



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**E-CAM ELYAF TAKVİYELİ ALÜMİNYUM
BAL PETEĞİ SANDVIÇ KOMPOZİTLERİN
DENİZ SUYU KOROZYON
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

Tuğçe KIZILIRMAK

YÜKSEK LİSANS

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim
Dalı**

**Temmuz-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Tuğçe KIZILIRMAK tarafından hazırlanan “E-Cam Elyaf Takviyeli Alüminyum Bal Peteği Sandviç Kompozitlerin Deniz Suyu Korozyon Davranışlarının İncelenmesi” adlı tez çalışması 20/07/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Turan DEMİRCİ

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Harun SEPETÇİOĞLU

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Sait GEZGİN
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) tarafından 21201012 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.

Tuğçe KIZILIRMAK

29.06.2022

ÖZET**YÜKSEK LİSANS****E-CAM ELYAF TAKVİYELİ ALÜMİNYUM BAL PETEĞİ SANDVIÇ
KOMPOZİTLERİN DENİZ SUYU KOROZYON DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ****Tuğçe KIZILIRMAK****Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı****Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Turan DEMİRCİ****2022, 66 Sayfa****Jüri****Dr.Öğr.Üyesi Mehmet Turan DEMİRCİ
Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN
Dr.Öğr.Üyesi Harun SEPETÇİOĞLU**

Yapılan çalışmada, E-Cam/Alüminyum bal peteği kompozit sandviç üç nokta eğme ve Charpy darbe numuneleri 0, 10, 20, 30 ve 40 gün korozyon sürelerinde, deniz suyunda bekletilmiştir. Korozyon sürelerinde deniz suyunda bekletilen numunelerin ağırlıkları tartılarak, absorpsiyon miktarları belirlenmiştir. Korozyon sürelerine göre, kompozit sandviç numunelere üç nokta eğme ve Charpy darbe deneyleri uygulanmıştır. 10 ve 20 gün korozyon sürelerinde, deniz suyu miktarı absorpsiyonunda hızlı bir artış olduğu belirlenmiştir. 40 gün korozyon süresinde deniz suyu çözelti emiliminin azaldığı tespit edilmiştir. Üç nokta eğme ve Charpy darbe deneylerinde, korozyon süresinin artmasıyla birlikte eğme kuvvetlerinde ve darbe enerji absorpsiyonlarında azalmaların olduğu tespit edilmiştir. Korozyon sürelerine göre birbirleri ile karşılaştırıldığında, en fazla kuvvet ve darbe enerjisi absorpsiyon değerlerinde hızlı düşüşlerin 10 ve 20 gün korozyon sürelerinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Hasar davranışlarında ise korozyon süresinin artmasıyla, E-Cam/alüminyum çekirdek ara yüzeyinde delaminasyon hasarlarının arttığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: E-Cam elyaf, Alüminyum Bal Peteği, Kompozit, Sandviç Paneller, Korozyon

ABSTRACT**MS THESIS****INVESTIGATION OF SEA WATER CORROSION BEHAVIORS OF E-GLASS
FIBER REINFORCED ALUMINUM HONEYCOMB SANDWICH
COMPOSITES****Tuğçe KIZILIRMAK****THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE / DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN METALLURGICAL AND MATERIALS ENGINEERING****Advisor: Asist. Prof. Dr. Mehmet Turan DEMİRCİ****2022, 66 Pages****Jury****Asist. Prof. Dr. Mehmet Turan DEMİRCİ
Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN
Asist. Prof. Dr. Harun SEPETÇİOĞLU**

In the study, E-Glass/Aluminum honeycomb composite sandwich three-point bending and Charpy impact samples were kept in sea water for 0, 10, 20, 30 and 40 days corrosion times. The weights of the samples, which were kept in corrosion times, were weighed, and the amount of absorbed sea water was determined. Three point bending and Charpy impact tests were applied to the composite sandwich samples according to the corrosion times. It was determined that there was a rapid increase in seawater absorption at the corrosion times of 10 and 20 days. It was determined that the sea water solution absorption decreased during the 40-day corrosion period. In the three-point bending and Charpy impact tests, it was determined that the bending forces and impact energy absorptions decreased with the increase of the corrosion time. When compared with each other according to corrosion times, it was determined that the most rapid decreases in force and impact energy absorption values occurred in 10 and 20 days corrosion times. In the damage behavior, it was determined that with the increase of corrosion time, delamination damage at the E-glass/aluminum core interface increased.

Keywords: E-Glass Fiber, Aluminum Honeycomb, Composite, Sandwich Panels, Corrosion

ÖNSÖZ

Yapmış olduğum tez çalışmamda; bu zamana kadar desteklerini esirgemeyen ve çalışmalarında yön veren akademik danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Turan DEMİRCİ'ye teşekkürü borç bilirim. Aynı zamanda, çalışmam süresince Aileme vermiş oldukları desteklerden dolayı çok teşekkür ederim.

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Başkanlığına sağlamış oldukları imkânlar ve desteklerinden dolayı ayrıca teşekkür ederim.

Tuğçe KIZILIRMAK
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	1
ABSTRACT.....	2
ÖNSÖZ	3
İÇİNDEKİLER	4
SİMGELER VE KISALTMALAR	6
1. GİRİŞ	7
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	9
2.1. Literatür Çalışmaları	9
2.2. Kompozitler	13
2.2.1. Elyaf takviyeli kompozitler	14
2.2.1.1. Elyaf Takviyeli Kompozitlerin İmalatında Kullanılan Malzemeler.....	15
2.2.2. Polimer Kompozitler.....	18
2.2.2.1. Termosetler.....	20
2.2.2.2. Termoplastikler	20
2.3. Kompozit Üretim Yöntemleri.....	21
2.4. Sandviç Kompozitler	27
2.5. Korozyon	28
2.5.1. Alüminyumlarda Korozyon	28
2.5.2. Elyaf takviyeli kompozitlerde korozyon.....	29
2.5.3. Deniz suyunun kompozitlere etkisi.....	31
2.5.4. Kompozitlerde ozmotik basınç	33
2.6. Elyaf takviyeli kompozitlerde hasarlar	35
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	39
3.1 Malzemeler	39
3.2 Kompozit Sandviçlerin Üretimi.....	39
3.3 Üç Nokta Eğme Deneyleri	42

3.4 Charpy Darbe Deneyleri.....	43
3.5 Hasar Analizi.....	44
4. DENEYSEL SONUÇLAR	45
4.1 Tuzlu Su Korozyon Çözeltilisi Absorpsiyonu.....	45
4.2 Üç Nokta Eğme Deneyleri	47
4.3 Charpy Darbe Deneyleri.....	49
4.4 Hasar Analizi.....	50
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	57
5.1 Sonuçlar	57
5.2 Öneriler	58
KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ	67

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

°C: Derece Celcius
µm: mikrometre
G: Ağırlık
M_e: Eğme Momenti
T_g: Camı Geçiş Sıcaklığı

Kısaltmalar

ASTM: American Society for Testing and Materials
SEM: Taramalı Elektron Mikroskopu
CTP: Cam Elyaf Takviyeli Plastik
KTP: Karbon Elyaf Takviyeli Plastik
PP: Polipropilen
PA: Poliamid
PES: Polieter sülfür
PAI: Poliamid imide
PEI: Polieter imid
PEEK: Polieter eter keton
PBO: Plyparaphenylenl benzobisoxazole
PVA: polivinil alkol
DMBA: Dimethylbenzanthrocene
Methpa: Methlytetrahydrophthalie
PBS: Polybutylene succinate
Al: Alüminyum
Al₂O₃: Alüminyum oksit (Alümina)
SiO₂: Silisyum dioksit (Silika)
NaOH: Sodyum hidroksit
HCl: Hidroklorik asit

1. GİRİŞ

Sandviç paneller; yüksek mekanik dayanım ve darbelere karşı sağlamış oldukları ultra-hafiflik sayesinde uydu sistemleri, otomotiv, denizcilik, havacılık, yenilenebilir enerji sistemlerinde türbin kanatları ve ulaşım gibi birçok uygulama sahalarında kullanılmaktadır. Sandviç panellerin yüksek elastik modülleri sayesinde kompozit ya da metalik ince dış yüzeylerin bal peteği ya da köpük biçimindeki ultra hafif ağırlıklı, kısmen kalın, gözenekli ara katmana kuvvetli bir şekilde bağlanmasıyla oluşur. Yüzey katman malzemesi eğme ve basma yükünü taşıyıp yapının rijitliğini arttırmasının yanında aşınma direncini de arttırarak dayanıklı bir dış yüzey katmanı sağlarken, ultra-hafif ara katman yapısıyla kayma gerilmesini taşıyabilen bir yapı oluşturmaktadır (Feng, Yang, Yu, Chen, & Wu, 2018; Sadiq, Bakhy, & Jweeg, 2020).

Geniş kullanım alanlarından dolayı sandviç yapıların korozyon davranışları özellikle havacılık uygulamalarında önem arz etmektedir. Panel durumuna getirilmiş sandviç panellerin esas özelliği; hafif bir çekirdek ve onu saran, tabakalı duruma getiren bir veya daha fazla sayıda farklı malzemedan meydana gelmeleridir. Bu maksatla giderek daha fazla kullanım alanına ulaşan alüminyum çekirdeğine sahip paneller, hafiflik, kesme ve basma dayanımı, aşınmaya dayanıklılık, aleve dayanıklılık, korozyona dayanıklılık ve kolay işlenebilirlik özellikleri sebebiyle önemli avantajlar sağlar.

Cam elyaflar, kompozitlerde takviye malzemesi yaygın olarak kullanım sahasına sahip olup ve düşük maliyetlidir. Cam elyafların genel itibariyle kompozit malzemelerde düşük ağırlığa karşı yüksek dayanım sağlamaktadır. Alüminyum alaşımları ile karşılaştırıldığında yüksek elastik modülü sağlamasının yanında, aramid, karbon ve grafit elyaflara nazaran daha düşüktür. Cam elyaf malzemelerinin iç yapıları amorf yapıya sahip değildir. Cam elyaf ile takviyelendirilmiş polimer matrisli kompozitlerin rijitlik karşı yoğunluk oranları, metallerinkine karşı daha düşüktür. Aynı zamanda cam elyaflar yüksek korozyon direncine sahiptirler (Callister & Rethwisch, 2018). Koroziif şartlara göre zamanla mekanik özelliklerde kayıpların oluşmasına neden olmaktadır (Wang ve dig., 2015).

E-cam elyaflar düşük alkali oranı özelliklerinden dolayı elektrik yalıtımı gibi özelliklerinden diğer cam türlerine göre üstün özellikler göstermektedir. Ayrıca mukavemeti oldukça yüksektir ve suya karşı direnci ise oldukça yüksektir. Nemli ortamlarda kullanılabilmesi için geliştirilen kompozitlerde genelde E camı kullanılır.

Düşük maliyet, iyi yalıtım ve düşük su absorbe oranı özelliklerine sahiptir (Masuelli, 2013; Sierakowski & Vinson, 1987).

Bu tez çalışmasında, E-Cam elyaf takviyeli alüminyum bal peteği sandviç kompozitlerin deniz suyu korozyon ortamında 10, 20, 30 ve 40 gün bekletildikten sonra üç nokta eğme ve Charpy darbe deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deniz suyu korozyonu ortamından etkilenen E-Cam elyaf takviyeli alüminyum bal peteği sandviç kompozitlerin mekanik özelliklerde meydana gelen kayıplar tespit edilmiştir. Deniz suyunun alüminyum bal peteği çekirdeği ve E-Cam elyaf takviyeli tabakalı kompozit yüzey plakalarında, ara yüzeyinde ve alüminyum bal peteği çekirdek yapıda meydana gelen hasarlara olan etkileri incelenmesi amaçlanmıştır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Literatür Çalışmaları

Bu bölümde, yapılan çalışma kapsamında daha önce gerçekleştirilen çalışmalara yer verilmiştir. Yapılan bu çalışma, tabakalı E-cam elyaf alüminyum bal peteği çekirdekli kompozit sandviç panellerin belirlenen korozif ortamda üç nokta eğme ve darbe cevaplarını, hasar ve korozyon hasarları davranışlarını kapsamaktadır. E-cam elyaf takviyeli kompozitler, korozif davranışları ve bal peteği sandviç paneller ile ilgili gerçekleştirilen çalışmalar aşağı sunulmuştur.

Ishai (1975) kompozitlerin ile ilgili çalışmada sıvı ve gaz ortamın ilk etkisi, absorpsiyon sonucu şişme ve bunun sonucunda da elyaf matris ayrılması olduğu ifade etmiştir. Asorbsiyon sonucu şişme sonucunda malzemede tersinir ve kalıcı özellik kayıpları gördüğünü belirlemiştir (Ishai, 1975).

Berketis ve ark. (2008), cam elyaf takviyeli kompozit numuneleri incelemiştir. 30 aya kadar 65 C° suda koşullandırılan test numunelerinin hasarları ve mekaniksel özellikleri araştırmışlardır. Hidrotermal etkinin, kompozitlerin yapısal rijitliğine etki ederek hasar oluşum ve gelişimlerine önemli derece etki ettiğini tespit etmişlerdir. Su ortamındaki koşullandırmanın kompozitin elastikiyet modülü üzerinde azaltıcı etki sağladığını belirlemiştir. Hidrotermal koşullandırma nedeniyle ilk önce elyaf/matris ara yüzeylerinde kılcal çatlaklar oluştuğu tespit edilmiş ve daha sonra kılcal çatlakların ilerleyerek yüzey çatlaklarını oluşturduğunu tespit etmişlerdir. Bu durumda olası ozmotik etkilerin, suyun kompozit malzemeye temas etmesine sebep olacağını bildirmişlerdir (Berketis, Tzetzis, & Hogg, 2008).

Jones ve ark. (1984), ortam kirliliğinin CTP'lerin (Cam elyaf takviyeli plastik) yorulma davranışlarını değiştirmeyeceğini rapor etmişlerdir (Jones & Hegarty, 1984).

Shokrieh ve ark. (2000), farklı bir sıcaklıkta Charpy darbe testini uygulayarak CTP/epoksi kompozit malzemelerinin hasar mekanizmalarını araştırmışlardır. Düşük sıcaklıkta oluşan hasar mekanizmasının delaminasyon ve lif kırılması biçiminde meydana geldiğini, fakat yüksek sıcaklıktaysa matris kırılmasının oluştuğunu tespit etmişler ve sıcaklık artışında interlaminar kayma gerilmesinde de artış olduğunu belirtmişlerdir (Shokrieh, Torabizadeh, & Fereidoon, 2011).

Hogg (1990), yaptığı çalışmada reçine türünün gerilmeli korozyona etkisini birkaç reçine türüyle denemiştir. Bu çalışmada, çatlak ucunda reçine deformasyonu meydana geldiğini farz ederek, çatlak ilerleme hızı ve gerilme arasında bir bağıntı bulmuştur. Çalışmanın en önemli sonucu ise reçinenin, gerilmeli korozyon çatlak ilerleme direncini, yalnızca çatlak ucunda elyafa iletilen gerilmelerle kontrol edildiğini, dolayısıyla, CTP'nin gerilmeli korozyon direnci için reçine kimyasal direncinin yüksek olması istenmekle beraber daha önemlisi çatlak oluşumu ve ilerlemesini geciktirebilmesi olduğunu rapor etmiştir (Hogg, 1990).

Ghasemnejad ve ark. (2010), Karbon Fiber Takviye (KTP) ve Cam Elyaf Takviye (CTP) kompozitlerine Charpy darbe testi uygulayarak numunelerde delaminasyon oluşturulmuştur. Delaminasyonun etkileşimini ve absorbe edilmiş enerji enerjisini incelemişlerdir. Hibrit tasarımının, kompozit malzeme yapılarının enerji absorbe kapasitesini önemli düzeyde artırabileceğini belirlemişlerdir (Ghasemnejad, Furquan, & Mason, 2010).

Qui ve Kumosa (1997), yaptıkları çalışmada, asidik ortamların cam elyaflarında öncelikle kalsiyum ve alüminyum iyonlarını bitirdiğini göstermiştir. Bu metalik iyonların sökülmesinde hidrojen iyon konsantrasyonundan çok, asit çözeltisindeki anyonların çokluğunun önemli olduğunu rapor etmişlerdir. Ayrıca, E cam elyafların gerilmemiş durumda pH=1 olan nitrik asit içinde 2 hafta sürede belirgin bir hasar göstermediklerini, sülfirik ve oksalik asitlerde ise, asit tipi ve derişime göre elyaf üzerinde enine ya da boyuna çatlaklar gözlemlendiğini rapor etmişlerdir (Qui & Kumosa, 1997).

Zheng ve ark. (1997), çalışmalarında alüminyumum metallere değişken genlikli yüklenme esnasında, yorulma neticesinde oluşan korozyon çatlağı ve genişleyen çatlağın yorulma ömrüne olan etkilerini incelenmiştir. Deneyler neticesinde yüksek yüklemelerin çatlak oluşumunu ve gelişimini geciktirici etki ettiğini belirlemişlerdir (Zheng, Kiciak, & Glinka, 1997). Bununla birlikte korozif şartların değişken genlikli yorulma yüklemeleri esnasında (Buch, 1989; Y. Kim, Speaker, Gordon, Manning, & Wei, 1983) ve stabil genlik halinde (Khan & Younas, 1996) yorulma çatlağı oluşumu ve gelişmesi başka araştırmacılar tarafından da incelenmiştir.

Menges ve Gitschner (1980), enine matris şişmesiyle oluşan iç gerilmelerin, ara yüzeyde büyük gerilme yığılmalarına yol açarak çatlama neden olduklarını ileri

sürmüştür. Reçine ve elyaf içerisinde çözülebilen tuzlar, ara yüzeyde su ceketleri oluşturarak osmotik basıncı arttırdığını ifade etmişlerdir (Menges & Gitschner, 1980).

Murtaza ve ark. (2000), çalışmalarında çatlak oluşum ve gelişimini ampirik formüller ile incelemeye çalışmışlardır. Aynı zamanda havada ve sulu ortam şartlarında meydana gelen yorulmalı korozyon davranışları arasındaki etkileşimi ampirik formülasyon ile belirlemeye çalışmışlardır (Murtaza & Akid, 2000).

Kawada ve ark. (2001), yaptıkları çalışmada E Cam-Vinil ester, Cam Epoksi ve C-Cam Vinil ester örgülü kompozit levhaları HCl ortamında test edilmişlerdir. Çatlak ilerleme davranışının asit konsantrasyonu, gerilme şiddet faktörü, sıcaklık ve zamanla değiştiğini göstermişlerdir. Ayrıca E camın C camından daha fazla hasar uğradığı hasar analizlerinde de göstermişlerdir (Kawada & Srivastava, 2001).

Megel ve ark. (2001), E Cam/Polimer kompozitlerin (polyester, epoksi ve vinil ester matris) pH=1.2 nitrik asidik ortamında dört noktadan eğme deneyine maruz bırakmıştır. Olayın gelişimi akustik emisyon ve elektron mikroskopuyla incelenmiştir. Sonuçta, E cam/vinil ester'in korozyon çatlak başlama direnci E cam/epoksi den yaklaşık 10 kat fazla olduğunu göstermişlerdir. Bu çalışmada gerilmeli korozyon davranışının matris malzemesinin cinsine bağlı olduğu görülmüştür. Ayrıca gerilmeli korozyon çatlaklarının ç ayrı kademesi olduğu ki bunlar çatlak oluşumu, kritik altı çatlak, kararlı çatlak ilerleyişi olduğu gösterilmiştir (Megel, Kumosa, Ely, Armentrout, & Kumosa, 2001).

Shan ve ark. (2002), CTP ve KTP epoksi kompozitlerin çekme yorulma davranışlarını hava ve 25 °C de saf suda test etmişlerdir. %85 maksimum çekme dayanımında yapılan testlerde, önemli değişikliğin olmadığı sonucuna varmışlardır. Fakat %65 ve %45 maksimum dayanımlarında yorulma ömrünün azaldığını bildirmişlerdir (Shan & Kin, 2002).

Demirci ve ark. (2018) gerçekleştirdikleri çalışmada karbon/alüminyum sandviç kompozitlerin ve aynı tabakalı karbon elyaf takviyeli epoksi kompozitlerin mekanik özelliklerini ve Charpy darbe davranışlarını incelemişlerdir. Bal peteği yapının eğilme kuvvetinde %52 artış darbe dayanımında ise 2,3 kat artış sağladığını belirlemişlerdir (Demirci, Dönmez, Devrez, & Demirci, 2018).

Demirci (2018) yapmış olduğu çalışmada bazalt elyaf takviyeli alüminyum bal peteği sandviç kompozitlerin ve bazalt elyaf takviyeli epoksi kompozitlerin Charpy

darbe dayanımlarını incelemiştir. Bal peteği çekirdek yapının 2,4 kat enerji absorpsiyonunu arttırdığını tespit etmiştir (Demirci, 2018).

Doğan ve Arıkan (2017) çalışmalarında E-cam takviyeli termoset ve termoplastik yüzeyli PVC köpük çekirdekli sandviç kompozitlerin düşük hızlı darbe deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında darbe bölgesinde meydana gelen hasarları incelemişler (Dogan & Arıkan, 2017).

Demirci (2022) çalışmasında GNP katkılı ve katkısız BTP/Alüminyum kompozit sandviçlerin düşük hızlı darbe deneylerini gerçekleştirmiştir. GNP katkısının darbe davranışlarını iyileştirdiğini tespit etmiştir (Demirci, 2022).

Farrokhadi ve ark. (2020) çalışmalarında farklı geometrilerdeki CTP kafes çekirdek yapıya sahip örülmüş cam elyaf takviyeli epoksi sandviçlerin üç nokta eğme deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Dikdörtgen şekilli çekirdek yapının, yamuk ve üçgen geometrik yapıdan daha iyi mekaniksel özellikler gösterdiğini deneysel ve teorik analizler ile belirlemişlerdir (Farrokhadi, Taghizadeh, Madadi, Norouzi, & Ataei, 2020).

