



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNA TAKVİYELİ BAZALT/EPOKSİ KOMPOZİTLERİN
KOROZİF AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Halil KIZILIRMAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

NİSAN 2024
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Halil KIZILIRMAK tarafından hazırlanan “Alümina Takviyeli Bazalt/Epoksi Kompozitlerin Korozif Aşınma Davranışlarının İncelenmesi” adlı tez çalışması 30/04/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof.Dr.Hüseyin ARIKAN
(Necmettin Erbakan Üniversitesi)

.....

Danışman

Doç.Dr.Gürol ÖNAL
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Üye

Dr.Öğr.Üyesi Okan DEMİR
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 231010006 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Halil KIZILIRMAK
Tarih:..30.04.2024

ÖZET**YÜKSEK LİSANS****ALÜMİNA TAKVİYELİ BAZALT/EPOKSİ KOMPOZİTLERİN KOROZİF
AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ****Halil KIZILIRMAK****Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı****Danışman: Doç.Dr.Gürol ÖNAL****2024, 101 Sayfa****Jüri****Doc.Dr.Gürol ÖNAL
Prof.Dr.Hüseyin ARIKAN
Dr.Öğr.Üyesi Okan DEMİR**

Tez çalışmamızda; Bazalt/Epoksi nanokompozitlere Alümina(Al_2O_3) katkısının Korozif ortamlara maruz bırakılarak mekanik ve tribolojik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Bazalt/Epoksi nanokompozit matris malzemeye katkı yapmadan ve matris malzeme(Epoksi) içerisine kütlece % 2,5 18 nanometre ölçülerinde neredeyse küresel gama alümina toz eklenerek 3 mm kalınlıkta olacak şekilde 17 katlı olarak el yatırma yöntemiyle üretilmiştir. Katkısız ve şartsız bazalt/epoksi nanokompozitlerin pin on disk aşınma, eğilme ve çekme testleri ASTM standartlarına uygun test cihazlarında 25 derece oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Aşınma dayanımı Pin On Disk Aşınma test cihazında 62 HRC sertliğe sahip krom çeliği bilyesi kullanılarak 1 m/s hızda 60 mm çapı seçilerek 10-15 N yükler kullanılarak yapılmıştır. Alümina katkılı ve katkısız Bazalt/Epoksi nanokompozitlerde korozif ortamların etkisini incelemek için 0-1-2-3-5 aylık %2,5 seyreltilmiş hidroklorik asit ve % 3 lük deniz suyu ortamlarında yaşlandırmaya tabi tutulmuştur. Alümina katkılı ve katkısız nanokompozitler mekanik özellikleri belirlenme aşamasında ayrıncem absorpsiyonu da ölçülmüştür. 3 nokta eğilme, çekme ve aşınma testlerine tabi tutulan numunelerde meydana gelen hasarlar, tuzlu su ve seyreltilmiş hidroklorik asitli su ortamlarına maruz bırakılıp yaşlandırılan numunelerdeki bozunma ve korozif ortamların nanokompozit fiber ve matrisinde meydana getirdiği bozunduruç etkileri SEM mikroskopuyla incelenmiş ve görüntüleri alınmıştır.

Bazalt/Epoksi nanokompozit matrisine katkısı yapılan Alümina(Al_2O_3) matris ve fiberin arayüz bağlarını güçlendirmek, çekme dayanımı, eğilme ve uzama özelliklerinde umut verici artışlar sağlamıştır. Alümina katkılı bazalt nanokompozitlerin katkısız nanokompozitlere nazaran aşınma dayanımı daha yüksek ve aşınma miktarı da daha az gözlemlenmiştir. Aşınma dayanımı düşük olan bazalt nanokompozitlere katılan ve yine aşınma direnci yüksek olan Alümina nanokompozitlere aşınmayı geciktirerek aşınma dayanımını arttırmıştır. Yine Çekme ve Eğilme testlerinde alüminanın matris malzemeye katılması bağ yapısını güçlendirerek mekanik özelliklerini arttırmıştır.

Anahtar Kelimeler:Alümina, bazalt, epoksi, hidroklorik asit, pin on disk aşınma, tuzlu su.

ABSTRACT**MS THESIS
INVESTIGATION OF CORROSIVE WEAR BEHAVIOURS OF ALUMINA
REINFORCED BASALT/EPOXY COMPOSITES****Halil KIZILIRMAK****Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Mechanical Engineering Faculty****Advisor: Assoc.Prof.Dr.Gürol ÖNAL****2024, 101 Pages****Jury
Assoc.Prof.Dr.Gürol ÖNAL
Prof.Dr.Hüseyin ARIKAN
Assist.Prof.Dr. Okan DEMİR**

In our thesis study; The effects of Alumina (Al_2O_3) addition to Basalt/Epoxy nanocomposites on their mechanical and tribological properties by exposing them to corrosive environments were examined. Basalt/Epoxy nanocomposite was produced by the hand lay-up method in 17 layers, approximately 3 mm apart, without adding to the matrix material and by adding 2.5% by mass of 18 nanometer nearly spherical gamma Alumina powder into the matrix material. Pin on disc abrasion, 3 Point bending and tensile tests of pure and unconditioned basalt/epoxy nanocomposites were carried out at 25 degrees room temperature on test devices in accordance with ASTM standards. Wear resistance was performed in the pin on disc wear test device using chrome steel ball with 62 HRC hardness, 60 mm diameter at 1 m/s speed and 10-15 N loads. To examine the effect of corrosive environments on alumina-doped and undoped Basalt/Epoxy nanocomposites, they were subjected to aging in 2.5% diluted hydrochloric acid and 3% sea water environments for 0-1-2-3-5 months. While determining the mechanical properties of alumina-doped and undoped nanocomposites, moisture absorption was also measured. The damages occurring in the samples subjected to 3-point bending, tensile and abrasion tests, the degradation in the samples aged after being exposed to salt water and diluted hydrochloric acid water environments, and the degrading effects of corrosive environments on the nanocomposite fiber and matrix were examined with an SEM microscope and images were taken.

Strengthening the interface bonds of the Alumina (Al_2O_3) matrix and fiber added to the Basalt/Epoxy nanocomposite matrix has provided promising increases in tensile strength, bending and elongation properties. It has been observed that alumina-doped basalt nanocomposites have higher wear resistance and less wear compared to undoped nanocomposites. Adding to basalt nanocomposites with low wear resistance, Alumina nanocomposites, which also have high wear resistance, increased the wear resistance by delaying the wear. Again, as seen in the tensile and flexural tests, the addition of Alumina to the matrix material strengthened the bond structure and increased its mechanical properties.

Keywords: Alumina, basalt, epoxy, hydrochloric acid, pin on disc, wear, saline water.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimde her türlü bilimsel katkı ve desteği sağlayan, görüş ve önerilerini hiç esirgemeyen Doç.Dr. Gürol ÖNAL'a çok değerli katkılarından ötürü teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Tez çalışmam sürecinde bana her türlü zamanını ayırıp üretimde ve test aşamalarımnda asla tereddüt etmeden destek olan Arş.Gör. Ahmet Caner TATAR'a sonsuz teşekkür eder minnetlerimi sunarım.

Bu tezi tamamlamak için bana 231010006 nolu proje ile maddi destek sağlayan, Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne (BAP-KTUN) teşekkür ederim.

Son olarak hayatımın her anında yanımda olan desteğini her zorlukta esirgemeyen anneme, kardeşlerime, tez sürecimde hayatıma girerek bizi hayatımıza daha sıkı bağlayan evladımıza ilgisini daha da arttırıp bu sürece dolaylı da olsa destek olan biricik eşime ve bu çalışmasürecimde maddi manevi destek olan Tuncay ATEŞ ve Hasan Hüseyin BİLGİ'ye teşekkürlerimi, minnet ve saygılarımı sunarım.

Halil KIZILIRMAK
KONYA-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Kompozit Malzemeler	7
2.2. Kompozitlerin Sınıflandırılması.....	7
2.2.1. Matris malzemesine göre sınıflandırılması.....	8
2.1.1. Termoplastik malzemeler	13
2.1.2 Termoset malzemeler.....	13
2.1.3. Karbon - karbon kompozitler.....	13
2.1.4. Nano kompozitler	14
2.2. Takviye Malzemeye Göre Sınıflandırılması	15
2.2.1. Elyaf takviyeli kompozitler	16
3. BAZALT ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİTLER.....	18
3.1 Bazalt Elyaf	18
3.2 Bazalt Elyaf Üretimi.....	20
3.2.1 Bazaltın ve bazalt fiberlerin kullanım yerleri	21
3.3. .Korozif Ortamlar ve Kompozitlere Etkileri	21
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	22
4.1. Alümina Oranın Belirlenmesi	25
4.2. Nanokompozit Plakaların Üretimi.....	25
4.3. Çekme Testi.....	29
4.4. Pin-On Disk Aşınma ve Sürtünme Katsayısı Hesabı	30
4.5.Eğilme Testi	34

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	36
5.1. Şartlandırılmış Ortama Koyulmadan Önceki Mekanik Testler.....	36
5.1.1. Alümina katkılı ve katkısız kompozitlerin çekme testleri.....	36
5.1.2. Alümina katkılı ve katkısız kompozitlerin 3 nokta eğilme testleri	38
5.1.3. Şartlandırılmış ortama bırakılmayan alümina katkılı ve katkısız kompozitlerin pin on disk aşınma testleri.....	40
5.2. Şartlandırılmış Ortam Sürecinde Numunelerin Test İşlemleri.....	42
5.2.1. Alümina katkılı ve katkısız kompozitlerin çekme testleri.....	43
5.2.2. Korozi ortamlara (tuzlu su ve HCl asitli su) alümina katkılı ve katkısız kompozitlerin 3 nokta eğilme testleri	61
5.2.3. Korozi ortamlara (Tuzlu su ve HCl asitli su) alümina katkılı ve katkısız kompozitlerin Pin on Disk aşınma testleri	74
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	97
6.1. Sonuçlar.....	97
6.2. Öneriler.....	98
KAYNAKLAR	99

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1:	Fiber elyaf kumaşları	8
Şekil 2. 2:	Metal matrisli kompozit.....	9
Şekil 2. 3:	Seramik matrisli kompozit-fren diski	11
Şekil 2. 4:	Polimer matrisli kompozit	12
Şekil 2. 5:	Termoplastik malzemeler	13
Şekil 2. 6:	Termoset Malzemeler	14
Şekil 2. 7:	Karbon karbon kompozitler	14
Şekil 2. 8:	Nanokompozit sentezi.....	15
Şekil 2. 9:	Sırasıyla Cam- Bazalt ve Karbon – Bazalt Elyafı	17
Şekil 3. 1:	Kırpılmış Bazalt Elyaf Lifleri(Anonim)	18
Şekil 3. 2:	Bazalt Üretim Prosesi(Anonim).....	20
Şekil 4. 1:	Bazalt Kesim İşlemleri.....	22
Şekil 4. 2:	Alümina katkılı ve Katkısız Epoksi	23
Şekil 4. 3:	Alümina Tozu	24
Şekil 4. 4:	Alümina katkılı epoksi karışımı.....	26
Şekil 4. 5:	Ultrasonik Karıştırma Test Cihazı	27
Şekil 4. 6:	El Yatırma Yöntemi ve Torbalama Vakum İnfüzyon Yöntemi İle Bazalt Fiber Üretimi	27
Şekil 4. 7:	El Yatırma Yöntemi ve Torbalama Vakum İnfüzyon Yöntemi İle Bazalt Kompozit Plaka Üretimi	28
Şekil 4. 8:	Router Kesim Cihazı ile Numune Kesim İşlemi	28
Şekil 4. 9:	Şartlandırılmış Ortamlar(HCl ve Tuzlu Su).....	29
Şekil 4. 10:	Çekme test numuneleri	29
Şekil 4. 11:	Kesimi yapılmış Pin On Disk Aşınma Test Numuneleri	30
Şekil 4. 12:	Türkyus Pin On disk aşınma test cihazı.....	31
Şekil 4. 13:	Aşındırıcı Bilya.....	31
Şekil 4. 14:	Pin On Disk Aşınma Test Cihazına Parametrelerin Girilmesi	32

Şekil 4. 15 : Eğilme Test Numunesi Boyutları	34
Şekil 4. 16: Eğilme Testi Uygulanan Numune.....	34
Şekil 4. 17: SEM Analiz Şeması(Wlock,2012).....	35
Şekil 5. 1: Şartlandırmaya Bırakılmamış Numunelerin Çekme Testleri.....	37
Şekil 5. 2: Alüminalı Katkılı ve Katkısız Kompozit Numunelerin Çekme Test Sonuçları	37
Şekil 5. 3: Üç Noktadan Eğilme Testin Uygulanması	38
Şekil 5. 4: A sızs Şartsız Bazalt Epoksi Kompozitin Eğilme Test Sonrası Numunesi	39
Şekil 5. 5: Şartlandırmaya Bırakılmamış Numunelerin Eğilme Testleri	39
Şekil 5. 6: Alümina Katkılı ve Katkısız Kompozitlerin 3 Nokta Eğilme Testleri	39
Şekil 5. 7: Korozi Ortama Bırakılmayan alüminasız bir Numune Pin On Disk Aşınma Test Sonucu ve Makro Boyut Fotoğrafı	40
Şekil 5. 8: Alüminalı Şartsız Ortamda Pin On Disk Aşınması Gerçekleşmiş Bir Numunenin Aşınma Makro Fotoğrafı.....	41
Şekil 5. 9: Şartsız ortam alüminalı numune sürtünme grafiği.....	42
Şekil 5. 10: Şartsız ortam alüminasız numune sürtünme grafiği	42
Şekil 5. 11: Tuzlu Su Ortamından Çıkarılan Alümina Katkısız Bazalt Epoksi Numuneleri	43
Şekil 5. 12: Alümina Katkılı Tuzlu Su Ortamından Çıkarılan Numunelerin Çekme Testi (1. ay sonrası fotoğrafları)	44
Şekil 5. 13: Tuzlu Su Ortam 1.ay Numunelerin Çekme Testleri	44
Şekil 5. 14: Tuzlu su ortamından çıkarılan numunelerin 1. ay çekme test sonuçları kıyaslanması.....	45
Şekil 5. 15: Alümina Katkısız HCl Ortamından Çıkarılan Numunelerin Çekme Test 1. ay fotoğrafları.....	46
Şekil 5. 16: Alümina katkılı hcl ortamından çıkarılan numunelerin çekme test 1. ay fotoğrafları	46
Şekil 5. 17: HCL li Su Ortam 1.ay Numunelerin Çekme Testleri	47
Şekil 5. 18 : HCl ortamından çıkarılan numunelerin 1. ay çekme test sonuçları kıyaslanması.....	47

Şekil 5. 19:	1. ay koroziif ortamlar çekme test sonuçlarının kıyaslanması.....	48
Şekil 5. 20:	Alümina katkısız tuzlu su ortamından çıkarılan numunelerin 2.ay çekme testi	49
Şekil 5. 21:	Alümina katkılı tuzlu su ortamından çıkarılan numunelerin 2.ay çekme testi	49
Şekil 5. 22:	Tuzlu Su Ortam 2.ay Numunelerin Çekme Testleri	50
Şekil 5. 23:	Alümina katkılı ve katkısız Tuzlu su ortamından çıkarılın numunelerin 2. ay çekme testleri	50
Şekil 5. 24:	Alümina katkısız HCl asitli su ortamından çıkarılan numunelerin 2.ay çekme testi	51
Şekil 5. 25:	Alümina katkılı HCl asitli su ortamından çıkarılan numunelerin 2.ay çekme testi	51
Şekil 5. 26:	HCl asitli Su Ortam 2.ay Numunelerin Çekme Testleri	52
Şekil 5. 27:	Alümina katkılı ve katkısız HCl asitli su ortamından çıkarılan numunelerin 2. ay çekme testleri	52
Şekil 5. 28:	Tuzlu Su Ortam 3.ay Numunelerin Çekme Testleri	53
Şekil 5. 29:	Alümina Katkılı Ve Katkısız Tuzlu Su Ortamından Çıkarılan 3.Ay Çekme Testleri	53
Şekil 5. 30:	HCl asitli Su Ortam 3.ay Numunelerin Çekme Testleri	54
Şekil 5. 31:	Alümina Katkılı Ve Katkısız HCl asitli Su Ortamından Çıkarılan 3.Ay Çekme Testleri	54
Şekil 5. 32:	Tuzlu Su Ortam 4.ay Numunelerin Çekme Testleri	55
Şekil 5. 33:	Alümina Katkılı Ve Katkısız Tuzlu Su Ortamından Çıkarılan 4.Ay Çekme Testleri	55
Şekil 5. 34:	HCl asitli Su Ortam 4.ay Numunelerin Çekme Testleri	56
Şekil 5. 35:	Alümina Katkılı Ve Katkısız HCl asitli Su Ortamından Çıkarılan 4.Ay Çekme Testleri	56
Şekil 5. 36:	Tuzlu Su Ortam 5.ay Numunelerin Çekme Testleri	57
Şekil 5. 37:	Alümina Katkılı Ve Katkısız Tuzlu Su Ortamından Çıkarılan 5.Ay Çekme Testleri	57
Şekil 5. 38:	HCl asitli Su Ortam 5.ay Numunelerin Çekme Testleri	58

Şekil 5. 39: Alümina Katkılı Ve Katkısız HCl asitli Su Ortamından Çıkarılan 5.Ay Çekme Testleri	58
Şekil 5. 40: Tuzlu Su Ortam 1-2-3-4-5.ay Numunelerin Ortalama Değerlerinin Çekme Testleri	59
Şekil 5. 41: Tuzlu su ortamından çıkarılan 3. ay numunelerinin çekme testlerinin kıyaslanması.....	59
Şekil 5. 42: HCl asitli Su Ortam 1-2-3-4-5.ay Numunelerin Ortalama Değerlerinin Çekme Testleri	60
Şekil 5. 43: HCl asitli ortamlardan çıkarılan numunelerinin 1-2-3-4-5.ay çekme testlerinin kıyaslanması.....	60
Şekil 5. 44: Korozyon Ortamlara Bırakılan Numunelerin Eğilme Testleri	61
Şekil 5. 45: Tuzlu Su Ortam 1.ay Numunelerin Eğilme Testleri	62
Şekil 5. 46: Tuzlu su ortamından çıkartılan alümina katkılı ve katkısız kompozitlerin 3 nokta eğilme testleri	62
Şekil 5. 47: Hidroklorik asitli sudan çıkarılın 3 nokt eğilme numunesi yüzey ve kesit deformasyonları makro fotoğrafı	62
Şekil 5. 48: HCl asitli Su Ortam 1.ay Numunelerin Eğilme Testleri.....	63
Şekil 5. 49: Hidroklorik asitli su ortamından çıkartılan alümina katkılı ve katkısız kompozitlerin 3 nokta eğilme testleri 1. Ay	63
Şekil 5. 50: Tuzlu Su Ortam 2.ay Numunelerin Eğilme Testleri	64
Şekil 5. 51: Tuzlu su ortamından çıkartılan alümina katkılı ve katkısız kompozitlerin 3 nokta eğilme testleri 2. Ay	64
Şekil 5. 52: HCl asitli Su Ortam 2.ay Numunelerin Eğilme Testleri.....	65
Şekil 5. 53: Hidroklorik asitli su ortamından çıkartılan alümina katkılı ve katkısız kompozitlerin 3 nokta eğilme testleri 2. Ay	65
Şekil 5. 54: Tuzlu Su Ortam 3.ay Numunelerin Eğilme Testleri	66
Şekil 5. 55: A lı ve A sız tuzlu su ortam testleri 3. ay sonu kıyaslanması	66
Şekil 5. 56: HCl asitli Su Ortam 3.ay Numunelerin Eğilme Testleri.....	67
Şekil 5. 57: A lı ve A sız HCl asitli su ortam testleri 3. ay sonu kıyaslanması.....	67
Şekil 5. 58: Tuzlu Su Ortam 4.ay Numunelerin Eğilme Testleri	68
Şekil 5. 59: A lı ve A sız tuzlu su ortam testleri 4. ay sonu kıyaslanması	68

Şekil 5. 60: HCl asitli Su Ortam 4.ay Numunelerin Eğilme Testleri.....	69
Şekil 5. 61: A lı ve A sız HCl asitli su ortam testleri 4. ay sonu kıyaslanması.....	69
Şekil 5. 62: Tuzlu Su Ortam 4.ay Numunelerin Eğilme Testleri	70
Şekil 5. 63: A lı ve A sız tuzlu su ortam testleri 5. ay sonu kıyaslanması	70
Şekil 5. 64: HCl asitli Su Ortam 5.ay Numunelerin Eğilme Testleri.....	71
Şekil 5. 65: A lı ve A sız HCl asitli su ortam testleri 5. ay sonu kıyaslanması.....	71
Şekil 5. 66: Tuzlu Su Ortam 1-2-3-4-5.ay Numunelerin Ortalama Değerlerinin Eğilme Testleri.....	72
Şekil 5. 67: A lı ve A sız Tuzlu Su Ortam Testleri 1-2-3-4-5. Aylar Sonu Kıyaslanması.....	72
Şekil 5. 68: HCl asitli Su Ortam 1-2-3-4-5.ay Numunelerin Ortalama Değerlerinin Çekme Testleri.....	73
Şekil 5. 69: A lı ve A sız HCl asitli Su Ortam Testleri 1-2-3-4-5. Aylar Sonu Kıyaslanması.....	73
Şekil 5. 70: Tuzlu su ortamından çıkarılan numunelerin aşınma testleri sonrası makro fotoğrafları	74
Şekil 5. 71: HCl asitli su ortamından çıkarılan numunelerin aşınma testleri sonrası makro fotoğrafları	75
Şekil 5. 72: Tuzlu su ortamlardan 2. ay sonunda çıkarılan numunein makro fotoğrafı	77
Şekil 5. 73: HCl asitli su ortamlardan 2. ay sonunda çıkarılan numunein makro fotoğrafı	78
Şekil 5. 74: 3.ay Alüminasız tuzlu su ortamdan çıkarılan numunelerinin sürtünme katsayısı grafikleri.....	79
Şekil 5. 75: 3.ay Alüminalı tuzlu su ortamdan çıkarılan numunelerinin sürtünme katsayısı grafikleri.....	79
Şekil 5. 76: 3.ay Alüminasız HCl asitli su ortamdan çıkarılan numunelerinin sürtünme katsayısı grafikleri.....	80
Şekil 5. 77: 3.ay Alüminalı HC asitli su ortamdan çıkarılan numunelerinin sürtünme katsayısı grafikleri.....	81

Şekil 5. 78: 5.ay Alüminasız tuzlu su ortamdan çıkarılan numunelerinin sürtünme katsayısı grafikleri.....	83
Şekil 5. 79: 5.ay Alüminalı tuzlu su ortamdan çıkarılan numunelerinin sürtünme katsayısı grafikleri.....	83
Şekil 5. 80: 5.ay Alüminasız HCl asitli su ortamdan çıkarılan numunelerinin sürtünme katsayısı grafikleri.....	84
Şekil 5. 81: 5.ay Alüminalı HCl asitli su ortamdan çıkarılan numunelerinin sürtünme katsayısı grafikleri.....	84
Şekil 5. 82: Tarama Yüzeyi Altın Kaplama Cihazı(CRESSİNGTON Sputter Coater)	86
Şekil 5. 83: Yüzeyi Altın Kaplanan Numuneler	86
Şekil 5. 84: Aşınma Numunesi SEM yüzey görüntüsü.....	87
Şekil 5. 85: Matris Malzeme İçerisinde Alümina Görüntüleri.....	88
Şekil 5. 86: Abrasiv Aşınma Sonucu Matris Malzeme Kalıntıları.....	88
Şekil 5. 87: Fiber Kırılmaları	89
Şekil 5. 88: Fiber Matris Hasarları	89
Şekil 5. 89: Korozi Ortam Hasarları(HCl li Su)	90
Şekil 5. 90: Açığa Çıkmış Fiber ve Matris Fiber Koruması	90
Şekil 5. 91: Şartlanılmamış Ortam -0. Ay - 5. ay Alüminasız Kompozitlerin 100X yakınlaşmada Hasar görüntüleri	92
Şekil 5. 92: Fiber Sıyrılmaları ve Kırılmaları	93
Şekil 5. 93: Bazalt Fiber İpleri ve Oyulmaları	94
Şekil 5. 94: Fiber Matris Tutunmaları.....	94
Şekil 5. 95: Fiber Sıyrıлма Hasarları.....	95
Şekil 5. 96: Matris Kırılma Hasarları	95
Şekil 5. 97: Fiber Sıyrıлма Hasarları ve Matris Kırılmaları.....	96
Şekil 5. 98: Çekme Testi Fiber Matris Ayrılma Hasarları	96

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2. 1: Metal matrisli kompozitler	10
Çizelge 2. 2: Polimer matrisli kompozitler	12
Çizelge 2. 3: Çeşitli Fiberlerin Mekanik Özellikleri (Mishra ve Jamshaid, 2016)	17
Çizelge 4. 1: Bazalt Elyaf Genel Özellikleri(Tedarikçi Firmadan alınan)	22
Çizelge 4. 2: Epoksi Reçinenin Mekanik Özellikleri i(Tedarikçi firmadan Alınan)	23
Çizelge 4. 3: Alümina Tozunun Özellikleri.....	24
Çizelge 4. 4: Alüminanın Mekanik Özellikleri.....	25
Çizelge 5. 1: Alüminalı ve Alüminasız Şartlandırılmış Ortama Koyulmayan TestSonuçları	41
Çizelge 5. 2: Alümina katkılı ve katkısız numunelerin tuzlu su ortam 1.ay aşınma test sonuçları	75
Çizelge 5. 3: Hidroklorik asitli su ortamından çıkarılan numunelerin 1.ay aşınma test sonuçları	76
Çizelge 5. 4: Aşınma 2. ay Pin On disk tuzlu su ortam test sonuçları	77
Çizelge 5. 5: Aşınma 2. ay Pin On disk HCl asitli su ortam test sonuçları	78
Çizelge 5. 6: Aşınma 3. ay Pin On disk Tuzlu su ortam test sonuçları.....	80
Çizelge 5. 7: Aşınma 3. ay Pin On disk HCl asitli su ortam test sonuçları	81
Çizelge 5. 8: Aşınma 4. ay Pin On disk Tuzlu su ortam test sonuçları.....	82
Çizelge 5. 9: Aşınma 4. ay Pin On disk HCl asitli su ortam test sonuçları	82
Çizelge 5. 10: Aşınma 5. ay Pin On disk Tuzlu su ortam test sonuçları	83
Çizelge 5. 11: Aşınma 5. ay Pin On disk HCl asitli su ortam test sonuçları	85

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Ortalama Kesit Alanı(mm ²)
E	: Elastisite Modülü(N/mm ²)
E _f	: Çekme Elastisite Modülü(MPa)
P	: Uygulanan Yük (N)
P _i	: Numunede İ'inci Kuvvet Anında Uygulanan Yük (N)
P _{max}	: Numunenin Taşıyabildiği Maksimum Yük (N)
σ _i	: Numunede İ'inci Kuvvet Anında Oluşan Gerilme (MPa)
σ _{max}	: Numunede Oluşan Maksimum Gerilmeyi (Mpa)
L _i	:Numunede İ'inci Noktadaki boyu (mm)
ε	:Birim Şekil değişimi(mm/mm)
Δm _i	:Numunenin i'inci andaki kütlesi
mPas	: Milipaskal saniye

Kısaltmalar

ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
BCBFRP	: Bazalt Cam Bazalt dizilimli fiber takviyeli polimer
BF	: Bazalt Fiber
BFRP	: Bazalt fiber takviyeli polimer
CBCFRP	: Cam Bazalt Cam dizilimli fiber takviyeli polimer
CF	: Cam Fiber
CFRP	: Cam fiber takviyeli polimer
DIN	: Alman Standartlar Enstitüsü
HCl	: Hidroklorik Asit
A sız	: Nanoalümina katkısız
A lı	: Nanoalümina katkılı
Şartsız	: Şartlandırılmamış ortam
Şartlı	: Şartlandırılmış ortam

1. GİRİŞ

Tüm dünyada artan rekabet bütün sektörler için daha güvenilir, daha dayanıklı ve daha yenilikçi ürünler ortaya koymayı zorunlu hale getirmiştir. Bu nedenle malzeme bilimi her geçen gün daha popüler ve ilgi çeken alan olmuş ve her geçen gün yeni özellikli malzemeler üretilmesi için sayısız çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Gelişen teknoloji ile bir çok endüstriyel malzemelerde çeşitli özellikler artırılması için yeni kombine ve daha performanslı malzemeler üretilmeye başlanmıştır. Bunun en büyük sebebi daha iyi malzemelerin zorunlu ihtiyaç haline dönüşmüş olmasıdır. Gelişen teknoloji ile tüm dünyada daha dayanıklı ve fiziksel, mekaniksel ve termal özellikler bakımından yeni kompozit ve nano kompozit malzemeler üretilmeye ve geliştirilmeye başlamıştır. Malzemeler geleneksel malzemelere göre daha üstün özellikler yüklenerek ortaya çıkmış ve son on yılda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ortaya koyulan kompozit malzemelerde mekanik, termal, fiziksel özellikler oldukça iyi seviyelere gelmiştir.

Gelişmekte olan kompozit malzemeler için araştırmacılar, malzemeleri hibritleyerek ve matris malzemeye nano malzemeler ilave ederek mevcut malzemelerin yapılarını ve özelliklerini bozmadan yeni daha hafif, daha az maliyetli ve daha iyi özellikli malzeme araştırmaları yapmış ve yapmaya devam etmektedirler.

Termosetler, termoplastikler ve elastomerler gibi matrisleri polimer olan malzemeler, bazalt, karbon fiber ve kevler gibi performansı oldukça yüksek malzemeli fiber elyaf oluşumlu malzemelerle takviyelendirilerek tüm neredeyse tüm özellikleri oldukça iyi seviyelere getirilmiş yeni malzemeler yapılmaktadır. Fiber malzemelerin bir kısmı petrol bir kısmı da doğal kayaç minerallerinden(bazaltın volkan tüfünden üretilmesi gibi) üretilmektedir.

Bazalt ilk olarak 1923 lü yıllarda ABD de bulunan bilim insanları tarafından keşfedilmiş sonrasında da neredeyse tüm Avrupa ve Sovyetler tarafından dünya savaşlarında kullanılmaya başlamıştır.

Dünyada geniş çaplı kullanım alanı olan bazalt, homojen kimyasal yapısı ve eriyik halde fiber oluşturulabilmesi sebebi ile cezbedici bir malzeme konumundadır. (Mishra ve Jamshaid, 2016).

Kompozit malzeme imalatlarında yeni elyaf türlerinin kullanımı, farklı takviyelerin kombinasyonu, oryantasyonu, istifleme sıralaması aynı zamanda çeşitli nano ve bir mikro ölçekte katkı maddelerinin dahil edilmesi ile daha güçlü/dayanıklı malzeme üretimi gibi kompozit malzemede iç yapı değişimi ve iyileştirme tipik yaklaşımlardır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bazalt ve Cam fiber lifleri ile güçlendirilmiş epoksi reçineleri incelemiştir. İmalatı yapılan numunelere farklı sürelerde deniz suyu çözeltisi uygulaması yapmışlar. Bu işlemler sonrasında numunelerde hem kütle kazanım hem de mukavemet koruma oranlarına bakılmışlar. Ayrıca Elektron mikroskobu ile numunelerdeki kırılma yüzeylerine incelenmiştir. Sonuç olarak, çekme ve eğilme dayanımlarının azaldığı, korozyon önleme özelliklerinin hemen hemen aynı olduğu gözlemleri yapılmış, bazalt elyaf epoksi kompozitin demir içeriği deniz suyu içeren ortamlarda daha yüksek dayanıma sahip olduğunun tespitleri yapılmışlar. (Bin Wei, Hailin cao ve ark. 2010).

Grafen nano-pelletlerin(GnP'ler) eklenmesinin mekanik sistemler üzerindeki etkisini araştırmıştır. Bazalt epoksi kompozitlere grafen nanopelletlerin ağırlıkça karışım oranlarına göre numuneleri hazırlanmış ve çekme, eğilme ve darbe direnç testleri uygulamıştır. Grafen nanopellet ara dolgusu eklemenin yapılan araştırmada performansı önemli ölçüde etkilediğini tespit etmiştir. Grafen nanopelletlerin epoksi-lif etkileşimlerinin iyi derece olması ve yüksek bağlanma yeteneği ile mekanik özelliklerde önemli iyileşmeler olduğunu ortaya koymuştur (Bulut, 2017).

Khosravi, Reza Eslami ve ark. (2016), Triglisidoksipropiltrimetoksisilan (3-GPTS) ile modifiye edilmiş Na montmorillonit (Na-Mt) nanokil ilavesinin tek yönlü bazalt fiber (UD BF)/epoksi kompozit laminantların çekme, eğilme ve basınç yükleri altındaki mekanik tepkisi üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çekme, eğilme ve basma dayanımlarında artışlar meydana geldiğinin tespitini yapmış ve çalışmada teorik modele(Euler-Bernolli) dayalı bir model kullanmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan teorik modelin benzer sonuçlar verdiğini ve matris modifikasyonunun mekaniği iyileştirmede iyi bir yol olduğunu ortaya koymuştur.

Seong Hwang Kim Young ve ark. (2018), Doğal grafit pulları ile desteklenmiş bazalt elyaf kompozit üretimi yapmışlar. Çeşitli grafit oranları ile imal edilmiş bu kompozitler kritik gerilme yoğunluğu ve kırılma tokluğu gibi mekanik özelliklerini incelemişler. Mekanik özellikleri önemli ölçüde iyileştirdiği yapılan testlerle ortaya koymuşlar. %20 grafit karışım oranlı bazalt elyaf kompozitlerde mekanik özellikler en

yüksek seviyede olduğu tespit edilmiştir. Doğal grafit pullarında bulunan termal iletkenlik bu kompozitlerde de olağan üstü termal stabilite ve iletkenlik sergilemiş ve termal iletkenlik ve kırılma tokluğu arasında doğrusal bir ilişki olduğunu ortaya koymuşlar.

Karbon ve Bazalt elyaf lifli hibrit kompozit üretimini Vakum reçine transfer yöntemi ile yapmışlar. Bu hibrit kompozit numunelerinin çekme özellikleri incelenmişler. Hibrit kompozitler bazaltın artışı ile mukavemette sabit bir şekilde azaldığını tespit etmişler. Ancak imalatı yapılan hibrit kompozitte kırılma gerilimi kademeli olarak arttığını tespit etmişler (I.D.G. Ary Subagia ve ark., 2013).

Bulut ve ark., (2012), bazalt fiber epoksi sistemine nano kil katılarak kompozit malzeme üretimi yapmışlar. Ağırlıkça farklı konsantrasyonlarda nanokil dahil edilen karışımlar vakum destekli reçine transfer yöntemi ile üretilmiştir. Hazırlanan kompozitlerde burkulma özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Üretimi yapılan numuneler eksenel ve yanal basma yüklemelerine tabi tutulmuş. Burkulma gerçekleşen numuneler Sem cihazında incelemişler. Nanokil parçacıkların eksenel ve yanal burkulma davranışları üzerinde önemli etkiye sahip olduğu ortaya koyulmuştur. Ancak nanokil parçacıklardaki oransal artışlarda yanal burkulma özelliğinin azalmasına neden olduğu görülmüş. Sebebinin de ara yüzeylerde nanokil parçacıklarının toplanmasına atfedilmiştir.

Polimer bazlı kompozit malzemeye bazalt ve mikron seviyesinde seramik parçaları katkıları kullanılarak kompozit malzeme üretimi yapmışlar. Üretilen kompozit numunelerinde aşınma testi uygulamışlar. Yapılan testlerde bazalt katkısının aşınma direncini arttırdığını belirlemişler. Hibrit kompozit üretimi yapılan kompozitte kaviteasyon direncini daha da iyileştirdiği tespini yapmışlar. (Faisal AbuSahmin ve ark., 2020).

İbrahim Demirci, (2017), SiO₂ nanotüp parçacık katkılı bazalt elyaf kompozitlerin deniz suyu korozyon ortamına maruz bırakılarak darbe davranışını incelemişler. Çalışmada koroziv ortam olarak ise Akdeniz suyu tercih edilmiş. Deniz suyuna batırılan kompozit ilk işlemden hızlı şekilde kütle absorpsiyonu gözlemlemişler. Silisyumoksit nanotüp parça katkılı kompozit malzemeler çeşitli koroziv ortamlarda çekme ve düşük hız

darbe testi uygulamışlar. Hızlı kütlelenmenin neden olduğu korozyonun etkilerini incelemişler. Silisyum oksit ve karbon nanotüp katkıları çekme ve darbe mukavemetlerini arttırdığını tespit etmişler. Silisyum oksit dolgulu bazalt fiber kompozitlerde en iyi performans tespit etmişler. Dolgusuz bazalt fiber kompozitlerin ise korozyon ortamından olumsuz etkilendiğini gözlemlemişler.

Zhi Wang, Ni Cao ve ark., (2017), Furan karışımı bazalt epoksi kompozit malzeme incelemişler. Mukavemet özelliklerinin arttığını dayanım testleri ile ortaya koymuşlar. Furan reçinesinin kompozitlerin anti asidik özelliğini etkili şekilde iyileştirdiğini ancak anti alkali özelliği konusunda aksine iyileştiremediğini değerlendirmişler. Furanın anti asidik ortamda kürlenebildiğini tespit etmişler. Bazalt lifinin asit ve alkaliye karşı dirençli olduğu belirlenmiş.

Vinay S.S. ,Sanjay M. R., ve ark., (2021), Al₂O₃ nano dolgu maddeleri ile bazalt fiber epoksi kompozitlerinde aşınma ve sertlik testleri uygulanarak mekanik özellikler tespit etmek amacıyla el yatırma yöntemi kullanılarak numune üretimi yapmışlar. Gerilme mukavemeti, tabakalar arası kesme mukavemeti, eğilme mukavemeti, darbe dayanımları ve sertlik durumları ASTM standartları dikkate alınarak hazırlanan numunelere test uygulamaları yine standartlar çerçevesinde uygulanmış. Nano dolgulu kompozit malzemelerin küçük karışım yüzdelерinde mukavemet değerleri oldukça iyi iken dolgu oranı arttıkça mukavemetlerde bozulma olduğu tespit edilmiş. Al₂O₃ nano dolgu maddeleri aşınma direncinin artmasında önemli etki yaptığını uygulanan aşınma direnci testi neticesinde ortaya koymuşlar.

Rahmani, H. ve ark., (2020), SiO₂(Silisyum Oksit) ve ZrO₂(Zirkonia Oksit) nano katkılı parçacıkları ile modifiye edilmiş karbon fiber epoksi kompozit üretimini el yatırma yöntemi ile üretmişler. Üretilen kompozitlere yüksek hız darbe testi uygulamışlar. 0/90/90/0 istifleme dizisi ile üretimi yapılan numuneler hazırlanmış. Silisyum oksit ve Zirkonia oksit nano parçacıklarının kontrollü eklenmesi ile üretimi yapılan bu kompozitlerde darbe emiciliğinin umut verici olduğunu tespit etmişler.

Ramakrishnan, G. ve ark. (2019), Biyolojik olarak parçalanabilir doğal lifler aşındırıcı olmayan ve spesifik özelliklere sahipmiş. Bu bağlamda bazalt fiber ve muz lifleri ile hibrit epoksi kompozit malzeme üretimi için el yatırma yöntemi ile kompozit

malzeme üretimi yapmışlar. Uygun numuneler standartlar çerçevesinde hazırlanarak çekme, eğilme mukavemetlerini incelemişler. Araştırmada hibrit kompozitlerin çekme ve eğilme dayanımları nano kompozitlere göre daha üstün olduğu sonuçlarını tespit etmişler.

Güneş D. ve ark. (2019), tek yönlü ve çift eksenli karbon fiber oluşturmak için polyester matris içerisine oda sıcaklığında iki ve üç katlı fiberler yerleştirilmiş ve standartlara uygun numune üretimi yapılmış. Numunelere çekme, eğilme ve düşük hız darbe testleri uygulamışlar. Çekme testinde tek yönlü fiber kompozit malzemeler en yüksek performansı göstermiş. Öte yandan çift eksenli karbon fiber takviyeli kompozit malzemeler en iyi elastikiyet değerlerine ulaşmış. Tek yönlü karbon fiber kompozitler düşük hız darbe testinde en iyi performansa sahip olduğu tespit edilmiş. Bu şekilde katlı kompozit malzemeler aynı kalınlıktaki hafiflik ve mukavemetlerinden dolayı teknelerde, otomotivde ve karavanlarda kullanılabileceğini değerlendirmişler.

Pirmohammad, S. ve ark. (2020), bazalt lifleri ile asfalt karışımının kırılma tokluğunu incelemişler. Vakum infüzyon yöntemi ile farklı oranlarda asfalt katkılı bazalt fiber kompozit üretimi yapıldıktan sonra numuneler hazırlanmış. Farklı yüklemeler uygulanarak kırılma testleri gerçekleştirmişler. Bazalt fibere asfalt eklenmesi ile kırılma tokluğunun arttığını tespit etmişler.

Peng-Yuan, L., Masamitsu I., ve ark. (2004), klasik yöntemle imalatı yapılan monozit(bir çeşit fosfat) kaplı alümina fiber takviyeli kompozit üretimi yapmışlar. Hazırlanan numunelere yüksek sıcaklık dayanımı, kırılma davranışları incelenmiş. İncelenen mikro yapıda yüksek sıcaklıkta (1000 °C) kompozitlerin mukavemeti önemli ölçüde azaldığını tespit etmiş. Kırılma deformasyonu meydana gelmiş. Young modülünün ise artan sıcaklıkla azaldığı tespit etmiştir.

Mihriban KORKU ve ark.(2022), Elyaf takviyeli pomiler matrisli kompozitleri farklı çevresel koşullarda(tuzlu su ortamı, asidik ortam, UV aşındırma, hızlı yaşlandırma, hidrotermal yaşlandırma ve termal çevrim) aşınma davranışları incelenmiş ve çevresel koşulların aşınma davranışları üzerine etkileri incelenmiş. UV aşınma ortamına ve hidrotermal yaşlandırma ortamlarına maruz kalan numunelerin aşınma dayanımlarının arttığı görülmüş, Polistiren katkı malzemesinin aşınma dayanımını iyileştirdiğini tespit etmişler.

Emine Feyza ŞÜKÜR(2022), GrafenNanopellet(GNP) katkısının Bazalt fiber takviyeli polimer matrisli kompozitlerin mekanik ve tribolojik özellikleri üzerine etkilerini incelemiştir. Tribolojik özellikleri için sertlik ve yoğunluk ölçümleri, aşınma ve çekme testlerini oda sıcaklığında gerçekleştirmiştir. Tribolojik özellikleri ball-on disk aşınma test cihazında incelemiştir. Korozyon ortamının etkilerini incelemek için tuzlu su ortamında çeşitli sürelerde yaşlandırma yapmıştır. Tekrarlanan sürelerde test sonuçlarını kıyaslamıştır. GNP katkısı kompozitlerde fiber matris arayüz etkileşimini güçlendirerek. Çekme mukavemeti , % uzama ve elastisite modül değerlerinde belirgin artış sağladığını tespit etmiştir. GNP li kompozitlerde temas yüzeylerinde sürtünmeyi azalttığı, aşınma direçlerini arttırdığı, matris içerisine su alımını azalttığı görülmüştür. Hasarın fiberlere ulaşmasını geciktirdiği tespit edilmiştir.

