

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**NANOPARTİKÜL KATKILI POLİMER MATRİSLİ
KOMPOZİTLERLE TAMİR EDİLEN ÇENTİKLİ
ALÜMİNYUM PLAKALARIN DÜŞÜK HIZLI DARBE
DAVRANIŞLARI ÜZERİNE KATKI TİPİ VE ORANININ
ETKİLERİ**

**Hazırlayan
Ebru GÜÇLÜ**

**Danışman
Prof. Dr. Z. Gül APALAK**

**İkinci Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Umut ÇALIŞKAN**

Yüksek Lisans Tezi

**Eylül 2022
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**NANOPARTİKÜL KATKILI POLİMER MATRİSLİ
KOMPOZİTLERLE TAMİR EDİLEN ÇENTİKLİ
ALÜMİNYUM PLAKALARIN DÜŞÜK HIZLI DARBE
DAVRANIŞLARI ÜZERİNE KATKI TİPİ VE ORANININ
ETKİLERİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Ebru GÜÇLÜ**

**Danışman
Prof. Dr. Z. Gül APALAK**

**İkinci Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Umut ÇALIŞKAN**

**Eylül 2022
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Ebru GÜÇLÜ

İmza

“Nanopartikül Katkılı Polimer Matrisli Kompozitlerle Tamir Edilen Çentikli Alüminyum Plakaların Düşük Hızlı Darbe Davranışları Üzerine Katkı Tipi Ve Oranının Etkileri” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Ebru Güçlü

İmza

Danışman

Prof. Dr. Z. Gül APALAK

Makine Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Veysel ÖZCEYHAN

İmza

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans dönemim boyunca bilgi birikimlerini ve desteklerini esirgemeyen, bana çalışmalarım süresince her türlü yardımı ve fedakârlığı sağlayan, çok kıymetli 1. danışman hocam sayın Prof. Dr. Z. Gül APALAK' a teşekkürlerimi borç bilirim.

Tez çalışmamın yürütülmesi sırasında her türlü bilgi birikimi, destek ve emeklerini esirgemeyen, bana çalışmalarım süresince her türlü yardımı ve fedakârlığı sağlayan, çok kıymetli 2. danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Umut ÇALIŞKAN' a minnettarlarımı sunarım.

Çalışmalarım boyunca hiçbir zaman desteğini ve emeğini esirgemeyen bugünlere gelmemi sağlayan canım aileme teşekkür ederim.

Her zaman yanımda destek olan dostlarıma teşekkür ederim.

Ebru GÜÇLÜ

EKİM 2022, KAYSERİ

NANOPARTİKÜL KATKILI POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERLE TAMİR EDİLEN ÇENTİKLİ ALÜMİNYUM PLAKALARIN DÜŞÜK HIZLI DARBE DAVRANIŞLARI ÜZERİNE KATKI TİPİ VE ORANININ ETKİLERİ

Ebru GÜÇLÜ

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Eylül 2022

Danışman 1: Prof. Dr. Z. Gül APALAK

Danışman 2: Dr. Öğr. Üyesi Umut ÇALIŞKAN

ÖZET

Bu çalışmada nanopartikül katkılı polimer matrisli kompozitlerle tamir edilen çentikli alüminyum plakaların düşük hızlı darbe davranışları üzerine katkı tipi ve oranının etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla, ilk olarak Silisyum karbür (SiC) ve Grafen nanopartikül malzemeler epoksi reçineye ağırlıkça %0,5, %1 ve %2 oranlarında ilave edilerek ultrasonik karıştırıcı ile homojenize edilmişlerdir. Daha sonra, katkısız, SiC ve Grafen nanopartikül içeren Karbon fiber [0/90°] takviyeli polimer matrisli kompozit plakalar vakum infüzyon yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen katkılı kompozit plakalardan belirlenen boyutta kesilen yamalar ve çentikli alüminyum levhalar (100x100 mm boyutunda) ile Araldite 2015-1 endüstriyel yapıştırıcısı ile yapıştırılarak yama işlemi yapılmıştır. Bu işlem sonrasında, nanopartikül katkılı kompozit plakalarla tamir edilen çentikli Al plakalara, 50, 100 ve 150 J enerji seviyelerinde düşük hızlı darbe testleri uygulanmıştır. Darbe testleri sonrasında, elde edilen kuvvet-zaman, kinetik enerji-zaman grafikleri ve darbe bölgesinin hasar görüntüleri irdelenmiştir. Hasarlara bakıldığında sırasıyla, kompozit yama matrisinde çatlamlar, karbon fiberde lif kopmaları ve deliminasyonlar şeklindedir. Yama kompozit türleri incelendiğinde, 100 J enerji seviyesi için %0,5 ve %1 oranlarında nano grafen partikül katkılı yamalarda daha verimli sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nanopartikül katkılı kompozit, Kompozit Yama, Düşük Hızlı Darbe

**THE EFFECTS OF ADDITIVE TYPE AND RATIO ON THE LOW SPEED
IMPACT BEHAVIOR OF NOTCHED ALUMINUM PLATES REPAIRED
WITH NANOPARTICLE ADDED POLYMER MATRIX COMPOSITES**

Ebru GÜÇLÜ

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, September 2022

Supervisor 1: Prof. Doc. Z. Gül APALAK

Supervisor 2: Dr. Assist. Prof. Umut ÇALIŞKAN

ABSTRACT

In this study, the effects of additive type and ratio on the low velocity impact behavior of notched aluminum plates repaired with nanoparticle-filled polymer matrix composites were experimentally investigated. For this purpose, first of all, silicon carbide (SiC) and graphene nanoparticle materials were added to the epoxy resin at 0.5%, 1% and 2% by weight, and homogenized with an ultrasonic mixer. Then, carbon fiber [0/90⁰] reinforced polymer matrix composite plates containing SiC and Graphene nanoparticles without additives were produced by vacuum infusion method. Patches cut in the specified size from the produced additive composite plates and notched aluminum sheets (100x100 mm in size) were adhered with Araldite 2015-1 industrial adhesive and patched. After this process, low-speed impact tests at 50, 100 and 150 J energy levels were applied to the notched Al plates repaired with nanoparticle filled composite plates. After the impact tests, the obtained force-time, kinetic energy-time graphs and damage images of the impact zone were examined. Looking at the damages, cracks in the composite patch matrix, fiber breaks, and delimitations in the carbon fiber are observed, respectively. When patch composite types were examined, more efficient results were obtained in patches with nano graphene particle filled at 0.5% and 1% rates for 100 J energy level.

Keywords: Nanoparticle Added Composite, Composite Patch, Low Velocity Impact.

İÇİNDEKİLER

NANOPARTİKÜL KATKILI POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERLE TAMİR EDİLEN ÇENTİKLİ ALÜMİNYUM PLAKALARIN DÜŞÜK HIZLI DARBE DAVRANIŞLARI ÜZERİNE KATKI TİPİ VE ORANININ ETKİLERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY	iv
ÖNSÖZ/TEŞEKKÜR	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiv
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Kompozit Malzemeler.....	3
1.1.1. Takviye Malzemeleri.....	4
1.1.1.1. Fiber Takviyeli Kompozitler	4
1.1.1.2. Partikül Takviyeli Kompozitler	5
1.1.1.2.1. Grafen Nano-Partikül	6
1.1.1.2.1. SiC Nano-Partikül	6
1.1.1.3. Levhasal Kompozitler	7
1.1.1.4. Tabakalı Kompozitler	7
1.1.1.5. Doldurulmuş Kompozitler	8

1.1.2. Matris Malzemeleri	8
1.1.2.1. Seramik Matrisli Kompozitler	9
1.1.2.2. Metal Matrisli Kompozitler	9
1.1.2.3. Polimer Matrisli Kompozitler	10
1.1.2.4. Karbon-Karbon Kompozitler	11
1.1.2.5. Nanokompozitler	12
1.2. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri.....	13
1.2.1. Vakum İnfüzyon Yöntemi	15
1.3. Alüminyum Malzemeleri ve Kullanım Alanları.....	16
1.3.1. Alüminyum Alaşımları ve Özellikleri	18
1.4. Hasarlar ve Onarım Yöntemleri	18
1.4.1. Kompozit Yama ile Hasar Onarımı.....	19
1.5. Darbe Testleri	20
1.5.1. Düşük Hızlı Darbe Testleri	20
1.5.2. Yüksek Hızlı Darbe Testleri	21
1.6. Literatür Çalışması	23

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Deneysel Yöntem	27
2.2. Kompozit Plakaların Üretimi	27
2.2.1. Partikül Katkısız Plaka Üretimi.....	30
2.2.2. Nanopartikül Katkılı Plakaların Üretimi.....	35
2.2.2.1. SiC Nanopartikül Katkılı Plakaların Üretimi.....	35
2.2.2.2. Grafen Nanopartikül Katkılı Plakaların Üretimi.....	37
2.3. Alüminyum Levhaların Hazırlanması	41
2.4. Nanokompozit Plakaların Yama İşlemi İçin Hazırlanması.....	42
2.5. Alüminyum Levhaların Kompozit Yama ile Tamir Edilme İşlemi.....	42

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Düşük Hızlı Darbe Deneyleri	44
--	----

3.2. Temas Kuvveti Değişimlerinin İncelenmesi	46
3.3. Kinetik Enerji Değişimlerinin İncelenmesi.....	50
3.4. Test Sonrası Deformasyon ve Yama Yapısının İncelenmesi.....	52

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Sonuç ve Öneriler.....	58
------------------------------------	-----------

KAYNAKÇA	61
-----------------------	-----------

ÖZGEÇMİŞ.....	65
----------------------	-----------

KISALTMALAR

SiC	: Silisyum Karbür
J	: Joule
Al	: Alüminyum
CF	: Karbon Fiber
gr	: Gram
min.	: Minimum
SMK	: Seramik Matrisli Kompozit
MMK	: Metal Matrisli Kompozitler
FMK	: Fiber Matrisli Kompozitler
AlB_2	: Alüminyum Diborür
Be	: Berilyum
Ni	: Nikel
Fe	: Demir
PMK	: Polimer Matrisli Kompozitler
PE	: Polietilen
PS	: Polistren
ABS	: Akrilonitril-Bütadien-Sitren
PA	: Poliamid