Geren ve ark. (2017) karbon elyaf yüzey plakalı PVC köpük sandviçlerin farklı kalınlıklarındaki eğilme dayanımına etkisini incelemişlerdir. Çekirdek kalınlığının artmasıyla eğilme dayanımının arttığını tespit etmişlerdir (Geren, Çağrı, Boztepe, & Bayramoğlu, 2017).

Tunca ve Kafalı (2021) çalışmalarında karbon poliüretan/PLA çekirdek kompozit sandviçleri ANSYS analizi ile üç nokta eğme, düzlem basma ve kenar basma testleri ile incelemişlerdir (Tunca & Kafalı, 2021).

Çağdaş ve Yıldırım (2019) çalışmalarında cam poliüretan köpük sandviçlerin üç nokta eğme deneyleri ile birlikte titreşim analizlerini yapmışlardır. Sonlu elemanlar yöntemi ile mukayese etmişlerdir (Çağdaş & Yıldırım, 2020).

Flasar ve ark. (2017) $[\pm 45]$ ve $[0/90]$ olmak üzere iki farklı yönlenmiş karbon kompozit yüzey plakalı alüminyum sandviç kompozitlere Charpy darbe deneyleri gerçekleştirmişler ve en iyi darbe kuvveti ve darbe enerjisinin $[\pm 45]$ yönlenmiş tabakalı karbon alüminyum sandviç kompozitlerde elde edildiğini belirlemişlerdir (Flasar, Triska, & Junas, 2017).

Shi ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada karbon alüminyum sandviç kompozitlere kırılmış kevlar takviye ederek yapışma ara yüzeyinde adezyon kuvvet dayanımını arttırmaya çalışmışlardır (Shi, Sun, Hu, & Chen, 2014).

Jan ve ark. (2015) çalışmalarında, cam elyaf takviyeli alüminyum sandviç kompozitlere üç nokta eğme testleri uygulamışlardır. Deney neticesinde elde edilen maksimum kuvvet değerlerinden çekirdek kayma, eğilme ve yüzey plaka eğilme gerilimlerini belirlemişlerdir (Jan ve dig., 2015).

Yukarıdaki çalışmalar incelendiğinde, bal peteği ile ilgili çalışmalar bulunmakta olup, bal peteğinin deniz suyu korozyonu ortamında nasıl bir mekanik davranış sergilediği ve meydana gelen hasarların hangi mekanizmalar vasıtasıyla arttığı ve korozyon ortamının nasıl etkilediği ile ilgili yeterli çalışmalar bulunmamaktadır. Aynı zamanda adezyon ara yüzeyinin deniz suyu korozyon ortamında nasıl bir cevap verdiği ile ilgili literatürde yetersizlikler bulunmaktadır.

2.2. Kompozitler

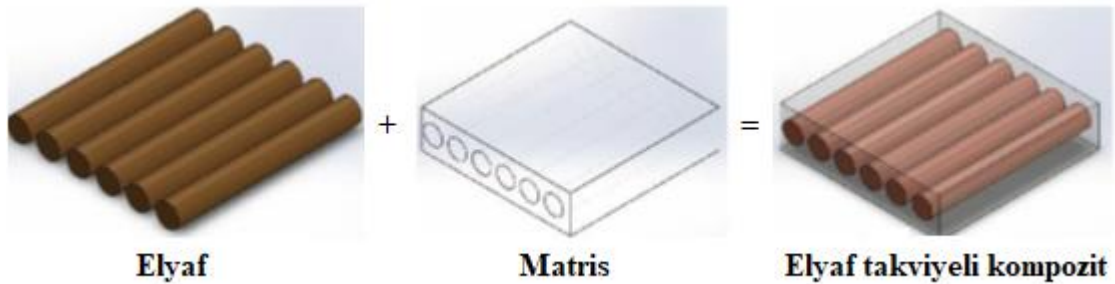
Kompozitin ilk kullanımı 1950 yıllarında başlamıştır. Kompozit malzeme birden fazla bileşene sahip, karmaşık ve birden fazla faza sahip bir sistem olması nedeniyle doğru ve tam olarak tanımlanamamaktadır. Kısaca ifade edilecek olursa; farklı özelliklere ve şekillere sahip iki ya da daha fazla bileşene sahip malzemelerin birleşmesi ile oluşan malzemelere kompozit denir (Wang, Zheng, & Zheng, 2011). Farklı bir şekilde tanımlanacak olursa; makro düzeyde birbirlerinin içinde iki ve daha fazla bileşenden meydana gelmiş malzemelere “kompozit malzemeler” olarak ifade edilir (Kaybal, 2019). Kompozit malzemeler yalnızca esas bileşenlerinin özelliklerini kapsamakla kalmayıp yeni özelliklerinde türetilmesine imkân sağlamaktadır. Kompozit malzemelerin sahip olduğu özellikler; mikro yapıda homojen olmayan bir yapıda olup farklı bir ara yüzeye sahiptir; bir araya getirilen bileşenlerin performansları daima birbirlerinden farklıdır, meydana getirilen kompozitin birleştirilen malzemelerden üstün bir performansı göstermelidir (Wang ve dig., 2011). Kompozit malzemeleri meydana getiren bileşenlerinden birisi takviye malzemesi olarak diğeri de matris olarak ifade edilmektedir. Buna göre kil ve saman takviyesi ile üretilen kerpiç, demir çubuklar ile takviyelendirilmiş beton, telle takviye edilen arabanın lastiği, elyaflarla (fiberlerle) takviye edilmiş polimer malzemeler kompozit malzemelere örneklerdir. Kompozit malzemelerin içyapısı yapısal olarak incelendiğinde üç temel fazı içerdiği ifade edilmektedir. Biri sürekli olan matris fazı, diğeri ise matris ile çevrelenen takviye fazı, sonuncusu da takviye ve matris fazı arasında arabirim olan kompozitlerin ara yüzey fazı

olarak ifade edilirler. Ara yüzey fazı, mikro yapı düzeyinde incelendiğinde, takviye ve matris fazlarının tek başına gösterdikleri özelliklerin haricinde, bu iki fazın birleşimi sonucunda meydana gelen kompozit malzemenin ara yüzeyinde farklı kompleks yapılar oluşmaktadır (Wang ve dig., 2011).

Kompozit malzemeleri sınıflandırılırken birden çok yöntem bulunmaktadır. Örneğin takviyelendirmede parçacık takviyeli kompozitler, elyaf takviyeli kompozitler, difüzyon takviyeli kompozitler bulunmaktadır. Farklı esas ve uygulamalara dayalı, fonksiyonel ve yapısal sınıflandırmalarda bulunmaktadır. Fonksiyonel grup içerisinde kompozit malzemeler fonksiyonlarına uygun olarak da elektriksel, termal, optik fonksiyonlu kompozit malzeme ve benzerlerine ayrılabilir. Kompozit malzemeler farklı hazırlama işlemlerine göre de tabakalı, sarımlı, pultrüzyon, tekstil yapıli kompozit malzemeler vb. gibi de sınıflandırılmaktadır (R. M. Wang ve dig., 2011). Kompozitlerin kendi içerisinde sınıflandırması matris (metal, inorganik metal ve polimer), faz durumuna (sürekli ve süreksiz kısa elyaflar, örgü elyaflar, lamine, parçacık takviyeli ve nano parçacık takviyeli) ve takviye elemanına (karbon, cam, organik, bor, hibrit ve silisyum karbür elyaflar) göredir (Wang ve dig., 2011).

2.2.1. Elyaf takviyeli kompozitler

Elyaf (fiber) takviye malzemesine sahip kompozit malzemeler, yüksek mukavemet ve düşük ağırlıklarına rağmen daha düşük mukavemetli matris reçinenin içine gömülmesi ile oluşturulan kompozit yapılarıdır. Böylece kompozitlerde amaç ise dayanımı ve elastikiyet modülü yüksek yeni malzemenin oluşturulmasıdır. Elyaf takviyeli kompozitlerin oluşumları Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Elyaf takviyeli kompozitlerin oluşumu (Alçı, 2016).

Elyafar kompozitlerin yapısında;

- Kompozitlere uygulanan yükün %70-90 aralığında taşıma kapasitesine sahiptirler
- Kompozit yapı sahip oldukları hafiflik, rijitlik, termal ve elektrik yalıtımı gibi özelliklerini sağlarlar (Mazumdar, 2001).

Matrislerse kompozitlerin yapısında;

- Elyafarı bir araya getirir, yükün çoğunluğunu elyafara iletirler.
- Elyafarın arasını doldurarak elyafarın ayrı kalmalarını sağlarlar. Bu durum çatlağın gelişmesinde için geciktirici etki yaparlar.
- Yüzey kalitesini artırırılar.
- Elyafarı izole ederek aşınmalarını ve kimyasal tepkimeyi önlerler.
- Elyafarınki gibi darbe direnci, sünekliği ve tokluğu yapılarına eklerler (Mazumdar, 2001).

Elyafarın kompozit içinde biçimleri kompozitlerin özelliklerini önemli oranda etki ettiği gibi kompozit yapılarının işlenebilirliğini önem derece etki etmektedir. Kompozitlerin mekanik özellikleri; elyafarda süreklilik, yoğunluk, oryantasyon açısı ve boyutları gibi etkenlere bağlıdır.

2.2.1.1. Elyaf Takviyeli Kompozitlerin İmalatında Kullanılan Malzemeler

Elyaf Malzemeleri

Elyaf malzemeleri kullanım yerine ve amacına farklılık göstermektedir. Elyaf malzemeleri genellikle polimer ve seramik yapıya sahiptir. Birçok elyaf tipi mevcut olup en çok endüstride kullanım yerine sahip olan elyafar; karbon elyafar, cam elyafar, aramid elyafar ve bazalt ve seramik elyafardır (Callister & Rethwisch, 2018).

Cam Elyafar

Cam elyafar sürekli ve süreksiz olmak üzere polimer matrisler içerisinde takviye malzemesi olarak çok yaygın bir şekilde endüstriyel alanda kullanıma sahiptir. Cam elyafarın çapları genel itibariyle 3µm ve 20µm arasında değişmektedir. Cam elyafarın kullanımlarındaki önemli tercih sebepleri, ergiyik halde kolay çekilebilir ve yüksek dayanımlı olmaları, kimyasal içeriklerinden dolayı kolay bulanabilir olmaları,

polimer matris ile uyumlu dayanıklı bir kompozit oluşturabilmeleri ve kimyasal dirençlerinin yüksek olmalarıdır (Callister & Rethwisch, 2018).

Cam elyaflar kimyasal içeriklerinin ana kısımlarını silika, alüminyum, demir, sodyum ve bor ve oksitleri oluşturmaktadır. Cam elyaflarda silikanın yanında kalsiyum, alüminyum, bor, demir ve sodyum oksitleri de farklı oranlarda içerebilmektedir (Evcin, 2017; Sepet, 2014).

Kimyasal bileşimlerin farklı oranlarda ayarlanması ile ve farklı imalat yöntemlerinin kullanılması ile birçok cam elyaf yapıları elde edilmektedir. Fakat farklı yapıdaki cam çeşitleri korozyon direnci, sertlik, kimyasal reaksiyonlara karşı direnç ve hafiflik, kolay şekillendirilebilme şeklinde farklı cam özelliklerini gösterirler. Buna ilave olarak cam maliyeti düşüktür. Belirtilen özellikler camı önemli malzemelerden birisi haline getirmektedir (Alçı, 2016).

Cam elyaflar, elektrik uygulamalar için E-cam, silika içeriği yüksek S-cam, kimyasal direnç için C-cam, dielektrik sabiti düşük olan D-cam elyaflar gibi türlerden oluşmaktadır. S- camın mekaniksel özellikleri E-cam ve diğer tür cam elyaflardan yüksektir (Kaw, 2005; Masuelli, 2013; Sierakowski & Vinson, 1987).

Silika ve Kuvars Elyaflar

Silika ve Kuvars elyaflar cam elyafların kimyasal özelliklerinden olan silika bileşeninin farklı miktarı nedeniyle ayrılırlar. Silika elyafların silica içeriği cam elyaflardan çok yüksektir. Silika ve kuvars elyafların dayanım ve rijitlik vb. mekaniksel özellikleri cam elyaflara oranla daha iyi sonuçlar gösterirken, maliyetleri ise cam elyaflar ile mukayese edildiğinde daha yüksektir (Barbero, 2010).

Karbon Elyaflar

Karbon elyaflar, yüksek dayanımları, hafiflikleri ve kimyasal ve çevresel ortamlarda gösterdikleri iyi dirençleri sebebiyle maliyeti yüksek olmasına rağmen havacılık ve savunma endüstri için üretilen kompozitlerin önemli derecede kullanılan elyaflarıdır. Karbon elyaflar yüksek spesifik dayanım ve rijitliğe, düşük ağırlık performansına, yüksek termal stabilitesine, kendi kendine yağlama özelliğine ve korozyon direncine sahiptir. Özellikle yüksek dayanım performansına karşı düşük ağırlık göstermesi hava, kara ve deniz ulaşım araçları gibi birçok endüstriyel alanda kullanımı alanı artmıştır (Sharma ve dig., 2014).

Karbon elyafların üretiminde poliakrilonitril lifler (PAN), zift reçineler ile yüksek sıcaklıklarda oksidasyon ve termal piroliz yoluyla karbonlaşır. Daha ileri grafitleştirme ve germe prosesleri ile karbon elyafların mekanik özellikleri geliştirilebilir. Karbon elyafların çapları 9 - 17 µm arasında değişmektedir. Karbon elyaflar üç farklı yüksek, orta ve düşük elastik modüllü yapılara sahiptir (Masuelli, 2013).

Boron Elyaflar

Tungsten telinin bortriklorürün ve hidrojen kimyasal buhar biriktirme yöntemi ile üretim yapılan boron elyaflar genel itibariyle yüksek mukavemet ve rijitlik ile birlikte az yoğunluktadır. Boron elyafların geniş kullanım alanları spor ürünleri ve uzay uygulamalarıdır. Boron elyaflar yüksek çalışma sıcaklıklarında mekanik özelliklerini koruyabilme özelliklerine sahiptir. Artan tokluk, kırılma ve basma mukavemeti özelliklerindedir. Fakat, kırılğan olduklarından dolayı darbelerden etkilenme özelliklerine taşımaktadırlar(Barbero, 2010).

Bazalt Elyaflar

Bazalt elyaflar, bazalt taşı olan volkanik kayaçların eritilmesiyle elde edilmektedir. Bazalt elyaflar, iyi mekanik özelliklere, darbe dayanımına, korozyon direncine ve termal özelliklere sahiptir. Bazalt elyafların mekanik özellikler E-cam elyaflardan yüksek olmasına rağmen, karbon elyaflardan düşüktür. Bazalt elyafların maliyetleri ise karbon elyaflardan daha düşüktür (Demirci, Tarakçioğlu, Avcı, Akdemir, & Demirci, 2017).

Aramid Elyaflar

Aramid elyaflar, düşük yoğunluklu elyaflar arasında yüksek çekme ve yorulma dayanımlarına, darbe direnci gibi avantajlara sahiptir. Aramid elyaflar hafif olmalarından dolayı pek çok alanda kullanılmaktadır. Savunma teknolojilerinde, deniz ve hava ulaşım araçlarında, otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır. Tüm bunların yanında ultraviyole ışınlarından etkilendiği için dezavantajlarını oluşturmaktadır (Alçı, 2016).

Metalik Elyaf

Metalik elyaf, metal malzemelerin elyaf biçimine getirilerek üretilirler. Hafifliğin ön plana çıktığı alanlarda alüminyum elyaf, yüksek dayanım istenen yerlerde çelik elyaf ve yüksek rijitlik istenen yerlerde tungsten elyaf tercih edilmektedir. Metalik elyaf sadece mekanik değil ısı ve elektriksel alanlarda da tercih sebebi olabilmektedir (Barbero, 2010).

2.2.2. Polimer Kompozitler

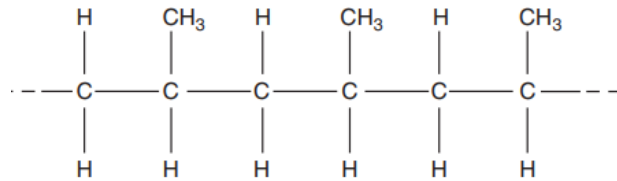
Elyaf takviyeli kompozitler için matris fazın birkaç önemli fonksiyonu bulunmaktadır. Bunlar elyafı bir araya gelmesini ve bir arada tutma görevini devam ettirmesi, elyafı yük transferini sağlamak ve yükü dağıtmaktır. Burada matris sünek olmalıdır. Elyafın elastik modülleri matris malzemelerinden oldukça yüksek olmalıdır. Matrisin diğer bir önemli fonksiyonu ise elyafı yüzey hasarlarından, mekanik aşınmalarda ve çevresel şartlar altında kimyasal reaksiyonlardan korumaktır. Bu yüzden dolayı matrisin tok bir yapıda olması arzu edilir (Callister & Rethwisch, 2018).

Matrisin kompozit malzemenin yük taşıma kapasitesindeki rolü mekanik özellikleri nedeniyle daha küçüktür. Bunun yanı sıra matris, kompozit malzemelerin basma dayanımı, katmanlar arası ve yüzeylerde meydana gelen kayma gerilmesi performansını etkilemektedir. Ayrıca, basma yükleri altındaki kompozit malzemede elyafın burkulma olasılığına karşı yanal destek sağlamaktadır. Eğilme yükü altındaki kompozit yapıda katmanlar arası kayma gerilmesinin tasarımda dikkat edilmesi gerekirken, diğer yandan da burulma yükü altındaki malzemede de düzlem içi kayma mukavemeti önem arz etmektedir (Mallick, 2007). Endüstriyel ve bilimsel çalışmalarda yaygın bir biçimde kullanılan çeşitli matris malzemeleri Çizelge 2.1'de sunulmuştur.

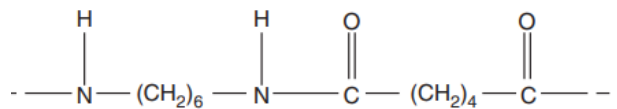
Çizelge 2.1. Genel kullanım alanlarına göre polimer matrisler (Mallick, 2007).

Termoset Polimer Matrisler
Epoksi: Uzay ve havacılık uygulamalarında
Polyester, Vinilester: Otomotiv, denizcilik, elektriksel ve kimyasal uygulamalarında
Fenolik: kalıp uygulamalarında
Poliamid: Yüksek havacılık uygulamalarında
Termoplastik Polimer Matrisler
Naylon, Termoplastik polyester: Süreksiz elyafların enjeksiyon kalıp uygulamalarında
Poliamid, Polieter: Sürekli elyafların yüksek sıcaklık uygulamalarında

Polimerler, güçlü kovalent bağlarıyla bir araya getirilen bir veya daha fazla tekrarlanan atom grupları ihtiva eden, uzun molekül zincirleri olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.2’de polimer zincirindeki tekrarlanan gruplar polipropilen ve naylon için örnek olarak verilmiştir. Yaygın olarak plastik olarak da adlandırılan polimerik malzemeler benzer kimyasal yapıya sahip fakat eşit uzunlukta olmayan molekül zincirlerine sahiptirler. Katı halde, bu moleküller ya amorf polimer halinde rastgele bir şekilde ya da yarı kristal polimer halinde düzenli/rastgele bir şekilde bulunmaktadır. Şekil 2.3’te amorf ve yarı kristal polimer haldeki molekül dizilişi gösterilmektedir. Mikroskobik ölçekte bir polimer zincirinde rastgele ve farklı tepki verecek gruplar bulunmaktadır. Sıcaklığın artışı ile bu grupların sayısı, yoğunluğu ve frekansı artmaktadır. Bu da polimer malzemenin özelliklerinde değişmelere neden olacaktır (Mallick, 2007).

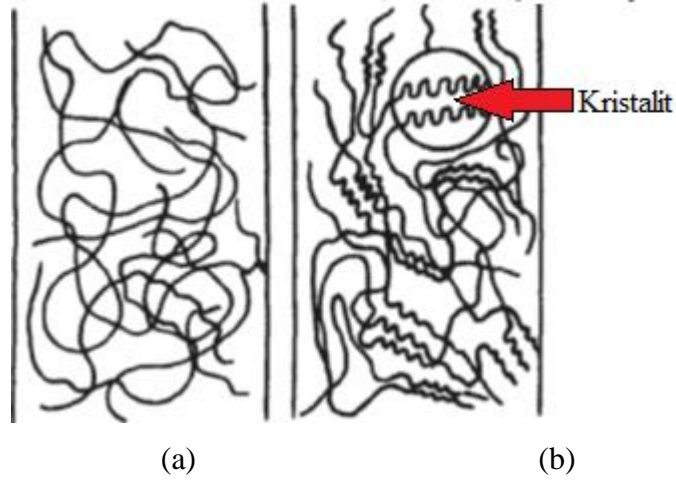


a



b

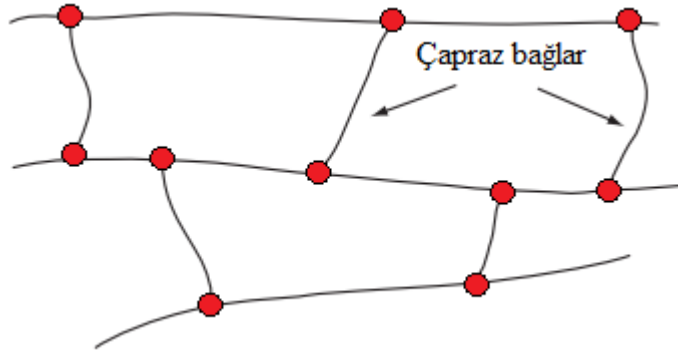
Şekil 2.2. Polimer moleküllerinde örnek tekrarlanan gruplar a) Polipropilen molekülü b) Naylon molekülü(Mallick, 2007).



Şekil 2.3. Molekül düzeni a) Amorf polimer b) Yarı kristal polimer(Mallick, 2007).

