen bir meta-aramid lif ile tanınmıştır. Aramidler genellikle bir amin grubu ile bir karboksilik asit grubu arasındaki reaksiyonu sonucu oluşur. En tanınmış aramidler ise; Kevlar, Twaron, Nomex, New star ve Teijinconex'tir (Man'ko vd., 2001).

Aramid lifler ısıya dayanıklı ve güçlü sentetik lif sınıfında yer alır. Aramid lifler giderek daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Düşük yoğunluklu, yüksek mukavemeti, yüksek elastisite modülü ve yüksek termal dirence sahiptir. kullanım alanları ise havacılık ve askeri uygulamalarda, balistik dereceli vücut zırhı kumaşı ve balistik kompozitlerde, bisiklet lastiklerinde, deniz kordonunda, deniz kabuğu takviyesi ve asbest yerine kullanılır (Man'ko vd., 2001).

Karbon lif

Karbon lifi 1860 yılında Joseph SWAN tarafından ampullerde kullanılmak üzere ilk kez üretilmiştir. 1879'lerde Thomas Edison yüksek sıcaklıklarda pamuk iplikleri veya bambu şeritlerini elektrikle ısıtarak ilk akkor ampullerden birinde kullanılan tamamen karbon lif bir filaman haline getirerek karbonize etmiştir. Daha sonra karbon lifler özelliklerine göre farklı alanlarda kullanılmıştır örneğin; havacılık, inşaat mühendisliği, askeri, motor ve farklı yarışma spor aletlerinde çok popüler hale gelmiştir. Karbon lifi mikro grafit kristal yapısına sahip sentetik bir liftir. Tipik olarak 5-10 mikronluk bir çapa sahiptir, yüksek sıcaklıkta öncü malzemeler (poliakrilonitril, suni ipek ve zift) ile işlenmektedir. Böylece tipik karbon üç türe ayrılır; Tabanlı, perde tabanlı ve suni ipek tabanlı (Pierson, 1993).

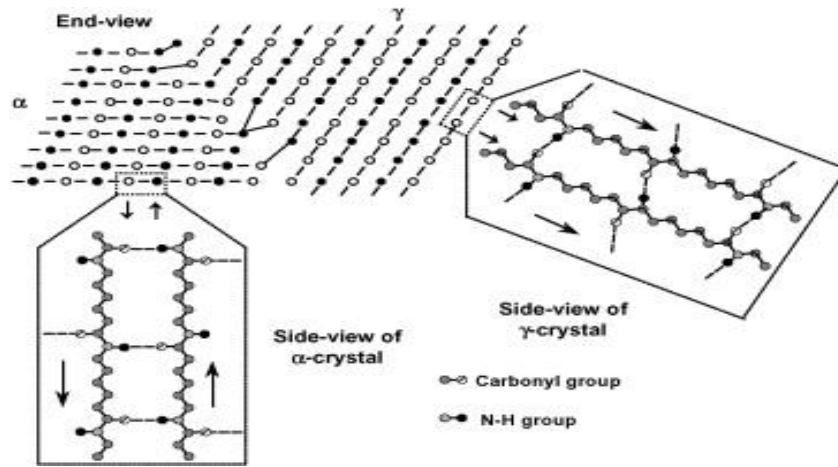
Karbon lifler genellikle tek tek yerine çoklu olarak kullanılır, çünkü tek karbon lifi ince boyutu nedeniyle kırılığandır. Karbon lifleri sürekli veya ayırık (doğranmış) form olarak ayarlanmaktadır. Şekil 2.6'da karbon lifin yapısı ve ürünleri gösterilmiştir. (Minus ve Kumar, 2005).



Şekil 2.6. (a) Karbon lif yapısı, (b) karbon sürekli lif, kısa kesilmiş (doğranmış) lif ve karbon lifin mikroskopik görüntüsü.

Naylon lif

Dünyanın ilk sentetik lifi 1935 yılında DuPont adlı bir kimyagerinin keşfettiği polimeri yağda bulunan kimyasallardan üretilen petrol naylon 6' idi. Naylon 6 isminin verilmesini nedeni asit ve heksametilen diamin molekül başına altı karbon atomu içermesidir. Her yapay molekülerde 100 veya daha fazla tekrarlayan karbon, hidrojen ve oksijen atomundan oluşurken tek bir naylon filamentini bir milyon veya daha fazla molekül oluşturabilir. Her biri filament gerildiğinde gerginliğin bir kısmını alır. Şekil 2.7'de naylon 6 nano kompozitinin kristalleşme davranışı gösterilmiştir (Foster ve Elborg, 2007).

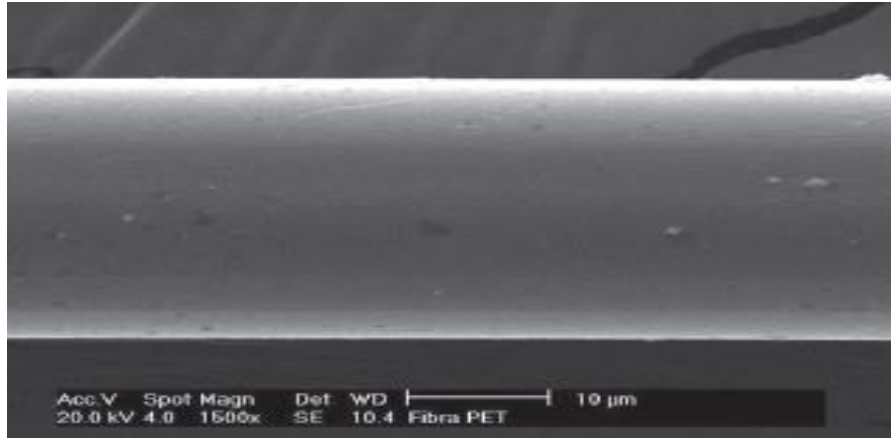


Şekil 2.7. Nylon 6 nano kompozitinin kristalleşme davranışı.

Nylon lif betonun mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için kullanılmış ve betonun darbeler altında plastik büzülme çatlama önlenmesinde faydalı olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra diğer lifler (polipropilen vs.) ile karşılaştırıldığında sıkıştırma, gerilim, eğilme vb. büzülme çatlama kontrollünde daha iyi performans gösterdiği saptanmıştır (Zollo ve Hays, 1998).

Polyester lif

Polyester bir kimyasal terimdir ve iki kelimeye ayrılır poly çok ve ester ise temel organik kimyasal bileşik demektir. 1926'da Amerika Birleşik Devletlerinde DuPont tarafından çok büyük moleküller ve sentetik lifler üzerine araştırmalar başlamıştır. Bu araştırmalarda ilk sentetik lif olan nylon keşfedildi. Kısa süre sonra 1939 - 41 yıllarında İngiliz araştırma kimyagerleri DuPont'un çalışmalarına ilgi duydular ve laboratuvarlarında kendi araştırmalarını gerçekleştirdiler. Bu çalışma İngiltere'de Terylene olarak bilinen polyester lifi oluşmasıyla sonuçlanmıştır. 1946'da DuPont ABD'de bu polyester lif üretme hakkını satın almıştır. Bu ürün 1951'de lif Dacron adı altında piyasaya sürülmüştür. Polyester kömür, hava, su ve petrolden elde edilen sentetik bir lifdir. Yirminci yüzyılda laboratuvar ortamında geliştirilen polyester lifi asit ve alkol arasındaki kimyasal reaksiyondan oluşur, bu reaksiyonda iki veya daha fazla molekül tekrarlanma yapısı boyunca büyük bir molekül yapmak için birleşir ve polyester lif olarak çok kararlı ve güçlü moleküller oluşturur. Şekil 2.8'de TEM polyester lifin mikroskopik görüntüsü gösterilmiştir (Cheryl, 2005).



Şekil 2.8. TEM polyester (geri dönüşümlü şişe) lifin mikroskopik görüntüsü.

Portland çimento bazlı malzemedeki polyesterin dayanıklılığı şüpheli ve tartışmalıdır (Johnston, 1994). Balaguru ve Slatum tarafından polyester lif takviyeli betonun eğilme dayanımları araştırılmış ve polyester lif takviyeli betonun alkali ortamında dayanıklı olmadığını belirtmişlerdir. Polyester lifleri alkali bir ortamda çözünmeleri nedeniyle çimento matrisinde hızla mukavemet kaybettikleri gözlemlenmiştir (Balaguru ve Slattum, 1995).

Polipropilen lif

İlk kez 1951’de propilen polimerize edilirken ve yine ilk kez 1954’te kristalli bir izotaktik polimer polimerize edilmiştir. Sindiyotaktik polipropilen de ilk olarak Natta ve arkadaşları tarafından sentezlenmiştir (Morris, 2005).

Beton ve harçlar için özel olarak formüle edilen ve üretilen polipropilen lifler maliyet açısından rekabetçi ve alkalilere dirençli oldukları için en popüler lif türüdür. Ayrıca düşük hacimlerde karışım oranlanması olan ve üretim tekniğinde ek bir dikkat gerektirmez (Bayasi ve Zeng, 1993).

Ek olarak polipropilen lif betonun özelliklerini önemli ölçüde geliştirmektedir. Betondaki polipropilen lifler, dökülmeyi azaltmak ve yüksek sıcaklığa maruz kalmış betonların artık mukavemetini arttırmak için kullanılabilir. Yapılan bir araştırmadaki deneylere göre % 0,5 hacimde lif ile 91 günlük lifli beton numunenin basınç dayanımları referans numunelere kıyasla % 15 artış gösterdiği kaydedilmiştir. Şekil 2.9’da betonlarda kullanılan beyaz polipropilen lif gösterilmiştir (Nili ve Afroughsabet, 2010).



Şekil 2.9. Betonlarda kullanılan beyaz polipropilen lif.

Akrilik lif

DuPont tarafından ilk akrilik lifleri 1941’de üretilmiştir ve Orlon adı altında piyasaya sürülmüştür. Ancak 1950’lere kadar büyük miktarlarda üretilmemiştir. Akrilik lif yaklaşık 1900 monomer birim olan bir polimerden (poliakrilonitril) yapılmış sentetik liflerdir. Bir lifin ABD’de akrilik olarak adlandırılması için polimer en az %85 akrilonitril monomer içermelidir. Tipik komonomerler vinil asetat veya metil akrilattır (Saha ve Pal, 1984).

Güçlü ve sıcak akrilik lifler genellikle kazak ve eşofmanlarda, bot ve eldiven astarlarının yanı sıra kumaş ve halı döşemelerinde de kullanılır. Akrilik liflerinin kullanımı ortodontik aletlerin güçlendirilmesi için yararlıdır. Betonun mekanik özelliklerini geliştirmek için de kullanılabilir (Saha ve Pal, 1984).

3. BETONARME YAPILARDA KOROZYON MEKANİZMASI

Çelik donatıların korozyonu kıyı, kentsel, köprü, endüstriyel bölgelerdeki betonarme yapılarda önemli zararlar yaratır. Bu hasar son yıllarda beton düzenli bir inşaat malzemesi olduğundan tüm ülkelerde artmıştır. Çimentonun hidratasyonu sırasında yüksek derecede alkali bir gözenek çözeltisi ($\text{pH} = 13$ ve $13,8$ arasında) esas olarak sodyum ve potasyum hidroksitler elde edilir. Bu ortamda termodinamik olarak karalı bileşikler demir, demir oksitler ve oksihidroksitlerdir. Böylece alkali betona gömülü çelik donatı üzerinde ince bir koruyucu oksit film (pasif film) oluşturur. Bu pasif film sadece birkaç nanometre kalınlığındadır ve değişen Fe^{+2} ve Fe^{+3} derecelerine sahip az ya da çok hidratlı demir oksitlerden oluşur. Pasif filmin koruyucu etkisi mekanik hasarlara karşı bağıştır, ama betonun karbonatlaşması veya betonda klorür iyonlarının varlığı çelik donatıları da pasif hale getirilir (Arup, 1983).

Korozyonun başlatılması ve yayılması

Betonarme yapıların hizmet ömrü iki ayrı aşamaya ayrılabilir. İlk aşama çelik donatıların pasif olduğu ancak beton örtüsünde karbonatlaşma veya klorür penetrasyonuna neden olabilecek fenomenlerin meydana geldiği ve korozyonun başlatılmasıdır. İkinci aşama ise korozyonun yayılması ve donatıların da pasif olmasıdır (Arup, 1983).

Başlatma aşaması

Başlatma aşaması sırasında betondan çeliğin yüzeyine agresif maddeler (CO_2 , klorürler) nüfuz edilmesidir. Karbonatlaşma betonun yüzeyinden başlayıp kademeli olarak iç bölgelere doğru ilerler, betonun bazikliği karbondioksit ile nötralize edilebilir ve böylece betonun gözenek sıvısının pH 'i azalır ve pasif filmin daha kararlı olmadığı bazikliği 9 civarında bir değere iner. Ortamdaki klorür iyonları betona nüfuz eder ve çelik yüzeyindeki konsantrasyonlara ulaşır ve çeliğin koruyucu tabakası yerel olarak yok edilir. Başlatma aşamasının süresi agresif maddelerin kapak derinliğine ve penetrasyon hızına bağlıdır (Arup, 1983).

Yayılma aşaması

Koruyucu tabakanın bozulması ve aşınması korozyon başlaması için gerekli ön koşuldur. Bu tabaka yok edildiğinde sadece çelik yüzeyinde su ve oksijen varsa korozyon ortaya çıkar. Betonun karbonatlaşması koruyucu tabakanın tamamen çözünmesine yol açar. Klorürlerin bulunması ile büyük miktarlarda bozulmaya neden olurlar. Bu nedenle; çeliğin karbonatlı betonla temas olduğu tüm yüzeyinde korozyon “genel korozyon” oluşur. Klorürler tarafından korozyon lokalize “çukur korozyonu” olur (Arup, 1983).

Korozyon oranı genellikle penetrasyon hızı olarak ifade edilir ve $\mu\text{m}/\text{y}$ olarak ölçülür. Çelik donatılarda oluşan korozyon ürünleri aslında orijinal çelik barlardan daha fazla hacim kaplar ve 2 ile 6 kat daha fazla olabilir. Bileşimlerine ve derecesine bağlı olarak demirden türetildikleri demir hidratasyonları örneğin; Fe_3O_4 , $\text{Fe}(\text{OH})_2$ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ oksitlerinin hacimleri $\text{Fe}(\text{OH})_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ demirinden sırasıyla 2, 3, 4 ve 6 kat daha büyüktür. Sonuç olarak korozyon kaplamada çatlaklar oluşturan lokalize bir alanda parçalanmış veya tam delaminasyon oluşturan gerilmeleri üretebilir ve çeliğin betona olan bağının azalmasında sebep olmaktadır (Bazant, 1979).

Yapıların hizmet ömrü performansını artırabilmek için betonarme elemanlarda korozyon sürecine daha fazla odaklanmayı ve daha dikkatli bir teknik geliştirmek gerektirmektedir. Bunlardan; doğru beton seçimi ve dikkatli karışım oranı daha umut verici yöntemler betondaki çelik çubukların korunması için bulunmuştur. Çeşitli araştırma çalışmalarında betona korozyon önleyici maddelerin katılması örneğin; beton karışımına mineral katkıların ilave edilmesi veya betona farklı liflerin (cam, karbon, bazalt, hindistan ceviz vs.) katılması ile korozyona karşı önemli bir iyileşme elde edilir. Çünkü; lif katkılı betonların çekme dayanımı normal betonlara göre artar ve klorür geçirimsizliği normal betonlara göre düşer. Normal betonların çatlakları da lifli betonlara göre daha derin ve süreklidir (ACI Committee, 2001). Alkaliye dayanıklı cam lifin beton karışımına katılması betonarmedeki çelik çubukların korozyonunu azaltmak için bir seçenek olarak öngörülmüştür.

3.1. Korozyon Ölçme Metotları

Bu bölümde donatısız beton numunelerin üzerinde yapılan elektriksel direnç ve hızlı klorür geçirgenlik deneyleri hakkında ayrıntılı bilgi verilmektedir. Aynı zamanda donatılı beton numunelerin üzerinde yapılan ağırlık kaybı, doğrusal polarizasyon, hızlandırılmış korozyon, elektrokimyasal empedans spektroskopisi ve yarı hücre potansiyel deneylerini de açıklanmaktadır.

3.1.1. Donatılı beton numunelerde yapılan korozyon ölçme metotları

Donatılı beton numunelerin üzerinde yapılan donatıların doğrusal polarizasyonu, yarı hücre potansiyeli, donatıların ağırlık kaybı, elektrokimyasal empedans spektroskopisi ve hızlandırılmış korozyon deneyleri hakkında bilgiler detaylı olarak aşağıdaki kısımlarda verilmiştir.

Ağırlık kaybı yönteminden korozyon oranının ölçülmesi

Bu yöntemde donatılı beton numune önce belli zaman içerisinde korozyona uğratılır ve daha sonra beton numuneleri bu ortamdan çıkarılır ve daha sonra beton numunelerden donatı çubukları çıkarılır. ASTM G1’de belirtildiği gibi korozyona uğramış donatılar önce hidroklorik asitte temizlemek için bekletilir, temizledikten sonra nihai ağırlığı ölçülür, donatıların başlangıç ve son ağırlık farkından korozyon hızı belirlenir (ASTM G1-03, 2009).

$$\text{Korozyon hızı} = \frac{\Delta W}{a \cdot t} \quad (3.1)$$

Burada;

ΔW = Ağırlık kaybı (g),

a = Alan (cm²),

t = Zaman (saat).

Elektrokimyasal empedans spektroskopisi metodu (EIS)

Bu tekniğin prensibi bir elektrolit (beton) içine yerleştirilmiş elektrota (donatı çubuğu) küçük genlik (5-20 mV) alternatif bir sinyal uygulamaktır. İlk bozulma ve elektrotun yanıt akımı faz kayması ölçülerek karşılaştırılır ve gerilim bileşenleri ile genlikleri ölçülür. Bu işlem spektrum analizörü veya frekans tepki analizörü kullanılarak zaman alanında veya frekans alanında yapılabilir. Önemli olan ilk bozulma sinüzoidal bozulma potansiyelidir (ΔE) ve içinde kararlı durum koşulları altında empoze edilmesi gereken sistem; elektrot yanıtı sinüzoidal bir akımdır (ΔI), uygulanan sinyalden bir faz farklıdır. Bunlardan Z ile temsil edilen empedans ΔE ile ΔI arasındaki ilişkiyi ölçer (Feliu vd., 1998).

EIS'nin temel avantajları;

Korozyon kinetiği hakkında bilgi verir,

Beton gibi dirençli ortamlarda son derece uygun, doğru ve tekrarlanabilir bir tekniktir,

İnşaat demirinin durumunu ve korozyon morfolojisini karakterize eder,

Elektrokimyasal kontrol mekanizması hakkında veri sağlar ve aktivasyon, konsantrasyon veya difüzyonu ile korozyon meydana gelip gelmediğini gösterir (Feliu vd., 1998).

Betonarme çeliğin yarı hücre potansiyel deney metodu

Betonda çelik donatıların korozyonunun izlenmesi ve değerlendirilmesi için çeşitli elektrokimyasal teknikler vardır; bunlardan en popüler olan korozyon deney yöntemi ise yarı hücre potansiyel ölçümüdür. Yarı hücre potansiyel ölçümlerini yapmak için kullanılan cihaz Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Bu deney yönteminin kullanımı ve sonuçlarının yorumlanması ASTM C876’de detaylı olarak açıklanmıştır. Potansiyel ve korozyon olasılığı arasındaki ilişki Çizelge 3.1’de verilmiştir (Stratfull, 1973).

Bu deney yöntemi sahadaki kaplanmamış çelik donatının ve laboratuvardaki betonun elektriksel yarı hücre potansiyelinin tahminini ve korozyon aktivitesini belirler.

Bu deney yöntemi elektrik devresi ile sınırlıdır. Büyük ölçüde kurumuş ve dielektrik malzeme ile kaplanmış beton bir yüzey kabul edilebilir bir elektrik devresi sağlayamaz.

Bu deney yönteminde standart olarak inç-pound biriminde belirtilen değerler dikkate alınmalıdır.

Önem ve Kullanım;

Bu deney yöntemi çalışmaların araştırma, geliştirme ve hizmet içi değerlendirme için kullanılabilir,

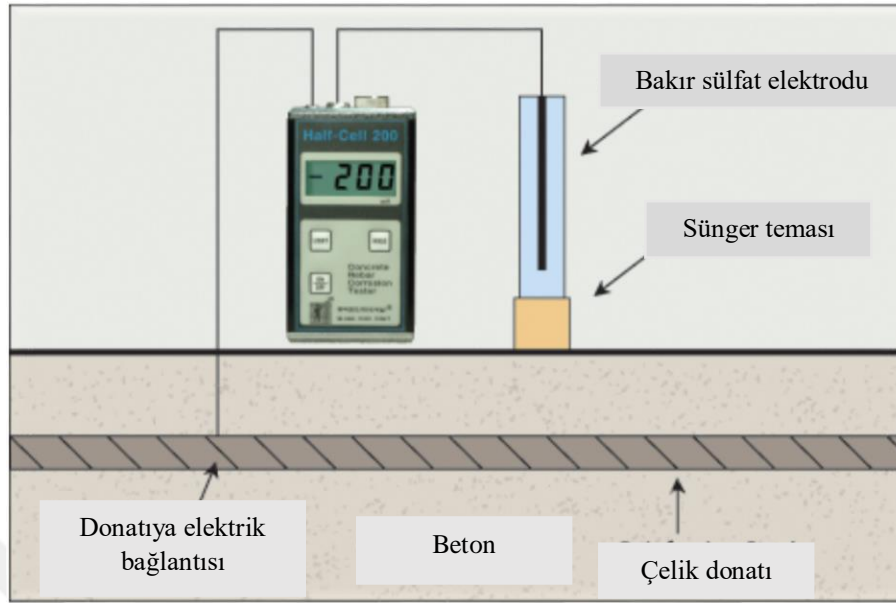
Bu deney yöntemi elemanların hangi boyutlarında ve çelik donatıların betonun ne kadar derinlikte gözetmeksizin geçerlidir,

Bu deney yöntemi bir beton elemanı için servis ömrü boyunca herhangi bir zaman diliminde kullanılabilir,

Bu deney yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar çeliğin veya betonarme elemanın yapısal özellikleri tahmin için araç olarak düşünülmemelidir (Stratfull, 1973).

Çizelge 3.1. Potansiyel ve korozyon olasılığı arasındaki ilişki.

Potansiyel E_{corr}	Korozyon olasılığı.
$E_{corr} < -350 \text{ mV}$	O bölgedeki çelik donatıda ölçüme göre % 90’dan fazla korozyon meydana gelmiştir.
$-350 \text{ mV} \leq E_{corr} \leq -200 \text{ mV}$	Bu bölgedeki çelik donatının korozyon aktivitesi belirsizdir.
$E_{corr} > -200 \text{ mV}$	Bu bölgedeki çelik donatıda ölçüme göre % 90 olasılıkla korozyon meydana gelmemiştir sadece (% 10 korozyon riski var).



Şekil 3.1. Yarı hücre potansiyel ölçümü.

Beton içindeki donatılar için hızlandırılmış korozyon metodu

Çelik donatıların korozyonu genellikle baskı akım tekniği ile hızlandırılır. Bu yöntem sınırlı bir süre içinde betona gömülü donatı çubuklarının önemli ölçüde korozyona neden olması için yapılır. Baskı akım tekniği çoğu zaman donatının korozyon ile beton örtü çatlaması, yapışma davranışı ve betonarme yapı elemanlarının yük taşıma kapasitesi için uygulanır. Baskı akım ile hızlandırılmış korozyon yönteminin çok faydaları vardır; zaman ve para tasarrufu ve diğer hızlandırılmış korozyon yöntemlerine göre korozyon oranının kontrol etme yeteneği daha iyidir. Başka akım ile hızlandırılmış korozyon yöntemi genellikle öz direnç, oksijen konsantrasyonu ve sıcaklıktaki değişikliklere bağlı olarak değişir (Austin vd., 2004).

Set-Ups ve lollypop basınçlı akım yöntemi ile beton içindeki donatıların korozyonunun araştırmak için bir DC güç kaynağı, karşı elektrot ve bir elektrolit kullanılır. DC güç kaynağının pozitif terminali çelik çubuklara (anot) bağlanır ve negatif terminal karşı elektroda (katot) bağlanır, karşı elektrottan akım betona ve beton içindeki donatılara elektrolit (% 5 sodyum klorür çözeltisi) yardımıyla aktarılır (Austin vd., 2004).

Belirli bir süre boyunca uygulanan akım nedeniyle çubuğun birim yüzey alanı başına üretilen pas kütlesi Faraday yasasına göre aşağıdaki ifade kullanarak belirlenir;

$$M_{th} = \frac{W \cdot I_{app} \cdot T}{F} \quad (3.2)$$

M_{th} = Çubuğun birim yüzey alanının başına teorik pas kütlesi (g/cm^2),

W = Demirin atom birim ağırlığı demirin değerliği oranı ile (27.925 g),

I_{app} = Uygulanan akım yoğunluğu (Amp/cm^2),

T = Tesir edilmiş süre (sn),

F = Faraday'ın sabiti (96487 Amp-sn).