POM	: Poliasetal
PC	: Polikarbonat
PET	: Polietilen Tereftalat
PBT	: Poli-Bütülen Tereftalat
PTFE	: Politetrafloraetilen
KKK	: Karbon/Karbon Kompozitler
CMNC	: Seramik-Matrisli Nanokompozitler
PMNC	: Polimer-Matrisli Nanokompozitler
MMNC	: Polimer-Matrisli Nanokompozitler
Cu	: Bakır
Mn	: Mangan
Si	: Silisyum
Mg	: Magnezyum
Zn	: Çinko
Cr	: Krom
SEM	: Scanned Elektron Microscopy

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Amerikan Alüminyum birliğine göre; Al alaşımları 4 harfle sınıflandırılır .	17
Tablo 1.2. 2024 Al Alaşımının kimyasal bileşimleri	18
Tablo 2.1. Grafen nanopartikülün mekanik ve fiziksel özellikleri.....	28
Tablo 2.2. SiC nanopartikülün mekanik ve fiziksel özellikleri.....	28
Tablo 2.3. Karbon fiber elyafın mekanik ve fiziksel özellikleri	29
Tablo 2.4. Sertleştirici mekanik ve fiziksel özellikleri(Ölçüm Şartları:25°C).....	29
Tablo 2.5. Reçine mekanik ve fiziksel özellikleri(Ölçüm Şartları:25°C).....	30
Tablo 2.6. Nano Partikül Katkılı Numuneler için matris ve takviye eleman oranları ...	30
Tablo 3.1. Uygulanan her bir enerji için cihazdaki hız miktarları.	46

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Kompozit malzeme içeriği	3
Şekil 1.2. Fiber Takviyeli kompozit malzeme tipleri ve dağılımı.....	5
Şekil 1.3. Partikül Takviyeli kompozit malzeme tipleri ve dağılımı	5
Şekil 1.4. Grafen–nanopartikül hibrit yapıların örnek SEM görüntüleri, a) 200 nm b) 100 nm.....	6
Şekil 1.5. Silisyum Karbür (SiC) Nanopartiküllerinin örnek SEM görüntüleri.....	6
Şekil 1.6. Lamine kompozit yüzey tabakalı alüminyum köpük çekirdekli sandviç yapı..	7
Şekil 1.7. a) Çok yönlü lamineli kompozit ve b) sandviç yapıli kompozitlerin şematik görünümü	8
Şekil 1.8. Örnek bir doldurulmuş kompozit yapı görüntüsü.....	8
Şekil 1.9. SMK’ların takviye malzemesine göre sınıflandırılması	9
Şekil 1.10. MMK’lar da kullanılan takviye malzemelerinden bazılarının şematik gösterimi.....	10
Şekil 1.11. Karbon fiber ve karbon matrisli kompozitlerin çoklu formları.	11
Şekil 1.12. Nanokompozitlerin yapısal sınıflandırması	13
Şekil 1.13. Elle yatırma yöntemi.....	14
Şekil 1.14. Püskürtme Metodunun (Spray Up) şematik gösterimi	14
Şekil 1.15. Vakum infüzyon yönteminin şematik gösterimi.....	15
Şekil 1.16. Audi A2 imalatından bir görünüm.....	16
Şekil 1.17. Kompozit yapılardaki hasar tipleri: a) Yüzey altındaki laminalardaki hasarlar,b)Sandviç yapılardaki ezik hasarı,c)Sandviç yapılardaki delinme hasarı,d) Laminalardaki çatlak hasarı, e)Yapıda bulunan deliklerin etrafındaki çatlak hasarları,f) Sıcaklıktan kaynaklı yüzey katmanlarında oluşan hasar.....	18
Şekil 1.18. Karbon fiber kompozit yamanın hasarlı metal yüzeye uygulanması.....	19
Şekil 1.19. Düşük hız etkisi için teorilerin uygulanabilirliği	20
Şekil 1.20. Basıncılı hava ile darbe test düzeneği şeması (1- Hava filtresi, 2- Basınç regülatörü, 3- Hava Tankı, 4- Selenoid valf, 5- Namlu (tüp), 6-Hız sensörü, 7- Numune)	21

Şekil 1.21. Split-Hopkinson basınçlı çubuk test metodu düzenek şeması (1- Absorbe çubuğu, 2- Destek parçası, 3- Giriş çubuğu, 4- Tüp, 5- Vurucu tüp, 6-Gaz tankı, 7- Giriş çubuğu, 8 ve 10 – Strain gage. 9- Numune ve 11- Çıkış çubuğu)	22
Şekil 2.1. Galvaniz kaplı sac plaka ve sızdırmazlık bantlı hali.....	31
Şekil 2.2. Karbon fiberlerin fiber kesme makası ile ebatlanması	32
Şekil 2.3. Karbon fiberin plakaya yerleştirilmesi.....	32
Şekil 2.4. Katman halindeki karbon fiberlerin üzerine ayırıcı soyma kumaşının (infüzyon filesi) yerleştirilmesi.....	33
Şekil 2.5. Katmanlı yapıya spiral ve infüzyon hortumların yerleştirilmesi	33
Şekil 2.6. Vakum naylonunun yapıştırılması	34
Şekil 2.7. Epoksi karışımının vakum altında karbon fiber katmanında ilerlemesi	34
Şekil 2.8. 2 gr SiC nanopartiküllü reçinenin cam beherde karıştırılması.....	35
Şekil 2.9. Ultrasonik karıştırıcı ve SiC nanopartiküllü reçinenin ultrasonik karıştırıcıda karıştırılması.....	36
Şekil 2.10. Ultrasonik homojenizasyon işlemi için beherin soğutucu jel ile kaplanması	36
Şekil 2.11. Karışımın vakum pompası yardımı ile karbon fiber katmanına tamamen emdirilmesi.....	37
Şekil 2.12. Grafen nanopartikülü ve reçinenin cam beherde karıştırılması	38
Şekil 2.13. Ultrasonik karıştırıcı ve Grafen nanopartiküllü reçinenin ultrasonik karıştırıcıda karıştırılması	38
Şekil 2.14. Ultrasonik homojenizasyon işlemi için beherin soğutucu jel ile kaplanması ve grafen nanopartiküllü reçinenin karıştırılması	39
Şekil 2.15. Karışımın vakum pompası yardımı ile karbon fiber katmanına emdirilmesi	39
Şekil 2.16. Farklı ağırlık oranlarında üretilen kompozit plakalar	40
Şekil 2.17. + şeklinde çentik açılmış Al plakaların önden ve arkadan görünüşü	41
Şekil 2.18. Yüksek hızlı testerede kompozit plakaların kesimi	42
Şekil 2.19. 3x3x1 boyutundaki farklı ağırlık oranındaki kompozit numuneler	42
Şekil 2.20. Çentikli Al plakaların kompozit yamalarla tamir işleminin yapılması.....	43
Şekil 2.21. Hazırlanan numunelerin üzerine ağırlık yerleştirilmesi.....	43
Şekil 3.1. Ağırlık Düşürme Darbe Cihazı	45
Şekil 3.2. Ağırlık Düşürme Darbe Cihazının numune yerleştirme kısmı	45

Şekil 3.3. Nanopartikül takviyeli yamalar ile tamir edilmiş çentikli metal plakaların 50, 100 ve 150 J darbe enerjileri altında ağırlıkça nanopartikül oranına göre a)%0.5, b)%1, c)%2 için temas kuvveti değişimleri	49
Şekil 3.4. Nanopartikül takviyeli yamalar ile tamir edilmiş çentikli metal plakaların 50, 100 ve 150 J darbe enerjileri altında nanopartikül tipine göre a)Grafen ve b) SiC için temas kuvveti değişimleri	50
Şekil 3.5. Nanopartikül takviyeli yamalar ile tamir edilmiş çentikli metal plakaların 50, 100 ve 150 J darbe enerjileri altında ağırlıkça nanopartikül oranına göre a)%0.5, b)%1, c)%2 için kinetik enerji değişimleri	51
Şekil 3.6. Nanopartikül takviyeli yamalar ile tamir edilmiş çentikli metal plakaların 50, 100 ve 150 J darbe enerjileri altında nanopartikül tipine göre a)Grafen ve b)SiC için kinetik enerji değişimleri.....	52
Şekil 3.7. 50,100 ve 150 J darbe enerjileri altında a)Yamasız-çentikli Al plaka, b)CF yamalı-çentikli Al plaka, c)%0.5 Grafen takviyeli Cf yama Çentikli Al plaka için darbe sonrası ön yüzey görüntüleri	54
Şekil 3.8. 50,100 ve 150 J darbe enerjileri altında a) Yamasız-çentikli Al plaka, b) CF yamalı-çentikli Al plaka, c) %0.5 Grafen takviyeli CF yama-Çentikli Al Plaka ve d) %0.5 SiC takviyeli CF yama-Çentikli Al Plaka için darbe sonrası arka yüzey görüntüleri.....	55
Şekil 3.9. 50,100 ve 150 J darbe enerjileri altında a) %1 Grafen takviyeli CF yama-Çentikli Al Plaka, b)%1 SiC takviyeli CF yama-Çentikli Al Plaka, c) %2 Grafen takviyeli CF yama-Çentikli Al Plaka ve d) %2 SiC takviyeli CF yama-Çentikli Al Plaka için darbe sonrası ön yüzey görüntüleri.	56
Şekil 3.10. 50,100 ve 150 J darbe enerjileri altında a) %1 Grafen takviyeli CF yama-Çentikli Al Plaka, b)%1 SiC takviyeli CF yama-Çentikli Al Plaka, c) %2 Grafen takviyeli CF yama-Çentikli Al Plaka ve d) %2 SiC takviyeli CF yama-Çentikli Al Plaka için darbe sonrası arka yüzey görüntüleri	57