2.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit iki ana bileşen olan takviye ve matris malzemelerden meydana gelmektedir. Genel olarak dayanım özelliklerini gevrek ve sert yapıya sahip olan takviye malzemeden alırlar. Yeni malzemenin süneklik ve tokluk gibi özelliğini ise takviye edici malzemeden alırlar. Kompozit üretimindeki amaç, tek başına uygun olmayan, birbiri içerisinde çözünemeyen malzemeleri kullanım alanlarına uygun özellikleri verebilecek duruma getirmek için yeni özellikler katmaktır. (Dayanım, hafiflik, esneklik, maliyet, vb.) Kompozit malzemeleri oluşturan matris malzemeler kırık lifli olabileceği gibi istenilen boyda üretilmiş lif elyaflı şekilde de imal edilebilmektedir (Şekil 2.1).

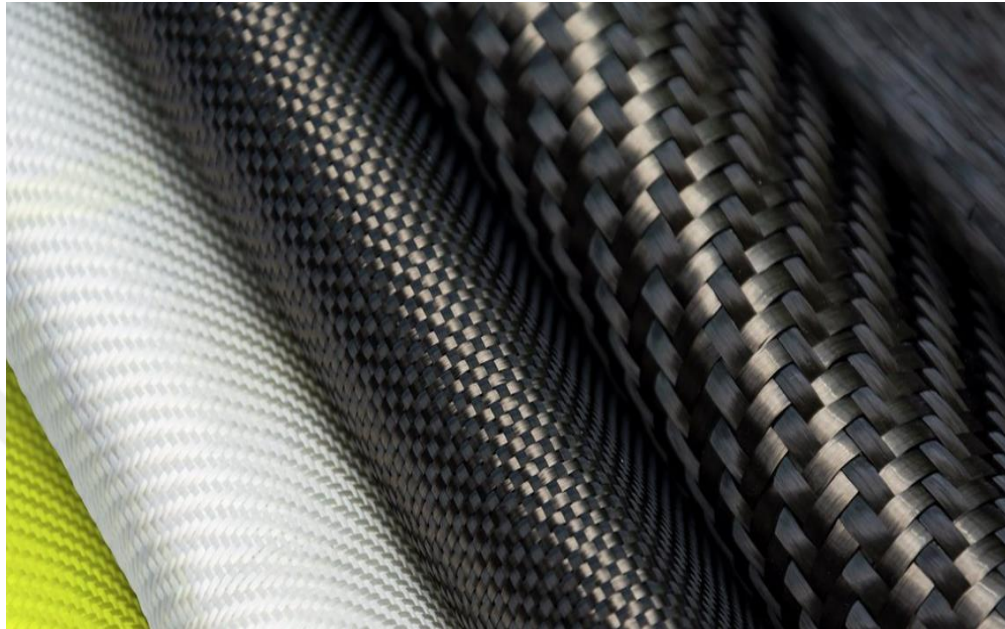
Günümüz piyasalarında hemen birçok alanda kullanılan kompozit malzemeler savunma sanayisi, havacılık, denizcilik, ulaşım ve otomobil gibi birçok alanda yapısal malzeme olarak kullanılmaktadır.

2.2. Kompozitlerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler genel olarak matris ve takviye malzemelerine göre sınıflandırılmaktadır.

2.2.1. Matris malzemesine göre sınıflandırılması

Matris malzemeye göre polimer, seramik ve metal matrisli kompozit malzemeler olarak sınıflandırılmaktadır.



Şekil 2. 1 : Fiber elyaf kumaşları

- a) Metal Matrisli Kompozitler
- b) Seramik Matrisli Kompozitler
- c) Polimer Matrisli Kompozitler
 - 1. Termoplastik Malzemeler
 - 2. Termoset Malzemeler
 - Epoksiler
 - Polyesterler
 - Fenolikler
 - Silikonlar
 - Poliamidler
 - Poliüretanlar
 - Siyanat Esterler
 - 3. Elastomerler
- d) Karbon – Karbon Kompozitler
- e) Nano Kompozitler

Metal matris kompozitler

En az biri metal olan, gerekli ve istenen özellikleri sağlamak amaçlı üretilmiş kompozitlerdir. Mekanik özellikleri Çizelge 2.1. de verilen metal matrisli kompozitlerin avantajlı pek çok yönü görülmektedir.



Şekil 2. 2 : Metal matrisli kompozit

Metal matrisli kompozitlerde metal kompozite yüksek sıcaklık dayanımı, tokluk sağlamaktadır. Isı ve korozyon dayanımlarını oldukça iyi seviyelere çıkartmaktadır.

Metal matrisli kompozitlerde en çok kullanılan takviye elamanlar Alüminyum oksit(Al_2O_3), Silisyum karbür(SiC), Titanyum Karbür (TiC), bor ve karbondur (Şekil 2.2).

Çizelge 2. 1: Metal matrisli kompozitler

Metal Matrisli Kompozit Malzeme	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastiklik Modülü (GPa)	Kopmadak Uzama Miktarı (%)
Sürekli fiberli (fiber yönünde özellik)			
A1 2024-T6 (%45 Bor)	1458	220	0.810
A1 6061-T6 (%51 Bor)	1417	231	0.375
A1 6061-T6 (%47SiC)	1462	204	0.89
Süreksiz Fiberli			
A1 2124-T6 (%20 SiC)	650	127	2.4
A1 6061-T6 (%20 SiC)	480	115	5
Partikül Takviyeli			
A1 2724-F (%20 SiC)	552	103	7
A1 6061-F (%20 SiC)	496	103	5.5
Güçlendirilmemiş			
Al 2124-F	455	71	9
A1 6061-F	310	68.9	12

Bu özellikler;

- Yüksek sıcaklıkta görevini yerine getirmeleri,
- Basma, eğme ve çekmeye karşı dayanıklılığı,
- Termal genleşme ve yorulma dayanımı
- Elektrik ve ısı iletimlerinin iyi olması,
- Tokluk,
- Neme karşı dayanım
- Yanmazlık

sıralanabilir.

Seramik matrisli kompozitler

Yapısı itibariyle inorganik bir malzeme olan seramikler, metal veya metal olmayan elementlerin birleşmesinden oluşmaktadırlar.

Polimer matrisli kompozitler hibrit kompozitlerde yeni kompozitin mekanik özelliklerini iyileştirmektedir. Yapılan çalışmalarda aşınma direncini de arttırdığı tespit edilmiştir.(Faisal AbuSahmin ve ark., 2022). Örnek bir kullanım alanı fren diskleridir (Şekil 2.3).



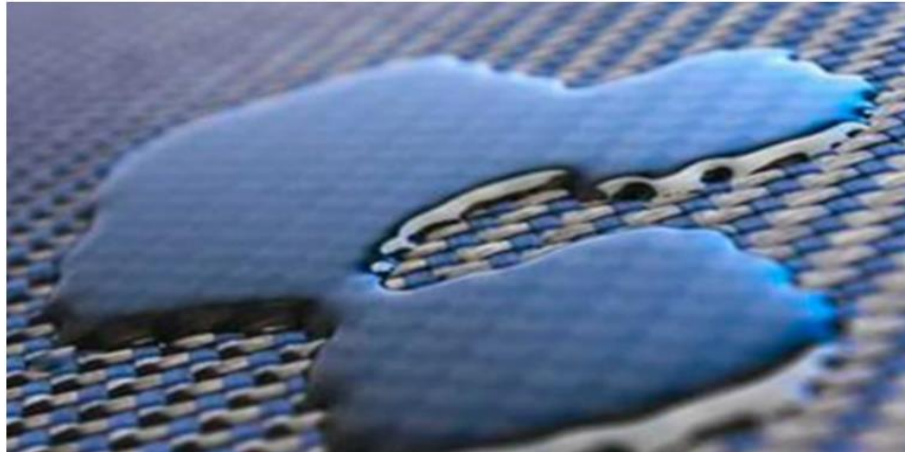
Şekil 2. 3 : Seramik matrisli kompozit(fren diski)

Seramik		Uygulamalar
Alümina	Al_2O_3	Kesici Takımlar, Kalıplar, Aşınmaya dayanıklı parçalar ve kaplamalar, Oksidasyon bariyerleri, Yatak yüzeyleri, Yüksek sıcaklık bileşenleri, Kalça implantları, Zırh malzemeleri, Radyasyon kalkanı.
Silisyum karbür	SiC	
Silisyum Nitrür	Si_3N_4	
Zirkonya	ZrO_2	
Boron Nitrür	BN	

Özellikleri ise; Düşük yoğunluklu, dayanıklı, gevrek, plastik olarak akmaması, kimyasal ve termal dayanımları, ergime noktası yüksek olması ve sert olmalarından dolayı zor işlenmeleri sayılabilir.

Polimer matrisli kompozitler

Birden fazla katı maddenin kimyasal olarak birbirine bağlanmasından ya da birbirine bağlanan malzemelerin sonradan katı madde oluşturmaktan Çizelge.2.2. 'de mekanik özellikleri verilen polimer malzeme meydana gelir (Şekil 2.4).



Şekil 2. 4 : Polimer matrisli kompozit

Polimer malzemeler yapı malzemesi olarak kullanılmaya mekanik özellikleri bakımından yeterli değildir. Geliştirmeye ihtiyacı olan malzeme grubundadır. Kırılma ve çatlama dayanımı oldukça iyi, delinme-aşınma-korozyon dayanımı yüksektir. En büyük dezavantajıysa yüksek termal genleşme ve düşük termal dirençli olmalarıdır.

Çizelge 2. 2: Polimer matrisli kompozitler

Takviye (% Hacim)	Matriks Malzemesi	Kırılma Mukavemeti (MPa)	Kırılma Tokluğu (MPa)	Test Sıcaklığı (°C)
15	Al ₂ O ₃	652	4.6	25
0	Al ₂ O ₃	150	4.3	25
30	Al ₂ O ₃	680	8.7	25
40	Al ₂ O ₃	850	6.2	25
40	Al ₂ O ₃	680	6.4	1000
40	Al ₂ O ₃	610	8.7	1200
0	Müllit	201	2.45	25
30	Müllit	386	3.52	25
0	ZrO ₂	1150	6	25
30	ZrO ₂	600	11	25
0	MoSi ₂	150	5.3	25
20	MoSi ₂	310	8.2	25
0	Si ₃ N ₄	662	7.1	25
30	Si ₃ N ₄	450	10.5	25

Polimer matrisli kompozitler malzeme grubunda plastik malzemeler grubundadır. Çeşitli mühendislik alanlarında kullanılan polimer matrisli kompozitlerin sağladıkları faydalar oldukça fazladır.

2.1.1. Termoplastik malzemeler

Çekme dayanımları düşük olan termoplastikler ısıtıldığında yumuşayan plastiklerdir, rijitlikleri yoktur ve belirli sıcaklıkta bükülebilir, istenildiği gibi kalıplanabilir ve soğuduktan sonra katılaşan bir plastik polimer malzemedir. Termoplastiklerin hemen hepsinin oldukça yüksek molekül ağırlığı vardır. Çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Şekil 2.5).



Şekil 2. 5 : Termoplastik malzemeler

2.1.2 Termoset malzemeler

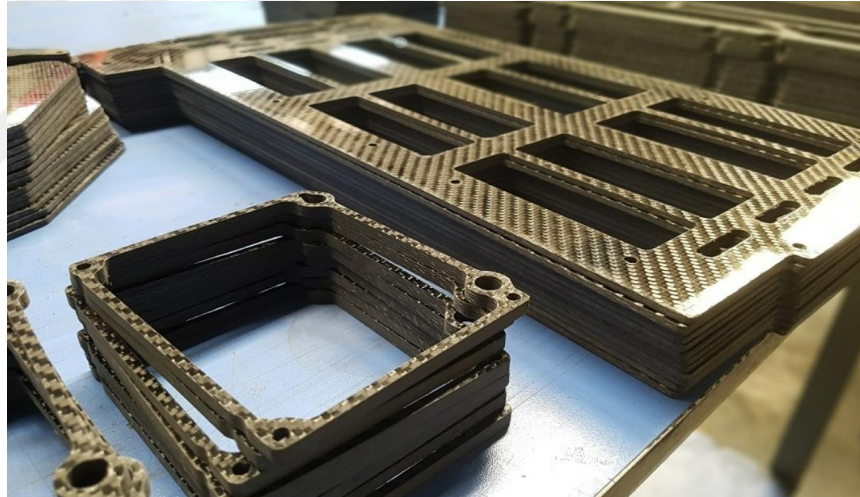
Isıtıldığında sertleşen ve son halini sonsuza dek koruyan plastiktir (Şekil 2.6). Örneğin poliüretan, poliamid, polibütadien verilebilir. Şeklini ısı ve basınç altında dahi değiştirmezler. İkinci Dünya savaşında hemen her silahta kullanılan ham madde olmuştur.

2.1.3. Karbon - karbon kompozitler

Karbon mekanik direncini oldukça artıran bir malzemedir. Karbon-karbon kompozitler mekanik mukavemetleri oldukça yüksek, hafiflik, yüksek elastikiyet gibi üstün özelliklere sahiptirler (Şekil 2.7).



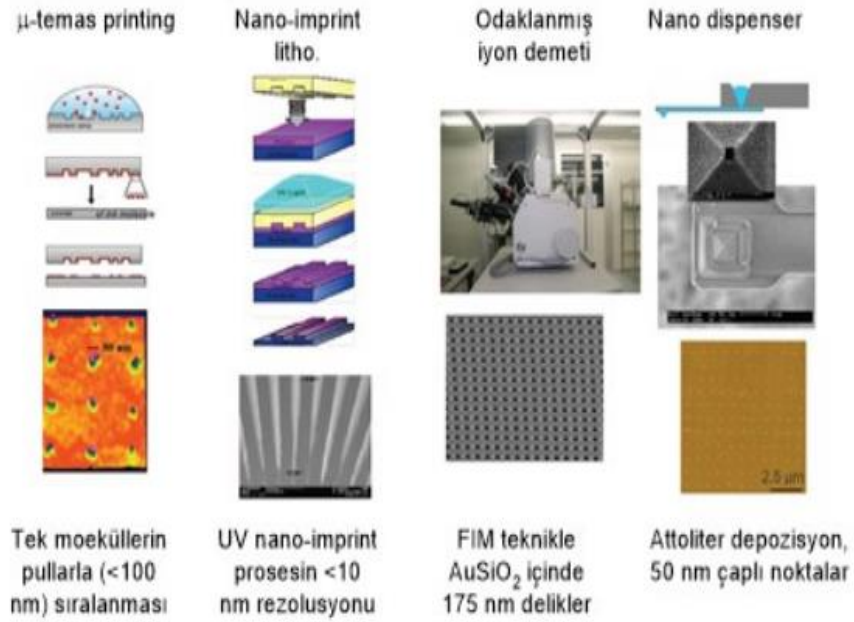
Şekil 2. 6: Termoset Malzemeler



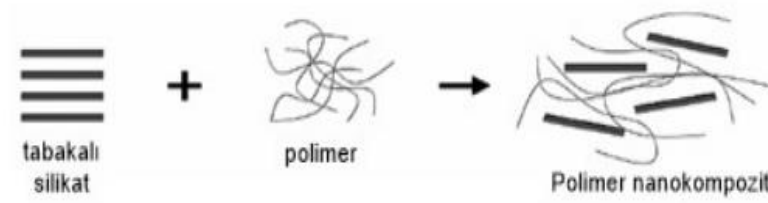
Şekil 2. 7: Karbon karbon kompozitler

2.1.4. Nano kompozitler

Kendini oluşturan matris içerisinde yaklaşık 100 nanometreden (nm) küçük bir, iki veya üç boyuta sahip olan kompozitlerdir. Nanokompozitler modülüs ve boyutsal stabiliteyi, dayanımı arttırmaktadırlar. Su-gaz-hidrokarbon geçirgenliklerini azaltıcı etki yaratmaktadırlar. Ayrıca termal stabilite, Kimyasal ve yangın dayanımını, optik keskinliği de arttırmaktadırlar. Nanokompozitler nanopartiküller ve polimer malzemelerle üretilen kompozitlerdir.(Şekil 2.8)



(a)



(b)

Şekil 2. 8: Nanokompozit sentezi örnek gösterimi

Nano dolgulu kompozit malzemelerde nano dolgu olan onarının belli seviye arttırmılarından sonra mukavemet değerlerinde bozulmalar olduğunu tespit etmişlerdir. Bunu da fazla karışım oranlarında nano parçaların topaklanmadan kaynaklı olduğunu değerlendirmişlerdir (Bulut ve ark., 2012).

2.2. Takviye Malzemeye Göre Sınıflandırılması

Takviyelerine göre kompozitler ise elyaf takviyeli ve parçacık takviyeli kompozitler olarak gruplandırılmaktadır.

2.2.1. Elyaf takviyeli kompozitler

Fiber takviyelerle güçlendirilmiş matris malzemeler yüksek ve geliştirilmiş mekanik özelliklere sahiptirler. Güçlendirilmiş kompozitler yüksek tribolojik, mekanik ve termal özelliklere sahip olmakla beraber yüksek mukavemet, aşınma direnci, hafiflik gibi üstün özelliklere kavuşmasıyla havacılık, uzay, savunma ve otomotiv sektöründe kullanıma uygun malzeme olmaktadır.

Elyaf takviyeli kompozitler Doğal ve Üretim Elyafı olarak iki grupta incelenmektedir.

- **Doğal Elyafı**

- a) Hayvansal
- b) Bitkisel
- c) Mineral Kaynaklı

- **Üretim Elyafı**

iki grupta incelenmektedir;

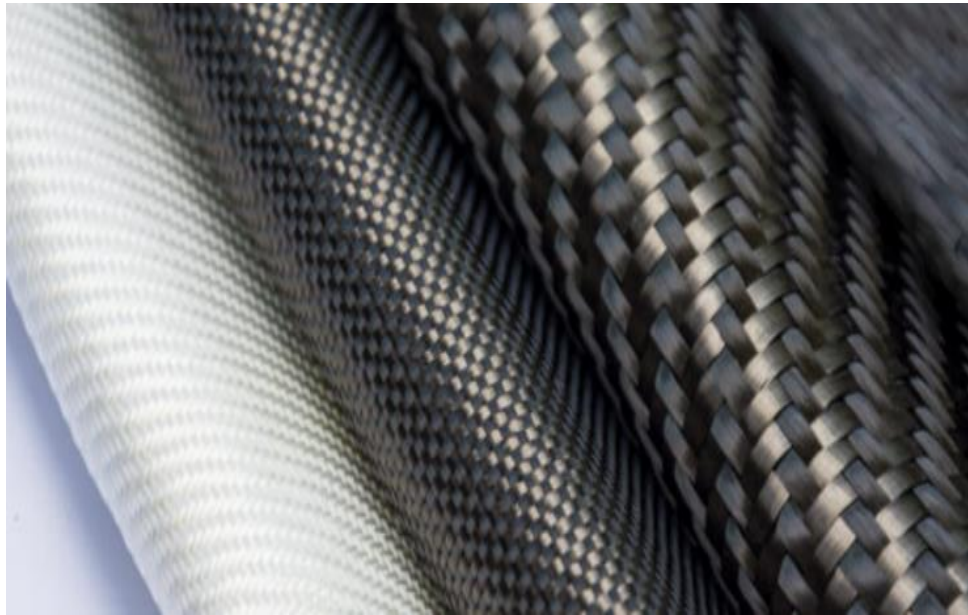
- a) Organik Elyafı
- b) İnorganik Elyafı (Karbon, Cam , Bazalt, Metal)

Hollaway ve Head(2000), Elyaf takviyeli kompozitlerde elyafın kompoziti daha rijit daha stabil halde tuttuğunu, elyaf takviyeli kompozitlere yükleme neticesinde daha dayanıklı olduklarını ve sıcaklığa karşı daha yüksek performans gösterdiklerini tespit etmişlerdir (Çizelge2.3).

Çizelge 2. 3 : Çeşitli Fiberlerin Mekanik Özellikleri (Mishra ve Jamshaid, 2016)

Özellikler	Bazalt Fiber	Cam Fiber (E Camı)	Cam Fiber (S Camı)	Aramid	Karbon Fiber
Yoğunluk(g/cm ³)	2.63-2.8	2.54-2.57	2.54	1.45	1.78
Fiber Çapı(μm)	6-21	6-21	6-21	5-15	5-15
Çekme Mukavemeti(MPa)	3000-4840	3100-3800	4020-4650	2900-3450	3500-6000
Tek bir filament İçin					
Elastisite Modülü(GPa)	79.3-93.1	72.5-75.5	83-86	70-140	230-600
Kopma Uzaması(%)	3.1	4.7	5.3	2.8-3.6	1.5-2.0
Özgül Ağırlık	2.65-2.8	2.5-2.62	2.46	1.44	1.75-1.95
Sıcaklık Dayanımı(C°)	-260...+700	-50...+380	-50...+300	+205	-
					50...+700
Maks.Uygulama Sıcaklığı(C°)	700-720	380	500	250	400
Erime Sıcaklığı(C°)	1450	1120	1550	erimez	erimez
Termal İletkenlik(W/m K)	0.031-0.038	0.034-0.04	0.034-0.04	0.04	-
(+25-5)					
Ses Absorbsiyon Katsayısı	0.95-0.99	0.8-0.93	-	-	-

Elyaf takviyeli kompozitler içerisinde karbon fiber yüksek mukavemet sebebi ile havacılık ve uzay sanayisinde daha çok tercih edilen kompozit olarak öne çıkmıştır (Şekil 2.9.). Cam fiber de oldukça yaygın olarak kullanılan bir takviyedir. Maliyet yönüyle Karbon fiber den daha uygun olsa da karbon fiberin üstün özellikleri sebebi ile genelde Fiberglass olarak bilinen cam elyafı otomotiv, ulaşım ve inşaat sektöründe tercih edilmektedir. Özellikle de yapı sektöründe en çok tercih edilen kompozit sınıfındadır.

**Şekil 2. 9 : Sırasıyla Cam- Bazalt ve Karbon – Bazalt Elyafı**

3. BAZALT ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİTLER

3.1 Bazalt Elyaf

Bazalt yer kabuğunun üçte birini oluşturan, lav kökenli bir kaya oluşumdur. Hammaddesi kolayca bulunur ve pahalı değildir. Bununla birlikte üretilecek elyafın iyi özelliklere sahip olabilmesi için kullanılacak bazalt kaynağının da içeriği oldukça önemlidir. Lavın kimyevi bileşimi, soğuma hızı, zaman içinde hava ile olan etkileşimi gibi diğer değişkenler iyi bir bazalt elyafı üretmek için oldukça önemlidir. Bazalt elyafı bazalt taşlarını 1300-1700 °C’ de eritilmesi ile elde edilmektedir. Eritmek için gereken enerji E camından yüksek olup S camına eşdeğerdir. Bu yüzden işin maliyetini doğrudan etkiler. Ayrıca lifleri elde edebilmek için platin alaşımlı pahalı çekme ağızları kullanmak gerekmektedir. Bu sebeptendir ki bazalt elyafları dünya geneli fiyatları E ve S camı arasındadır. Bazalt elyaf kimyasal bileşimlerine bağlı olarak mekanik özellikleri bir miktar değişebilmektedir. Üretimde Şekil 3.1.’deki gibi bazalt liflerin çekilmesi esnasındaki sıcaklığın da elde edilecek mekanik özelliklere etkisi belirgin şekilde ortaya çıkmaktadır. 200-1400 °C aralığı için sıcaklık artıkcı elde edilen elyafın çekme mukavemeti 1-2.9 GPa arasındadır.



Şekil 3. 1 : Kırılmış Bazalt Elyaf Lifleri(Anonim)

Bazalt elyaf nanokompozitte bulunan epoksi, kompozitin içeriği olan demir deniz suyu içeren ortamlarda oldukça yüksek dayanıma sahip olduğunu tespit etmişlerdir (Bin Wei, Hailin cao ve ark. 2010).

E-camı elyaf üretimi ile karşılaştırıldığında borik asit gibi katkıları kullanılmadan, sadece ufalanmış bazalt kayaları ile üretim yapıldığından daha temiz ve çevreci bir imalat yapılabilmektedir. Bununla birlikte teknik olarak liflerin elde edilmesi cama göre daha zor fakat elde edilen nitelikler daha iyidir. Bazalt elyafın esneklik katsayısı farklı kaynaklara göre 78-90 GPa arasında değişiklik göstermektedir. Bazalt elyaf takviyeli karma malzemelerin değişik davranış göstermesi araştırmalarda kullanılan reçinelerin niteliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu nedenle bazalt elyaf çalışmalarında kullanılacak reçine tercihinin sonucu doğrudan etkileyeceği düşünülebilir. İstenilen uzunlukta kesilerek elde edilen bazalt elyafları, ihtiyaca göre karışık monofilamentler halinde veya kesikli elyaf grupları şeklinde kullanılabilir. Metal hasıra oranla betona tutunma özelliğinin üstün olması sayesinde tüm yönlerde kuvvetlendirme ve performans artırıcılık sağlar. Alkali dayanımının ve mukavemetin yüksek olmasının da kayaç yapısı itibarıyla de beton ile aynı özgül ağırlığa ve genleşme mukavemetine sahip mineral yapıdaki bazalt elyaf rötre çatlaklarını önleyebilmekte ve çekme mukavemetini arttırabilmektedir. İyi mekanik niteliklerinin yanında bazalt yüksek kimyevi ve ısı dengesi sahiptir. Sıcaklık, elektrik iletkenliği ve ses yalıtım özellikleri de oldukça iyidir. Isı yalıtım özelliği asbestin yaklaşık üç katı kadardır. Bu sebeple de yangından korunma amacıyla çok tehlikeli olan asbestin yerine güvenle kullanılabilir. Elektrik yalıtım yeteneği E camından on kat daha yüksektir. Yaklaşık -230/700 °C aralığındaki uygulamalarda kullanılabilen bazalt - 60 /450 °C aralığında kullanılabilen E camına göre daha geniş bir uygulama sıcaklık aralığına da sahiptir. Hava ve su ile temasında da zehirli reaksiyonu yoktur. İnsan sağlığına ve çevreye zararlı değildir(Dorigato ve Pogeretti, 2012).

Lif kullanımı yaklaşık 3500 yıl öncesine dayandığı bilinmektedir. Günümüzde kompozitlerin dayanımını arttırmak için kullanılmaktadır. Bu bağlamda bazalt takviyeli kompozitlerin dayanımları konusunda kullanılmış ve mekanik özellikleri çarpıcı şekilde arttırdığı ortaya konulmuştur.

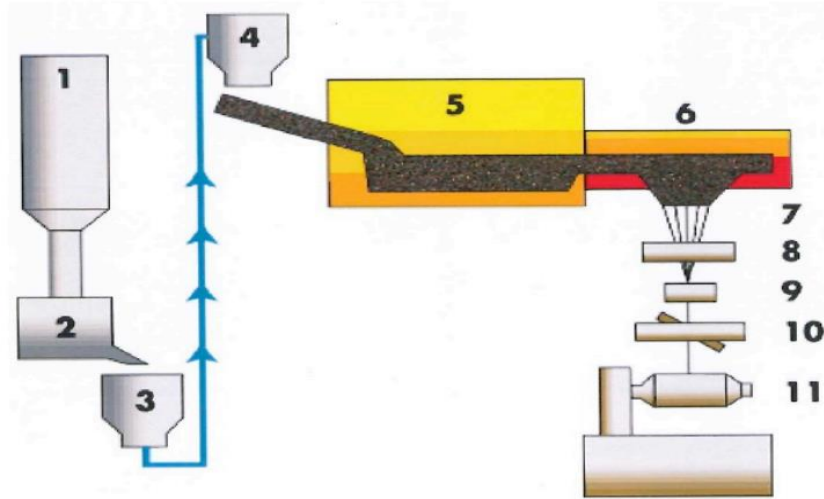
Moskova da bulunan plastik ve cam araştırma enstitüsü tarafından bulunan ve geliştirilen bazalt fiberi, 30 yıllık bir araştırma ve geliştirme neticesinde Sovyet Rusya tarafından bulunmuş ve literatüre girmesi sağlanmıştır. Bazalt fiber imalat firmı endüstriyel şeklini 1985 li yıllarda almıştır(Fiore ve ark. 2015).

Bazalt fiber kompozitinin maliyeti, üretim yeri, üretim kalitesi ve üretim ile ilgili sürecine bağlı olmakla birlikte farklı yerlerde üretilen ve kimyasal bileşimlerine göre de değişkenlik göstermektedir. Bu bağlamda da üretilen bazalt fiber kompozitlerinin mekanik ve fiziksel özellikleri de tüm bu değişkenlere göre de değişiklik gösterebilirler. Bazalt fiber değişken çekme sıcaklıklarında da mukavemet değerleri 1 ila 6 GPa arasında olabilmektedirler.

3.2 Bazalt Elyaf Üretimi

Bilindiği üzere bazalt inorganik bir malzeme olup volkanik kayalardan üretilmektedir. Bazalt volkanik kayacın yüksek sıcaklıkta(yaklaşık 1450° derece) eritilmesi ile üretilen ve kalınlığına göre elyafları değişmekte olup çeşitli hızlarda çekilerek üretilmektedir (Şekil 3.2).

Bazalt ham malzemesinde kimyasal olarak sodyum, potasyum, silisyum, demir-demir oksitleri ve magnezyum ayrıca da alüminyum bulunması sebebi ile yeterince zengin bir malzemedir. Rengi de bazaltın bazik yada asidik olmasına göre değişkenlik gösterebilir. Kimyasal bileşenler bazaltın üretim yerine göre değişkendir.



Şekil 3. 2 : Bazalt Üretim Prosesi(Anonim)

1)Silo, 2)Yükleme istasyonu, 3)İletim Sistemi, 4)Harman Verme, 5)İlk Eritme Bölümü, 6)Sıcaklık Kontrollü 2. Eritme bölümü, 7)Tel Oluşturma Yatağı, 8)Büküklük Yatağı, 9)Bükücü, 10)Elyaf Çekme İstasyonu, 11)Otomatik Sarım İstasyonu(Şekil 3.2)

Bazalt her ne kadar asbest gibi zararlı olduğu akla gelse de inorganik bir malzeme olan bazalt farklı yüzey özelliğine ve morfolojisi sebebi ve yapısını koruyabilmesi sebebi ile asbest kadar zararlı değildir. Bu konuda yapılan çeşitli deneyler mevcuttur.

3.2.1 Bazaltın ve bazalt fiberlerin kullanım yerleri

Bazalt elyaf takviyeli kompozitler yüksek aşınma ve sıcaklık dayanımı, iyi derecede mukavemet değerleri(Çizelge 4.1), kolay imal edilebilirlik, mineral sınıflı olması(toksik malzeme olmayışı) ve karbon fibere nazaran daha ucuz olması sebebi ile tercih edilen ve gelişen teknoloji ile kullanım alanı artan bir kompozit malzeme haline gelmiştir.

Bazalt kompozitin kullanım alanları gün geçtikçe artmakta olup en çok otomotiv, inşaat yapı malzemeleri, enerji ve spor ekipmanları, havacılık gibi gelişen sektörlerinde kullanılmaktadır.

3.3. .Korozif Ortamlar ve Kompozitlere Etkileri

Nem ve sıcaklık varlığından gerçekleşen su emilimi polimer yapılı kompozitlerde bozunmanın en önemli etkenidir. Kompozitlerde ise emilim suyun yapıya difüzyonu şeklindedir. Su atomlarının yüksek yoğunluğu olan bölgelerden daha az yoğunluğu olan bölgelere difüze olarak geçer. Matris malzemesi olan epoksi ise suyun emilimini yaptıktan sonra tüm kompozite dağılma ile beraber yaşlanmaya sebep olur. Emilim esnasında kompozit çatlakları, yüzey kusurları ile gerçekleşir(Şükür, 2019).

Su absorpsiyonu kompozit malzemelerin şartlandırılmış ortama atılmadan önce ve sonra ağırlık ölçümleri yapılır ve kütesel olarak 3.1 denklemi kullanılarak kütledeki değişimine bakılır.

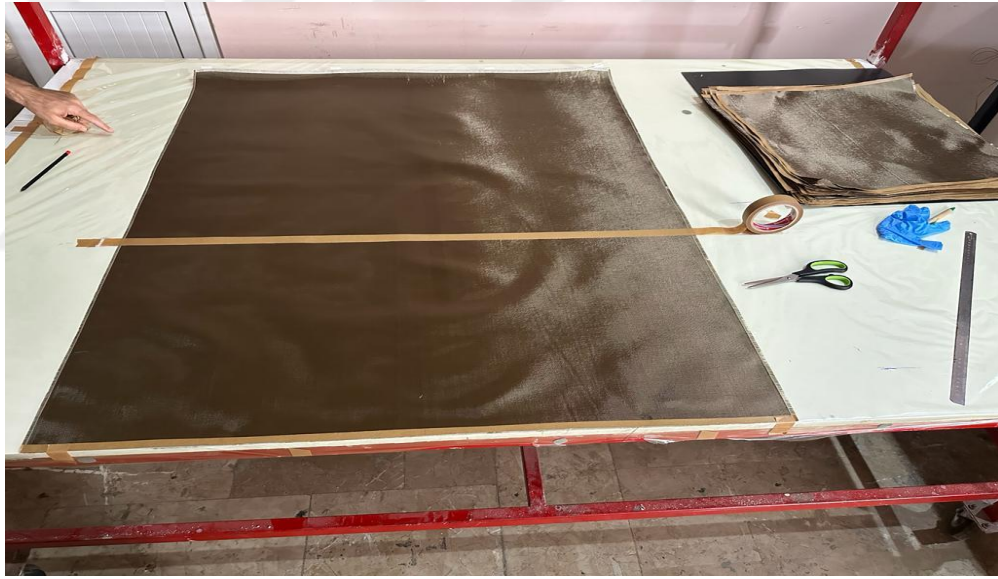
$$\Delta_m = \frac{\Delta_{mt} - \Delta_{mi}}{\Delta_{mi}} \quad (3.1)$$

Çalışmamızda korozif diğer bir adı ile şartlandırılmış ortam olarak tuzlu su(deniz suyu) ortam ve asidik ortam(hidroklorikasit) seçildi ve bu ortamlarda kompozitlerin davranışları incelendi. Ortamların karışım yüzdeleri ve bulunma süreleri değişiklik göstermekte olup yaşlandırma ortamlarının kompozitlere nasıl etki ettiği araştırılmıştır.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde kompozit malzemelerin üretiminin her aşaması ele alınarak anlatılmıştır. Malzemelerin özelliklerini belirlemek için standartlara uygun olarak hazırlanan test numuneleri ve bu numunelerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde uygulanan test yöntemleri ve analizleri anlatılmıştır.

Çalışmamızda 200 gr/m² olan yaklaşık 1 m lik rula şeklindeki 40 m² bazalt fiberi DOST KİMYA firmasından temin edilmiştir. 1 m lik bazalt kumaşların düzgün kesilerek çıkartılması için 50 cm işaretlenerek kağıt bant ölçülendirme yapılmış ve bazalt kumaş 50x50 cm ebatlarında kesimleri yapılarak depo edilmiştir(Şekil4.1).Bazalt elyafın tedarikçi firmadan alınan özellikleri aşağıdaki gibidir (Çizelge 4.1).



Şekil 4. 1 : Bazalt Kesim İşlemleri

Çizelge 4. 1: Bazalt Elyaf Genel Özellikleri(Tedarikçi Firmadan alınan)

Özellikler	Birimler	Bazalt
Ağırlık	(gr/m ²)	210±5
Çekme Mukavemeti	(MPa)	3170
Elastisite Modülü	(GPa)	89
Şekil Değiştirme Oranı	(%)	3,5
Yoğunluk	(gr/cm ³)	2,75

Matris malzemesi olan ve ticari olarak bulunması kolay olan epoksi reçine DOST KİMYA firmasından temin edilmiştir. Bisfenol A bazlı olan MGS-L160 epoksi laminasyon reçinesi kullanılmıştır. Bu reçinemizin vizkositesi 700-900 mPas dir. Çalışma proses sıcaklığı 10 -50 C° aralığında ve çalışma süresi 45 dakika ile yaklaşık 5 saat aralığında olan bu epoksi reçinemiz uzun bir hazırlık evresine sahiptir. Epoksi reçinemizi kürleştirmek için yine aynı firmadan 10-50 mPas vizkoziteye sahip MGS-L160/H10 temin edilerek kullanılmıştır (Çizelge4.2).



Şekil 4. 2 : Alümina katkılı ve Katkısız Epoksi

Çizelge 4. 2: Epoksi Reçinenin Mekanik Özellikleri(Tedarikçi firmadan Alınan)

Özellikler	Birimler	Değerler
Yoğunluk	(gr/cm ³)	1,18-1,20
Elastisite Modülü	(kN/mm ²)	3,2-3,5
Eğilme Mukavemeti	(N/mm ²)	110-140
Basma Mukavemeti	(N/mm ²)	80-100
Çekme Mukavemeti	(N/mm ²)	70-80
Darbe Mukavemeti	(kJ/m ²)	40-50
Su Absorbsiyonu	24 sa(%)	0,1-0,2
Kompa Uzaması	(%)	5,0-6,5

Alümina yaklaşık olarak 1 asır önce keşfedilip 1907 yılında patenti alınarak seramik üretiminde kullanılmaya başlanmıştır. Geniş çapta kullanımı ise 1920 yılı sonları 1930 yılı başlarında denk gelmektedir. Alüminyum dioksit adıyla bilinen ve diğer bir adı da Alümina olan Al_2O_3 uzunca bir süre dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Metal alüminyum üretiminde ergime sağlanması için başlangıç malzemesi olmuştur. Düşük termal genleşme özelliği ayrıca yüksek elektrik yalıtkanlığına sahiptir.

Çok iyi mekanik özellikleri olan Alümina balistik uygulamalarda kullanılmış ancak yüksek maliyeti ve yoğunluğu sebebi ile bu çalışmalarda bu alanda yer bulamamıştır. (Bhatnagar A. ve Lightweigh, 2006)

Elektrik endüstrisinde de kullanılan alümina(kapasitör rezistans) en çok havacılık uygulamalarında ve kesici takım üretiminde kullanılmaktadır (Şekil 4.3). Çalışmamızda kullandığımız alumina tozunun özellikleri Çizelge 4.3 de verilmiştir.



Şekil 4. 3 : Alümina Tozu

Çizelge 4. 3: Alümina Tozunun Özellikleri

Özellik	Birim	Değer
Safılık	(%)	99.5
Yoğunluk	(gr/cm ³)	3.96
Sertlik	(Mohs)	9
Molekük Ağırlığı	(g/mol)	101.961

Kullanılan alümina tozu gama %99,5 saflıkta ve 18 nm partikül büyüklüğündedir. Kullanılmadan önce kurutma işleminin yapılması malzeme imalatına başlamadan önceki oksidasyonu önlemede önemlidir. Ankara Nanografi firmasından alınmış olan bu malzememiz epoksiye karıştırılmadan önce kurutulma işlemi yapılmış ve inceliği kontrol edilmiştir.

Alüminanın mekanik testlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4. de verilmiştir.

Çizelge 4. 4 : Alüminanın Mekanik Özellikleri

Özellik	Birim	Değer
Elastisite Modülü	(GPa)	370
Çekme Mukavemeti	(MPa)	300
Eğilme Mukavemeti	(MPa)	400
Termal İletkenlik	(W/mK)	28
Poison Oranı		0.22
Ergime Sıcaklığı	(C°)	2054
Kaynama Sıcaklığı	(C°)	3000

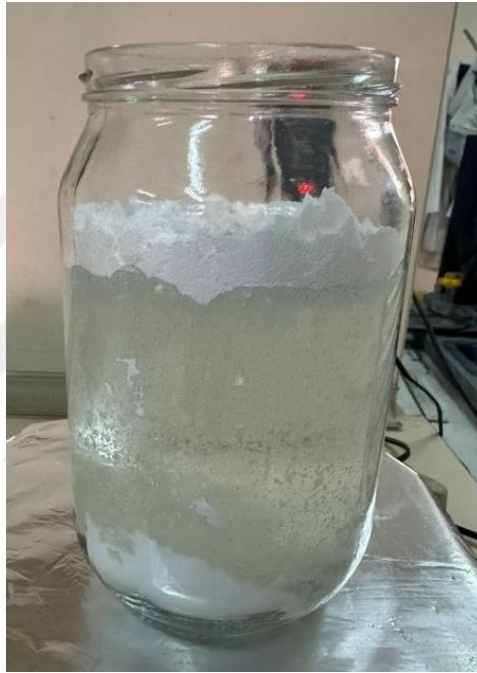
4.1.Alümina Oranın Belirlenmesi

Literatür araştırmamızda alümina katkılı nano kompozitler ile ilgili bilimsel çalışmalarda alümina katkıları değişik oranlarda kullanıldığı görülmüş. Ancak genel de % 0,05 ile % 0,4 aralıklarında olduğu görülmüştür. Oran belirleme de herhangi bir kural olmadığı, sadece bu oranlardan altında kaldığında mekanik özelliklerde dikkat çekici bir değişiklik gözükmediği, üstüne çıkıldığında da iç yapıda çeşitli bozukluklar gözlemlenmiştir. Bu bozulmaların da sebebi katkı malzemesinin fazla olmasından kaynaklı topaklanmalar olduğu yorumları yapılmış. Bu sebeplerden dolayı Alümina katkı oranının genellikle %1 ile % 3 aralığında tercih edildiği görülmüştür. Malzemeye ilave edilen katkı malzemelerinin oranları mekanik özellikleri iyileştirdiği gibi kötüleştirebilmektedir.

4.2.Nanokompozit Plakaların Üretimi

Alümina katkılı bazalt fiber takviyeli epoksi nanokompozitlerin üretimi epoksi karışım hazırlığının ardından gerçekleştirilmiştir. Literatürde bulunan bilimsel çalışmalar

dikkate alınarak belirlenen Alümina katkı oranı ağırlıkça %2,5 olmuştur. Ağırlıkça alümina oranı belirlendikten sonra epoksi malzemeye karışım yapılarak bendelin sonoplus 3100 ultrasonik karıştırıcı ile her bir karışım yaklaşık 20 dakika karıştırılmış ve kürleştirici de karıştırıldıktan sonra sonikatör ile tekrar 10 dakika daha topaklanmayı önlemek için karıştırılmıştır. Alümina katkısız nanokompozit numuneler için de epoksi reçine yeterince(%25 imalatçının belirlediği oran) kürleştirici de eklenerek sonikatör yardımı ile karıştırılmıştır. İmalat öncesi her karışım(Alüminalı-Alüminasız) homojenliği sağlamak için yaklaşık 10 dakika tekraren karıştırılmıştır.