Doğrusal polarizasyon direnç ölçümü (LPR)

LPR tekniği betonarme çeliğin anlık korozyon oranını belirlemek için iyi bir yöntem haline gelmiştir. Teknik hızlı ve müdahaleci değil, çelik donatılara elektrik bağlantısı yapılmasını sağlamak için beton örtüsünde sadece lokal hasar gerektirir. Yaygın korozyon nedeniyle betonarme yapılarda çelik donatıların durumunun değerlendirilmesi ve tahribatsız teknikler geliştirilmesi için uyumlu bir yöntemdir (Broomfield, 1996). Çelik donatının polarizasyon direnci R_p ile aşağıdaki denklemden hesaplanır.

$$R_p = \frac{\Delta E}{\Delta I} \quad (3.3)$$

ΔE = Her koşulda potansiyeldeki değişikliği 10-30 mV doğrusal kık-dışli menzilin içinde kalır.

ΔI = Sabit bir süre sonra mevcut bozulmanın izlenmesi.

Ve bunlardan korozyon oranını I_{corr} hesaplanabilir.

$$I_{corr} = \frac{B}{R_p} \quad (3.4)$$

Burada B Kık – Dışli sabitidir, aktif çelik için 25 mV ve pasif çelik için 50 mV değerleri kabul edilmiştir.

Korozyonun akım yoğunluğunu i_{corr} belirlemek için polarize edilmiş çeliğin yüzey alanı tam olarak bilinmesi gerekir.

$$i_{corr} = \frac{I_{corr}}{A} \quad (3.5)$$

Mevcut mukavemet ve ekstrapolasyon ile yapının kalan servis ömrü tahmin edilebilir (Broomfield, 1996).

3.1.2. Donatısız beton numunelerde yapılan korozyon ölçme metotları

Donatısız beton numuneler üzerinde gerçekleştirilen hızlı klorür geçirgenlik ve elektriksel direnç deneyleri hakkında ayrıntılı bilgiler alttaki kısımlarda verilmiştir.

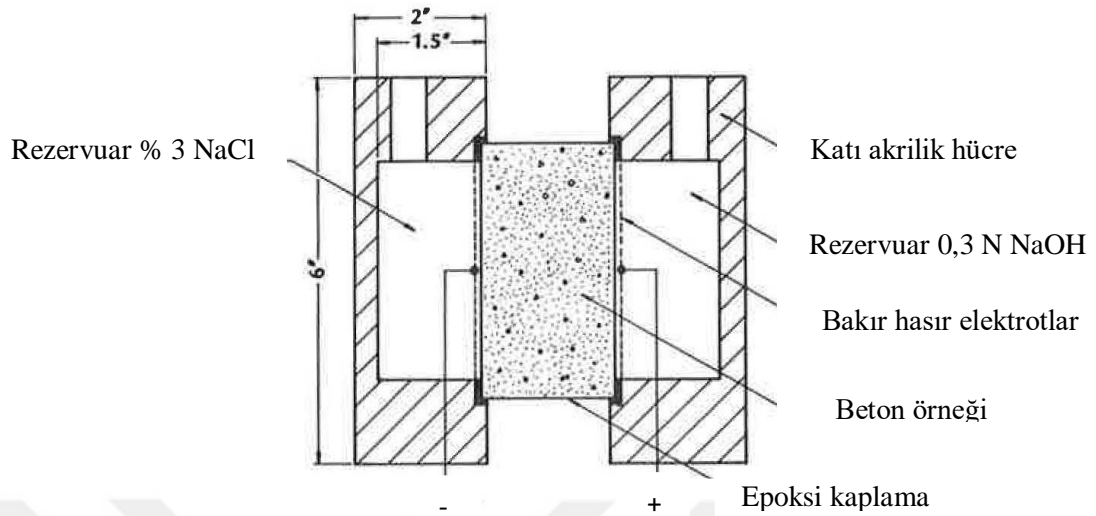
Hızlı klorür geçirgenlik metodu

1982’de araştırmacılar tarafından standart bir deney yöntemi olarak laboratuvar ortamında araştırıldı ve AASHTO’ya değerlendirilmek için verilmiştir. Bu yöntem hızlı klorür geçirgenlik deneyi veya coulomb deneyi olarak anılmaya başlanmıştır, AASHTO T 277-83 tarafından bu yöntem kabul edilerek betonun hızlı klorür geçirgenliği olarak isimlendirilmiştir. 1991’in sonlarında bir araştırmada elektriksel gösterge için standart deney yöntemi olarak ASTM C1202’de tanımlanmıştır. Bu standart deney yöntemi ile betonun klorür iyonu penetrasyonuna direnme yeteneği ölçülmektedir. ASTM ve AASHTO versiyonları arasında bazı önemli olmayan farklılıklar olmasına rağmen temel deney prosedürleri aynıdır. Deneyin her iki standart versiyonunun önemli bir özelliği yöntemin hassas ifadeleridir. Bu deney metodunun sonuçlarının değerlendirmesi Çizelge 3.2’de sunulmaktadır (Whiting, 1981).

Çizelge 3.2. Klorür geçirgenliği ile geçen yükün arasındaki ilişki.

Geçen yükü (coulomb)	Klorür geçirgenliği
> 4000	Yüksek
2000 - 4000	Orta
1000 - 2000	Düşük
100 - 1000	Çok düşük
< 100	Önemsiz

Klorür geçirgenliğini ölçmek için uygulanan voltaj hücresi Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Hücre katı akrilik plastikten ‘‘polimetilmetakrilat’’ hazırlanmıştır. Yaklaşık 200 ml kapasiteli iki hazneye izin verir ve her iki yüzü 102 mm çapında hızlı sertleşen silikon bileşiği çekirdeğe sahiptir. Bir rezervuar 0,3 N NaOH ile diğeri ise % 3,0 NaCl ile doludur. Çekirdek numune genellikle 51 mm kalınlığında testten 18 saat önce epoksi ve vakum ile kaplanır. Çekirdek daha sonra hücre yarımları arasında kapatılır, rezervuarları doldurulur ve numuneye 6 saat boyunca 60 Vdc voltaj akım uygulanır. 6 saatlik süre ve saha deneyinde olduğu gibi akımın integrali zamanla coulomb cinsinden kontrol edilir (Whiting, 1981).



Şekil 3.2. Voltaj hücresine uygulanan şematik çizimi.

Betonun elektriksel özdirenç ölçme metodu

Son yıllarda elektriksel direnç ölçüm teknikleri betonun kalite kontrolü ve dayanıklılık değerlendirmesi için araştırmacılar ve bilim adamlar arasında popüler haline gelmiştir. Bu tekniklerin standartlara ve yönergelere girmesi oldukça yavaştır. Sadece yüzeysel elektriksel özdirenç Amerikan karayolu ve ulaştırma birliği tarafından deney yöntemi olarak benimsenmiştir ve aynı zamanda ASTM komitesi C09 tarafından betonun yüzey elektriksel özdirenç değerlendirmek için bir standart prosedürü geliştirilmiştir. Bu standartlaştırılmış direnç deney metodu ASTM C1760,9'dır ve bu yöntem kütle elektrik özdirenç için kullanılmaktadır (Nadelman ve Kurtis, 2014)

Betonun dayanıklılığı büyük ölçüde betonun mikro yapısı, gözeneklerin boyutu, dağılımı ve onların birbiri ile olan arasındaki bağlantı şekline bağlıdır. Daha ince bir gözenek; daha az bağlantıya sahip ağ ve daha düşük geçirgenliğe yol açar. Çoğu elektriksel özdirenç tekniklerinin arkasındaki ana fikir olarak betonun mikro yapısının iletkenliği ölçmek yapmaktadır (Claisse, 2014).

Dirençlik P bir malzemenin doğal özeliğidir ve numunenin geometrisinden bağımsızdır, denklem 3.6 ve 3.8 özdirenç ve direnç arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır.

$$P = K.R \quad (3.6)$$

Burada R betonun direnci ve K numunenin boyutu ve şekline bağlı olan geometrik bir faktördür. Ayrıca; deney cihazının sondalar arasındaki mesafeyi de gösterir.

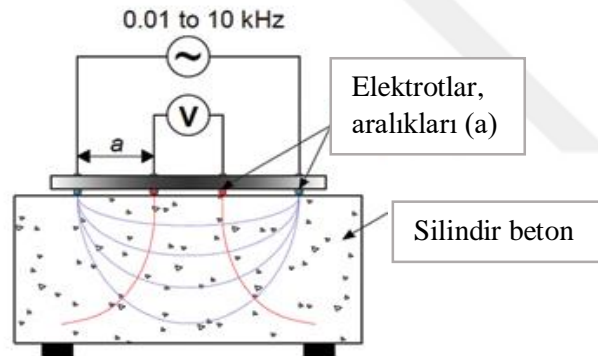
Dört nokta metodu

Bu teknikte betonun yüzey elektriksel özdirenci dört elektrot kullanılarak ölçülür, cihaz olarak en yaygın kabul edilen Wenner sondasıdır. Düz bir çizgide dört elektrotun eşit aralıklarla yerleştirilir; iki dış elektrotlar betona bir akım uygular ve iki iç elektrotlar elektrik potansiyeli V ölçer. Yarı sonsuz homojen bir malzeme için geometrik faktör denklem 3.7’de tanımlanır. Dört nokta yöntemi Şekil 3.3’te gösterilmiştir. Tespit edilen klorür penetrasyon seviyelerinin karşılaştırılması Çizelge 3.3’te verilmiştir (AASHTO T 277, 2007).

$$k = \gamma \cdot a \quad (3.7)$$

Burada a elektrotlar arasındaki eşit mesafedir, γ boyutsuz geometri düzeltme faktörüdür ve yarı sonsuz homojen beton elemanlar için 2π ’ye eşittir.

$$P = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R \quad (3.8)$$



Şekil 3.3. Dört nokta (Wenner probe) yöntemi.

Çizelge 3.3. Tespit edilen klorür penetrasyon seviyelerinin karşılaştırılması. Elektriksel özdirenci (AASHTO TP 95) ve klorür geçirgenliğinin (ASTM C1202) dayalı standartlar için.

Klorür iyonu işlenebilirliğini, korozyon olasılığı	AASHTO TP 95, $k\Omega \cdot \text{cm}$	ASTM C1202 Coulombs
Yüksek	< 12	> 4000
Orta	12 ila 21	2000 ila 4000
Düşük	21 ila 37	1000 ila 2000
Çok düşük	37 ila 254	100 ila 1000
Önemsiz	> 254	< 100

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada cam lif katkılı donatısız ve cam lif katkılı donatılı beton numuneler olmak üzere iki farklı türde numuneler üretilmiştir. Cam lif katkılı donatısız beton numunelerde betonun fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerindeki değişiklikleri, cam lif katkılı donatılı beton numunelerde ise çelik donatının korozyonunda oluşan değişiklikleri deneysel olarak araştırılmıştır.

Bu çalışmada cam life göre beton karışımları katkısız ve % 1, 2, 3 oranlarında hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlar 7 ve 28 gün olmak üzere iki farklı kür süresine bırakılmıştır. Üretilmiş donatısız numunelerin fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özellikleri, donatılı numunelerde betonun dayanıklılık özellikleri ve korozyonu belirlenmiştir. Fiziksel özellikleri saptamak için yapılan cam lif katkılı ve katkısız donatısız beton numunelerde birim ağırlık ve ultrases geçiş süresi deneyleri yapılmıştır. Mekanik özellikleri saptamak için cam lif katkılı ve katkısız donatısız beton numunelerde yüzey sertliği, basınç dayanımı, eğilmede çekme ve yarmada çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Dayanıklılık özelliklerini saptamak için cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerde hızlandırılmış korozyon, yarı hücre potansiyeli deneyleri yapılmıştır. Hızlandırılmış korozyona uğramış donatıların önce hidroklorik asit çözeltisinde temizlenmesinden sonra kütle kayıpları hesaplanmıştır ve daha sonra korozyona uğramış donatıların çekme deneyleri yapılarak donatılardaki oluşan değişimler incelenmiştir. Cam lif katkılı ve katkısız donatısız silindir beton numunelerde ise elektriksel özdirenç deneyi yapılmıştır.

4.1. Kullanılan Malzemeler

4.1.1. Cam lifi

Deney çalışmalarında Kompozit.net'ten temin edilmiş, Şekil 4.1'de gösterilmiş AR sınıfı cam lif kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Alkaliye dayanıklı 24 mm'lik kırılmış cam lifi.

Kullanılan alkaliye dayanıklı cam lifin kimyasal, fiziksel ve elektriksel özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Alkaliye dayanıklı cam lifin kimyasal, fiziksel ve elektriksel özellikleri.

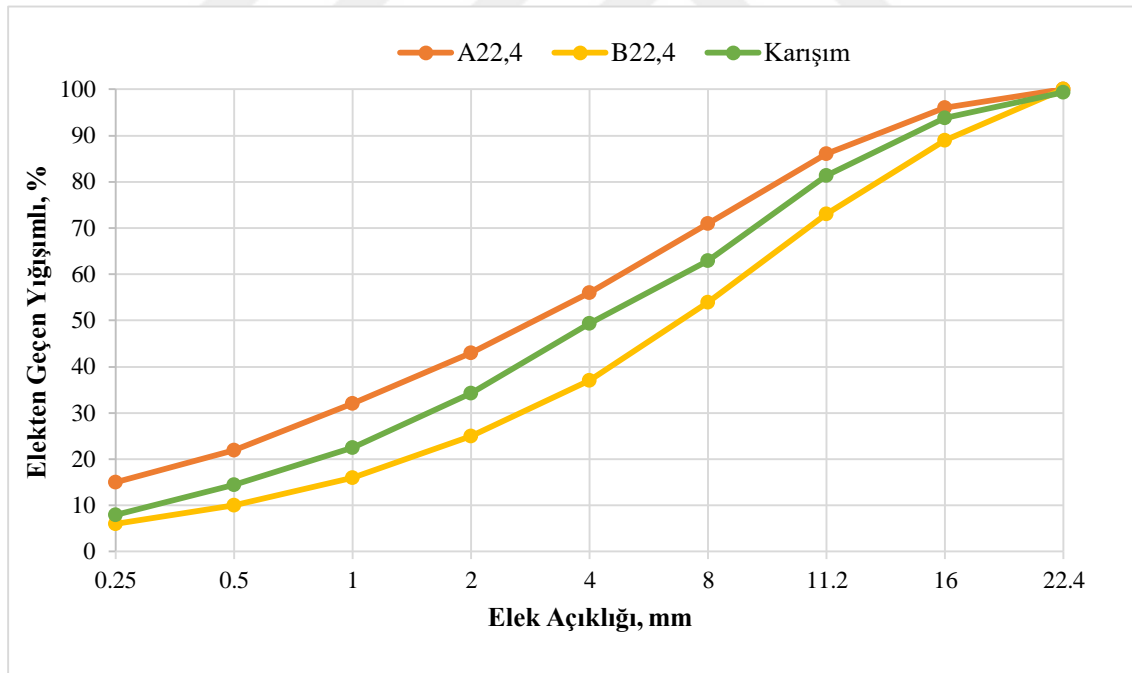
Kimyasal özellikleri	Kimyasal bileşim	AR tipi cam lif %
	SiO ₂	55 - 75
	Al ₂ O ₃	0 - 5
	B ₂ O ₃	0 - 8
	CaO	1 - 10
	Li ₂ O	0 - 1,5
	Na ₂ O+K ₂ O	11 - 12
	TiO ₂	0 - 12
	ZrO ₂	1 - 18
	Fe ₂ O ₃	0 - 5
Fiziksel ve elektriksel özellikleri	AR tipi cam lif oranları	
	Yoğunluk (g/cm ³)	2,70
	Kırılma İndeksi	1,576
	Yumuşama Noktası, °C	773
	Gerilme Mukavemeti MPa , 23 °C’de	3241
	Elastisite Modülü GPa, 23 °C ‘de	73,1
	Dielektrik Sabiti 1 MHz	8,1

4.1.2. Agregalar

Deneysel çalışmalarda kalker esaslı kırmataş ve kırma kum kullanılmıştır. İri, orta ve ince agregaların oranları sırasıyla % 19, 30 ve 51 olarak hesaplanıp kullanılmıştır. İri, orta ve ince agregaların özgül ağırlıkları sırasıyla 2,70; 2,69 ve 2,67 olarak bulunmuştur. İri, orta ve ince agregaların incelik modülleri sırasıyla 7,10; 5,69 ve 2,52 olarak hesaplanmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan agregaların elek analizi Çizelge 4.2’de verilmiştir ve elek analizinin eğrisi Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Deneysel çalışmada kullanılan agregaların elek analizi.

Elek açıklığı, mm	Elekten geçen yığışım, %			
	İri agrega	Orta agrega	İnce agrega	Karışım
22,4	96,87	100,00	100,00	99,4
16	67,60	100,00	100,00	93,8
11,2	21,74	87,50	100,00	81,4
8	2,44	38,43	100,00	63,0
4	0,47	1,97	95,30	49,3
2	0,17	0,84	66,40	34,2
1	0,10	0,77	43,60	22,5
0,5	0,10	0,70	27,80	14,4
0,25	0,07	0,63	15,30	8,0
İncelik Modülü	7,10	5,69	2,52	4,35



Şekil 4.2. Deneysel çalışmada kullanılan agregaların elek analizinin eğrisi.

4.1.3. Çimento

Deneysel çalışmada TS EN 197-1 standarda uygun CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmıştır ve laboratuvardan temin edilen çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. CEM I 42,5 R çimentosunun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri.

Kimyasala özellikleri	Kimyasal bileşimler	CEM I 42.5 R (%)	TS EN 197-1 sınırları
	SiO ₂	20,45	~
	Al ₂ O ₃	5,88	~
	Fe ₂ O ₃	3,08	~
	CaO	63,15	~
	MgO	1,89	5,0
	Na ₂ O	0,58	~
	K ₂ O	0,88	~
	SO ₃	2,89	3,5
	Cl ⁻	0,007	~
	Serbest kireç	1,90	~
	Kızdırma kaybı	3,90	4,0
	Çözünmeyen kalıntı	0,40	1,0
	Fiziksel özellikleri		CEM I 42,5 R oranları	TS EN 197-1 sınırları
Hacim genişmesi (mm)		3,0	En çok 10
Özgül yüzey (cm ² /g)		3300	En az 2800
Özgül ağırlık		3,10	~
Priz Başlangıcı (dk)		195	En az 60
Priz Sonu (dk)		300	En çok 600
Mekanik özellikler	2 günlük basınç dayanımı MPa	22,5	En az 20
	7 günlük basınç dayanımı MPa	47,5	En az 31,5
	28 günlük basınç dayanımı MPa	56,0	En az 42,5

4.1.4. Beton karışım suyu

Beton karışımında kullanılan su, üniversite laboratuvarından temin edilen Kütahya bölge şebeke suyudur.

4.1.5. Süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkısı ve NaCl tuzu

Deneysel çalışmalarda CHRYSO firmanın süperakışkanlaştırıcı katkısı kullanılmıştır. Kullanılmış süperakışkanlaştırıcı katkının fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.4'te

verilmiştir. Hızlandırılmış korozyon deneyinde elektrolit olarak kullanılan sanayi tipi sodyum klorür tuzu bölüm laboratuvarından temin edilmiştir.

Çizelge 4.4. Karışımlarda kullanılan süperakışkanlaştırıcı katkının fiziksel ve kimyasal özellikleri.

pH değeri	8,8
Özgül Ağırlığı (20 °C), g/ml	1195
Alkali içeriği, %	≤ 7
Klor İyon içeriği, %	≤ 0,1
Kuru madde, %	37,2
Renk	Koyu rengi sıvı
İçeriği	Naftalin Sülfanat
Homojenlik	Ayrışma görülmemiştir

4.1.6. Çelik donatı

Deneylerde kullanılan 14 mm çapındaki çelik donatılar Kütahya’da yerel bir inşaat firması olan Acar İnşaat şantiyesinden temin edilmiştir.

4.2. Karışım Oranları

Deneylerde beton karışımının dozajı 330 kg/m^3 ve su/çimento oranı 0,51 sabit olarak alınmıştır. Betonun kıvamının S3 sınıfı olması için yerinde ölçülen 15 cm’lik ortalama slump değeri için % 2 oranında süperakışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Karışımlarda cam lifi çimentonun hacim yüzdesi (% 1, 2, 3) olarak sabit bir şekilde kullanılmıştır. Üretilen numuneler 7 ve 28 gün olarak iki ayrı standart kür süresine tabi tutulmuştur. Tüm deneylerde kullanılan beton karışım oranları Çizelge 4.5’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Tüm deneylerde kullanılan beton karışım oranları (kg/m^3).

Karışım adları	Çimento	Su	Kimyasal katkısı	İri agrega	Orta agrega	İnce agrega	Cam lif
Ref	330	185	7,17	332,12	525,41	891,49	% 0
CL (%1)	330	185	7,17	332,12	525,41	891,49	% 1*
CL (%2)	330	185	7,17	332,12	525,41	891,49	% 2*
CL (%3)	330	185	7,17	332,12	525,41	891,49	% 3*

(*) : Çimento hacminin yüzdesi

4.3. Deneysel Çalışmalar İçin Üretilen Beton Numune Tipleri ve Hazırlanması

Numuneler donatılı ve donatısız olmak üzere iki ayrı biçiminde üretilmiştir. Numuneler 150 mm'lik küp, yüksekliği 300 mm ve çapı 150 mm'lik silindir ve 150x150x600 mm'lik prizma olarak üretilmiştir. Betonun fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerini araştırmak için donatılı ve donatısız beton numuneler hazırlanıp laboratuvar ortamında 24 saat bekletilmiştir daha sonra tüm numuneler kalıplarından çıkartılıp 20 ± 2 °C'lik kirece doymun kür havuzlarında 7 ve 28 gün bekletilmiştir. Kür süresini tamamladıktan sonra numuneler havuzlardan çıkartılıp kurumak için laboratuvar ortamında bekletilmiştir, daha sonra numunelerde gerekli deneyler yapılmıştır. Mekanik ve fiziksel özellikleri araştırmak için donatısız küp, silindir ve prizma numuneleri kullanılmıştır. Betonun dayanıklılığı araştırmak için donatılı ve donatısız silindir numuneler kullanılmıştır. Numunelerin kürde bekletilmesi Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Numunelerin kürde bekletilmesi.

4.4. Yapılan Deneyler

Yapılan deneysel çalışmalarda cam lif katkıli ve katkısız betonun fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özellikleri araştırılmıştır. Fiziksel özellikleri araştırmak için 7 ve 28 gün iki ayrı kür süresine tabi tutulmuş numunelerde hasarsız deneylerden birim ağırlık ve ultrases geçiş süresi deneyleri yapılmıştır. Mekanik özellikleri araştırmak için hasarlı deneylerden 7 ve 28 gün iki ayrı kür süresine tabi tutulmuş küp numunelerde yüzey sertliği ve basınç, silindir numunelerde yarmada çekme ve prizma numunelerde ise eğilmede çekme deneyleri yapılmıştır. Dayanıklılık özelliklerini araştırmak için 28 gün kür süresine tabi tutulmuş donatılı silindir numunelerde yarı hücre potansiyeli, hızlandırılmış korozyon, korozyona uğrayan donatıların hidroklorik asit (HCl)

çözeltisinde temizlendikten sonra kütle kayıpları ve tek eksenli çekme deneyleri yapılmıştır. Donatısız silindir numunelerde ise elektriksel öz direnç deneyi yapılmıştır.

4.4.1. Fiziksel özellik deneyleri

Cam lif katkılı ve katkısız betonun fiziksel özelliklerini belirlemek için üretilmiş numunelerde 7 ve 28 gün kür yapıldıktan sonra tümünde birim ağırlık ve ultrases geçiş süresi deneyleri yapılmıştır.

Birim ağırlık deneyi

150x150x150 mm'lik küp, 150x300 mm'lik silindir ve 150x150x600 mm'lik prizma olarak cam lif katkılı ve katkısız üretilmiş beton numuneler sırasıyla 7 ve 28 gün standart kürden sonra havuzlardan çıkarılıp Şekil 4.4'te gösterildiği gibi laboratuvarında kurumak için bekletilmiştir. Daha sonra beton numunelerin ağırlıkları belirlenmiştir, belirlenen ağırlıklar beton numunelerin hacimlerine bölünüp birim ağırlıkları hesaplanmıştır.



Şekil 4.4. Havuzdan çıkarılmış beton deney numuneleri.