GİRİŞ

Malzemeler kullanıldıkları alanlara göre pek çok farklı şekilde hasara maruz kalabilirler. Metaller ise genel olarak yapı ve yük taşıma uygulamalarında kullanılırlar. Aynı zamanda yapısal özellikleri bakımından maruz kaldıkları çekme, basma ve burulma yüklerinden dolayı oluşan gerilmelerden kaynaklı en çok karşılaşılan hasar çatlaklardır. Bu çatlaklardan dolayı metal malzemelerde kırılmalar, yarılmalar ve delinmeler meydana gelmektedir. Hasara uğramış yapılarda ve parçalarda metallerin değiştirilmesi kimi zaman kolay olsa da çok büyük yapılarda parçaların değiştirilmesi pek mümkün olmamakla beraber maliyeti de yüksek olmaktadır. Bu yüzden bu tür hasarları tamir etmek için yamalar en uygun onarım yöntemi olarak görülmektedir. Genel olarak kullanılan yama malzemeleri uygulanan yapı malzemesi ile aynı olmakla beraber farklı türden malzemelerle de yapılabilir. Bu sebeple gelişen teknoloji ile birlikte pek çok alanda kullanılmaya başlanılan kompozit malzemelerin bu yöntemde de kullanılması uygun olacaktır. Kompozit malzeme bilimi zamanla gelişmeye, teknolojik ilerlemelerle pek çok alanda yaygınlaşmaya devam ediyor. Gelişen havacılık ve uzay çağının talepleri doğrultusunda da her dönemde yapılan çalışmalar gösteriyor ki yeni teknoloji ile daha kullanışlı, daha dayanıklı ve daha efektif kompozit malzemelerin üretilmesi ve geliştirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Kompozit malzeme bilimi her geçen yıl kendini geliştirmekte ve üretilen her bir malzeme ile aslında kendi malzemelerin özelliklerini geliştirmeyi amaçlamaktadır. Kompozit malzemeler bir malzemenin mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini farklı malzemeler kullanarak istenilen özelliklere ve seviyelere getirmek için yapılan çalışmalar sonucu elde edilen malzemelerdir. Kompozit malzemelerin özelliklerini istenilen oranlarda değiştirmek için uygun yöntemler arasında bulunan nanopartikül ekleme yöntemi ile kompozit malzemelerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin artırılması amaçlanmaktadır.

Bu çalışmada, polimer matrisli karbon fiber takviyeli kompozitlere farklı türde (SiC ve Grafen) ve farklı ağırlık oranlarında nanopartikül eklenerek kompozit plaka üretimi

gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, bu kompozit plakalardan belirlenen boyutlarda kesilerek yama olarak çentikli Al plakalara yapıştırılmış ve bu plakaların hasar onarımı yapılmıştır. Nanopartikül dolgulu polimer kompozitlerle onarımı yapılan çentikli Al plakalara farklı enerji seviyelerinde düşük hızlı darbe testlerine maruz bırakılmıştır. Test sonuçları temas kuvveti-zaman, kinetik enerji-zaman ve oluşan hasar açısından değerlendirilmiştir.

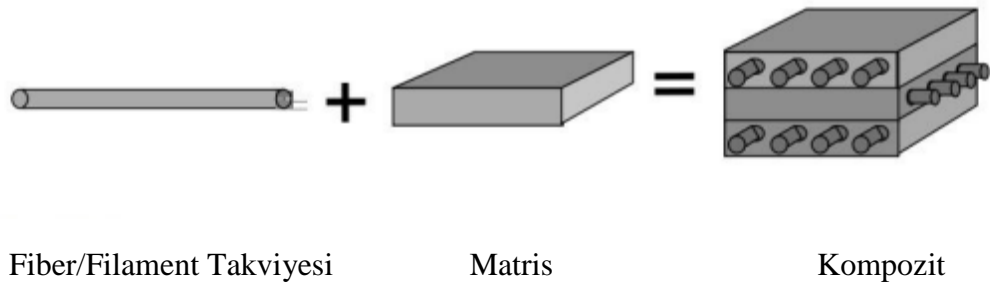


1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler; iki veya daha fazla türden malzemelerin birleştirilerek meydana gelmesi ile oluşur. Birleştirildiklerinde, istenilen seviye için özelleşmiş bir malzeme meydana gelir; daha güçlü, daha hafif, daha mukavim veya elektriğe dayanıklı gibi. Geleneksel malzemelere göre kullanılmalarının sebebi, temel malzemelerin özelliklerini büyük ölçüde geliştirmeleri ve birçok şartlarda uygulanabilmeleridir. Kompozit malzemeye uygulanan kuvvet matris yapısından yüzey bağlantılarından doğrudan takviye elemanına iletir ve dağıtır. Kompozit yapıya uygulanan hasara karşı yapıyı bir arada tutmasını sağlar, hasar engellenir ya da daha az indirgenir buda yapıda kullanılan takviye ve matris malzemelerinin mekanik özelliklerine bağlıdır [1]. Örnek bir kompozit yapı içeriği Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Kompozit malzeme içeriği [2].

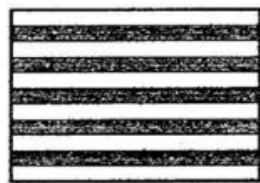
Farklı tiplerde ve özelliklerde takviye ve matris malzemeleri vardır. Bunlar kompozit yapının kullanım yerlerine göre materyal özellikleri için önem arz etmektedir.

1.1.1. Takviye Malzemeleri

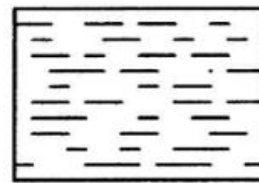
Takviye elemanının ana işlevi kompozit yapının mukavemet ve yapı dayanımı gibi özelliklerini artırarak yapıya gelen asıl yükün bir kısmını taşımaktadır. Takviye elemanı seçimi yapılırken kompozit yapıda oluşturulmak istenilen özelliklere göre seçim yapılması gerekmektedir. Kompozit malzeme üretimi yapılırken seçilen takviye elemanında genellikle yüksek dayanım, düşük yoğunluk, üretim kolaylığı vb. özellikler aranmaktadır.

1.1.1.1. Fiber Takviyeli Kompozitler

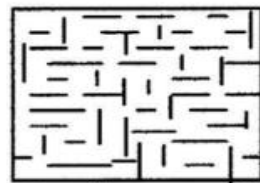
Matris malzemelerinin içerisine fiber elyafların eklenmesi ile elde edilen matrislerdir. Fiberler malzemelerde üzerinde en iyi karakteristik özelliklerini gösterdiklerinden dolayı yaygın olarak kompozit malzeme takviyelerinde kullanılırlar. Fiber malzemenin matris malzemesi içerisindeki dağılımı ve yerleşimi kompozit malzemenin mekanik özellikleri için önemlidir. Kullanılacak yere ve kuvvete karşı yerleştirilirse çok iyi derecede mukavemet kazanılabilir. Örneğin; fiber elyafları çekme yönü $[0^\circ]$ ile aynı doğrultuda ise yüksek mukavemet dik $[90^\circ]$ doğrultuda ise düşük mukavemet gösterecektir [3]. Fiberlerin matris malzemesi içerisinde yerleşimi malzemeye uygulanan yükleri fiberlere ileterek malzemeyi düzende tutmaktadır. Bu sebeple malzeme içerisindeki dağılımları ve dizilimleri önemlidir. Şekil 1.2.'de fiber takviyeli kompozit malzeme tipleri ve dağılımı gösterilmektedir.



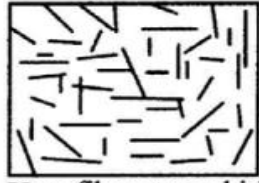
Sürekli fiber takviyeli kompozit



Kısa fiber veya whisker takviyeli kompozit (tek boyutlu düzen)



Kısa fiber veya whisker takviyeli kompozit (düzlemsel dağılım)

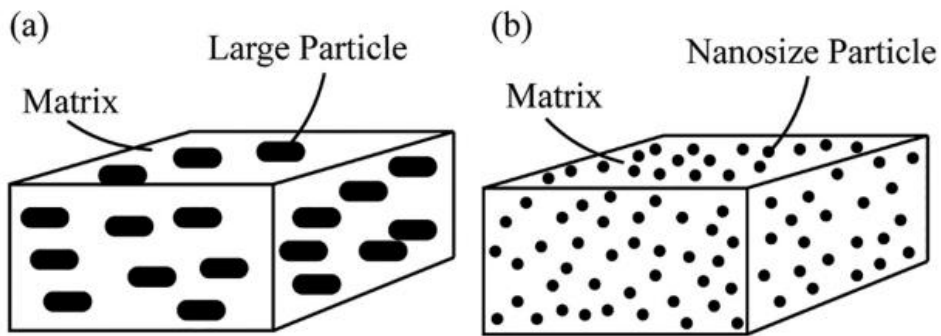


Kısa fiber veya whisker takviyeli kompozit (üç boyutta dağılım)

Şekil 1.2. Fiber Takviyeli kompozit malzeme tipleri ve dağılımı [4].

1.1.1.2. Partikül Takviyeli Kompozitler

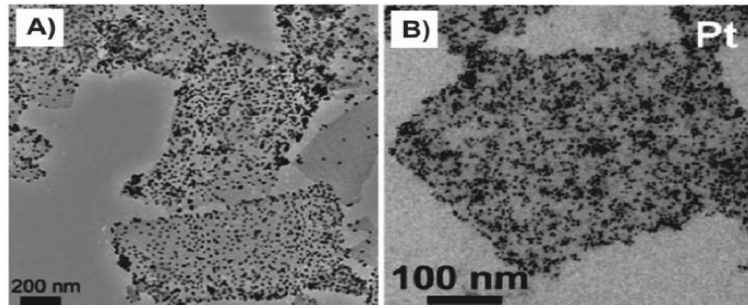
Partikül katkılı kompozitler; matris malzemesi içerisinde rastgele dağılmış bir veya birden çok partiküllerden meydana gelir. Matris malzemesine katılan partiküllerin herhangi bir şekle ve boyuta sahip olabilirler. Genellikle küresel elipsoidal, çokyüzlü veya düzensiz şekillidirler. Partiküller çoğunlukla ucuz malzemelerin mukavemetini veya diğer malzeme özelliklerini artırmak için kullanılırlar. Partiküller, matris ile uyumlu hale getirilmek üzere işlenebilir veya böyle bir işlem yapılmadan takviye edilebilirler. Şekil 1.3.'de partikül takviyeli kompozit malzemelerin tipleri ve dağılımları şekilsel olarak örnek verilmiştir.