Şekil 4. 4 : Alümina katkılı epoksi karışımı(Karıştırma uygulamadan hemen önce)

Alümina katkısı ağırlıkça genel karışım oranları kullanılarak yapılmıştır. Bu oran % 1-4 aralığı literatürde kullanılan karışım oranlarıdır. Bu oranların belirlenmesinde herhangi bir kural olmadığı, epoksi ile yapılan çalışmalarda bu oranların homojenlik açısından en uygun oranlar olduğu topaklanmalar bu oranların üstüne çıkıldığında ortaya çıktığı görülmüştür(Papageorgio ve ark., 2017).



Şekil 4. 5 : Ultrasonik Karıştırma Test Cihazı

Karışımlar sağlandıktan sonra alüminasız ve alüminalı plakaların imalatı yapılmıştır (Şekil4.6 ve 4.7). İmalatlar el yatırma ve torbalama vakum infüzyon yöntemi kullanılmıştır.

Hazırlanan epoksi reçine karışımları kesimi yapılan 50x50 200 gr/m² bazalt kumaşına el yatırma yöntemi ile sürülmüştür.



Şekil 4. 6 : El Yatırma Yöntemi veTorbalama Vakum İnfüzyon Yöntemi İle Bazalt Fiber Üretimi



Şekil 4. 7 : El Yatırma Yöntemi ve Torbalama Vakum İnfüzyon Yöntemi İle Bazalt Kompozit Plaka Üretimi

Yaklaşık 3 mm kalınlığı sağlayabilmek için 17 kat elyaf birleştirilmiştir. El yatırma yöntemiyle bir araya getirilen elyaflar yaklaşık 100°C'de vakum infüzyon torbalama yöntemi ile 4 saat kürleştirmeye tabi tutulmuş ve sonrasında her bir plaka 24 saat oda sıcaklığında kürleştirme sonlandırmaya bırakılmıştır.

Üretilen 50x50 nanokompozit plakalar çekme, eğilme ve aşınma testleri ASTM standartlarına uygun numuneleri ProRouter kesim cihazında kesim işlemleri MCC Reklam şirketinde yaptırtılmıştır (Şekil 4.8).



Şekil 4. 8 : Router Kesim Cihazı ile Numune Kesim İşlemi

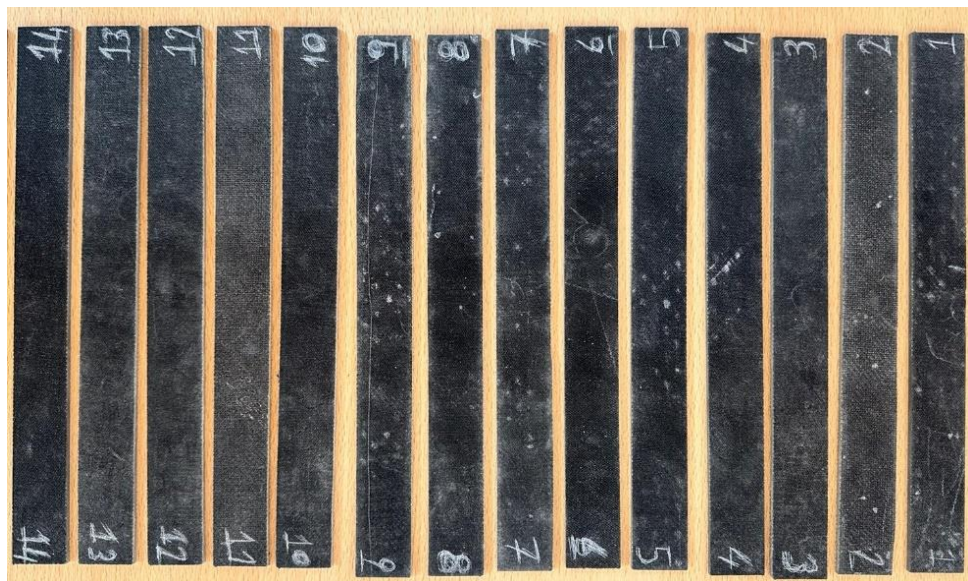
Çalışmamızda ağırlıkça %3 Tuzlu Su ve Honeywell marka % 2.5 seyreltilmiş hidroklorik asit (HCl) kullanılmıştır (Şekil 4.9).



Şekil 4. 9 : Şartlandırılmış Ortamlar(HCl ve Tuzlu Su)

4.3.Çekme Testi

Polimer matrisli nanokompozitlerin çekme testleri ASTM D3039/3039 M-14 ‘e uygun olarak INSTRON 3520 test cihazında 2mm/dk hızda gerçekleştirilmiştir. Standartta göre hazırlanan test numuneleri Şekil 4.10 da verilmiştir.

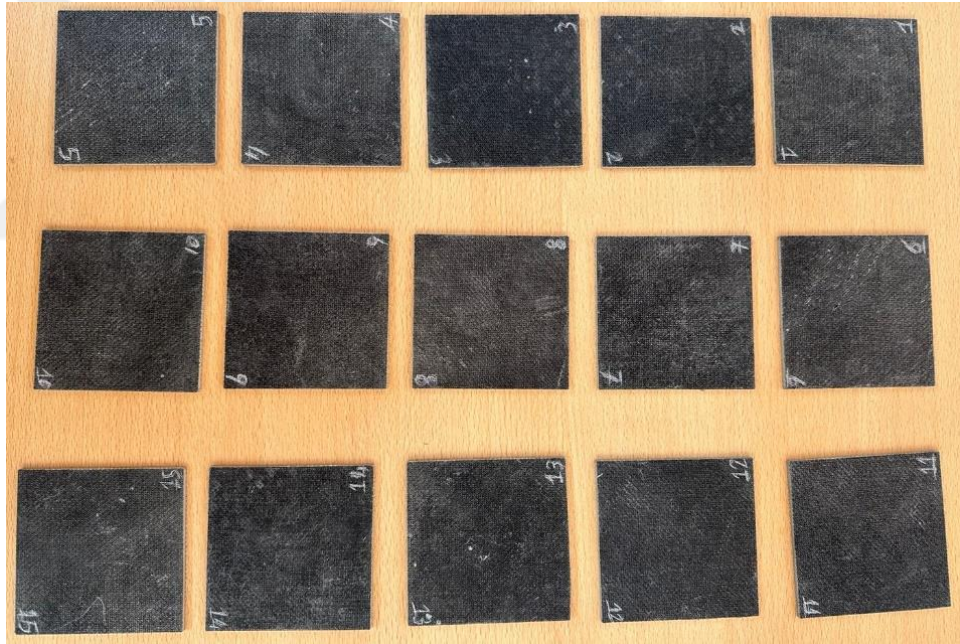


Şekil 4. 10 : Çekme test numuneleri

Numunelerin 0-1-2-3-4-5 ay testleri parametreleri girilerek, oda sıcaklığında seyreltilmiş hidroklorik asitli ve seyreltilmiş tuzlu su ortamları için ayrı ayrı 3' er numune olarak yapılmış ve grafiklendirmelerimiz 3 numune ortalaması alınarak oluşturulmuştur.

4.4. Pin-On Disk Aşınma ve Sürtünme Katsayısı Hesabı

Aşınma testi ASTM G99 standartlarına göre yapılmaktadır. ASTM standartlarına göre 3 mm kalınlıkta 80x80 mm boyutlarında hazırlanmıştır (Şekil 4.11). Router cihazı ile kesimi yapılan numuneler test işlemleri öncesi kurutma ve fırça ile temizleme işlemleri sonrası ilk tartma işlemleri yapılmış ve sonrasında alümina katkılı yada katkısız numuneler Pin On disk aşınma test cihazında teste tabi tutulmuştur.



Şekil 4. 11 : Kesimi yapılmış Pin On Disk Aşınma Test Numuneleri

Aşınma test cihazı olarak Konya Teknik Üniversitesi Mekanik laboratuvarında bulunan TURKYUS marka pin on disk aşınma cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.12).

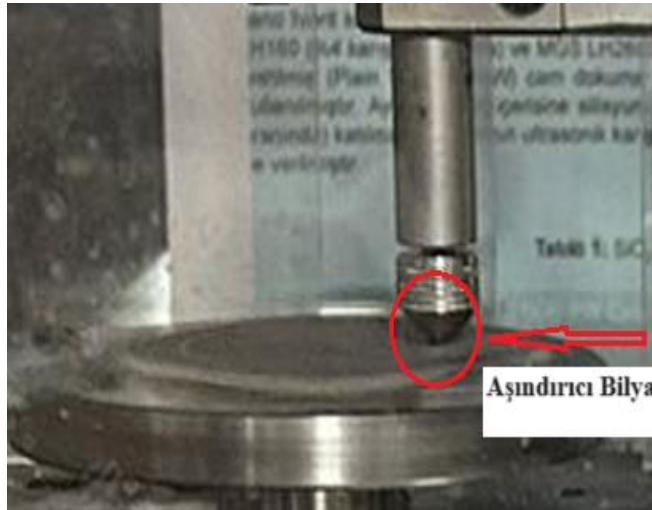
Aşınma test cihazında aşınma testi uygulanacak olan numunenin bağlanacağı döner sehpa ve numunenin bağlanabileceği pabuçlar aşınma için 62 HRC sertlikteki

aşındırıcı uc ve ucun bağlandığı sabit tutucu, dönme başladığında sürtünmeden kaynaklı yükün iletildiği sensörleri, sensörler vasıtası ile verilerin alındığı bilgisayar ve programı bulunmaktadır.



Şekil 4. 12 : Türkyus Pin On disk aşınma test cihazı

TURKYUS aşınma test cihazında kullanılan bilye 6 mm çapında 62 HRC sertliğinde krom çeliğidir (Şekil 4.13). Yüksek aşınma sertliğine sahip olması sebebi ile kompozit numunelerin aşınma test işlemlerinde kullanılmaktadır. Kalibrasyon işlemleri kalibrasyon uygulama çizelgesine uygun şekilde yapılmıştır (Şekil4.14).



Şekil 4. 13 : Aşındırıcı Bilya

Testte numunelere uygulanacak iz çapı aşındırıcı sabit kolu cetvelinden uygun çap ayarlanabilmektedir.

Bazalt esaslı kompozit malzemelerde yapılan önceki testler incelendiğinde ortalama 0,5-1 m/s hız, 5-20 N yükler kullanılmış. En düşük yükte(5 N) yapılan test çalışmalarında aşınma neticelerinde ağırlık kayıplarının kıyaslama yapılabilecek seviyede olmadığı görülmüştür. En yüksek yükte(20 N) ise aşınma bilyenin yüksekliğini geçme aşamasına gelmiş, bilyenin neredeyse numune içerisine geçmesi, cihaz bilye tutacağına değmesi sebebi ile aşınma kıyaslamaya uygun olmamıştır.(ŞÜKÜR, 2019)

Deneylerimizi 0,1,2,3 ve 5. ay dahil tüm testlerin parametreleri 10-15 N kuvvet ve 1 m/sn(yaklaşık 2000 m) sabit hızı ve 318,3 Φ /d devirde cihaza uygun iz çapı 6mm seçilerek oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. 14 : Pin On Disk Aşınma Test Cihazına Parametrelerin Girilmesi

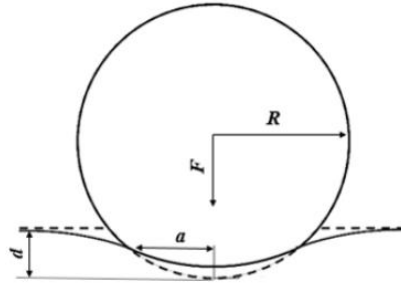
Test uygulanacak numuneler test öncesi temizliği yapılmış ve kompozit numunelerin özgül aşınma miktarı W_s denklem 4.2'ye göre hesaplanmıştır.

$$W_s = \frac{\Delta_m}{\rho \cdot F_N \cdot L} \text{ mm}^3 / \text{Nm} \quad (4.2)$$

Denklemde; Δ_m numunenin kaybettiği ağırlığı(g), uygulama yükünü F_N (N), kayma mesafesinin ifadesi L (m), numune özgül ağırlığını ρ (g/mm³) olarak ifade edilmektedir.

Aşınma mekanizması belirlenmesinde temas yüzeyine olan basınç ve sıcaklık önemli faktörlerdendir. Aşınma prosesinin karmaşık yapıda olması sebebi ile genel bir

modeli oluşturulamamaktadır. Bu nedenle de Hertz temas teorisi temas basınç değerlerini ve temas bölgesi mukavemetinin hesaplanmasında kullanılabilir.



Şekil 4.15 : Kare Ve Düz Levha Üzerindeki Temas Yüzeyi(Emine Feyza ŞÜKÜR, 2021)

Aşınma mekanizmasını ve sürtünme etkileyen en önemli değişkenlerden birisi de sürtünme yüzeyine olan temas kuvvetidir. Burada 10 ve 15 N sabit kuvvetleri belirlenmiştir. Yük altında temas yüzeyi ve aşınmayı sağlayan bilye arasında oluşan yüzey basıncını Hertz yüzey basınçları aşağıdaki denklemler ile belirlenmiştir.(ŞÜKÜR, 2021)

$$a = \sqrt{R \cdot d} \quad (4.3)$$

(4.3) nolu denklemde aşındırıcı bilye yarıçapı R, derinliği d, temas alanını ise a ifade etmektedir.

$$F = \frac{4}{3} E^* \cdot R^{1/2} \cdot d^{3/2} \quad (4.4)$$

(4.4) nolu denklemde efektif elastisite modülü E^* ile ifade edilmektedir.

$$\frac{1}{E^*} = \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \quad (4.5)$$

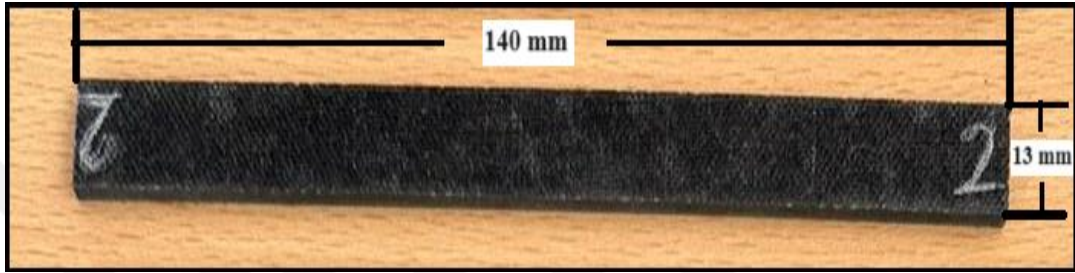
(4.5) nolu denklemde E_1 ve E_2 sırasıyla aşındırıcı bilye ve kompozitin elastisite modüllerini ve ν_1 ve ν_2 poisson oranlarını ifade etmektedir.

$$P_{max} = \frac{3F}{2\pi a^2} = \frac{1}{\pi} \left(\frac{6FE^{*2}}{R^2} \right)^{1/3} \quad (4.6)$$

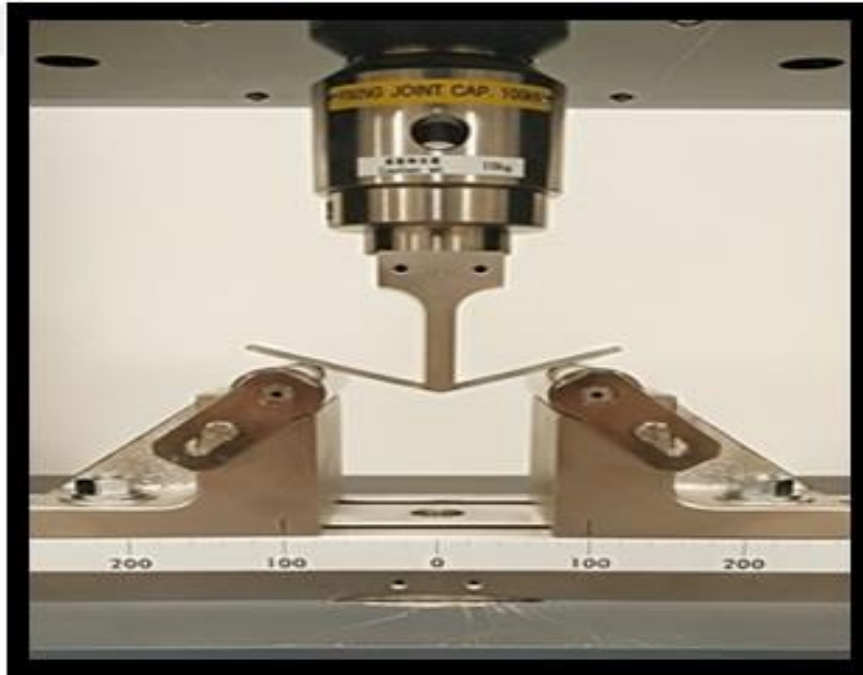
(4.6) denkleminde sonuç olarak P_{max} maksimum yüzey basıncını ifade edilerek hesaplanmaktadır.

4.5.Eğilme Testi

Eğilme testi ASTM D 7264 standartlarına uygun olarak hazırlanan numuneler üzerinde (Şekil 4.15) oda sıcaklığın da gerçekleştirildi. Numunemiz 140x13mm boyutlarında ve 3 mm kalınlığındadır. Eğilme test cihazı Shimadzu AGS-X eğilme deneyi 32:1 span oranı ile eğilme mekanizması ayarlanmıı, cihazımızın hızı 2mm/s olarak seçilmiş ve grafiklendirmelerimiz 3 numune ortalaması alınarak yapılmıştır (Şekil 4.16).



Şekil 4. 15 : Eğilme Test Numunesi Boyutları

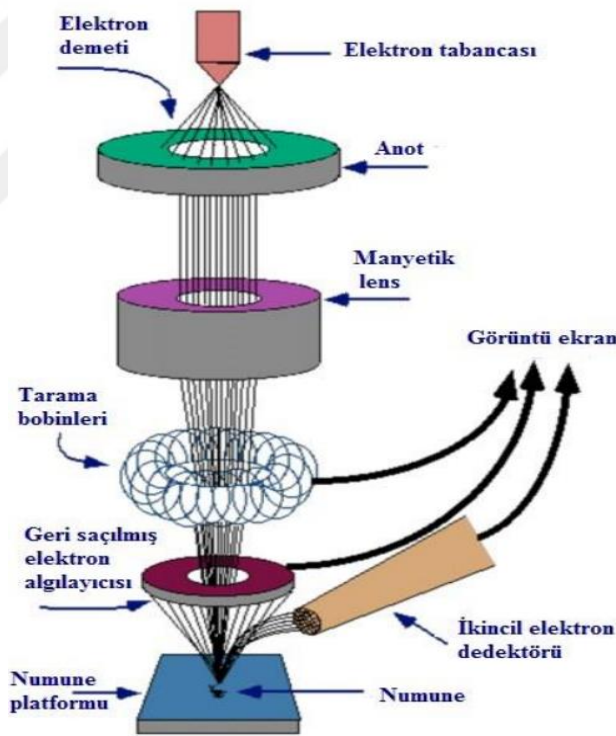


Şekil 4. 16 : Eğilme Testi Uygulanan Numune

4.6. Analizler

4.6.1 Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntü Analizi

Yüksek vakum altında elektron ışınıyla ile taranan numunelerin yüksek çözünürlüklü görüntüler elde etmek için yüksek büyütmelerin sağlandığı (5X-100.000X aralığında) görüntüleme şeklidir (SEM). Yüksek enerji yüklenmiş elektronların katı malzemelerin yüzeylerinde küçük bir alana odaklandırılması ile oluşturulan sinyallerin üretilmesi ve görüntüleme prensibi ile çalışmaktadır. Anot plakası ile hızlandırılan elektron demetleri mercekler ile malzeme yüzeyine odaklandırılarak yüzey taranmaktadır. Odaklandırılmış elektronlar ve ışınlar uygun olan algılayıcılarla toplanıp sinyal çoğaltıcıdan geçirilerek dijital sinyallere dönüştürülerek görüntü ekrana yansıtılmaktadır.



Şekil 4. 17 : SEM Analiz Şeması(Wlock,2012)

Bazalt ve alüminaların yüksek çözünürlüklü görüntüleri ZEISS EVO LS 10 taramalı elektron mikroskobu ile görüntülenmesi yapılmıştır. Tüm numuneler 24 saat öncesinde kurutma ve görüntülenecek yüzeyin kaliteli olması sağlamak için yüzey altın kaplama işlemleri yapılmıştır.

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde imalatları yapılan Bazalt/epoksi kompozitlerin katkısız ve nano alumina katkılı kompozitlerin çekme eğilme ve aşınma mekanik özellikleri değerlendirilmeleri yapılmıştır. Bazalt/Epoksi nanokompozitimizin çekme, 3 nokta eğilme ve pin on disk aşınma test sonuçları çizelgeler ve grafikler halinde verilmiştir. Hidroklorik Asit (HCl) ve tuzlu su korozyon ortamlarında 0-1-2-3-5 aylarda yaşlandırmaların mekanik özellikleri açısından etkileri araştırılmış, testler yapılmış ve yapılan çekme, eğilme ve aşınma testleri sonrası değerlendirmeler yapılmıştır. İncelemelerde korozyon ortamının ve asidik ortamın mekanik özelliklere ve hasar durumlarına nasıl bir etkisi olduğu ortaya çıkarılmış, değerlendirilmiştir.

5.1. Şartlandırılmış Ortama Koyulmadan Önceki Mekanik Testler

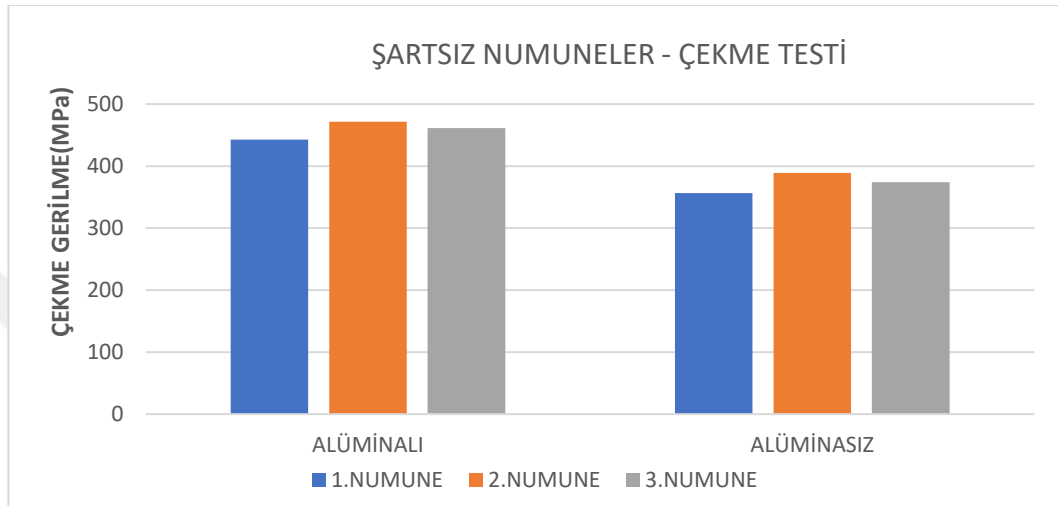
Numunelerimizin kesim işlemleri yapıldıktan sonra hepsi aseton ve temiz yumuşak uçlu fırça ile temizlendi. Ağırlık ölçümleri yapıldı ve yapılan testler sonrasında kıyas yapılmak üzere etiketlendi.

Korozyon ortama koyulmayan çekme, eğilme ve aşınma test numuneleri 3'er adet hazırlanarak 3 nokta eğilme, çekme ve pin on disk aşınma testleri yapıldı. Pin on disk aşınma testleri 10 ve 15 N' luk ağırlıklarda yapılmış ve 15 N' luk aşınma test sonuçları daha belirgin olması sebebi ile Çizelgelere 15 N'luk yük test sonuçlarının konulmasına karar verilmiştir.

5.1.1. Nanoalumina katkılı ve katkısız kompozitlerin çekme testleri

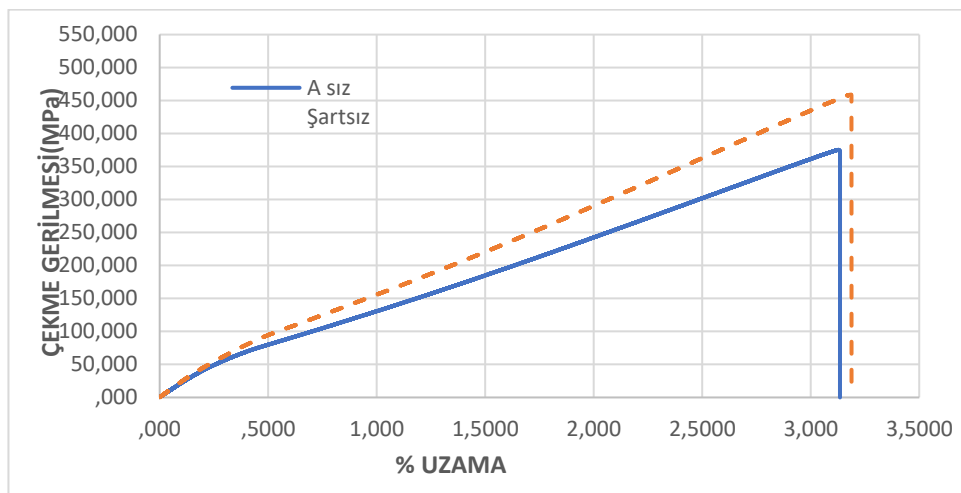
Basalt/epoksi ile hazırlanan kompozit numunelere çekme testi malzememizin çekme mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla uygulanmaktadır. Alüminanın teorik olarak korozyon ortamlara dayanımı vardır. Alümina katkısı çalışmalarda farklı oranlarda denenmiş ve en uygun şartların ağırlıkça % 2-3 aralığı olduğu belirlenmiştir. Bu anlamda

çalışmalarımızda ağırlıkça %2.5 oranında alümina kullanmaya karar verildi. Uygulanan Alümina katkısız ve katkılı kompozit numunelerde aynı şartlarda 3'er adet test numunesi hazırlanan numunelerden alınmış ve çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme mukavemet değişimleri Şekil 5.1 de verilmiştir. Çekme Mukavemeti ve % Şekil değişimleri de Şekil 5.2. de verilmiştir.



Şekil 5. 1 : Şartlandırmaya Bırakılmamış Numunelerin Çekme Testleri

Numunelerin gerilme ve % uzama eğrilerine bakıldığında alümina katkısının kompozitin mekanik özelliklerini pozitif yönlü etkilediği görülmüş ve test sonucunda çekme mukavemeti % 22.88 daha iyi değerde olduğu tespit edilmiştir. Yine % şekil değişimide alümina katkılı kompozitte yaklaşık % 2 daha sünek davrandığı görülmüştür.



Şekil 5. 2 : Alüminalı Katkılı ve Katkısız Kompozit Numunelerin Çekme Test Sonuçları

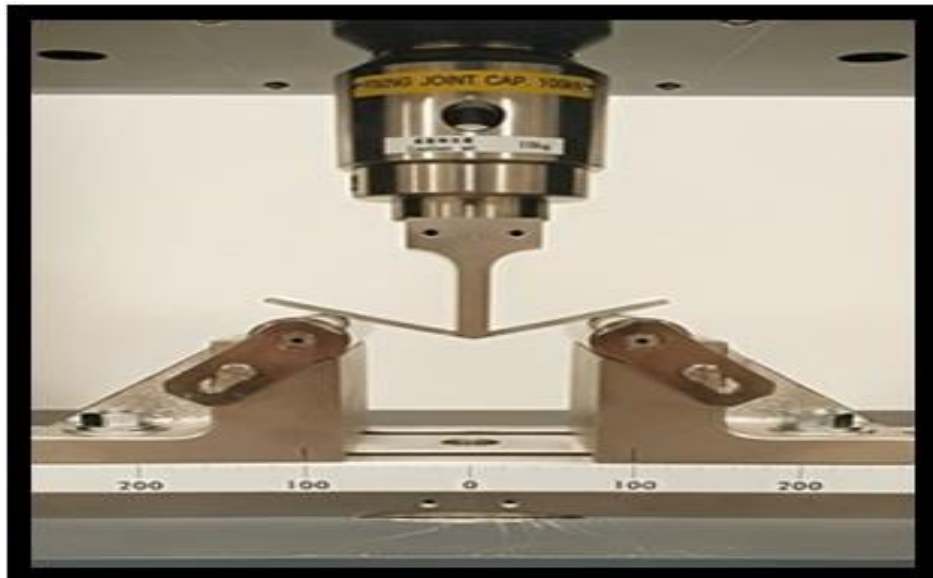
Al_2O_3 nano dolgu malzemelerinin matris-fiberde bağlanmasını olumlu etkilediği, bu bağlamda da Al_2O_3 (alümina) katkısının bağlanmayı arttıran etkisi uygulanan test sonuçlarından yorumlanmıştır. Literatürde yapılan deneyimizi doğrular nitelikte sonuçlar vardır.

Vinay S.S. ,Sanjay M. R., ve ark., (2022) Alumina katkılı nano dolgulu kompozit malzemelerin küçük karışım yüzdelерinde mukavemet değerlerini oldukça iyi etkilerken dolgu oranı arttırdıkça mukavemetlerde bozulma olduğunu tespit etmişler.

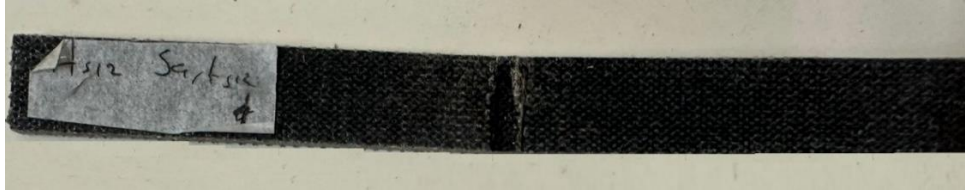
5.1.2. Alümina katkılı ve katkısız kompozitlerin 3 nokta eğilme testleri

ASTM standartlarında hazırlanan kompozit numunelerin imalatı tüm numuneler için alümina katkılı ve katkısız olarak tamamlanmıştır. Tamamlanan numunelerden sıfırncı ay testleri şartlandırılmış ortamlara bırakılmadan yapılmıştır. Üç noktadan eğilme testi sonucunda (Şekil 5.3.) hasara uğrayan eğilme testi numunesi durumu Şekil 5.4 de gösterilmiştir.

Alumina katkısı üç noktadan eğilme testine olumlu yönde etki yapmıştır. Numunenin yük taşıma özelliğini(%2,5 alümina katkısının) arttırdığı görülmüştür(Şekil 5.6).

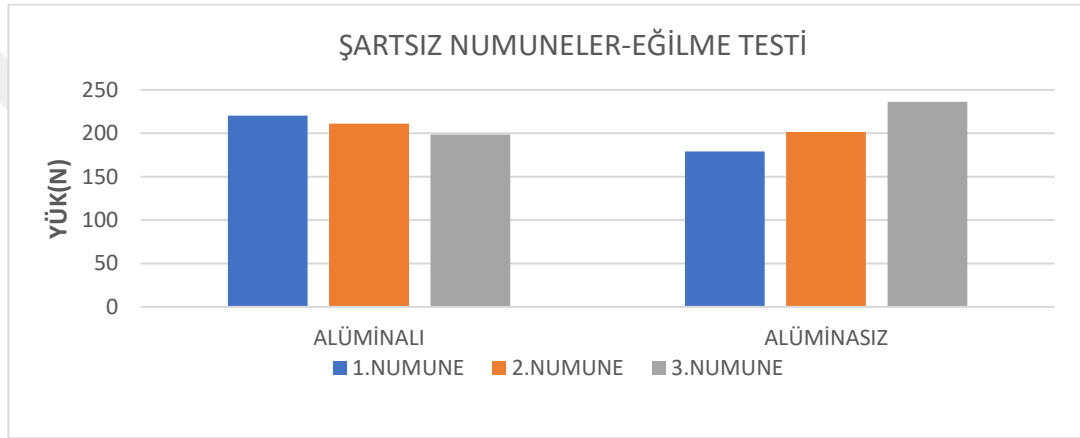


Şekil 5. 3: Üç Noktadan Eğilme Testin Uygulanması



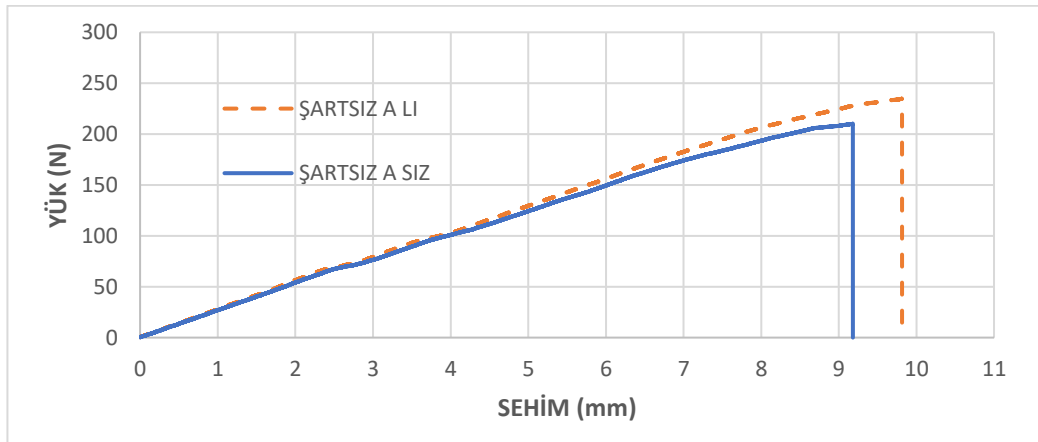
Şekil 5. 4: Alüminasız Şartlı Bazalt Epoksi Kompozitin Eğilme Test Sonrası Numunesi

Eğilme test numuneleri 3'er adet olarak kesilmiş, temizlenmiştir. Şartlandırmaya bırakılmadan 3 adet numune alınarak eğilme testi yapılmış ve eğilme yük dayanımları Şekil 5.5. ve sehim değişimleri Şekil 5.6 da verilmiştir.



Şekil 5. 5: Şartlandırmaya Bırakılmamış Numunelerin Eğilme Testleri

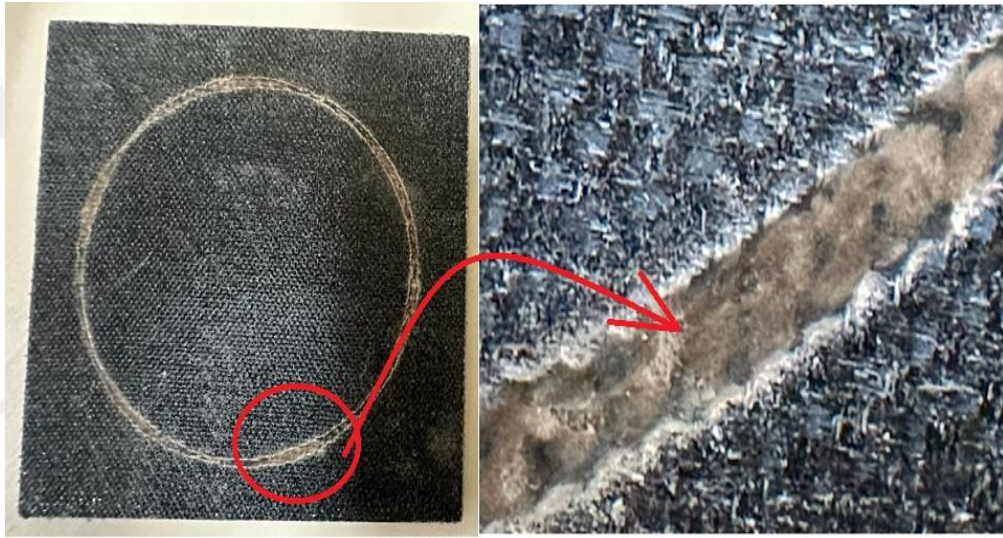
%2,5 alumina takviyesinin yaklaşık olarak % 10 civarında yük taşıma özelliğini iyileştirdiği ve üç nokta eğilme testinde mekanik özelliği dikkate değer şekilde etkilediği gözlemlenmiştir (Şekil 5.6).



Şekil 5. 6: Alümina Katkılı ve Katkısız Kompozitlerin 3 Nokta Eğilme Testleri

5.1.3. Şartlandırılmış ortama bırakılmayan alümina katkı ve katkısız kompozitlerin pin on disk aşınma testleri

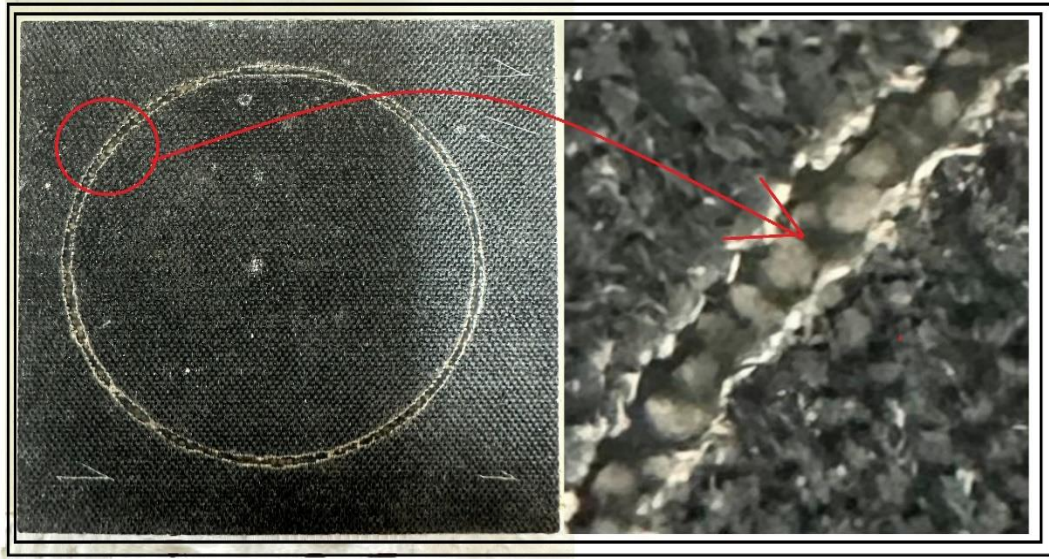
Alümina katkı ve katkısız Bazalt/Epoksi kompozitlerin Pin On Disk Aşınma testleri 3'er numune şeklinde yapılmıştır. Her bir numune yaklaşık olarak 2000 metre yol ve 15 N yük altında teste tabi tutularak aşınma testleri yapılmıştır. Kompozit numunede oluşan sürtünme katsayısı hesaplanarak grafikleri oluşturulmuştur. Numunelerin tartılma işlemleri test öncesi ve sonrası olmak üzere son temizlikleri yapılarak gerçekleştirilmiştir. Test öncesi ve sonrası farkları 10^{-4} mertebesinde hassas terazi ile ölçülmüştür.



Şekil 5. 7: Korozyif Ortama Bırakılmayan aluminasız bir Numune Pin On Disk Aşınma Test Sonucu ve Makro Boyut Fotoğrafi

Alüminasız numunelerde aşınma test sonucunda bazaltın iplikciklerinde gözle görülür aşınma gözükmemektedir. Aşınma bazalt iplik rengine ulaşabilmiş ve renkli görüntü makro boyutta gözlemlenmiştir.(Şekil 5.7)

Alüminalı bazalt numunelerin aşınmaları Çizelge 5.1. de görüldüğü üzere alüminasız kompozit numunelerin aşınmalarına göre %22 oranında daha belirgin şekilde daha az olduğu gözlemlenmiştir.



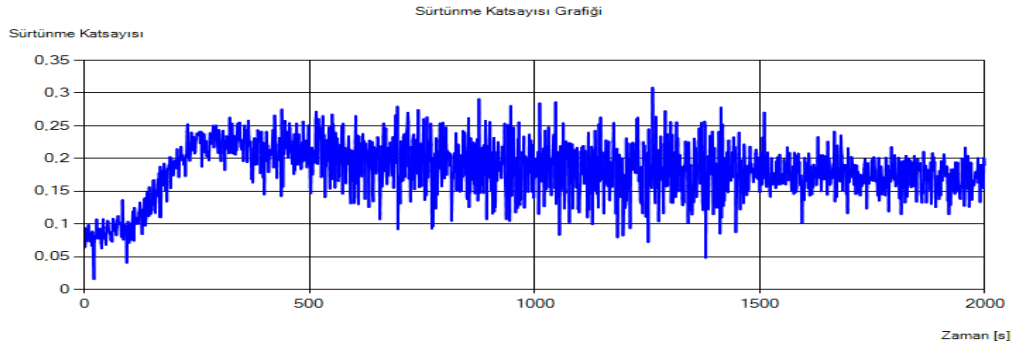
Şekil 5. 8: Alüminalı Şartsız Ortamda Pin On Disk Aşınması Gerçekleşmiş Bir Numunenin Aşınma Makro Fotoğrafı

Katkılı ve katkısız numunelerin ağırlıkça ve % olarak kıyaslanabilmesi için Çizelge 5.1 de test öncesi ve sonrası ağırlıkları verilmiştir.

Çizelge 5. 1: Alüminalı(A lı) ve Alüminasız(A sız) Şartlandırılmış Ortama Koyulmayan TestSonuçları

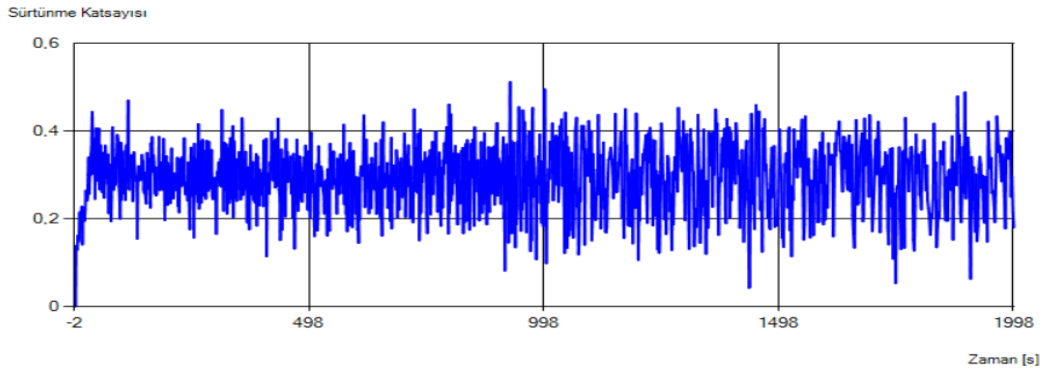
NUMUNE	İLK AĞIRLIK(gr)	SON AĞIRLIK(gr)	DEĞİŞİM (gr)	DEĞİŞİM (%)
A sız Şartsız - 1	31,0176	30,9402	0,0774	0,25
A sız Şartsız - 2	31,4623	31,3818	0,0805	0,26
A sız Şartsız - 3	31,2400	31,1525	0,0875	0,28
A lı Şartsız - 1	33,8628	33,8493	0,0135	0,04
A lı Şartsız - 2	31,0270	31,0150	0,0120	0,04
A lı Şartsız - 3	31,9896	31,9734	0,0162	0,05

Şartlandırılmış ortama bırakılmadan önce alüminasız ve alüminalı numunelerin sürtünme katsayılarının hesap grafiği aşağıdaki şekilde gibidir (Şekil 5.9, Şekil 5.10). Alüminalı numunelerde aşınma daha az olmuştur. Çizelge 5.1. de deney sonuçlarında görülmektedir.