Ultrases geçiş süresi deneyi

Cam lif katkılı ve katkısız üretilmiş betondan 150x150x150 mm'lik küp, 150x600 mm'lik silindir ve 150x150x600 mm'lik prizma numunelerde birim ağırlık deneyi yapıldıktan sonra ultrases geçiş süreleri ölçülmüştür. Deneyde kullanılan cihaz okuması mikro saniye cinsinden

frekansı 55 kHz'dir. Ultrases geçiş hızı numunelerin boyutlarının geçiş süresine oranlanması ile hesaplanmıştır. Şekil 4.5'te deneyin düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Beton numunenin ultrases geçiş süresi deneyi.

4.4.2. Mekanik özellik deneyleri

Cam lif katkılı ve katkısız betonun mekanik özellikleri belirlemek için üretilmiş numunelerde 7 ve 28 gün kürden sonraki hasarsız ve hasarlı deneyler yapılmıştır. Hasarsız deney olarak küp numunelerde yüzey sertliği deneyi yapılmıştır. Hasarlı deneyler olarak küp numunelerde basınç, silindir numunelerde yarmada çekme ve prizma numunelerde eğilmede çekme deneyleri yapılmıştır.

Yüzey sertlik deneyi

Cam lif katkılı ve katkısız üretilmiş betondan 150x150x150 mm boyutundaki küp numunelerde 7 ve 28 gün kür yapıldıktan sonra yüzey sertliği belirlemek için önce numuneler ön yüklemeye tabi tutulmuştur ve daha sonra Schmidt çekiciyle Şekil 4.6'da gösterildiği gibi belli noktalarda 10 vuruş yapılarak betonun yüzey sertliği belirlenmiştir.



Şekil 4.6. Beton numunenin yüzey sertliği deneyi.

Basınç dayanım deneyi

Cam lif katkılı ve katkısız üretilmiş betondan 150x150x150 mm boyutundaki küp numunelerde 7 ve 28 gün kür yapıldıktan sonra betonun basınç dayanımı belirlemek için basınç presinde pürüzsüz yüzeylere 0,6 MPa/sn'lik sabit bir hızla yükleme yapılarak betonun kırılma yükleri belirlenmiştir. Daha sonra numunelerin kırılma yükünü yüzey alanına bölerek betonun basınç dayanımı belirlenmiştir. Şekil 4.7'de basınç dayanımı deneyinin düzeneği gösterilmiştir.

Betonun basınç dayanımı denklem 4.1'den bulunmuştur.

$$\sigma_b = \frac{P}{A} \quad (4.1)$$

Burada;

P = Beton numunenin kırılma yükü (N),

A = Beton numunenin alanı (mm²).



Şekil 4.7. Beton numunenin basınç deneyi.

Yarmada çekme dayanım deneyi

Cam lif katkılı ve katkısız üretilmiş betondan 150x300 mm boyutundaki silindir numunelerde 7 ve 28 gün kür yapıldıktan sonra betonun yarmada çekme dayanımı belirlemek için basınç makinesiyle yanal yüzeylere 0,05 MPa/sn'lik sabit bir hızla yükleme yapılarak betonun kırılma yükleri belirlenmiştir. Silindir numune kırıldıktan sonra numunenin kırılma yükünden çekme gerilmeleri denklemleriyle betonun yarmada çekme dayanımı hesaplanmıştır. Şekil 4.8'de yarmada çekme deneyinin düzeneği gösterilmiştir.

Yarmada çekme dayanımı denklem 4.2'den bulunmuştur.

$$\sigma_{yç} = \frac{2P}{\Pi.D.H} \quad (4.2)$$

Burada;

P = Beton numunenin kırılma yükü (N),

Π = Sabit değeri (3,1416) ,

D = Beton numunenin yarıçapı (mm),

H = Beton numunenin yüksekliği (mm).



Şekil 4.8. Beton numunenin yarmada çekme deneyi.

Eğilmede çekme dayanım deneyi

Cam lif katkılı ve katkısız üretilmiş betondan 150x150x600 mm boyutundaki prizma numunelerde 7 ve 28 gün kür yapıldıktan sonra betonun eğilmede çekme dayanımı belirlemek için önce prizmanın iki mesnetlere denk gelecek açıklığı 450 mm olarak ayarlanıp çizilmiştir. Daha sonra 0,05 MPa/sn'lik sabit bir hızla yükleme yapılarak betonun kırılma yükleri belirlenmiştir. Prizma numune kırıldıktan sonra elde edilen kırılma yükleri denklem 4.3'te yerine konularak betonun eğilmede çekme dayanımı hesaplanmıştır. Şekil 4.9'da eğilmede çekme deneyinin düzeneği gösterilmiştir.

$$\sigma_{e\check{c}} = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (4.3)$$

Burada;

P = Kırılma yükü (N),

L = Numunenin uzunluğu (450 mm),

b = Numunenin genişliği (150 mm).

h = Numunenin yüksekliği (150 mm).



Şekil 4.9: Beton numunenin eğilmede çekme deneyi.

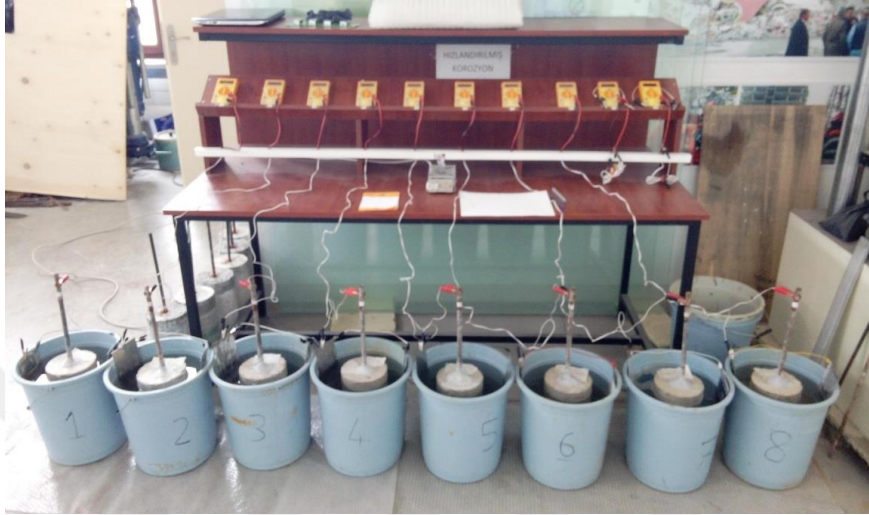
4.4.3. Dayanıklılık özellik deneyleri

Cam lif katkılı ve katkısız üretilmiş betonun dayanıklılık özelliklerini belirlemek için donatısız ve donatılı 150x300 mm'lik silindir numuneler yapılmıştır. Donatılı silindir numunelerde 28 gün standart kür yapıldıktan sonra hızlandırılmış korozyon, yarı hücre potansiyeli, korozyona uğramış silindir numunelerden çıkarılan donatılarda ağırlık kayıplarının hesaplanması ve tek eksenli çekme deneyleri yapılmıştır. Donatısız silindir numunelerde 28 gün standart kür yapıldıktan sonra elektriksel özdirenç deneyi yapılmıştır.

Hızlandırılmış korozyon deneyi

Cam lif katkılı ve katkısız üretilmiş betonun 150x300 mm'lik silindir numunelerinde 14 mm çapında ve 55 cm uzunluğunda 25 cm'i betonun içerisinde kalacak şekilde çelik donatılar yerleştirilmiştir. 28 gün standart kürden sonra havuzlardan çıkarılan donatılı silindir numunelerde ilk önce yarı hücre potansiyel deneyi daha sonra hızlandırılmış korozyon deneyi yapılmıştır. Deneyin yapılışında veri toplama cihazı, DC güç kaynağı, silindir numunenin 50 mm'lik altında kalacak şekilde su ve % 5 oranında NaCl çözeltisi, kova ve iki adet paslanmaz çelik plakalar kullanılmıştır. Doğru akımın pozitif kutbu donatıya ve negatif kutbu ise plakaya bağlanmıştır, tüm numunelere 24 volt sabit bir gerilim verilmiştir. Deneyde kullanılan 16 adet donatılı numunelerden ilk önce 8 adeti NaCl çözeltisinde % 3 ve % 6 ağırlık kaybına uğratılmıştır, daha

sonra ikinci 8 adeti % 9 ve % 12 ağırlık kaybına uğratılmıştır. Deneyde her saatte bir hazneden geçen korozyon akım değerleri toplanmıştır. Şekil 4.10'da hızlandırılmış korozyon deneyinin düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Hızlandırılmış korozyon deneyi.

Yarı hücre potansiyel deneyi

Cam lif katkılı ve katkısız üretilmiş donatılı 150x300 mm'lik silindir beton numunelerinde 28 gün standart kürden sonra korozyon deneyinden önce ve sonrasında yarı hücre potansiyel deneyi yapılmıştır. Bu deney cihazı ASTM C876-91 standardına göre çalışma prensibine sahiptir. Voltaj ölçüm aralığı -1000 ve +1000 mV ve 1 mV ölçüm hassasiyetine sahiptir. Referans elektrot olarak bakır/bakır sülfat (CSE) kullanılmıştır, referans elektrotun ve betonun içerisindeki donatı arasında oluşan potansiyel farkı yüksek empedanslı bir Voltmetre ile ölçülmüştür.

Bu deneyde kullanılan cihaz ile 150x300 mm'lik silindir numunelerin 28 gün standart kürden sonra hızlandırılmış korozyon deneyi yapılmadan önce potansiyel (E_{corr}) ölçümü yapılmıştır. Daha sonra hızlandırılmış korozyon deneyine tabi tutulmuştur, hedeflenmiş donatıların korozyon kayıplarından sonra korozyon potansiyeli bir daha ölçülmüştür. Korozyon olasılığı ve korozyon durumu Çizelge 3.1'e göre incelenmiştir. Şekil 4.11'de yarı hücre potansiyel deneyinin düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Yarı hücre potansiyel deneyi.

Elektriksel özdirenç deneyi

Cam lif katkılı ve katkısız üretilmiş donatısız 150x300 mm'lik silindirik beton numuneler 28 gün standart kürden sonra havuzdan çıkartılıp suya doymun haldeyken elektriksel özdirenç deneyine tabi tutulmuşlardır. Her silindirik numuneye dört farklı yerden elektriksel akım uygulanmıştır, okuma yaparken aletin dört ucunun altında ilk önce iletken jel sürülmüştür, daha sonra % 1, 2, 3 oranlarında lif katkılı ve referans betonların özdirençleri hakkında bilgi alınmıştır. Şekil 4.12'de elektriksel özdirenç deneyinin düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Elektriksel özdirenç deneyi.

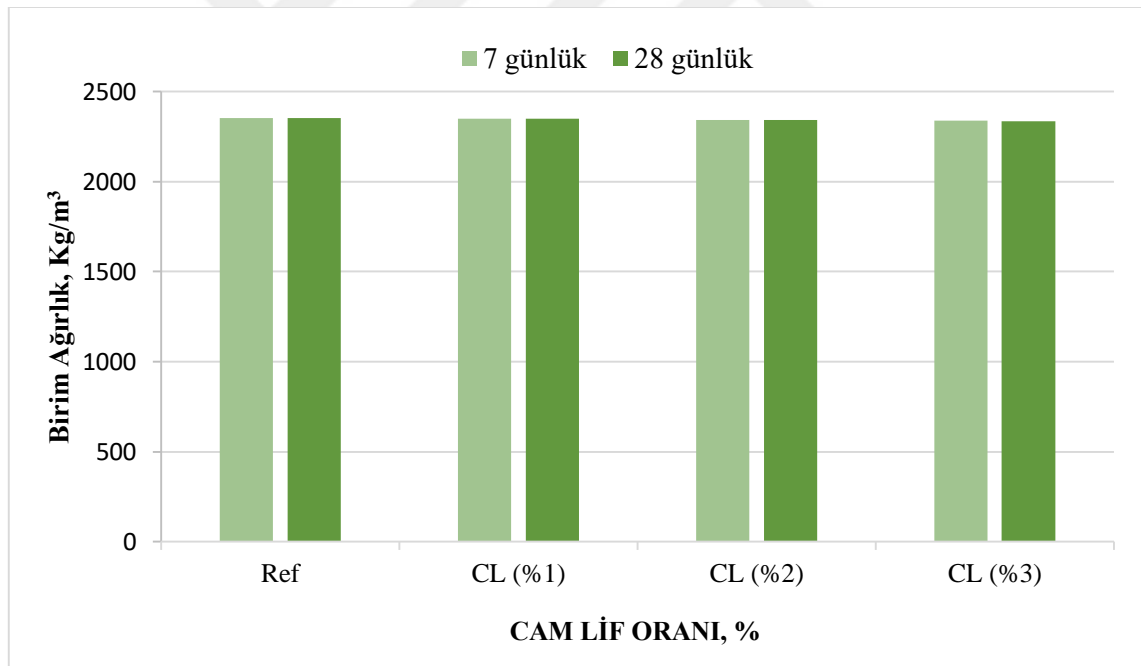
5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMALAR

Bu çalışmada betona katılmış cam lifinden kaynaklanan betonun fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerindeki değişimler araştırılmıştır. Betonun fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerinde meydana gelen bu değişimler ayrıntılı olarak aşağıdaki kısımlarda verilmiştir.

5.1. Fiziksel Özellik Deney Sonuçları ve Tartışması

5.1.1. Birim ağırlık deney sonuçları ve tartışması

Farklı oranlarda % 1, 2, 3 cam lif katkı ve katkısız küp, silindir ve prizma beton numunelerin ortalama birim ağırlık değerleri Ek 1’de verilmiştir. Cam lif katkı ve katkısız küp, silindir ve prizma beton numunelerden elde edilmiş ortalama birim ağırlık değerleri Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



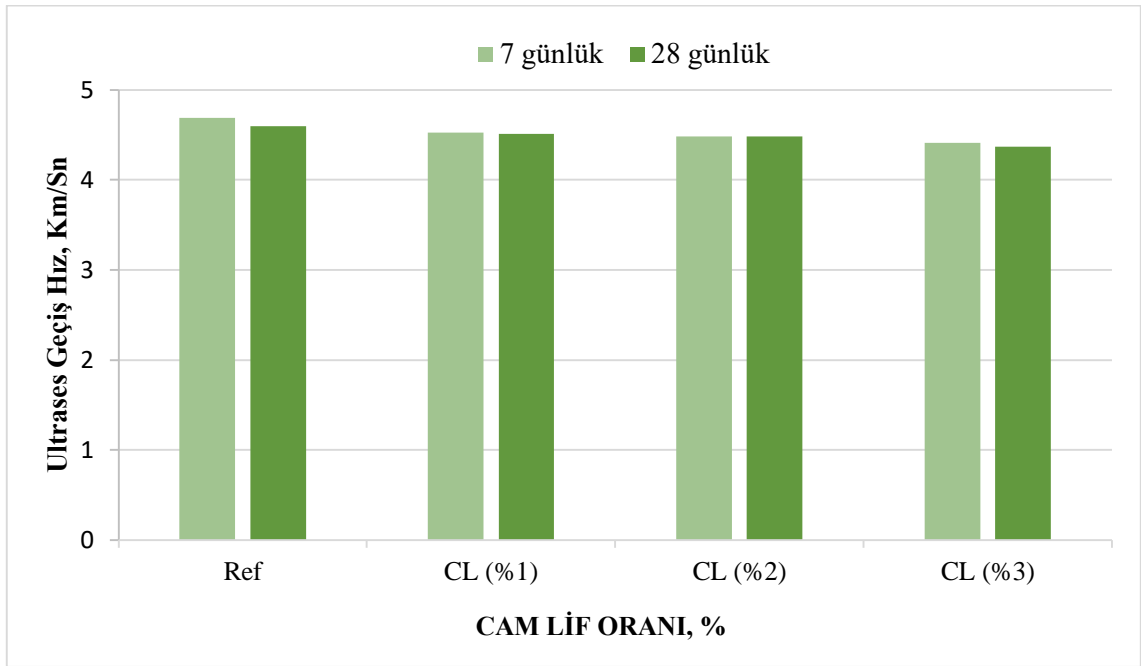
Şekil 5.1. Birim ağırlık deney sonuçları.

Birim ağırlık verileri incelendiğinde; 7 gün kür edilmiş katkısız beton numunelerin ortalama birim ağırlığı $2352,6 \text{ kg/m}^3$ iken % 1 cam lif katkı beton numunelerin ortalama birim ağırlığı $2348,3 \text{ kg/m}^3$, % 2 cam lif katkı beton numunelerin ortalama birim ağırlığı $2342,6 \text{ kg/m}^3$ ve % 3 cam lif katkı beton numunelerin ortalama birim ağırlığı $2339,4 \text{ kg/m}^3$ olarak hesaplanmıştır. 7 gün kür edilmiş % 1 cam lif katkı beton numunelerin ortalama birim

ağırlığında katkısız beton numunelerin ortalama birim ağırlığına göre % 0,18 azalış görünürken % 2 cam lif katkılı beton numunelerin ortalama birim ağırlığında referansa göre % 0,43 azalış meydana gelmiştir ve % 3 cam lif katkılı beton numunelerin ortalama birim ağırlığında referansa göre % 0,56 azalış görünmüştür. Ayrıca 28 gün kür edilmiş katkısız beton numunelerin ortalama birim ağırlığı $2353,4 \text{ kg/m}^3$ iken % 1 cam lif katkılı beton numunelerin ortalama birim ağırlığı $2347,5 \text{ kg/m}^3$, % 2 cam lif katkılı beton numunelerin ortalama birim ağırlığı $2341,1 \text{ kg/m}^3$ ve % 3 cam lif katkılı beton numunelerin ortalama birim ağırlığı $2335,6 \text{ kg/m}^3$ olmuştur. 28 gün kür edilmiş % 1 cam lif katkılı beton numunelerin ortalama birim ağırlığında referans beton numunelerin ortalama birim ağırlığına göre % 0,25 azalış görünürken % 2 cam lif katkılı beton numunelerin ortalama birim ağırlığında referans beton numunelerin ortalama birim ağırlığına göre % 0,53 azalış meydana gelmiştir ve % 3 cam lif katkılı beton numunelerin ortalama birim ağırlığı referans beton numunelerin ortalama birim ağırlığına göre % 0,76 azalış meydana gelmiştir. Cam lif katkılı beton numunelerin ortalama birim ağırlığı katkısız beton numunelere göre genel kıyaslamada; 7 ve 28 gün kür edilmiş beton numunelerinde cam lif oranının artışıyla ortalama birim ağırlığında doğrusal azalış meydana gelmiştir.

5.1.2. Ultrases geçiş süresi deney sonuçları ve tartışması

Farklı oranlarda % 1, 2, 3 cam lif katkılı ve katkısız küp, silindir ve prizma beton numunelerin ultrases geçiş süresi deneyinden elde edilen deney sonuçlarına göre hesaplanan ortalama ultrases geçiş hızı değerleri Ek 1'de verilmiştir. Cam lif katkılı ve katkısız küp, silindir ve prizma beton numunelerden elde edilmiş ortalama ultrases geçiş hızı değerleri Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Ultrases geçiş hızı sonuçları.

Ultrases geçiş hız verileri incelendiğinde; 7 gün kür edilmiş katkısız beton numunelerin ortalama ultrases geçiş hızı 4,691 km/sn iken % 1 cam lif katkıli beton numunelerin ortalama ultrases geçiş hızı 4,525 km/sn, % 2 cam lif katkıli beton numunelerin ortalama ultrases geçiş hızı 4,482 km/sn ve % 3 cam lif katkıli beton numunelerin ortalama ultrases geçiş hızı 4,411 km/sn olmuştur. 7 gün kür edilmiş % 1 cam lif katkıli beton numunelerin ortalama ultrases geçiş hızı katkısız beton numunelerin ortalama ultrases geçiş hızına göre % 3,67 azalış getirirken % 2 cam lif katkıli beton numunelerin ortalama ultrases geçiş hızında referansa göre % 4,66 azalış meydana gelmiştir ve % 3 cam lif katkıli beton numunelerin ortalama ultrases geçiş hızında referansa göre % 6,35 azalış olmuştur. Ayrıca 28 gün kür edilmiş katkısız beton numunelerin ortalama ultrases geçiş hızı 4,598 km/sn iken % 1 cam lif katkıli beton numunelerin ortalama ultrases geçiş hızı 4,508 km/sn, % 2 cam lif katkıli beton numunelerin ortalama ultrases geçiş hızı 4,483 km/sn ve % 3 cam lif katkıli beton numunelerin ortalama ultrases geçiş hızı 4,370 km/sn olmuştur. 28 gün kür edilmiş % 1 cam lif katkıli beton numunelerin ortalama ultrases geçiş hızında referans beton numunelerin ortalama ultrases geçiş hızına göre % 2,00 azalış görünürken % 2 cam lif katkıli beton numunelerin ortalama ultrases geçiş hızında referans beton numunelerin ortalama ultrases geçiş hızına göre % 2,57 azalış meydana gelmiştir ve % 3 cam lif katkıli beton numunelerin ortalama ultrases geçiş hızında referans beton numunelerin ortalama ultrases geçiş hızına göre % 5,22 azalış meydana gelmiştir. Cam lif katkıli beton numunelerin ortalama ultrases geçiş hızı katkısız beton numunelerin ortalama ultrases geçiş hızına göre genel kıyaslamada; 7 ve 28 gün

kür edilmiş beton numunelerde cam lif oranının artışıyla ultrases geçiş hızında azalış meydana gelmiştir.

Dinamik elastisite modülü sonuçları ve tartışması

Farklı oranlarda % 1, 2, 3 cam lif katkı ve katkısız küp, silindir ve prizma beton numunelerin ortalama dinamik elastisite modülü değerleri Ek 1’de verilmiştir. Cam lif katkı ve katkısız küp, silindir ve prizma beton numunelerden elde edilen ortalama dinamik elastisite modülü değerleri Şekil 5.3’te gösterilmiştir. Dinamik elastisite modülü değerlerini denklem 5.1’den hesaplanmıştır.

$$E_{\text{din}} = \frac{V^2 n (1 + \mu) (1 - 2\mu)}{1 - \mu} (10^{-6}) \quad (5.1)$$

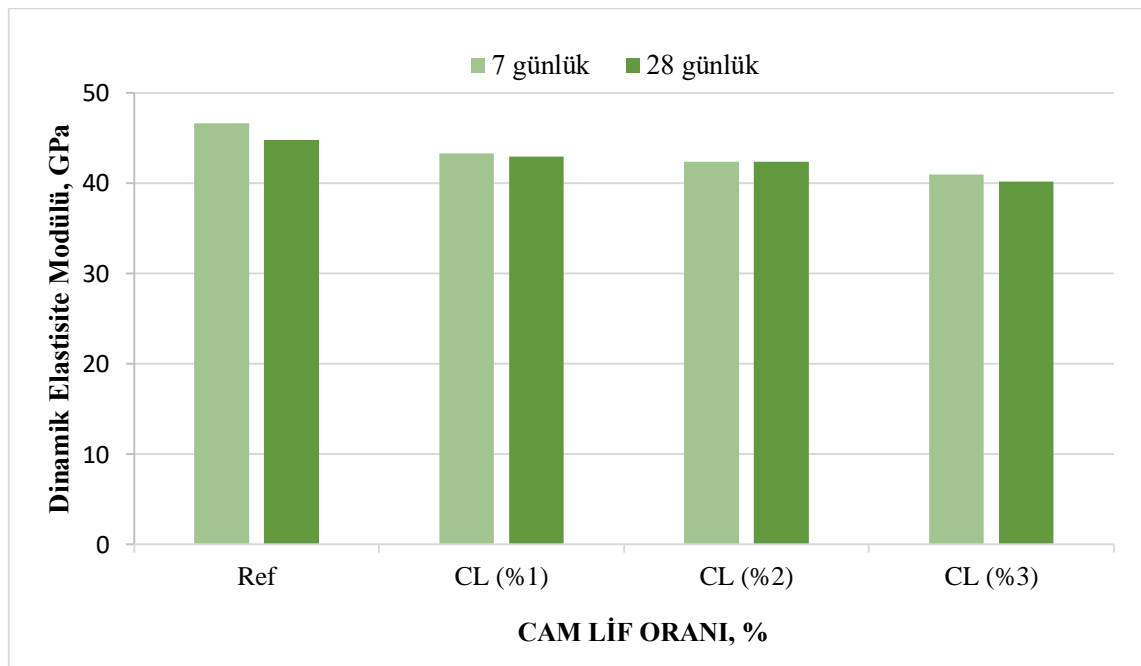
E_{din} = Dinamik elastisite modülü (MPa),

n = Betonun birim ağırlığı (kg/m^3),

V = Ultrases geçiş hızı (m/sn),

μ = Poisson oranı

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



Şekil 5.3. Dinamik elastisite modülü sonuçları.