Şekil 1.3. Partikül takviyeli kompozit malzeme tipleri ve dağılımı [5].

1.1.1.2.1. Grafen Nano-Partikül

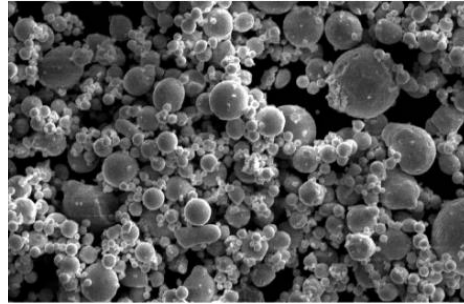
Grafen tek katmana sahip nano boyuttaki sıfır enerji aralığına sahip sp^2 karbon atomlarının homojen olarak hibrit yapıya bürünmesi ile oluşur. Petek örgü yapısı vardır. İletkenliği yüksek yüzey alanı geniş, mekanik özellikleri güçlü ve termal özellikleri karardır bu yönleriyle dikkat çeken bir malzemedir [6]. Bu sebeple bilgisayarlar, su geçirmez kumaşlar, dayanıklı koruma materyalleri, elektronik devreler ve sensörler gibi pek çok alanlarda kullanılırlar[7]. Grafen-nanopartikül hibrit yapıların örnek SEM görüntüleri Şekil 1.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Grafen–nanopartikül hibrit yapıların örnek SEM görüntüleri: a) 200 nm, b) 100 nm [8].

1.1.1.2.2. SiC Nano-Partikül

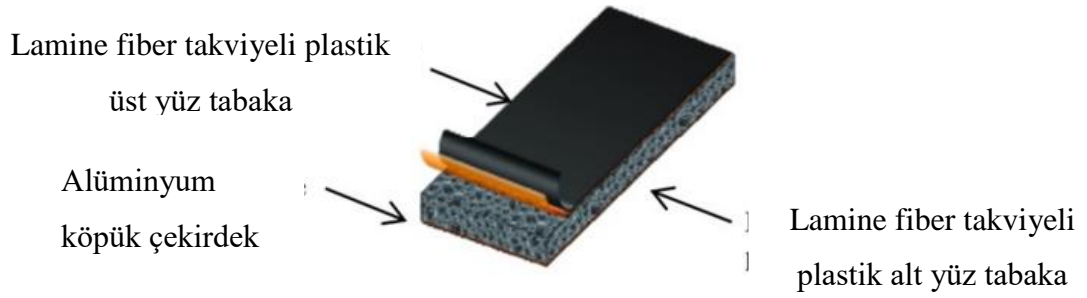
SiC nanopartiküller serttir ve genellikle seramik yapılarda, seramik yataklarda ve tekstil seramiklerde kullanılır. Isıtma bileşenlerinde ve yüksek sıcaklıkların korunmasına yönelik farklı mühendislik uygulamalarında kullanılan yüksek sıcaklığa sahip nozul sprelerinde, bileme aletlerinin yüzeylerini parlatmada kullanılır. Yüksek termal iletkenliğe sahiptir. Bu sayede yüksek sıcaklıkta kullanılan sızdırmazlık valflerinde püskürtme uçlarında kullanılır [9]. Silicon Karbür (SiC) Nanopartiküllerinin örnek SEM görüntüleri Şekil 1.5.'de verilmiştir.



Şekil 1.5. Silisyum Karbür (SiC) Nanopartiküllerinin örnek SEM görüntüleri [10].

1.1.1.3. Levhasal Kompozitler

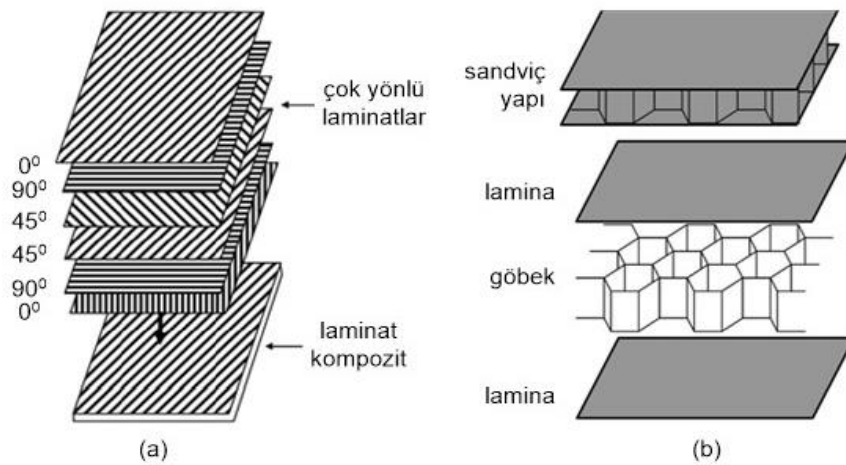
Şekilli takviye elemanlarının matris fazına yerleştirilmesiyle oluşurlar. Al-grafit levha yapısı; cam, pul, mika veya metal içerebilir. En yaygın levha AlB_2 ve Be levhalarıdır [11]. Şekil 1.6.'da bir Lamine kompozit yüzey tabakalı alüminyum köpük çekirdekli sandviç yapı verilmiştir.



Şekil 1.6. Lamine kompozit yüzey tabakalı alüminyum köpük çekirdekli sandviç yapı [12].

1.1.1.4. Tabakalı Kompozitler

Tabakalı kompozitler yapısal kompozitlerdir ve homojendirler. Tabakalı kompozitlerin özellikleri olduğu yapısal elementlerin özelliklerine ve geometrik şekil-dizilimlerine bağlıdır. Kompozit içerisindeki laminantlar üst üste dizilmiş ($0^\circ/90^\circ$ veya $0^\circ/45^\circ/90^\circ$ vb. değişik açılarda da dizilebilir) birleştirilmiş fiber-takviyeli levhalardan meydana gelir. Düzlem-içi sertlik dengelenmiştir. Tabakalı kompozitler; iki boyutlu tabakaların veya panellerin yüksek kuvvete (mukavemet) sahip olacak şekilde yerleştirilirler. Tabakalar, birbirlerinin kuvvet yönü, diğerlerinden farklı olacak şekilde üst üste dizilir, sıkıştırılır-yapıştırılır. Sandviç yapıli kompozitlerde tabakalı kompozitlere örnektir. Şekil 1.7.'de a ve b'de sırasıyla çok yönlü laminalı kompozit ve sandviç yapıli kompozitler şematik olarak verilmiştir [13].

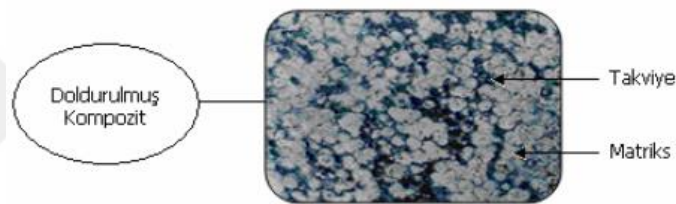


Şekil 1.7. a) Çok yönlü laminalı kompozit ve b) sandviç yapıli kompozitlerin şematik görünümü [13].

Tabakalı kompozitler en eski uygulama türlerindedir. Uçaklarda kanat, kuyruk yüzey kaplamalarında yaygın olarak tabakalı kompozitler kullanılırlar. Bunun sebebi bu kompozit türünün maruz kalacağı herhangi bir yükleme altında o yüke uygun olacak şekilde tasarlanabilmesidir. Oluşturulan her tabaka malzeme yönü uygun şekilde, açıda ve kalınlıklarda yerleştirilerek istenilen seviyelerde özelliklere sahip olacak şekildedir [14].

1.1.1.5. Doldurulmuş Kompozitler

Takviye malzemesinin sürekli bir iskelet yapısına sahip olmasını sağlayarak üretilen kompozitlerdir. Oluşturulan yapı basınçlı ya da basınçsız, döküm gibi yöntemlerle preform yapıya emdirilirler. Örnek bir doldurulmuş kompozit yapı görüntüsü Şekil 1.8. 'de verilmiştir.



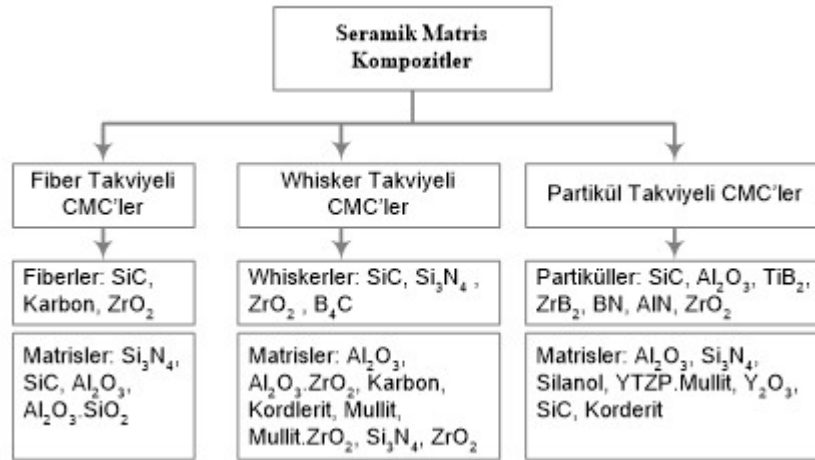
Şekil 1.8. Örnek bir doldurulmuş kompozit yapı görüntüsü [15].