Şekil 5. 9: Şartsız ortam alüminalı numune sürtünme grafiği

Alüminalı numunelerin her birine 2000 metre yol uygulayarak aşınma testinde kompozit numune matrisine karıştırdığımızda alüminanın sürtünmeyi azalttığı bu sebeplede aşınma miktarının az olduğu Çizelge 5.9 da da görülmektedir. Alüminalı numunelerde sürtünme katsayısı 0,1 -0,25 aralığında iken alüminasız numunelerde 0,2-0,4 aralığında görülmüştür.



Şekil 5. 10: Şartsız ortam alüminasız numune sürtünme grafiği

5.2. Şartlandırılmış Ortam Sürecinde Numunelerin Test İşlemleri

Korozif ortam olarak belirlenen HCl ve tuzlu su ortamlarına bırakılan kompozit numuneler 3 nokta eğilme, çekme ve Pin On Disk Aşınma testlerine tabi tutulmuşlardır. Tüm numuneler 3 'er adet olarak şartlandırılmış ortamlardan çıkarılmış ve kurutma işlemleri sonrasında temizlenerek testlere hazır hale getirilmiş ve testleri yapılmıştır.

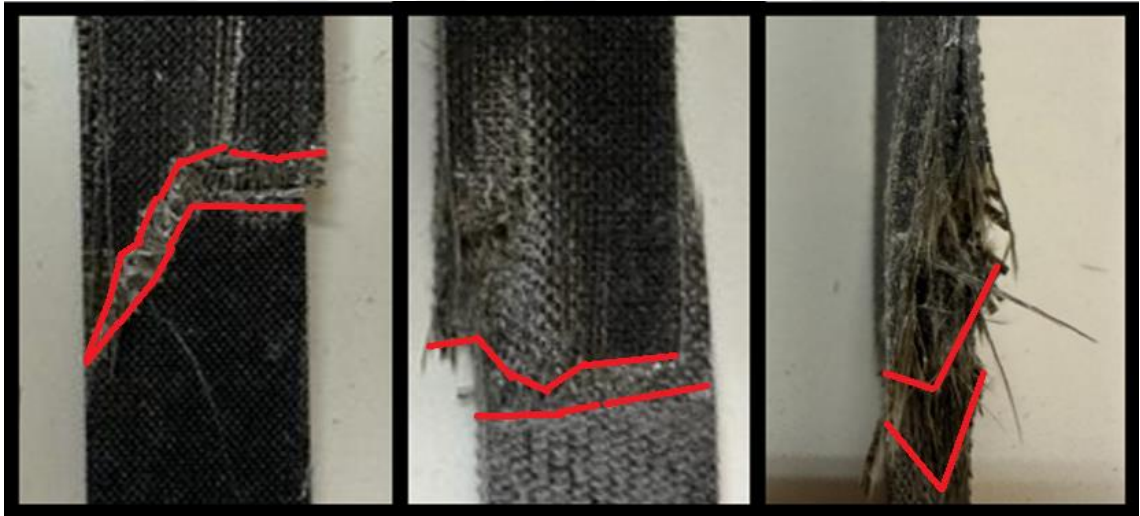
5.2.1. Alümina katkılı ve katkısız kompozitlerin çekme testleri

1. Ay yaşlandırma testleri

Alümina korozyif ortamlarda dayanımı her ne kadar olumlu etkilemiş olsa da tuzlu ve asidik sulu ortam mekanik özellikleri negatif yönde etkilenmektedir. Tuzlu su ve HCl asitli suyun difüzyon ile epoksi matris malzemesinin iç yapısına geçmesi ile kompozit matris yapısının ve alümina katkısı bağlanmalarını olumsuz yönde etkilenmektedir.

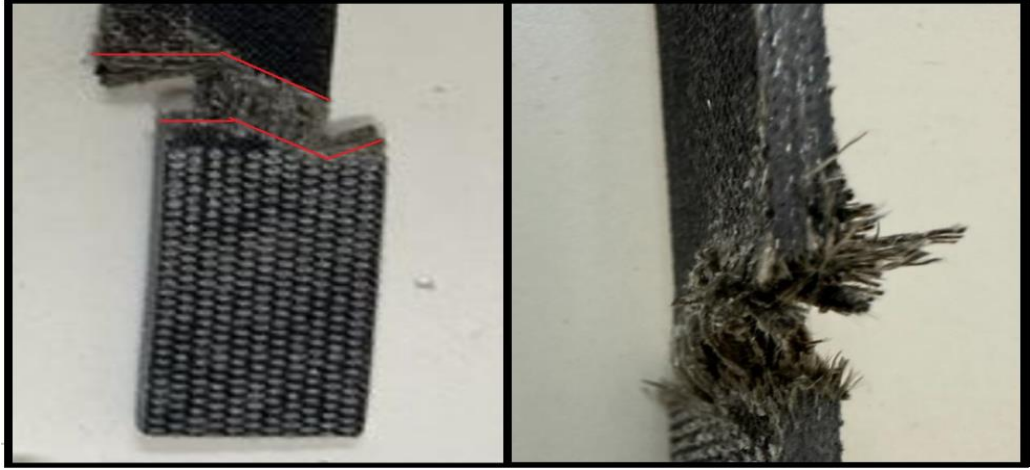
Alümina katkılı ve katkısız kompozit numuneler şartlandırılmış ortamlardan çıkarıldıktan sonra kurutma ve yüzey temizleme işlemleri yapılarak teste hazır hale getirilmiştir.

1.ay bekletilme sonrasında çekme testlerinde alümina katkılı bazalt epoksi kompozitlerin çekme testleri sonunda Şekil 5.11 de görüldüğü üzere uzaması gerçekleşmiş ve deformasyon neticesinde liflerde kopmalar meydana gelmiştir. Alümina katkısız numuneye göre mekanik özelliklerinin daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.



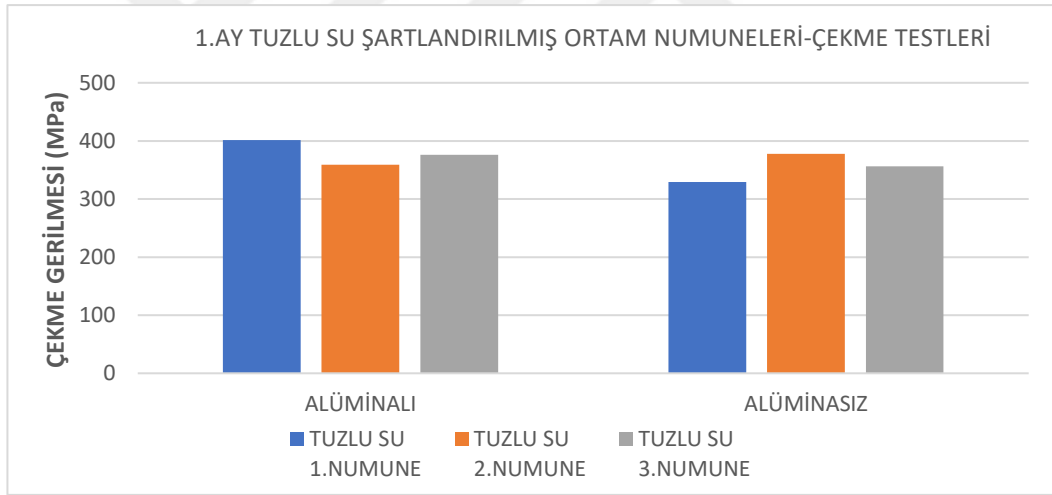
Şekil 5. 11: Tuzlu Su Ortamından Çıkarılıp Testi Yapılan Alümina Katkısız Bazalt Epoksi Numuneleri

Tuzlu su ortamında bekletilen sonrasında test edilen numunelerde çekme mukavemet değerlerinde azalma olmuş ve Şekil 5.11.de makro fotoğrafta görüldüğü üzere tabakalarında ayrılma ve liflerinde kopmalar görülerek kopma meydana gelmiştir.



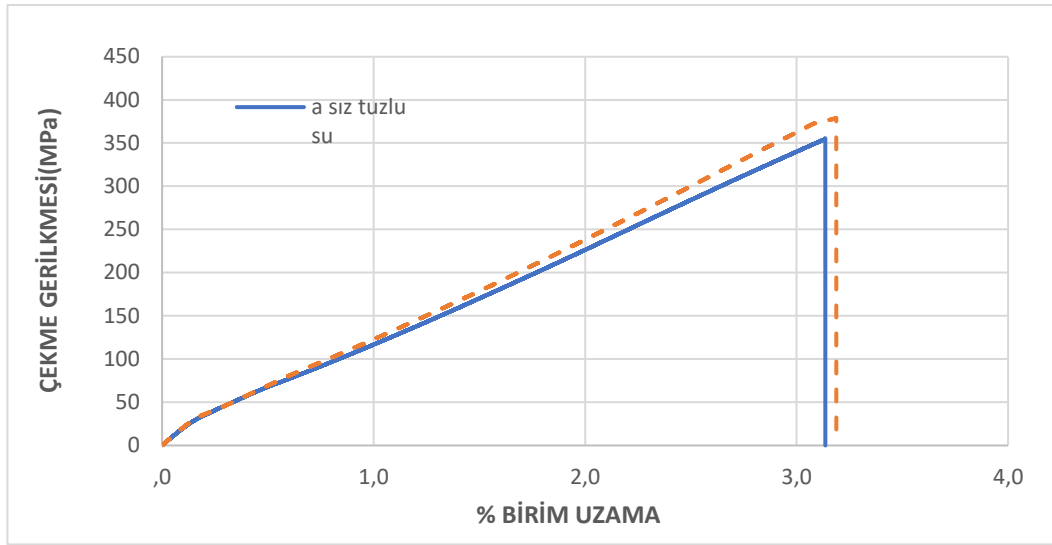
Şekil 5. 12: Alümina Katkılı Tuzlu Su Ortamından Çıkarılıp Testi Yapılan Numunelerin Çekme Testi (1. ay sonrası fotoğrafları)

Şartlandırılmış ortamdan 3 adet numunenin her biri kurutma işlemi uygulandıktan sonra temizlenerek testlere tabi tutulmuştur.



Şekil 5. 13 : Tuzlu Su Ortam 1.ay Numunelerin Çekme Testleri

Numunelerin test işlemleri yapıldıktan sonra tekrar temizlemiş ve streçlenerek tekrar farklı analizler yapılabilecek şekilde saklanmaya koyulmuştur. Testi yapılan numunelerin ortalamaları alınarak grafik oluşturulmuştur.

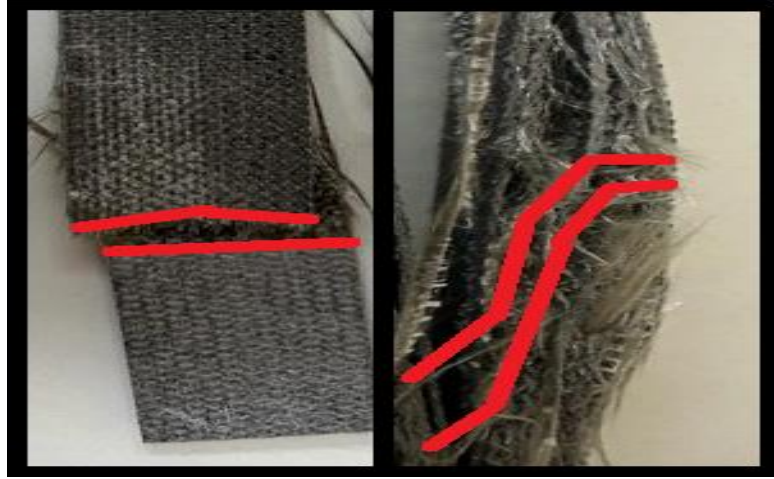


Şekil 5. 14: Tuzlu su ortamından çıkarılan Alüminalı (A lı) ve Alüminasız (A Sız) numunelerin 1. ay çekme test sonuçları kıyaslanması

Alümina katkısız bazalt epoksi kompozitler %3 lük tuzlu su ortamında 1. ay sonunda bekletildikten sonra çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme testi sonrasında katkısız numunelerde bazalt elyaf katmanları arasında da ayrılmalar görülmüş. Tuzlu suyun epoksi arasına difüzyon ile geçişinin olduğu ve çekme mukavemetini düşürdüğü sonucuna varılmıştır. Alümina katkılı numunelerin çekme mukavemeti katkısızlara oranla yaklaşık %10-15 aralığında daha iyi olduğu görülmüştür.

%2,5 seyreltilmiş hidroklorik asit su ortamından çıkarılan ve 1. ay testlerine tabi tutulan numunelerin ise kırılma hasarları tuzlu suda şartlandırılmış numunelere oranla daha fazla olmuştur. Bunun sebebinin de difüzyon ile epoksiye geçen asidin kompozit daha fazla deforme ettiği ve gevrek hale getirmesi olarak yorumlanmıştır.

Kopan malzemelerin makro görüntüsü Şekil 5.15 ve Şekil 5.16 da verilmiştir. Alümina katkılı ve katkısız numuneler (Şekil 5.17, Şekil 5.18) HCl asitli su ortamından çıkarıldıktan sonra yapılan çekme testlerinde Şekil 5.18 de de görüldüğü üzere alüminalı numunelerin çekme mukavemeti alüminasızlara oranla daha fazladır. % birim uzama miktarıda çok azda olsa artarak bir kopma söz konusu olmuştur.



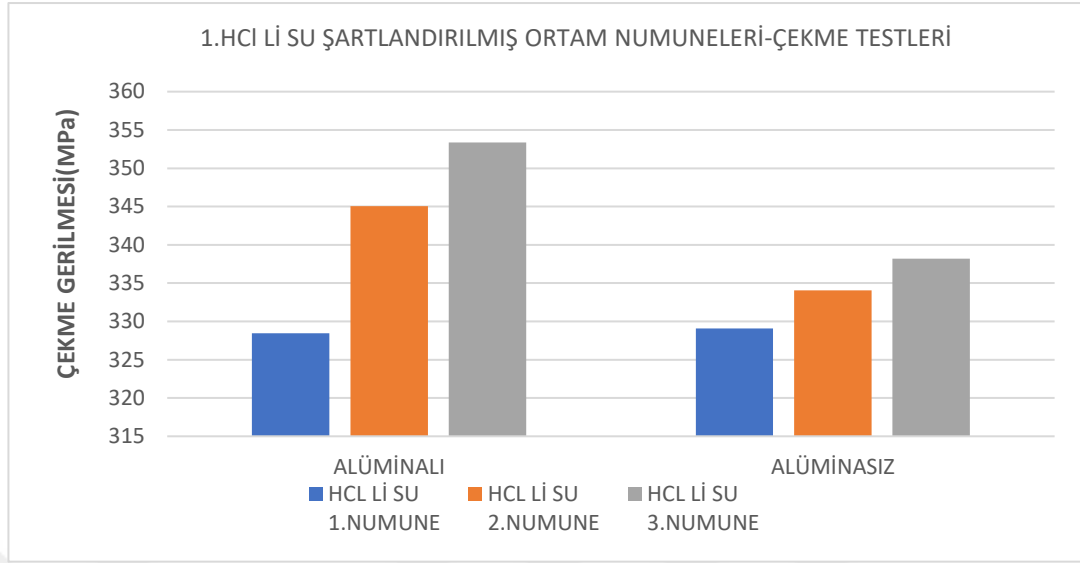
Şekil 5. 15: Alümina Katkısız HCl Ortamından Çıkarılan Numunelerin Çekme Test 1. ay fotoğrafları

Katkısız HCl ortamından çıkarılan numunelerin çekme testleri sonucunda yine diğer testlerde olduğu gibi neredeyse uzamadan koptuğu görülmüştür. Alümina katkılı numuneler uzayarak koptuğu buda alüminanın epoksi iç yapısında çekme uzaması sırasında iç yapıda fiber matris nanopartikül tutunmasının olması sebebi ile de daha fazla uzayarak koptuğu değerlendirilmektedir.

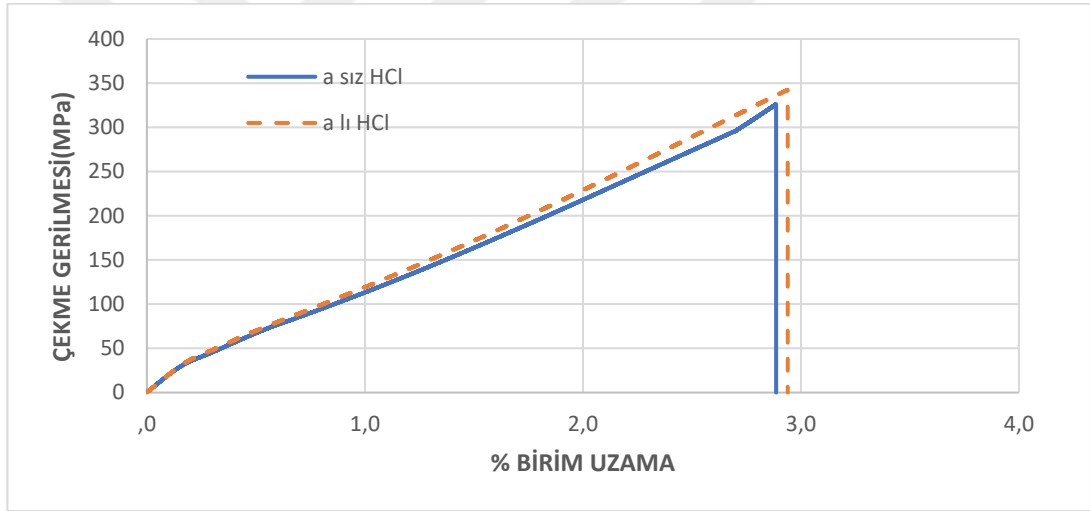


Şekil 5. 16: Alümina katkılı 1. ay hcl li su ortamından çıkarılan numunelerin çekme test fotoğrafları

1 ay sonunda şartlandırılmış HCl li su ortamından çıkarılan ve kurutulması yapıp temizlenerek teste tabi tutulan 3 numunenin çubuk grafikleri gösterilmiştir.

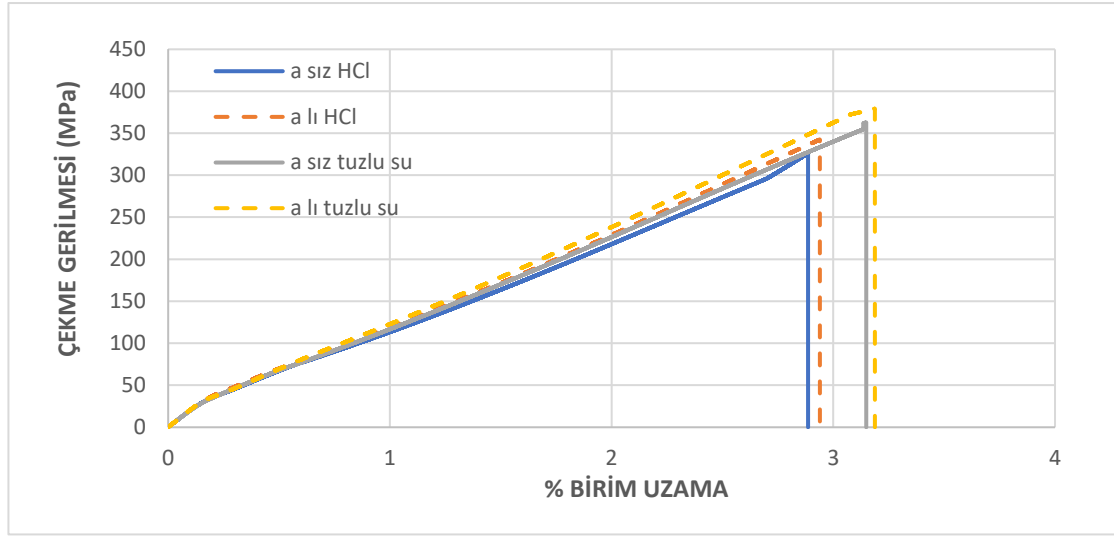


Şekil 5. 17 : 1.ay HCl asitli Su Ortam Numunelerin Çekme Testleri



Şekil 5. 18 : 1. ay HCl asitli ortamından çıkarılan numunelerin çekme test sonuçları kıyaslanması

Alümina katkılı ve katkısız numunelerde tuzlu suya oranla ortalama %10 azalma söz konusudur. Bu da matris ve takviye malzemeye emilen seyreltilmiş hidroklorik asitli su daha fazla deforme etmiş olduğu değerlendirilmiştir.



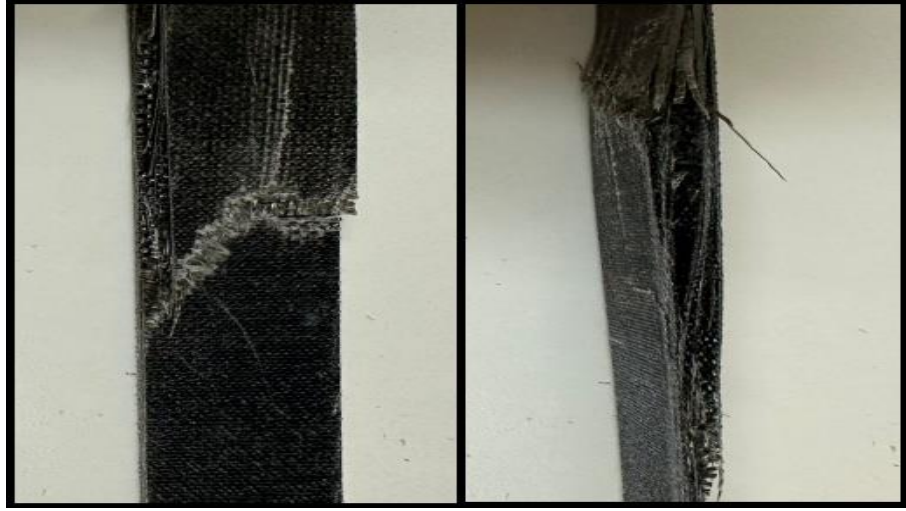
Şekil 5.19 : 1. ay korozif ortamlar çekme test sonuçlarının kıyaslanması

İlk ay çekme test sonuçları bazalt epoksi kompozitlerinin korozif ortamlardan olumsuz etkilendiğini, ancak alümina katkılı kompozitlerde çekme mukavemeti özelliklerinin daha iyi olduğu çalışma sonrası makro resimlerden ve test verilerinin grafiklerinden tespit edilmiştir. Tuzlu su 1. Ay sonunda seyreltilmiş hidroklorik asite göre daha az etkilenmiş çekme mukavemet değerleri daha az etkilenmiştir (Şekil 5.19).

2. Ay yaşlandırma testleri

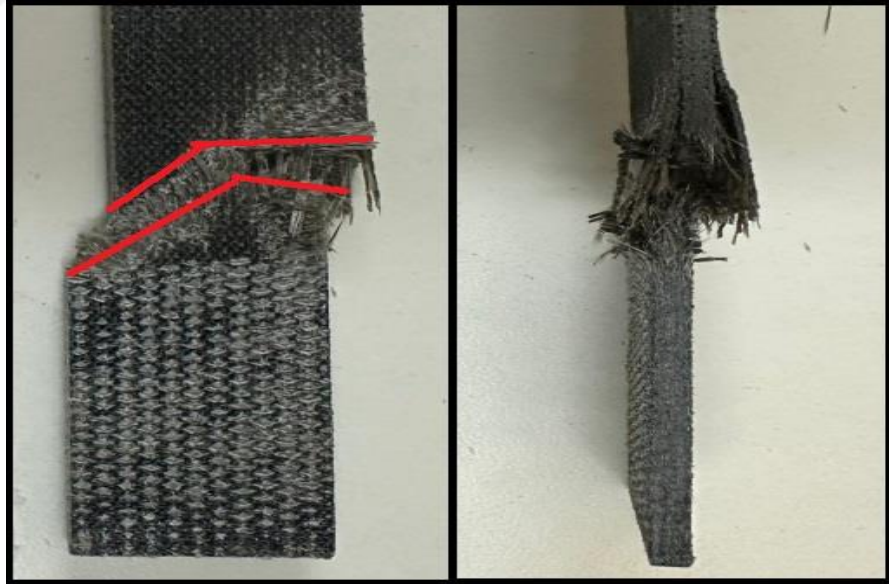
Alümina katkılı ve katkısız numuneler tuzlu su ve hidroklorik asitli sudan çıkarılan 2.ay sonunda yine kurutma ve temizleme işlemleri neticesinde çekme testleri yapılmıştır.

Alümina katkılı bazalt epoksi kompozitlerinde yine uzama neticesinde Şekil 5.20 ve 5.21. de kopma şeklinde deformasyonlar görülmektedir. Alümina katkılı kompozit numunelerin katman ayrılmaları sadece kopma bölgelerinde vardır.



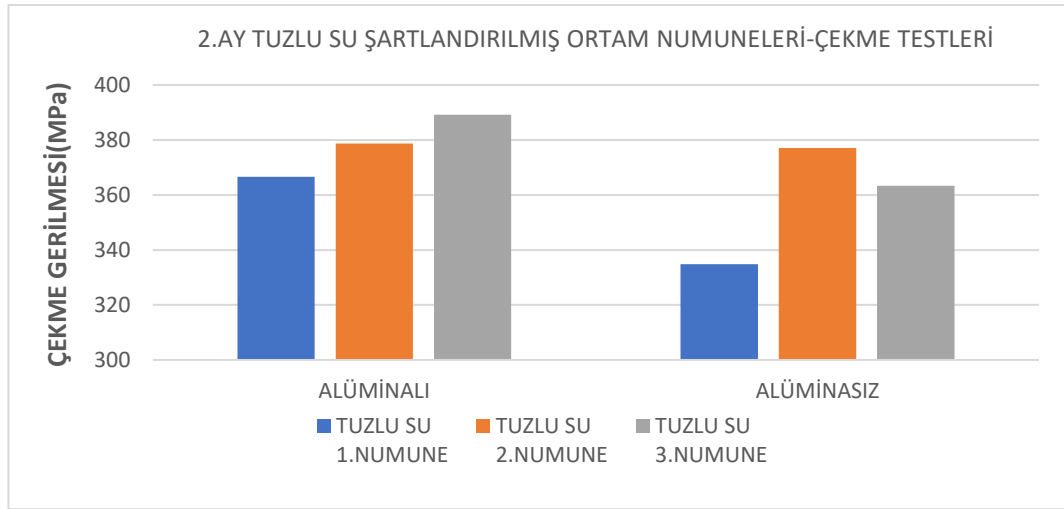
Şekil 5. 20 : Alümina katkısız 2.ay tuzlu su ortamından çıkarılan numunelerin çekme testi

Alümina katkısız bazalt epoksi kompozitlerin tuzlu su ortam testlerinde tuzlu su emilimi sebebi ile deformasyonlar söz konusudur. Alümina katkısı olmayan numunelerin hem kısa sürmekte koma gerçekleşmekte hemde iç fiber katmanların ayrılarak deformasyonları oluşmaktadır. Numunede gerçekleşen deformasyonlar Şekil 5.21 de gösterilmektedir.

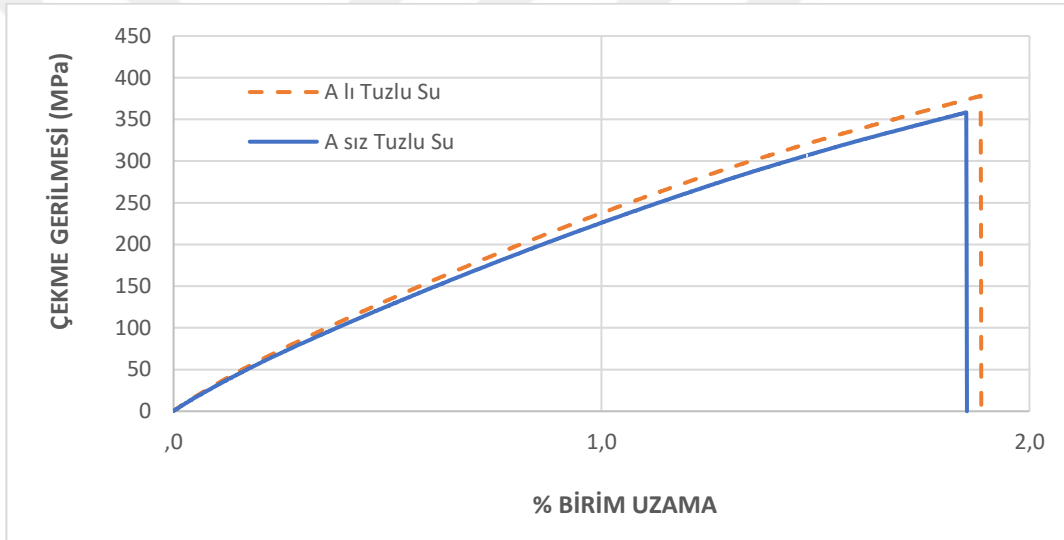


Şekil 5. 21 : Alümina katkılı tuzlu su 2.ay ortamından çıkarılan numunelerin çekme testi

3 Adet numune kurutma ve temizleme işlemi yapılarak teste tabi tutulmuş ve grafikleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 5. 22 : 2.ay Tuzlu Su Ortam Numunelerin Çekme Testleri



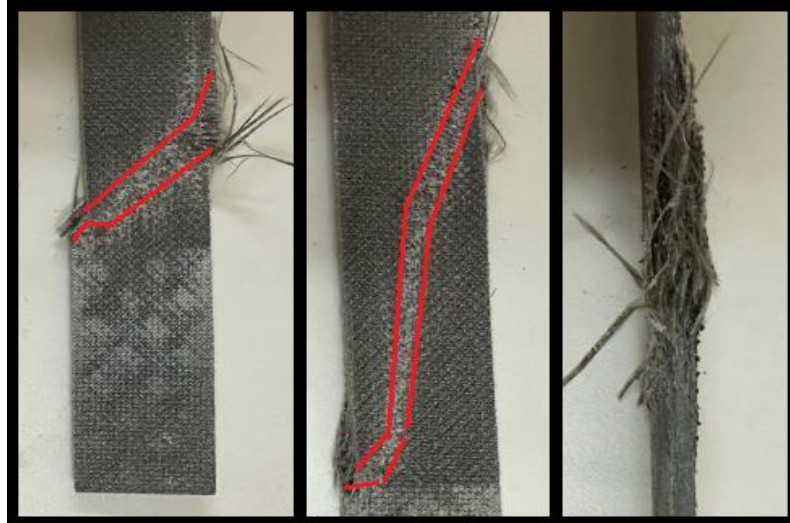
Şekil 5. 23 : Alümina katkılı ve katkısız 2. ay Tuzlu su ortamından çıkarılın numunelerin çekme testleri

Alümina katkılı numunelerin katkısız numunelerin 1. ay sonundaki testlerine göre yaklaşık olarak % 4-6 oranında çekme mukavemetinde ve % birim uzamalarında %30-35 azalış olduğu çıkarımı yapılmıştır. Alüminalı kompozit numunelerin tuzlu suda bekletilenlerinde % uzamalardan da anlaşılabileceği üzere matris fiber tutunması fazla olması sebebi ile daha fazla olduğu görülmektedir. (Şekil 5.22, Şekil 5.23).



Şekil 5. 24 : Alümina katkısız HCl li su ortamından çıkarılan numunelerin 2.ay çekme testi

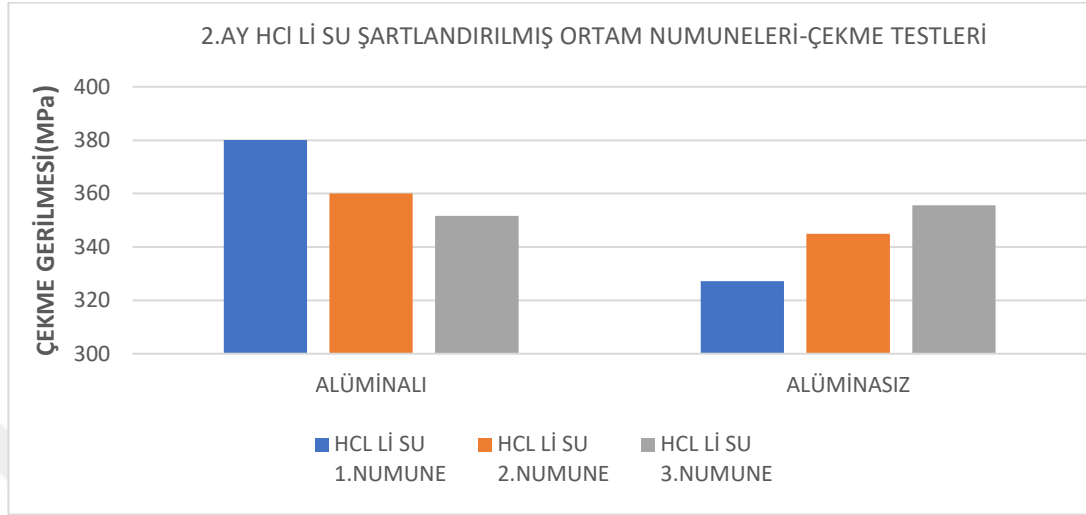
Alümina katkısız numunelerin katkısız HCl asitli su ortamından çıkarılan numunelerin ilk ay testlerine oranla yaklaşık olarak %5-8 oranında çekme mukavemetinde azalma olduğu ve deformasyonların(renkli çizgiler kopma ve ayrılmaları göstermektedir) daha fazla olduğu Şekil 5.24, Şekil 5.25 den görülebilmekte ve Şekil 5.26-27 den çıkarılabilmektedir.



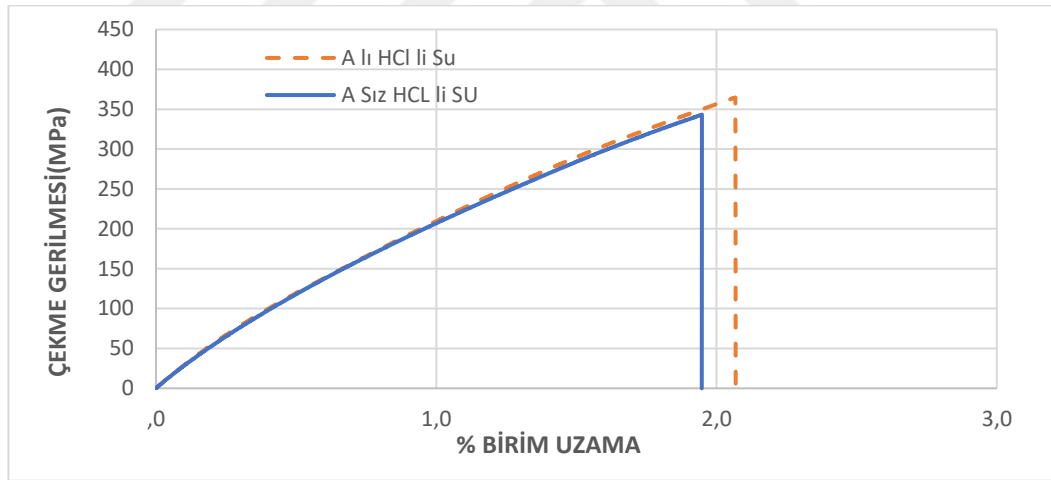
Şekil 5. 25 : Alümina katkılı 2.ay HCl asitli su ortamından çıkarılan numunelerin çekme testi

Hidroklorik asitli su ortamından çıkarılan numunelerde yüzeysel deformasyonlarda fazlaca gözlemlenebilmektedir. Numunelerde renk değişimi bu ortam neticesinde meydana geldiği aşıkardır.

Kurutma işlemleri neticesinde temizlikleri yapıp testlere tabi tutulan 3 adet numune grafikleri aşağıdaki gibidir.



Şekil 5. 26 : 2.ay HCl asitli Su Ortam Numunelerin Çekme Testleri

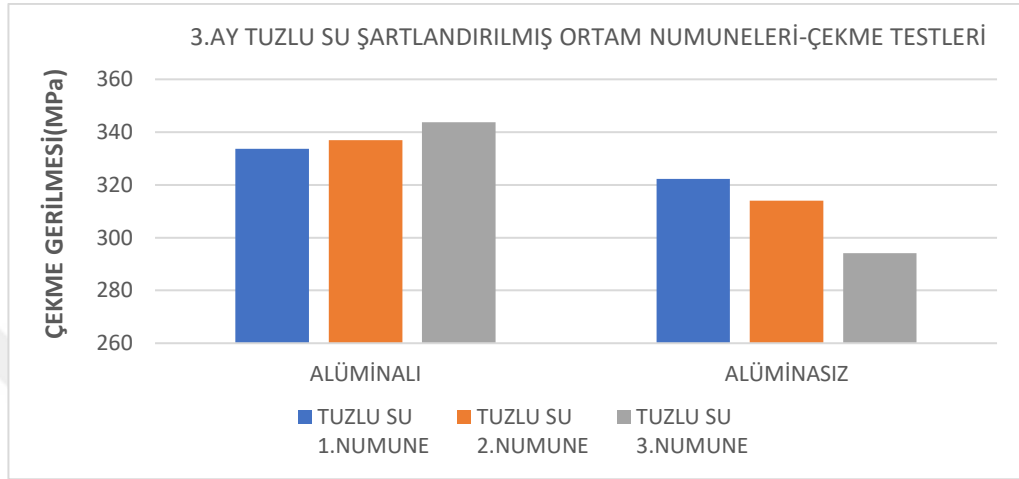


Şekil 5. 27 : Alümina katkılı ve katkısız 2. ay HCl asitli su ortamından çıkarılan numunelerin çekme testleri

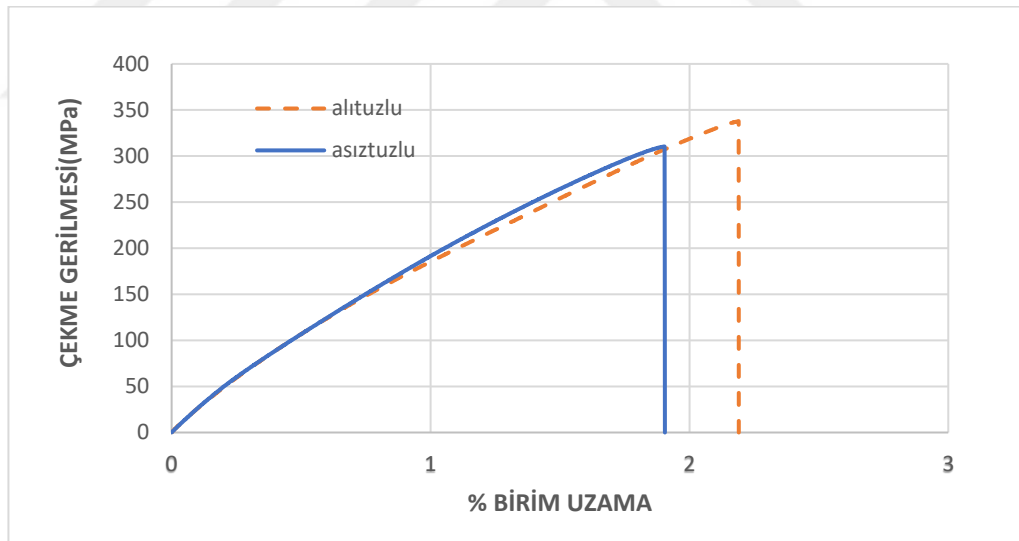
Alümina katkılı numunelerin birim uzamaları ve çekme mukavemetleri katkısız bazalt epoksi kompozite oranla daha iyi durumdadır (Şekil 5.26, Şekil 5.27). Katkısız numunelere nazaran kırılma sonucu kopma bölgesi dışında tabakalarda ayrılmalar daha azdır.

3.Ay Yaşlandırma Testleri

3. ay testlerinde tuzlu su ortamında yaşlanan numunelerdeki yaşlanma azalarak devam etmekte olduğu grafiklerden değerlendirilebilmektedir. 3 adet numunenin kurutma temizleme işlemlerinden sonraki grafikleri Şekil 5.28,Şekil 5.29 da verilmiştir.



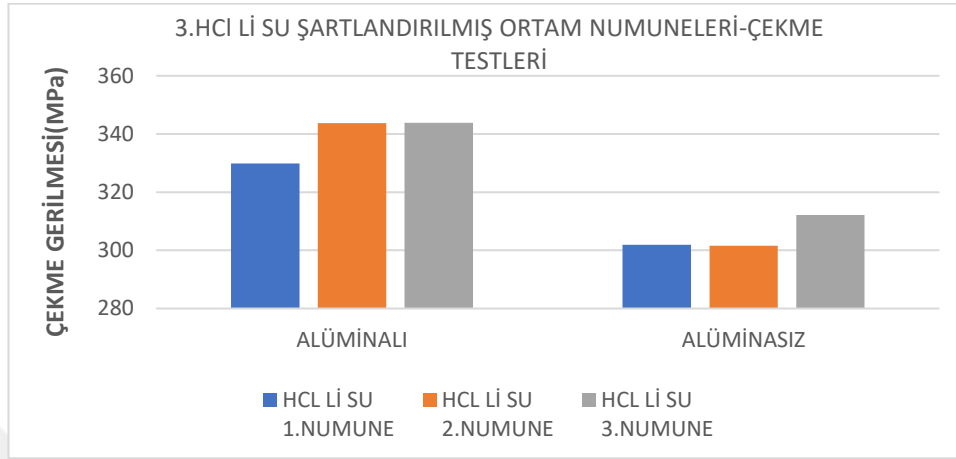
Şekil 5. 28 : Tuzlu Su Ortam 3.ay Numunelerin Çekme Testleri



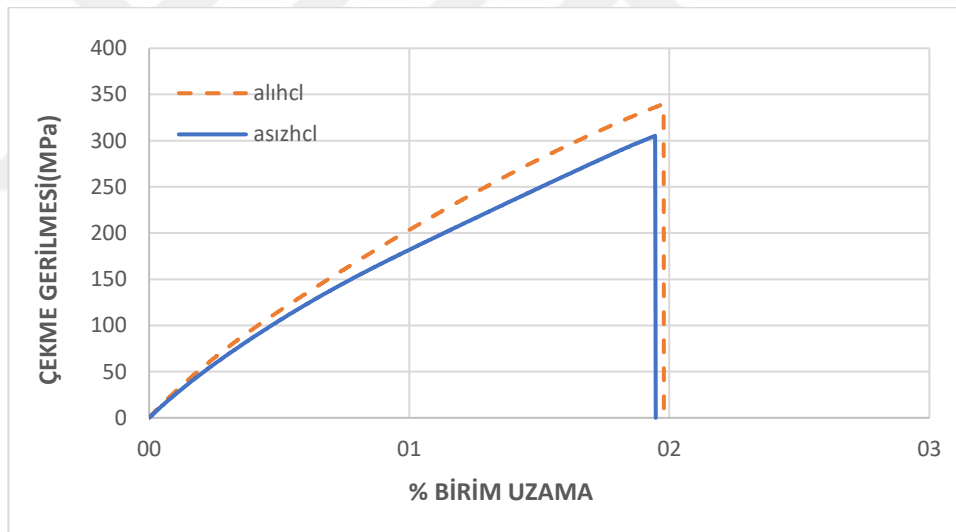
Şekil 5. 29 : Alümina Katkılı Ve Katkısız 3.Ay Tuzlu Su Ortamından Çıkarılan Çekme Testleri

Tuzlu su ortamından 3. ayda numuneler aynı kriterler ve işlemler(0-1-2. aylarda uygulanan) dikkate alınarak hazırlanmış ve çekme testi uygulanmıştır. Uygulanan testlerden de görüldüğü üzere çekme mukavemeti %4-6 oranında azalmaya devam etmiştir. Ancak azalma 1. ve 2. ay lara göre azalarak devam etmiştir (Şekil 5.29).