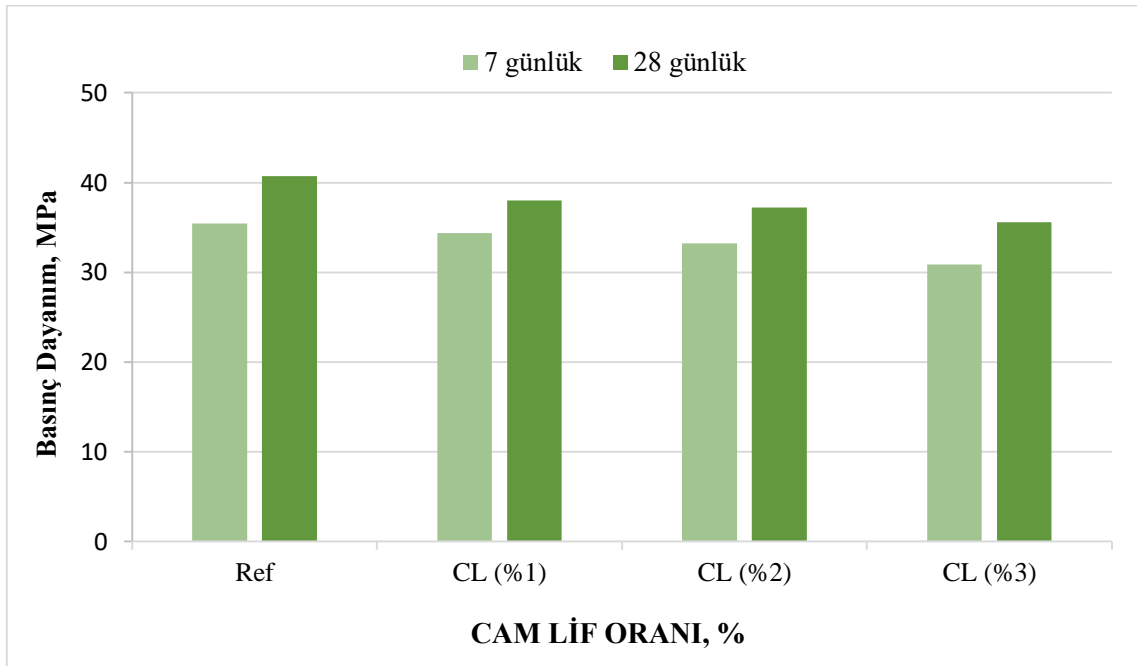
Dinamik elastisite modülü verileri incelendiğinde; 7 gün kür edilmiş katkısız beton numunelerin ortalama dinamik elastisite modülü 46,59 GPa iken % 1 cam lif katkılı beton numunelerin ortalama dinamik elastisite modülü 43,27 GPa, % 2 cam lif katkılı beton numunelerin ortalama dinamik elastisite modülü 42,35 GPa ve % 3 cam lif katkılı beton numunelerin ortalama dinamik elastisite modülü 40,97 GPa olmuştur. 7 gün kür edilmiş % 1 cam lif katkılı beton numunelerin ortalama dinamik elastisite modülünde katkısız beton numunelerin ortalama dinamik elastisite modülüne göre % 7,67 azalış görünürken % 2 cam lif katkılı beton numunelerin ortalama dinamik elastisite modülünde referansa göre % 10,01 azalış meydana gelmiştir ve % 3 cam lif katkılı beton numunelerin ortalama dinamik elastisite modülünde referansa göre % 13,72 azalış olmuştur. Aynı zamanda 28 gün kür edilmiş katkısız beton numunelerin ortalama dinamik elastisite modülü 44,78 GPa iken % 1 cam lif katkılı beton numunelerin ortalama dinamik elastisite modülü 42,94 GPa, % 2 cam lif katkılı beton numunelerin ortalama dinamik elastisite modülü 42,34 GPa ve % 3 cam lif katkılı beton numunelerin ortalama dinamik elastisite modülü 40,14 GPa olmuştur. 28 gün kür edilmiş % 1 cam lif katkılı beton numunelerin ortalama dinamik elastisite modülünde referans beton numunelerin ortalama dinamik elastisite modülüne göre % 4,29 azalış görünürken % 2 cam lif katkılı beton numunelerin ortalama dinamik elastisite modülünde referans beton numunelerin ortalama dinamik elastisite modülüne göre % 5,76 azalış meydana gelmiştir ve % 3 cam lif katkılı beton numunelerin ortalama dinamik elastisite modülünde referans beton numunelerin ortalama dinamik elastisite modülüne göre % 11,56 azalış meydana gelmiştir. Cam lif katkılı beton numunelerin dinamik elastisite modülü katkısız beton numunelerin dinamik elastisite modülüne göre genel kıyaslamada; 7 ve 28 gün kür edilmiş beton numunelerin cam lif oranının artışıyla ortalama dinamik elastisite modülünde azalış meydana gelmiştir.

5.2. Mekanik Özellik Deney Sonuçları ve Tartışmalar

Cam lif katkılı ve katkısız betonun mekanik özelliklerini araştırmak için küp beton numunelerde basınç ve yüzey sertliği, prizma numunelerde eğilmede çekme ve silindir numunelerde yarmada çekme deneylerinin sonuçları ve değerlendirilmesi aşağıdaki kısımlarda ayrıntılı olarak verilmiştir. Cam lif katkılı betonun mekanik özellikleri EK 2’de gösterilmiştir.

5.2.1. Basınç dayanımı deney sonuçları ve tartışması

Farklı oranlarda % 1, 2, 3 cam lif katkılı ve katkısız küp beton numunelerin ortalama basınç dayanımları Ek 2’de verilmiştir. Cam lif katkılı ve katkısız küp beton numunelerden elde edilen ortalama basınç dayanımları Şekil 5.4’te gösterilmiştir.



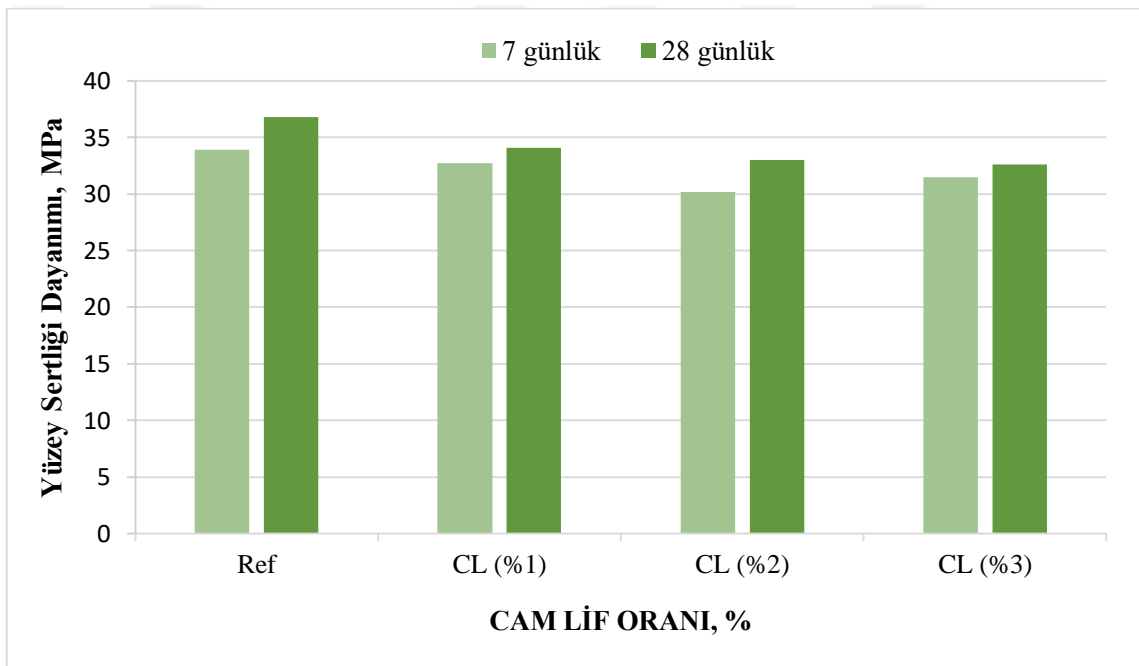
Şekil 5.4. Basınç dayanım deneyi sonuçları.

Basınç dayanım verilerin incelendiğinde; 7 gün kür edilmiş katkısız küp beton numunelerin ortalama basınç dayanımı 35,45 MPa iken % 1 cam lif katkılı küp beton numunelerin ortalama basınç dayanımı 34,4 MPa , % 2 cam lif katkılı küp beton numunelerin ortalama basınç dayanımı 33,2 MPa ve % 3 cam lif katkılı küp beton numunelerin ortalama basınç dayanımı 30,85 MPa olmuştur. 7 gün kür edilmiş % 1 cam lif katkılı beton küp numunelerin ortalama basınç dayanımında katkısız küp beton numunelerin ortalama basınç dayanımına göre % 3,05 azalış görünürken, % 2 cam lif katkılı beton küp numunelerin ortalama basınç dayanımında referansa göre % 6,78 azalış meydana gelmiştir ve % 3 cam lif katkılı küp beton numunelerin ortalama basınç dayanımında referansa göre % 14,91 azalış meydana gelmiştir. Aynı zamanda 28 gün kür edilmiş katkısız küp beton numunelerin ortalama basınç dayanımı 40,7 MPa iken % 1 cam lif katkılı küp beton numunelerin ortalama basınç dayanımı 38,03 MPa , % 2 cam lif katkılı küp beton numunelerin ortalama basınç dayanımı 37,23 MPa ve % 3 cam lif katkılı küp beton numunelerin ortalama basınç dayanımı 35,56 MPa olmuştur. 28 gün kür edilmiş % 1 cam lif katkılı küp beton numunelerin ortalama basınç dayanımında referans küp beton numunelerin ortalama basınç dayanımına göre % 7,02 azalış görünürken % 2 cam lif katkılı küp beton numunelerin ortalama basınç dayanımında referans küp beton numunelerin ortalama basınç dayanımına göre % 9,32 azalış meydana gelmiştir ve % 3 cam lif katkılı küp beton numunelerin ortalama basınç dayanımında referans küp beton numunelerin ortalama basınç dayanımına göre % 14,45 azalış meydana gelmiştir. Cam lif katkılı küp beton numunelerin ortalama basınç

dayanımları katkısız küp beton numunelere göre genel kıyaslamada; 7 ve 28 gün kür edilmiş beton numunelerde en yüksek basınç dayanımı referans küp beton numunelerin ortalamasında görülmüştür ve betonun basınç dayanımında cam lif olumsuz etki etmiştir.

5.2.2 Yüzey sertlik deney sonuçları ve tartışması

Farklı oranlarda % 1, 2, 3 cam lif katkıli beton ve katkısız küp beton numunelerin ortalama yüzey sertliği dayanımları Ek 2’de verilmiştir. Cam lif katkıli beton ve katkısız küp beton numunelerden elde edilen ortalama yüzey sertliği dayanım değerleri Şekil 5.5’te gösterilmiştir.



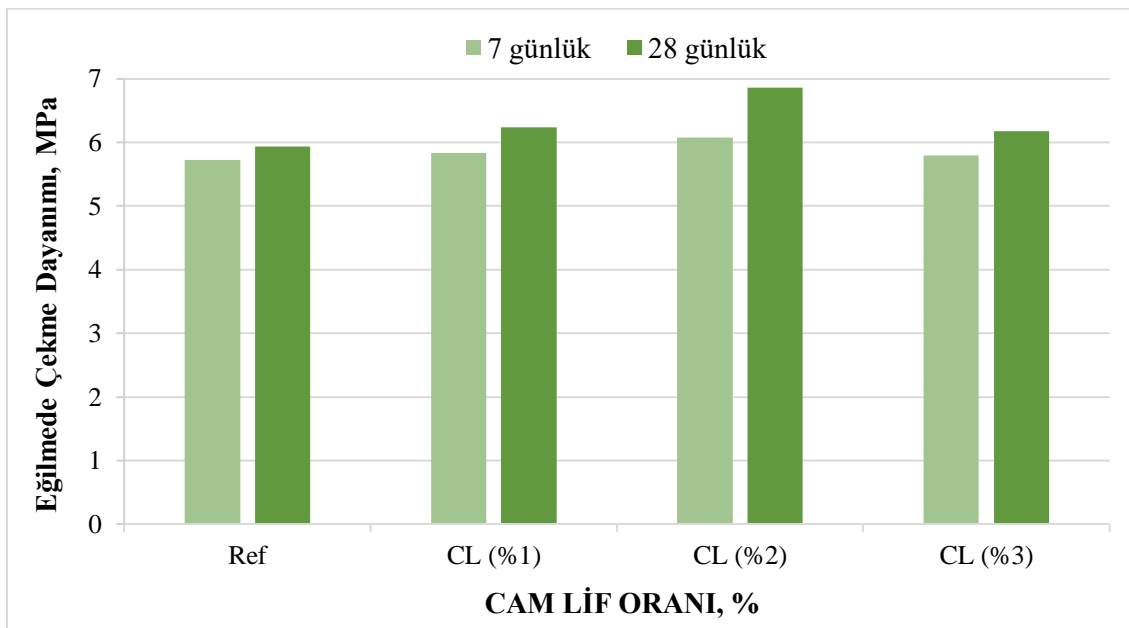
Şekil 5.5. Yüzey sertliği deneyi sonuçları.

Yüzey sertliği dayanımının verileri incelendiğinde; 7 gün kür edilmiş katkısız küp beton numunelerin ortalama yüzey sertliği dayanımı 33,9 MPa iken % 1 cam lif katkıli küp beton numunelerin ortalama yüzey sertliği dayanımı 32,7 MPa , % 2 cam lif katkıli küp beton numunelerin ortalama yüzey sertliği dayanımı 30,2 MPa ve % 3 cam lif katkıli küp beton numunelerin ortalama yüzey sertliği dayanımı 31,5 MPa olmuştur. 7 gün kür edilmiş % 1 cam lif katkıli beton küp numunelerin ortalama yüzey sertliği dayanımında katkısız küp beton numunelerin ortalama yüzey sertliği dayanımına göre % 3,67 azalış görünürken % 2 cam lif katkıli küp beton numunelerin ortalama yüzey sertliği dayanımında referansa göre % 12,25 azalış meydana gelmiştir ve % 3 cam lif katkıli küp beton numunelerin ortalama yüzey sertliği

dayanımında referansa göre % 7,62 azalış meydana gelmiştir. Aynı zamanda 28 gün kür edilmiş katkısız küp beton numunelerin ortalama yüzey sertliği dayanımı 36,8 MPa iken % 1 cam lif katkılı küp beton numunelerin ortalama yüzey sertliği dayanımı 34,1 MPa , % 2 cam lif katkılı küp beton numunelerin ortalama yüzey sertliği dayanımı 33,0 MPa ve % 3 cam lif katkılı küp beton numunelerin ortalama yüzey sertliği dayanımı 32,6 MPa olmuştur. 28 gün kür edilmiş % 1 cam lif katkılı küp beton numunelerin ortalama yüzey sertliği dayanımında referans küp beton numunelerin ortalama yüzey sertliği dayanımına göre % 7,92 azalış görünürken % 2 cam lif katkılı küp beton numunelerin ortalama yüzey sertliği dayanımında referans küp beton numunelerin ortalama yüzey sertliği dayanımına göre % 11,52 azalış meydana gelmiştir ve % 3 cam lif katkılı küp beton numunelerin ortalama yüzey sertliği dayanımı referans küp beton numunelerin ortalama yüzey sertliği dayanımına göre % 12,88 azalış meydana gelmiştir. Cam lif katkılı küp beton numunelerin ortalama yüzey sertliği dayanımları katkısız küp beton numunelere göre genel kıyaslamada; 7 ve 28 gün kür edilmiş numunelerde en yüksek yüzey sertliği dayanımı referans küp beton numunelerin yüzey sertliği dayanım ortalamasında izlenmiştir.

5.2.3 Eğilmede çekme dayanımı deney sonuçları ve tartışması

Farklı oranlarda % 1, 2, 3 cam lif katkılı beton ve katkısız prizma beton numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanımları Ek 2’de verilmiştir. Cam lif katkılı beton ve katkısız prizma beton numunelerden elde edilen ortalama eğilmede çekme dayanım değerleri Şekil 5.6’da gösterilmiştir.

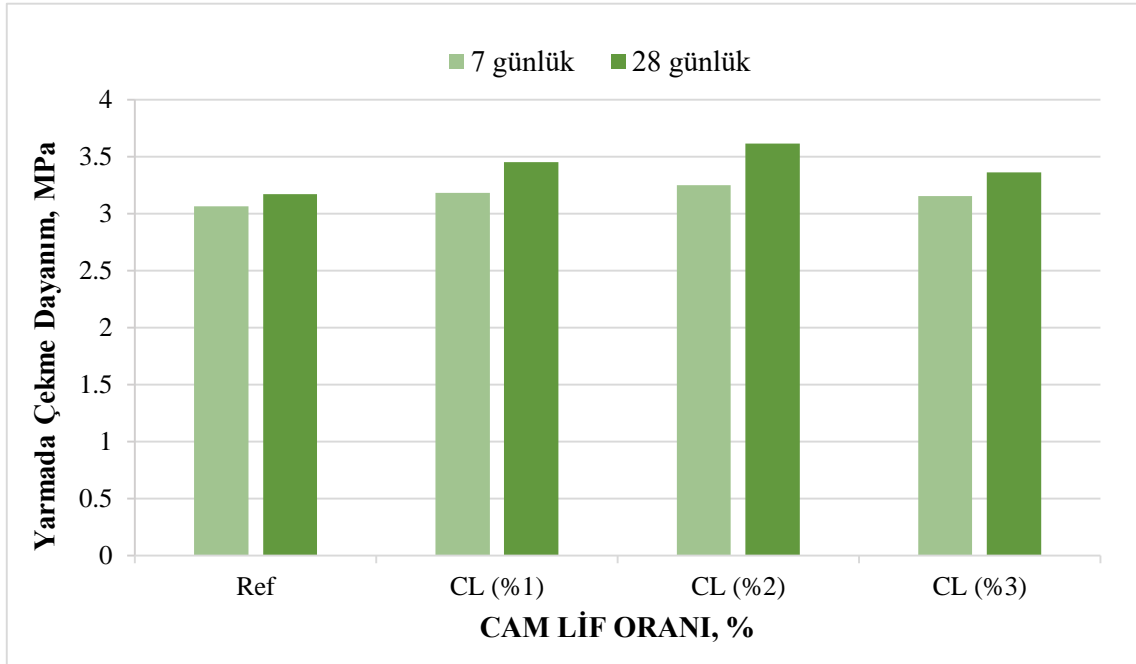


Şekil 5.6: Eğilmede çekme dayanımı deneyi sonuçları.

Eğilmede çekme dayanımı verileri incelendiğinde; 7 gün kür edilmiş katkısız prizma beton numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanımı 5,72 MPa iken % 1 cam lif katkılı prizma beton numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanımı 5,83 MPa , % 2 cam lif katkılı prizma beton numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanımı 6,08 MPa ve % 3 cam lif katkılı prizma beton numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanımı 5,79 MPa olmuştur. 7 gün kür edilmiş % 1 cam lif katkılı beton prizma numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanımında katkısız prizma beton numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanımına göre % 1,92 artış görünürken % 2 cam lif katkılı prizma beton numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanımında referansa göre % 6,29 artış meydana gelmiş ve % 3 cam lif katkılı prizma beton numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanımında referansa göre % 1,22 artış meydana gelmiştir. 28 gün kür edilmiş katkısız prizma beton numunelerin eğilmede çekme dayanımı 5,94 MPa iken % 1 cam lif katkılı prizma beton numunelerin eğilmede çekme dayanımı 6,24 MPa , % 2 cam lif katkılı prizma beton numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanımı 6,86 MPa ve % 3 cam lif katkılı prizma beton numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanımı 6,18 MPa olmuştur. 28 gün kür edilmiş % 1 cam lif katkılı prizma beton numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanımında referans prizma beton numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanımına göre % 5,05 artış meydana gelmiş, % 2 cam lif katkılı prizma beton numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanımında referans prizma beton numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanımına göre % 15,49 artış meydana gelmiş ve % 3 cam lif katkılı prizma beton numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanımında referans prizma beton numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanımına göre % 4,04 artış meydana gelmiştir. Cam lif katkılı prizma beton numunelerin eğilmede çekme dayanımları katkısız prizma beton numunelere göre genel kıyaslamada; 7 ve 28 gün kür edilmiş beton prizma numunelerde en yüksek eğilmede çekme dayanımı % 2 oranındaki cam lif katkılı prizma beton numunelerde görülmüştür.

5.2.4. Yarmada çekme dayanımı deney sonuçları ve tartışması

Farklı oranlarda % 1, 2, 3 cam lif katkılı beton ve katkısız silindir beton numunelerin ortalama yarmada çekme dayanımları Ek 2’de verilmiştir. Cam lif katkılı beton ve katkısız silindir beton numunelerden elde edilen ortalama yarmada çekme dayanım değerleri Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Yarmada çekme dayanımı deneyi sonuçları.

Yarmada çekme dayanımı verileri incelendiğinde; 7 gün kür edilmiş katkısız silindir beton numunelerin ortalama yarmada çekme dayanımı 3,06 MPa iken % 1 cam lif katkılı silindir beton numunelerin ortalama yarmada çekme dayanımı 3,18 MPa , % 2 cam lif katkılı silindir beton numunelerin ortalama yarmada çekme dayanımı 3,25 MPa ve % 3 cam lif katkılı silindir beton numunelerin ortalama yarmada çekme dayanımı 3,15 MPa olmuştur. 7 gün kür edilmiş % 1 cam lif katkılı silindir beton numunelerin ortalama yarmada çekme dayanımında katkısız silindir beton numunelerin ortalama yarmada çekme dayanımına göre % 3,92 artış görünürken % 2 cam lif katkılı silindir beton numunelerin ortalama yarmada çekme dayanımında referansa göre % 6,21 artış meydana gelmiş ve % 3 cam lif katkılı silindir beton numunelerin ortalama yarmada çekme dayanımında referansa göre % 2,94 artış meydana gelmiştir. Aynı zamanda 28 gün kür edilmiş katkısız silindir beton numunelerin ortalama yarmada çekme dayanımı 3,17 MPa iken % 1 cam lif katkılı silindir beton numunelerin ortalama yarmada çekme dayanımı 3,45 MPa , % 2 cam lif katkılı silindir beton numunelerin ortalama yarmada çekme dayanımı 3,61 MPa ve % 3 cam lif katkılı silindir numunelerin ortalama yarmada çekme dayanımı 3,36 MPa olmuştur. 28 gün kür edilmiş % 1 cam lif katkılı silindir beton numunelerin ortalama yarmada çekme dayanımında referans silindir beton numunelerin ortalama yarmada çekme dayanımına göre % 8,83 artış meydana gelmiş, % 2 cam lif katkılı silindir beton numunelerin ortalama yarmada çekme dayanımında referans silindir beton numunelerin ortalama yarmada çekme dayanımına göre %

13,88 artış meydana gelmiş ve % 3 cam lif katkılı silindir beton numunelerin ortalama yarmada çekme dayanımında referans silindir beton numunelerin ortalama yarmada çekme dayanımına göre % 6,00 farkla artış tespit edilmiştir. Cam lif katkılı beton numunelerde ortalama yarmada çekme dayanımları katkısız silindir beton numunelere göre genel kıyaslamada; 7 ve 28 gün kür edilmiş cam lif katkılı silindir beton numunelerin yarmada çekme dayanımlarında artış meydana gelmiştir ve en yüksek değeri % 2 cam lif katkılı numunelerde görülmüştür.