2.2.2.1. Termosetler

Termosetlerde moleküller, üç boyutlu bir ağ yapısı ve rijitliği meydana getiren çapraz bağlar aracılığıyla kimyasal olarak birbirlerine bağlanırlar. Bu çapraz bağlar polimerizasyon (kürleme) esnasında meydana getirilmektedir ve ısı etkisiyle herhangi bir erimeye maruz kalmamaktadır. Ancak sayı olarak çapraz bağların sayısı düşük ise yüksek sıcaklıklara ulaşıldığında termoset malzemeleri yumuşatmak mümkün olmaktadır. Şekil 2.4'te termoset malzemesinin şematik görünümü verilmiştir (Mallick, 2007).



Şekil 2.4. Termoset polimer şematik gösterimi (Mallick, 2007).

2.2.2.2. Termoplastikler

Termoplastik malzemelerde moleküllerin birleştirilmesi tek tek özel olarak yapılmaz. Moleküller zayıf ikincil, Van Der Waals ve hidrojen bağları durumlarında

moleküler arası kuvvetler vasıtasıyla bir arada tutulmaktadır. Termoplastik malzemede ısıyla birlikte ikinci bağlar geçici olarak kırılabilir ve moleküller birbirine göre hareket ettirilebilir. Soğutulduklarındaysa, ikincil bağlar yeni bir oluşum içerisine girerek restore edilir ve yeni bir katı oluşturulabilir. Termoplastik polimerler ısı ile yumuşatılabilir, eritilebilir ve arzu edildiği kadar yeniden şekillendirilebilirler. Termoplastik polimer Şekil 2.5'te şematik olarak sunulmuştur (Mallick, 2007).



Şekil 2.5. Termoplastik polimerlerin şematik gösterimi (Mallick, 2007).

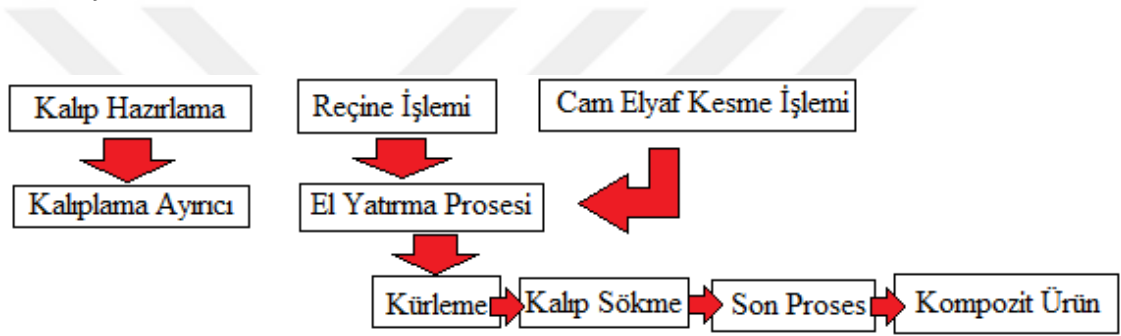
2.3. Kompozit Üretim Yöntemleri

Kompozit malzeme üretim yöntemlerine göre belli başlı isimler altında sınıflandırılmaktadır. Birçok üretim yöntemi farklı uygulamalarda kullanılabilir. Detaylı açıklamalar aşağıda belirtilen başlıklar verilmektedir.

Elle yatırma yöntemi

Kalıplama yöntemiyle üretilen kompozit üretim yöntemlerinden biride elle yatırma yöntemidir. Elyaf kumaş malzemelerin elle yatırma yöntemi kompozit üretim sahasında hala geniş bir yer kaplamaktadır. Üretim elyaf kumaşların kesimlerinin yapıldıktan sonra tek tek kumaş tabakaların el ile üst üste istenilen tabaka sayısında kalıbın içerisine yerleştirilerek termoset reçine ıslatılarak gerçekleşmesi ya da prepreg olarak bilinen takviyelerin kalıbın içerisine yerleştirilerek gerçekleşmesidir. Bu yöntemdeki en büyük sıkıntılardan birisi üretimi gerçekleştiren işçi becerisinin yüksek olmasıdır. Üretim esnasında takviye kumaşların hasar görmesi el yatırma yöntemi ile yapılan üretimde kompozit üretim kalitesini etkileyebilmektedir (Elkington, Bloom, Ward, Chatzimichali, & Potter, 2015; Van Hattum, Regel, & Labordus, 2011).

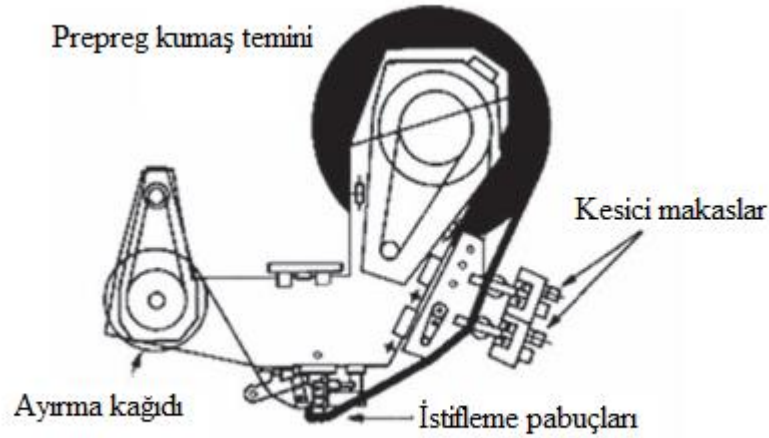
Hava araçlarında elyafların el yatırma yöntemi ile üretiminde oryantasyon olarak ifade edilen elyafların açılmal yönleri ($0^{\circ}/145^{\circ}/45^{\circ}/90^{\circ}$ vb. şekilde olabilmektedir. Bu düzende dizilen kompozitler yarı-izotrop özellik göstermektedirler. Bu şekilde üretilen kompozitlere kürlenmeye ısıl işleme tabi tutulmaktadır. Kaliteli bir kompozit üretiminde kompozitlerin içerisinde hava kabarcığı olmaması içine vakum torbası içerisinde basınçlandırma yapılarak üretimler gerçekleştirilmektedir. Daha kaliteli bir kürlenme prosesi için otoklav yöntemi kullanılmaktadır. Böylelikle basınçlandırma ve kürlenme işlemleri birlikte gerçekleştirilmekte ve üretimde esnasında oluşabilecek hatalar minimize edilebilmektedir (Wang, Zheng, &Zheng, 2011; Mohammad & Mohamed, 2018). Şekil 2.6’da şematik olarak elle yatırma yönteminde izlenen işlemler verilmiştir.



Şekil 2.6. Elle yatırma yöntemiyle elyaf takviyeli kompozit imalat tekniği (Wang ve dig., 2011).

Otomatik bant yerleşim yöntemi

Otomatik bant yerleşim yöntemi, otomatik bir işlem olup prepereg bantların serilerek hava ve uzay araçlarının kompozit parçalarının üretildiği yöntemdir. Şematik olarak gösterimi Şekil 2.7’de verilmiştir. Genel olarak kiriş, uçak kanadı ana kirişi, İççubuklar, uçak gövdesi gibi farklı parçaların imalatında kullanılan bir yöntemdir (Mohammad & Mohamed, 2018).

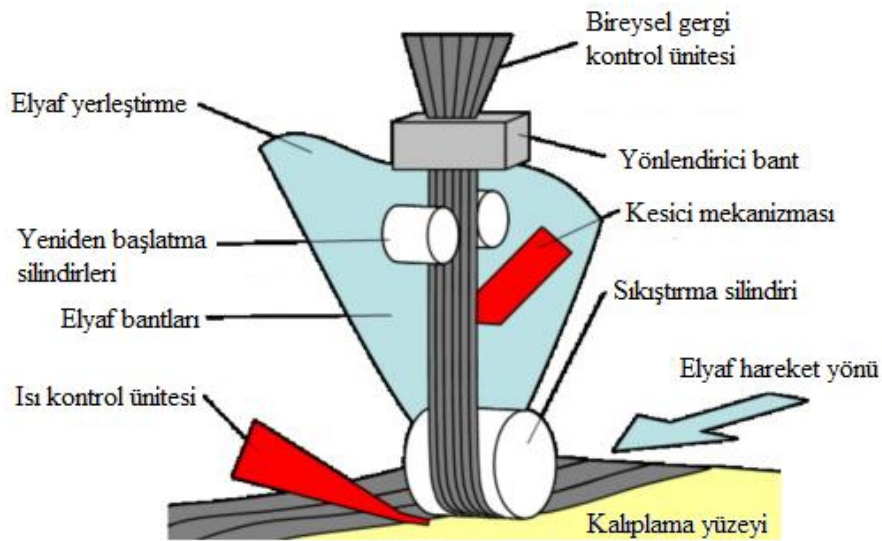


Şekil 2.7. Otomatik bant yerleşim metodu (Mohammad & Mohamed, 2018).

Otomatik bant yerleşim işlemi bilgisayar kontrollü sistemler ile yapılmaktadır. Sisteme yerleştirilen ve yüksek hassasiyetli bant yerleştirme kafası, kalıp üzerinde sıcaklık kontrollü olarak prepereg yerleşimini ve sıkıştırılmasını tabakalar halinde sağlamaktadır. İstenen kalınlığa gelindiğinde bant kafası üzerindeki bıçaklar ile prepereg kesilir. Bant kafası sürekli, yüksek hassasiyette ve seri olarak üretim sağlama kabiliyetine sahiptir. Preperereg sıkıştırma işleminden sonra ürün kürlenmeye bırakılmaktadır (Mohammad & Mohamed, 2018).

Otomatik elyaf yerleştirme yöntemi

Büyük uçak yapı sistemleri için otomatik elyaf yerleştirme metodu kullanılmaktadır. Bu işlem sırasında nümerik kontrollü robot kolları elyaf yerleşimini sağlayarak kontrollü sıcaklık verilmesiyle kalıp yüzeyinin kaplanması sağlanmaktadır. Bu üretim yönetimi kullanılarak silolar, basınçlı kaplar, silindirik yapılar, güç iletecek shaft sistemleri, roket motor kasaları uçak gövde silindirleri üretilebilmektedir (Debout, Chanal, & Duc, 2011; Mohammad & Mohamed, 2018; Görgün, 2019). Üretim işlemine ilişkin şematik görsel Şekil 2.8'de sunulmuştur.



Şekil 2.8. Otomatik elyaf sarım metodu (Pierre, Helene, & Emmanuel, 2011).

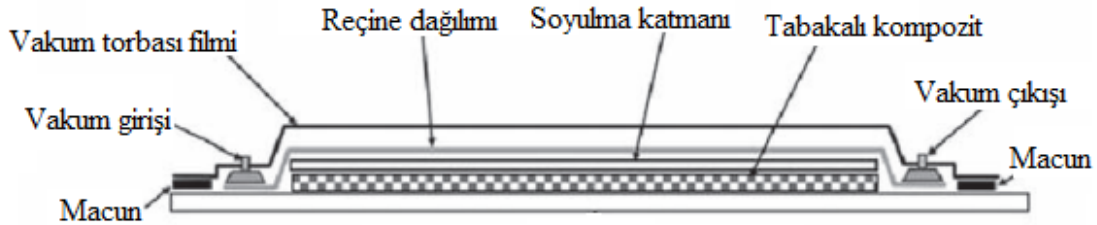
Söz konusu bu metot kullanılarak yüksek kalite ve mukavemette ürünlerin elde edilmesi sağlanabilmektedir. Polyester ya da epoksi gibi reçineler kullanılarak yapılan bu üretim yöntemi kendi için de kuru sarma ya da yaş sarma olarak işlemlere ayrılmaktadır. Sarım işleminde nümerik kontrollü robot kafaları kullanılmasından dolayı düzlemsel ya da helis şekilde sarımlarda gerçekleştirilebilmektedir (Mohammad & Mohamed, 2018).

Reçine transfer yöntemi ile kalıplama

Üretim hızı istenmeyen yavaş ve seri üretimin olmadığı hususlarda kullanılması gerçekleştirilen ve lokal üretimlerde kullanılan üretim proseslerindedir (Görgün, 2019; Mohammad & Mohamed, 2018).

Şekil 2.9'da görüldüğü gibi elyaf kalıp kapanmadan önce kalıplama yüzeyine yerleştirilmekte ve üzeri hava almayacak şekilde vakum torbası ile kapatılmaktadır. Matris reçine 100 Psi'dan düşük basınçlandırma işlemi yapılmaktadır. Kalıplar genellikle ayrılması ve kompozitin kolay sökülmesi için plastiklerden yapılmakta ve fakat kalıplama sonrası kesme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemin en önemli çıktısı karmaşık şekillerin kaliteli üretilmesi gerçekleştirebilmektedir. Sıcak presleme yöntemine göre daha az maliyetli olan bu sistemde matris olarak polyester, akrilik, epoksi, fenolik, ve vinil kullanılmaktadır. Elyaf olarak sentetik ve doğal elyafların bu

yöntem ile üretilmesi gerçekleştirilebilmektedir (Khalil, Kang, Khairul, Ridzuan, & Adawi, 2009; Bozkurt, 2017; Lin, Lee, Hong, Yoo, & Advani, 2006; Rouison, Sain, & Couturier, 2006).



Şekil 2.9. Reçine transfer yöntemiyle kalıplama(Bozkurt, 2017; Mohammad & Mohamed, 2018).

Basma kalıbıyla üretim yöntemi

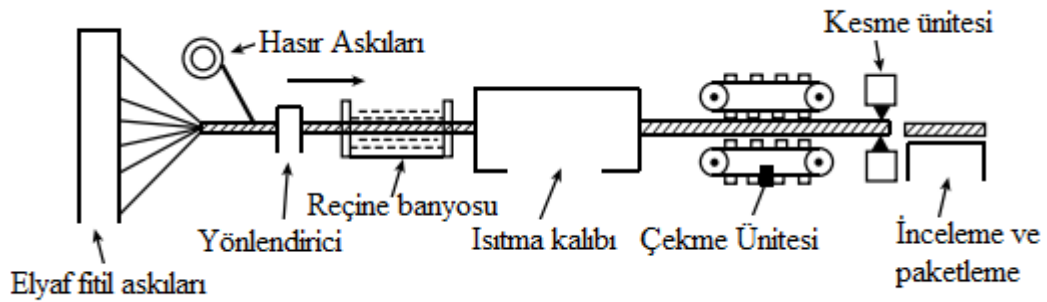
Basma kalıplama yöntemi ile malzemenin iki çelik kalıp arasında sıkıştırılarak üretimin yapıldığı bilinen işlemdir. Söz konusu bu yöntem geniş alanda kompozit malzeme imalatı için kullanılmaktadır. Enjeksiyonla imalat yöntemiyle kıyaslandığında basma metoduyla üretilen kompozit ürünler daha iyi mekanik özelliklere gösterebilmektedir. Isıtılmış bir kalıpla kompozitler preslenerek, yüksek sıcaklığa çıkartılmakta ve artan kalıbın basıncı ile birlikte reçine içerisine oluşan havanın oluşturduğu boşlukların dışarı atılması sağlanır. Böylece kompozit üründeki boşlukları ortadan kaldırılmaktadır (Mohammad & Mohamed, 2018; Shubhra, Alam, & Quaiyyum, 2013).

Filaman sarım yöntemi

Filaman sarım yöntemi ile üretim özellikle silindirik parçaların üretiminde kullanılması tercih edilmektedir. Bu yöntem dönen bir tambur üzerinde elyafların sarılması ile yapılmaktadır. Elyaf bantları reçine tankından geçirilerek ıslatılması gerçekleştirilir ve reçine emdirilen elyaflar silindir mandrale istenilen sarım açısında ileri ve geri hareketleri sarma işlemleri üst üste gerçekleştirilmektedir. Reçine ile ıslatılmış elyaf bantlarının silindirik mandrale sarım gerçekleştirildikten sonra küreleme fırınlarında döndürme işlemi ile sertleştirme prosesi gerçekleştirilir. Bu yöntem genelde savunma sistemleri imalatında kullanılmaktadır (Demirci, 2015; Görgün, 2019).

Pultrüzyon yöntemi

Kesintisiz sürekli sürekli elyafların ekstrüzyon kalıp aracılığıyla ile reçine banyosundan geçirilerek kompozit ürünlerin elde edilmesine dayanan üretim metodudur. Şekil 2.10'da verilen işlemdir. Kullanılması planlanan profil geometrisine göre kalıplar farklılıklar gösterebilmektedir. Reçine banyosundan geçen elyaflar kalıbın içerisinde kurlaşmaktadır. Bu üretim yöntemi ile imalatı yapılan kompozitler, yüksek miktarda elyaf içermesi nedeniyle mekanik özellikleri artmaktadır. Bununla birlikte bu üretim yöntemi ile istenilen tek yönde üretim sürekli olarak gerçekleştirilebilmektedir. Pultrüzyon proseslerinde genel itibariyle termoset reçineler kullanılmaktadır. Fenolik reçinenin yüksek sıcaklık dayanımı ve maliyetlerinin düşük olması nedeniyle pultrüzyon proseslerinde reçine matris olarak kullanılması tercih sebebidir. Pultrüzyon proseslerinde reçine matris olarak polyester, vinil ester ve epoksi endüstride yaygın bir şekilde kullanım yerine sahiptir. Epoksi matrislerin iyi mekanik özellikler göstermesine rağmen kurluşma ve kalıptan ayrılması uzun ve kolay olmaması bu üretim prosesinde dezavantaj oluşturmaktadır (Mohammad & Mohamed, 2018; Mohanty, Misra, & Drzal, 2005; Salit, Jawaid, Yusoff, & Hoque, 2015; Sapuan & Yusoff, 2015).

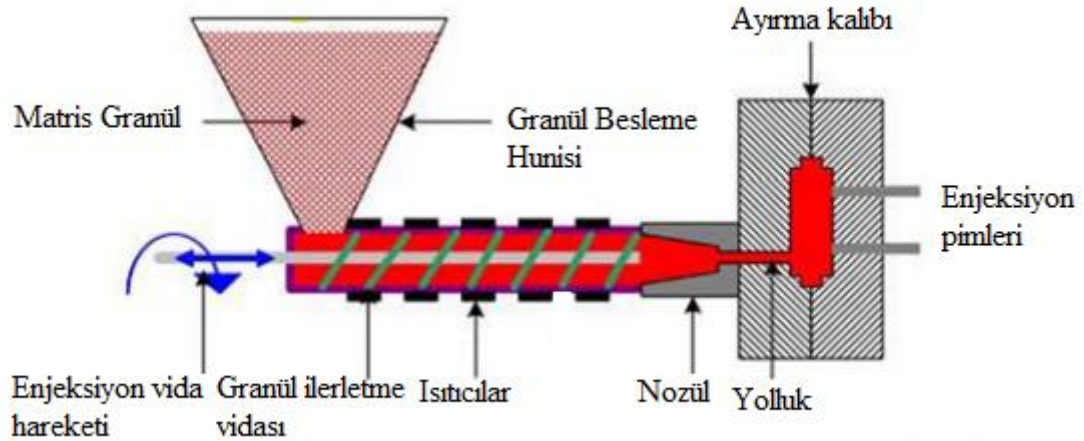


Şekil 2.10. Pultrüzyon yöntemi ile kompozit üretimi (Wang ve dig., 2011).

Enjeksiyon kalıplama yöntemi

Enjeksiyon kalıplama yöntemi seri üretimlerde oldukça hız kazandıran, karmaşık geometrik yapıdaki ürünlerin üretilmesine hızlı imkan sağlayan, üretim kapasitesini arttıran ve üretim neticesinde iyi mekanik özelliklerin elde edilmesine olanak sağlayan üretim yöntemidir. Bu yöntemde eritme kalıbının içerisinde matrisin malzemenin

eritilmesi, basınçlandırılması ve kütleme neticesinde ürün kalıbının formunu alarak kompozit ürün elde edilmektedir. Enjeksiyon kalıplama yönteminin şematik görünümü Şekil 2.11’de verilmiştir. Bu yöntem termoset ve termoplastik matrisli polimer kompozitlerin üretiminde uygun ve pratik bir yöntemdir (Görgün, 2019; Ho ve diğ., 2012).



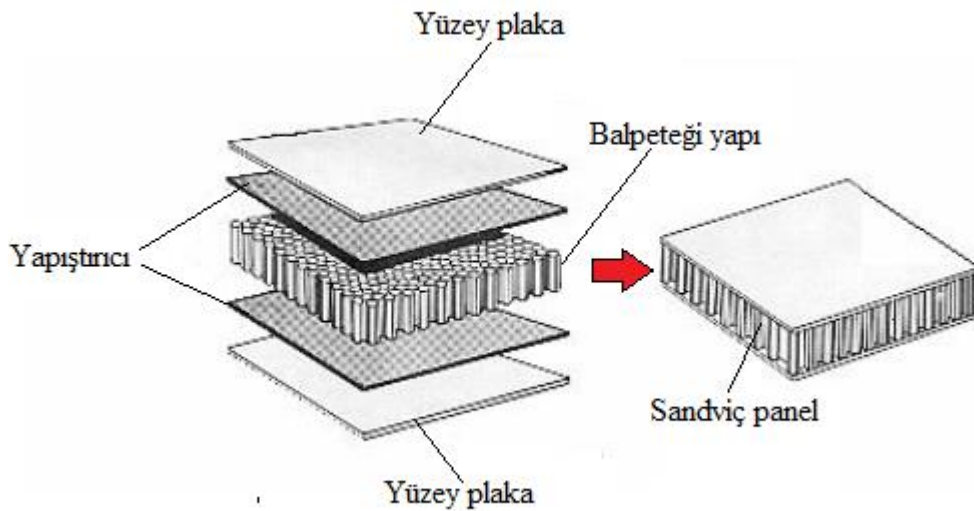
Şekil 2.11. Enjeksiyon kalıplama yöntemi (Görgün, 2019).