3 ay testlerinde hidroklorik asitli su ortamında bulunan numunelerdeki deformasyonun sürekli olarak arttığı gözlemlenmiştir. 3 numunenin de kurutma, temizlik işlemleri neticesinde yapılan test grafikleri aşağıdaki gibidir.



Şekil 5. 30 : HCl li Su Ortam 3.ay Numunelerin Çekme Testleri

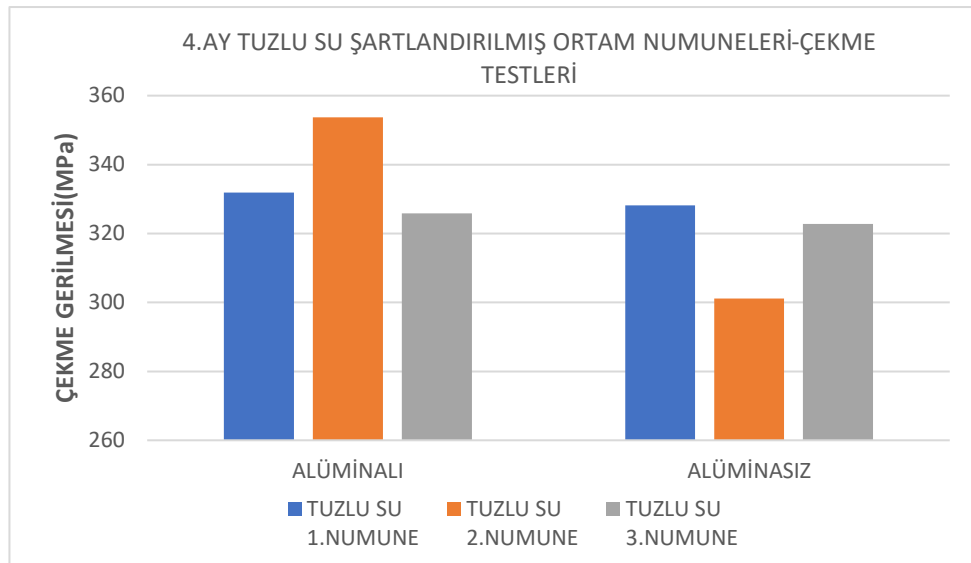


Şekil 5. 31 : Alümina Katkılı Ve Katkısız 3.Ay HCl li Su Ortamından Çıkarılan Çekme Testleri

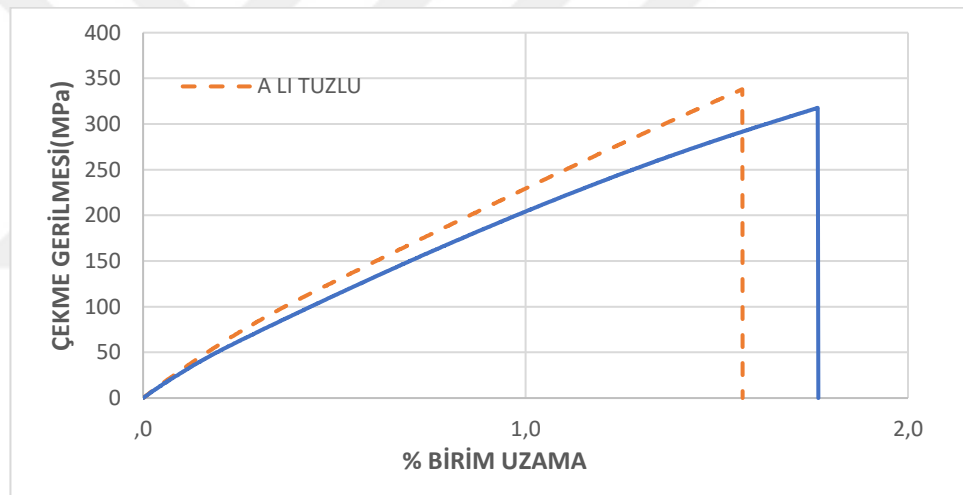
Uygulanan testlerden de görüldüğü üzere çekme mukavemeti alüminalı % 6-8 alüminasız da ise % 9-12 oranında azalmaya devam etmiştir. Asitli su ortamında da tuzlu su ortamında olan azalma eğrisi benzer şekilde devam etmiştir(Şekil 5.30, Şekil 5.31).

4.Ay Yaşlandırma Testleri

4 ay tuzlu su ortam yaşlandırma testleri de 3 er adet numune aynı şekilde kurutma ve temizleme işlemleri yapıldıktan sonra testlere tabi tutulmuşlardır.



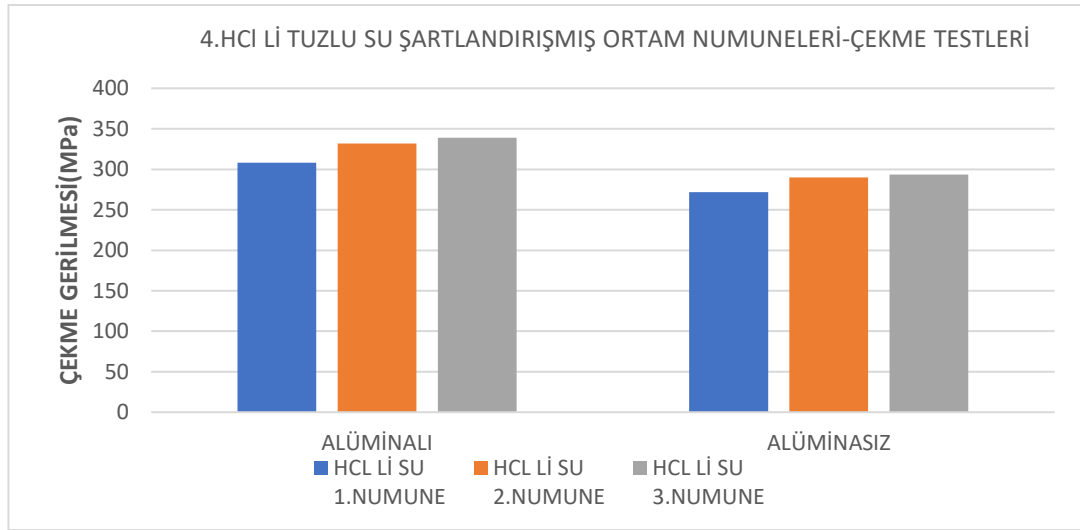
Şekil 5. 32 : 4.ay Tuzlu Su Ortam Numunelerin Çekme Testleri



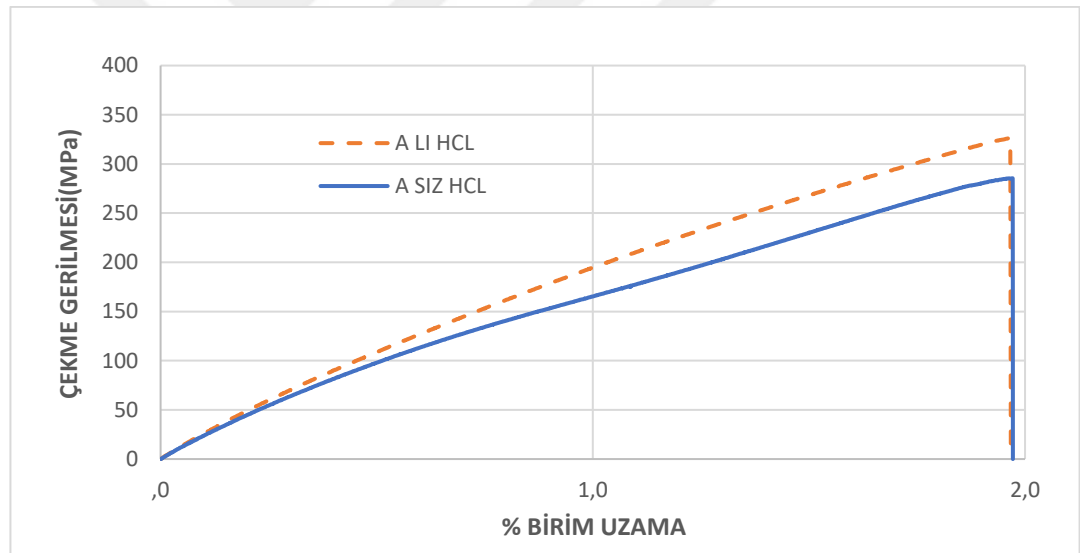
Şekil 5. 33 : Alümina Katkılı Ve Katkısız 4.Ay Tuzlu Su Ortamından Çıkarılan Çekme Testleri

4 ay tuzlu su ortam yaşlandırma testlerinden sonra 3.ay testlerine göre çekme mukavemetinde %3-5 oranında azalmanın meydana geldiği birim uzama da ise belirgin bir değişimin gözlemlenmediği yorumlanmıştır. Uzama da ortalama gözle görülebilir bir değişimin olmayışı artık bozunmanın çok az olduğu değerlendirilmiştir (Şekil 5.32, Şekil 5.33).

4.ay HCl asitli su şartlandırılmış ortamından alınan 4 er adet numune de çekme testine tabi tutulmuş ve grafiklendirilmiştir.



Şekil 5. 34 : 4.ay HCl asitli Su Ortam Numunelerin Çekme Testleri

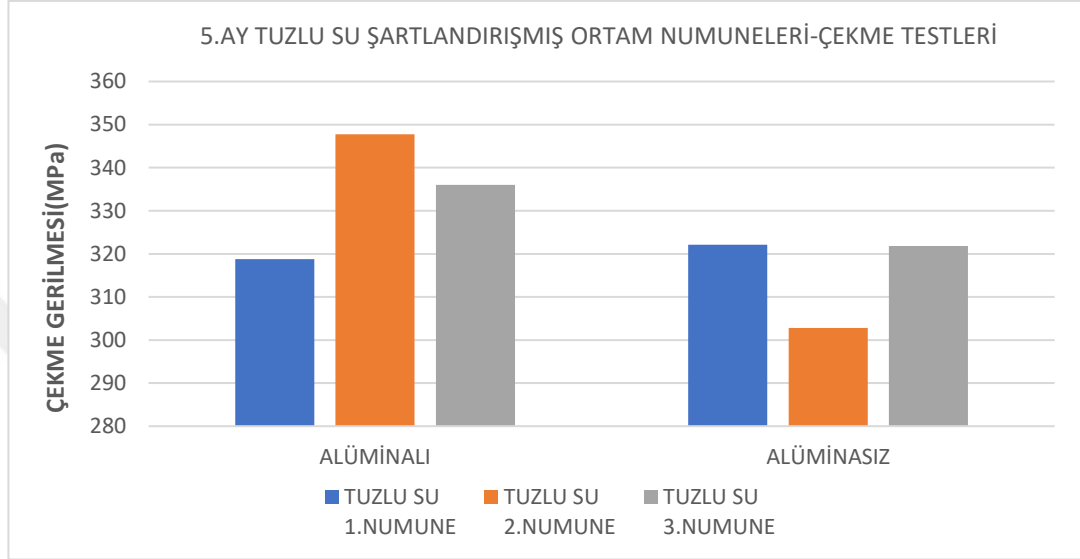


Şekil 5. 35 : Alümina Katkılı Ve Katkısız 4.Ay HCl asitli Su Ortamından Çıkarılan Çekme Testleri

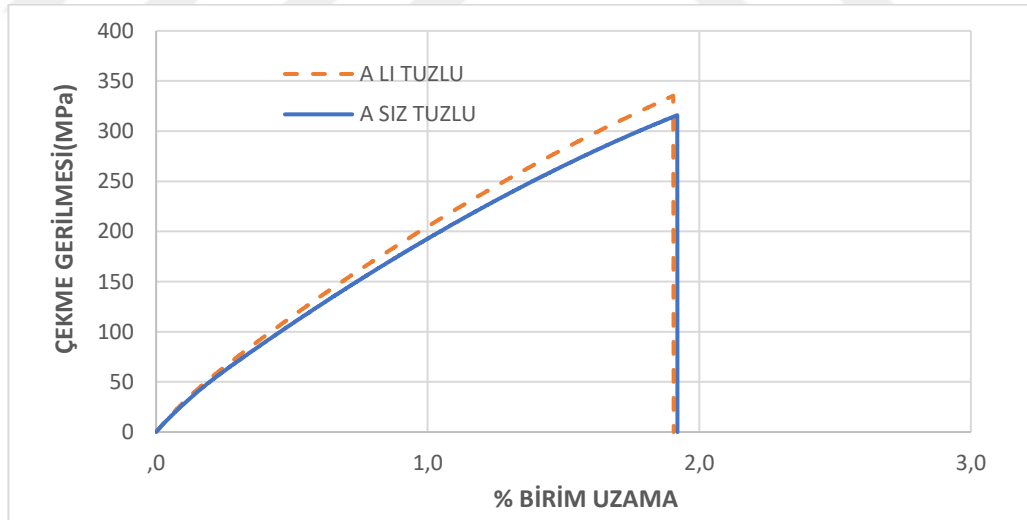
4 ay HCl asitli su şartlandırılmış ortamından çıkarılıp testleri yapılan numunelerin çekme mukavemet azalması devam etmiş. Numunelerde ortalama % 8-10 civarında çekme mukavemet azalması meydana geldiği Şekil 5.34, Şekil 5.35 de gözlemlenmiştir.

5.Ay Yaşlandırma Testleri

Son ay testlerimiz olan 5 ay testlerinde de 3'er adet numune teste tabi tutulmuştur. Numunelerin kurutma ve temizlik işlemleri önceki testlerdeki gibi tekrarlanmıştır.



Şekil 5. 36 : 5.ay Tuzlu Su Ortam Numunelerin Çekme Testleri

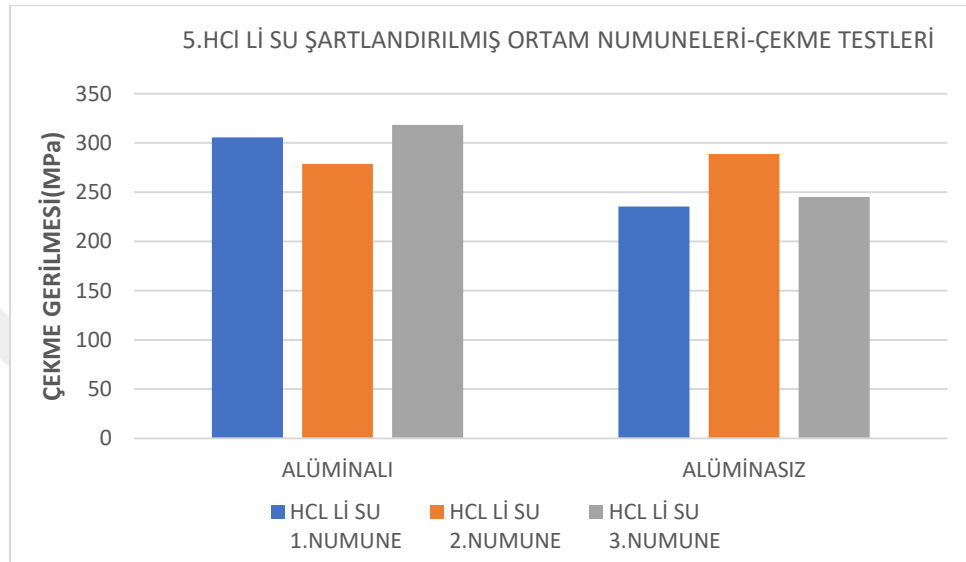


Şekil 5. 37 : Alümina Katkılı Ve Katkısız 5.Ay Tuzlu Su Ortamından Çıkarılan Çekme Testleri

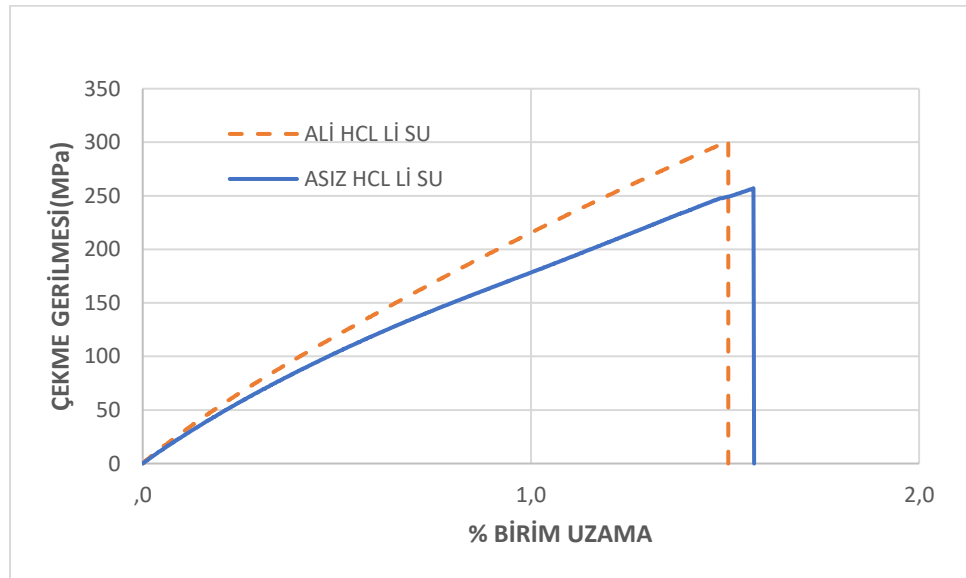
Tuzlu su ortamından çıkarılan numunelerin çekme testleri uygulanması neticesinde önceki aya göre alüminalı olanlarda ortalama bozunma % 0,85 – 1,5 aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Nanokompozit malzemelerin artık doyuma ulaştığı ve

bozunmanın da neredeyse durduğu şekillerdeki verilerimizden yorumlanabilmektedir (Şekil 5.36, Şekil 5.37).

5 ay HCl asitli su şartlandırılmış ortamdaki çıkarılan alümina katkılı ve katkısız numunelerden 3'er adet kurutma ve temizleme işlemleri akabinde son olarak teste tabi tutulmuştur.

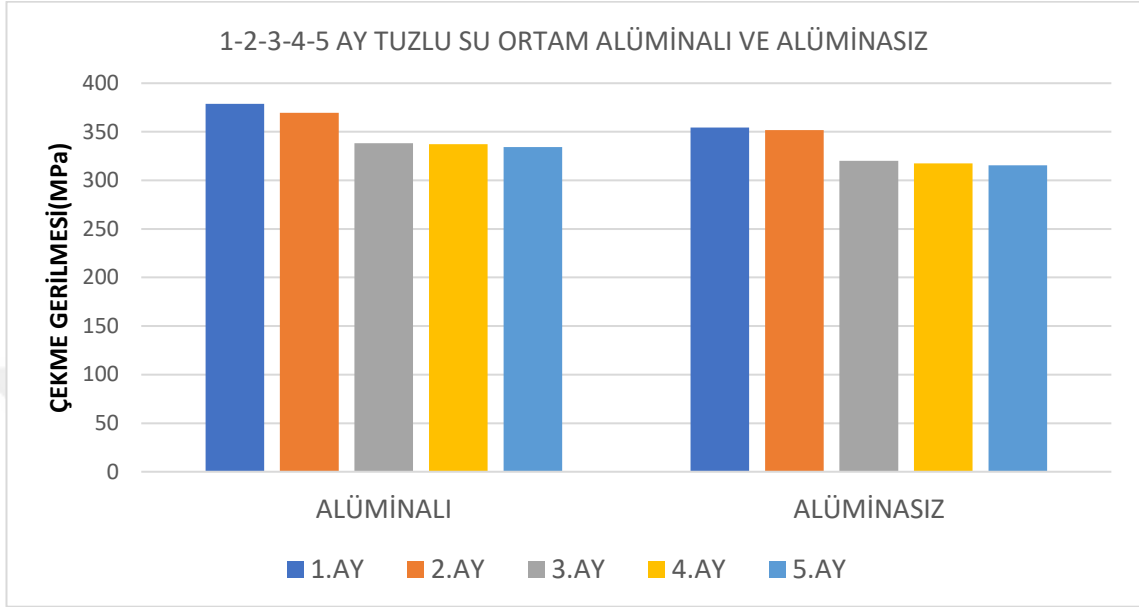


Şekil 5. 38 : 5.ay HCl asitli Su Ortam Numunelerin Çekme Testleri

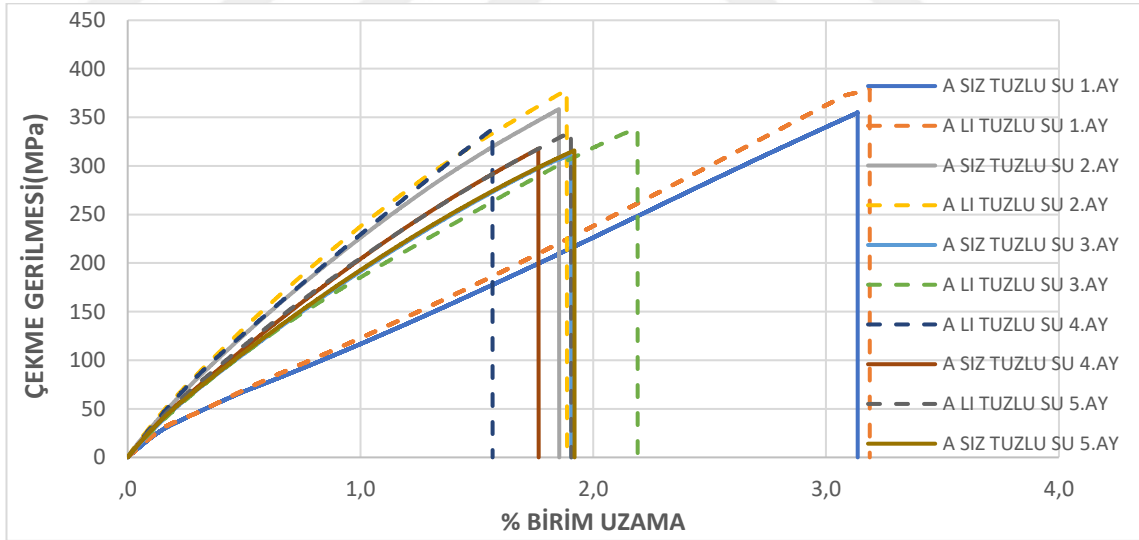


Şekil 5. 39 : Alümina Katkılı Ve Katkısız 5.Ay HCl li Su Ortamından Çıkarılan Çekme Testleri

HCl asitli yaşlandırma testlerinde görüldüğü üzere bozunmanın hala devam ettiği görülmektedir. Ortalama % 5 – 8 oranında azalmanın olduğu grafiklerimizden yorumlanabilmektedir (Şekil 5.38, Şekil 5.39).



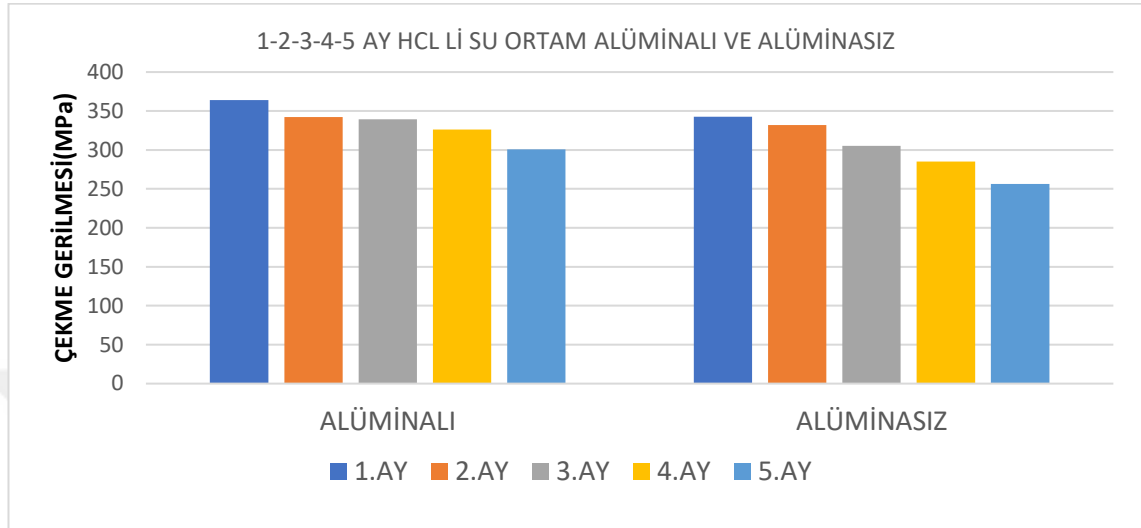
Şekil 5. 40 : Tuzlu Su Ortam 1-2-3-4-5.ay Numunelerin Ortalama Değerlerinin Çekme Testleri



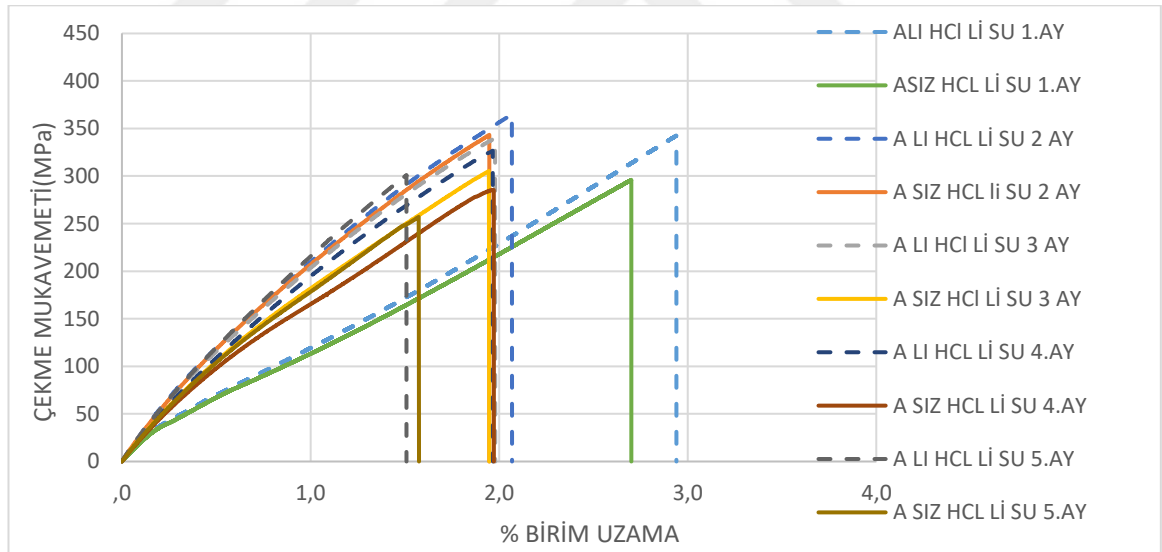
Şekil 5. 41 : Tuzlu su ortamından çıkarılan 3. ay numunelerinin çekme testlerinin kıyaslanması

İlk ayda matris malzeme olan epoksiye az miktarda emilim olduğunun değerlendirildiği ve mukavemet değerlerinin azalmanın az miktarda olduğu, 2.ayda çekme gerilmesi değerlerinde iç yapıya difüzyon(emilim) başlaması ile yaklaşık %10 azalma olduğu ve 3-4-5. aylarda da bozunmanın azalarak devam ettiği gözlemlenmiştir.

Şekil 5.40 ve Şekil 5.41 de görüldüğü üzere bozunmanın 2-3-4-5 aylar arasında matris malzemeye yavaş yavaş difuze olduğu ve matrisin tutuculuğunu azaltarak korozif ortam sıvılarından kaynaklı çekme mukavemetlerinde düşüş yaşandığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 5. 42 : HCL li Su Ortam 1-2-3-4-5.ay Numunelerin Ortalama Değerlerinin Çekme Testleri



Şekil 5. 43 : HCL asitli ortamlardan çıkarılan numunelerinin 1-2-3-4-5.ay çekme testlerinin kıyaslanması

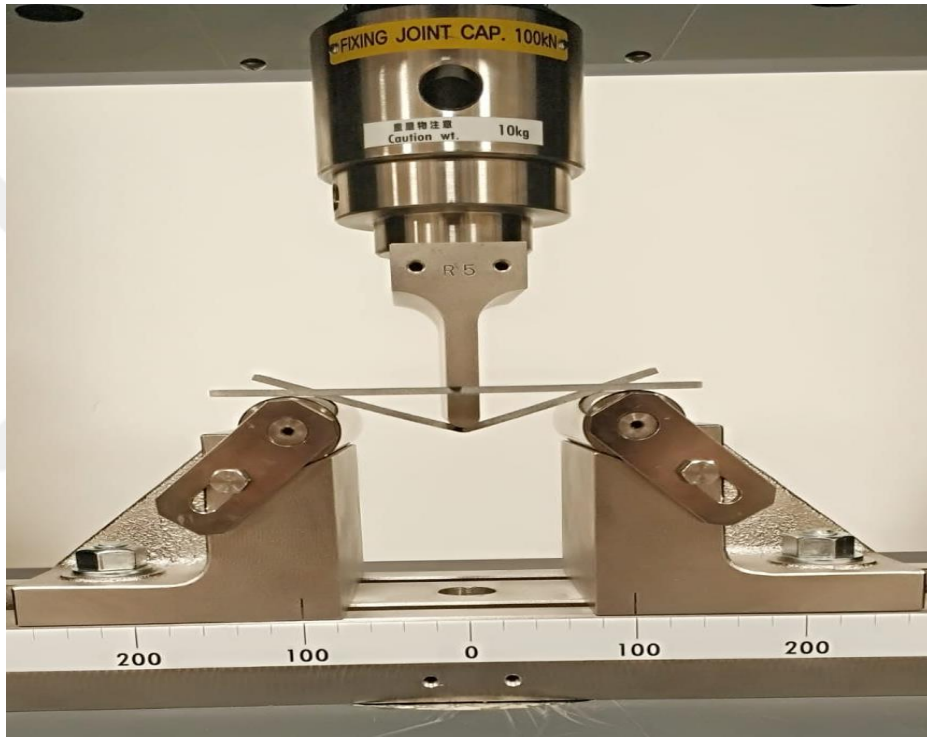
Tuzlu su ve hidroklorik asitli su ortamlarından çıkarılan numunelerin alümina katkısı olanlarda uzama ve çekme mukavemeti özelliklerinin katkısız olanlara oranla daha iyi olduğu görülmüştür. Hidroklorik asitli su ortamından çıkan numunelerin daha fazla deformasyona uğraması sebebi ile çekme mukavemet özellikleri tuzlu sulu ortama göre daha kötü olduğu Şekil 5.42 ve Şekil 5.43' te görülmektedir. Özellikle 2.,3., 4. ve 5.

aylarda birbirine yakın değerlerde azalan bir çekme mukavemeti ve % birim uzama değişimi görülmektedir.

5.2.2. Korozi ortamlara(Tuzlu su ve HCl) alümina katkı ve katkısız kompozitlerin 3 nokta eğilme testleri

1.Ay yaşlandırma sonrası eğilme testleri

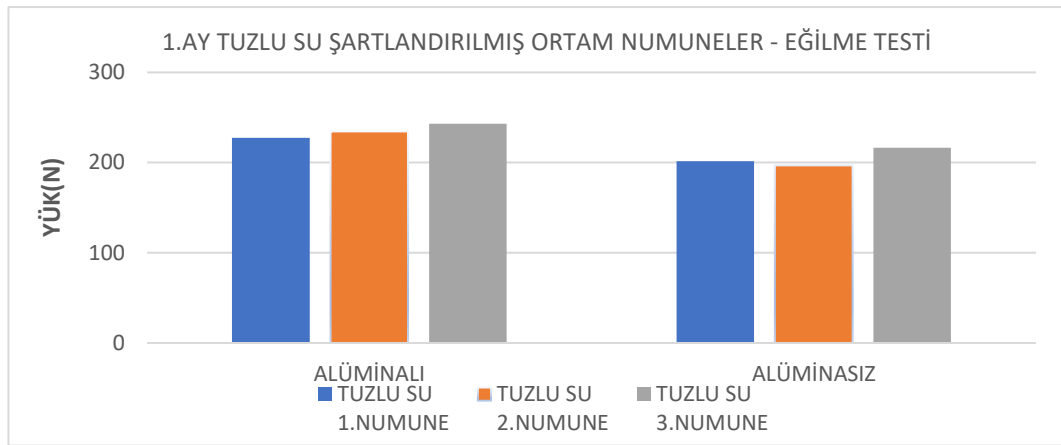
Korozi ortamlardan çıkarılan eğilme test numunelerinin kurutma ve temizlik işlemleri sonrasında eğilme testleri yapılmıştır.



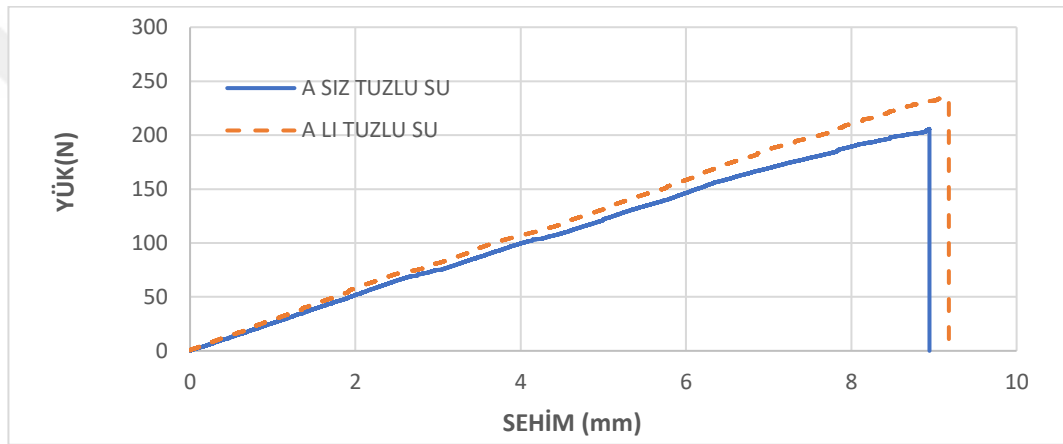
Şekil 5. 44 : Korozi Ortamlara Bırakılan Numunelerin Eğilme Testleri

Tuzlu su ortamdan çıkarılan numunelerin eğilme testleri aynı şartlarda yapılmış ve Şekil 5.44'deki gibi eğilme test cihazında gerçekleştirilmiştir. Tuzlu su ortamından çıkarılan numunelerin yüzeylerinde de asitli su ortamına göre daha az deformasyonlar bulunmaktadır. Şartsız ortam numunelerinin testlerine oranla yük taşıma ve uzama kapasitesinde azalmanın olacağı görülmektedir.

Kurutma ve temizleme işlemleri yapılan 3 er adet numunenin grafiklendirme işlemleri yapılmıştır.



Şekil 5. 45 : Tuzlu Su Ortam 1.ay Numunelerin Eğilme Testleri



Şekil 5. 46 : 1.ay Tuzlu su ortamından çıkartılan alümina katkılı ve katkısız kompozitlerin 3 nokta eğilme testleri

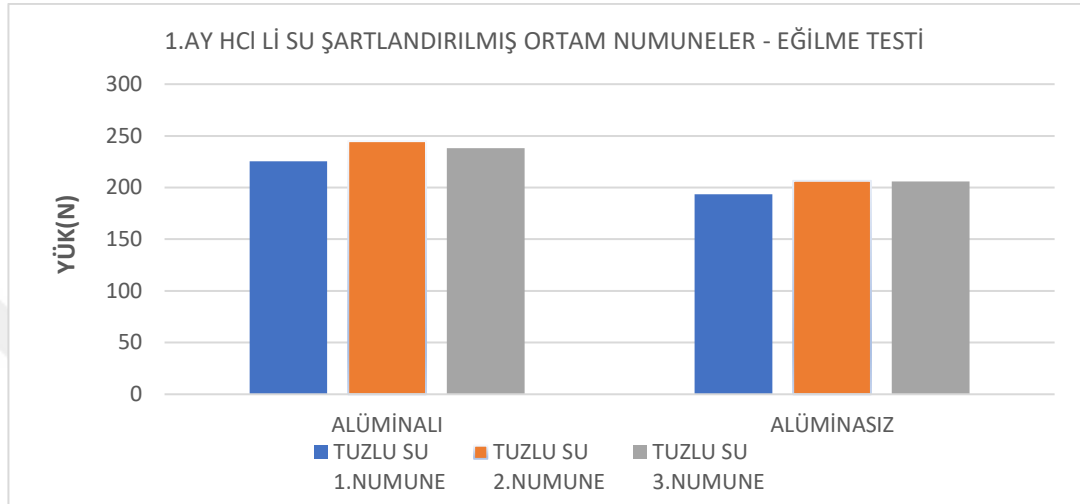
Seyreltilmiş tuzlu suyun epoksiye emilim sonucunda şartlandırılmış ortama göre %8-10 oranında yük taşıma kapasitesinde azalma olduğu Şekil 5.45, Şekil 5.46'da grafikten çıkarılabilmektedir.



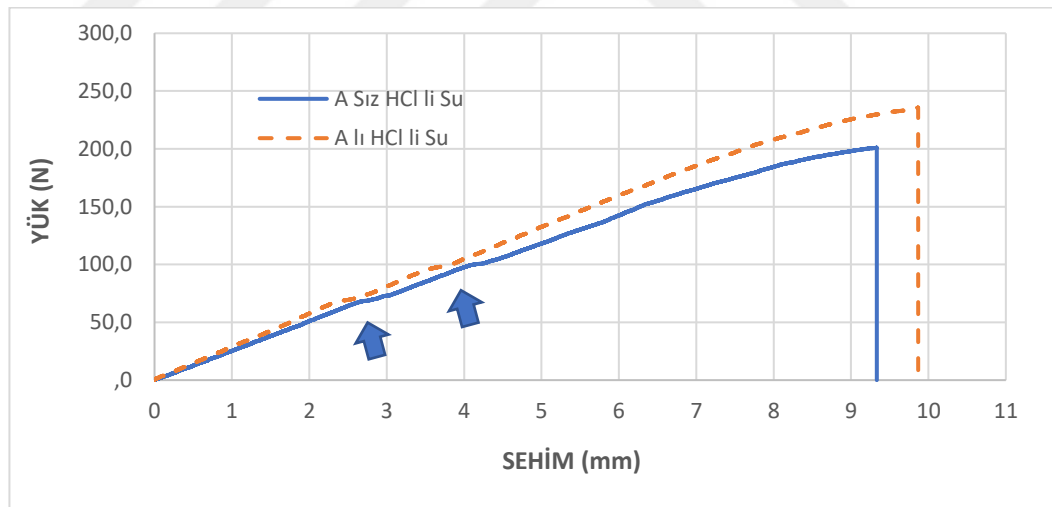
Şekil 5. 47 : Hidroklorik asitli sudan çıkarılın 3 nokt eğilme numunesi kısa kenar yan kesit deformasyonları makro fotoğrafı

Hidroklorik asitli sudan çıkarılan numunelerdeki renk ve yüzeysel deformasyonlar makro boyutlu fotoğrafta Şekil 5.47 te görülebilmektedir.

Kurutma ve temizlik işlemleri bitirilen 3 numunenin eğilme testi sonrası verileri ve grafiklendirmesi Şekil 5.48 ve 5.49 te verilmiştir.



Şekil 5. 48 : HCL li Su Ortam 1.ay Numunelerin Eğilme Testleri

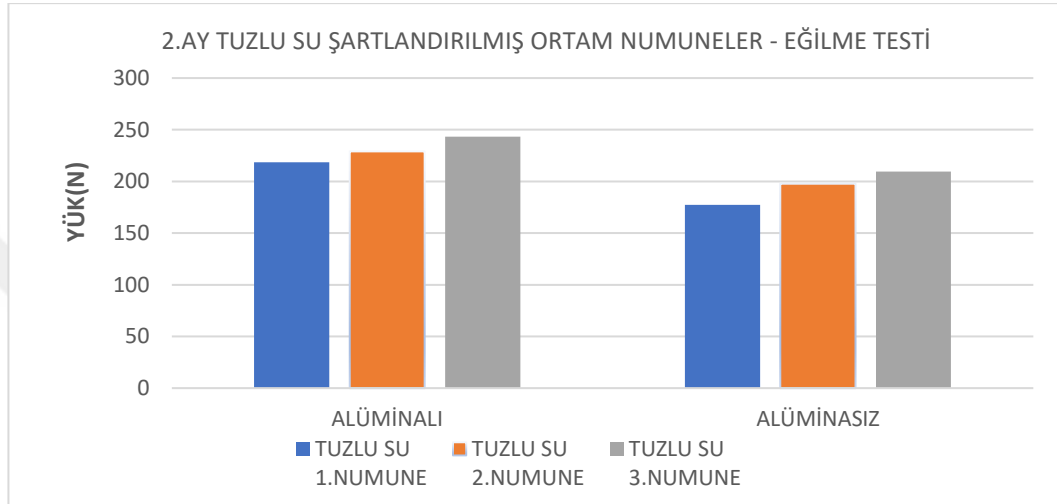


Şekil 5. 49 : 1. Ay Hidroklorik asitli su ortamından çıkartılan alümina katkılı ve katkısız kompozitlerin 3 nokta eğilme testleri

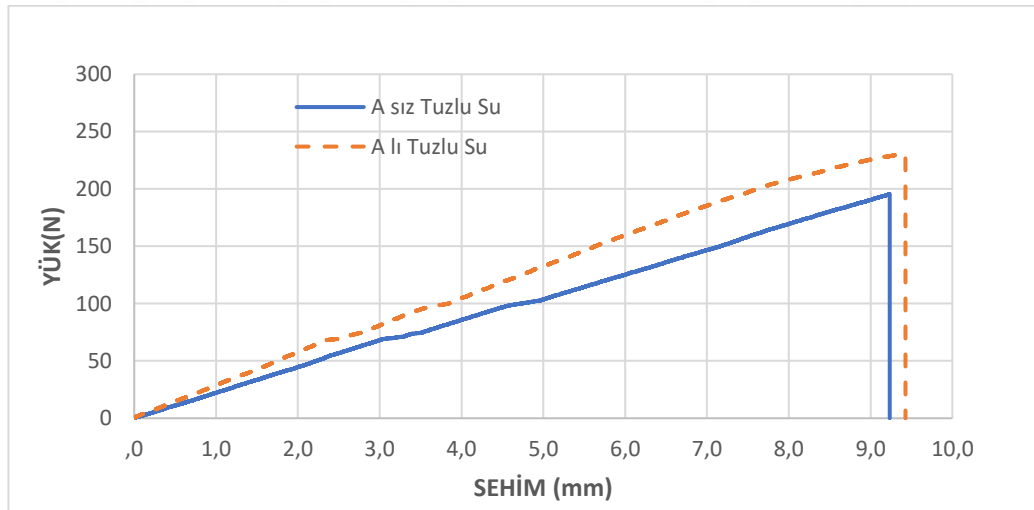
Hidroklorik asitli suda bekletilen numunelerde yüzeysel ve kompozitin renginde deformasyonlar meydana gelmiştir. Yük taşıma kapasitesi de 1.ay sonunda %10-12 azalmıştır. Şekil 5.49’da mavi oklarla gösterim yapılan yerlerde alüminasız numune tabakalar arasında kaymaların olabileceği yorumlanmıştır.