1.1.2. Matris Malzemeleri

Kullanım amacı ve sektörüne göre değişiklik gösteren matris malzemeleri üretim yöntemine göre de değişiklik göstermektedir. Genel olarak Seramik, metal, karbon ve polimer yapıdaki matris malzemeleri kullanılır. Kompozit bir malzemedeki matris yapısı kompozit yapının bağlayıcısıdır. Kompozit bileşene şeklini verir ve yüzey kalitesini belirler.

1.1.2.1. Seramik Matrisli Kompozitler

Tam bir tanımla SMK, seramik matris ve takviye fazların birleştirilerek meydana getirildiği malzemedir. SMK'ler korozyona ve erozyona dayanıklı, düşük yoğunluk, yüksek mukavemet, yüksek sertlik, yüksek sıcaklıklara karşı dayanabilen malzemelerdir. Bu yüzden motorlar gibi pek çok sıcaklık dayanımı gerektiren yerlerde kullanılırlar. SMK'lar takviye malzemesine göre Şekil 1.9.'da sınıflandırılmıştır.



Şekil 1.9. SMK'ların takviye malzemesine göre sınıflandırılması [16].

1.1.2.2. Metal Matrisli Kompozitler

Metal matrisli kompozitler (MMK); metal matris ile takviye malzemesinin birleştirilmesi ile oluşurlar. Sermet, metalik köpük, partikül veya fiber takviyeli metaller MMK'lara örnektir. MMK'lar metaller ve diğer malzemelere göre daha düşük yoğunluğa, yüksek mukavemet ve esnekliğe, yüksek tokluk ve darbe dayanımına, elektrik ve ısı iletkenliğe sahiptir. Matris malzemesi olarak Alüminyum, Titanyum, Magnezyum, Bakır, Nikel, süper alaşımlar (Ni ve Fe esaslı) kullanılırlar[17]. MMK'ların üretiminde en yaygın kullanılan matris malzemesi AL ve Al alaşımlarıdır [18]. MMK'lar da kullanılan takviye malzemelerinden bazılarının şematik gösterimi Şekil 1.10.'da verilmiştir.



Şekil 1.10. MMK'lar da kullanılan takviye malzemelerinden bazılarının şematik gösterimi [19].

MMK'ların fiziksel ve mekanik özelliklerini en iyi seviyelere getirmek için pek çok üretim yöntemi vardır. Bunlar;

- Döküm
- Toz Metalurjisi
- İki faz tekniği (Sıvı-Katı tekniği)[20].

1.1.2.3. Polimer Matrisli Kompozitler

Kullanım yerleri oldukça fazla olan polimer matris malzemeli kompozitler savunma ve uzay sektöründen, tasarım ve mobilya sektörüne kadar pek çok alanda kullanılmaktadır. Kullanılan polimerin özelliklerine göre kullanım alanındaki kompozit malzeme özellikleri değişebilir. Kullanılan polimerin özelliklerine göre kullanım alanındaki kompozit malzeme özellikleri değişebilir. Polimerler tokluğu düşük, yapısal kullanıma uygun mekanik özellikler kazanması için fiberlerle güçlendirilmelidirler. PMK takviye olarak partikül katkısı ile de bazı malzeme özellikleri güçlendirilmektedir. PMK'lar Termoplastik ve Termoset olarak ikiye ayrılırlar.

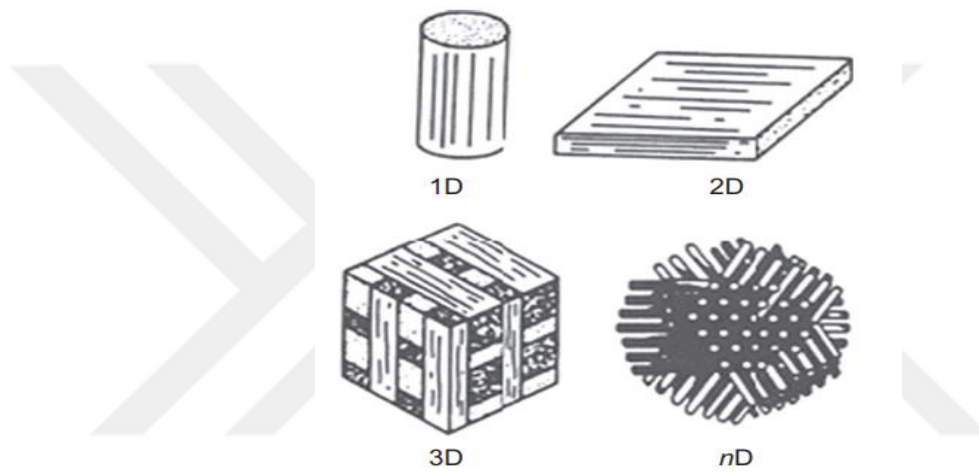
Termoplastikler; Amorf ve kristalin olmak üzere iki tiptir. Amorf yapılar düzensizdir. Isı etkisi altında yumuşar ya da erirler ve kolayca şekillendirilirler. Polietilen, günlük hayatta sık sık kullanılan mutfak eşyaları, çanta, poşet boru ambalajlar gibi pek malzemelerin oluşumunda vardır. Yapıları kimyasallara dayanıklı, nemden koruyucu, kolay işlenebilme gibi özellikler kazandırır. PE'nin mukavemet, tokluk ve sıcaklıkta istenilen değerde olmadığına Polipropilen (PP) kullanılır. Polistren (PS) şeffaf, tok ve kırılmandır. Akrilonitril-Bütadien-Sitren (ABS) işlenmesi kolaydır makine aparatlarında kullanılır. Poliamid (PA), Poliasetal (POM), Polikarbonat (PC), Polietilen Tereftalat (PET), Poli-Bütlen Tereftalat (PBT) gibi yapılar termoplastiklere örnektir [21].

Termosetler; 3 D sert polimer yapısıdır. Katılaştığında yeniden şekillendirilemez. Sıvı haldeki viskoz yapının adı reçinedir. Politetrafloraetilen (PTFE, Teflon) kimyasal reaksiyona dirençli, yapışmaz, 250 °C sıcaklığa kadar kullanılabilir, yalıtıcıdır, sızdırmazdır [21].

1.1.2.4. Karbon-Karbon Kompozitler

Karbon fiberlerle güçlendirilmiş karbon matris malzemesinin birleştirilmesiyle oluşur. Karbon/karbon kompozitlerin performansını artırmak veya geliştirmek için malzeme

özellikleri iyi olan karbon fiberler kullanılmalıdır. KKK'lara bakır ve az miktarda titanyum eklenmesi ile, geleneksel KKK'lara kıyasla termal iletkenliklerinin arttırdığı gözlenmiştir [23]. KKK'lar hafiftirler ve kırılma dayanımı yüksektir. Termal genleşme katsayısı düşük, termal iletkenliği yüksektir. Oksitli olmayan yerlerde >2200 °C sıcaklığa kadar kararlıdır fakat koruyucu bir yüzeyle kaplanmaz veya kimyasal bir uygulama olamazsa oksijenli atmosferde $400-500$ °C'de oksitlenerek kırılırlar[24]. Şekil 1.11.'de görüldüğü gibi karbon fiber takviyelerinin çeşitli formları yer almaktadır. Bunlar sürekli ve süreksiz karbon fiberlerden oluşur.



Şekil 1.11. Karbon fiber ve karbon matrisli kompozitlerin çoklu formları. [22].

1.1.2.5. Nanokompozitler

Nanokompozitler, polimerlerin inorganik katılarla (kilden oksitlere) nanometrik ölçekte karışımlarından üretilen heterojen/hibrit malzemelerdir[25]. Boyutları en az $1-100$ nm arasında bulunan nanopartiküller diğer partiküllere nazaran daha fazla yüzey/hacim oranına sahiptir. Nano boyutlardaki malzemeler daha yüksek reaktivlik, mekanik direnç, elektrik ve termal özellikler göstermektedirler. Nanokompozitlerin yapısal sınıflandırması Şekil 1.12.'de verilmiştir.

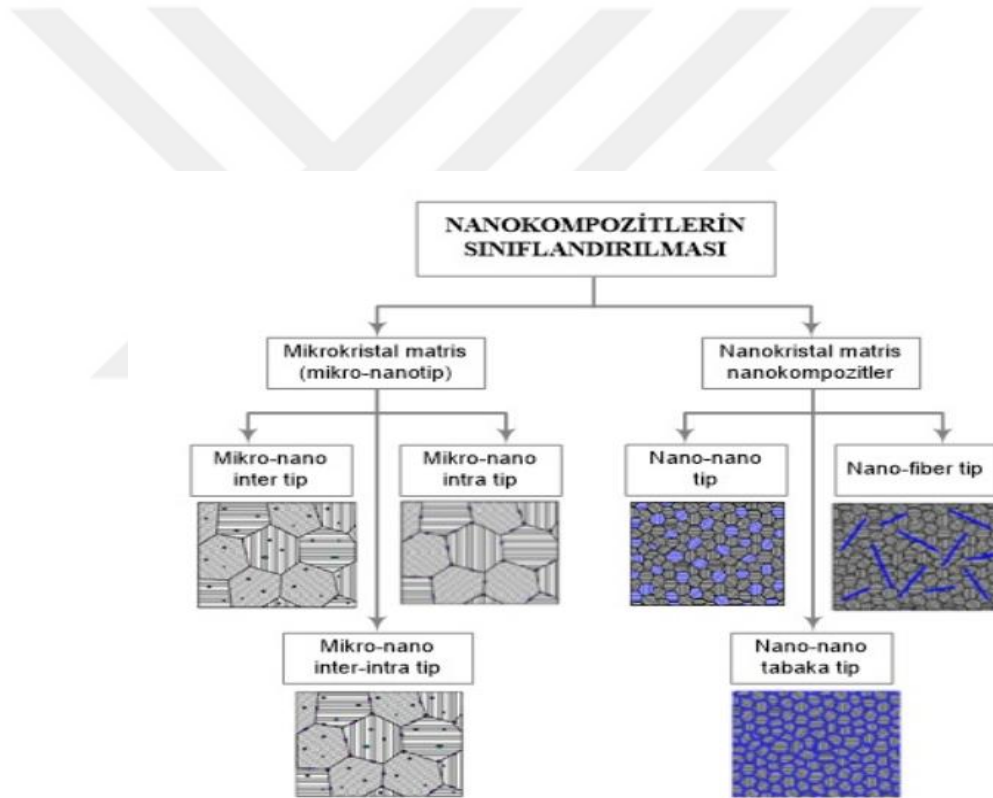
Nanokompozitlerin çeşitleri matris malzemesine göre aşağıdaki gibidir;