2.4. Sandviç Kompozitler

Sandviç malzemeler gelişen kompozit teknolojisinde en önemli uygulamalardır. Kompozit malzemeler birden fazla malzemenin hedeflenen amaçlar doğrultusunda birleştirilmesi ile meydana gelen yapılardır. Sandviç malzemelerde farklı yapıların istenilen mekaniksel özelliklere ulaştırılması için Şekil 2.12’deki gibi birbirleri içerisinde çözülmeyen birleştirilmesiyle meydana gelir. Sandviç kompozit malzemelerin tasarımında dış yüzeylerin yapısını mukavemet değerleri belirlerken, ara kısımda kalan çekirdeğin yapısını hafiflik ve burulmada istenilen değerler belirlemektedir (Çetinkal, 2019). Sandviç yapılar üst ve alt yüzey plakalarından ve orta kısmı oluşturan çekirdek yapıdan oluşmaktadır. Şekil 2.12’de sandviç yapıların bileşenleri verilmektedir. Sandviçlerin üst ve alt tabakaları dayanımı yüksek bir mekanik davranış sergiler iken, orta kısmı olan çekirdek yapı ise zayıf ve mekanik dayanımı düşük bir yapı sergilemektedir. Neticesinde dayanımı yüksek ultra hafif bir yapı malzemesi ortaya çıkmaktadır. Sandviç yapıların en önemli ortaya çıkan özelliği

ise eğilme rijitliğine karşı ultra hafiflik ile beraber göstermiş olduğu dirençtir (Akkuş, 2016; Çetinkal, 2019).

Sandviç yapılarda yüzey plaka malzemesi olarak, metal plakalar, cam ve karbon gibi tabakalı kompozit plakalar kullanılabilir. Çekirdek malzemesi olarak, alüminyum, balsa, PVC gibi polimer bazlı malzemeler, aramid vb. malzemeler kullanılabilir. Çekirdek yapı petek formunda yada köpük formunda hafiflik ve dayanım durumuna göre değişebilir (Akkuş, 2016; Demirci, 2020).



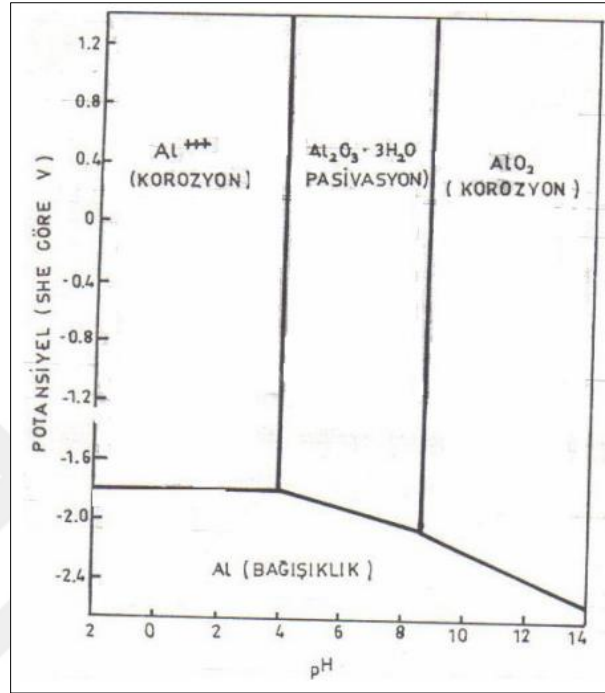
Şekil 2.12. Sandviç panel yapı (Arslan & Kaman, 2002).

2.5. Korozyon

2.5.1. Alüminyumlarda Korozyon

Alüminyum malzemesinin hafif olması sebebiyle havacılık ve uzay sanayisiyle birlikte, gelişen otomotiv endüstrisinde de yakıt tüketiminin azaltılması maksadıyla kullanılmaktadır. 19. yüzyıl sonlarında maliye yönden önemli mühendislik durumuna gelmiştir (Davis, 1999). Alüminyum yalnızca hafiflik özelliğiyle ekonomik bir değer olmasının yanı sıra korozyona dayanıklı olması nedeniyle de tüketici ve üreticiye kazanç sağlamaktadır. Ulaşım ve taşımacılık sektöründe kullanım ömrünü arttırmak için alüminyum gövdeye sahip araçları tercih etmektedirler. Alüminyumun oksijen afinitesinden dolayı korozyon direnci yüksektir. Bu durum da paslanmaz çelik vb. metallerde de oluşan oksit tabakası oluşumu neticesinde korozyon direncinin artışı ile

sonuçlanmaktadır (Soukieh, 2004). Alüminyum için korozyon Pourbaix Diyagramlarıyla açıklanabilir. Termodinamik prensiplerin esasında düzenlenmiş grafiklerde metalin hangi potansiyel ve pH daki ortamda durumunu göstermektedir. Şekil 2.13’de bu diyagram sunulmuştur.



Şekil 2.13. Alüminyumun pH-E diyagramı (Babacan, 1982).

Alüminyumda üç önemli korozyon öne çıkmaktadır. Korozyon tipleri oyuklanma, tanelerarası ve üniformdur. Üniform korozyonu görülebilir ve hızlı zamanda oluşması diğer korozyonlara göre daha az risklidir. Bununla birlikte, 130 °C sıcaklığında taneler arası korozyon problem oluşturabildiği gibi ve 15-60 °C sıcaklıklarda oyuklanma korozyonu risk problemini ortaya çıkabilmektedir (Soukieh, 2004). Bunun yanı sıra, iki farklı korozyon tipi, gerilmeli korozyon çatlağına sebebiyet verebilmesinden dolayı önem arz etmektedir. Fakat geri kalan korozyon çeşitleri de malzeme büyük problem teşkil eder.

2.5.2. Elyaf takviyeli kompozitlerde korozyon

Kompozit malzemelerin sahip olduğu dayanım, elyaf takviyelerle elyaflara kıyasla daha düşük dayanıma sahip matrisin birleşimiyle meydana gelmektedir. Yük

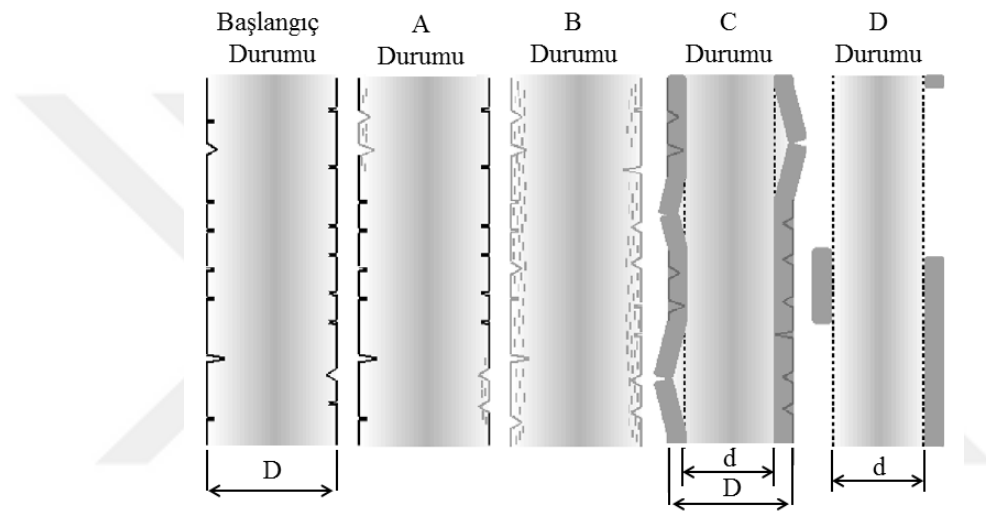
taşıma kapasitesi kompozitlerde en yüksek olan elyaf takviyelerinin korozyon ortam şartlarında sergileyeceği mekanik davranışları önem arz etmektedir. Kompozitlerde su absorpsiyonu, polimerlerden daha farklı olup, polimer matris içerisinde elyafların yerleşimine, hacimsel orana, polimerin kimyasal içeriğine ve absorpsiyon durumu vb. bir çok etkenlere bağlıdır (Graham-Jones & Summerscales, 2015).

Elyafların korozyona karşı dayanımında ana nokta dış faktörlerden korunması polimer matrisin korozyona karşı gösterdiği direncine orantılı olarak korozyonlu çatlak gelişimi matrisin kararlılığıyla doğru orantılıdır. Elyafların korozyon şartlarında birçok hasar oluşumu net bir şekilde ortaya çıkmasada, korozyon süresinin artmasıyla birlikte elyaf yüzeyinde hasar gelişimleri gözlemlenebilir (Wei, Cao, & Song, 2010).

Mingchao ve ark., bazalt elyafları damıtılmış su, NaOH ve HCl içerisinde yüksek sıcaklıkta elyafların kütle kaybı ve dayanım değişimini incelemişlerdir. Bazalt elyafların bazik ortamda, daha iyi korozyon direnci gösterdiğini tespit etmişlerdir. H₂O, NaOH ve HCl'de yüksek sıcaklıkta bazalt elyaflarında kütle kayıpları sırasıyla %0,4-4,3 ve 8,1 olarak belirlenmişler ve kimyasal içeriğin benzer olduğunu tespit etmişlerdir. Netice olarak H₂O ortamında yüksek mukavemete bazalt numunelerin, daha dirençli olduğunu belirlemişlerdir. Kimyasal içeriğinde element değişiminin asidik ortamda daha etkin olduğu ve Na, Mg, Al, K, Ca ve Fe elementlerinin azalarak değişiklik gösterdiğini tespit etmişlerdir. Bazalt elyaflarda ağırlıkça %30 üzerinde genel itibariyle metal elementlerini içermesinden dolayı, korozyon ortamında element içeriklerinin azalması neticesinde elyaflar korozyona uğrayarak mekanik özelliklerin zayıflamasına neden olmuştur. NaOH korozyon ortamında elyaf kimyasal içeriğinde bulunan Si elementinin OH iyonları tarafından zayıflatılarak ve korozyon ortamında Sodyum elementi sebebiyet verdiği ifade edilmiştir (Mingchao, Zuoguang, Yubin, Min, & Zhijie, 2008).

Scheffler ve ark., ise NaOH korozyon ortamında meydana gelen elyaf korozyonunu Şekil.2.14'de şematize edimiştir. Başlangıç olarak korozyonsuz şartlar altında yüzey hataları bulunduran elyaf gözlemlenmektedir. A şartlarında OH iyonları elyaf yüzeyindeki Si-O-Si kaplamayı geçerek hasarı genişletmeye başlamıştır. Bu süreçte yüksek gerilme yüklerinde elyafların birçoğunun kırılma olasılığı bulunurken düşük gerilmelerde bir kısmının kırılabilmesi kırılma durumu bulunabilmektedir. B sürecince artan korozyon etkisi, elyaf yüzeyini örterek genişleyen korozyon kabuğunun meydana gelmesine neden olabilmektedir. Korozyon esnasında su moleküllerinin temas

yüzeyinin artmasıyla kompozitin hacmin artmasına ve kompozitin şişmesine sebebiyet vermektedir. C’de ise, korozyonun oluşturduğu kabuk yapının kısmi bölgelerde elyaf yüzeyinden ayrılmaya başlamaktadır. Bu esnada korozif kabuğun altındaki elyaf yüzeyleri mevcut durumunu korurken ve elyaf çapında daralmalar başlamış ve korozyonsuz şartlardakine ne göre çapta azalmaların meydana geldiği tespit edilecek duruma gelmektedir. Son durum olan D ise kısmi bölgelerde korozyon kabuğunda yapışmaların olduğu, lokal alanlarda elyafların sıyrıldığı görülmektedir. D korozyon süresinden sonra korozyon aynı döngüyle gelişimine diğer yüzeylerde devam etmektedir (Scheffler ve dig., 2009).



Şekil 2.14. Bazalt elyaflarda korozyonun şematik gösterimi (Scheffler ve dig., 2009).

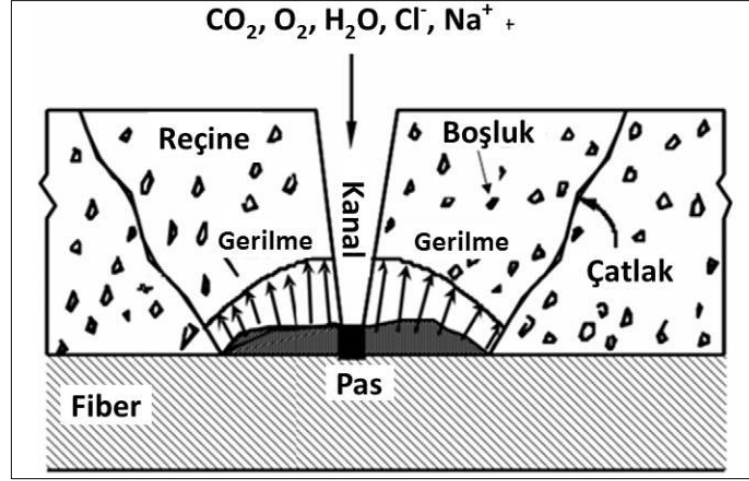
2.5.3. Deniz suyunun kompozitlere etkisi

Deniz suyunun özgül direncinin düşük olması ve yüksek oranda klorür ihtiva etmesi sebebiyle temas etmiş olduğu yapılar için önemli derecede aşındırıcıdır. Yüzeysel bölgelerde doygun halde oksijen bulunmaktadır. Deniz suyunun pH seviyesi ise yaklaşık olarak 8 civarındadır. Bu pH değerinde katodik reaksiyon oksijen mevcudiyetinde gerçekleşeceği için yüzeysel bölgeler korozyon için uygun bir ortam oluşturmaktadır. Suyun sürekli hareketli oluşu yüzeye çözülmüş oksijen temasını kolaylaştıracağından ve sürekli dalgalar etkisiyle ıslanma ve kuruma etkisine maruz alacağı için korozyon için çok uygun bir ortam oluşmaktadır. Klorür iyonu pasifliği bozucu etkisi nedeniyle korozyon hızını arttırıcı yönde rol oynar. Kalsiyum ve magnezyum gibi iki değerlikli iyonlar metal yüzeyinde karbonat, sülfat ve silikat halinde çökerek bir kabuk oluşturur. Bu çökeltme olayı katod reaksiyonu sonucu oluşan

hidroksil iyonlarının etkisiyle hızlandırır. Bunun yanı sıra sıcaklık arttıkça deniz suyunun dayanımı azalır ve korozyon hızının daha yüksek olmasına neden olur (Doğanay, 2007).

Deniz suyundaki tuz, basınç, nem ve alkali şartları polimer zincirlerin yapısının bozulmasına etki etmekte ve polimer bazlı ürünlerin ömürlerini olumsuz etkilemektedir. Deniz şartlarında sürekli değişkenlik gösteren dalga erozyonu, deniz yüzeyinde dalgalar yada serbest halde olan yüzey nesnelere çarpması ve bakteriler, deniz araçlarını bir çok korozyon faktörleri altında korozyona uğramasına neden olan etmenlerdir (Le Gac, Le Saux, Paris, & Marco, 2012). Deniz suyu polimer matrisin şişmesine, plastikleşmesine ve elyaf/matris ara yüzeyinde mekanik özellikleri azaltacak biçimde hidroliz reaksiyonu oluşumuna neden olabilen ortamdır. Polimer bazlı kompozelerde nem, asit ve bazik korozyon şartlarının yüksek olması durumlarında ve sıcaklığın artışıyla mekanik özelliklerin kayıpların meydana gelmesi dezavantajlarını oluşturmaktadır (Kim, Rhee, Jung, Park, & Hui, 2014). Dinamik gelgit durumlarına ek olarak sürekli neme maruz kalması dikkate alındığında deniz ortamının benzersiz olması kompozit malzemelerin dinamik yükleme ve dayanıklılık özelliklerini kritik duruma getirerek, denizde kullanılacak yapıların tasarımını zorlaştırmaktadır.

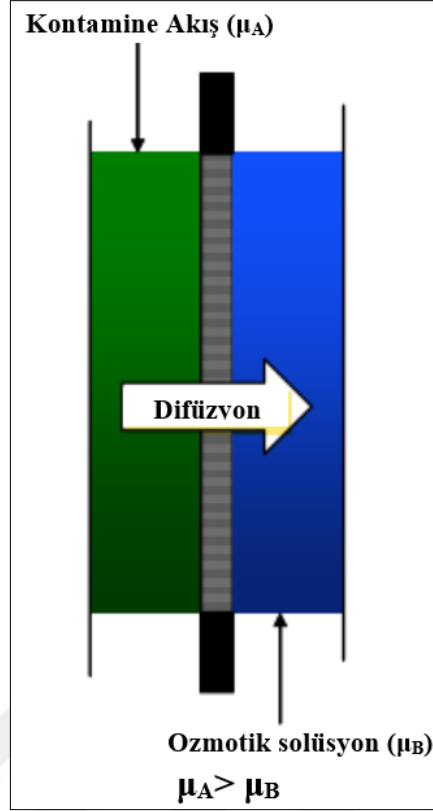
Wei ve ark., bazalt/epoksi kompozit numunelerde oluşan deniz suyunda oluşan korozyon mekanizmasını Şekil 2.15'te detaylı bir şekil izah edilmektedir. Deniz suyu korozyon şartlarında H_2O , O_2 , CO_2 molekülleri ve Cl^- , Na^+ iyonları matris içinde bulunan boşluklardan ya da kanallardan geçerek reçine ve elyaflarla reaksiyon durumuna girer. Aynı zamanda elyaflardan Ca, Mg, Al, ve K gibi bileşenler sızarak elyafın yüzeyinde hidrat katmanını oluşturur. Elyaf içeriğindeki metallerin elyaftan deniz suyuna difüze olması nedeniyle kütle kaybı olduğu gözlenmiş ve pH artışının sebebi olduğu belirtilmiştir. Sonucunda, kompozit malzemelerin mikro yapısının değiştiği, yapıda çatlakların meydana geldiği ve matrisin elyaflar üzerindeki yapışmanın büyük faktör olduğu belirtmişlerdir (Wei, Cao, & Song, 2011).



Şekil 2.15. Epoksi-Bazalt elyaf kompozit malzemelerinin korozyon mekanizmaları (Wei ve dig., 2011).

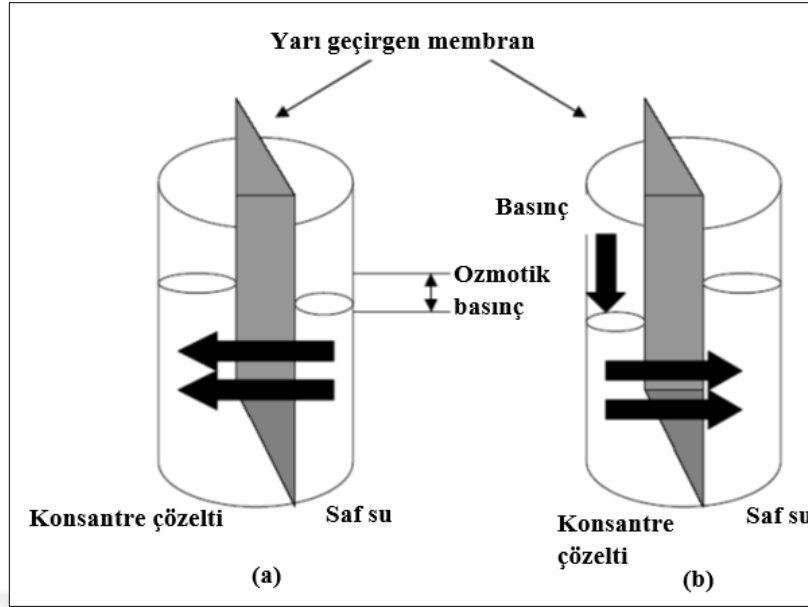
2.5.4. Kompozitlerde ozmotik basınç

. Ozmoz: İki farklı konsantrasyona sahip çözelti sıvının yarı geçirgen bir bariyer ile ayrılması sonucunda seyreltikten daha yoğun ortama nüfuz etme süresince gerçekleşmektedir. İki kısımda yoğunluklar eşitlenecek duruma kadar ozmoz durumu sürmektedir. Başka bir ifade ile ozmoz, geleneksel olarak suyun seçici zardan geçişi olarak tanımlanan fiziksel bir olgudur. Bu işlemdeki itici güç, saf difüzyon çözücüsünden membrandan çözeltiliye net akışı durdurmak için çözeltiliye uygulanması gereken basınç olarak tanımlanan ozmotik basınçtır (Şekil 2.16). Ozmotik basınç, konsantrasyon ve kaynama noktası yükselmesi ve donma noktası düşmesi gibi kimyasal potansiyel ile ilişkilidir. Çözeltinin konsantrasyonu arttıkça ozmotik basınç artar. Ozmotik basınç (π ile temsil edilir). çözülmüş katı konsantrasyonunun bir fonksiyonudur, burada n tüm iyonların toplamıdır Her 100 ppm toplam çözülmüş katı madde için 0,6 ile 1,1 psi arasındadır. Acı su (1,500 ppm) 15 psi ozmotik basınca sahiptir (Kucera, 2010).



Şekil 2.16. Düşük konsantrasyondan düşük kimyasal potansiyele (yüksek tuz konsantrasyonu) su akışı (Gazioğlu, 2017).

Ters ozmoz ise yaygın bir şekilde kullanılan membran işlemlerindedir. Ters ozmoz, minimum moleküler ağırlığa sahip çözünmüş inorganik tuz ve organik moleküllerin uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır (Kural, 2000). Bu işlemde çözünmüş organik ve inorganik bütün maddelerin çözeltiden uzaklaştırılmasına imkân veren, çözünme-difüzyon yöntemine göre yürüyen sistemdir (Koyuncu, 2001). Genellikle kullanılan ters ozmoz membranları kompozit veya asimetrik yapıdadır. İnce, yoğun ve yüksek dirence sahip membran yüzeyinden nedeniyle yüksek basınca uyum oluşturabilmektedir (Kopan, 2016). Ozmotik ve ters ozmotik şeması Şekil 2.17’de sunulmuştur.