2.Ay yaşılandırma sonrası eğilme testleri

Teslerin 2. Ay sürecinde aynı koşullarda bekletmeye devam edilen numuneler 3 er adet hazırlarak eğilme testleri yapılmıştır. Test sonuçları Şekil 5.50, Şekil 5.51 de verilmiştir.



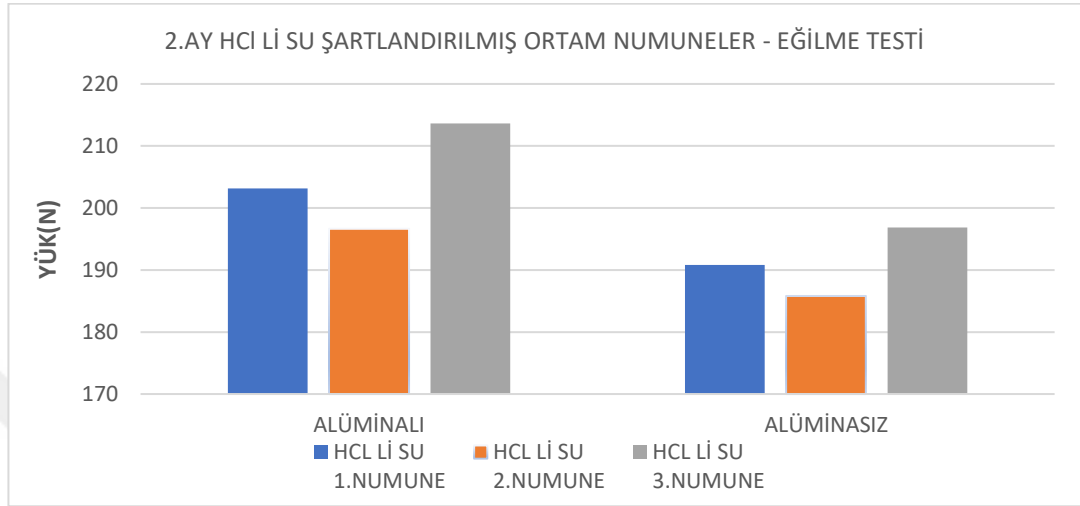
Şekil 5. 50 : Tuzlu Su Ortam 2.ay Numunelerin Eğilme Testleri



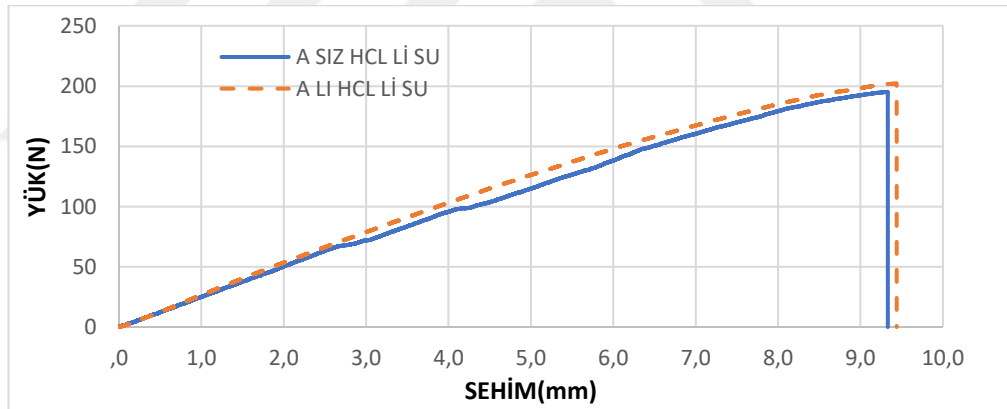
Şekil 5. 51 : Tuzlu su ortamından çıkartılan alümina katkılı ve katkısız kompozitlerin 3 nokta eğilme testleri 2. Ay

Tuzlu su ortamdan çıkarılan katkılı ve katkısız bazalt epoksi kompozitlerin eğilme test sonuçları Şekil 5.51'de verilmiştir. Sonuçlar neticesinde taşıma kapasitesi %3-5 oranında azaldığı görülmüştür.

%2,5 seyreltilmiş HCl asitli su ortamdan çıkarılan 3 er adet numune yine kurutma ve temizlik işlemleri yapıldıktan sonra eğilme testleri yapılmış sonuç grafikleri Şekil 5.52 ve Şekil 5.53'de verilmiştir.



Şekil 5. 52 : HCL li Su Ortam 2.ay Numunelerin Eğilme Testleri

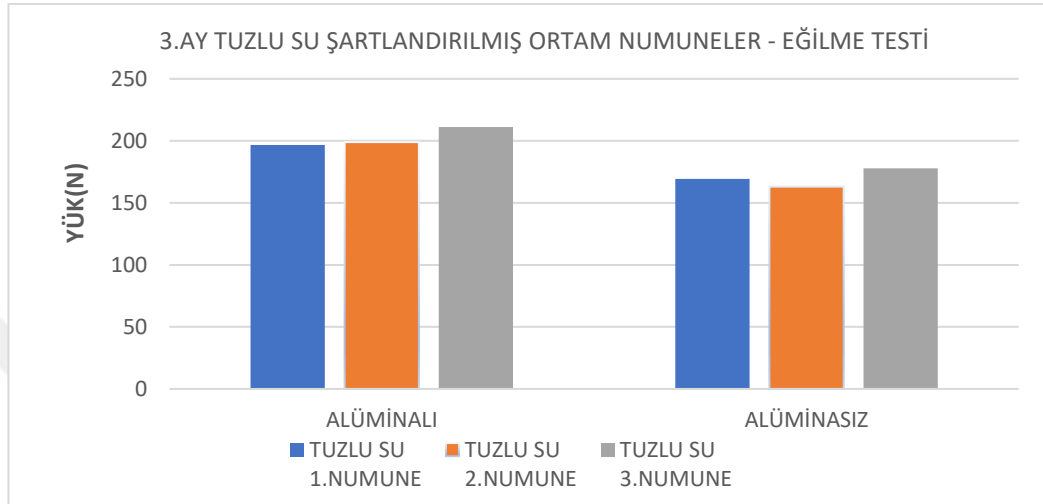


Şekil 5. 53 : Hidroklorik asitli su ortamından çıkartılan alümina katkı ve katkısız kompozitlerin 3 nokta eğilme testleri 2. Ay

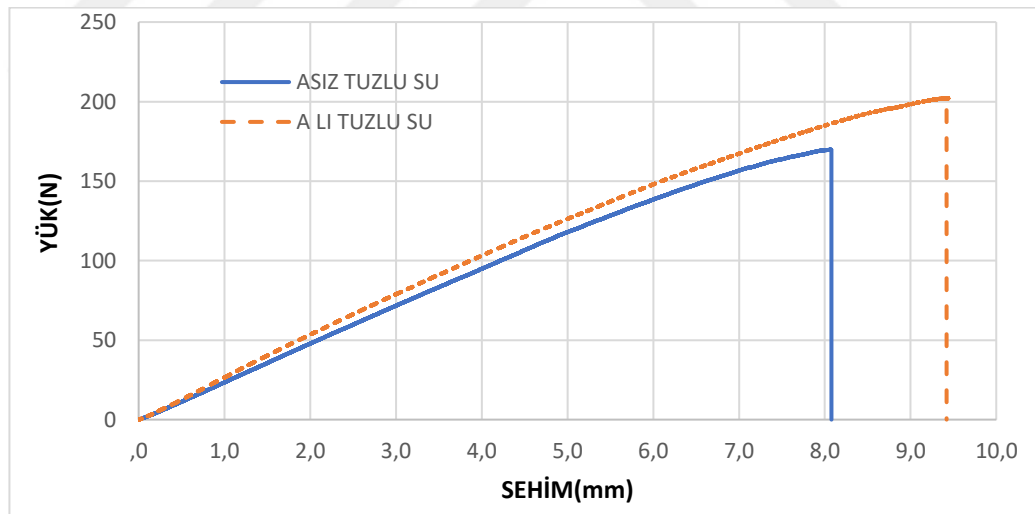
2.ay sonunda yapılan 3 nokta eğilme testlerinde yük taşıma kapasitelerindeki azalma yaklaşık %4-6 oranında gerçekleşmiştir(Şekil 5.53). Hidroklorik asitli sudan çıkarılan numunelerin deformasyonu önceki aydaki gibi tuzlu su numunelerine göre daha fazla olmuştur.

3.Ay yaşlandırma sonrası eğilme testleri

3. ay sonun da tüm süreçlerde uygulanan prosedürler çerçevesinde hazırlanan tuzlu su ortamında bekletilen 3 er adet numuneye eğilme testleri uygulanmış ve grafikleri Şekil 5.54 ve Şekil 5.55 de sunulmuştur.



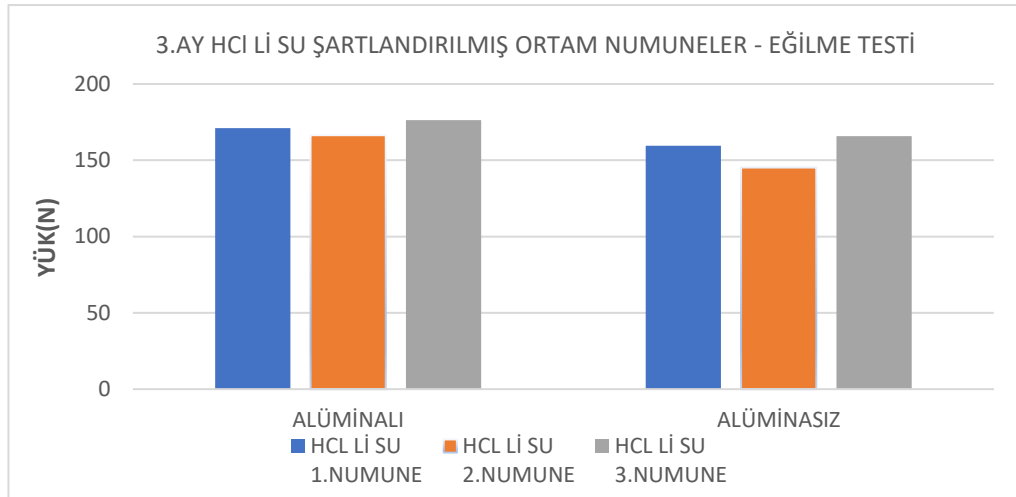
Şekil 5. 54 : 3.ay Tuzlu Su Ortam Numunelerin Eğilme Testleri



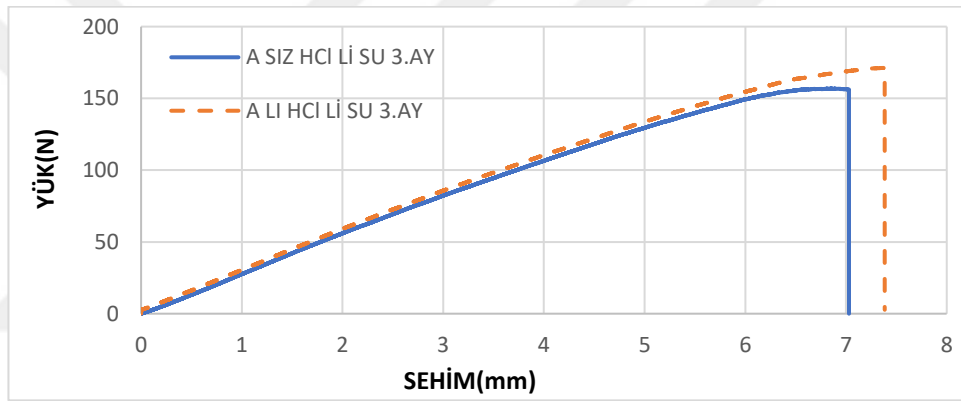
Şekil 5. 55 : 3. ay sonu A lı ve A sız tuzlu su ortam testleri kıyaslanması

Tuzlu su ortamından çıkarılan numunelerde 1 ve 2. Ay testlerinden kıyasla %8-10 civarında yük taşıma kapasitesinde azalma olduğu ve sehimde de %10-12 civarında alüminasız numunelerde değişim Şekil 5.55 de görülmektedir.

HCl li ortamdan çıkarılan 3 er adet numune ise aynı kurutma ve temizleme işlemlerinden sonra eğilme testlerine tabi tutulmuştur.



Şekil 5. 56 : 3.ay HCL asitli su ortam Numunelerin Eğilme Testleri

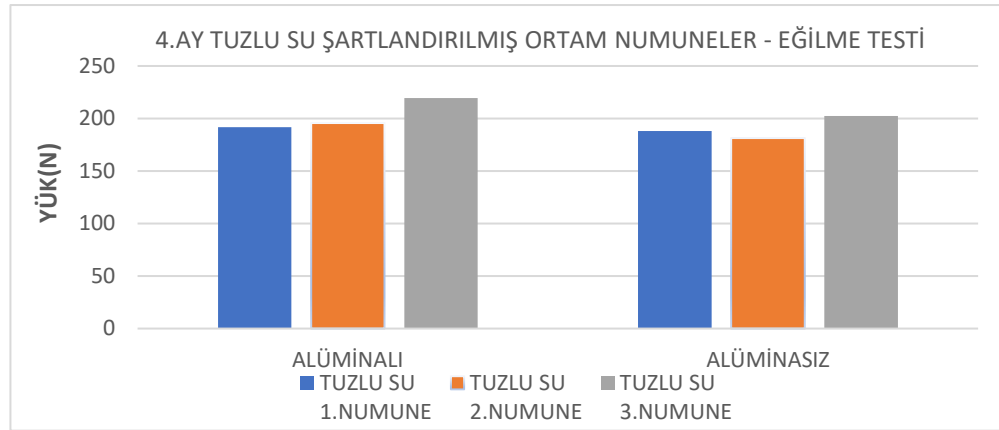


Şekil 5. 57 : A lı ve A sız HCl asitli su ortam testleri 3. ay sonu kıyaslanması

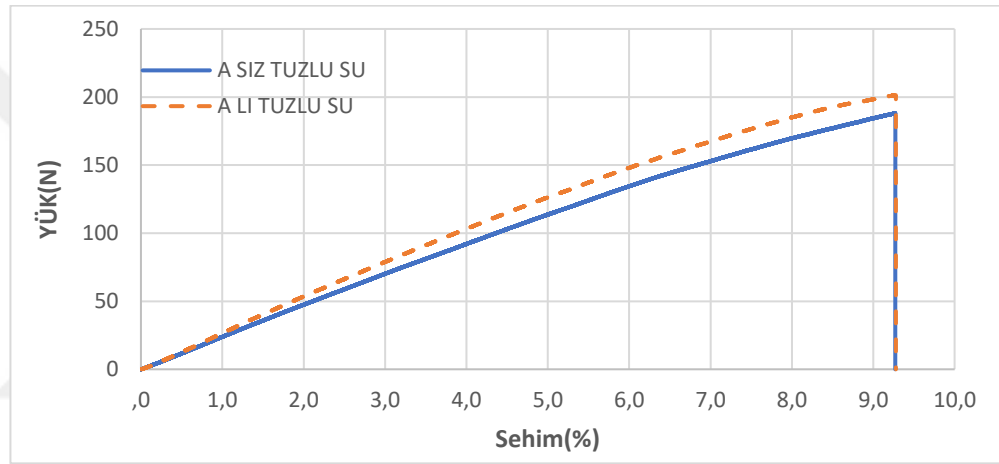
Korozif ortamlarda şartlandırılan bazalt epoksi kompozit numunelerin 3 nokta eğilme testleri sonunda kompozitlerin alüminalı olanların yük taşıma ve uzama kapasiteleri alüminasız olanlara göre daha fazla olduğu görülmüştür (Şekil 5.56, Şekil 5.57). Uzama ve yük taşıma özellikleri korozif ortamlarda hidroklorik asitli su da daha olduğu ve tuzlu su ortamdan çıkarılan kompozitlerin özellikleri daha iyi seviyede olduğu belirlenmiştir.

4.Ay yaşlandırma sonrası eğilme testleri

Tuzlu su ve hidroklorik asitli su şartlandırılmış ortamların 4. Ay testleri için yine 3 er adet numune ortamdan çıkarılmış, kurutma ve temizleme işlemlerinden sonra testlere tabi tutulmuştur.

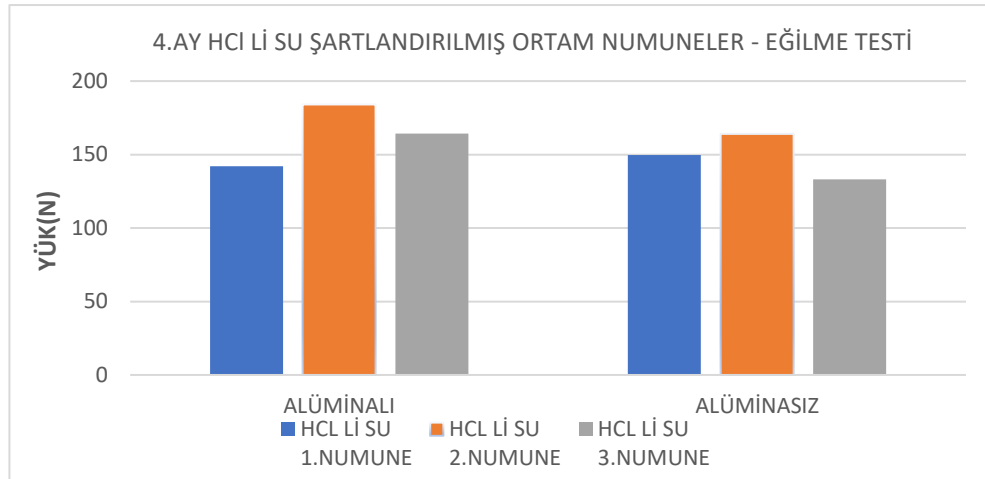


Şekil 5. 58: 4.ay Tuzlu Su Ortam Numunelerin Eğilme Testleri

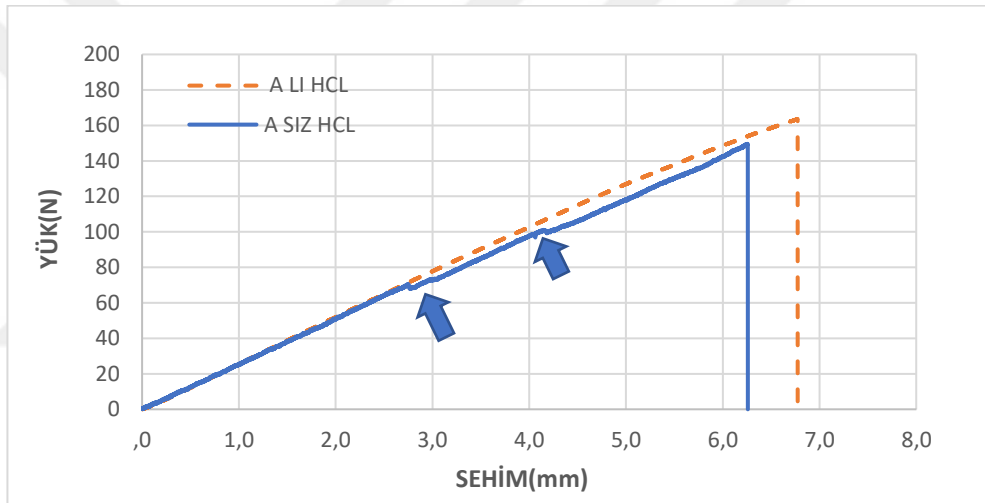


Şekil 5. 59: A lı ve A sız tuzlu su ortam testleri 4. ay sonu kıyaslanması

Tuzlu su ortamına şartlandırılması yapılan ve 4ay test işlemleri yapılan numunelerin 3.ay sonuçlarına göre % 0,5-2 aralığında değişimin olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5.58, Şekil 5.59). Numunelerin artık su emiliminin durduğu ve daha fazla değişimin olmadığı yorunlanmıştır.



Şekil 5. 60: 4.ay HCl li Su Ortam Numunelerin Eğilme Testleri

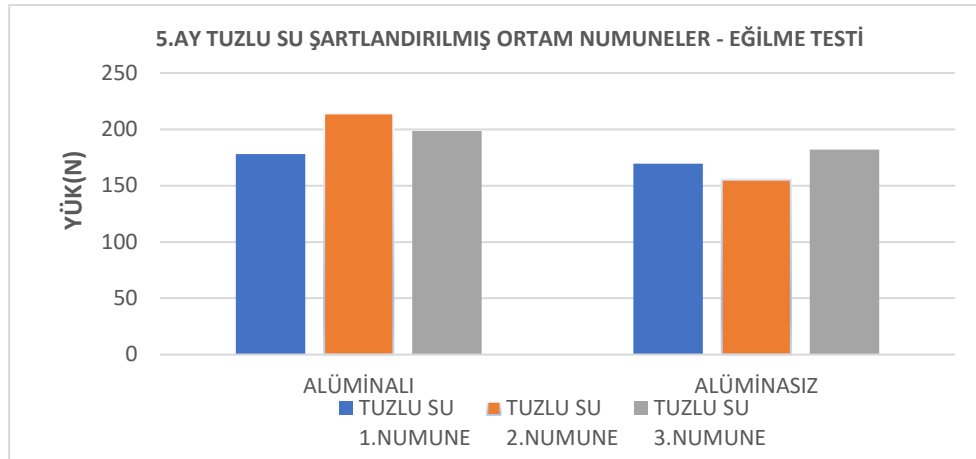


Şekil 5. 61 : A lı ve A sız 4. ay sonu HCl asitli su ortam testleri kıyaslanması

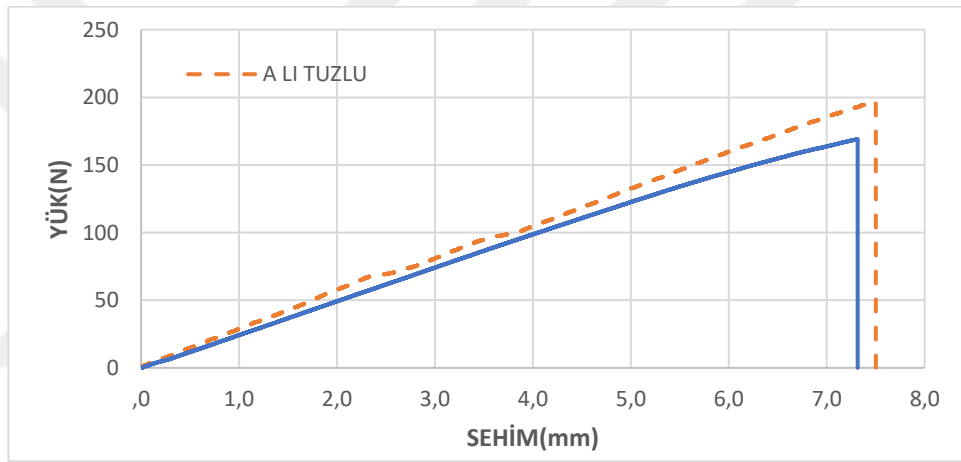
HCL li ortamdan 4.ay sonunda çıkarılan numunelerin test işlemleri gerçekleştirilmiş ve numunenin bu ortamda bozunmaya devam ettiği gözlemlenmiştir. Bozunma ortalama % 3-6 aralığında olduğu grafikler dikkate alınarak değerlendirilmiştir (Şekil 5.60, Şekil 5.61). Grafiğimizde mavi oklar ile gösterilen ve doğrusal olmayan bozuk kısımların numunelerde bölgesel olarak fiber kopmalarının olduğu ancak yük taşımaya devam ettiği olarak yorumlanmıştır.

5. Ay yaşlandırma sonrası eğilme testleri

5 ay sonunda tuzlu su şartlandırılmış ortamında çıkarılan 3 numune son olarak kurutma ve temizleme işlemlerine tabi tutulmuştur.

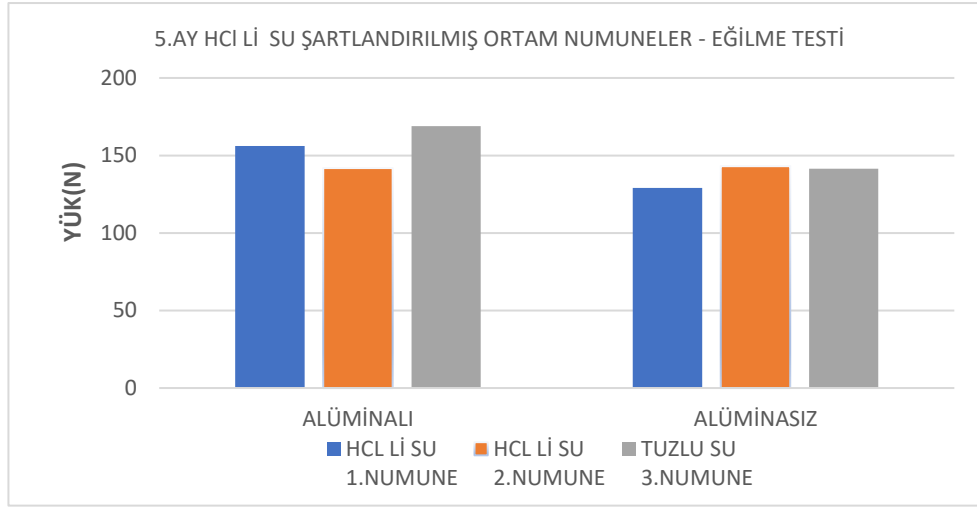


Şekil 5. 62: Tuzlu Su Ortam 4.ay Numunelerin Eğilme Testleri

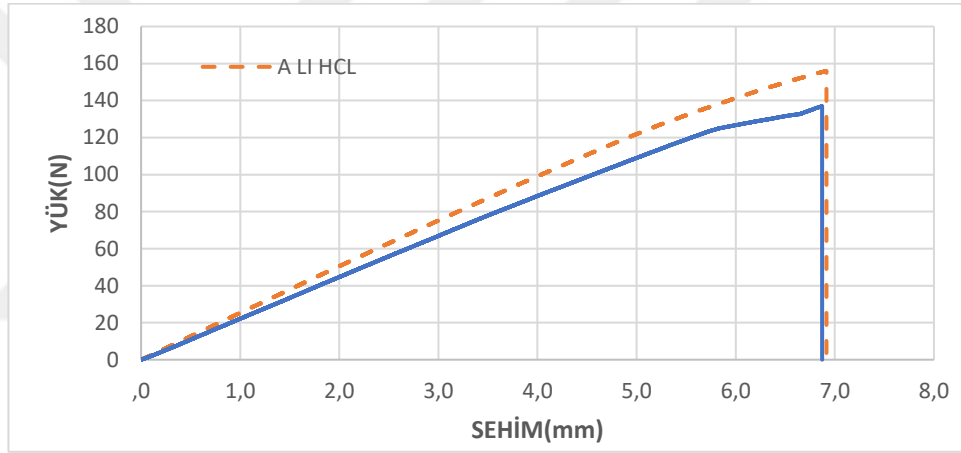


Şekil 5. 63: A lı ve A sız 5. ay sonu tuzlu su ortam testleri kıyaslanması

5 ay sonunda şartlandırılmış ortamından çıkarılan numunelerin 4 aya göre %2-4 aralığında yük taşıma kapasitesinde azalma olduğu gözlemlenmiştir. Artık numunelerde zamana bağlı olarak küçük değişiklikler olduğu yorumlanmıştır (Şekil 5.62, Şekil 5.63). Numunelerin 4. ayda da olduğu gibi emilimin fazla olmadığı ve bozunmanın göz ardı edilecek kadar az olduğu değerlendirilmiştir.



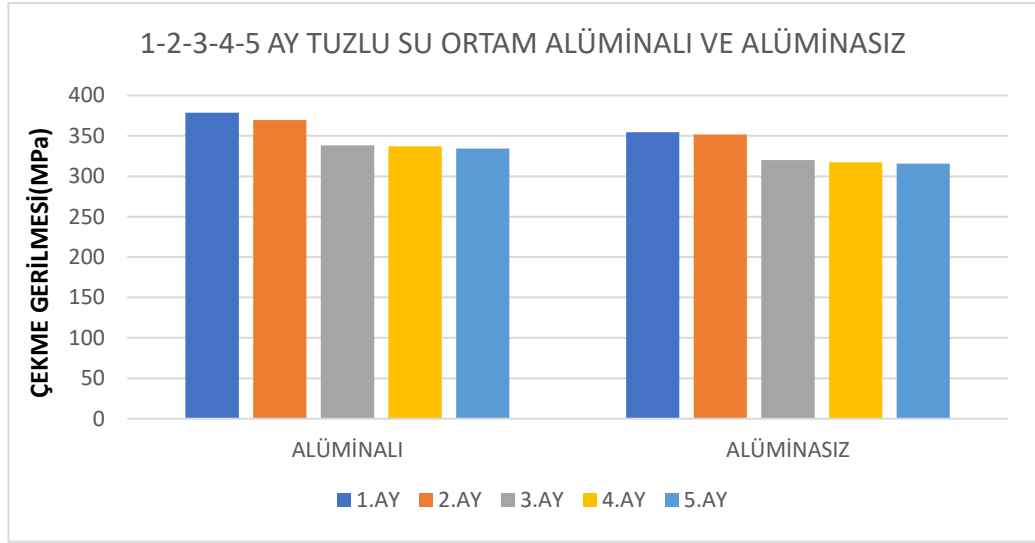
Şekil 5. 64: HCl li Su Ortam 5.ay Numunelerin Eğilme Testleri



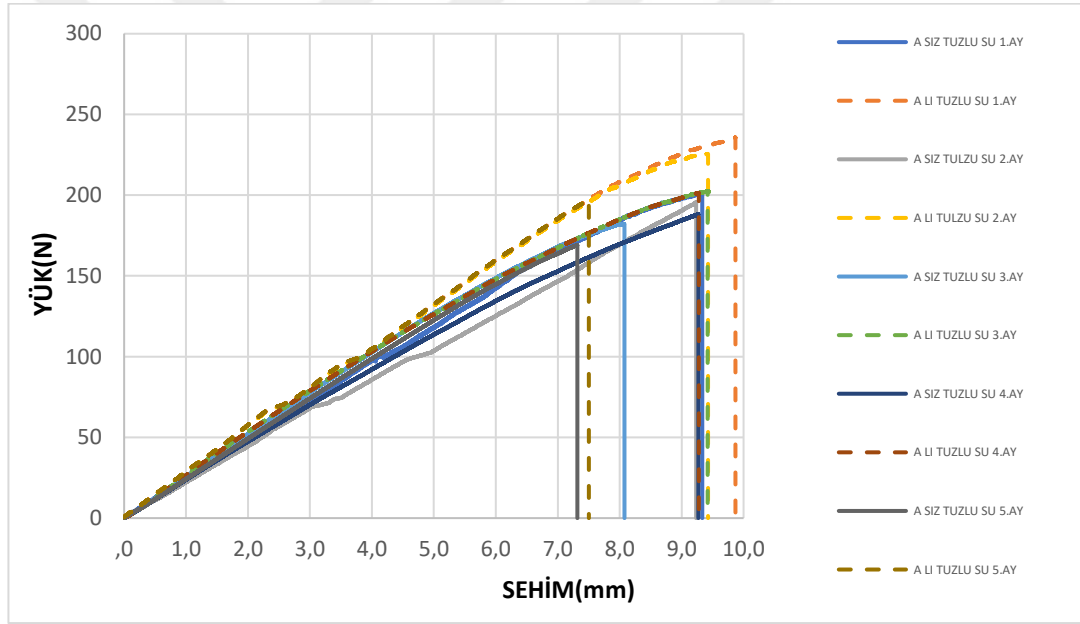
Şekil 5. 65 : A lı ve A sız HCl asitli su ortam testleri 5. ay sonu kıyaslanması

Son ay olan 5.ay testlerinde HCl asitli ortamdan çıkarılan numuneler de bozunmaların devam ettiği görülmüştür. Şekil 5.64 ve şekil 5.65 te de görüldüğü üzere % 3,5-7 aralığında yük taşıma kapasitesinde değişimin olduğu tespit edilmiştir. Bozunmaların asidik ortamda azalarak devam ettiği tüm grafikler dikkate alınarak yorumlanabilmektedir.

5 ay sonunda tuzlu su ve HCl asitli su şartlandırılmış ortamlarından 3 er adet çıkarılıp testleri yapılmış numunelerin ortalamaları ile grafiklendirilmeleri yapılmıştır.



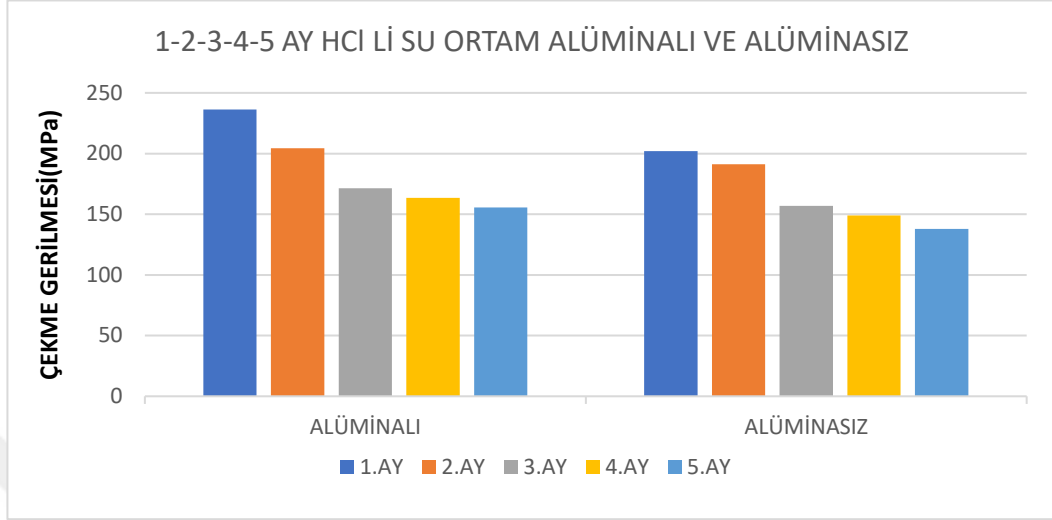
Şekil 5. 66: Tuzlu Su Ortam 1-2-3-4-5.ay Numunelerin Ortalama Değerlerinin Eğilme Testleri



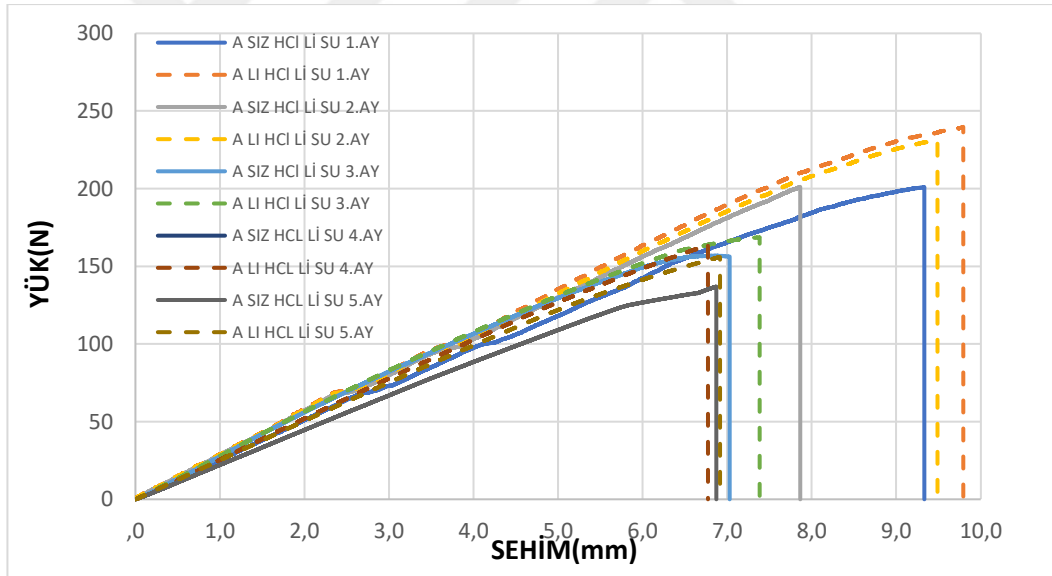
Şekil 5. 67 : A lı ve A sız Tuzlu Su Ortam Testleri 1-2-3-4-5. Aylar Sonu Kıyaslanması

1-2-3-4-5 aylarda yapılan testler sonucunda tuzlu su şartlandırılmış ortamından çıkarılıp testleri yapılan numunelerin ilk ay sonuna kadar emilim az seviyede olması sebebi ile mekanik özelliklerde diğer aylara göre daha az değişim olmuştur. 2.ay sonunda ise yapılan testlerle emilimin fazla olması sebebi ile yük taşıma kapasitemiz azalmaya başlamış ve 4. ay sonunda yapılan testlerde emilimin azaldığı emilimin az olması matrisin doymaya yaklaştığı olarak değerlendirilmiştir. 5.ay da ise yük taşıma kapasitesinin çok

az olması sebebi ile de emiliminin durmaya yakın olduğu ve artık bozunmanın nerdeyse olmadığı sonucuna varılmıştır (Şekil 5.66, Şekil 5.67).



Şekil 5. 68 : HCl li Su Ortam 1-2-3-4-5.ay Numunelerin Ortalama Değerlerinin Çekme Testleri



Şekil 5. 69 : A lı ve A sız HCl Su Ortam Testleri 1-2-3-4-5. Aylar Sonu Kıyaslanması

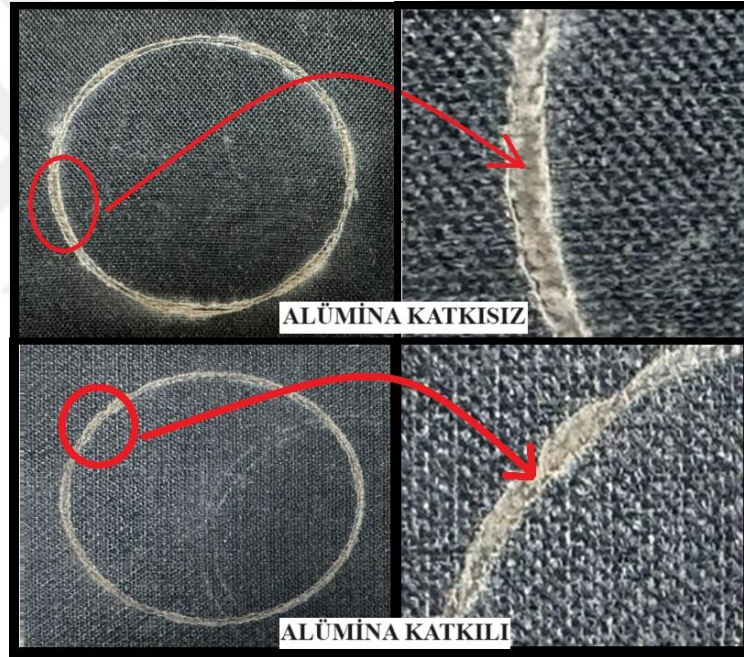
1-2-3-4-5 aylarda yapılan testler sonucunda HCl asitli su şartlandırılmış ortamından çıkarılıp testleri yapılan numunelerin ilk ayda emilim az olması sebebi ile diğer aylara göre yük taşıma kapasitesi tuzlu su ortamındakine benzer şekilde az miktarda bir azalma olmuş ve 2.aydan itibaren yük taşıma kapasitesi % 10-15 civarında azalarak devam etmiştir. 4.ay sonunda emilim çok az olmuş ve yük taşıma kapasitesi azalma oranı %3-5 lere kadar düşmüştür. HCl asitli su ortamındaki numunelerin 5. Ay sonunda da az

miktarda da olsa devam etmiştir. Tuzlu su ve asitli ortamın aynı süredeki testlerine bakıldığında asitli ortamın malzemeye verdiği zararın daha fazla olduğu ve olmaya da devam ettiğini göstermiştir.

5.2.3. Korozyon ortamlara (Tuzlu su ve HCl) alümina katkı ve katkısız kompozitlerin Pin on Disk aşınma testleri

1. Ay yaşlandırma testleri

Katkılı ve katkısız bazalt epoksi numunelerinin aşınma mekanizması yine kurutma ve temizleme işlemleri sonrasında yapılmıştır. Katkısız ve katkılı numunelerde aşınma makro fotoğrafları çekilerek Şekil.5.70’te gösterilmiştir.



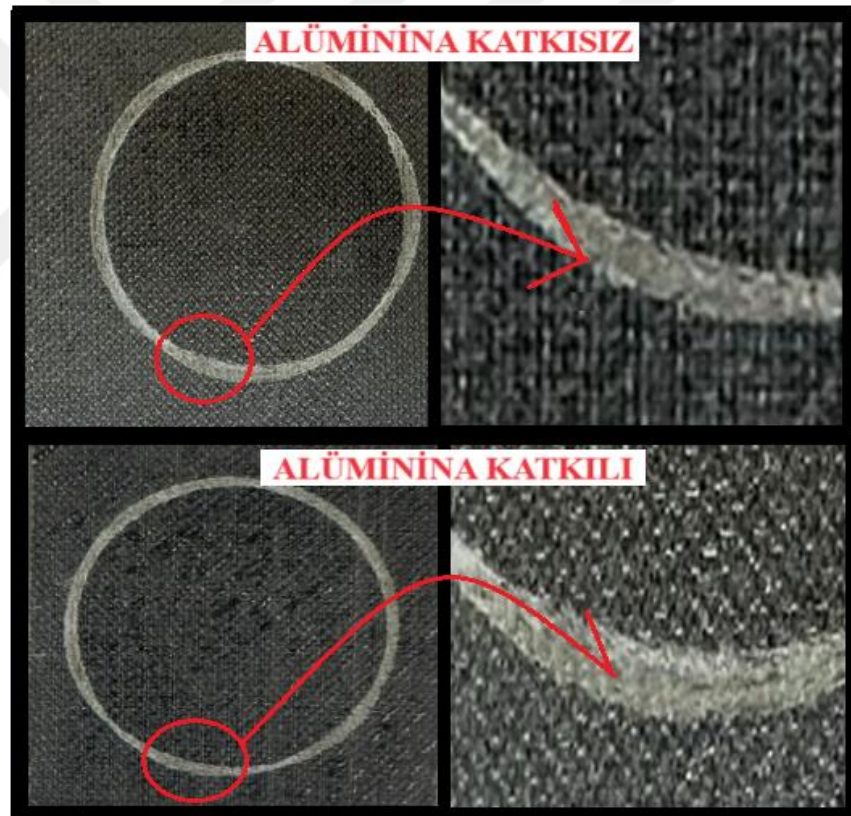
Şekil 5. 70: Tuzlu su ortamından çıkarılan numunelerin aşınma testleri sonrası makro fotoğrafları

Test sonrası numunelerde de alümina katkısının aşınmanın katkısız numunelere göre daha az olduğu fotoğrafta da gözlemlenmektedir.