- ❖ Seramik-matriks Nanokompozitleri (CMNC)

- ❖ Polimer-matriks Nanokompozitleri (PMNC)
- ❖ Metal Matris Nanokompozitler (MMNC)

Nano kompozit yapısal sınıflandırma çeşitleri aşağıdaki gibidir;

- ❖ İnorganik-İnorganik Nanokompozitleri
- ❖ Organik-Organik Nanokompozitler
- ❖ Hibrid Malzemeler (İnorganik matrise organik dolgulu, Organik matrise inorganik dolgulu)



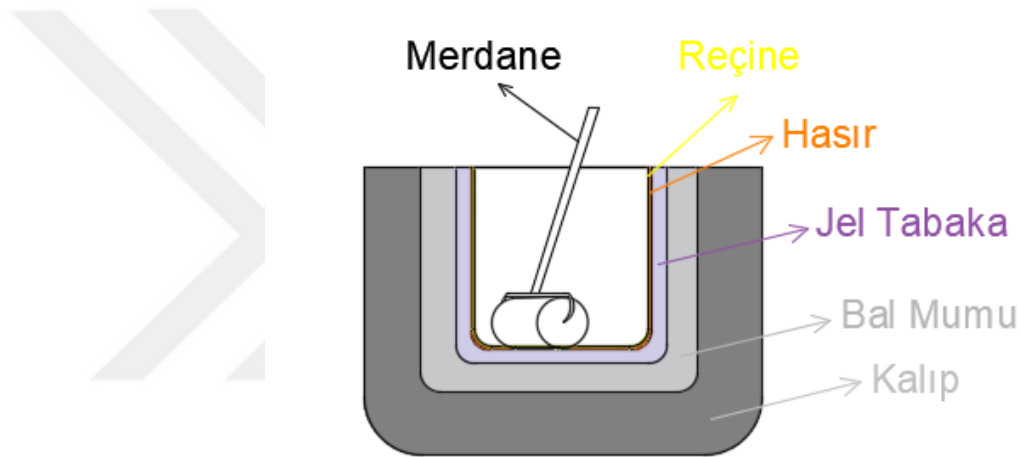
Şekil 1.12. Nanokompozitlerin yapısal sınıflandırması [26].

1.2. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

Kullanılacak olan kompozit malzemenin özellikleri kullanım yerine göre istenilen seviyede yapılabilir fakat kompozit malzemedeki üretim yöntemi malzemenin özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Kompozit üretme teknolojisinde genel olarak açık kalıplama, kapalı kalıplama ve dökme polimer kalıplama yapılmaktadır.

- **Elle Yatırma Yöntemleri**

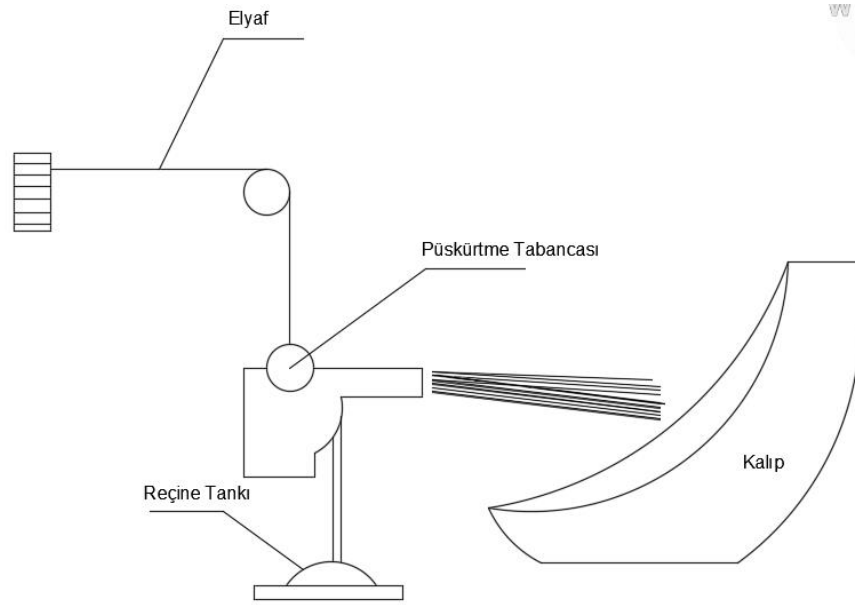
Kalıp başına üretim hacmi düşüktür; çeşitli kalıplar kullanılarak önemli derecede üretim miktarları elde etmek mümkündür. Elle yatırma yöntemi, düşük maliyetli olmasının yanında, basit işleme, farklı parça boyutlarını en kolay şekilde üretiminin yapılmasını sağlayan kompozit kalıplama yöntemidir. Kalıp tasarımlarının değişimi kolaydır. Minimum ekipman ve nitelikli operatörlerle kaliteli bir üretim sağlanabilir. Elle yatırma yöntemi şematik olarak Şekil 1.13.'de verilmiştir.



Şekil 1.13. Elle yatırma yöntemi.

- **Püskürtme Metodu**

Elle yatırma metodunun daha seri halde yapılma işlemidir. Üretim esnasında kalıp üzerine polyester ve kırılmış elyafı özel bir makine yardımıyla püskürtülerek kalıbın şeklini alır. Yüzeyle dik olarak püskürtme yapılırsa malzeme israfı önlenir. Püskürtme Metodu (Spray Up) Şekil 1.14'te şematik olarak verilmiştir.

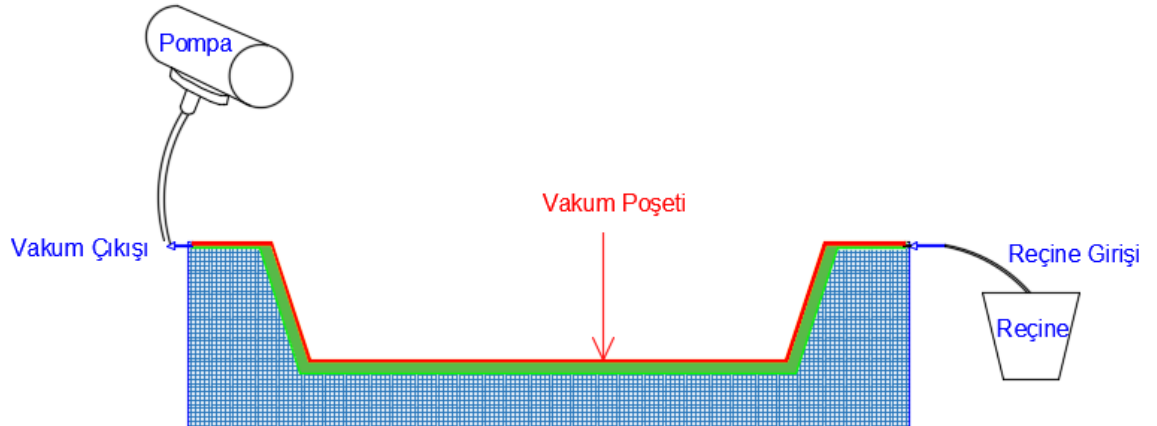


Şekil 1.14. Püskürtme Metodunun (Spray Up) şematik gösterimi.

1.2.1. Vakum İnfüzyon Yöntemi

Vakum ortamının vakum torbası ile sağlandığı yapıda; vakum pompası ile yaratılan vakumla, reçinenin kalıba verilmesiyle kompozit yapının sıkıştırılarak üretildiği üretim biçimidir. Vakum infüzyon yöntemi için kalıp temiz ve pürüzsüz olmalıdır. Vakum bantlarının kalıp etrafına vakum torbasını yapıştıracak şekilde uygun biçimde yerleştirilmesi gereklidir. Kompozit yapıyı kalıptan ayırmak için vaks sürülür ya da ayırma poşeti serilir. Daha sonra elyaflar istenilen biçimde kesilip kalıba yerleştirilir.

Vakum Ortamını Sağlamak İçin Vakum Pompası



Reçine akışını sağlamak için T boruları ve spiral borular uygun biçimde yerleştirilir. Kalıp boşluğunda atm basıncı altında takviye fiber malzemeleri kalıba kuru biçimde yerleştirilir ve vakumla reçine akışı bu borularla sağlanır. Vakum torbası sınırları ayarlanan vakum bantlarına yapıştırılır. Bu sırada kenarlardan vakum için yeterli pay bırakılır ve vakumda oluşacak gerilmenin torbaya zarar vermesi önlenir. Torba ortamı oluşturulduktan sonra vakum pompası çalıştırılır, basınç yeterli değere geldikten sonra pompa kapatılır. Vakum infüzyon yöntemi Şekil 1.15. 'te şematik olarak verilmiştir.

Şekil 1.15. Vakum infüzyon yönteminin şematik gösterimi.

Vakum pompası ve kalıp arası borularda kelepçe ile sıkıştırılarak 10-15 dakika beklenir ve vakum ortamının uygunluğu (basınç değeri, hava kaçması vb.) kontrol edilir. Değişiklik yok ise reçine kalıba vakumla çektirilerek takviye katmanları sıkıştırılır reçinenin ilerlemesi sağlanır. Fazla reçine katmanlar yeterince sıkıştırdığından yer yoktur fakat yine de vakum pompasına reçine kaçmaması için vakum pompası ve kalıp arası borularda kelepçe ile sıkıştırılarak bu durum önlenir. Vakumlu yapı kürlenme için bekletilir. Kürlenme oda şartlarında 1 günde veya kürlenme fırınlarında belirli saatler arasında tamamlandıktan sonra kompozit yapı kalıptan sökülerek çıkarılır. Düşük hacimli bir kalıplama işlemidir. Üretilen kompozit yapının mekanik özellikleri üstündür[27].