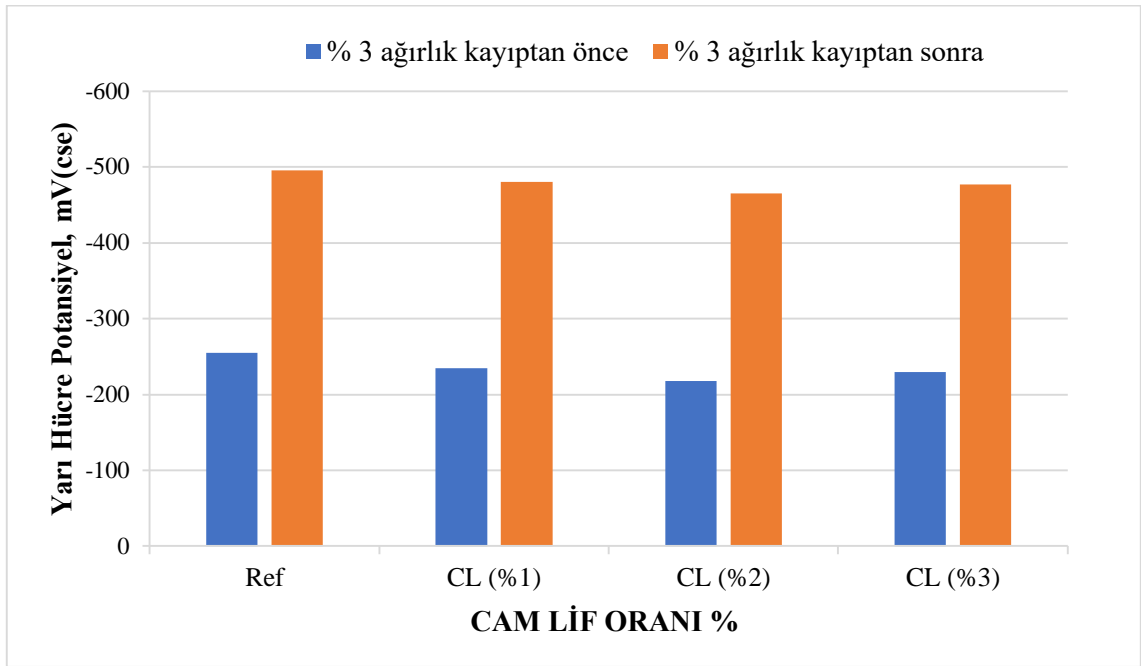
5.3. Dayanıklılık Özelik Deney Sonuçları ve Tartışmalar

Cam lif katkılı ve katkısız betonun dayanıklılık özelliklerini araştırmak için silindir betonun numuneleri donatılı ve donatısız olarak üretilmiştir. Cam lif katkılı ve katkısız donatısız silindir beton numunelerde elektriksel özdirenç deneyi yapılmıştır. Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerde yarı hücre potansiyeli, hızlandırılmış korozyon ve korozyona uğratılmış donatıların temizlendikten sonra tek eksenli çekme deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerin sonuçları ve değerlendirilmesi aşağıdaki kısımlarda ayrıntılı olarak verilmiştir. Cam lif katkılı ve katkısız donatılı ve donatısız silindir betonun numunelerinin dayanıklılık özellikleri deneylerinin sonuçları EK 3, 4 ve 5'te verilmiştir.

5.3.1. Yarı hücre potansiyel deney sonuçları ve tartışması

Farklı oranlarda % 1, 2, 3 cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerinin ortalama yarı hücre potansiyel değerleri Ek 3'te verilmiştir. Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerden hızlandırılmış korozyona uğratılmadan önce ve hızlandırılmış korozyona uğratıldıktan sonra elde edilen ortalama yarı hücre potansiyel değerleri Çizelge 3.1'de ki ASTM C 876'nın sınır değerleri ile karşılaştırıp korozyon olasılığı hakkında bilgi ve değerlendirilmesi aşağıdaki kısımlarda ayrıntılı olarak verilmiştir.

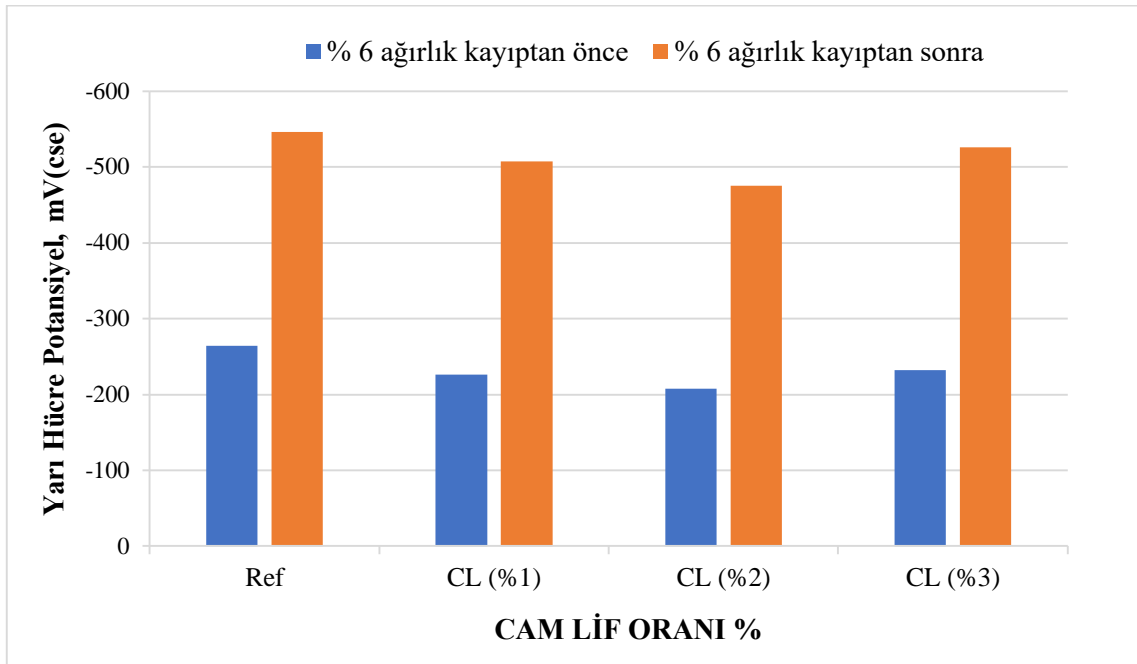
Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin % 3 ağırlık kayıptan önce ve sonra ortalama yarı hücre potansiyel değerleri Şekil 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5.8. % 3 Ağırlık kayıptan önce ve sonra yarı hücre potansiyel deney sonuçları.

Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin yarı hücre potansiyel verileri incelendiğinde; % 3 ağırlık kayıptan önce katkısız donatılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -255 mV iken % 1 cam lif katkılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -235 mV, % 2 cam lif katkılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -218 mV ve % 3 cam lif katkılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -230 mV olmuştur. % 3 ağırlık kayıptan sonra katkısız donatılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -496 mV iken % 1 cam lif katkılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -480 mV, % 2 cam lif katkılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -465 mV ve % 3 cam lif katkılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -477 mV olmuştur.

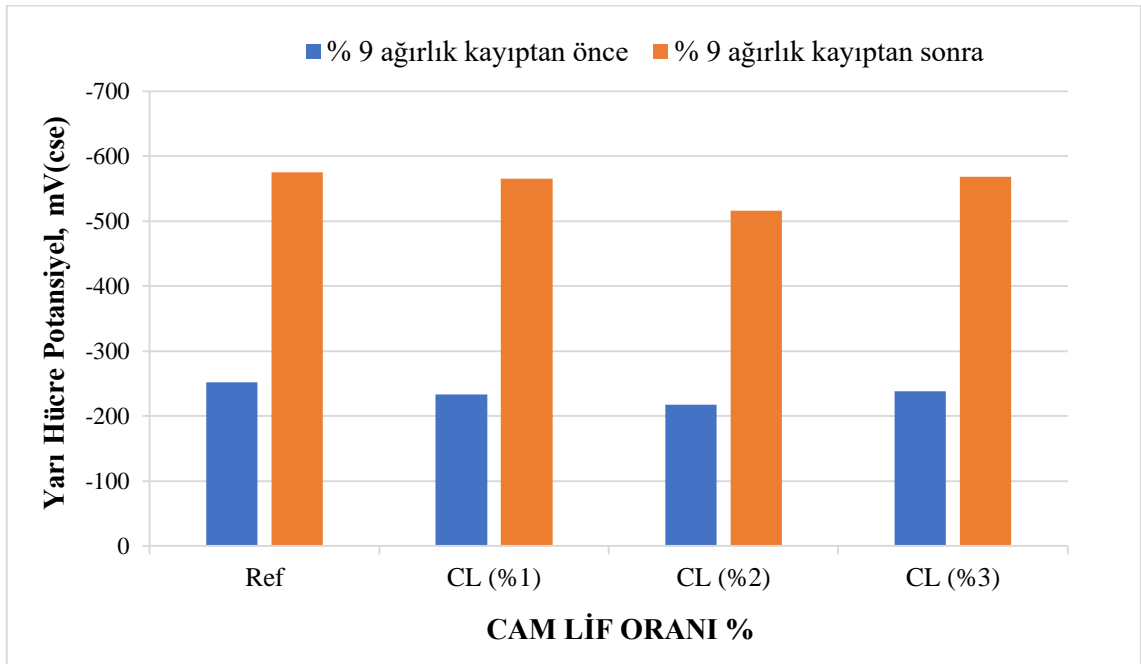
Cam lif katılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin % 6 ağırlık kayıptan önce ve sonra ortalama yarı hücre potansiyel değerleri Şekil 5.9'da gösterilmiştir.



Şekil 5.9. % 6 Ağırlık kayıptan önce ve sonra yarı hücre potansiyel deney sonuçları.

Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin yarı hücre potansiyel verileri incelendiğinde; % 6 ağırlık kayıptan önce katkısız donatılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -264 mV iken % 1 cam lif katkılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -226 mV, % 2 cam lif katkılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -208 mV ve % 3 cam lif katkılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -232 mV olmuştur. % 6 ağırlık kayıptan sonra katkısız donatılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -546 mV iken % 1 cam lif katkılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -507 mV, % 2 cam lif katkılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -475 mV ve % 3 cam lif katkılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -526 mV olmuştur.

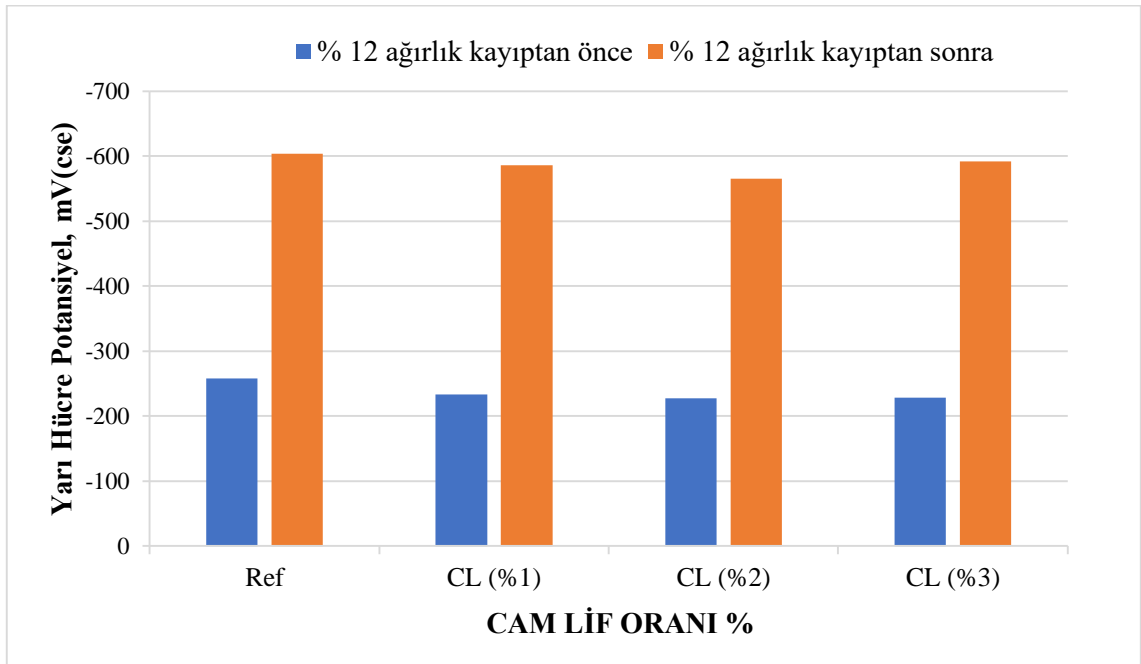
Cam lif katılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin % 9 ağırlık kayıptan önce ve sonra ortalama yarı hücre potansiyel değerleri Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10. % 9 Ağırlık kaybından önce ve sonra yarı hücre potansiyel deney sonuçları.

28 gün kür edilmiş cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin yarı hücre potansiyel verileri incelendiğinde; % 9 ağırlık kayıptan önce katkısız donatılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -252 mV iken % 1 cam lif katkılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -233 mV, % 2 cam lif katkılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -218 mV ve % 3 cam lif katkılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -238 mV olmuştur. % 9 ağırlık kayıptan sonra katkısız donatılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -575 mV iken % 1 cam lif katkılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -565 mV, % 2 cam lif katkılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -516 mV ve % 3 cam lif katkılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -568 mV olmuştur.

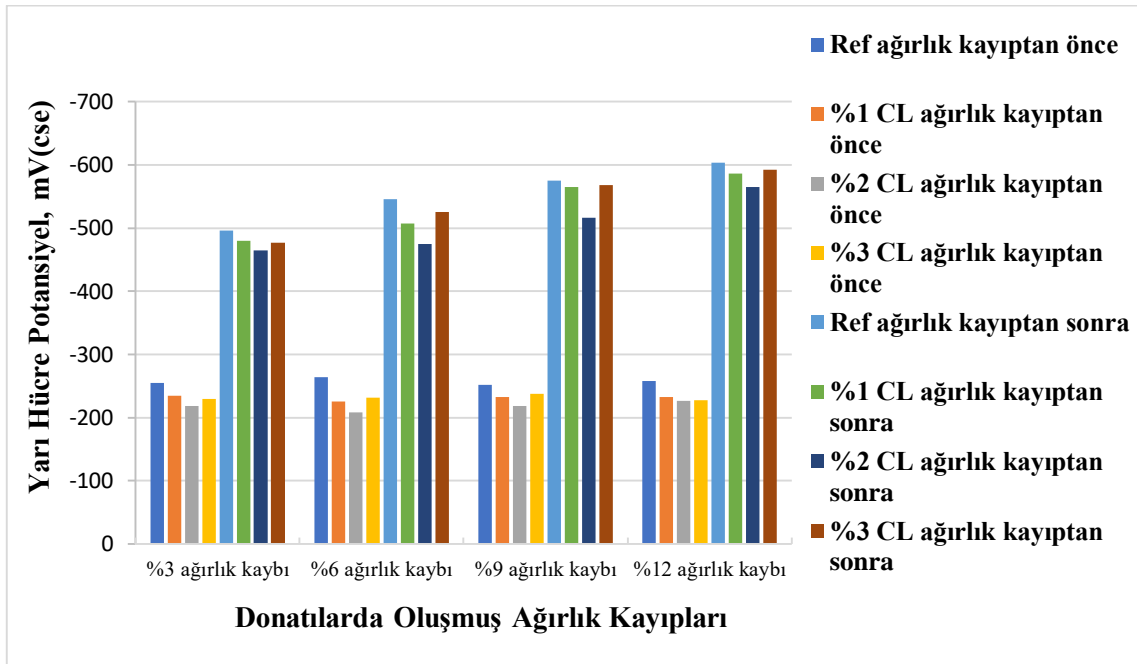
Cam lif katılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin % 12 ağırlık kayıptan önce ve sonra ortalama yarı hücre potansiyel değerleri Şekil 5.11’de gösterilmiştir.



Şekil 5.11. % 12 Ağırlık kaybından önce ve sonra yarı hücre potansiyel deney sonuçları.

28 gün kür edilmiş cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin yarı hücre potansiyel verileri incelendiğinde; % 12 ağırlık kayıptan önce katkısız donatılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -258 mV iken % 1 cam lif katkılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -233 mV, % 2 cam lif katkılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -227 mV ve % 3 cam lif katkılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -228 mV olmuştur. % 12 ağırlık kayıptan sonra katkısız donatılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -604 mV iken % 1 cam lif katkılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -586 mV, % 2 cam lif katkılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -565 mV ve % 3 cam lif katkılı silindir beton numunenin ortalama yarı hücre potansiyel değeri -592 mV olmuştur.

Cam lif katlı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin % 3, 6, 9 ve 12 ağırlık kayıplarından önce ve sonra elde edilen ortalama yarı hücre potansiyel değerleri Şekil 5.12’de gösterilmiştir. Şekil 5.12’de görüldüğü gibi korozyondan önce ve korozyona uğrattıktan sonra donatılı silindir beton numunelerin yarı hücre potansiyel değerlerinde cam lif katkılı beton numunelerin katkısız betona numunelere nazaran daha düşük değerler elde edilmiştir ve en iyi değerler % 2 oranında cam lifi katkılı beton numunelerde görülmüştür.

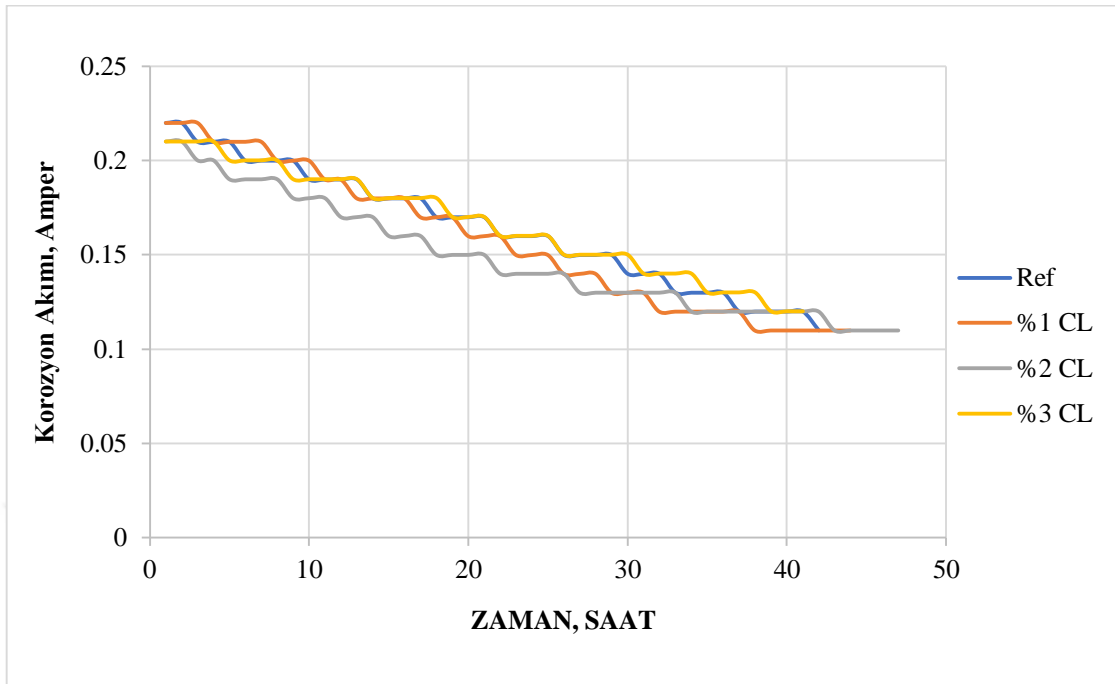


Şekil 5.12. % 3, 6, 9 ve 12 ağırlık kayıplarından önce ve sonra ortalama yarı hücre potansiyel değerlerinin değişimi.

5.3.2. Hızlandırılmış korozyon deney sonuçları ve tartışması

Cam lif katkısız ve katkılı donatılı silindirik beton numuneler üretildikten sonra 28 gün kür edilmiştir, 28 gün kürden sonra numunelerde yarı hücre potansiyel deneyi yapılmıştır ve daha sonra hızlandırılmış korozyon deneyine tabi tutulmuşlardır. Hızlandırılmış korozyon deneyinde donatılı silindirik beton numunelerin % 3, 6, 9 ve 12 ağırlık kayıplarında ki korozyon akımları ve zaman 'saat' değerleri Ek 4 ve 5'te verilmiştir.

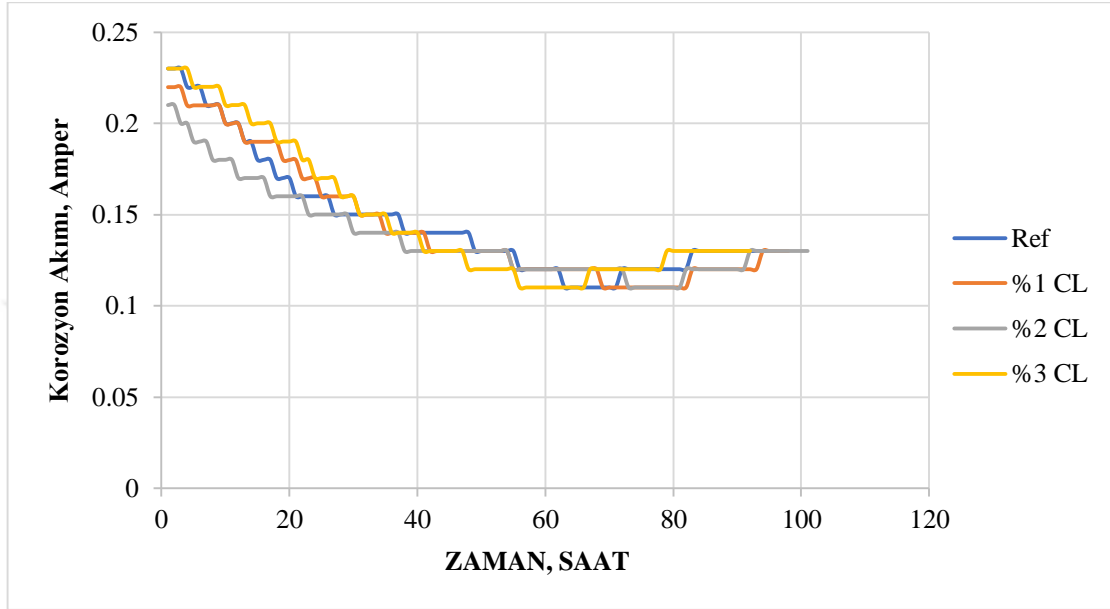
Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindirik beton numunelerin % 3 ağırlık kaybı hızlandırılmış korozyon sonrası zaman ve zaman içerisinde oluşan korozyon akım değerlerinin değişimi Şekil 5.13'te gösterilmiştir.



Şekil 5.13. % 3 ağırlık kaybına uğramış donatıların zaman içerisinde korozyon akım değerlerinin değişimi.

28 gün kür edilmiş cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin hızlandırılmış korozyon deneyinde donatıların % 3 ağırlık kaybına uğramış zaman içerisinde korozyon akım verileri incelendiğinde; korozyondan kaynaklanan donatıların % 3 ağırlık kaybında oluşmuş, başlangıcında korozyon akım değerleri sırasıyla katkısız donatılı silindir beton numunede 0,22 A iken % 1 cam lif katkılı donatılı silindir beton numunenin korozyon akımı 0,22 A olarak tespit edilmiştir, % 2 cam lif katkılı donatılı silindir beton numunenin korozyon akımı 0,21 A ve % 3 cam lif katkılı donatılı beton numunenin korozyon akımı 0,21 A olarak kaydedilmiştir. Deneyin sonunda % 3 ağırlık kaybı oluştuğunda korozyon akım değerleri ve toplam saat değerleri sırasıyla katkısız donatılı beton numunede 0,11 A; 42 saat iken % 1 cam lif katkılı donatılı beton numunede korozyon akım ve saat değeri ise 0,13 A; 44 saat olarak tespit edilmiştir, % 2 cam lif katkılı donatılı beton numunede korozyon akım değeri ve toplam saat değeri ise 0,11 A; 47 saat ve % 3 cam lif katkılı donatılı beton numunede meydana gelen % 3 ağırlık kaybında korozyon akım değeri ve toplam saat değeri 0,13 A; 41 saat olarak kaydedilmiştir. Sonuç olarak donatılarda % 3 ağırlık kaybını oluşturmak için en çok zaman % 2 cam lif katkılı beton numunede kayıt edilmiştir.

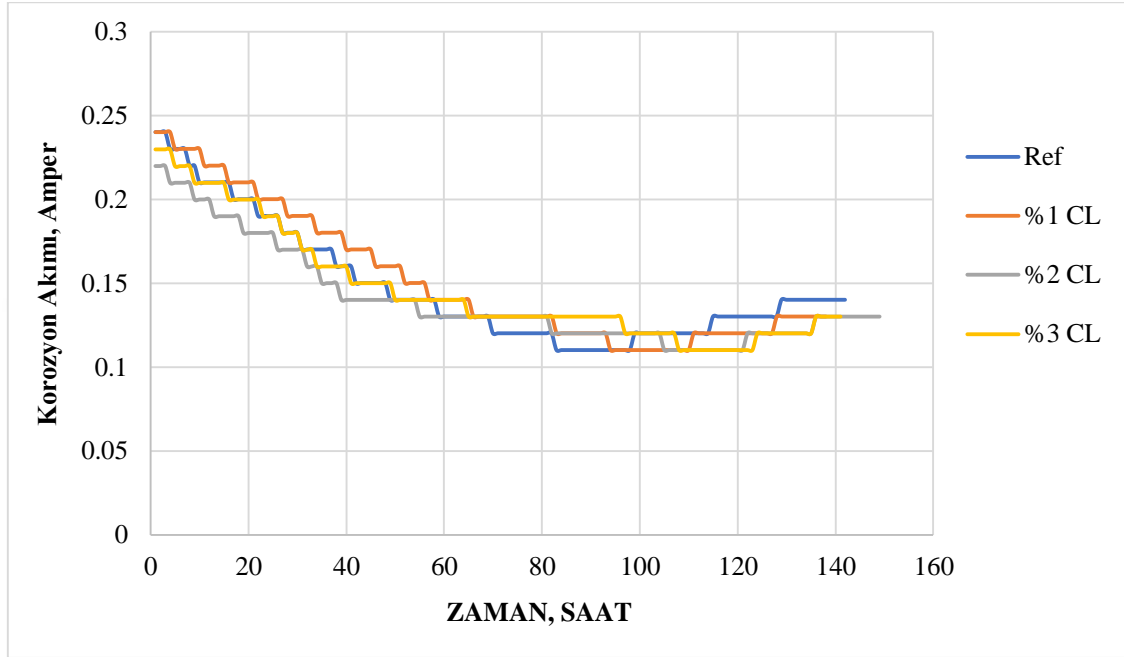
Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin % 6 ağırlık kaybı hızlandırılmış korozyon sonrası zaman ve zaman içerisinde oluşan korozyon akım değerlerinin değişimi Şekil 5.14'te gösterilmiştir.