Çizelge 5. 2: Alümina katkılı(A lı) ve katkısız(A sız) numunelerin 1.ay tuzlu su ortam aşınma test sonuçları

NUMUNE	İLK AĞIRLIK (gr)	SON AĞIRLIK (gr)	DEĞİŞİM (gr)	DEĞİŞİM (%)
A sız Tuzlu Su - 1	30,3982	30,1710	0,2272	0,75
A sız Tuzlu Su - 2	31,7490	31,5188	0,2302	0,73
A sız Tuzlu Su - 3	30,3630	30,1408	0,2222	0,73
A lı Tuzlu Su - 1	31,5432	31,3843	0,1589	0,50
A lı Tuzlu Su - 2	31,3475	31,1804	0,1671	0,53
A lı Tuzlu Su - 3	33,3371	33,1665	0,1706	0,51

Tuzlu su şartlandırılmış ortamda bulunan ve 1.ay pin on disk aşınma testleri yapılan numunelerde Çizelge 5.2 de görüldüğü üzere alümina katkısız numunelerin aşınmaları katkılı olanlara oranla yaklaşık %25 daha fazladır.



Şekil 5. 71 : HCl asitli su ortamından çıkarılan numunelerin aşınma testleri sonrası makro fotoğrafları

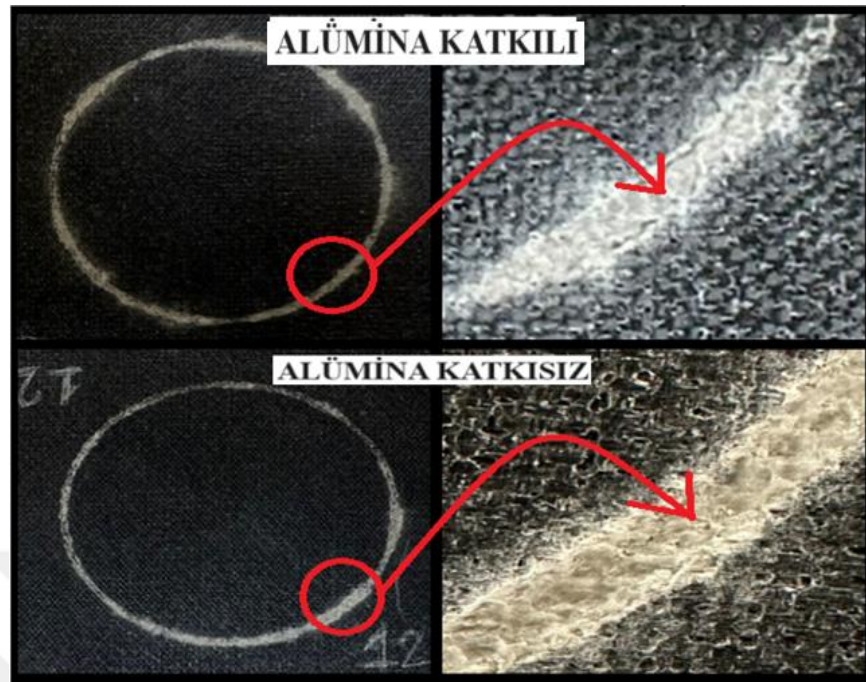
Çizelge 5. 3 : 1.ay Hidroklorik asitli su ortamından çıkarılan Alüminalı(A lı) ve Alüminasız(A sız) numunelerin aşınma test sonuçları

NUMUNE	İLK AĞIRLIK (gr)	SON AĞIRLIK (gr)	DEĞİŞİM (gr)	DEĞİŞİM (%)
A sız HCl li Su - 1	31,8255	31,5158	0,3097	0,97
A sız HCl li Su - 2	31,2425	30,9452	0,2973	0,95
A sız HCl li Su - 3	29,9482	29,6702	0,2780	0,93
A lı HCl li Su - 1	32,6678	32,3935	0,2743	0,84
A lı HCl li Su - 2	32,5725	32,3101	0,2624	0,81
A lı HCl li Su - 3	31,8585	31,5902	0,2683	0,84

Hidroklorik asitli su ortamından çıkarılan numunelerde görüntü olarak farklı olmasının sebebi asidik ortamda malzemenin daha fazla bozunduğu göstermektedir. Seyreltilmiş asitli su epoksi kompozit katmanlarına difüze olurken daha fazla bozunma olduğu test sonuçları Çizelge 5.3.de verilmiştir.

2.Ay yaşlandırma testleri

Korozif ortamlardan çıkarılan numuneler daha önceki testlerdeki gibi kurutma ve temizleme işlemleri sonrasında teste tabi tutulmuştur. Pin on disk aşınma testlerinde HCl asitli su ortamından çıkarılan numunelerin yüzeylerindeki en belirgin deformasyon renk değişimidir. Tuzlu su ortamından çıkarılan numunelerde ise aşınmalarda bilye izlerinde aşınan malzemeye beraber beyaz tozlanma gözükmemektedir. Bu da yüzeyin tuz emilimi ile alakalı olduğu yorumlanmıştır.



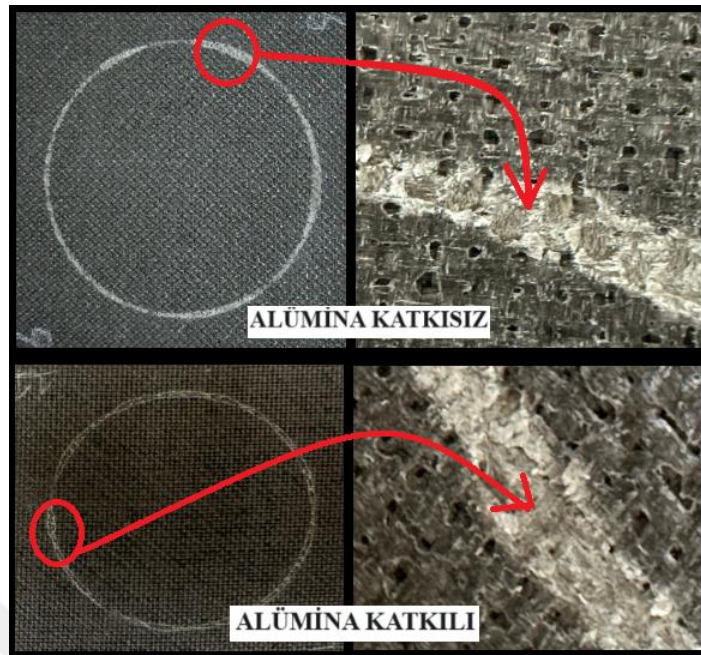
Şekil 5. 72 : 2. ay sonunda Tuzlu su ortamlardan çıkarılan numunein makro fotoğrafı

Tuzlu su ortamından çıkarılan alümina katkısız bazalt epoksi kompozitlerde katkılı olanlara oranla daha fazla iz olduğu ve aşınmanın gerçekleştiği şekil 5.72da görülmektedir.

Çizelge 5. 4 : Alüminasız(A sız) ve Alüminalı(A lı) Aşınma Pin On disk 2. ay tuzlu su ortam test sonuçları

NUMUNE	İLK AĞIRLIK (gr)	SON AĞIRLIK (gr)	DEĞİŞİM (gr)	DEĞİŞİM (%)
A sız Tuzlu Su - 1	31,9590	31,5766	0,3824	1,20
A sız TuzluSu - 2	31,1935	30,8012	0,3923	1,26
A sız TuzluSu - 3	30,9482	30,5702	0,3780	1,22
A lı TuzluSu - 1	32,4375	32,2877	0,1498	0,46
A lı TuzluSu - 2	31,4835	31,3450	0,1385	0,44
A lı TuzluSu - 3	32,8584	32,6989	0,1595	0,48

Alümina katkılı numuneler de makrofotografılar ile verilen aşınma işlemlerinin verisel olarak çıkarıları da çizelde 5.4 de verilmiştir.



Şekil 5. 73 : 2. ay sonunda HCl asitli su ortamlardan çıkarılan numunein makro fotoğrafı

Hidrokorik asitli su ortamdan çıkarılan bazalt epoksi kompozit numunelerinin yüzeysel renk deformasyonları dışında emilim neticesinde tabakalara gecen asitli su daha fazla deformasyona sebep olsa da alümina katkılı numunelerde daha az aşınmanın olduğu çizelge 5.73 deki verilerden de çıkarılabilmektedir.

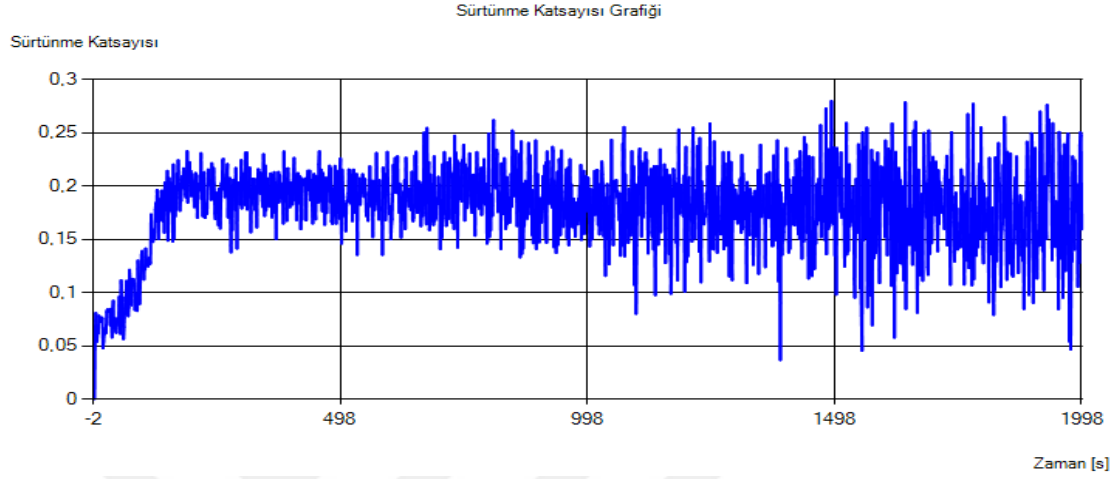
Çizelge 5. 5 : Alüminasız(A sız) ve Alüminalı(A lı) Aşınma Pin On disk 2. ay HCl li su ortam test sonuçları

NUMUNE	İLK AĞIRLIK (gr)	SON AĞIRLIK (gr)	DEĞİŞİM (gr)	DEĞİŞİM(%)
A lı HCl li Su - 1	32,7560	32,1926	0,5634	1,72
A lı HCl li Su - 2	32,5886	32,0350	0,5536	1,70
A lı HCl li Su - 3	31,9482	31,3902	0,5580	1,75
A sız HCl li Su - 1	31,3024	30,5765	0,7259	2,32
A sız HCl li Su - 2	31,8230	31,0945	0,7285	2,29
A sız HCl li Su - 3	30,7569	30,0502	0,7067	2,30

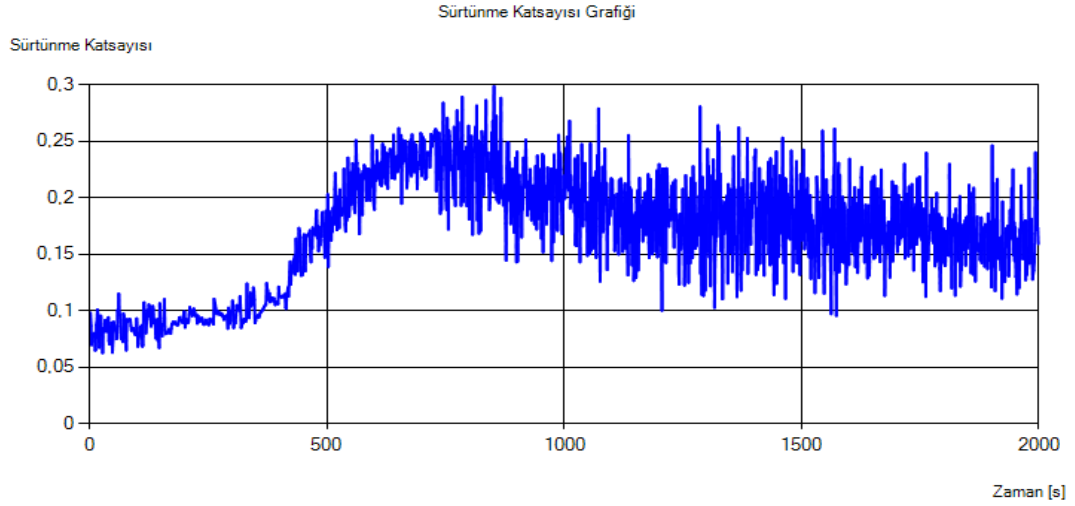
3.Ay yaşlandırma testleri

3 ay sonunda aşınma testleri aynı prosedürler çerçevesinde uygulanarak kurutma ve temizleme işlemlerinden sonra aşınma testleri tamamlanmış. Ayrıca testler sonrası da temizlik işlemleri neticesinde ağırlık değişimleri hesaplanarak tablolar oluşturulmuştur.

Sürtünme katsayısının zamana bağlı değişimine baktığımızda alüminasız numunelerde sürtünmenin etkisiyle piklerin daha yüksek ara atlamalarının olduğu alüminalı olanlarda 0,1-0,25 arasında daha düzgün bir seyir izlediği gözlemlenmiştir (Şekil 5.74, Şekil 5.75).



Şekil 5. 74 : 3.ay Alüminasız tuzlu su ortamdan çıkarılan numunelerinin sürtünme katsayısı grafikleri

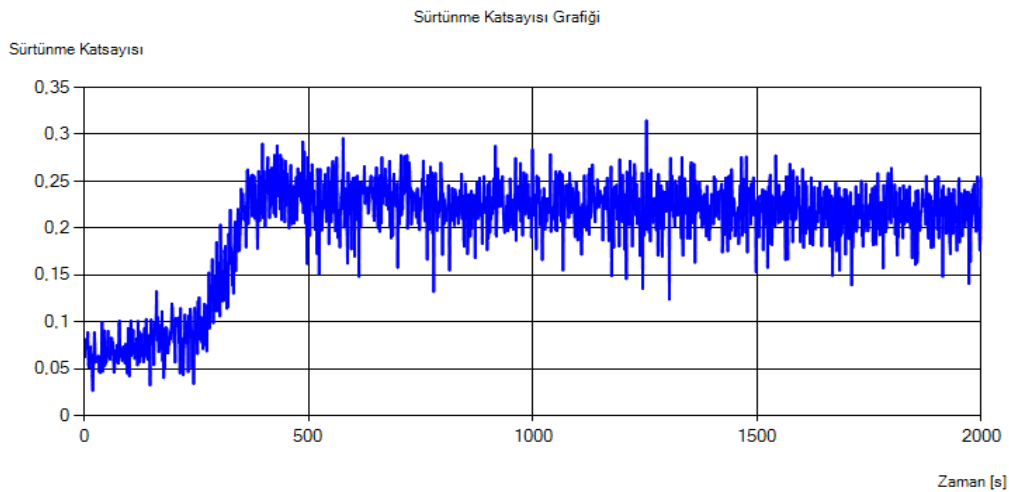


Şekil 5. 75: 3.ay Alüminalı tuzlu su ortamdan çıkarılan numunelerinin sürtünme katsayısı grafikleri

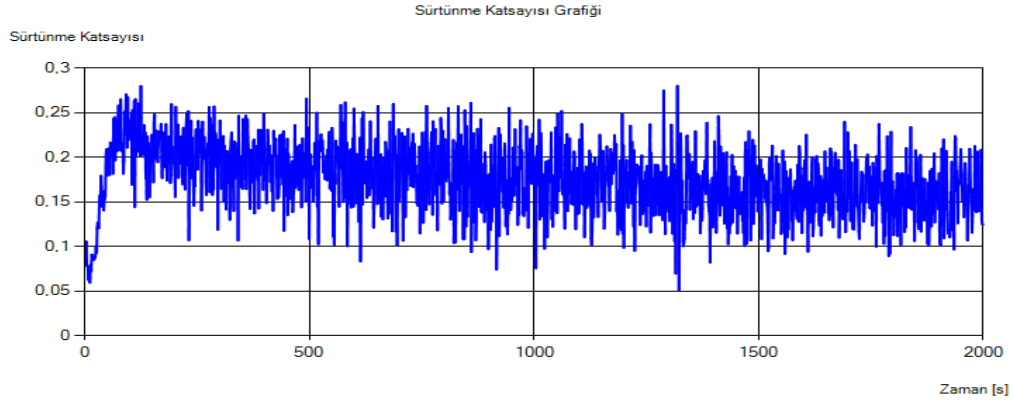
Çizelge 5. 6 : Alüminasız(A sız) ve Alüminalı(A lı) Aşınma Pin On disk 3. ay Tuzlu su ortam test sonuçları

NUMUNE	İLK AĞIRLIK (gr)	SON AĞIRLIK (gr)	DEĞİŞİM (gr)	DEĞİŞİM(%)
A sız HCl li Su - 1	33,1214	31,9326	1,1888	0,75
A sız HCl li Su - 2	31,3472	30,3350	1,0122	0,72
A sız HCl li Su - 3	32,9482	31,7092	1,2390	0,83
A lı HCl li Su - 1	32,9142	31,9496	0,9646	0,46
A lı HCl li Su - 2	32,9702	32,1012	0,8690	0,40
A lı HCl li Su - 3	31,9248	30,9802	0,9446	0,43

Tuzlu su ortamından çıkarılan numunelerde bozunmadan kaynaklı aşınma azalarak artmaya devam etmektedir. Azalma 2.aya göre azalarak devam etmektedir. Bu da artık malzemenin su absorpsiyon oranının azaldığı ve bozunmanın yavaşlayarak devam ettiği şeklinde yorumlanmıştır. Sulu asitik çözeltide aşınma testi sonucundaki sürtünme katsayısı zaman grafiğine baktığımızda alüminalı ve alüminasız numunelerin başlarda stabil olmayan bir durumu söz konusu iken aşınmanın ilerleyen zamanlarında stabil hale geldiği görülmektedir. Alüminalı numunelerde yine sürtünme katsayısı 0,1-0,25 arasında değişirken alüminasız numunelerde 0,15-0,30 arasında değişmektedir. Bu durum da alüminasız numunelerin daha fazla hasara uğradığını göstermektedir (Şekil 5.76, Şekil 5.77).



Şekil 5. 76 : 3.ay Alüminasız HCL asitli su ortamdan çıkarılan numunelerinin sürtünme katsayısı grafikleri



Şekil 5. 77 : 3.ay Alüminalı HCL li su ortamdan çıkarılan numunelerinin sürtünme katsayısı grafikleri

Çizelge 5. 7 : Alüminasız(A sız) ve Alüminalı(A lı) Aşınma Pin On disk 3. ay HCl asitli su ortam test sonuçları

NUMUNE	İLK AĞIRLIK (gr)	SON AĞIRLIK (gr)	DEĞİŞİM (gr)	DEĞİŞİM(%)
A sız Tuzlu Su - 1	31,4508	31,4508	0,2364	3,59
A sız Tuzlu Su - 2	31,4070	31,1826	0,2244	3,23
A sız Tuzlu Su - 3	30,9482	30,6902	0,2580	3,76
A lı Tuzlu Su - 1	31,4892	31,3460	0,1432	2,93
A lı Tuzlu Su - 2	31,7760	31,6505	0,1255	2,64
A lı Tuzlu Su - 3	32,8584	32,7189	0,1395	2,54

Hidroklorik asitli su ortamından çıkarılan numunelerin yüzeylerinde bozunmanın artarak devam ettiği, devam eden bozunmanın aşınmada da etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bozunma önceki aylara göre artarak devam ettiği sonuçların bulunduğu Çizelge 5.7 den de görülebilmektedir. Asitli suyun bulunduğu ortamda absorpsiyon azalmakta ancak bozunma aynı hızla devam etmekte olduğu gözlemlenmektedir.

4.Ay yaşlandırma testleri

4.ay sonun da şartlandırılmış ortamlardan çıkarılan 3 er adet numune kurutma ve temizleme işlemlerinden sonra pin on disk aşınma test işlemlerine aynı kurallar çerçevesinde teste tabi tutulmuşlardır. İlk tartılma ve test işlemleri sonrasında son ağırlık hesaplamaları Çizelge 5.8 ve 5.9 da sunulmuştur.

Çizelge 5. 8 : Alüminasız(A sız) ve Alüminalı(A lı) Aşınma Pin On disk 4. ay Tuzlu su ortam test sonuçları

NUMUNE	İLK AĞIRLIK (gr)	SON AĞIRLIK (gr)	DEĞİŞİM (gr)	DEĞİŞİM(%)
A sız Tuzlu Su - 1	31,6044	30,3012	0,3032	0,96
A sız Tuzlu Su - 2	32,0953	31,8194	0,2759	0,86
A sız Tuzlu Su - 3	32,2881	31,9778	0,3103	0,96
A lı Tuzlu Su - 1	31,1002	30,9391	0,1611	0,52
A lı Tuzlu Su - 2	32,2816	31,0995	0,1821	0,56
A lı Tuzlu Su - 3	31,6044	31,4308	0,1736	0,55

Tuzlu su şartlandırılmış ortam numunelerinin 4 ay aşınma testi sonucunda 3 ay testlerine göre %18-22 civarında aşınmanın azalan miktarda ancak az miktardada olsa arttığı görülmektedir. Bu azalmanın numunelerde matrisin artık tuzlu suda doygunluğunun oluşmaya başladığı ve yapıda çok fazla etkilenmenin olmadığı yorumunu yapabilmemizi sağlamıştır.

Çizelge 5. 9 : Alüminasız(A sız) ve Alüminalı(A lı) Aşınma Pin On disk 4. ay HCl asitli su ortam test sonuçları

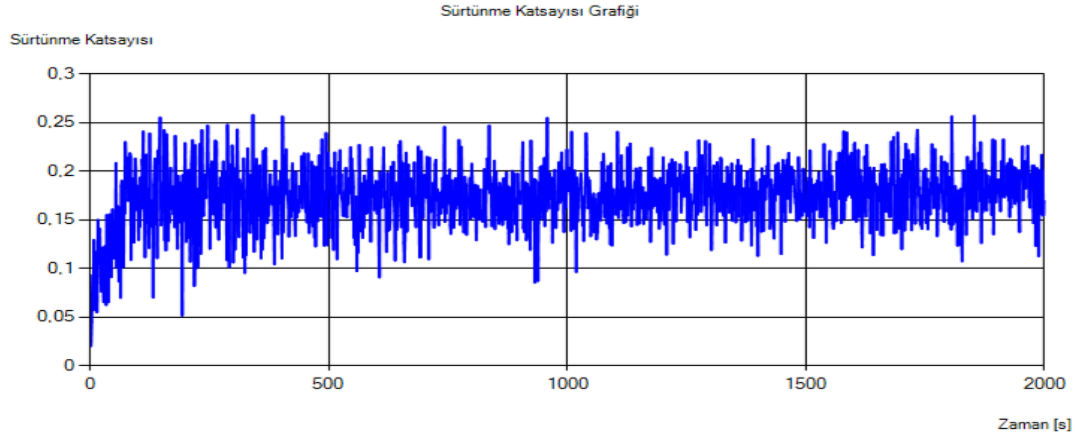
NUMUNE	İLK AĞIRLIK (gr)	SON AĞIRLIK (gr)	DEĞİŞİM (gr)	DEĞİŞİM(%)
A sız HCLli Su - 1	32,8506	31,6841	1,1665	3,55
A sız HCLli Su - 2	33,6254	32,3867	1,2387	3,68
A sız HCLli Su - 3	32,5515	31,3033	1,2482	3,83
A lı HCLli Su - 1	32,1305	31,1851	0,9454	2,94
A lı HCLli Su - 2	31,7573	30,7817	0,9756	3,07
A lı HCLli Su - 3	32,2032	31,1956	1,0076	3,13

Hidrokololik asitli su ortamından çıkarılan ve teste tabi tutulan numunelerin yüzeylerinde ve iç yapısında bozunmanın artarak devam ettiği ortalama aşınmanın % 20-25 lerde olduğu Çizelge 5.9'da bulunan veriler neticesinde yorumlanabilmektedir.

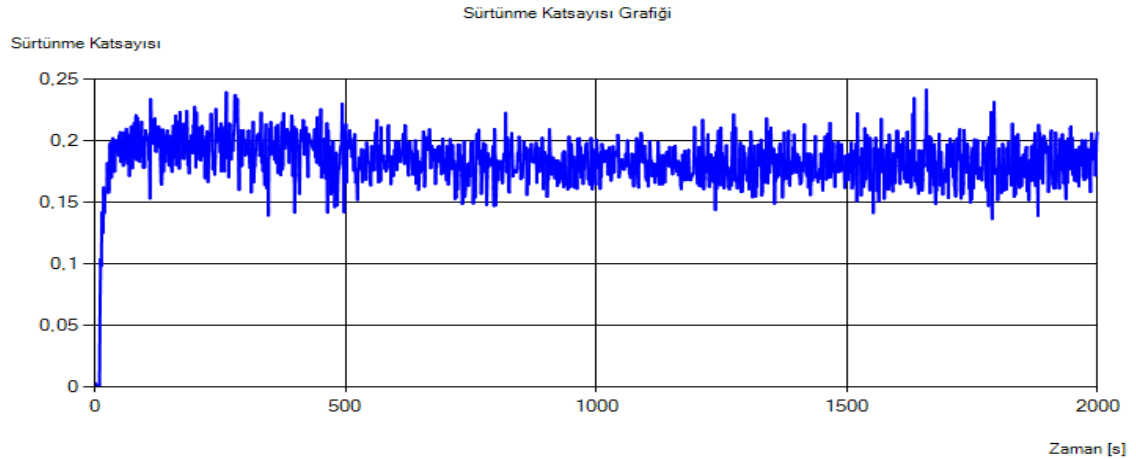
5.Ay yaşlandırma testleri

Son ay testlerimiz olan 5 ay testlerinde yine şartlandırılmış ortamlardan çıkattığımız numunelerimiz ilk ayda olduğu gibi kurutma ve temizleme işlemleri neticesinde ilk ağırlıkları ölçülerek testlere tabi tutulmuştur. Alüminasız numunelerde %1-2 arasında değişim varken alüminalı numunelerde sürtünme katsayısı % 0,10-0,50 arasında bir değişim göstermektedir. Sürtünme katsayısının dalgalanmasının azalmasının sebebi alüminalı numunelerin hem doygunluğa ulaşması ve hemse alüminanın etkisi ile

sürtünme katsayısının daha az bir aralıkta değiştiği ve yüzeydeki aşınmanın daha azaldığını göstermektedir. Buda aşınmanın daha azaldığı yönünde değerlendirilmiştir (Şekil 5.78-Şekil 5.79).



Şekil 5. 78 : 5.ay Alüminasız tuzlu su ortamdan çıkarılan numunelerinin sürtünme katsayısı grafikleri



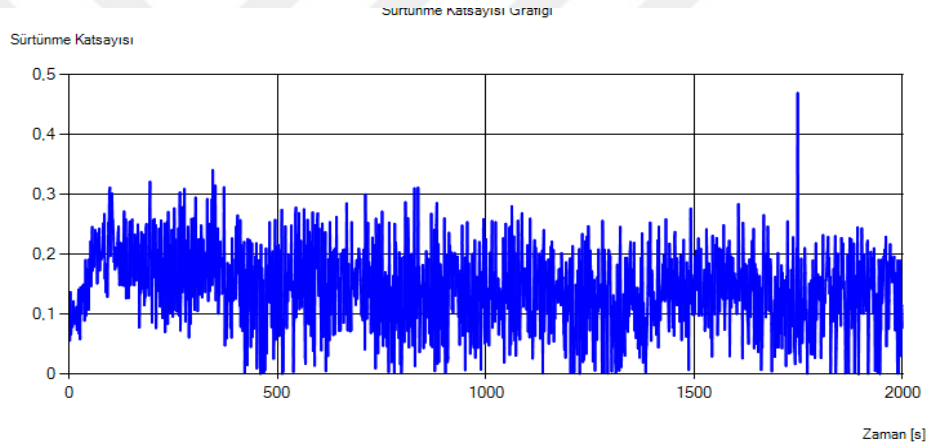
Şekil 5. 79 : 5.ay Alüminalı tuzlu su ortamdan çıkarılan numunelerinin sürtünme katsayısı grafikleri

Çizelge 5. 10 : Alüminasız(A sız) ve Alüminalı(A lı) Aşınma Pin On disk 5. ay Tuzlu su ortam test sonuçları

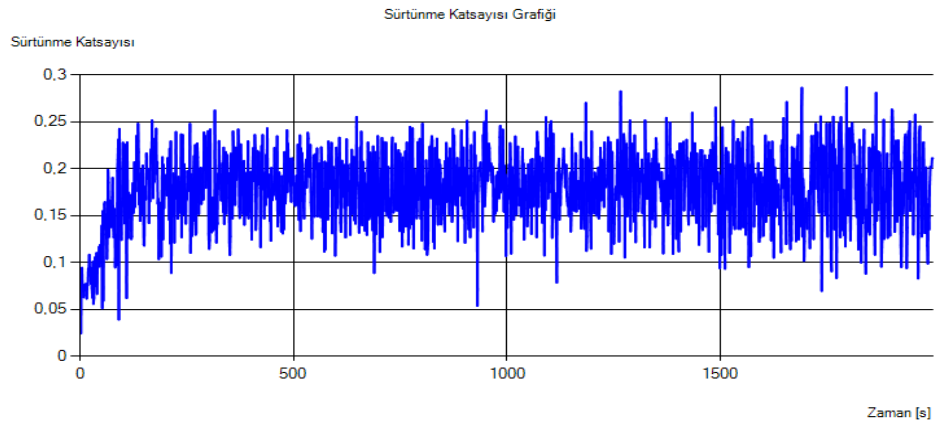
NUMUNE	İLK AĞIRLIK (gr)	SON AĞIRLIK (gr)	DEĞİŞİM (gr)	DEĞİŞİM(%)
A sız Tuzlu Su - 1	32,2389	31,9112	0,3277	1,02
A sız Tuzlu Su - 2	32,1127	31,7521	0,3606	1,12
A sız Tuzlu Su - 3	32,9384	32,5836	0,3548	1,08
A lı Tuzlu Su - 1	32,2155	32,2155	0,1310	0,40
A lı Tuzlu Su - 2	31,9425	31,9424	0,1511	0,47
A lı Tuzlu Su - 3	31,7536	31,7536	0,1379	0,43

Son ay testlerimizin tuzlu su ortam numunelerinde azalmanın önceki aya göre % 20-25 civarında azalmaların olduğu aşınma miktarlarının artık ortalama seviyede devam ettiği çizelgelerimizdeki verilerden çıkarılabilmektedir.

5. ay testleri sonunda sürtünme katsayısı ve zaman değişim grafiğine Şekil 5.80 ve 5.81 e baktığımızda alüminasız asitik suda bekletilen numunelerin daha fazla 0-0,30 arasında bir sürtünme katsayısı dağılımı varken alüminalı numunelerde 0,1-0,25 arasında değişen bir sürtünme katsayısı ama sürekli aynı ve düzgün alüminasızdan daha az bir dalgalanma söz konusudur. Bu durumda da alüminasız yüzeylerin daha fazla hasara uğradığı, alüminalı olanların ise daha az hasara uğradığını göstermektedir. Bunun sebebinin ise doyuma ulaşılan epoksi matris ve alüminanın etkisi ile olduğu kanaatine varılmıştır.



Şekil 5. 80 : 5.ay Alüminasız HCl asitli su ortamdan çıkarılan numunelerinin sürtünme katsayısı grafikleri



Şekil 5. 81 : 5.ay Alüminalı HCl asitli su ortamdan çıkarılan numunelerinin sürtünme katsayısı grafikleri

Çizelge 5. 11 : Alüminasız(A sız) ve Alüminalı(A lı) Aşınma Pin On disk 5. ay HCl asitli su ortam test sonuçları

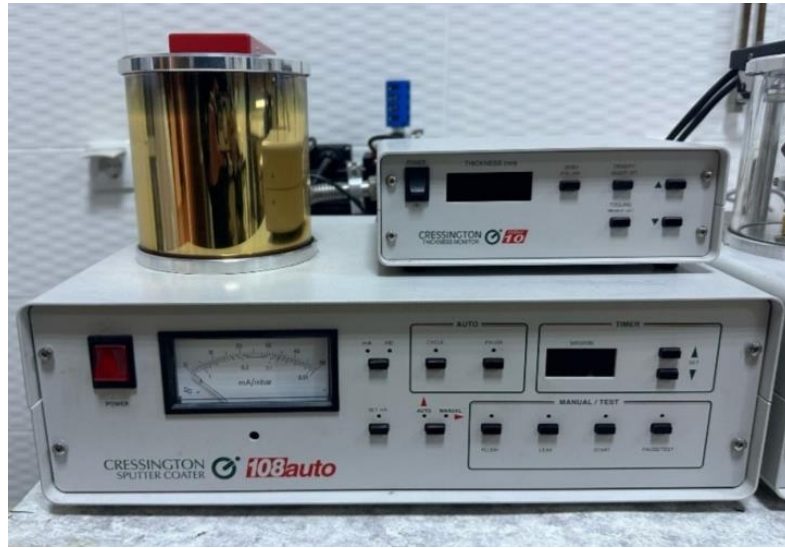
NUMUNE	İLK AĞIRLIK (gr)	SON AĞIRLIK (gr)	DEĞİŞİM (gr)	DEĞİŞİM(%)
A sız HCL li Su - 1	34,1445	32,8588	1,2857	3,77
A sız HCL li Su - 2	33,9028	32,5867	1,3161	3,88
A sız HCL li Su - 3	32,1308	30,8501	1,2807	3,99
A lı HCL li Su - 1	33,8827	32,7751	1,1076	3,27
A lı HCL li Su - 2	33,4116	32,3532	1,0584	3,18
A lı HCL li Su - 3	33,8064	32,7156	1,0908	3,23

5 ay testleri HCL li su ortamından çıkarılan numunelerin aşınmalarında ortalama %11-15 civarında olduğu ve azalarak da olsa aşınmanın ve bozunmanın devam ettiği çizelgelerdeki aşınma değişim verilerimizden aşıkardır.

5.3. Çekme ve Aşınma Testlerine Tabi Tutulan Kompozitlerin SEM Görüntü ve Analizleri

Şartlandırılmış ortama bırakılmayan aşınma ve çekme test numuneleri ile şartlandırılmış ortama bırakılan numunelerin test işlemlerinden sonra Taramalı Elektron Mikroskobu ile görüntüleme işlemleri 24 saat öncesinden 60 °C bekletilerek kurutma işlemi yapılarak gerçekleştirilmiştir.

Aşınma ve çekme numuneleri ortalama 8x8mm ebatlarında kesilerek odaklamanın daha iyi sağlanması için CRESSINGTON Sputter Coater cihazında tarama yapılacak yüzeye altın kaplama yapılmıştır (Şekil 5.82).



Şekil 5. 82 : Tarama Yüzeyi Altın Kaplama Cihazı(CRESSINGTON Sputter Coater)



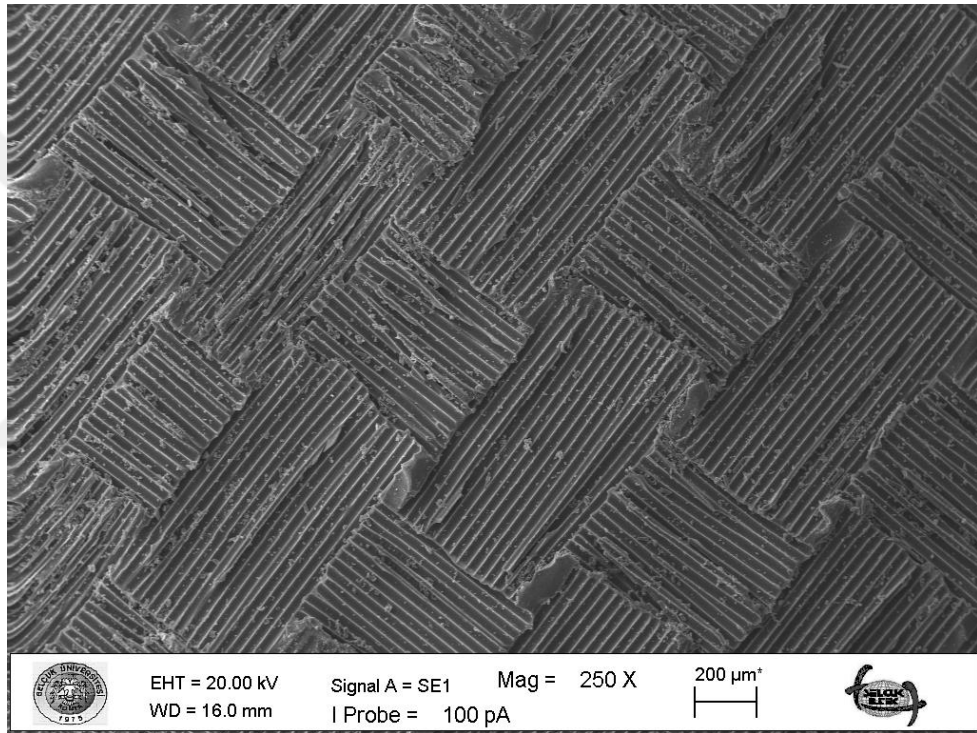
Şekil 5. 83: Yüzeyi Altın Kaplanan Numuneler

Yüzeyi altın kaplanan numuneler yüksek vakum ortamı taramalı elektron mikroskopuna sokulmuş ve görüntüleme işlemleri yapılmıştır (Şekil 5.83).

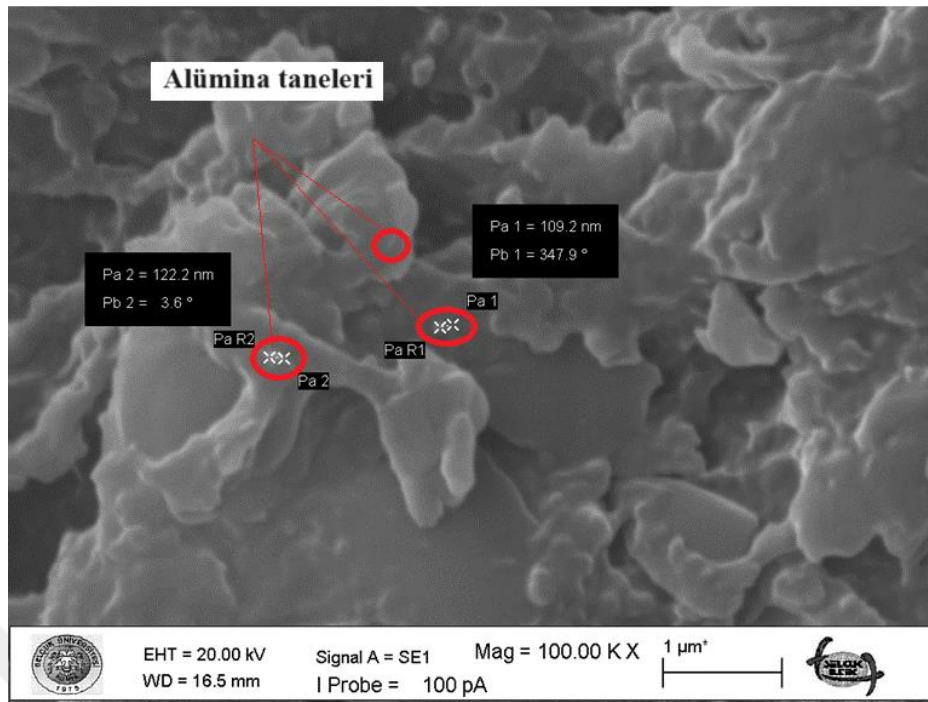
5.3.1. Şartlandırılmış Ortama Bırakılmayan ve Şartlandırılmış Ortam Aşınma Test Numunelerinin Görüntü ve Analizleri

Kompozitlerde matris malzemesine katılan çeşitli nanopartikül malzemelere bağlı olarak fiber matris bağlanma mukavemetine göre mekanik özellikler farklı olabilmektedir. Taramalı elektron mikroskopu ile alınan görüntüler yardımıyla matris ve fiber bağlanmaları hakkında yorum yapılabilmektedir.

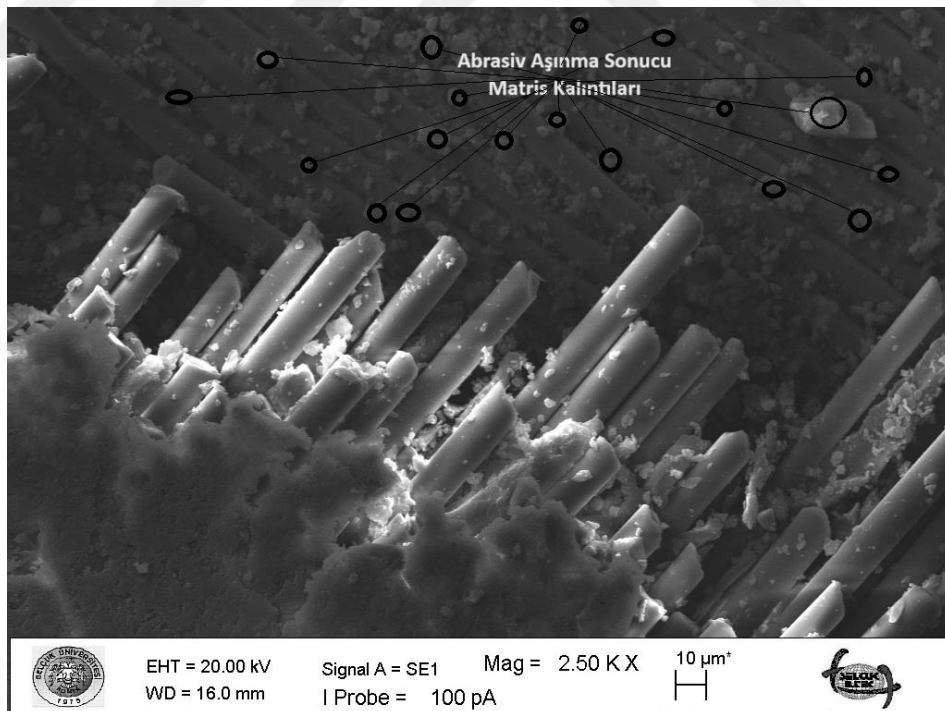
Bazalt malzemenin normal şartlarda korozif ortam dayanma vardır. Yine korozif ortam dayanımı oldukça yüksek olan Alümina (Al_2O_3) matris malzemeye bağlanmayı pozitif yönde etkilediği için korozif ortam dayanımını arttırıcı yönde etki sağlamaktadır (Şekil 5.84, Şekil 5.85). Alümina katkılı olan ve şartlandırılmış ortama bırakmayan numunelerde aşınmanın matriste gerçekleştiği ve fibere iplere imalata bağlı olarak yeteri kadar ulaşmadığı görülebilmektedir. Alümina katkılı olan numunelerde aşınmanın Alümina katkısına göre daha az olması teorik olarak yapılan yorumu doğrulamaktadır.