1.3. Alüminyum Malzemeleri ve Kullanım Alanları

Alüminyum malzemeleri; hafiflik, dayanıklılık, işlenebilirlik gibi pek çok malzeme özellikleri yönünden mühendislik alanında yaygın şekilde kullanılırlar (Şekil 1.16). Otomobil motor bloklarından tutun diğer parçalarında, tren, uçak, gemi gibi ulaşım araçlarında, savunma ve uzay sanayinde, cep telefonu ve bilgisayarlarda, buzdolabı, içecek ve gıda ambalajları, inşaat sektörü gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Tasarıma uygun olduğundan dolayı pek çok endüstriyel kalıpların yapımında Al ve Al alaşımları kullanılmaktadır [28].



Şekil 1.16. Audi A2 imalatından bir görünüm [29].

Al alaşımları fiziksel, kimyasal ve mekanik malzeme özellikleri yönüyle birbirinden ayrılırlar. En çok takviye edilen elementler Cu, Mn, Si, Mg ve Zn'dir. Dövme ve döküm yöntemi ile üretilirler. Dövme yöntemi ile üretilen alaşım türleri plastik deformasyona iyi direnç gösterir ve kolay şekillendirilebilirler. Döküm yöntemi ile üretilen alaşımların çoğunluğuna ısıtma işlemi uygulanır. Tablo 1.1.'de Amerikan Alüminyum birliğine göre [30]; Al alaşımlarının 4 harfle sınıflandırılması verilmiştir.

Tablo 1.1. Amerikan Alüminyum birliğine göre [30]; Al alaşımları 4 harfle sınıflandırılır.

Dövme Al Alaşım Türleri	Ana Alaşım Elemanı
1xxx	Minimum % 99 Al (Alaşımlar: 1050, 1060, 1100, 1145 gibi). Korozyon direnci Elektrik ve ısıtma iletkenlik çok iyi. Kaynak yapılıır.
2xxx	(% 6.3'e kadar)Bakır. (Alaşımlar: 2011, 2014, 2017, 2018, 2124, 2219 gibi). Yüksek mukavemet istenilen yerlerde kullanılır. 2024 en yaygınlarıdır

3xxx	Çok iyi şekil değiştirme, kaynak kabiliyetiyle mükemmel korozyon direnci vardır. Esas bileşen Mn'dir. Genelde içecek ve gıda sektöründe kullanılır. (Alaşımalar: 3003, 3004, 3105, 3830, 3850, gibi).
4xxx	(% 12'ye kadar) Silisyum. (Alaşımalar: 4032, 4043, 4145, 4643 gibi). Yüksek sıcaklığa dayanıklı parça imalatında, kaynak teli gibi kaynak yapılarında kullanılırlar.
5xxx	Esas bileşen Magnezyumdur. Oranı arttıkça sertlik ve mukavemet artar, sünekliği azalır. Korozyon direnci kimyasallara karşı iyidir. (Alaşımalar: 5005, 5049,5052, 5083, 5754 gibi).
6xxx	Ana alaşım bileşeni magnezyum ve silisyumdur. Alaşımalar: 6013, 6052 ve 6061 gibi).
7xxx	Çinko ana alaşım elemanıdır (%1 ile %8 arasında Zn bulundurur), mukavemet artışı için Mg, Cu ve düşük oranlarda Mn ve Cr ile kullanılır. Isıl işlenebilir ve yüksek dayanımlıdır. (Alaşımalar: 7075, 7050, 7049, 7100, 7110 gibi).
8xxx	Lityum ana alaşım elemanıdır ama kalayda eklenir. Demir ve nikel eklenerek elektrik iletkenliği artırılır. İyi yorulma direnci ve tokluk özelliği sergiler. (Alaşımalar: 8006, 8111, 8079, 8500, 8510, 8520 gibi).
9xxx	Diğer elementler.

1.3.1. 2024 Alüminyum Alaşımaları ve Özellikleri

2024 Al Alaşımının kimyasal bileşimleri tablo 1.2.'de gösterilmiştir. Bu alaşımdaki Alüminyuma ısıl işlem yapılabilir, kaplama ve korozyon direnci, yorulma dayanımı ve malzeme mukavemeti çok yüksektir. Çeşitli şekillerde levha boru lama profil gibi bulunabilir.

Tablo 1.2. 2024 Al Alaşımının kimyasal bileşimleri [31].

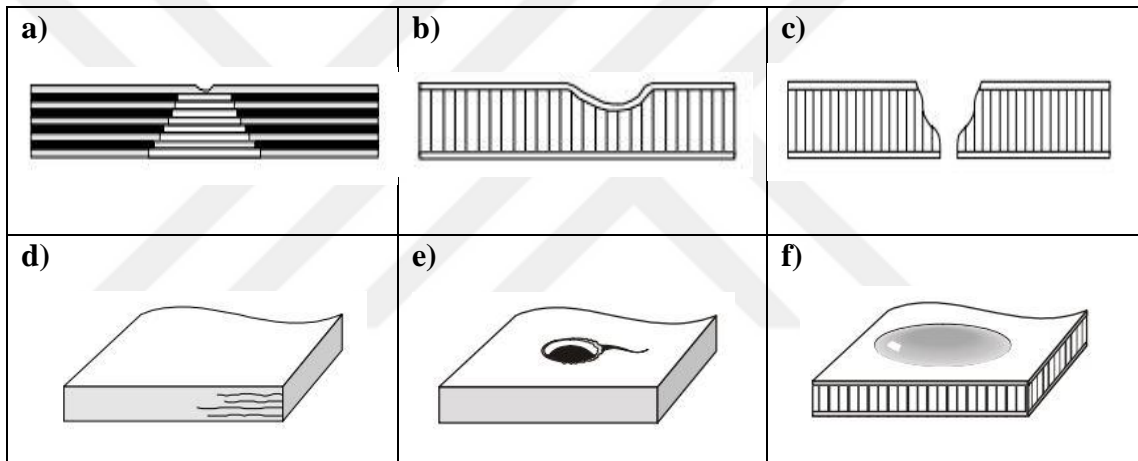
Fe	Si	Cu	Cr	Mn	Mg	Zn	Zi+Ti	Diğer
----	----	----	----	----	----	----	-------	-------

0,5	0,5	3,8-4,9	0,1	0,3-0,9	1,2-1,8	0,25	0,15	0,15
-----	-----	---------	-----	---------	---------	------	------	------

Yaygın olarak mühendislik uygulamalarında, uçak tasarımında ve havacılık sanayinde, yapısal uygulamalar, otomotivde araç gövde panelleri vb. parçaların üretiminde, genelde yüksek sertlik ve işlenebilme özelliği gerektiren parçalar için tercih edilirler.

1.4. Hasarlar ve Onarım Yöntemleri

Fiber takviyeli kompozitler malzemelerde ki hasarlar düşük hız ve yüksek hızlı darbeler sonucu oluşmaktadır. Kompozit yapılarıdaki hasar tipleri Şekil 1.17’de verilmiştir.

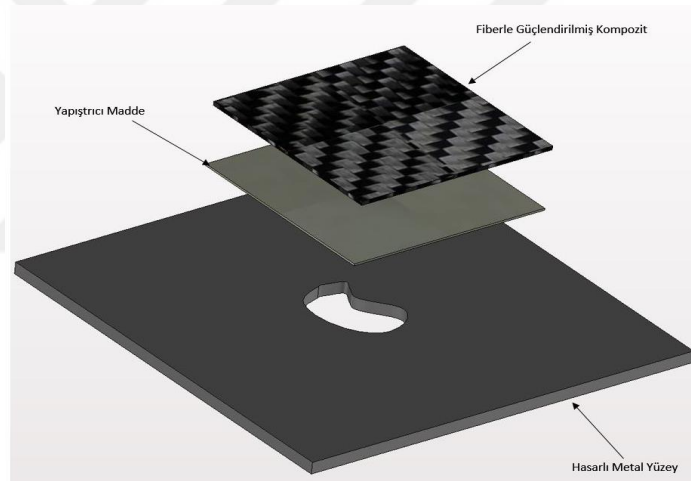


Şekil 1.17. Kompozit yapılarıdaki hasar tipleri: a) Yüzey altındaki laminalardaki hasarlar,b) Sandviç yapılarıdaki ezik hasarı. c) Sandviç yapılarıdaki delinme hasarı, d) Laminalardaki çatlak hasarı, e) Yapıda bulunan deliklerin etrafındaki çatlak hasarları, f) Sıcaklıktan kaynaklı yüzey katmanlarında oluşan hasar[32].

Metallerde darbe enerjisi elastik ve plastik deformasyonlarla dağılırken yapısal bütünlüğün çoğunluğu korunur. Fiber takviyeli malzemelerde hasar özellikle yüzeyde görülenden daha kapsamlıdır.

1.4.1. Kompozit Yama ile Hasar Onarımı

Fiber takviyeli polimer kompozit malzemeler hasarların tamir edilmesinde oldukça yaygın şekilde kullanılırlar. Bunun en büyük sebeplerinden biri hasarlı yapının yük kaldırma potansiyelini artırmak ve hasarsız halindeki potansiyeline getirmek, hatta daha da güçlendirmek. Hasarsız yapılar da ise hasar toleransını artırmak için takviye eleman olarak kullanılmaktadır. Kompozit yamalar genellikle savunma ve uzay sanayinde, inşaat ve denizcilikte kullanımı yaygın olduğundan kompozit yüzeylere ve metal yüzeylere uygulamaları oldukça fazladır. Genel yapı bakımından yama işlemi yapılırken oluşan hibrit yapı sırasıyla hasarlı yapı, iki yapıyı uygun bir biçimde birleştirerek bütünlük sağlayacak mühendislik yapıştırıcısı ve yama yapısıdır. Karbon fiber kompozit yamanın hasarlı metal yüzeye uygulanması yama işlemine bir örnek olarak Şekil 1.18’de görülmektedir.



Şekil 1.18. Karbon fiber kompozit yamanın hasarlı metal yüzeye uygulanması.