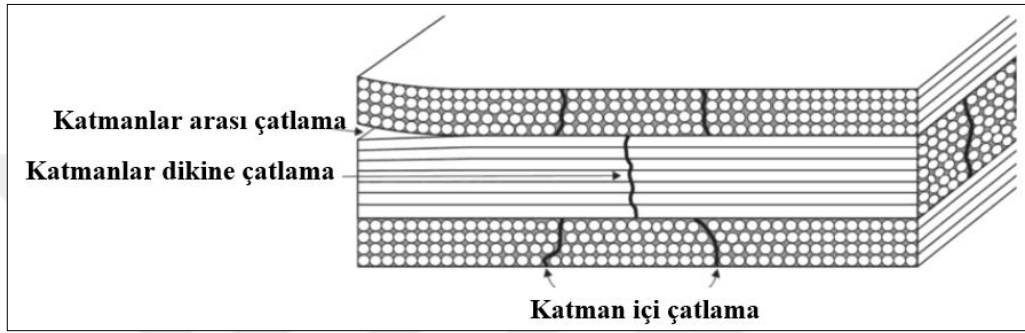
Şekil 2.17. a) Ozmoz ve b) ters ozmoz sistemlerinin gösterimi (Kopan, 2016).

2.6. Elyaf takviyeli kompozitlerde hasarlar

Kompozit malzemelerde meydana hasarlar genellikle; tasarım hatalarından, malzeme-üretim hatalarında ve kullanım esnasındaki uygunsuzluklardan oluşmaktadır. Fraktografi, bir bileşende oluşan hasarların nedenlerini, hasarların başlangıç yerlerini ve sonrasında meydana gelen mekanizmaların önemli detaylar sunarken, çatlak oluşumuna neden olan gerilme durumunu ortaya koyabilmektedir. Hasar incelemeleriyle kompozit araştırmalarında başlıca amaçlananlar şunlardır;

- Malzemenin kalitesi ve üretim bilgisi: Kompozit malzemeler imalat hatalarına ve üretimden kaynaklanan kusurlara oldukça hassastır. Genelde hasarın başlamasına neticesinde süreksizliklerin sonuçları hasarlı yüzeylerde gözlemlenmektedir.
- Hasar gelişiminin mikro mekaniği: Kompozit malzemelerde hasar aşamalarının anlaşılması ve nedeniyle oluşan hasar mekanizmaları tespit edilebilir.
- Deneysel tespitler ve neticelerin ilişkilendirilmesi: Deneysel çalışmalardan belirlenen gözlemlerle teorik modellerin arasında ilişki kurulabilir.
- Hasarların analizi: Hasarları yorumlama ve tespit edilmesini sağlayabilmektir.
- Hasarlar neticesinde gerçekleştirilen analizler: Oluşan hasarların tespitinden sonraki ve tespit esnasında oluşan hasarların analizlerini kapsamaktadır. (Greenhalgh, 2009).

Katmanlı kompozit malzemelerin hasarları Şekil 2.18'deki gibi genel anlamda üçe ayrılabilir (Graham-Jones & Summerscales, 2015). Katmanlar 90°lik açı ile kırılma, elyafların kırıldığı kalınlığında ilerleyen hasardır. Tabakalar içi hasar ise tabaka kalınlığı boyunca reçine ve elyaf ve matris ara yüzeylerindeki kırılma ile ilerleyen hasardır. Delaminasyon hasarı ise tabakalar arası hasar olup, zayıf olan kısımlarda tabakalar arası yüzeylerinde oluşan ayrılma hasardır. Tabakalar içi hasar, tabakalı kompozitlerde ilk oluşan ve diğer hasarlara neden olan hasarlardır. (Greenhalgh, 2009).

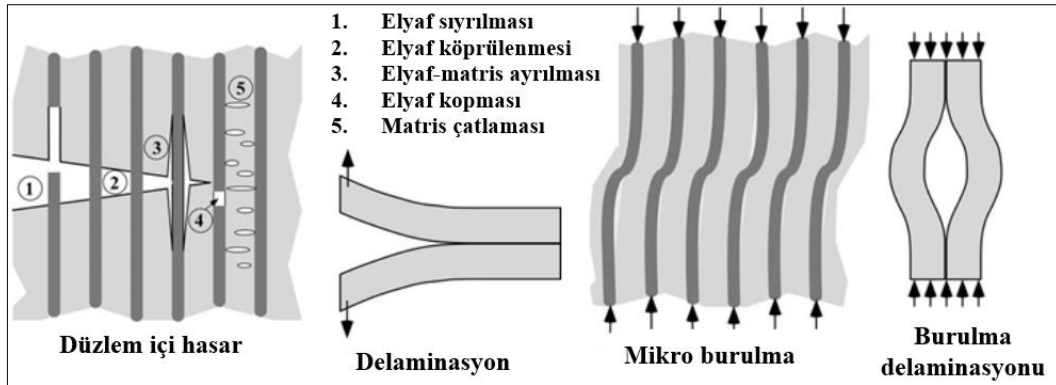


Şekil 2.18. Katmanlı kompozitlere ait hasarlar (Graham-Jones & Summerscales, 2015).

Kompozitlerde yük taşıma ve yorulma ömrünün tespit edilmesinde hasar başlangıcının ve gelişiminin tespit edilmesinde önem arz etmektedir. Kompozitlerde farklı yükleme şartlarında hasar gelişiminin, hasarın başlangıç aşamasında matris çatlakları, diğer evresi olan çatlak gelişimi, çatlakların lokalizasyonu ile katmanların ayrılması oluşumu ve son olarak da kopma hasarının oluşması biçiminde üç ana evresi bulunmaktadır.

Hasar toleransı bir yapının, kalınlık doğrultusundaki bulunan çentiği ile beraber kullanım koşullarındaki yükü taşıyabilmesi yönünden önemlidir. Hasar, elyaf takviyeli kompozitlerde üretim esnasında meydana gelen çentikler ile başlayabileceği gibi kullanım ile birlikte yorulma, darbe, aşınma vb. faktörlerin etkisi altında matris çatlakları oluşabilir. Matris çatlakları ilerleyen aşamalarda elyaf kırılması ve delaminasyonlar, debonding hasarlarının oluşumuna neden olmaktadır. Yapısal bütünlüğün bozulması kompozitlerde hasar kümeleşmesinin önemli bir dereceye ulaşmasından sonra meydana gelmektedir. Birçok çevresel ve iklimsel şartlar polimer temelli kompozitlerde hasarların oluşumu tetiklemekte ve gelişimini hızlandırmaktadır. Kompozitlerde bulunan çatlakların gelişimi; yeni hasarlı bölgelerin oluşması için gerekli enerjisi neticesinde ilerlemektedir (Ulus, 2019).

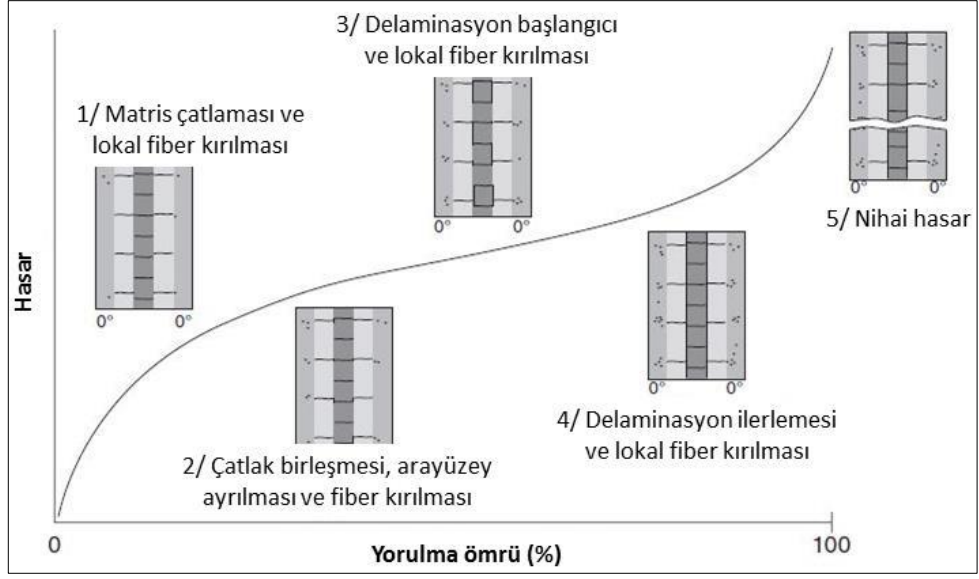
Kompozitlerde hasarların nihai kırılma hasarını oluşturmada önce diğer hasarların oluşumu önlem alma konusunda önem arz etmektedir. Kompozitlerde hasarlar kademeli olarak oluşmakta ve ilerlemektedir. Şekil 2.19’da elyaf takviyeli kompozitlerde genel olarak oluşabilecek çeşitli hasar mekanizmaları verilmiştir (Anderson, 2017).



Şekil 2.19. Kompozitlerde hasar mekanizmaları (Anderson, 2017).

Matris çatlakları, tespit ilk aşamalar zor olan ve yük taşıma kapasitesini düşüren ilk oluşan hasar tipidir. Gerilme yığılmalarına neden olan matris çatlakları tabakalar arasında delaminasyon hasarlarının oluşumunu ve gelişimini tetikleyerek hasarların büyümesine neden olmaktadır. Ayrıca delaminasyon hasarları kompozitlerde en çok tespit edilen ve gelişim gösteren hasarlardır. Delaminasyon hasarları kompozitlerin tokluk ve mukavemetini düşmesinde en önemli etken olan hasar tipidir. Kompozitlerde düzlem dışı gerilmeler delaminasyona hasarına neden olabilmektedir. Delaminasyon yük altındaki tabakalarda kümeleşmesiyle lokal bölgenin mekanik özelliklerinin zayıflamasına neden olarak yorulma ömrüne olumsuz etki etmektedir (Ulus, 2019).

Kırılmanın başlamasıyla birlikte oluşan gelişim Şekil 2.20’de verilmiştir. Yüklemin uygulamaya başlamasından sonra, hasar gelişiminde hızlı bir artış olduğu ve katmanlarda bölgesel elyaf kırıkların meydana geldiği görülmektedir (Reifsnider, 2012). Daha sonra meydana gelen aşamalarda tabakalardaki ayrılma oluşmakta, bölgesel ara yüzey ayrılmasının oluşmasına neden olmaktadır. Sonucunda, tabakalar arasındaki lokal delaminasyonların birleşmesiyle birlikte kırılma hasarları kompozitin nihai hasara uğramasına neden olmaktadır (Ulus, 2019).



Şekil 2.20. Kompozitler malzemelerde yorulma ömrüne bağlı olarak hasar gelişimi (Reifsnider, 2012).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Malzemeler

Yapılan bu çalışmada, bal peteği çekirdek yapı malzemesi, altıgen şekle sahip 3005/H19 serisi alüminyum kullanılmıştır. Kompozit sandviç panelde kullanılan alüminyum bal peteği 50µm alüminyum folyo kalıgına, 10.39 mm hücre genişliğinde ve yaklaşık 9.8 mm hücre yüksekliğine sahiptir. Kompozit sandviçler, üst ve alt tabakalı kompozit yüzeylerden meydana gelmektedir. Gerçekleştirilen çalışmada, üst ve alt yüzeylerin kompozit takviye malzemesi olarak E-cam elyaf tercih edilmiştir. E-cam elyaflar düz örgü dokuma olup, 200gr/m² nominal ağırlığa sahiptir. Üst ve alt tabakalı kompozit plaka yüzeylerin matris malzemesi olarak, MGS LR 285, Hexion DGEBA epoksi reçine ve matris reçinenin sertleştiricisi ise MGS LH 287 kullanılmıştır. Epoksi reçinenin ağırlıkça sertleştirme oranı 100:40'dır. Ara yüzey yapıştırıcısı olarak aynı epoksi ve sertleştirici kullanılmıştır. Deniz suyu korozyon şartları kızıl deniz tuzu kullanılarak ağırlıkça %6 NaCl tuzlu su çözeltisi olarak hazırlanmıştır. E-cam elyaf takviyeli alüminyum bal peteği kompozit sandviçlerin (Cam/alüminyum kompozit sandviç) tuzlu su çözeltisindeki deniz suyu korozyon şartları yöntem kısmında detaylı bir şekilde verilmiştir.

3.2 Kompozit Sandviçlerin Üretimi

Gerçekleştirilen çalışmada, üst ve alt tabakalı kompozitlerin tabaka sayı 3 kat olarak tercih edilmiştir. Buna göre, üst ve alt tabakalı yüzeyleri oluşturmak için yanmaz ve yapışmaz iki naylon üzerinde cam elyaflar 3 kat tabakayı tamamlamak üzere el yatırma yöntemi kullanılarak sertleştiriciyle karıştırılan epoksi reçineyle ıslatılmıştır. Üst ve alt tabakalı yüzeyleri oluşturmak için her bir cam kumaşa aynı işlem uygulanmıştır. Daha sonra, alt tabakalı yüzeyi oluşturacak ıslatılmış cam kumaşların üzerine 400x400mm boyutlara sahip alüminyum bal peteği yerleştirilmiştir. Üst tabakalı yüzeyi oluşturacak olan diğer ıslatılmış e-cam kumaşlar yapışmaz ve yanmaz naylon ile beraber alüminyum bal peteği çekirdeğinin üzerine dikkatlice yerleştirilmiştir. Cam kumaşların ıslatılmış olarak alüminyum bal peteğinin altına ve üstüne yerleştirilmesinden dolayı, kumaşların epoksi ile ıslatılmış yüzeyleri yapıştırıcı görevi yapmaktadır. Bu üretim metodunda, kumaşların ıslatılarak çekirdek yapının yüzeylerine yerleştirilmesinin yüzey/çekirdek ara yüzey yapıştırıcı ile cam kumaşın matris

malzemesi arasında sürekliliği sağlayarak sandviçin yapısal bütünlüğünü artırdığı düşünülmektedir. Aynı zamanda, üretim prosesinde kolaylık ve üretim süresinin kısalmasını sağlamaktadır. Alüminyum bal peteği ile bir araya getirilen ıslatılmış yüzeylerin kürlenerek kompozit sandviç panellerin üretimini gerçekleştirmek için sıcak presleme yöntemi gerçekleştirilmiştir. Sıcak preslemede 5 bar basınç uygulanmıştır. Sıcak presleme ile yapılan kompozit sandviçlerin üretim şekli aşağıda Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



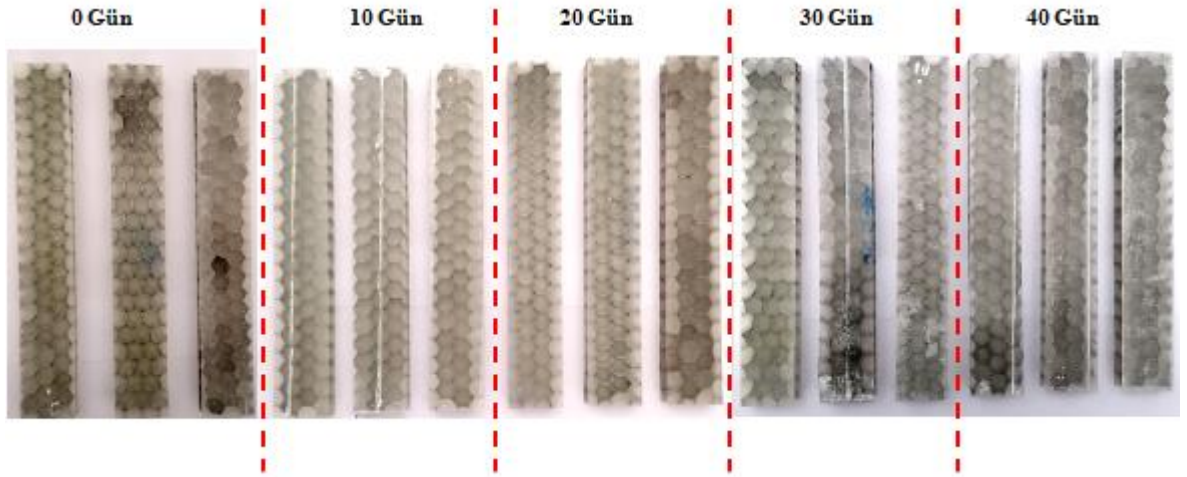
Şekil 3.1 Sıcak pres yöntemi ile E-Cam/Alüminyum kompozit sandviçlerin üretimi

Tüm sandviç kompozitler, Kızıldağ tuzundan hazırlanan tuzlu su çözeltisinde korozyon şartlarına tabi tutulmuştur. Cam/alüminyum kompozit sandviçlerden ilk grup tuzlu su ortamında referans numuneler olmak üzere karşılaştırma açısından tuzlu su korozyon ortamında bekletilmemiştir. Korozyon ortamında diğer grup numuneler üç nokta eğme ve Charpy darbe deneylerinde meydana gelen kayıpları belirlemek için 10, 20, 30 ve 40 gün süresince bekletilmiştir. 10, 20, 30 ve 40 gün sürelerince bekletilen üç nokta eğme ve Charpy darbe numuneleri sırasıyla korozyon günlerini tamamladıkça korozyon ortamında çıkartılıp kurulandıktan sonra hassas terazi vasıtasıyla ağırlık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ağırlık ölçümlerinde gaye, E-cam elyaf takviyeli yüzey

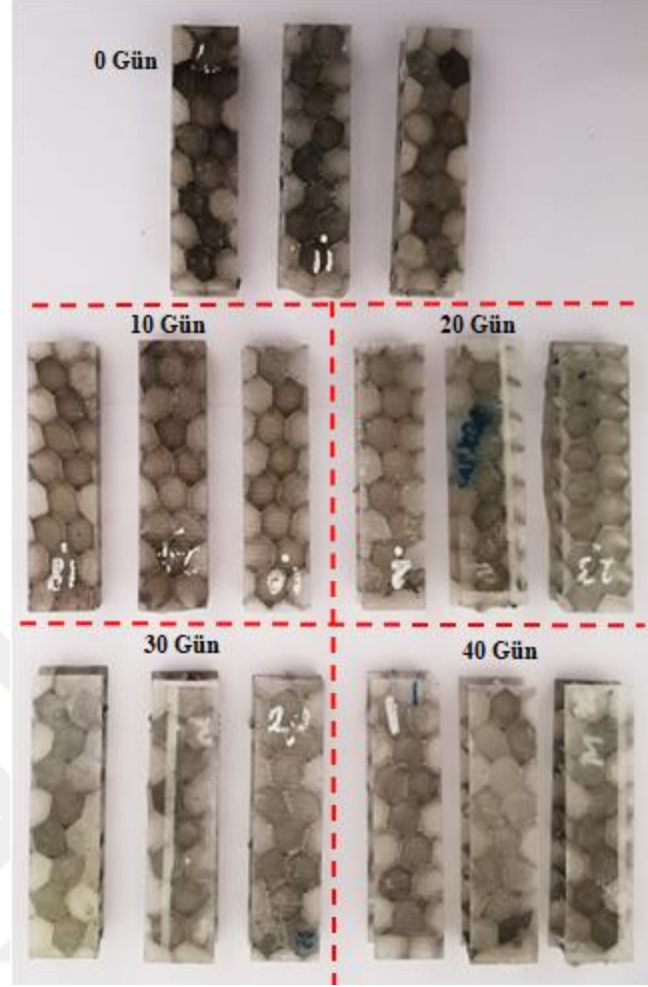
kompozitlerin emdiği tuzlu su çözelti miktarını (deniz suyu) tespit etmektir. Böylelikle kompozit yüzeylerde meydana gelebilecek hasarların tetikleyici ve ozmatik basınç etkilerini belirlenebilecektir. Çözelti emme miktarı ile mekanik ve darbe enerjilerindeki kayıplar ilişkilendirebilecektir. Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de korozif ortam ve bu ortamda bekletilen üç nokta eğme ve darbe numunelerinin resimleri verilmiştir.



Şekil 3.2 Kızıl deniz tuzlu su ortamı



(a)



(b)

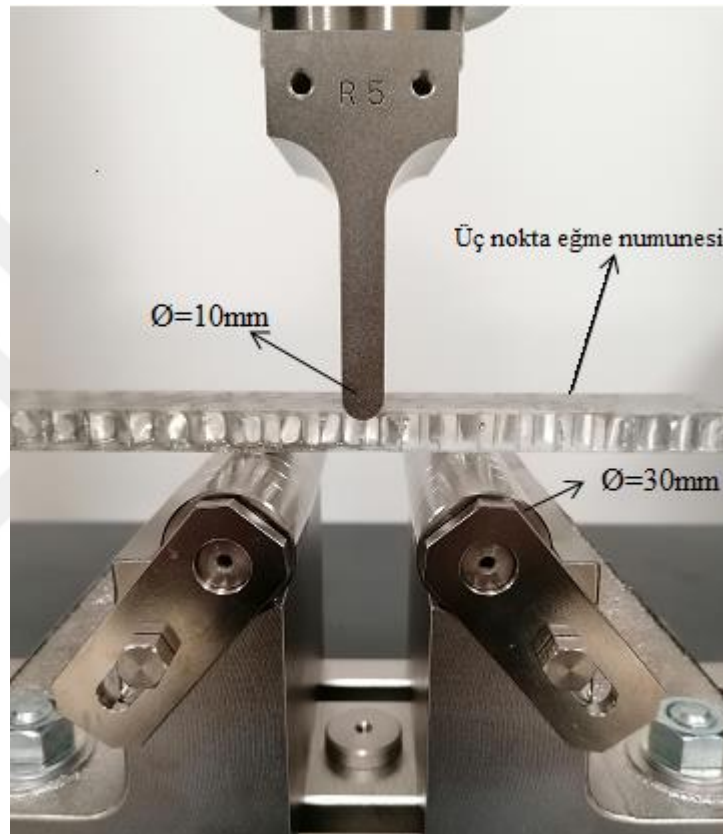
Şekil 3.3 Korozyon ortamında bekletilen üç nokta eğme (a) ve darbe numuneleri (b)

Üç nokta eğme ve Charpy darbe deneylerine geçilmeden önce ağırlıkları tartılan üç nokta eğme Charpy darbe numunelerinin günlere göre emilin çözelti miktarı grafikleri çizilerek doyum noktalarına yaklaşıp yaklaşılmadığı belirlenmeye çalışılmıştır.