Şekil 5.14. % 6 ağırlık kaybına uğramış donatıların zaman içerisinde korozyon akım değerlerinin değişimi.

28 gün kür edilmiş cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin hızlandırılmış korozyon deneyinde donatıların % 6 ağırlık kaybın uğramış zaman içerisinde korozyon akım verileri incelendiğinde; korozyondan kaynaklanan donatıların % 6 ağırlık kaybında oluşmuş, başlangıcında korozyon akım değerleri sırasıyla katkısız donatılı silindir beton numunede 0,23 A iken % 1 cam lif katkılı donatılı silindir beton numunenin korozyon akımı 0,22 A olarak tespit edilmiştir, % 2 cam lif katkılı donatılı silindir beton numunenin korozyon akımı 0,21 A ve % 3 cam lif katkılı donatılı beton numunenin korozyon akımı 0,23 A olarak kaydedilmiştir. Deneyin sonunda % 6 ağırlık kaybı oluştuğunda korozyon akım değerleri ve toplam saat değerleri sırasıyla katkısız donatılı beton numunede 0,13 A; 96 saat iken % 1 cam lif katkılı donatılı beton numunede korozyon akım ve saat değeri ise 0,13 A; 98 saat olarak tespit edilmiştir, % 2 cam lif katkılı donatılı beton numunede korozyon akım değeri ve toplam saat değeri ise 0,11 A; 101 saat ve % 3 cam lif katkılı donatılı beton numunede meydana gelen % 6 ağırlık kaybında korozyon akım değeri ve toplam saat değeri 0,13 A; 92 saat olarak kaydedilmiştir. Sonuç olarak donatılarda % 6 ağırlık kaybını oluşturmak için en çok zaman % 2 cam lif katkılı beton numunede kayıt edilmiştir.

Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin % 9 ağırlık kaybı hızlandırılmış korozyon sonrası zaman ve zaman içerisinde oluşan korozyon akım değerlerinin değişimi Şekil 5.15'te gösterilmiştir.

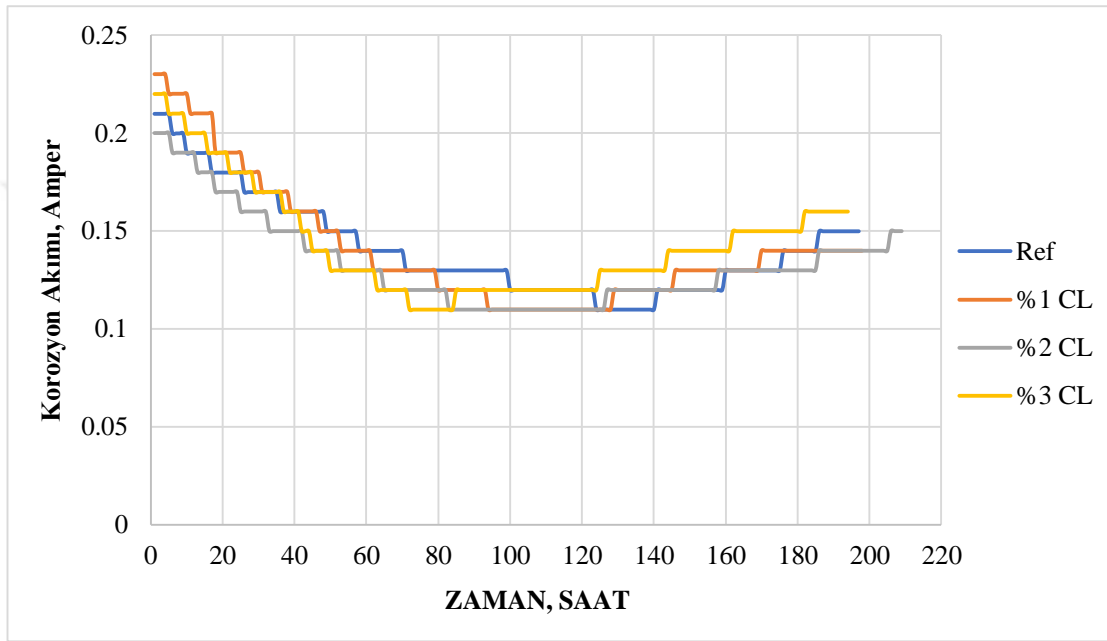


Şekil 5.15. % 9 ağırlık kaybına uğramış donatıların zaman içerisinde korozyona akım değerlerinin değişimi.

28 gün kür edilmiş cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin hızlandırılmış korozyon deneyinde donatıların % 9 ağırlık kaybına uğramış zaman içerisinde korozyon akım verileri incelendiğinde; korozyondan kaynaklanan donatıların % 9 ağırlık kaybında oluşmuş, başlangıcında korozyon akım değerleri sırasıyla katkısız donatılı silindir beton numunede 0,24 A iken % 1 cam lif katkılı donatılı silindir beton numunenin korozyon akımı 0,24 A olarak tespit edilmiştir, % 2 cam lif katkılı donatılı silindir beton numunenin korozyon akımı 0,22 A ve % 3 cam lif katkılı donatılı beton numunenin korozyon akımı 0,23 A kaydedilmiştir. Deneyin sonunda % 9 ağırlık kaybı oluştuğunda korozyon akım değerleri ve toplam saat değerleri sırasıyla katkısız donatılı beton numunede 0,14 A; 142 saat iken % 1 cam lif katkılı donatılı beton numunede korozyon akım ve saat değeri ise 0,13 A; 138 saat olarak tespit edilmiştir, % 2 cam lif katkılı donatılı beton numunede korozyon akım değeri ve toplam saat değeri ise 0,13 A; 149 saat ve % 3 cam lif katkılı donatılı beton numunede meydana gelen % 9 ağırlık kaybında korozyon akım değeri ve toplam saat değeri 0,13 A; 141 saat olarak kaydedilmiştir. Sonuç olarak

donatılarda % 9 ağırlık kaybını oluşturmak için en çok zaman % 2 cam lif katkıli beton numunede kayıt edilmiştir.

Cam lif katkıli ve katkısiz donatılı silindir beton numunelerin; % 12 ağırlık kaybı hızlandırılmış korozyon sonrası zaman ve zaman içerisinde oluşan korozyon akım değerlerinin değişimi Şekil 5.16'da gösterilmiştir.



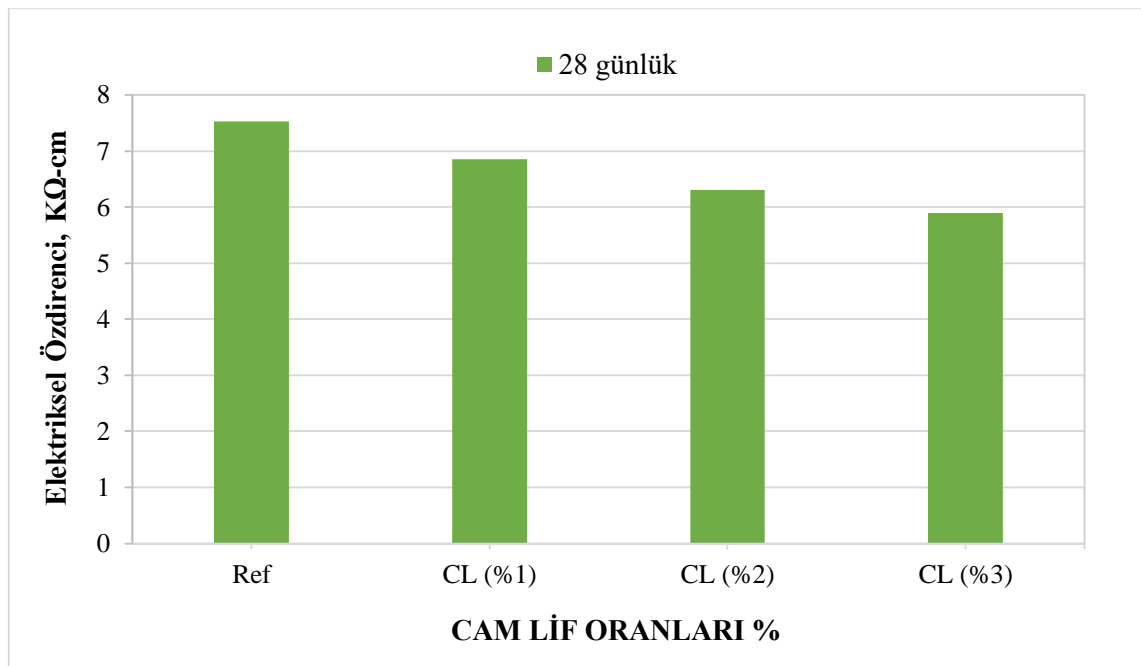
Şekil 5.16. % 12 ağırlık kaybına uğramış donatıların zaman içerisinde korozyon akım değerlerinin değişimi.

28 gün kür edilmiş cam lif katkıli ve katkısiz donatılı silindir beton numunelerin hızlandırılmış korozyon deneyinde donatıların % 12 ağırlık kaybına uğramış zaman içerisinde korozyon akım verileri incelendiğinde; korozyondan kaynaklanan donatıların % 12 ağırlık kaybında oluşmuş, başlangıcında korozyon akım değerleri sırasıyla katkısiz donatılı silindir beton numunede 0,21 A iken % 1 cam lif katkıli donatılı silindir beton numunenin korozyon akımı 0,23 A olarak tespit edilmiştir, % 2 cam lif katkıli donatılı silindir beton numunenin korozyon akımı 0,20 A ve % 3 cam lif katkıli donatılı beton numunenin korozyon akımı 0,22 A olarak kaydedilmiştir. Deneyin sonunda % 12 ağırlık kaybı oluştuğunda korozyon akım değerleri ve toplam saat değerleri sırasıyla katkısiz donatılı beton numunede 0,15 A; 197 saat iken % 1 cam lif katkıli donatılı beton numunede korozyon akım ve saat değeri ise 0,14 A; 198 saat olarak tespit edilmiştir, % 2 cam lif katkıli donatılı beton numunede korozyon akım değeri ve toplam saat değeri ise 0,15 A; 209 saat ve % 3 cam lif katkıli donatılı beton numunede meydana gelen % 12 ağırlık kaybında korozyon akım değeri ve toplam saat değeri 0,16 A; 194 saat olarak

kaydedilmiştir. Sonuç olarak donatılarda % 12 ağırlık kaybını oluşturmak için en çok zaman % 2 cam lif katkıli beton numunede kayıt edilmiştir.

5.3.3. Elektriksel özdirenç deney sonuçları ve tartışması

Cam lif katkıli beton ve katkısız silindir beton numunelerden elde edilen ortalama elektriksel özdirenç değerleri Şekil 5.17’de gösterilmiştir.



Şekil 5.17. Elektriksel özdirenç deney sonuçları.

Cam lif katkıli ve katkısız donatısız silindir beton numunelerin elektriksel özdirenç verileri incelendiğinde; 28 gün kür edilmiş cam lif katkıli ve katkısız silindir beton numunenin ortalama elektriksel özdirenç değeri 7.53 kΩ-cm iken % 1 cam lif katkıli silindir beton numunenin ortalama elektriksel özdirenç değeri 6.85 kΩ-cm olmuştur, % 2 cam lif katkıli silindir beton numunenin ortalama elektriksel özdirenç değeri 6.30 kΩ-cm ve % 3 cam lif katkıli silindir beton numunenin ortalama elektriksel özdirenç değeri 5.90 kΩ-cm olmuştur. 28 gün kür edilmiş % 1 cam lif katkıli silindir beton numunenin ortalama elektriksel özdirençte katkısız silindir beton numunenin ortalama elektriksel özdirençe göre % 9,93 azalış görünürken % 2 cam lif katkıli silindir beton numunenin ortalama elektriksel özdirençinde referansa göre % 19,52 azalış meydana gelmiştir ve % 3 cam lif katkıli silindir beton numunenin ortalama elektriksel özdirençinde referansa göre % 27,63 azalış meydana gelmiştir. Sonuç olarak cam lif katkı oranının artışıyla silindir beton numunenin elektriksel özdirençinde azalış görülmüştür. Elde edilmiş elektriksel özdirenç sonuçların Çizelge

3.3 ile karşılaştırıldığında cam lif katkılı ve katkısız betonda korozyon olasılığı yüksek görülmüştür.

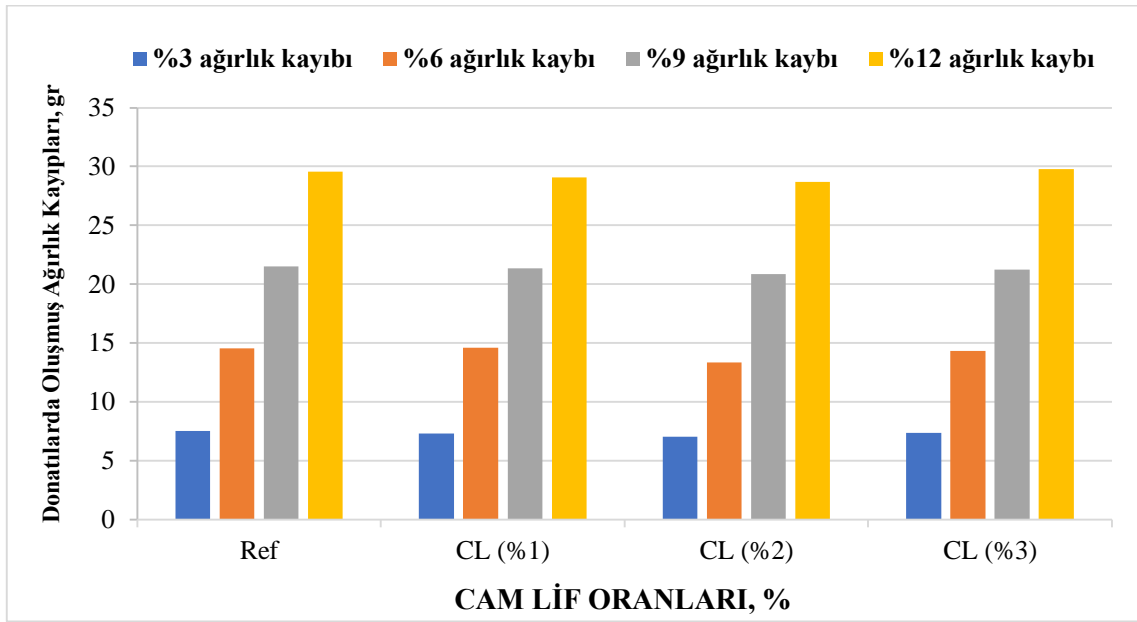
5.4. Korozyona Uğramış Donatılarda Çekme Deneyi Sonuçları ve Tartışması

Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin belirlenmiş % 3, 6, 9 ve 12 ağırlık kaybı oluşumuna neden olan hızlandırılmış korozyon deneyinden sonra yarı hücre potansiyeli deneyi yapılmıştır, daha sonra donatılı silindir beton numunelerde aderans deneyi yapılarak beton numunelerden donatıları çıkarılmıştır. Numunelerden çıkarılmış 55 cm uzunluğundaki çelik donatı çubuklarının beton içindeki kısmı 20 cm uzunluğunda kesilmiştir. Şekil 5.18'de gösterildiği gibi hidroklorik asit (HCl) çözeltisinde bekletilmiştir daha sonra çözeltiden çıkarılıp üzerinde hala var olan korozyon maddeleri fırça ile temizlenmiştir.



Şekil 5.18. HCl çözeltisi ile korozyon ürünlerinin temizlenmesi.

Hızlandırılmış korozyon deneyinde cam lif katkılı ve katkısız silindir beton numunelerin içerisinde var olan çelik donatılarda meydana gelen korozyon kayıpları Şekil 5.19'da gösterilmiştir.



Şekil 5.19. Korozyona uğramış çelik donatı çubukların ağırlık kayıpları sonuçları.

Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin belirlenmiş % 3, 6, 9 ve 12 hızlandırılmış korozyon deneyinde ağırlık kayıpları incelendiğinde; % 3 ağırlık kaybında katkısız beton numunenin içerisindeki donatının ağırlık kaybı 7,53 gr iken % 1 cam lif katkılı beton numunenin donatısında ağırlık kaybı 7,31 gr olmuştur, % 2 cam lif katkılı beton numunenin donatısında ağırlık kaybı 7,02 gr ve % 3 cam lif katkılı beton numunenin donatısında ağırlık kaybı 7,38 gr meydana gelmiştir. % 3 ağırlık kaybında; % 1 cam lif katkılı beton numunenin içerisindeki donatının ağırlık kaybında katkısız beton numunenin donatısında oluşmuş ağırlık kaybına göre % 3 azalış gösterirken % 2 cam lif katkılı beton numunenin içerisindeki donatısının ağırlık kaybında katkısız beton numunenin donatısında oluşmuş ağırlık kaybına göre % 7,26 azalış olmuştur ve % 3 cam lif katkılı beton numunenin içerisindeki donatısının ağırlık kaybında katkısız beton numunenin donatısında oluşmuş ağırlık kaybına göre % 2 azalış meydana gelmiştir. Sonuç olarak % 3 ağırlık kaybında en düşük ağırlık kaybı % 2 cam lif katkılı beton numunenin içerisindeki donatısında tespit edilmiştir.

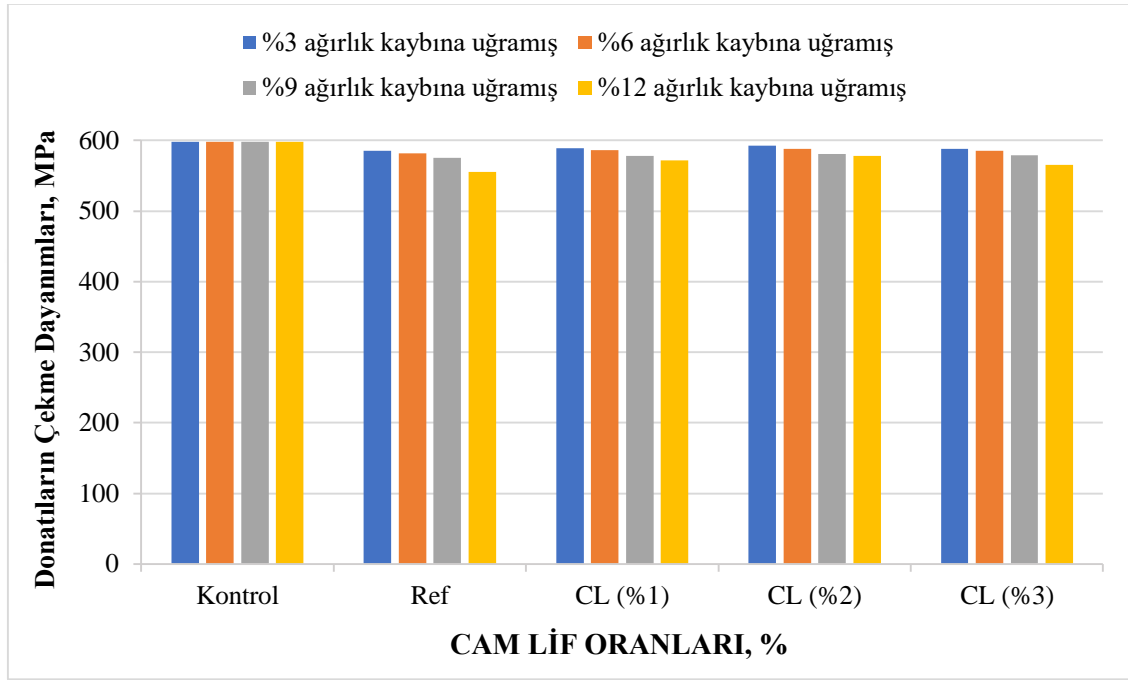
Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin belirlenmiş % 3, 6, 9 ve 12 hızlandırılmış korozyon deneyinde ağırlık kayıpları incelendiğinde; % 6 ağırlık kaybında katkısız beton numunenin içerisindeki donatının ağırlık kaybı 14,55 gr iken % 1 cam lif katkılı beton numunenin donatısında ağırlık kaybı 14,62 gr olmuştur, % 2 cam lif katkılı beton numunenin donatısında ağırlık kaybı 13,34 gr ve % 3 cam lif katkılı beton numunenin donatısında ağırlık kaybı 14,32 gr meydana gelmiştir. % 6 ağırlık kaybında; % 1 cam lif katkılı beton numunenin

içerisindeki donatının ağırlık kaybında katkısız beton numunenin donatısında oluşmuş ağırlık kaybına göre % 0,48 artış gösterirken % 2 cam lif katkılı beton numunenin içerisindeki donatısının ağırlık kaybında katkısız beton numunenin donatısında oluşmuş ağırlık kaybına göre % 9,07 azalış olmuştur ve % 3 cam lif katkılı beton numunenin içerisindeki donatısının ağırlık kaybında katkısız beton numunenin donatısında oluşmuş ağırlık kaybına göre % 1,61 azalış meydana gelmiştir. Sonuç olarak % 6 ağırlık kaybında en düşük ağırlık kaybı % 2 cam lif katkılı beton numunenin içerisindeki donatısında tespit edilmiştir.

Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin belirlenmiş % 3, 6, 9 ve 12 hızlandırılmış korozyon deneyinde ağırlık kayıpları incelendiğinde; % 9 ağırlık kaybında katkısız beton numunenin içerisindeki donatının ağırlık kaybı 21,50 gr iken % 1 cam lif katkılı beton numunenin donatısında ağırlık kaybı 21,34 gr olmuştur, % 2 cam lif katkılı beton numunenin donatısında ağırlık kaybı 20,85 gr ve % 3 cam lif katkılı beton numunenin donatısında ağırlık kaybı 21,23 gr meydana gelmiştir. % 9 ağırlık kaybında; % 1 cam lif katkılı beton numunenin içerisindeki donatının ağırlık kaybında katkısız beton numunenin donatısında oluşmuş ağırlık kaybına göre % 0,75 azalış gösterirken % 2 cam lif katkılı beton numunenin içerisindeki donatısının ağırlık kaybında katkısız beton numunenin donatısında oluşmuş ağırlık kaybına göre % 3,12 azalış olmuştur ve % 3 cam lif katkılı beton numunenin içerisindeki donatısının ağırlık kaybında katkısız beton numunenin donatısında oluşmuş ağırlık kaybına göre % 1,27 azalış meydana gelmiştir. Sonuç olarak % 9 ağırlık kaybında en düşük ağırlık kaybı % 2 cam lif katkılı beton numunenin içerisindeki donatısında tespit edilmiştir.

Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin belirlenmiş % 3, 6, 9 ve 12 hızlandırılmış korozyon deneyinde ağırlık kayıpları incelendiğinde; % 12 ağırlık kaybında katkısız beton numunenin içerisindeki donatının ağırlık kaybı 29,55 gr iken % 1 cam lif katkılı beton numunenin donatısında ağırlık kaybı 29,06 gr olmuştur, % 2 cam lif katkılı beton numunenin donatısında ağırlık kaybı 28,67 gr ve % 3 cam lif katkılı beton numunenin donatısında ağırlık kaybı 29,75 gr meydana gelmiştir. % 12 ağırlık kaybında; % 1 cam lif katkılı beton numunenin içerisindeki donatının ağırlık kaybında katkısız beton numunenin donatısında oluşmuş ağırlık kaybına göre % 1,69 azalış gösterirken % 2 cam lif katkılı beton numunenin içerisindeki donatısının ağırlık kaybında katkısız beton numunenin donatısında oluşmuş ağırlık kaybına göre % 3,07 azalış olmuştur ve % 3 cam lif katkılı beton numunenin içerisindeki donatısının ağırlık kaybında katkısız beton numunenin donatısında oluşmuş ağırlık kaybına göre % 0,68 artış meydana gelmiştir. Sonuç olarak % 12 ağırlık kaybında en düşük ağırlık kaybı % 2 cam lif katkılı beton numunenin içerisindeki donatısında tespit edilmiştir.

Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin belirlenmiş % 3, 6, 9 ve 12 hızlandırılmış korozyon kaybindan sonra çelik donatı çubukların tek eksenli çekme deneyinde meydana gelen çekme dayanım sonuçları Şekil 5.20’de gösterilmiştir. Şekil 5.20’de kontrol olarak gösterilmiş grup hiç korozyona uğramamış çelik donatı grubudur.