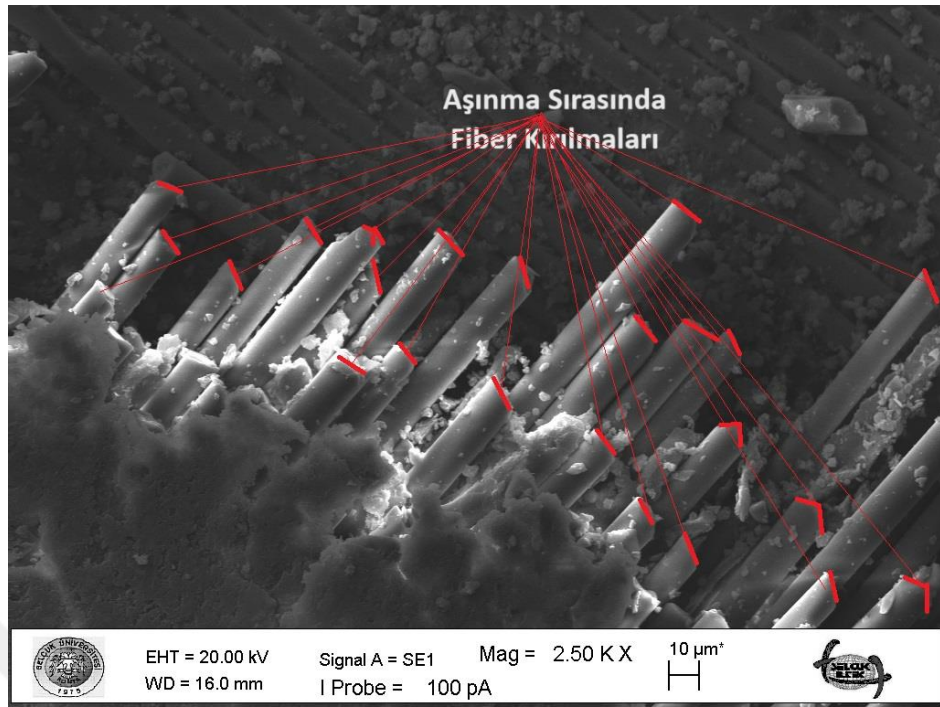
Şekil 5. 84: Aşınma Numunesi SEM yüzey görüntüsü



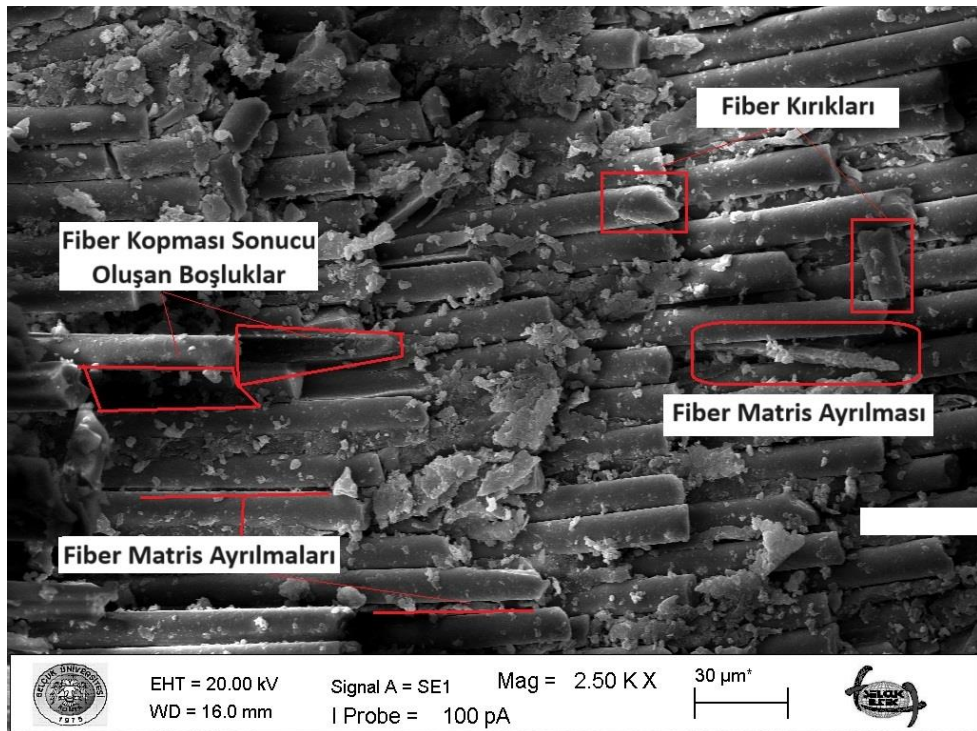
Şekil 5. 85: Matris Malzeme İçerisinde Alümina Görüntüleri



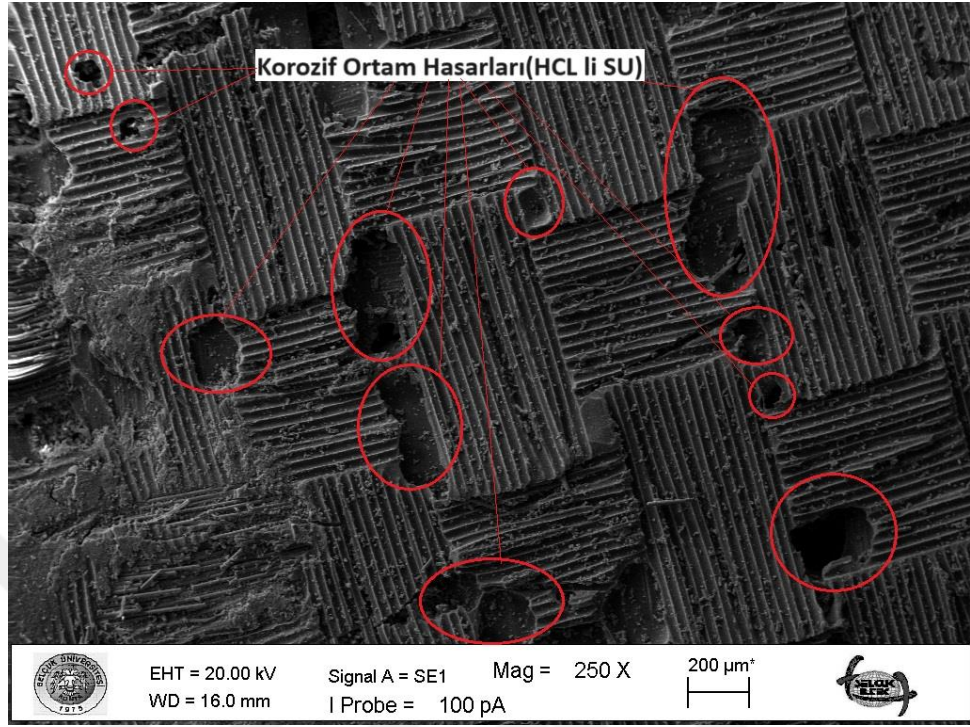
Şekil 5. 86: Abrasiv Aşınma Sonucu Matris Malzeme Kalıntıları



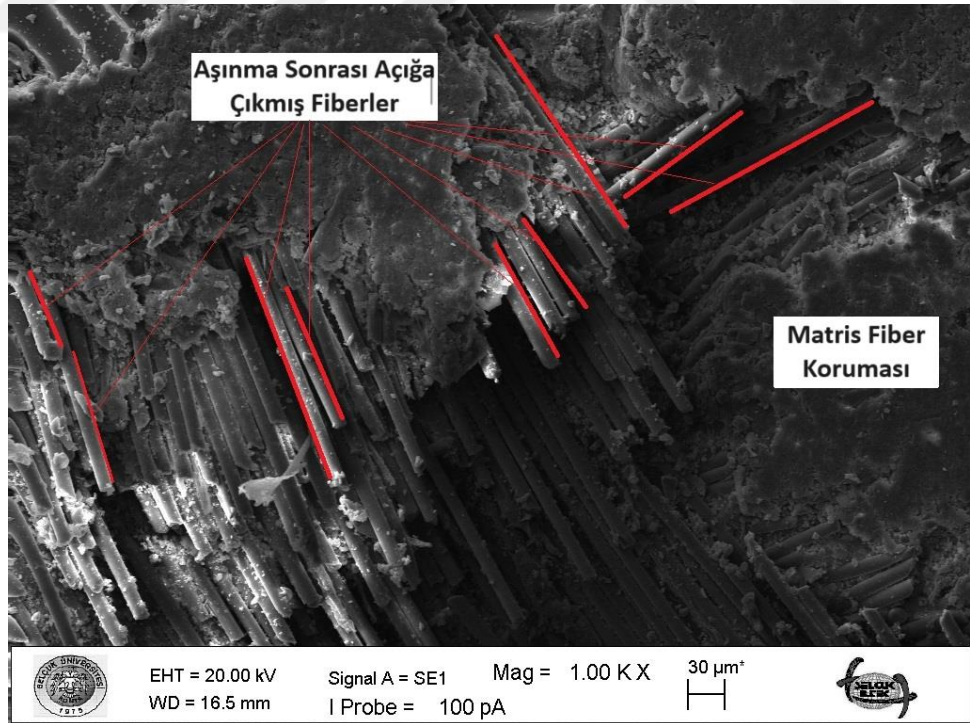
Şekil 5. 87: Fiber Kırılmaları



Şekil 5. 88: Fiber Matris Hasarları

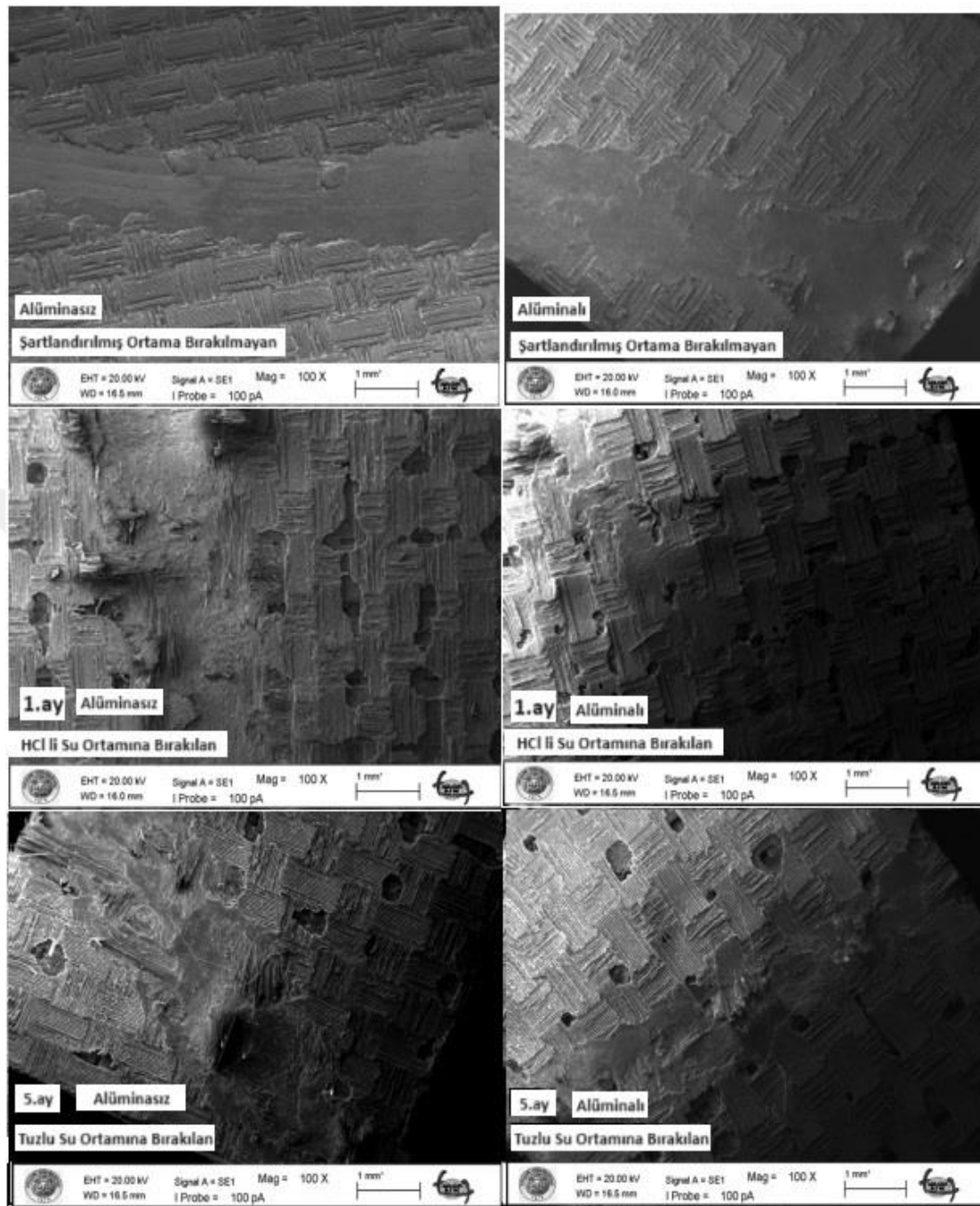


Şekil 5. 89: Korozif Ortam Hasarları(HCl li Su)



Şekil 5. 90: Açığa Çıkış Fiber ve Matris Fiber Koruması

Polimer matrisli kompozitlerde hasarlar ilk olarak matris malzemede oluşmaya başlamaktadır. Matris malzemeye katılan aşınma dayanımı artırıcı malzemeler hasarın hızlı şekilde oluşmasını engellemektedir. Numunelerde aşınma matriste oluştuktan sonra fibere geçmektedir. Matriste de hasarlar olduğu gibi fiberde de kırılma (Şekil 5.87), sıyrılma ve kopmalar şeklinde hasarlar oluşmaktadır. SEM görüntülerinden de görüldüğü üzere alüminalar görülmektedir(Şekil 5.85). Korozi ortam numunelerinde aşınma testinden başka bu ortamda da hasarların oluştuğu da görülebilmektedir. Korozi ortamlar (Tuzlu su ve HCl li Su) da malzeme yüzeyi ve iç yapıda hasarlara sebep olmaktadır (Şekil 5.88-89). Alümina katkısı teorik olarak mekanik özellikleri arttırdığı bilinmekte ve testlerde de matris iç yapısında bağlanmayı arttırdığı bunun da matris içerisinde ve matris fiber arasında yüksek bağlanma mukavemeti sağladığı ve aşınmaya karşı direnci arttırdığı ortaya konulmuştur. Alümina katkılı kompozitler de hasarın daha az olduğu görüntülerle de desteklenmiştir.

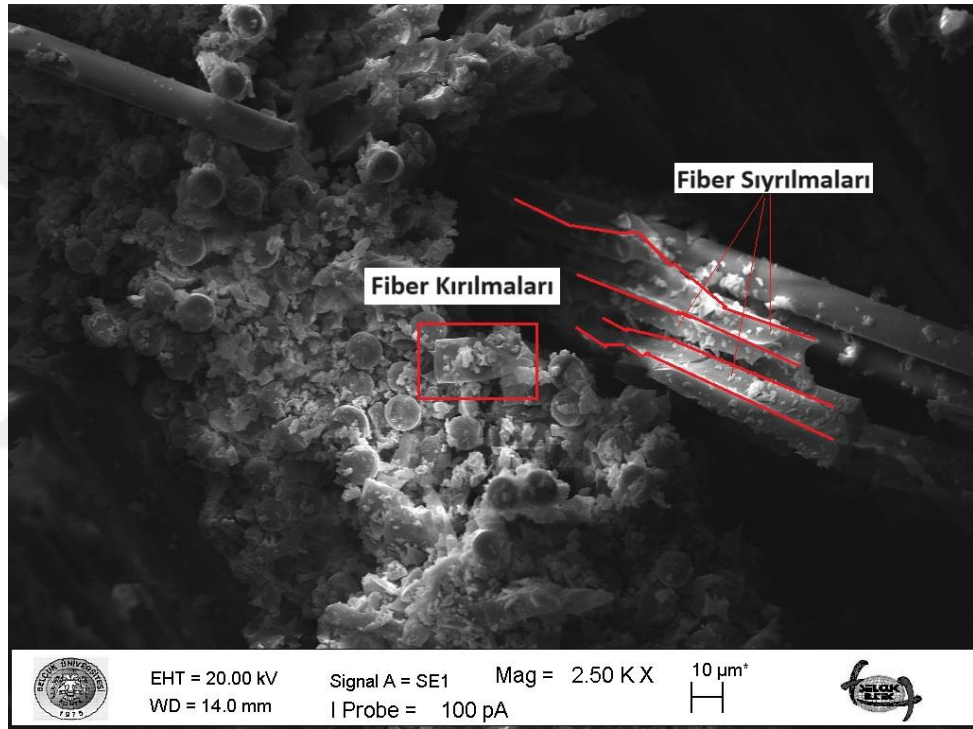


şekil 5. 91: şartlandırılmamış Ortam -0. Ay - 5. ay Alüminasız Kompozitlerin 100X yakınılaşmada Hasar görüntüleri

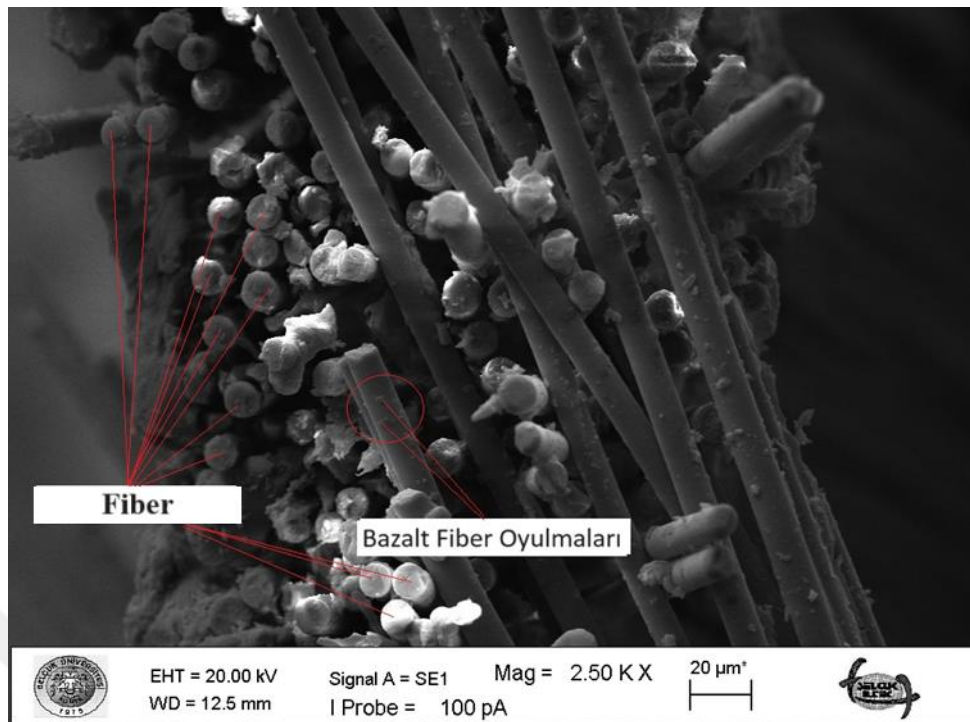
Alüminasız şartlandırılmamış ortam kompozitleri ile 0. ve 5. ay numunelerinin hasar görüntüleri şekil 5.91 de verilmiştir. Verilen görüntülerde şartlandırılmamış ortamda hasarın daha az olduğu, Tuzlu Su ortamına biraz daha fazla hasarın olduğu ve en fazla hasarın HCl asitli ortamda olduğu şekil 5.91 de de görülebilmektedir.

5.3.2. Şartlandırılmış Ortama Bırakılmayan ve Şartlandırılmış Ortam Çekme Test Numunelerinin Görüntü ve Analizleri

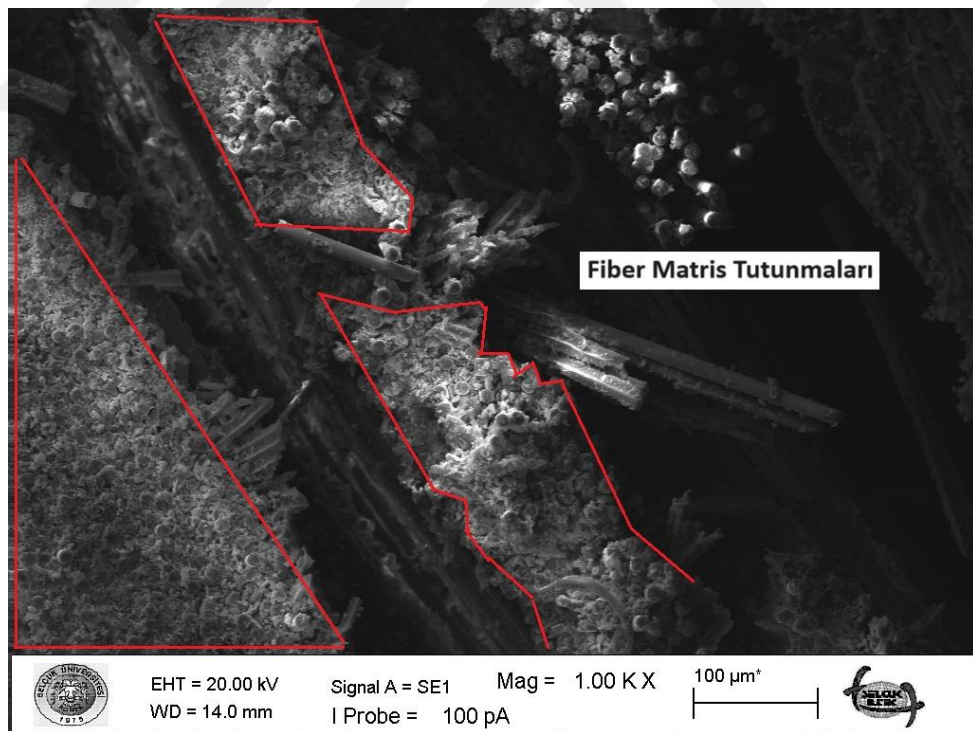
Kompozitlere yapılan testler ile sem görüntüleri mekanik özellik değişimleri hakkında bilgi vermektedir. Bağlanma yüzeylerindeki mukavemet atışına göre mekanik özelliklerde değişimler olabilmektedir. Matris fiber sıyrılmaları Alümnina katkılı kompozitlerde katkısız kompozitlere göre daha az olduğu SEM görüntülerinden de anlaşılabilmektedir. Çekme testinde SEM görüntülerinden elde edilen hasarlar Şekil 5.92-5.98 de verilmiştir.



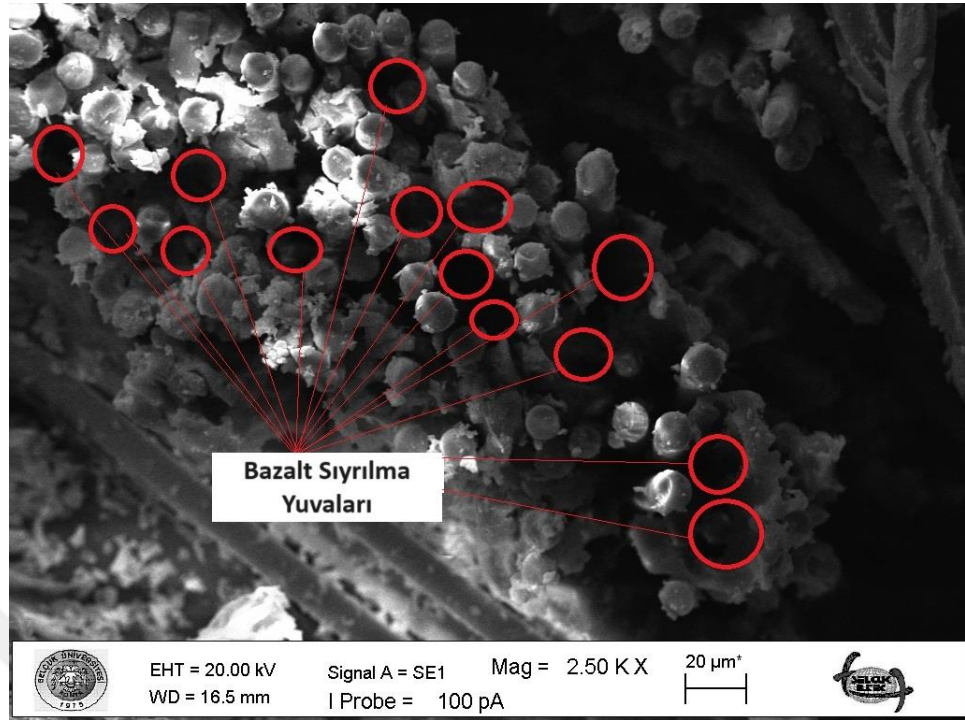
Şekil 5. 92: Fiber Sıyrılmaları ve Kırılmaları



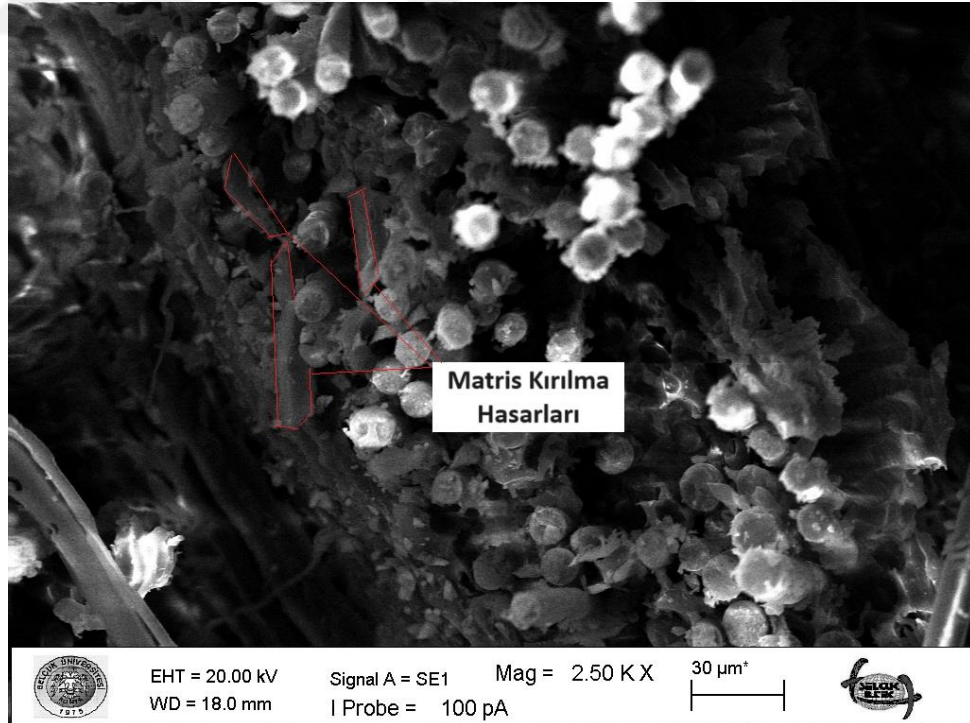
Şekil 5. 93: Bazalt Fiberler ve Oyulmaları



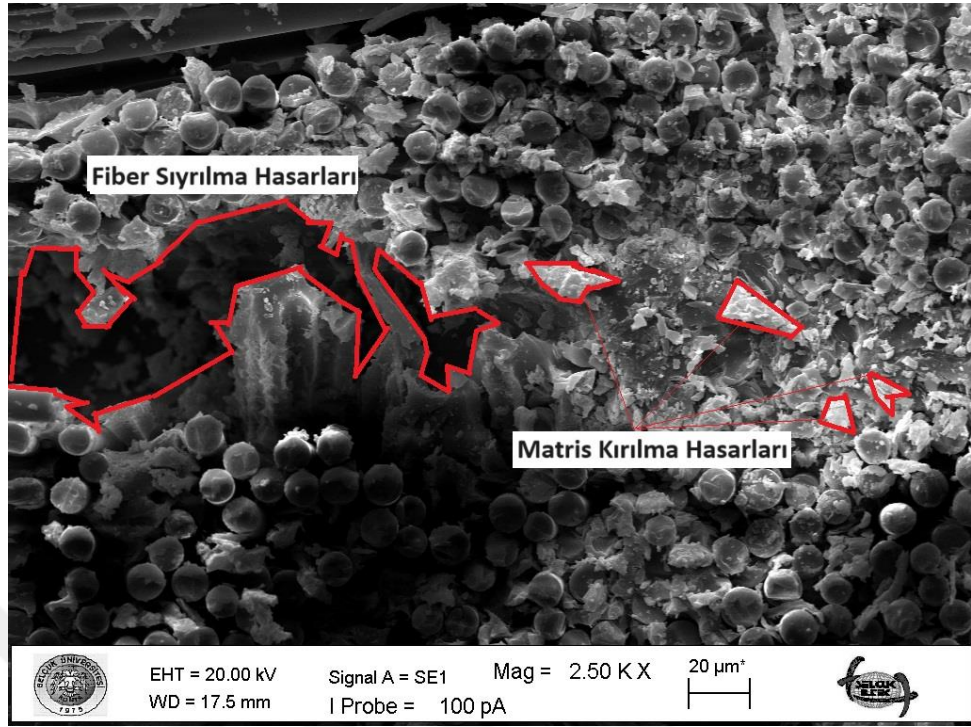
Şekil 5. 94: Fiber Matris Tutunmaları



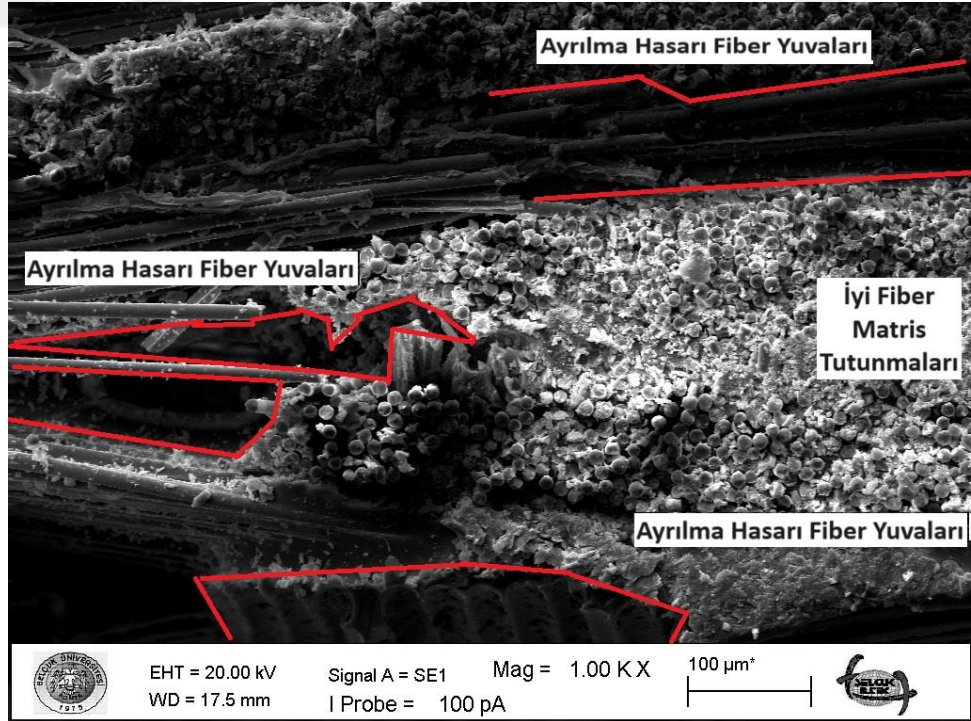
Şekil 5. 95: Fiber Sıyırılma Hasarları



Şekil 5. 96: Matris Kırılma Hasarları



Şekil 5. 97: Fiber Sıyrılma Hasarları ve Matris Kırılmaları



Şekil 5. 98: Çekme Testi Fiber Matris Ayrılma Hasarları

Şartlandırılmış ortamlara bırakılan kompozit numunelerde zamanla matris iç yapısına difüzyon ile emilen tuzlu su ve HCl li su iç yapıya zarar vererek mekanik özellikleri değiştirmektedir. Ancak testlerden de görüleceği üzere korozif ortamlar kompozitlere zarar verse de alümina katkısı mekanik özelliklerin azalma eğiliminde olsa da korumaya devam etmiştir. Emilen su ile birlikte matriste şişme meydana gelmiş ve matriste kırılmalar meydana gelmiştir. HCl asitli su ortam hasarları tuzlu su ortam hasarlarına göre daha fazla olmuştur.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu bölümde şartlandırılmış ortamlarda bırakılan alümina katkılı ve katkısız ASTM standartlarına uygun hazırlanmış bazalt epoksi kompozit numuneleri çekme, eğilme ve aşınma testlerine sıfıncı(şartlandırılmış ortama bırakmadan) ay, 1-2-3-4-5 ay testlerin sonuçlandırma ve değerlendirilmeleri yapılmıştır.

6.1. Sonuçlar

Şartlandırılmış ortamlarda bırakılan alümina katkılı ve alümina katkısız bazalt epoksi kompozit numunelerin çekme ve eğilme mekanik özellikleri yanında aşınma özelliği de test edilmiştir. Mekanik özelliklerde ilk ay sonuçlarında HCl ve tuzlu suyun matris malzemeye emilimiyle iç yapı % 10-12 deforme olmaya başlamış bu ilerleyen süreçte deformasyon azalarak ilerlemiştir.

Değerlendirmeler neticesinde tuzlu su ortamından çıkarılan numunelerin mekanik özelliklerindeki çekme mukavemeti, yük taşıma kapasitesi ve aşınma dayanımı ilk aylarda % 5-10 civarında iken ilerleyen süreçte kompozit malzemenin emilimi artarak devam ettiği için mekanik özelliklerde de artma eğilimli bir düşüş gerçekleşmiştir. Sıfıncı aydan itibaren uygulanan testlerimizin sonuçlarına göre zaten aşınma dayanımı olan bazalt epoksi kompozitimizin matrisine % 2.5 alümina katkımız malzememizin aşınma testlerimizden de görülebileceği üzere aşınma ve sürtünme/aşınma direncini

arttırdığı, matris malzeme ile fiberimizin tutulumunu pozitif yönde etkileyerek çekme ve eğilme özelliklerini arttırdığı tespitlerini yapabiliyoruz.

HCl asitli su ortamından çıkarılan numunelerde kompozit malzemenin tuzlu su ortamından çıkarılan numuneler gibi 1. ayımızda mekanik ve aşınma dayanımı özelliklerinde 2-3-4-5 ay lara göre ciddi artışlar görülmemiştir. İlk ayda aşınma miktarı %15 ler civarında iken 2.aydan itibaren her ay yaklaşık %10-15 civarında artarak devam etmiştir. 5. aya gelindiğinde ise bu oranın halen devam ettiği görülmüştür. Bu durumdan da %2,5 luk HCl asitli su ortamı malzemenin hem iç yapısında hem de yüzeyinde bozunmaya devam ettiği çekme ve eğilme mekanik özelliklerinde azalmanın devam ettiği anlamını taşımaktadır.

Tuzlu su ortamında bırakılan numunelerin mekanik ve aşınma özellikleri asidik ortama bırakılan numunelerden daha iyi durumda olması malzemelerin tuzlu suya dayanımının daha iyi olduğu yorumu yapılmıştır. Seyreltilmiş hidroklorik asitli ortamların malzemelere daha fazla zarar verdiği yapılan test sonuçlarında ve çekilen makro fotoğraflarda ortaya koyulmuştur. Tuzlu su ortamında aşınma asitik ortamdaki aşınmaya oranla alüminalı ve aluminasız numunelerde ciddi anlamda daha az olduğu test sonuçlarında verilerle belirlenmiştir.

Korozif ortamlarda bekletilmelerde görüldüğü üzere alümina katkılı numunelerin aşınma direnci yaklaşık olarak % 20 gibi bir oranda sürtünmeye karşı direnci artırdığı görülmüştür. Aluminalı numunelerde pin on disk aşınma testi sonucunda hem asidik hemde tuzlu su ortamında sürtünme katsayısı azalmış ve aşınma daha az olmuştur.

6.2. Öneriler

Mekanik özellikleri ve aşınma dayanımını iyi derecede etkileyen alümina katkılı bazalt kompozitler deniz araçlarında ve korozif sıvı taşımacılığı yapılan tüm alanlarda kullanılabilir ve kullanılması için daha geniş kapsamlı araştırmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- AbuSahmin, F., Algellai, A., Tomić, N., Vuksanović, M. M., Majstorović, J., Volkov-Husović, T., ... & Kovačević, J. (2020). Basalt-polyester hybrid composite materials for demanding wear applications. *Science of Sintering*, 52(1), 67-76.
- Anonymous, 1989, Farm accountancy data network, an A-Z of methodology” *Commission Report of the EC*, Brussels, 16-19.
- Ary Subagia, I. D. G., & Kim, Y. (2013). A study on flexural properties of carbon-basalt/epoxy hybrid composites. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 27, 987-992.
- Bhatnagar A., *Lightweigh Ballistic Composites: Military and Law-enforcement Applications*, 1st ed., Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2006.
- Bulut, M. (2017). Mechanical characterization of Basalt/epoxy composite laminates containing graphene nanopellets. *Composites Part B: Engineering*, 122, 71-78.
- Bursa Teknik Üniversitesi Doğa Bilimleri, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, *3 Nokta EğilmeDeney Föyü*, [https://depo.btu.edu.tr/dosyalar/makine/Dosyalar/3%20Nokta%20Egme%20Dene yi%20Foyu\(1\).pdf](https://depo.btu.edu.tr/dosyalar/makine/Dosyalar/3%20Nokta%20Egme%20Dene yi%20Foyu(1).pdf) , [Ziyaret Tarihi : 13 Kasım 2023]
- Dasgupta, D., 1998, Artificial immune systems and their applications, *Springer-Verlag*, Berlin - Heidelberg, 45-52.
- De Castro, L. N. and Von Zuben, F. J., 2000, Artificial immune systems: Part I- Basic theory and applications, *DCA-RT 02/00*, Brasil, 23-28.
- Demirci, İ. (2017). *Karbon nanotüp ve nano silika takviyeli bazalt/epoksi hibrit nanokompozitlerin koroziyon ortamında darbe davranışları* (Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Fiore, V., Di Bella, G. ve Valenza, A., 2011, Glass–basalt/epoxy hybrid composites for marine applications, *Materials & Design*, 32 (4), 2091-2099.
- Güneş, D. (2019). *Tek yönlü ve çift eksenli karbon elyaf takviyeli polyester reçine matrisli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması* (Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Güneş, S. ve Polat, K., 2009, Elektrokardiyogram (EKG) aritmi teşhisinde en az kareli destek vektör makinaları kullanımına dayalı medikal teşhis destek sistemi,

13.Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı, BIYOMUT-2009, İstanbul, 170-173.

Holland, M., 2002, Guide to citing Internet sources [online], Poole, Bournemouth University, http://www.bournemouth.ac.uk/library/using/guide_to_citing_internet_sourc.html [Ziyaret Tarihi: 4 Kasım 2002].

Hollaway, L. C. ve Head, P. R., 2000, 6.25 - Composite Materials and Structures in Civil Engineering, In: Comprehensive Composite Materials, Eds: Kelly, A. ve Zweben, C., Oxford: Pergamon, p. 489-527.

Jamshaid, H. ve Mishra, R., 2016, A green material from rock: basalt fiber – a review, *The Journal of The Textile Institute*, 107 (7), 923-937

Khosravi, H., & Eslami-Farsani, R. (2016). Enhanced mechanical properties of unidirectional basalt fiber/epoxy composites using silane-modified Na⁺-montmorillonite nanoclay. *Polymer Testing*, 55, 135-142.

Kim, S. H., Heo, Y. J., Park, M., Min, B. G., Rhee, K. Y., & Park, S. J. (2018). Effect of hydrophilic graphite flake on thermal conductivity and fracture toughness of basalt fibers/epoxy composites. *Composites Part B: Engineering*, 153, 9-16.

Korku, M. (2021). *Cam elyaf takviyeli polyester kompozit malzemelerin farklı çevresel koşullardaki aşınma özellikleri* (Master's thesis, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Mason, J., 1832, *Map of the countries lying between Spain and India*, 1:8.000.000, London: Ordnance Survey.

Milli Eğitim Bakanlığı, *Plastik Teknolojisi*, Termoset Kalıplama Makinelerinde Üretim 543M00273, Ankara 2012.

Papageorgiou, D. G., Kinloch, I. A. ve Young, R. J., 2017, Mechanical properties of graphene and graphene-based nanocomposites, *Progress in Materials Science*, 90, 75-127.

Parnas, R., Shaw, M. ve Liu, Q., 2006, Basalt fiber reinforced polymer composites, p. Sayın, S. ve Çelebi, G., 2020, A practical approach to performance-based building design in architectural project, *Building Research & Information*, 48:4, 446-468, DOI: 10.1080/09613218.2019.1669008

Peng-Yuan LEE, Masamitsu IMAI, Toyohiko YANO. (2004). Effects of sintering condition on mechanical properties of monazite-coated alumina-fiber/alumina-matrix composites fabricated by hot-pressing. *Journal of the Ceramic Society of Japan* (日本セラミックス協会学術論文誌), 112(1301), 29-34.

- Pirmohammad, S., Amani, B., & Shokorlou, Y. M. (2020). The effect of basalt fibres on fracture toughness of asphalt mixture. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 43(7), 1446-1460.
- Rahmani, H., Eslami-Farsani, R., & Ebrahimnezhad-Khaljiri, H. (2020). High velocity impact response of aluminum-carbon fibers-epoxy laminated composites toughened by nano silica and zirconia. *Fibers and Polymers*, 21, 170-178.
- Ramakrishnan, G., Ramnath, B. V., Elanchezhian, C., Kumar, A. A., & Gowtham, S. (2019). Investigation of mechanical behaviour of basalt-banana hybrid composites. *Silicon*, 11(4), 1939-1948.
- Şükür, E.F.(2019)., Korozif Ortamın Grafen Katkılı Bazalt/Epoksi Nanokompozitlerin Mekanik Ve Aşınma Özelliklerine Etkisi, *The Effect Of Corrosive Environment On Mechanical And Wear Properties Of Graphene Filled Basalt/Epoxy*.Doktoral Thesis. Konya Teknik Üniversitesi, Konya.
- Vinay, S. S., Sanjay, M. R., Siengchin, S., & Venkatesh, C. V. (2021). Effect of Al₂O₃ nanofillers in basalt/epoxy composites: Mechanical and tribological properties. *Polymer Composites*, 42(4), 1727-1740.
- Walock, M. J. (2012). Nanocomposite coatings based on quaternary metal-nitrogen and nanocarbon systems. The University of Alabama at Birmingham.
- Wang, Z., Cao, N., He, J., Du, R., Liu, Y., & Zhao, G. (2017). Mechanical and anticorrosion properties of furan/epoxy-based basalt fiber-reinforced composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 134(19).
- Wei, B., Cao, H., & Song, S. (2011). Degradation of basalt fibre and glass fibre/epoxy resin composites in seawater. *Corrosion Science*, 53(1), 426-431.
- Yağmur, E., ve Kesen, S.E., 2023, Bi-objective coordinated production and transportation scheduling problem with sustainability: formulation and solution approaches, *International Journal of Production Research*, 61:3, 774-795, DOI: 10.1080/00207543.2021.20170543