3.3 Üç Nokta Eğme Deneyleri

Üretilen E-cam/alüminyum kompozit sandviç panellerden ASTM standartlarına göre üç nokta eğme ve Charpy darbe deney numuneleri kesilerek elde edilmiştir. Üç nokta eğme deneyi numuneleri ASTM C393/C393M-20 standardına uygulan olarak kesilmiştir. Üç nokta eğme deneyi numunelerinin ölçüleri yaklaşık olarak 200x30x10.9 mm olup, eğme deneylerine hazır hale getirilmiştir. Üst ve alt yüzey cam tabakalı kompozitlerin yaklaşık yüzey kalınlıkları yaklaşık 0.55 mm ölçülmüştür. Deney numunelerine uygulanan üç nokta eğme testi aşağıda verilen Şekil 3.4’de sunulmuştur.

Üç nokta eğme testlerinde destekler arası mesafe 8 mm dir. Üç nokta eğme testleri 5mm/dk basma hızında Shimadzu AGS-X 100 kN elektrik kontrollü basma-çekme test cihazında gerçekleştirilmiştir. Üç nokta eğme deneyleri tuzlu su çözeltisinde bekletilmeyen referans numuneler, 10 gün, 20 gün, 30 gün ve 40 gün korozyon sürelerinde bekletilen numunelere uygulanmıştır. Böylelikle korozyon süresinin mekanik kayıplara etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.4 Üç nokta eğme testleri

3.4 Charpy Darbe Deneyleri

Tuzlu su çözeltisi korozyon ortamında bekletilmeyen Charpy darbe referans numuneler, 10 gün, 20 gün, 30 gün ve 40 gün sürelerince bekletilen Charpy darbe numunelerine uygulanmıştır. Deney numunelerine ISO 179-2 standardına göre çentiksiz Charpy darbe testleri gerçekleştirilmiştir. Charpy darbe deneyi test cihazı ve test numuneleri Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Charpy darbe test cihazı

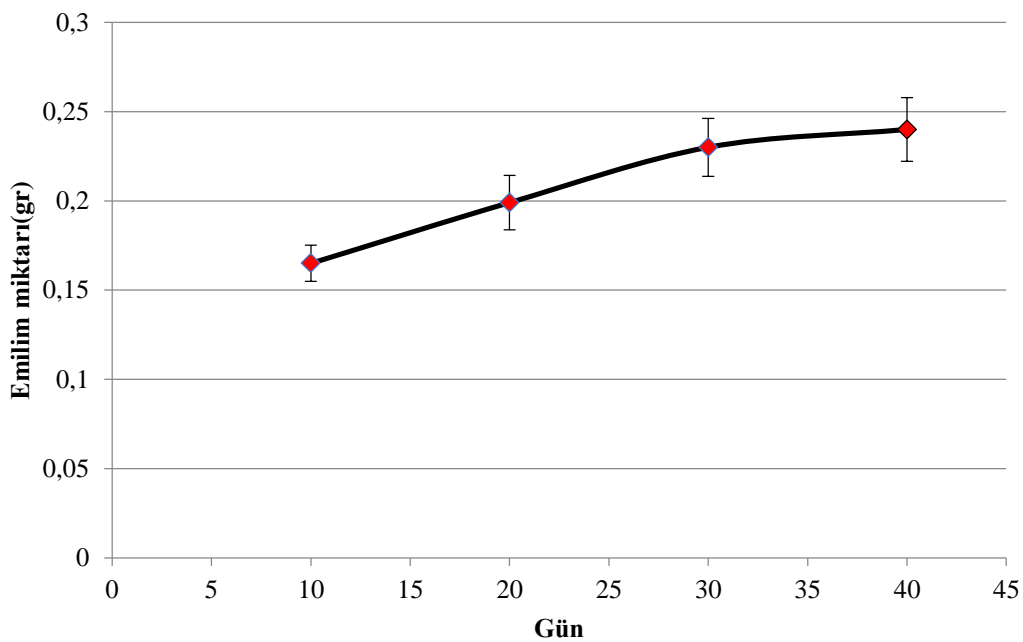
3.5 Hasar Analizi

Korozyon ortamında bekletilmeyen ve bekletilen numunelerin üç nokta eğme ve Charpy darbe deneyleri neticesinde oluşan hasarların belirlenmesi ve analizlerinin yapılması içine makro ve mikro ölçekte görüntüler alınmıştır. Alınan makro görüntülerde, üst ve alt yüzeylerde makro düzeyde göz ile görülür hasarlar belirlenmiştir. Üst ve alt yüzeylerin alüminyum çekirdek yapıdan ayrılma ve çekirdek yapıda meydana gelen hasarlar tespit edilmiştir. Mikro ölçekte mikroskop aracılığı ile alına mikroskop görüntülerinde ise diğer hasarların görüntü analizleri gerçekleştirilmiştir.

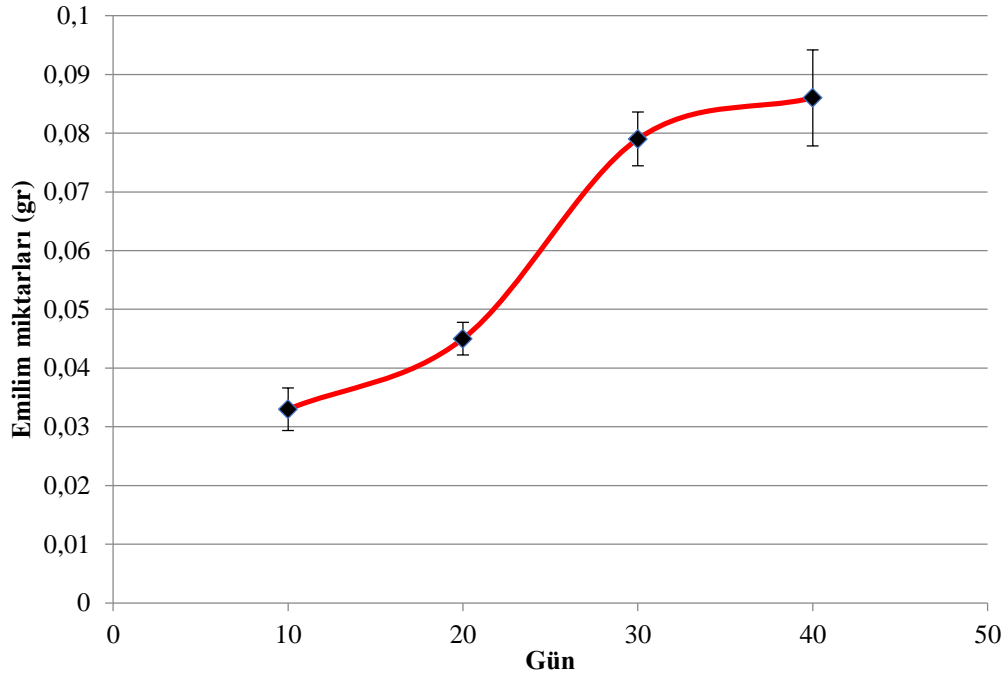
4. DENEYSEL SONUÇLAR

4.1 Tuzlu Su Korozyon Çözeltisi Absorpsiyonu

Bu deney aşamasında, tuzlu su çözeltisi korozyon şartlarında 10 gün, 20 gün, 30 gün ve 40 gün sürelerince bekletilen cam/alüminyum kompozit sandviç üç nokta eğme ve Charpy darbe numunelerinin emdiği (absorbe ettiği) çözelti miktarının ağırlıkları gram cinsinden tartılarak ölçülmüştür. Bu deneyin önemi, korozyon günlerine göre absorbe edilen tuzlu su miktarlarını belirleyip grafikleri çizilerek, tuzlu su çözeltisinin emiliminin doyuma yaklaşıp yaklaşmadığını anlamaya çalışmaktır. Aynı zamanda amaçlardan biride emilim miktarının artmasıyla birlikte, üç nokta eğme deneyi sonuçlarına ve Charpy darbe deneyi sonuçlarına olan etkileri ve etkilemişimi tespit edebilmektir. Korozyon sürelerinde bekletilen ve ağırlıkları ölçülen üç nokta eğme ve Charpy darbe numunelerinin emilim miktarlarını gösteren grafikler Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de sunulmuştur.



Şekil 4.1 Korozyon sürelerine göre üç nokta eğme numunelerinin çözelti emilim miktarları

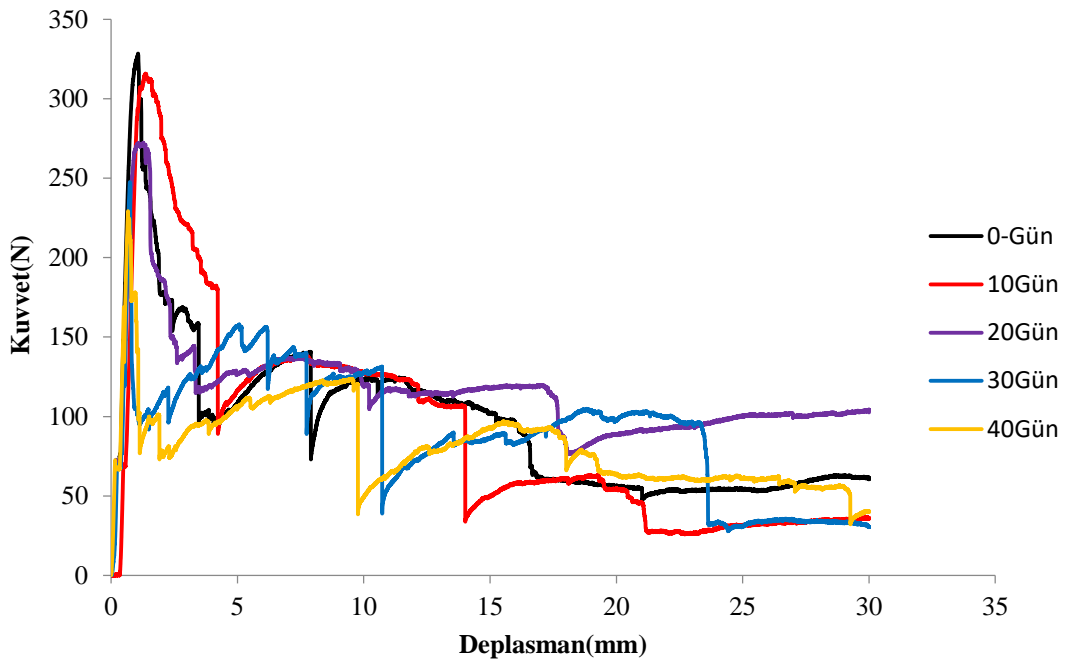


Şekil 4.2 Korozyon sürelerine göre Charpy darbe numunelerinin çözelti emilim miktarları

Şekil 4.1’de üç nokta eğme numunelerinin 10 gün, 20 gün, 30 gün ve 40 gün korozyon sürelerince bekletilen numunelerin tuzlu su çözeltisi emilim miktarlarını göstermektedir. 10 gün, 20 gün ve 30 gün süresince tuzlu su çözeltisinin üç nokta eğme numunelerinde emilimin lineer eğriye yakın bir artış gösterdiği, 30 günden sonra ise tuzlu su çözeltisi emilim eğrişinin azaldığı görülebilmektedir. 30 gün korozyon süresinden sonra emilimin yavaşladığı doyum noktasına yakınlaştığı söylenebilir. 30 ve 40 gün arasında eğimin azalması, fakat çözelti emiliminin halen devam ettiği Şekil 4.1’deki grafikten söylenebilir. Şekil 4.2’de verilen Charpy darbe numunelerinin tuzlu su emilim miktarının ise benzer bir durumu 30 gün ile 40 gün arasında sergilediği gözlemlenebilirken, 20 gün ile 30 gün arasında tuzlu su çözelti emiliminin hızlı bir artış gösterdiği de Şekil 4.2’deki grafikte açık bir şekilde tespit edilebilmektedir. Her iki grafikte, göze çarpan bariz bir durum ise, ağırlık miktarlarının farklı olmasıdır. Cam/alüminyum kompozit sandviçlerin tabakalı yüzeylerinin ve çekirdek yapının yüzey alanının fazla olması, çözelti emiliminde etkin olduğu yorumlanabilir. Grafiklerdeki standart sapmalar göz önüne alındığında, standart sapmanın korozyon süresinin artmasıyla artış gösterdiği olmuştur.

4.2 Üç Nokta Eğme Deneyleri

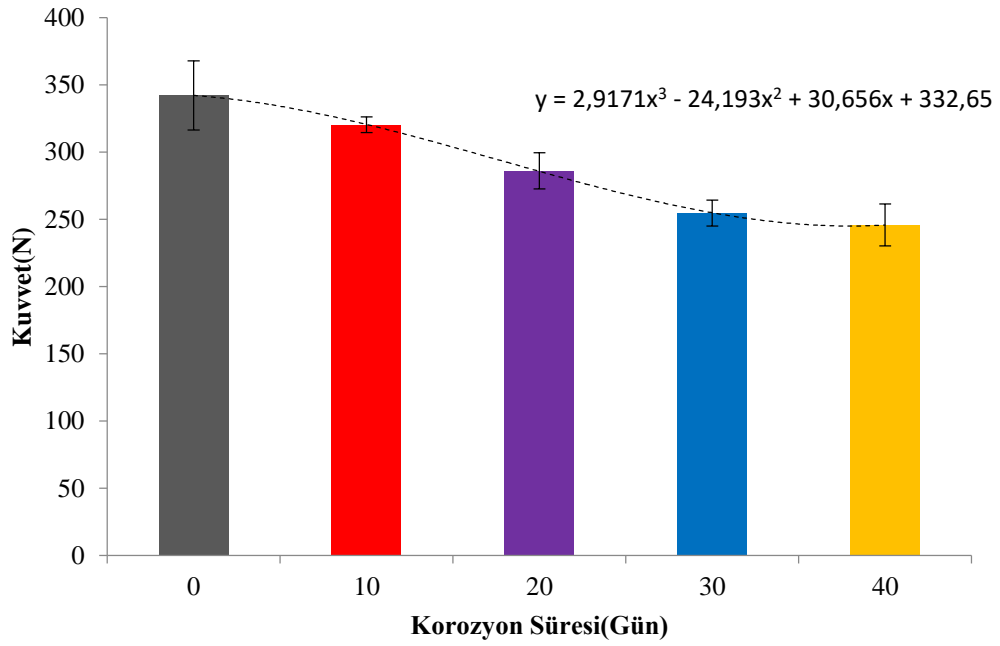
E-Cam/alüminyum kompozit üç nokta eğme numuneleri 0 gün(korozyonsuz), 10 gün, 20 gün, 30 gün ve 40 gün korozyon sürelerinde (tuzlu su çözeltisi) bekletilip, ağırlık ölçümleri gerçekleştirildikten sonra, üç nokta eğme testleri uygulanmıştır. Tuzlu su korozyon çözeltisinde bekletilmeyen (0 gün) numunelerin üç nokta eğme deney sonuçları referans olarak kabul edilmiştir. Korozyon sürelerinin üç nokta eğme deney sonuçlarına olan etkileri, öncelikle belirtilen bu referans değerlerine göre karşılaştırılmıştır. Daha sonra artan korozyon sürelerine göre kendi içlerinde mukayese edilmiştir.



Şekil 4.3 Korozyon sürelerine göre kompozit sandviç numunelerin üç nokta eğme grafikleri

E-Cam/alüminyum kompozit üç nokta eğme numunelerinin 0 gün(korozyonsuz), 10 gün, 20 gün, 30 gün ve 40gün korozyon sürelerinde uygulanan üç nokta eğme deney grafikleri Şekil 4.3'de sunulmuştur. Şekil 4.3'deki korozyon sürelerine göre deney sonuçları ve eğrileri genel olarak değerlendirildiğinde, korozyon süresinin artmasıyla birlikte, eğilme eğrilerinde düşüşlerin, yani maksimum kuvvet değerlerinde kayıpların olduğu gözlemlenmektedir. 0 gün korozyonsuz referans numunelerin maksimum kuvvet değerleri ile 10 gün korozyon süresindeki maksimum kuvvet değerleri arasında eğilme kuvvetindeki kayıpların çok fazla olmadığı, fakat 10 gün, 20 gün ve 30 gün aralarında maksimum kuvvetlerdeki kayıpların aralarında arttığı Şekil 4.4'deki ortalama kuvvet

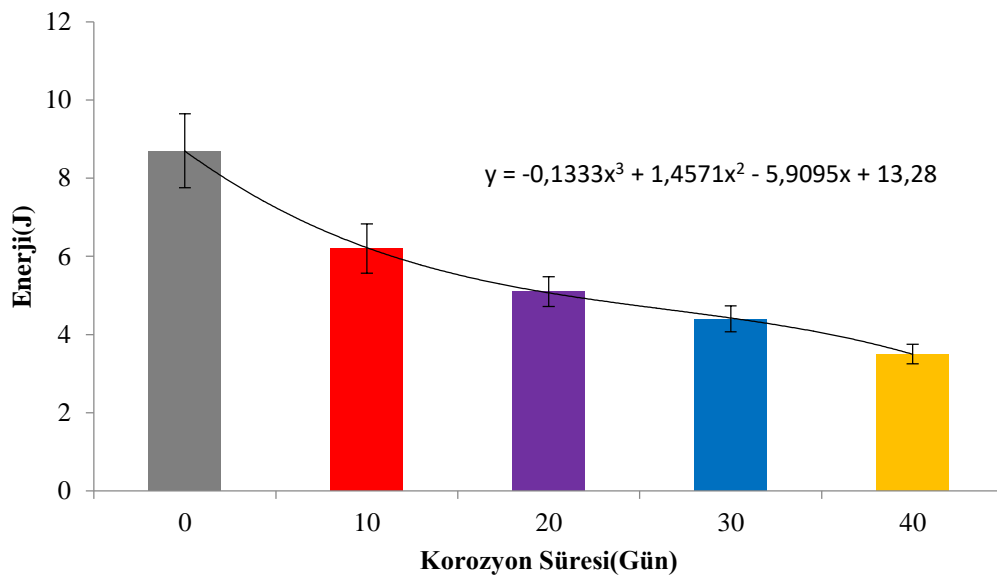
grafiklerinden gözlemlenebilmektedir. 30 gün ve 40 gün korozyon günlerinde ise maksimum kuvvetlerdeki kayıplarda azalmalarında olduğu da tespit edilebilmektedir. Şekil 4.4’de sunulan grafikte verilen polinom eğrisindeki eğimlerdeki artış ve azalmalar korozyon günleri arasında kuvvetlerdeki kayıplar hakkında açıkça bir şekilde fikir edinmemize katkı sağlamaktadır. Şekil 4.4’de sunulan grafikte kuvvetlerindeki kayıpları temsil edebileceği düşünülen eğimlerin, bu korozyon sürelerinde tuzlu su çözeltisinde bekletilen kompozit numunelerin ağırlık artışları ile de kısmen paralellik sağladığı düşünülebilir. Şekil 4.1’de verilen tuzlu su çözeltisindeki emilim miktarının eğrilerine bakıldığında, özellikle 30 gün ve 40 gün arasında emilim miktarında azalmaların olduğu görülebilmektedir. Dolayısıyla, 30 gün ve 40 gün korozyon sürelerinde bekletilen kompozit sandviç numunelerin maksimum kuvvet değerlerinde meydana gelen kayıplarda düşmelerin olduğu yorumlanabilir. Şekil 4.3’de verilen üç nokta eğme eğrilerinde korozyon sürelerinin artmasıyla birlikte, deney süresince kuvvet değerlerinde ani düşmelerin ve akabinde kuvvette artışların olduğu görülebilmektedir. Bu kuvvetlerdeki ani kayıp ve artışlarında, cam elyaf kompozit yüzey tabakaları ile alüminyum çekirdeklerin ara yüzeylerinde korozyon yâda tuzlu su çözeltisinin etki etmesinden dolayı lokal delaminasyon hasarlarının meydana geldiği düşünülmektedir. Diğer kuvvetlerindeki dalgalanmaların üst ve alt cam elyaf takviyeli tabakalı kompozit yüzeylerde meydana gelen debonding, delaminasyon ve eğme kuvveti altında meydana gelen elyaf kırılma hasarlarından oluştuğu düşünülmektedir. Kompozit sandviç numunelerin ortalama maksimum kuvvet değerleri standart sapmaları ile birlikte Çizelge 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.4 Korozyon sürelerine göre numunelerin üç nokta eğme ortalama maksimum kuvvet değerleri

4.3 Charpy Darbe Deneyleri

E-Cam/alüminyum kompozit darbe numunelerinin Charpy darbe deneyleri neticesinde elde edilen ortalama değerler, standart sapmalar ile birlikte Şekil 4.5’ de sunulmuştur.