Şekil 5.20. Korozyona uğramış çelik donatı çubukların çekme dayanımı sonuçları.

Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin belirlenmiş % 3 ağırlık kaybı hızlandırılmış korozyon sonrası beton numunelerden çıkarılmış donatıların çekme deneyindeki çekme dayanımları incelendiğinde; hiç korozyona uğramamış kontrol donatının çekme dayanımı 598 MPa iken cam lif katkısız beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun çekme dayanımı 585 MPa olmuştur, % 1 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış donatının çekme dayanımı 589 MPa iken, % 2 cam lif katkılı silindir beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun çekme dayanımı 593 MPa ve % 3 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış donatının çekme dayanımı 588 MPa meydana gelmiştir. % 3 hızlandırılmış korozyon kaybında; cam lif katkısız beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun çekme dayanımında kontrol çelik donatı çubuğunun çekme dayanımına göre % 2,22 azalış olmuş iken % 1 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatının çekme dayanımında kontrol donatı çubuğunun çekme dayanımına göre % 1,53 azalış meydana gelmiştir, % 2 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun çekme dayanımında kontrol donatı çubuğunun çekme dayanımına göre % 0,84 azalış olmuştur ve % 3 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun çekme

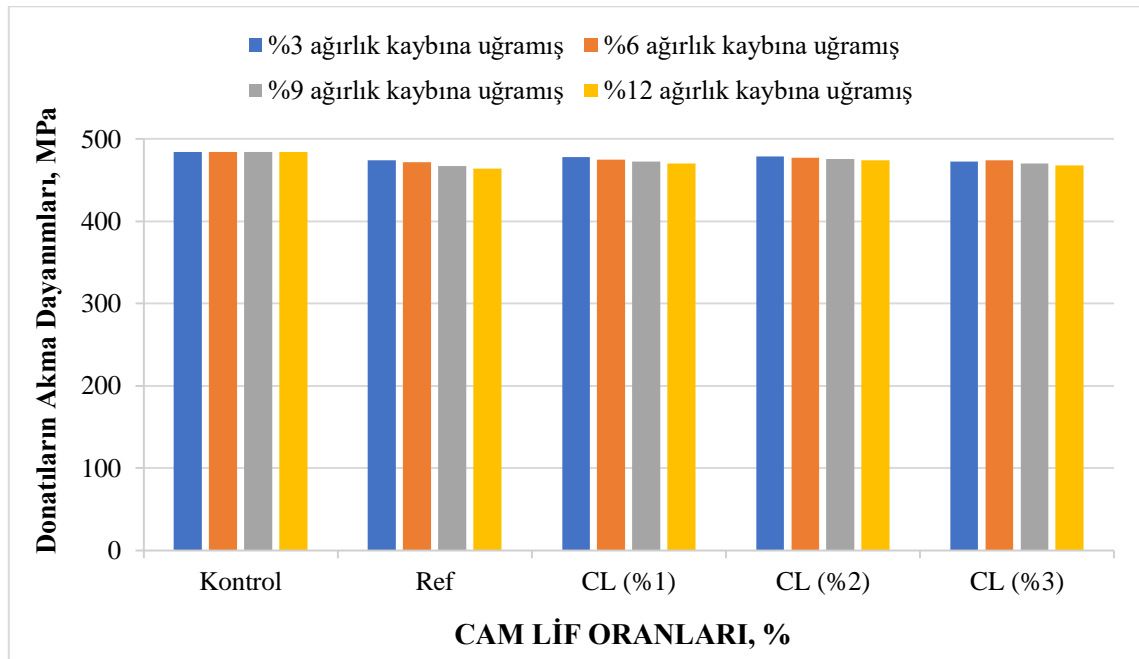
dayanımında kontrol çelik donatı çubuğunun çekme dayanıma göre % 1,70 azalış meydana gelmiştir.

Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin belirlenmiş % 6 ağırlık kaybı hızlandırılmış korozyon sonrası beton numunelerden çıkarılmış donatıların çekme deneyindeki çekme dayanımları incelendiğinde; hiç korozyona uğramamış kontrol donatının çekme dayanımı 598 MPa iken cam lif katkısız beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun çekme dayanımı 582 MPa olmuştur, % 1 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış donatının çekme dayanımı 586 MPa iken, % 2 cam lif katkılı silindir beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun çekme dayanımı 588 MPa ve % 3 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış donatının çekme dayanımı 585 MPa meydana gelmiştir. % 6 hızlandırılmış korozyon kaybında; cam lif katkısız beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun çekme dayanımında kontrol çelik donatı çubuğunun çekme dayanıma göre % 2,75 azalış olmuş iken % 1 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatının çekme dayanımında kontrol donatı çubuğunun çekme dayanıma göre % 2,05 azalış meydana gelmiştir, % 2 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun çekme dayanımında kontrol donatı çubuğunun çekme dayanıma göre % 1,70 azalış olmuştur ve % 3 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun çekme dayanımında kontrol çelik donatı çubuğunun çekme dayanıma göre % 2,22 azalış meydana gelmiştir.

Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin belirlenmiş % 9 ağırlık kaybı hızlandırılmış korozyon sonrası beton numunelerden çıkarılmış donatıların çekme deneyindeki çekme dayanımları incelendiğinde; hiç korozyona uğramamış kontrol donatının çekme dayanımı 598 MPa iken cam lif katkısız beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun çekme dayanımı 575 MPa olmuştur, % 1 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış donatının çekme dayanımı 578 MPa iken, % 2 cam lif katkılı silindir beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun çekme dayanımı 581 MPa ve % 3 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış donatının çekme dayanımı 579 MPa meydana gelmiştir. % 9 hızlandırılmış korozyon kaybında; cam lif katkısız beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun çekme dayanımında kontrol çelik donatı çubuğunun çekme dayanıma göre % 4,00 azalış olmuş iken % 1 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatının çekme dayanımında kontrol donatı çubuğunun çekme dayanıma göre % 3,46 azalış meydana gelmiştir, % 2 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun çekme dayanımında kontrol donatı çubuğunun çekme dayanıma göre % 2,93 azalış olmuştur ve % 3 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun çekme dayanımında kontrol çelik donatı çubuğunun çekme dayanıma göre % 3,28 azalış meydana gelmiştir.

Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin belirlenmiş % 12 ağırlık kaybı hızlandırılmış korozyon sonrası beton numunelerden çıkarılmış donatıların çekme deneyindeki çekme dayanımları incelendiğinde; hiç korozyona uğramamış kontrol donatının çekme dayanımı 598 MPa iken cam lif katkısız beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun çekme dayanımı 555 MPa olmuştur, % 1 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış donatının çekme dayanımı 572 MPa iken, % 2 cam lif katkılı silindir beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun çekme dayanımı 578 MPa ve % 3 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış donatının çekme dayanımı 565 MPa meydana gelmiştir. % 12 hızlandırılmış korozyon kaybında; cam lif katkısız beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun çekme dayanımında kontrol çelik donatı çubuğunun çekme dayanımına göre % 7,75 azalış olmuş iken % 1 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatının çekme dayanımında kontrol donatı çubuğunun çekme dayanımına göre % 4,55 azalış meydana gelmiştir, % 2 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun çekme dayanımında kontrol donatı çubuğunun çekme dayanımına göre % 3,46 azalış olmuştur ve % 3 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun çekme dayanımında kontrol çelik donatı çubuğunun çekme dayanımına göre % 5,84 azalış meydana gelmiştir.

Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin belirlenmiş % 3, 6, 9 ve 12 ağırlık kaybı hızlandırılmış korozyon sonrası çelik donatı çubukların tek eksenli çekme deneyinde meydana gelen akma dayanım sonuçları Şekil 5.21’de gösterilmiştir.



Şekil 5.21. Korozyona uğramış çelik donatı çubukların akma dayanımı sonuçları.

Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin belirlenmiş % 3 ağırlık kaybı hızlandırılmış korozyon sonrası beton numunelerden çıkarılmış donatıların çekme deneyindeki akma dayanımları incelendiğinde; hiç korozyona uğramamış kontrol donatının akma dayanımı 484 MPa iken cam lif katkısız beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun akma dayanımı 474 MPa olmuştur, % 1 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış donatının akma dayanımı 478 MPa iken, % 2 cam lif katkılı silindir beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun akma dayanımı 479 MPa ve % 3 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış donatının akma dayanımı 473 MPa meydana gelmiştir. % 3 hızlandırılmış korozyon kaybında; cam lif katkısız beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun akma dayanımında kontrol çelik donatı çubuğunun akma dayanımına göre % 2,11 azalış olmuş iken % 1 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatının akma dayanımında kontrol donatı çubuğunun akma dayanımına göre % 1,26 azalış meydana gelmiştir, % 2 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun akma dayanımında kontrol donatı çubuğunun akma dayanımına göre % 1,04 azalış olmuştur ve % 3 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun akma dayanımında kontrol çelik donatı çubuğunun akma dayanımına göre % 2,33 azalış meydana gelmiştir.

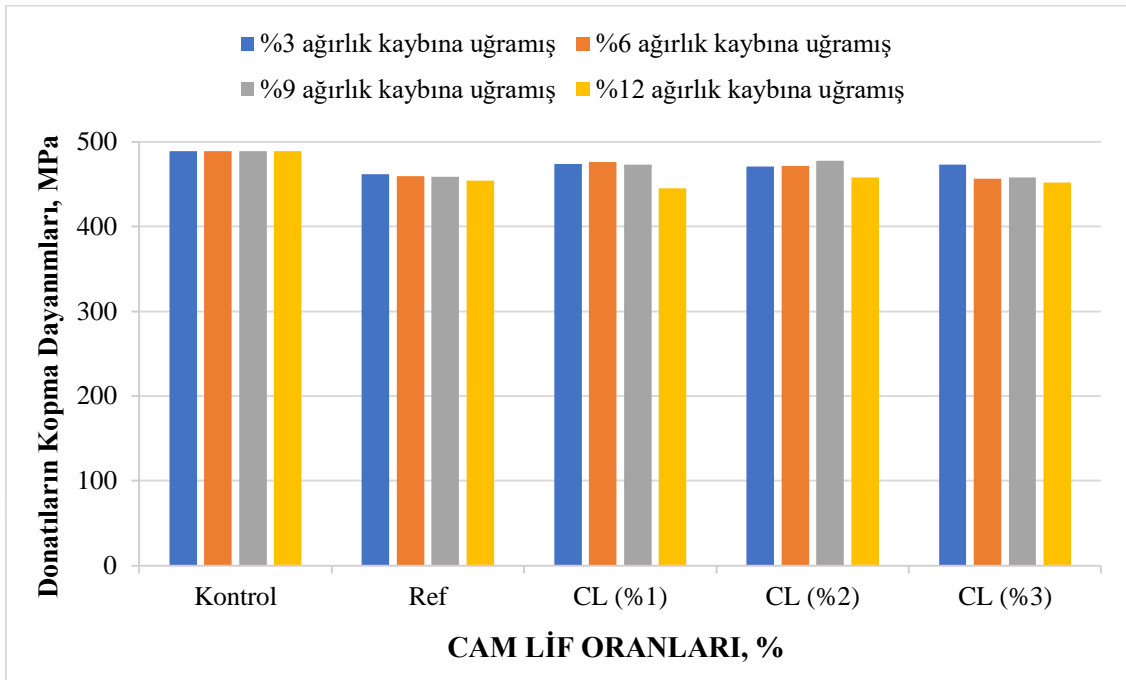
Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin belirlenmiş % 6 ağırlık kaybı hızlandırılmış korozyon sonrası beton numunelerden çıkarılmış donatıların çekme deneyindeki akma dayanımları incelendiğinde; hiç korozyona uğramamış kontrol donatının akma dayanımı 484 MPa iken cam lif katkısız beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun akma dayanımı 472 MPa olmuştur, % 1 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış donatının akma dayanımı 475 MPa iken, % 2 cam lif katkılı silindir beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun akma dayanımı 477 MPa ve % 3 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış donatının akma dayanımı 474 MPa meydana gelmiştir. % 6 hızlandırılmış korozyon kaybında; cam lif katkısız beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun akma dayanımında kontrol çelik donatı çubuğunun akma dayanımına göre % 2,54 azalış olmuş iken % 1 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatının akma dayanımında kontrol donatı çubuğunun akma dayanımına göre % 1,89 azalış meydana gelmiştir, % 2 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun akma dayanımında kontrol donatı çubuğunun akma dayanımına göre % 1,47 azalış olmuştur ve % 3 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun akma dayanımında kontrol çelik donatı çubuğunun akma dayanımına göre % 2,11 azalış meydana gelmiştir.

Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin belirlenmiş % 9 ağırlık kaybı hızlandırılmış korozyon sonrası beton numunelerden çıkarılmış donatıların çekme

deneyindeki akma dayanımları incelendiğinde; hiç korozyona uğramamış kontrol donatının akma dayanımı 484 MPa iken cam lif katkısız beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun akma dayanımı 467 MPa olmuştur, % 1 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış donatının akma dayanımı 473 MPa iken, % 2 cam lif katkılı silindir beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun akma dayanımı 476 MPa ve % 3 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış donatının akma dayanımı 470 MPa meydana gelmiştir. % 9 hızlandırılmış korozyon kaybında; cam lif katkısız beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun akma dayanımında kontrol çelik donatı çubuğunun akma dayanımına göre % 3,64 azalış olmuş iken % 1 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatının akma dayanımında kontrol donatı çubuğunun akma dayanımına göre % 2,33 azalış meydana gelmiştir, % 2 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun akma dayanımında kontrol donatı çubuğunun akma dayanımına göre % 1,68 azalış olmuştur ve % 3 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun akma dayanımında kontrol çelik donatı çubuğunun akma dayanımına göre % 2,98 azalış meydana gelmiştir.

Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin belirlenmiş % 12 ağırlık kaybı hızlandırılmış korozyon sonrası beton numunelerden çıkarılmış donatıların çekme deneyindeki akma dayanımları incelendiğinde; hiç korozyona uğramamış kontrol donatının akma dayanımı 484 MPa iken cam lif katkısız beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun akma dayanımı 464 MPa olmuştur, % 1 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış donatının akma dayanımı 470 MPa iken, % 2 cam lif katkılı silindir beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun akma dayanımı 474 MPa ve % 3 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış donatının akma dayanımı 468 MPa meydana gelmiştir. % 12 hızlandırılmış korozyon kaybında; cam lif katkısız beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun akma dayanımında kontrol çelik donatı çubuğunun akma dayanımına göre % 4,31 azalış olmuş iken % 1 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatının akma dayanımında kontrol donatı çubuğunun akma dayanımına göre % 2,98 azalış meydana gelmiştir, % 2 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun akma dayanımında kontrol donatı çubuğunun akma dayanımına göre % 2,11 azalış olmuştur ve % 3 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun akma dayanımında kontrol çelik donatı çubuğunun akma dayanımına göre % 3,42 azalış meydana gelmiştir.

Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin belirlenmiş % 3, 6, 9 ve 12 ağırlık kaybı hızlandırılmış korozyon sonrası çelik donatı çubukların tek eksenli çekme deneyinde meydana gelen kopma dayanım sonuçları Şekil 5.22'de gösterilmiştir. Şekil 5.22'de kontrol olarak gösterilmiş grup hiç korozyona uğramamış çelik donatı grubudur.



Şekil 5.22. Korozyona uğramış çelik donatı çubukların kopma dayanımı sonuçları.

Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin belirlenmiş % 3 ağırlık kaybı hızlandırılmış korozyon sonrası beton numunelerden çıkarılmış donatıların çekme deneyindeki kopma dayanımları incelendiğinde; hiç korozyona uğramamış kontrol donatının kopma dayanımı 489 MPa iken cam lif katkısız beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun kopma dayanımı 462 MPa olmuştur, % 1 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış donatının kopma dayanımı 474 MPa iken, % 2 cam lif katkılı silindir beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun kopma dayanımı 471 MPa ve % 3 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış donatının kopma dayanımı 473 MPa meydana gelmiştir. % 3 hızlandırılmış korozyon kaybında; cam lif katkısız beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun kopma dayanımında kontrol çelik donatı çubuğunun kopma dayanımına göre % 5,84 azalış olmuş iken % 1 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatının kopma dayanımında kontrol donatı çubuğunun kopma dayanımına göre % 3,16 azalış meydana gelmiştir, % 2 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun kopma dayanımında kontrol donatı çubuğunun kopma dayanımına göre % 3,82 azalış olmuştur ve % 3 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun kopma dayanımında kontrol çelik donatı çubuğunun kopma dayanımına göre % 3,38 azalış meydana gelmiştir.

Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin belirlenmiş % 6 ağırlık kaybı hızlandırılmış korozyon sonrası beton numunelerden çıkarılmış donatıların çekme

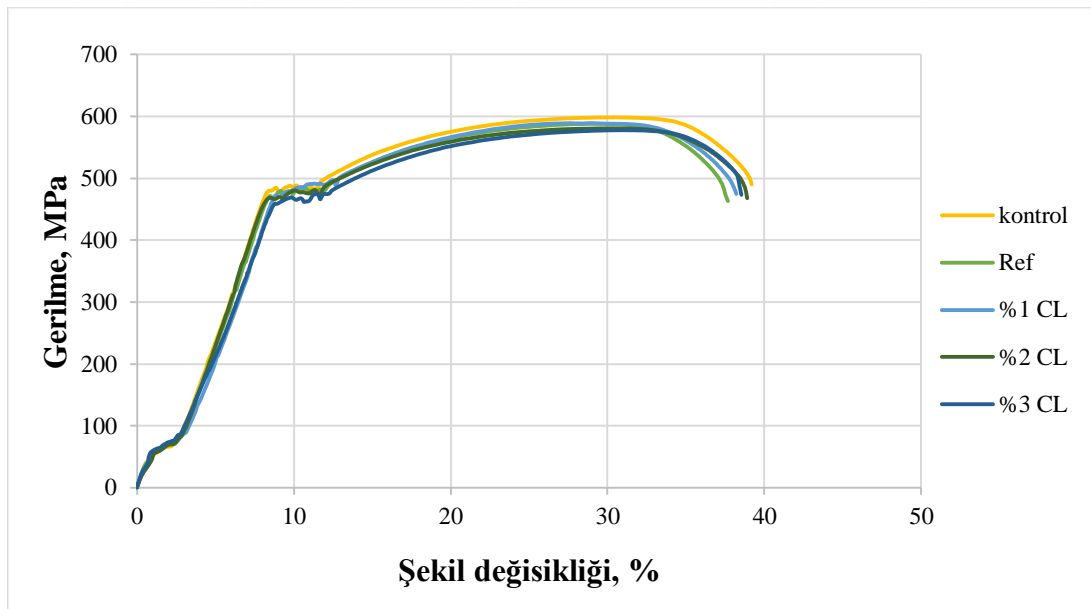
deneyindeki kopma dayanımları incelendiğinde; hiç korozyona uğramamış kontrol donatının kopma dayanımı 489 MPa iken cam lif katkısız beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun kopma dayanımı 460 MPa olmuştur, % 1 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış donatının kopma dayanımı 476 MPa iken, % 2 cam lif katkılı silindir beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun kopma dayanımı 472 MPa ve % 3 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış donatının kopma dayanımı 457 MPa meydana gelmiştir. % 6 hızlandırılmış korozyon kaybında; cam lif katkısız beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun kopma dayanımında kontrol çelik donatı çubuğunun kopma dayanımına göre % 6,30 azalış olmuş iken % 1 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatının kopma dayanımında kontrol donatı çubuğunun kopma dayanımına göre % 2,73 azalış meydana gelmiştir, % 2 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun kopma dayanımında kontrol donatı çubuğunun kopma dayanımına göre % 3,60 azalış olmuştur ve % 3 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun kopma dayanımında kontrol çelik donatı çubuğunun kopma dayanımına göre % 7,00 azalış meydana gelmiştir.

Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin belirlenmiş % 9 ağırlık kaybı hızlandırılmış korozyon sonrası beton numunelerden çıkarılmış donatıların çekme deneyindeki kopma dayanımları incelendiğinde; hiç korozyona uğramamış kontrol donatının kopma dayanımı 489 MPa iken cam lif katkısız beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun kopma dayanımı 459 MPa olmuştur, % 1 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış donatının kopma dayanımı 473 MPa iken, % 2 cam lif katkılı silindir beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun kopma dayanımı 478 MPa ve % 3 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış donatının kopma dayanımı 458 MPa meydana gelmiştir. % 9 hızlandırılmış korozyon kaybında; cam lif katkısız beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun kopma dayanımında kontrol çelik donatı çubuğunun kopma dayanımına göre % 6,54 azalış olmuş iken % 1 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatının kopma dayanımında kontrol donatı çubuğunun kopma dayanımına göre % 3,38 azalış meydana gelmiştir, % 2 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun kopma dayanımında kontrol donatı çubuğunun kopma dayanımına göre % 2,30 azalış olmuştur ve % 3 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun kopma dayanımında kontrol çelik donatı çubuğunun kopma dayanımına göre % 6,77 azalış meydana gelmiştir.

Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin belirlenmiş % 12 ağırlık kaybı hızlandırılmış korozyon sonrası beton numunelerden çıkarılmış donatıların çekme deneyindeki kopma dayanımları incelendiğinde; hiç korozyona uğramamış kontrol donatının kopma dayanımı 489 MPa iken cam lif katkısız beton numuneden çıkarılmış çelik donatı

çubuğunun kopma dayanımı 454 MPa olmuştur, % 1 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış donatının kopma dayanımı 445 MPa iken, % 2 cam lif katkılı silindir beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun kopma dayanımı 458 MPa ve % 3 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış donatının kopma dayanımı 452 MPa meydana gelmiştir. % 12 hızlandırılmış korozyon kaybında; cam lif katkısız beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğun kopma dayanımında kontrol çelik donatı çubuğun kopma dayanımına göre % 7,71 azalış olmuş iken % 1 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatının kopma dayanımında kontrol donatı çubuğunun kopma dayanımına göre % 9,89 azalış meydana gelmiştir, % 2 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğun kopma dayanımında kontrol donatı çubuğun kopma dayanımına göre % 6,77 azalış olmuştur ve % 3 cam lif katkılı beton numuneden çıkarılmış çelik donatı çubuğunun kopma dayanımında kontrol çelik donatı çubuğunun kopma dayanımına göre % 8,19 azalış meydana gelmiştir.

Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin belirlenmiş % 3 ağırlık kaybı hızlandırılmış korozyon sonrası çelik donatı çubukların tek eksenli çekme deneyinde meydana gelen gerilme şekil değiştirme eğrileri Şekil 5.23'te gösterilmiştir. Şekil 5.23'te kontrol olarak gösterilmiş grup hiç korozyona uğramamış çelik donatı grubudur.

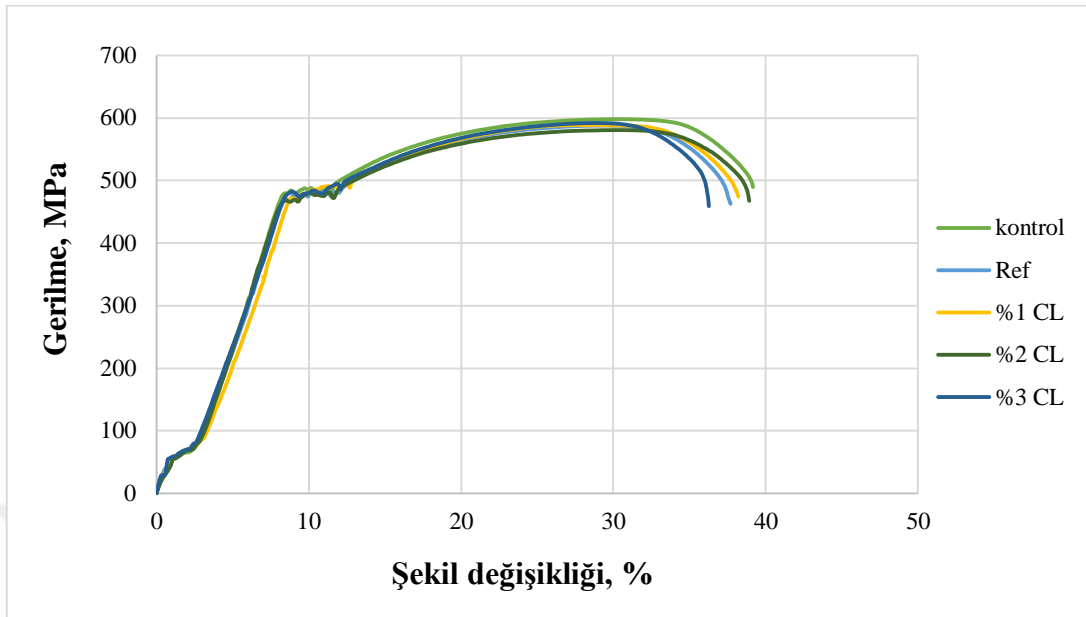


Şekil 5.23. Hızlandırılmış korozyon deneyinde % 3 ağırlık kaybına uğramış ve kontrol çelik donatı çubuklarının gerilme şekil değiştirme eğrileri.

Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin hızlandırılmış korozyon deneyinde % 3 ağırlık kaybına uğramış ve hiç korozyona uğramamış kontrol donatı çubukların

gerilme şekil değiştirme eğrileri incelendiğinde; hiç korozyona uğramamış kontrol donatı çubuğun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değişikliği oranı % 39,67 iken, katkısız donatılı silindir beton numunenin donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değişikliği oranı % 37,68 olmuştur, % 1 cam lif katkılı donatılı silindir beton numunenin donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranı % 38,73, % 2 cam lif katkılı donatılı silindir beton numunenin çelik donatı çubuğun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranı % 39,34 meydan gelirken, % 3 cam lif katkılı donatılı silindir beton numunenin donatı çubuğun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranı % 38,84 olmuştur. % 3 ağırlık kaybına uğramış katkısız donatılı silindir beton numunenin donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranında kontrol çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranına göre % 5,28 azalış görülmüştür, % 1 cam lif katkılı donatılı silindir beton numunenin donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranında kontrol çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranına göre % 2,43 azalış meydana gelmiştir, % 2 cam lif katkılı donatılı beton numunenin donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranında kontrol çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranına göre % 0,84 azalış oluşmuştur ve % 3 cam lif katkılı donatılı silindir beton numunenin donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranında kontrol çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranına göre % 2,14 azalış meydana gelmiştir.

Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin belirlenmiş % 6 ağırlık kaybı hızlandırılmış korozyon sonrası çelik donatı çubukların tek eksenli çekme deneyinde meydana gelen gerilme şekil değiştirme eğrileri Şekil 5.24'te gösterilmiştir. Şekil 5.24'te kontrol olarak gösterilmiş grup hiç korozyona uğramamış çelik donatı grubudur.

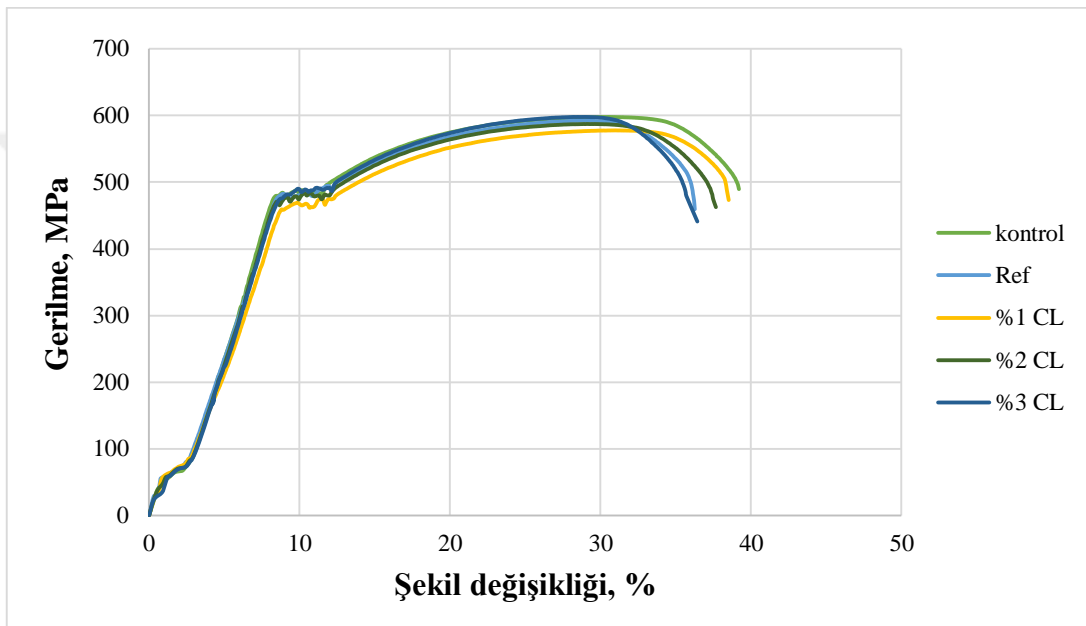


Şekil 5.23: Hızlandırılmış korozyon deneyinde % 6 ağırlık kaybına uğramış ve kontrol çelik donatı çubuklarının gerilme şekil değiştirme eğrileri.

Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindirik beton numunelerin hızlandırılmış korozyon deneyinde % 6 ağırlık kaybına uğramış ve hiç korozyona uğramamış kontrol donatı çubuklarının gerilme şekil değiştirme eğrileri incelendiğinde; hiç korozyona uğramamış kontrol donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranı % 39,67 iken, katkısız donatılı silindirik beton numunenin donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranı % 37,41 olmuştur, % 1 cam lif katkılı donatılı silindirik beton numunenin donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranı % 38,12, % 2 cam lif katkılı donatılı silindirik beton numunenin çelik donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranı % 38,90 meydana gelirken, % 3 cam lif katkılı donatılı silindirik beton numunenin donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranı % 36,75 olmuştur. % 6 ağırlık kaybına uğramış katkısız donatılı silindirik beton numunenin donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranında kontrol çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranına göre % 6,04 azalış görülmüştür, % 1 cam lif katkılı donatılı silindirik beton numunenin donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranında kontrol çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranına göre % 4,10 azalış meydana gelmiştir, % 2 cam lif katkılı donatılı beton numunenin donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranında kontrol çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranına göre % 1,98 azalış oluşmuştur ve % 3 cam lif katkılı donatılı silindirik beton numunenin donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme

oranında kontrol çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranına göre % 7,95 azalış meydana gelmiştir.

Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin belirlenmiş % 9 ağırlık kaybı hızlandırılmış korozyon sonrası çelik donatı çubukların tek eksenli çekme deneyinde meydana gelen gerilme şekil değiştirme eğrileri şekil 5.25'te gösterilmiştir. Şekil 5.25'te kontrol olarak gösterilmiş grup hiç korozyona uğramamış çelik donatı grubudur.

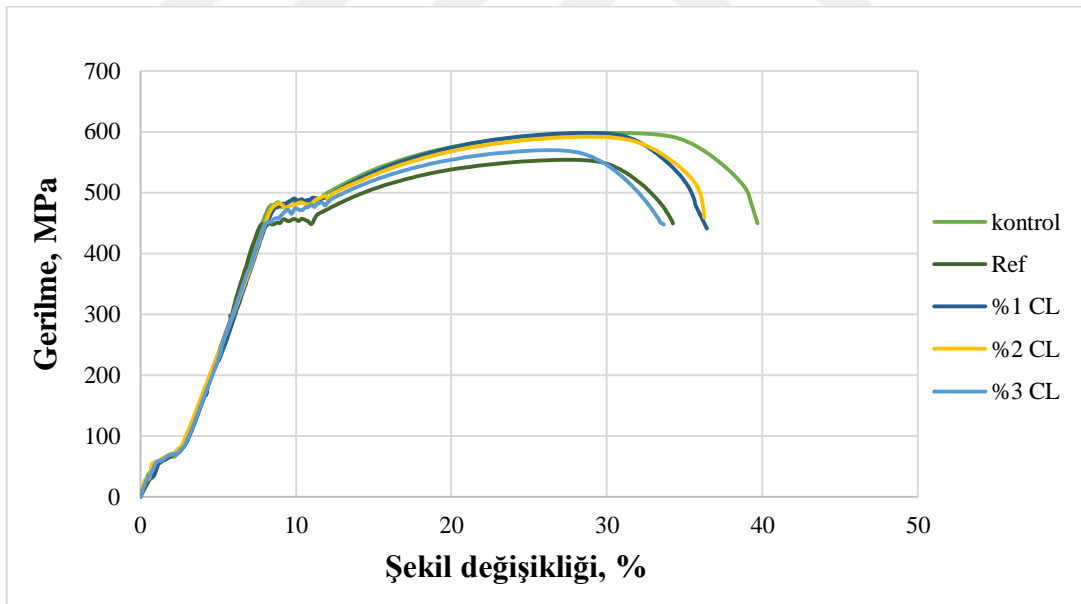


Şekil 5.24: Hızlandırılmış korozyon deneyinde % 9 ağırlık kaybına uğramış ve kontrol çelik donatı çubuklarının gerilme şekil değiştirme eğrileri.

Cam lif katkılı ve katkısız donatılı silindir beton numunelerin hızlandırılmış korozyon deneyinde % 9 ağırlık kaybına uğramış ve hiç korozyona uğramamış kontrol donatı çubuklarının gerilme şekil değiştirme eğrileri incelendiğinde; hiç korozyona uğramamış kontrol donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranı % 39,67 iken, katkısız donatılı silindir beton numunenin donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranı % 36,71 olmuştur, % 1 cam lif katkılı donatılı silindir beton numunenin donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranı % 37,75, % 2 cam lif katkılı donatılı silindir beton numunenin çelik donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranı % 37,94 meydana gelirken, % 3 cam lif katkılı donatılı silindir beton numunenin donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranı % 36,12 olmuştur. % 9 ağırlık kaybına uğramış katkısız donatılı silindir beton numunenin donatı çubuğunun çekme deneyinde

kopma anındaki şekil değiştirme oranında kontrol çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranına göre % 8,06 azalış görülmüştür, % 1 cam lif katkıli donatılı silindir beton numunenin donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranında kontrol çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranına göre % 5,23 azalış meydana gelmiştir, % 2 cam lif katkıli donatılı beton numunenin donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranında kontrol çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranına göre % 4,56 azalış olmuştur ve % 3 cam lif katkıli donatılı silindir beton numunenin donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranında kontrol çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranına göre % 9,83 azalış meydana gelmiştir.

Cam lif katkıli ve katkısiz donatılı silindir beton numunelerin belirlenmiş % 12 ağırlık kaybı hızlandırılmış korozyon sonrası çelik donatı çubukların tek eksenli çekme deneyinde meydana gelen gerilme şekil değiştirme eğrileri Şekil 5.26'da gösterilmiştir. Şekil 5.26'da kontrol olarak gösterilmiş grup hiç korozyona uğramamış çelik donatı grubudur.



Şekil 5.25: Hızlandırılmış korozyon deneyinde % 12 ağırlık kaybına uğramış ve kontrol çelik donatı çubukların gerilme şekil değiştirme eğrileri.

Cam lif katkıli ve katkısiz donatılı silindir beton numunelerin hızlandırılmış korozyon deneyinde % 12 ağırlık kaybına uğramış ve hiç korozyona uğramamış kontrol donatı çubukların gerilme şekil değiştirme eğrileri incelendiğinde; hiç korozyona uğramamış kontrol donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranı % 39,67 iken, katkısiz donatılı

silindir beton numunenin donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranı % 34,76 oluşmuştur, % 1 cam lif katkılı donatılı silindir beton numunenin donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranı % 35,67, % 2 cam lif katkılı donatılı silindir beton numunenin çelik donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranı % 36,34 meydana gelirken, % 3 cam lif katkılı donatılı silindir beton numunenin donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranı % 33,84 olmuştur. % 12 ağırlık kaybına uğramış katkısız donatılı silindir beton numunenin donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranında kontrol çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranına göre % 14,13 azalış görülmüştür, % 1 cam lif katkılı donatılı silindir beton numunenin donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranında kontrol çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranına göre % 11,21 azalış meydana gelmiştir, % 2 cam lif katkılı donatılı beton numunenin donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranında kontrol çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranına göre % 9,16 azalış olmuştur ve % 3 cam lif katkılı donatılı silindir beton numunenin donatı çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranında kontrol çubuğunun çekme deneyinde kopma anındaki şekil değiştirme oranına göre % 17,23 azalış meydana gelmiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Cam lif ile üretilen betonların mekanik özelliklerinde lif kullanılmadan üretilen betonların mekanik özelliklerine göre çok fazla bir değişim olmamıştır. Genel olarak cam lif katkısının basınç dayanımını azalttığı görülmüştür ama yarmada çekme ve eğilmede çekme dayanımı değerlerinde artışlar meydana gelmiştir. % 2 cam lif katkılı beton serisinin basınç dayanımı 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 cam lif oranı ile üretilen betonlardan elde edilmiştir. Korozyon deneyleri sonrasında betonların içerisinden çıkarılan donatıların akma, çekme ve kopma dayanımları incelendiğinde % 2 cam lifli betonların içinde korozyona uğrayan donatıların hiç korozyona uğramayan kontrol numunelerinden elde edilen dayanımlara yakın değerler verdiği görülmüştür.

Genel olarak cam lifinin kullanıldığı beton serilerinde korozyon deneylerinde iyi sonuçlar elde edilmiştir. Lif oranının artması ile çekme dayanımlarında da iyileşmeler görülmüştür. Aslında cam lif katkısı ile üretilen ve basınç dayanımı değerleri düşük olan betonların cam lif katkısı olmadan üretilen betonlara göre daha kısa sürelerde hasara uğraması gerekmektedir. Ancak beton içerisine belirli oranlarda dağılmış olan lifler matriste ilerleyen çatlağın 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 yayılması için gereken enerji çatlak oluşumu için gereken enerjinin yarısı olarak kabul edilir. Beton içerisinde lif bulunması halinde, başlangıçta mikro çatlağı meydana getiren enerji, lifler aracılığı ile çatlağın yanındaki sağlam bölgelere aktarılır. Bu nedenle çatlağın 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 çektikleri korozyon akımlarına bakıldığında da cam 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 cam lif oranı ile üretilen betonların içerisinde korozyona uğratılan donatılardan elde edilmiştir. Ayrıca cam lif miktarının artışı ile birlikte de kontrol numunelerine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

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

korozyona karşı daha dayanıklı oldukları görülmüştür. Ancak sonuçların farklı cam lif oranları, betonun farklı sınıfları ve 12 mm'lik cam lif ile tekrarlanması önerilmektedir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

AASHTO T 277, (2007). “Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete’s Ability to Resist Chloride,” *American Association of State Highway and Transportation Officials*, Washington, DC, 12 s.

ACI Committee, (2001). “Protection of metals in concrete against corrosion,” ACI 222R-01, *American concrete Institute, Farmington Hills, Mich, USA*.

ACI Committee 544. (1982). State-of-the-Report on Fibre Reinforced Concrete, (ACI 544.1R-82), *Concrete International: Design and Construction*. 4(5): 9-30, *American Concrete Institute, Detroit, Michigan, USA*.

ACI Committee 544. (1989). Measurement of Properties of Fibre Reinforced Concrete, (ACI 544.2R-889). *American Concrete Institute, Detroit, Michigan, USA*.

Agy (2004). Advanced Fiber Glass Yarn Co. Inc. High Strength Glass Fibers, *Technical paper, Continuous glass fiber manufacturing process*.

Al-Ghamdy, Daifallah O., Tons, Egons, Wight, James K., (1993). Effect of matrix composition on steel fiber reinforced concrete properties. *Journal of King Saud University –Engineering Science*, 5 (1), 55–75

Dr. Patnaik Anil (2009). “Applications of Basalt Fibers Reinforced Polymer (BFRP) Reinforcement for Transportation Infrastructure”, *Developing a Research Agenda for Transportation Infrastructure – TRB*, 1-5.

H. Arup (1983). “The mechanisms of the protection of steel by concrete”, in *Corrosion of Reinforcement in Concrete Construction*, A. P. Crane (Ed.), Ellis Horwood Ltd., Chichester, 151–157.

ASTM G1-03. (2009). Standard Practice for preparing, cleaning and evaluating corrosion test specimens, *ASTM Standards*, volume s. 9–14.

S. A. Austin, R. Lyons, ve M. J. Ing. (2004). “Electrochemical Behavior of Steel-Reinforced Concrete During Accelerated Corrosion Testing”, *Corrosion Science*, 60(2), s. 203–212.

Balaguru P ve Slattum K. (1995). Test methods for durability of polymeric fibers in concrete and UV light exposure. *American concrete institute - SP.155*. s. 115-136.

Bayasi Z ve Zeng J. (1993). Properties of polypropylene fiber reinforced concrete. *American concrete institute Material Journal*; 90:605-610.

Z. P. Bazant (1979). “Physical model for steel corrosion in concrete sea structures”, *Journal of the Structural Division*, ASCE, 105 (ST6), 1137–1166.

Bentur, A., and Mindess, S. (1990). *Fiber Reinforced Cementitious Composites*, Elsevier Applied Science, Amsterdam, The Netherlands.

J.P. Broomfield (1996). Techniques to assess the corrosion activity of steel reinforced concrete structures. In: N.S. Berke, E. Escalante, C.K. Nmai and D. Whiting editors, *ASTM STP 1276* s. 91–106.

Mendelson, Cheryl (2005). *Home Comforts: The Art and Science of Keeping House*. Simon and Schuster.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Claisse, P.A. (2014). "Letter: Using Electrical Tests as Durability Indicators," *Concrete International*, volume 36, No, s.17.
- Ekincioglu, Ö., (2002). "Karma Lif içeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışının incelenmesi", *Sika Teknik Bülten*, 10-11.
- Feliu, V.; Gonzalez, J.A.; Andrade, C.; Feliu, S. (1998). Equivalent circuit for modeling the steel concrete interface-I. Experimental evidence and theoretical predictions. *Corrosion Science*, 40(6), s. 97–102
- Forster ve Elborg (2007). Nylon and bombs; Dupont and the march of modern America. Baltimore: *Johns Hopkins University Press*, s. 182.
- Ganesh Babu. K ve Pavan Kumar. D. (2004). Behavior of Glass Fibre Reinforced Cement Composites. ICFRC International Conference on Fibre Composites, *High Performance Concretes and Smart Materials*. 8-10, Chennai.
- Hu XQ ve Sheng TN (2005) The Applications of the CBF in War Industry & Civil Fields. *Hi-Tech Fiber&Application* 30 7-13
- Isgor, O. B. (2001). A Durability Model for Chloride and Carbonation Induced Steel Corrosion in Reinforced Concrete Members, Ph. D. Thesis, Carleton University
- Johnston CD. (1994). Fibre-reinforced cement and concrete. In: Malhorta VM. Advances in concrete technology. 2nd ed. Ottawa: Gordon and Breach Publishers; s. 603-673.
- Sim Jongsung, Park Cheolwo, Moon Do Young (2005). Characteristics of basalt fiber as a strengthening material for concrete structures. *Composites Part of B: Engineering*, 36 504
- Karahan O. (2006). Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri, inşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Lei J, Dang XA, Li JJ (2007). Characteristic, application and development of basalt fiber. *New Chemical Materials* 35 9-11
- K.L. Lowenstein (1983). The manufacturing technology of continuous glass fibers, *Elsevier Applied Science*, Amsterdam.
- Luo YF ve Luo XM (2016). Great innovations of hi-tech fibers were coming. *Hi-Tech Fiber & Application* 41 1-13
- Majumdar, A., ve Ryder (1968). "Glassfiber Reinforcement for Cement Products," *Glass Technology* 9(3):78–84.
- T. A. Man'ko, E. A. Dzhur, F. P. Sanin, ve I. M. Ermolaev (2001). "Effect of magnetic treatment on the structure and properties of aramid-fiber-reinforced epoxy plastics," *Mechanical Composite Materials*, 37, No.2, 171–174
- Minus, M. L., ve Kumar, S. (2005). "The Processing, Properties, and Structure of Carbon Fibers," *Journal Miner. Met. Material Science*, 57(2), s. 52–58.
- Peter J. T. Morris (2005). Polymer Pioneers: A Popular History of the Science and Technology of Large Molecules, *Chemical Heritage Foundation*, 76

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Nadelman, E.I., ve Kurtis, K.E. (2014). A Resistivity-Based Approach to Optimizing Concrete Performance,” *Concrete International*, volume 36, No. s. 50-54.

Nili M ve Afroughsabet V. (2010). The effects of silica fume and polypropylene fibers on the impact resistance and mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*. 24: 927-933.

H.O. Pierson (1993). Handbook of Carbon, Graphite, Diamond and Fullerenes - Properties, Processing and Applications, *William Andrew Publishing/Noyes*.

Saha S. ve Pal S. (1984). Improvement of mechanical properties of acrylic bone cement by fiber reinforcement. *Journal Biomechanics*;17:467-78.

Saravanan D. (2006). “Spinning of rocks – Basalt fibers”, *Institute of Engineers (India) Journal*, volume 82, 39-45

Stratfull, R. F. (1973). “Half-Cell Potentials and the Corrosion of Steel in Concrete,” *Highway Research Record* 433.

D. Whiting (1981). Rapid Determination of the Chloride Permeability of Concrete. FHWA/RD-81/119. FHWA, *United State Department of Transportation*.

R.F. Zollo ve C.D. Hays (1998). Engineering material properties of a fiber reinforced cellular concrete, *American concrete institute Material journal*, 95 (5) 631 – 635.



EKLER

Ek.1. Cam lif katkılı ve katkısız beton grupların fiziksel özellik sonuçları

Karışım türü	Kür süresi	Birim ağırlık (kg/m³)	Ultrases geçiş hızı (km/sn)	Dinamik elastisite modülü (MPa)
Ref	7	2352,6	4,691	46,59
%1 CL	7	2348,3	4,525	43,27
%2 CL	7	2342,6	4,482	42,35
%3 CL	7	2339,4	4,411	40,97
Ref	28	2353,4	4,598	44,78
%1 CL	28	2347,5	4,508	42,94
%2 CL	28	2341,1	4,483	42,34
%3 CL	28	2335,6	4,370	40,14

Ek.2. Cam lif katkılı ve katkısız beton grupların mekanik özellik sonuçları

Karışım türü	Kür süresi	Yüzey sertliği (MPa)	Basınç dayanımı (MPa)	Yarmada çekme dayanımı (MPa)	Eğilmede çekme dayanımı (MPa)
Ref	7	33,9	35,45	3,06	5,72
%1 CL	7	32,7	34,4	3,18	5,83
%2 CL	7	30,2	33,2	3,25	6,08
%3 CL	7	31,5	30,85	3,15	5,79
Ref	28	36,8	40,7	3,17	5,94
%1 CL	28	34,1	38,03	3,45	6,24
%2 CL	28	33,0	37,23	3,61	6,86
%3 CL	28	32,6	35,56	3,36	6,18

Ek.3. Cam lif katkılı ve katkısız beton grupların yarı hücre potansiyel sonuçları

	Karışım Türü	Kür Süresi	Yarı Hücre Potansiyel, mV (CSE)	
			Ağırlık Kaybından Öncesi	Ağırlık Kaybından Sonrası
%3 Ağırlık Kaybı	Ref	28	-255	-496
	%1 CL	28	-235	-480
	%2 CL	28	-218	-465
	%3 CL	28	-230	-477
%6 Ağırlık Kaybı	Ref	28	-264	-546
	%1 CL	28	-226	-507
	%2 CL	28	-208	-475
	%3 CL	28	-232	-526
%9 Ağırlık Kaybı	Ref	28	-252	-575
	%1 CL	28	-233	-565
	%2 CL	28	-218	-516
	%3 CL	28	-238	-568
%12 Ağırlık Kaybı	Ref	28	-258	-604
	%1 CL	28	-233	-586
	%2 CL	28	-227	-565
	%3 CL	28	-228	-592

Ek.4. Cam lif katkılı ve katkısız beton grupların hızlandırılmış korozyon sonuçları

Karışım Türü	Kür Süresi	%3 Ağırlık Kaybı İçin Toplam Zamanı (Saat)	Başlangıç Korozyon Akımı (mA)	%6 Ağırlık Kaybı İçin Toplam Zamanı (Saat)	Başlangıç Korozyon Akımı (mA)
Ref	28	42	0,22	96	0,23
%1 CL	28	44	0,22	98	0,22
%2 CL	28	47	0,21	101	0,21
%3 CL	28	41	0,21	92	0,23

Ek.5. Cam lif katkılı ve katkısız beton grupların hızlandırılmış korozyon sonuçları

Karışım türü	Kür süresi	%9 ağırlık kaybı için toplam zamanı (saat)	Başlangıç korozyon akımı (mA)	%12 ağırlık kaybı için toplam zamanı (saat)	Başlangıç korozyon akımı (mA)
Ref	28	142	0,24	197	0,21
%1 CL	28	138	0,24	198	0,23
%2 CL	28	149	0,22	209	0,20
%3 CL	28	141	0,23	194	0,22

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Uyruk : Yabancı
Adı Soyadı : Muhammad Yousaf Agha MUJADIDI
Doğum Yeri ve Tarihi : KANDAHAR / AFGHANISTAN – 12.10.1990

Eğitim

Lisans Öğrenimi : Kütahya Dumlupınar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

İş Deneyimi

Stajlar : Z-A İnşaat Şirketi, Karadeniz İnşaat şirketi - KÜTAHYA
İnşaat Kontrol Mühendisi : Tavşanlı Hedef Yapı Denetim Limited Şirketi - KÜTAHYA

Yabancı Dil

Türkçe

İngilizce

İletişim : +905078268991

E-Posta Adresi : yagha2012@gmail.com