Şekil 4.5 Korozyon sürelerine göre numunelerin ortalama Charpy darbe enerji değerleri

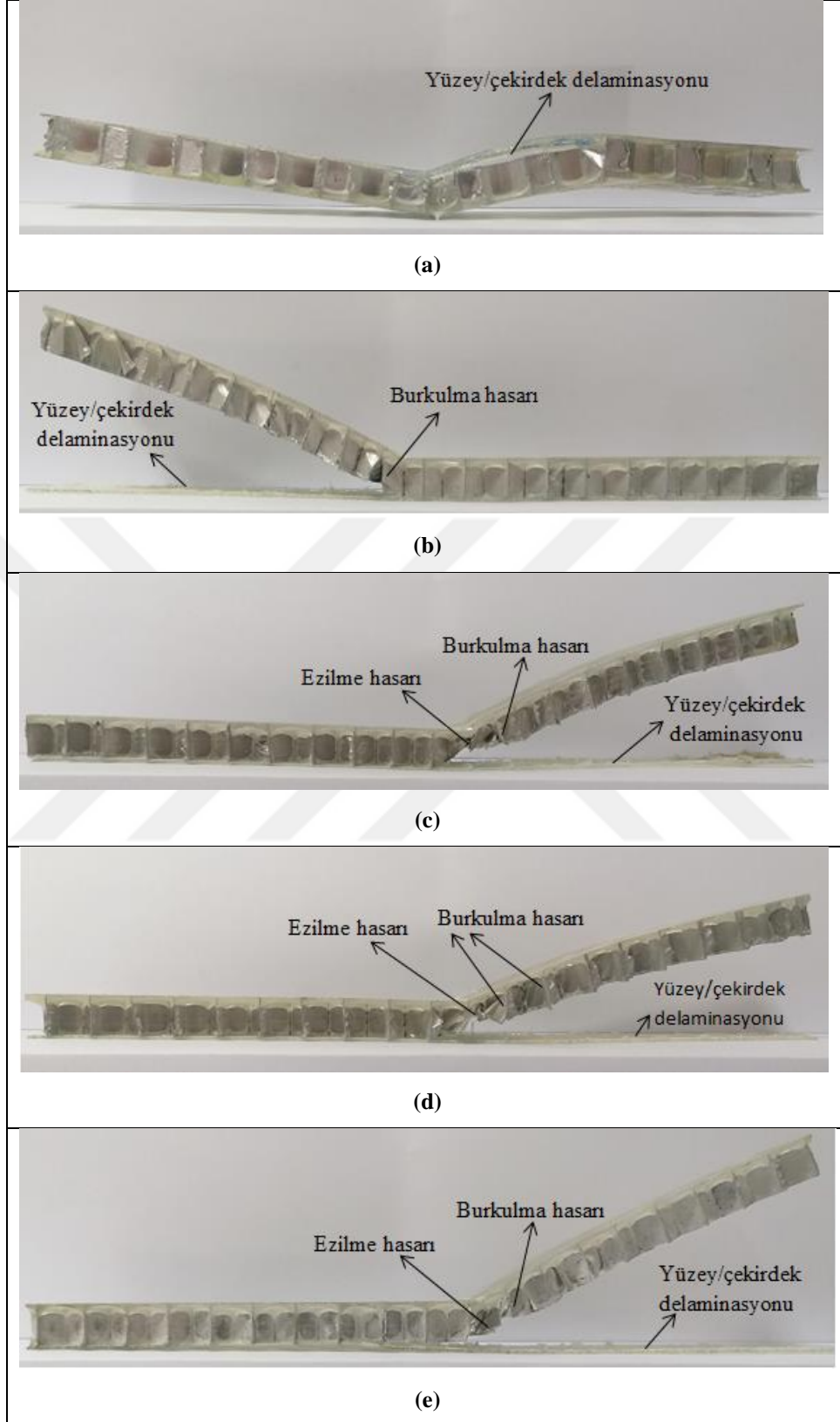
Şekil 4.5’de verilen Charpy darbe enerjisi grafikleri incelendiğinde, korozyonsuz(0 gün) numunelerin ortalama darbe enerji değerinden sonra, 10 gün korozyon süresinde, kompozit sandviç numunelerde ortalama enerji absorpsiyonunda hızlı bir düşüşün olduğu görülebilmektedir. Korozyon süresinin artmasıyla yani 20 gün korozyon süresinde enerji absorpsiyonunda kayıpların devam ettiği ortalama enerji absorpsiyonlarından tespit edilebilmektedir. Bu durum 30 gün korozyon süresinde de enerji absorpsiyonundaki kayıplar devam etmiştir. Fakat enerji absorpsiyonundaki düşüş hızında azalmaların olduğu görülmektedir. 40 korozyon süresinde de tıpkı 30 gün korozyon süresinde olduğu gibi enerji absorpsiyonundaki kayıpların hızında azalmalar Şekil 4.5’de darbe enerjisi-korozyon grafiğinden açık bir şekilde gözlemlenebilmektedir. Şekil 4.5’de sunuların grafiklerin üç dereceli eğim grafiklerinden mevcut durum tespit edilebilmektedir. 10 gün korozyon gününde darbe enerjisi kayıplarında, diğer korozyon günlerine göre fazla olmasının tuzlu su çözeltisi emiliminde hızlı bir artışın olmasından dolayı meydana geldiği düşünülmektedir. 20 gün korozyon süresinden sonra bu durumda azalmaların olduğu söylenebilir. Dolayısıyla emilim miktarının üç nokta eğme numunelerinin test sonuçlarından da gözlemlenebildiği gibi, Charpy darbe enerji testlerinin sonuçlarında da etken olduğu elde edilen sonuçlardan ifade edilebilir. Charpy darbe deneyi sonuçları, standart sapmaları ile birlikte Tablo 1’de sunulmuştur.

Çizelge 4.1 Üç nokta eğme ve Charpy darbe deneyleri sonuçlarının ortalama değerleri

Korozyon Süresi (Gün)	Üç Nokta Eğme Kuvveti (N)	Standart Sapma (N)	Enerji Absorpsiyonu (J)	Standart Sapma (J)
0	342.1	25.6	8.7	0.95
10	320.3	5.8	6.2	0.63
20	286	13.5	5.1	0.38
30	254.6	9.7	4.4	0.33
40	245.8	15.5	3.5	0.25

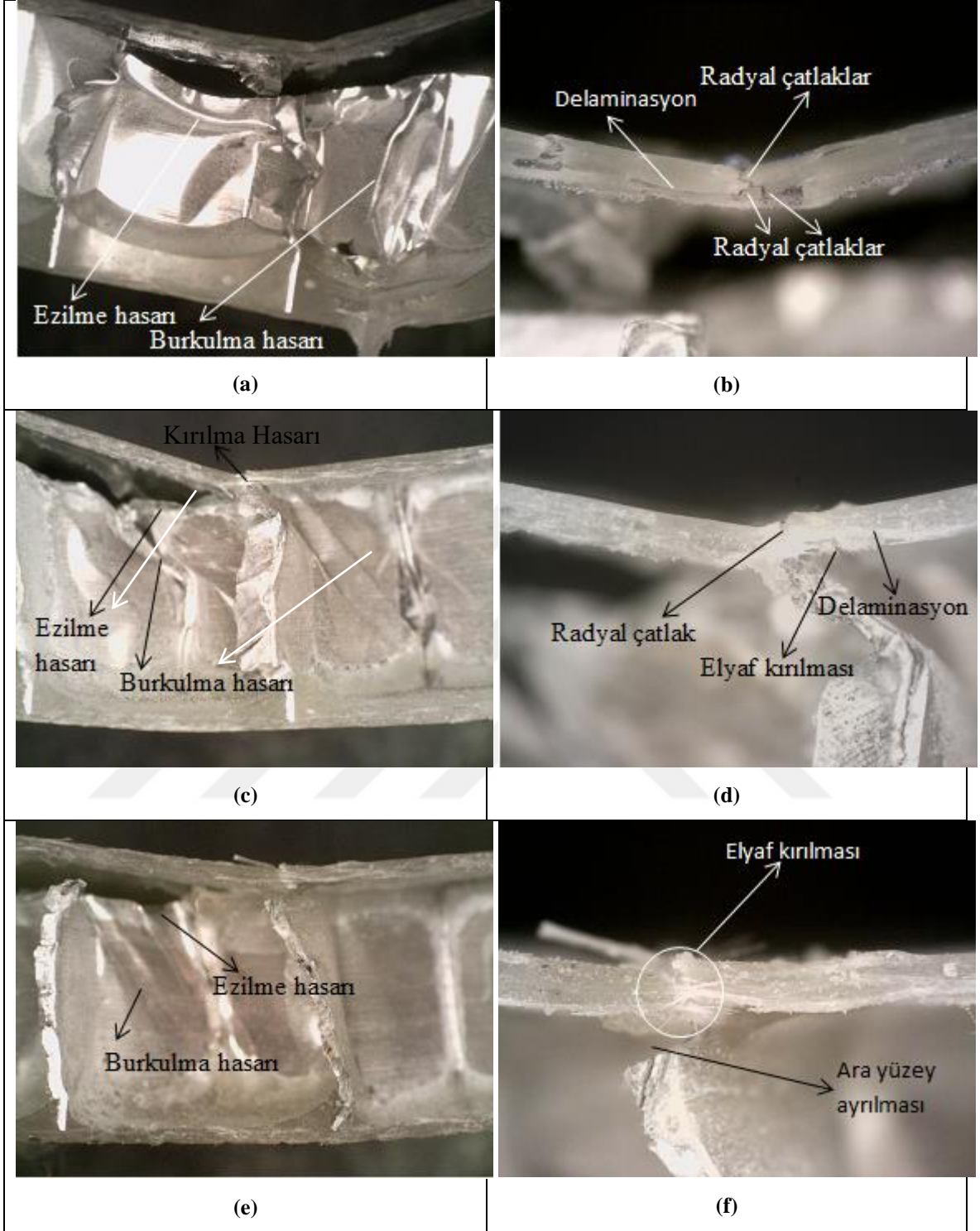
4.4 Hasar Analizi

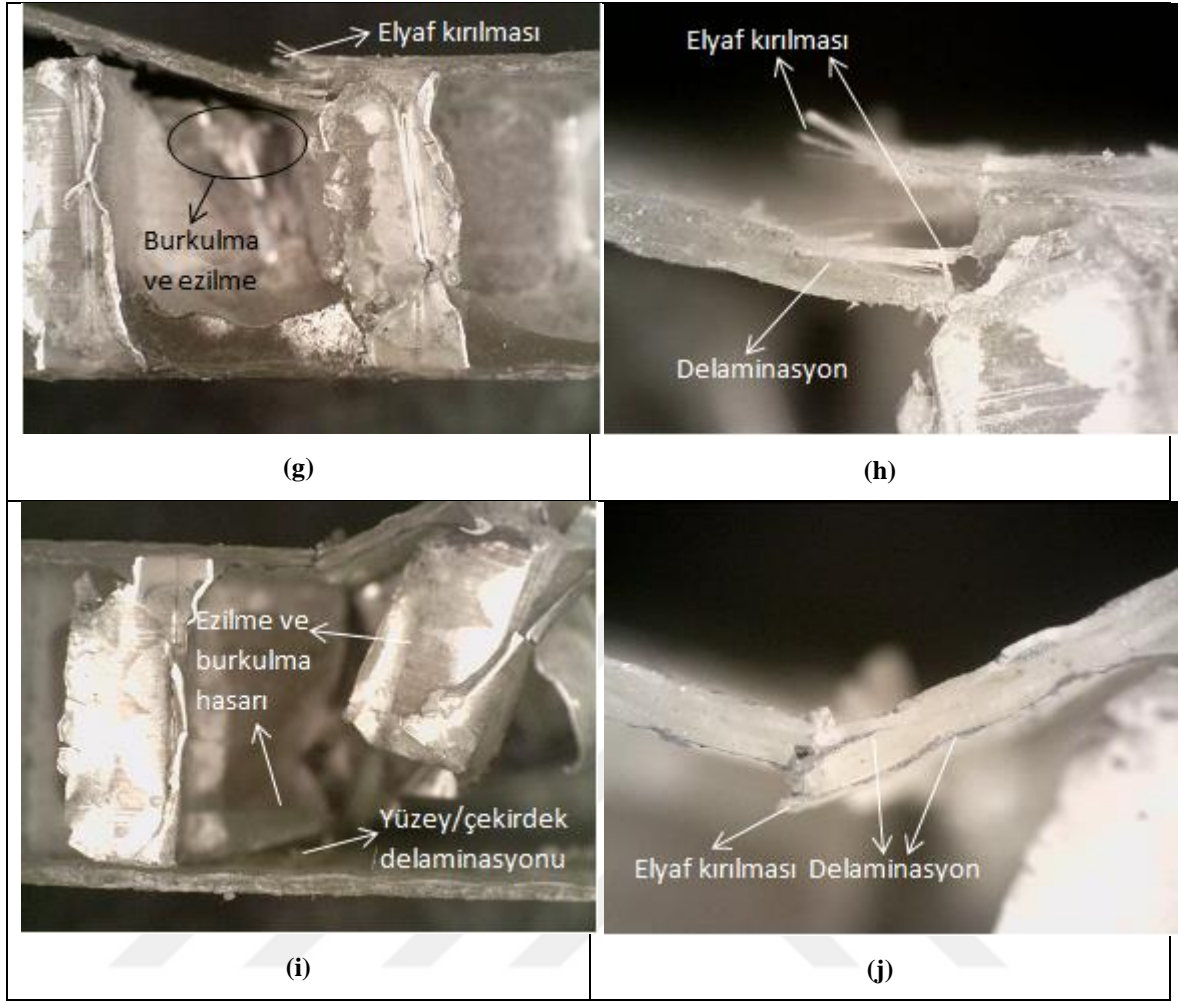
E-Cam/alüminyum kompozit üç nokta eğme numunelerinin 0 gün, 10 gün, 20 gün, 30 gün ve 40 gün korozyon sürelerinde üç nokta eğme deneyleri sonucunda oluşan makro hasar görüntüleri Şekil 4.6’ da verilmiştir.



Şekil 4.6 0 (a), 10 (b), 20 (c), 30 (d) ve 40 (e) gün korozyon sürelerinde üç nokta eğme kompozit sandviç numunelerin makro hasar görüntüleri

Şekil 4.6 (a) da verilen 0 gün (korozyonsuz) E-Cam/alüminyum kompozit üç nokta eğme numunede oluşan makro hasar görüntüsü incelendiğinde, eğilmeye zorlanan basma bölgesinde lokal yüzey/çekirdek delaminasyon hasarının meydana geldiği görülebilmektedir. Oluşan bu lokal delaminasyon hasarının eğilme kuvveti süresince kısmi olarak delaminasyonların oluşarak kuvvetin ani düşmesine ve tekrar kuvvet artışına neden olup yeniden kuvvet kayıplarının oluşmanın kayma-tutma yani “slip-stick” hasarlarının oluşması neticesinde birleşerek oluştuğu düşünülmektedir. Makro görüntüde eğilmeye zorlayan basma kuvvetinin oluştuğu bölge ve etrafında meydana geldiği görülebilmektedir. Alüminyum bal peteği çekirdek yapıda hasarların yoğun olmadığı gözlemlenebilmektedir. Şekil 4.6 (b)’de verilen 10 gün korozyon süresinde bekletilen numunenin makro görüntüsünde basma bölgesinin sol tarafında tamamen yüzey/çekirdek delaminasyon hasarının meydana geldiği ve E-cam tabakalı üst yüzeyin sol kısmında ayrıldığı gözlenmektedir. Basma kuvvetinin etkisinin olduğu bölgede alüminyum bal peteği çekirdek yapıda kısmi burkulma hasarlarının oluştuğu belirlenmiştir. Korozyon süresinin 20 gün olmasıyla birlikte, Şekil 4.6 (c) görüldüğü üzere, alt yüzeyin alüminyum bal peteği çekirdek yapıdan basma bölgesinin sağ tarafında tamamen ayrıldığı ve yüzey/çekirdek delaminasyonu hasarının meydana geldiği tespit edilmektedir. Basma yükünün alt bölgesindeki çekirdek yapıda burkulma ve ezilme hasarları belirlenmiştir. Şekil 4.6 (d)’de 30 gün korozyon süresinde, kompozit sandviç numunede oluşan hasarlar verilmiştir. Oluşan hasarlar tabakalı alt yüzeyde yüzey/çekirdek delaminasyonu ve alüminyum bal peteği çekirdek yapıda oluşan burkulma ve ezilme hasarlarıdır. Korozyon süresinin 40 gün olmasıyla oluşan hasar tiplerinden her hangi bir değişikliğin olmadığı gözlemlenmiştir. Hasarlar yüzey/çekirdek delaminasyonu hasarı, burkulma ve ezilme hasarlarıdır. 0, 10, 20, 30 ve 40 gün korozyon sürelerinde numunelerde oluşan hasarlar incelendiğinde, korozyon süresinin 20’inci gününde alüminyum bal peteği çekirdeğinde, burkulma ve ezilme hasarlarının yoğunlaştığı gözlemlenmektedir. Korozyon süresinin artmasıyla, ara yüzey dayanımının azaldığı ve alüminyum çekirdeğin eğme dayanımına olan direncinin düştüğü yorumu yapılabilmektedir.

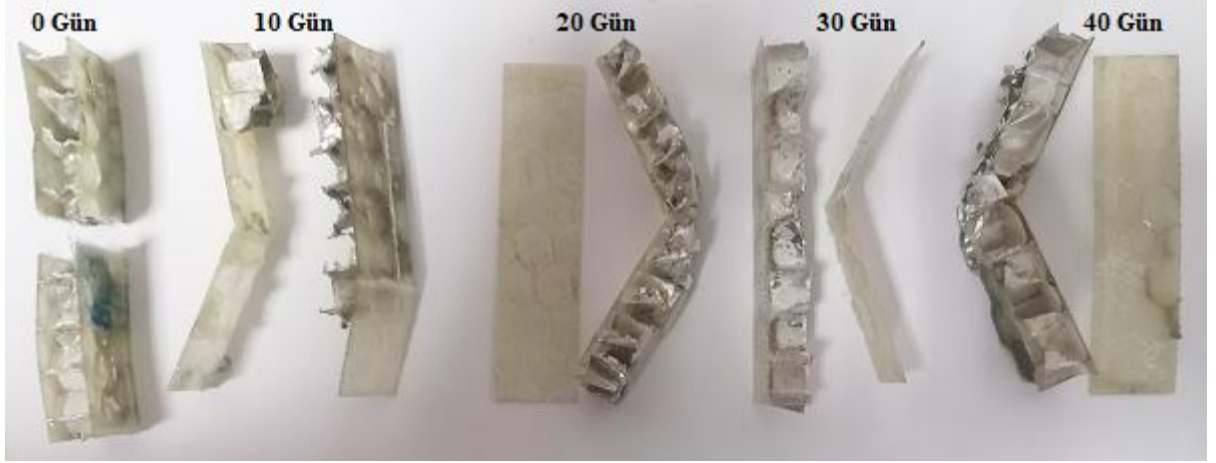




Şekil 4.7 0 gün (a, b), 10 gün (c, d), 20 gün (e, f), 30 gün (g, h) ve 40 gün (i, j) gün korozyon sürelerinde üç nokta eğme kompozit sandviç numunelerin mikro hasar görüntüleri

Şekil 4.7 (a) 0 gün E-Cam/alüminyum kompozit üç nokta eğme numunesinin mikro görüntüsünde, tabakalı üst yüzey ile alüminyum bal peteği çekirdek yapıda yüzey/çekirdek delaminasyon hasarı gözlemlenmektedir. Alüminyum çekirdek yapıda mikro görüntüde gözlemlendiği gibi üst bölgede ezilme hasarları ve burkulma hasarları tespit edilebilmektedir. Şekil 4.7 (b)'de verilen mikro yapı görüntüsünde, tabakalı üst yüzeyde meydana gelen hasar görülmektedir. E-cam tabakalı üst yüzeyde meydana gelen hasarlar; radyal çatlaklar ve delaminasyon hasarlarıdır. Radyal çatlakların elyaf kırılma hasarlarını tetikleyici bir görev yaptığı yorumlanmaktadır. Şekil 4.7 (c)'de 10 gün korozyon süresinde üç nokta eğme deneyleri neticesinde alüminyum bal peteği çekirdekte meydana gelen hasar tipleri tespit edilebilmektedir. Buna göre çekirdek yapıda ezilme ve burkulma hasarları oluşmuştur. Şekil 4.7(d) ise tabakalı üst yüzeyde

Radyal çatlaklar, delaminasyon ve elyaf kırılma hasarları gözlemlenmektedir. 10 gün korozyon süresinde, tabakalı üst yüzeyde elyaf kırılma hasarının belirgin bir şekilde ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Şekil 4.7 (e) verilen 20 gün korozyon süresinde alüminyum bal peteği çekirdek yapıda 0 ve 10 gün korozyon sürelerinden olduğu gibi burkulma ve ezilme hasarlarının meydana geldiği tespit edilmiştir. Şekil 4.7 (f)'de E-Cam tabakalı üst yüzeyde meydana gelen hasarlar incelendiğinde, elyaf kırılma hasarlarının arttığı ve yüzey ile çekirdek arasında ayrılmaların olduğu görülmektedir. Şekil 4.7 (g)'de tabakalı üst yüzey ile çekirdek yapının ayrıldığı ve ezilme ile birlikte burkulma hasarlarının 30 gün korozyon süresinde daha da arttığı ifade edilebilir. Korozyon süresinin alüminyum çekirdek yapıyı zayıflattığı düşünülebilir. Şekil 4.7 (h)'de sunulan mikro yapı resminde, elyaf kırılma hasarının oldukça yoğunlaştığı ve tabakalı yüzeyde elyaf kırılma hasarları neticesinde ayrılmaların yoğun olduğu görülmektedir. Korozyon süresinin 30 gün olması, tabakalı üst yüzeylerde elyaf kırılması hasarını baskın hale getirdiği söylenebilir. Şekil 4.7(i)'de 40 gün korozyon süresinde, alüminyum bal peteği çekirdek yapıda ezilme ve burkulma hasarlarının giderek yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Şekil 4.7(j)'de E-Cam tabakalı üst yüzeyinde oluşan hasarları gözlemlendiğinde, yoğun elyaf kırılma hasarı ile birlikte, delaminasyon hasarlarının da arttığı gözlemlenmektedir. Genel olarak, 0, 10, 20, 30 ve 40 gün korozyon sürelerinde, üç nokta eğme deneyleri sonucunda numunelerde oluşan hasarlar incelendiğinde, korozyon süresi 10 gün olduğunda elyaf kırılma hasarlarının etkin hale gelemeye başladığı yorumlanmaktadır. 20 gün korozyon süresinden sonra, E-Cam tabakalı kompozit yüzeylerde baskın hasar tipinin elyaf kırılması hasarı olduğu bariz bir şekilde görülebilmektedir. Korozyon süresinin artmasının, alüminyum bal peteği çekirdek yapıda ezilme ve burkulma hasarlarını yoğunlaştırdığı da yorumlanabilir. Aynı zamanda, tuzlu su emme miktarının hasar tiplerinin değişmesinde de etkili olduğu yorumu yapılabilir.



Şekil 4.8 0, 10, 20, 30 ve 40 gün korozyon sürelerinde E-Cam alüminyum kompozit sandviç numunelerin Charpy darbe deneyi sonrası makro hasar görüntüleri

Şekil 4.8’de korozyon sürelerine göre Charpy darbe deneyleri sonrasında numunelerde meydana gelen hasarlar verilmiştir. 0 gün numunede Charpy darbe deneyi sonrası E-Cam tabakalı üst ve alt kompozit yüzeylerde yüzey/çekirdek ayrılma hasarlarının oldukça az olduğu gözlemlenmektedir. Korozyon süresinin 10 gün ile birlikte artmasıyla, tabakalı kompozit yüzeylerde darbe neticesinde yüzey/çekirdek delaminasyon yani yüzeylerin alüminyum bal peteği çekirdek yapılardan ayrıldığı görülmektedir. Deniz suyu korozyon ortamının yüzey/çekirdek ara yüzey dayanımı etkilediği ve korozyon süresinin artmasıyla daha etkin bir parametre olduğu yorumlanmaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Üç nokta eğme ve Charpy darbe numunelerinin 10 gün, 20 gün, 30 gün ve 40 gün korozyon sürelerince bekletilen numunelerin tuzlu su çözeltisi emilim miktarlarını göz önüne alındığında 10 gün, 20 gün ve 30 gün süresince tuzlu su çözeltisinin Üç nokta eğme ve Charpy darbe numunelerinde emilimin lineere yakın bir artış sergilediği, 30 günden sonra ise deniz suyu emilim eğrisinin eğiminin azaldığı tespit edilebilmektedir. Bu durumun doyum süresine yaklaştığı şeklinde yorumlanmıştır. Üç nokta eğme testlerinde korozyon süresinin artmasıyla birlikte, maksimum kuvvet değerlerinde kayıpların olduğu gözlemlenmektedir. 0 gün referans numunelerin maksimum kuvvet değerleri ile 10 gün korozyon süresindeki maksimum kuvvet değerleri arasında eğilme kuvvetindeki kayıpların çok fazla olmadığı, fakat 10 gün, 20 gün ve 30 gün aralarında maksimum kuvvetlerdeki kayıpların karşılaştırıldığında aralarında arttığı belirlenmiştir. 30 gün ve 40 gün korozyon günlerinde ise maksimum kuvvetlerdeki kayıplarda azalmaların yavaşladığı tespit edilmiştir.

Charpy darbe testlerinde 10 gün korozyon süresinde, kompozit sandviç numunelerde ortalama enerji absorpsiyonunda hızlı bir düşüşün olduğu tespit edilmiştir. 20 gün korozyon süresinde enerji absorpsiyonunda kayıpların devam hızla devam ettiği belirlenmiştir. Bu durum 30 gün korozyon süresinde de enerji absorpsiyonundaki kayıplar devam ederken enerji absorpsiyonundaki düşüş hızında azalmaların olduğu belirlenmiştir. 40 korozyon süresinde de tıpkı 30 gün korozyon süresinde olduğu gibi enerji absorpsiyonundaki kayıpların hızında azalmalar tespit edilmiştir.

Üç nokta eğme numunelerinin korozyon sürelerine göre hasar davranışları incelendiğinde korozyonsuz numunelerde, üç nokta eğme yükü altında lokal yüzey/çekirdek delaminasyon hasarlarının olduğu tespit edilmiştir. Korozyon sürelerinin artmasıyla birlikte yani 10, 20, 30 ve 40 gün korozyon sürelerinde eğme yükünün altında yüzey/çekirdek delaminasyon hasarlarının ilerleyerek, eğme yükünün sağ yada sol taraflarında tamamen yüzey çekirdek ayrılmalarına sebebiyet verdiği tespit edilmiştir. Korozyonsuz numunelerin üst yüzeylerin E-Cam tabakalarında delaminasyon hasarları tespit edilirken, korozyon sürelerinin artmasıyla birlikte baskın hasarların elyaf kırılması hasarları olduğu tespit edilmiştir. Deniz suyu korozyonunun önemli

etkilerinden biri ise alüminyum çekirdek yapıda burkulma hasarlarının artmasına ve yüzey/çekirdek arayüzey dayanımının azalmasına neden olduğu yorumlanmıştır.

5.2 Öneriler

Gerçekleştirilen çalışmada, E-Cam/alüminyum kompozit sandviç yapılarında deniz suyu korozyon ortamındaki üç nokta eğme ve Charpy darbe numunelerindeki enerji ve kuvvet kayıplarını araştırılması amaçlanmıştır. Gerçekleştirilen çalışmaya ek olarak yapılabilecek olan çalışmalar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Kompozit sandviçlerde deniz suyu korozyon ortamı yerine asidik yada bazik korozyon şartlarında çalışmalar gerçekleştirilebilir.
- Düşük hızlı darbe deneyleri deniz suyu korozyon ortamında uygulanabilir
- Yatay yâda dikey basma deneyleri uygulanabilir.
- Tabakalı yüzey kompozitlerde farklı elyaf takviyeleri kullanılabilir.
- Farklı çekirdek yapılar kullanılarak, farklı mekanik testler gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Aabdul Khalil, H., Kang, C., Khairul, A., Ridzuan, R., & Adawi, T. (2009). The effect of different laminations on mechanical and physical properties of hybrid composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 28(9), 1123-1137.
- Akkuş, H. (2016). Bal peteği yapıların mekanik davranışlarının nano parçacık takviyeli yapıştırıcı kullanılarak deneysel ve teorik olarak araştırılması.
- Alçı, M. (2016). Katmanlı Kompozit Plakalar ile Desteklenmiş Nomex Bal Peteği Sandviç Yapıların Düşük Hızlı Darbe Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Anderson, T. L. (2017). *Fracture mechanics: fundamentals and applications*. Boca Raton: CRC press.
- Arslan, N., & Kaman, M. O. (2002). Alüminyum, Kağıt Ve Cam Elyaf Petek Yapılı Kompozitlerin Üretim Teknikleri Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4(3), 113-123.
- Babacan, O. (1982). Alasımının Gerilmeli Korozyon Çatlaması, Yüksek Lisans Tezi. *İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Barbero, E. J. (2010). *Introduction to Composite Materials Design*. USA: CRC PRESS.
- Berketis, K., Tzetzis, D., & Hogg, P. J. (2008). The influence of long term water immersion ageing on impact damage behaviour and residual compression strength of glass fibre reinforced polymer (GFRP). *Mater. Des.*, 29(7), 1300-1310.
- Bozkurt, Ö. Y. (2017). Hybridization effects on tensile and bending behavior of aramid/basalt fiber reinforced epoxy composites. *Polymer Composite*, 1144-1150.
- Buch, A. (1989). Prediction of Fatigue Life Under Aircraft Loading with and without Use of Material Memory Rules. *International Journal of Fatigue*, 11, 97-106.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials science and engineering: an introduction* (Vol. 9): Wiley New York.
- Çağdaş, İ. U., & Yıldırım, Ö. (2020). Cam Elyaf Takviyeli Poliüretan Dış Yüzlü Sandviç Kirişlerin Eğilme Rijitliklerinin Konsol Kiriş Titreşim Deneyi İle Belirlenmesi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(3), 273-279.

- Çetinkal, S. B. (2019). El Yatırma ve Vakum İnfüzyon Yöntemleri ile Üretilmiş Sandviç Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi, Çekme ve Kayma Modlarında Açığa Çıkan Enerjinin Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Davis, J. R. (1999). *Corrosion of Aluminum and Aluminum Alloys Ed, ASM*. Ohio: Materials Park,.
- Debout, P., Chanal, H., & Duc, E. (2011). Tool path smoothing of a redundant machine: Application to Automated Fiber Placement. *Computer-Aided Design*, 43(2), 122-132.
- Demirci, M. T. (2020) Investigation of the usability of MWCNTs Filled GFR/aluminum honeycomb sandwich composites for automotive vehicles. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 9(3), 138-153.
- Demirci, M. T. (2015). SiO₂ nanopartikül katkısının yüzey çatlaklı ve çatlaksız bazalt elyaf takviyeli kompozit boruların yorulma davranışlarına etkisi.
- Demirci, M. T. (2018). *Impact behaviors of basalt fiber reinforced honeycomb epoxy composites*. Paper presented at the 7th International Conference ICAT'18, Antalya.
- Demirci, M. T. (2022). Investigation of low-velocity impact behavior of aluminum honeycomb composite sandwiches with GNPs doped BFR laminated face-sheets and interfacial adhesive for aircraft structures. *Polymer Composites*.
- Demirci, M. T., Dönmez, O., Devrez, Ş., & Demirci, İ. (2018). *Investigation of mechanical behaviors of carbon fiber reinforced aluminum honeycomb*. Paper presented at the IV International academic research congress, Alanya.
- Demirci, M. T., Tarakçıoğlu, N., Avcı, A., Akdemir, A., & Demirci, I. (2017). Fracture toughness (Mode I) characterization of SiO₂ nanoparticle filled basalt/epoxy filament wound composite ring with split-disk test method. *Composites Part B: Engineering*, 119, 114-124.
- Dogan, A., & Arikan, V. (2017). Low-velocity impact response of E-glass reinforced thermoset and thermoplastic based sandwich composites. *Composites Part B: Engineering*, 127, 63-69.
- Doğanay, S. (2007). Lif takviyeli marina kompozitlerin aşınma ve yorulma davranışının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

- Elkington, M., Bloom, D., Ward, C., Chatzimichali, A., & Potter, K. (2015). Hand layup: understanding the manual process. *Advanced manufacturing: polymer & composites science*, 1(3), 138-151.
- Evcin, A. (2017). Polimer Malzemeler. *Afyon Kocatepe Üniversitesi*.
- Farrokhbadi, A., Taghizadeh, S. A., Madadi, H., Norouzi, H., & Ataei, A. (2020). Experimental and numerical analysis of novel multi-layer sandwich panels under three point bending load. *Composite Structures*, 250, 112631.
- Feng, L.-J., Yang, Z.-T., Yu, G.-C., Chen, X.-J., & Wu, L.-Z. (2018). Compressive and shear properties of carbon fiber composite square honeycombs with optimized high-modulus hierarchical phases. *Composite Structures*, 201, 845-856.
- Flasar, O., Triska, V., & Junas, M. (2017). *Experimental study of impact properties of aluminum honeycomb sandwich structure*. Paper presented at the MATEC Web of Conferences.
- Gazioğlu, S. (2017). Fabrication of forward osmosis membrane and its application after membrane bioreactor, M.Sc. Thesis. *Istanbul Technical University Graduate School of Science Engineering and Technology*.
- Geren, N., Çağrı, U., Boztepe, M. H., & Bayramoğlu, M. (2017). Sandviç Malzeme Geliştirmede Polimer Köpük Çekirdek Kalınlığının Eğilme Dayanımına Etkisinin Deneysel olarak Araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(2), 13-22.
- Ghasemnejad, H., Furquan, A. S. M., & Mason, P. J. (2010). Charpy Impact Damage Behaviour of Single and Multi-Delaminated Hybrid Composite Beam Structures. *Materials & Design*, 31(8), 3653-3660.
- Görgün, G. (2019). Uçak Koltuğu Kompozit Sırtlık Sisteminin Modellenmesi ve Sonlu Elemanlar Analizi, Yüksek Lisans Tezi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Graham-Jones, J., & Summerscales, J. (2015). *Marine applications of advanced fibre-reinforced composites*. Sawston: Woodhead Publishing.
- Greenhalgh, E. S. (2009). *Failure analysis and fractography of polymer composites*. Sawston: Woodhead Publishing.
- Ho, M.-p., Wang, H., Lee, J.-H., Ho, C.-k., Lau, K.-t., Leng, J., & Hui, D. (2012). Critical factors on manufacturing processes of natural fibre composites. *Composites Part B: Engineering*, 43(8), 3549-3562.

- Hogg, P. J. (1990). A Model for Stress Corrosion Crack Growth in Glass Reinforced Plastics. *Composite Science and Technology*, 38, 23-41.
- Ishai, O. (1975). Environmental Effects on Deformation, Strength and Degradation of Unidirectional. *Journal of Survey, Polymer Engineering and Science*, 15(7), 486-490.
- Jan, S., Khan, R. U., Ahmad, S., Amjad, M., Badshah, S., & Ahmad, M. (2015). Flexural strength of honeycomb sandwich structures. *Int. Journal of Applied Sciences and Engineering Research*, 4(1), 86-93.
- Jones, R. J., & Hegarty, M. P. (1984). The effect of different proportions of Leucaena leucocephala in the diet of cattle on growth, feed intake, thyroid function and urinary excretion of 3 hydroxy 4(1H) pyridone. *Aust. J. Agric. Res.*, 35(2), 317-325.
- Kaw, A. K. (2005). *Mechanics of composite materials*: CRC press.
- Kawada, H., & Srivastava, V. K. (2001). The Effect of an Acidic Stress Environment on the Stress Intensity Factor for GRP Laminates. *Composites Science and Technology*, 61, 1109-1114.
- Kaybal, H. B. (2019). Tuzlu Yaşlandırmasının Cıvata Bağlantılı Halloysit Nanootüp-Epoksi/Bazalt Fiber Nankompozitlerin Düşük Hızlı Darbe Davranışlarına Etkisi, Doktora Tezi. *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*.
- Khan, Z., & Younas, M. (1996). Corrosion-Fatigue Life Prediction for Notched Components Based on the Local Strain and Linear Elastic Fracture Mechanics Concepts. *International Journal of Fatigue*, 18(7), 491-496.
- Kim, M. T., Rhee, K. Y., Jung, I., Park, S. J., & Hui, D. (2014). Influence of seawater absorption on the vibration damping characteristics and fracture behaviors of basalt/CNT/epoxy multiscale composites. *Composites Part B: Engineering*, 61-66.
- Kim, Y., Speaker, S., Gordon, D., Manning, S., & Wei, R. (1983). Development of Fatigue and Crack Propagation Design and Analysis Methodology in a Corrosive Environment for Typical Mechanically-Fastened Joints. *Report No.NADC-83126-60*.
- Kopan, İ. (2016). Yeni Kompozit Polimer Membranların Üretim ve Ayırma İşlemlerinde Kullanımı. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

- Koyuncu, İ. (2001). Nanofiltrasyon Membranları ile Tuz Gideriminde Organik İyon Etkisi, Doktora Tezi. *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Kucera. (2010). *Reverse Osmosis, Industrial Applications and Processes*. New Jersey: Wiley&Sons.
- Kural, E. (2000). Tekstil Boyahane Atıksularının Nanofiltrasyon Membranları ile Geri Kazanımı ve Renk Giderimi, Yüksek Lisans Tezi. *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Le Gac, P. Y., Le Saux, V., Paris, M., & Marco, Y. (2012). Ageing mechanism and mechanical degradation behaviour of polychloroprene rubber in a marine environment: Comparison of accelerated ageing and long term exposure. *Polymer Degradation and Stability*, 97(3), 288-296.
- Lin, L.-Y., Lee, J.-H., Hong, C.-E., Yoo, G.-H., & Advani, S. G. (2006). Preparation and characterization of layered silicate/glass fiber/epoxy hybrid nanocomposites via vacuum-assisted resin transfer molding (VARTM). *Composites Science and Technology*, 66(13), 2116-2125.
- Mallick, P. K. (2007). *Fiber-Reinforced Composites*. Boca Raton: CRC Press.
- Masuelli, M. A. (2013). Introduction of fibre-reinforced polymers– polymers and composites: concepts, properties and processes. In *Fiber reinforced polymers- the technology applied for concrete repair*: IntechOpen.
- Mazumdar, S. (2001). *Composites Manufacturing: Materials, Product, and Process*. USA: CRC PRESS.
- Megel, M., Kumosa, L., Ely, T., Armentrout, D., & Kumosa, M. (2001). Initiation of Stress Corrosion Cracking in Unidirectional Glass/Polymer Composite Materials. *Composites Science and Technology*, 61, 231-246.
- Menges, G., & Gitschner, H. W. (1980). *Sorption Behavior of Glass Fiber Reinforced Composites and the Influence of Diffusing and Failure Behavior, Advances in Composite Materials*. Oxford: Pergamon Press.
- Mingchao, W., Zuoguang, Z., Yubin, L., Min, L., & Zhijie, S. (2008). Chemical durability and mechanical properties of alkali-proof basalt fiber and its reinforced epoxy composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 27(4), 393-407.
- Mohammad, J., & Mohamed, T. (2018). *Sustainable Composites for Aerospace Applications*. Chennai: Woodhead Publishing.

- Mohanty, A. K., Misra, M., & Drzal, L. T. (2005). *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites*: CRC press.
- Murtaza, G., & Akid, R. (2000). Empirical Corrosion Fatigue Life Prediction Models of a High Strength Steel. *Engineering Fracture Mechanics*, 67, 461-474.
- Pierre, D., Helene, C., & Emmanuel, D. (2011). Tool path smoothing of a redundant machine: Application to Automated Fiber Placement. *Computer-Aided Design*, 122-132.
- Qui, K., & Kumosa, M. (1997). Corrosion of E Glass Fibers in Acidic Environments. *Composite Science and Technology*, 57, 497-507.
- Reifsnider, K. L. (2012). *Fatigue of composite materials*. Amsterdam: Elsevier.
- Rouison, D., Sain, M., & Couturier, M. (2006). Resin transfer molding of hemp fiber composites: optimization of the process and mechanical properties of the materials. *Composites Science and Technology*, 66(7-8), 895-906.
- Sadiq, S., Bakhy, S. H., & Jweeg, M. (2020). *Crashworthiness behavior of aircraft sandwich structure with honeycomb core under bending load*. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- Salit, M. S., Jawaid, M., Yusoff, N. B., & Hoque, M. E. (2015). *Manufacturing of Natural Fibre Reinforced Polymer Composites*: Springer.
- Sapuan, S., & Yusoff, N. B. (2015). The relationship between manufacturing and design for manufacturing in product development of natural fibre composites. In *Manufacturing of natural fibre reinforced polymer composites* (pp. 1-15): Springer.
- Scheffler, C., Förster, T., Mader, E., Heinrich, G., Hempel, S., & Mechtcherine, V. (2009). Aging of alkali-resistant glass and basalt fibers in alkaline solutions: Evaluation of the failure stress by Weibull distribution function. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 355(52), 2588-2595.
- Sepet, H. (2014). *Nanopartikül Takviyeli Yüksek Yoğunluklu Polietilen Nanokompozitlerin Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji ...
- Shan, Y., & Kin, L. (2002). Environmental Fatigue Behavior and Life Prediction of Unidirectional Glass–Carbon/Epoxy Hybrid Composites. *International Journal of Fatigue*, 24, 847-859.

- Sharma, M., Gao, S., Mäder, E., Sharma, H., Wei, L. Y., & Bijwe, J. (2014). Carbon fiber surfaces and composite interphases. *Composites Science and Technology*, *102*, 35-50.
- Shi, S., Sun, Z., Hu, X., & Chen, H. (2014). Flexural strength and energy absorption of carbon-fiber–aluminum honeycomb composite sandwich reinforced by aluminum grid. *Thin-Walled Structures*, 416-422.
- Shokrieh, M. M., Torabizadeh, M. A., & Fereidoon, A. (2011). Dynamic Failure Behavior of Glass/Epoxy Composites under Low Temperature Using Charpy Impact Test Method. *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, *18*, 211-220.
- Shubhra, T. H., Alam, A. K. M. M., & Quaiyyum, M. a. (2013). Mechanical properties of polypropylene composites A review. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 362-391.
- Sierakowski, R. L., & Vinson, J. R. (1987). *The behavior of structures composed of composite materials*: Kluwer Academic Publishers.
- Soukieh, M. (2004). Corrosion behaviour of Al6061-T6 alloy surface modified by N2 ion implantation. *Radiation Effects & Defects in Solids*, 503-510.
- Tunca, E., & Kafalı, H. (2021). Compression and Three-Point Bending Analyzes of Aerospace Sandwich Composites produced with Polymeric Core Materials with ANSYS. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(31), 553-561.
- Ulus, H. (2019). Tuzlu su yaşlandırmasının Halloysit nanotüp-epoksi/bazalt fiber nanokompozitlerin mekanik ve kırılma performansına etkisi, Doktora Tezi. *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*.
- Van Hattum, F., Regel, F., & Labordus, M. (2011). Cost reduction in manufacturing of aerospace composites. *Plastics, Rubber and Composites*, *40*(2), 93-99.
- Wang, J., GangaRao, H., Liang, R., Zhou, D., Liu, W., & Fang, Y. (2015). Durability of glass fiber-reinforced polymer composites under the combined effects of moisture and sustained loads. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, *34*(21), 1739-1754.
- Wang, R.-M., Zheng, S.-R., & Zheng, Y.-P. G. (2011). *Polymer matrix composites and technology*: Elsevier.
- Wang, R. M., Zheng, S. R., & Zheng, Y. G. (2011). *Polymer matrix composites and technology*. Amsterdam: Elsevier.

- Wei, B., Cao, H., & Song, S. (2010). RETRACTED: environmental resistance and mechanical performance of basalt and glass fibers. In: Elsevier.
- Wei, B., Cao, H., & Song, S. (2011). Degradation of basalt fibre and glass fibre/epoxy resin composites in seawater. *Corrosion Science*, 53(1), 462-431.
- Zheng, X. Z., Kiciak, A., & Glinka, G. (1997). Weight Functions and Stress Intensity Factors for Internal Surface semi Elliptical Crack in Thick Walled Cylinder. *Engineering Fracture Mechanics*, 58(3), 207-221.