Kompozit yamaların diğer yamalara göre avantajları; istenilen seviyelerde ve yönlerde malzeme özellikleri optimize edilebilir. Hafif, sağlam ve dayanıklıdırlar. Yüksek korozyon direncine sahiptirler. Avantajlarının yanı sıra kompozit yamaların dezavantajları da vardır. Kompozitler pahalıdır ve malzemenin kalitesi malzeme türüne (matris ve takviye malzemeleri), üreticinin kabiliyetine ve üretim yöntemine göre değişebilir. Yama bağlantısında yapıştırıcının etkisi büyüktür yüzey kalitesi ve yüzeyin temiz olması yapıştırıcının performansını etkilemektedir. Bu yüzden kaliteli ortamlarda toz ve kirden uzak bir şekilde uygun bir birleşim sağlanmalıdır, kimyasal işlem gerektirebilir [33].

1.5. Darbe Testleri

Darbe herhangi bir yapı üzerindeki düşük, orta ve yüksek hızlarda kısa bir süre içerisinde uygulanan bir dış kuvvettir. Malzemelerin darbe dayanım testlerinde, dinamik yükler uygulanırken malzemenin davranışının belirlenir. Malzeme aldığı darbeler sonucunda şekil değiştirirken aniden kırılırsa gevrek kırılma yaşanır. Kırılmadan şekil değişimini sağlanıyorsa plastik şekil değişimi denir. Malzemelerin; hangi sıcaklık değerlerinde hasar alacağı, hangi şartlarda sünek ve gevrek kırılmalar yaşayacağı, tokluğu, hasara uğrarken uygulanan enerji seviyesine ve yüke göre nasıl davranacağı önemlidir. Ve bu özelliklere göre malzemenin kullanım alanları seçilir.

1.5.1. Düşük Hızlı Darbe Testleri

İki farklı yapının çarpışma esnasında zıt yönde oluşturduğu etki-tepki kuvvetleri sonrasında meydana gelen hasarların malzeme özelliklerini belirlemede kullanılır. Darbe sonucunda oluşan dirençlerle malzemede oluşan küçük deformasyonlar meydana gelir. Malzemede ani kırılma ve deformasyon meydana gelir. Şekil 1.19.'da farklı metodlarla düşük hızlı darbe sonucunda değişen darbenin hızının ve darbe kuvvetlerinin etkisinin analizi yapılmıştır. a (e, e_0, e_* = kinematik, kinetik, enerjik restitüsyon katsayıları), b ($\mu =$ Amontons-Coulomb sınırlayıcı sürtünme katsayısı $\beta_1, \beta_3 =$ atalet katsayıları), c (Dağıtılmış iletişim noktaları), d (Esnek gövdeler), e (Pürüzsüz dinamikler), f(Pürüzlü dinamikler).

Darbe Teorisi	Bağımsız Değişken	Lade Katsayısı ^d	Darbe Noktasında ^b Geliş Açısı ψ_0	Temas Uyumluluğunun Uzamsal Gradyanı: X^{-1}	Etki Noktası: ^d Uyumu Yapısal Uyum	Hesaplama Başarısı	Örnekleme
Stereomekanik ^e	Hiçbiri	e, e_0	$> \tan^{-1}((\mu\beta_1/\beta_3))$	>1	$\gg 1$	Düşük	
Rijit Cisim ^f	İtme p	e_*	$> \tan^{-1}((\mu\beta_1/\beta_3)^{\theta})$	>1 (ardışık) $\ll 1$ (eşzamanlı)	$\gg 1$	Düşük	
Uyumlu Temas ^f	Zaman t	e_*	Hepsi	Hepsi	Hepsi	Orta	
Süreklilik ^f	Zaman t	Hiçbiri	Hepsi	Hepsi	Hepsi	Yüksek	

Şekil 1.19. Düşük hız etkisi için teorilerin uygulanabilirliği [34].

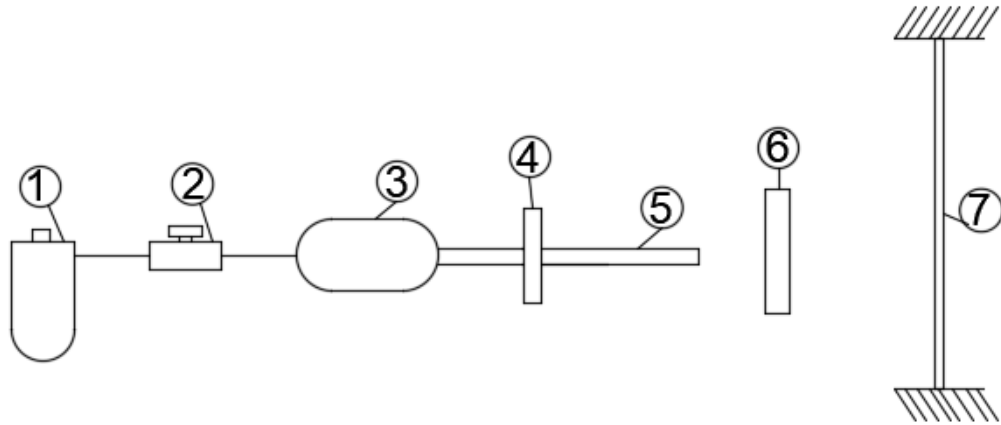
Malzemedeki hasar darbe isminin kütlesi, hızı ve malzeme yapısıyla doğru orantılı olarak değişmektedir. Düşük hızlı darbelerde bile cisimlerin deformasyona uğrayarak şekil değişimine neden olmaktadır. Stereomekanik teorisi sonucunda darbe hızlarındaki

sürekli değişim görülmektedir. Rijit cisim teorisinde hız değişiklikleri, p darbe noktası normal bileşeninin sürekli fonksiyonudur. Bu teori iki sert cismin çarpışması sırasında gövdelerde oluşan darbenin analizi için uygundur. Fakat karmaşık yapılar için limitli alanları vardır[34]. Düşük hızlı darbelerin hızı 1 ila 10 m/s arasında değişmektedir. Darbe sonrası enerji malzeme içerisinde elastik olarak absorbe edilir.

1.5.2. Yüksek Hızlı Darbe Testleri

Malzemelere dış kuvvetler etkisi altında hasar alması sonucu iç hasarlar meydana gelmektedir. Bu durumda malzemelerin mukavemetini büyük oranda etkilemektedir. Yüksek hızlı darbelerde hedef hareketini merminin veya atılan cismin hareketini, mermi ile hedef arası temas bölgesindeki kırılmaların ve çatlamların oluşumunu içerir. Basınçlı hava ile darbe test düzeneği şeması Şekil 1.20.'de verilmiştir.

- **Basınçlı hava ile darbe test metodu**

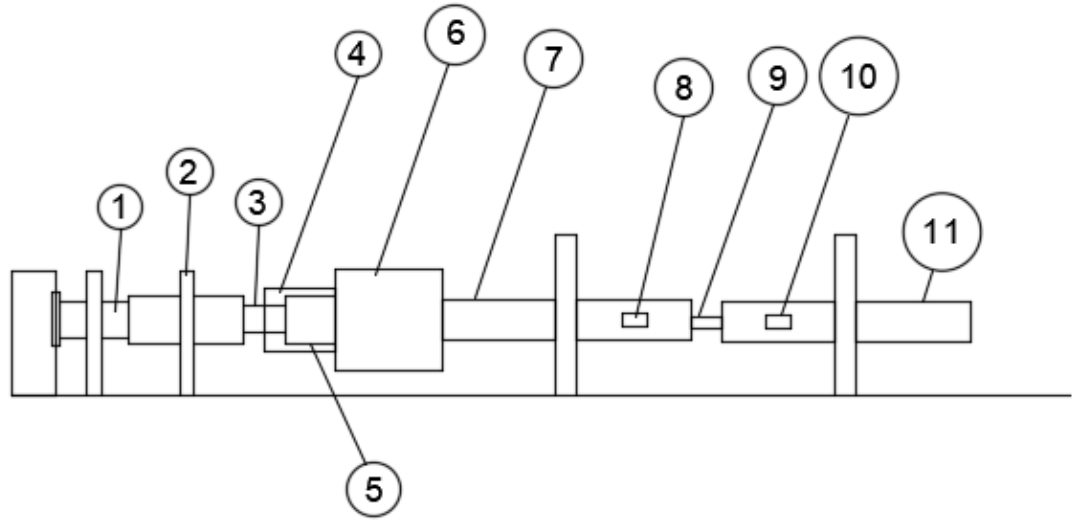


Şekil 1.20. Basınçlı hava ile darbe test düzeneği şeması (1- Hava filtresi, 2- Basınç regülatörü, 3- Hava Tankı, 4- Selenoid valf, 5- Namlu (tüp), 6-Hız sensörü, 7- Numune.)

Hava basınçlı darbe testinde vurucular 250 gr'dan küçük, hızı 100 m/s'den büyük vurucular için uygun metottur.

- **Split-Hopkinson basınçlı çubuk test metodu**

Malzemelerdeki şekil değiştirmenin yüksek hızla etkisini değerlendirmesi ve dinamik davranışlarının detaylı araştırılması adına kullanılır. Split-Hopkinson basınçlı çubuk test metodunun şematik görüntüsü Şekil 1.21.'de görülmektedir. Balistik, çarpma gibi olayların simülasyonunda kullanılır. Balistik testlerde istenilen özellikler malzemenin özellikleri ile ilgilidir. Malzeme çekme gerilmesi, elastik modülünün yüksek ve düşük yoğunluğa sahip olması istenir, çünkü bu özellikteki malzemeler yüksek hızdaki darbeyi absorbe ederek malzemeye yayararak darbe etkisini sönmlemeye çalışır [35].



Şekil 1.21. Split-Hopkinson basınçlı çubuk test metodu düzenek şeması (1- Absorbe çubuğu, 2- Destek parçası, 3- Giriş çubuğu, 4- Tüp, 5- Vurucu tüp, 6- Gaz tankı, 7- Giriş çubuğu, 8 ve 10 – Strain gage, 9- Numune ve 11- Çıkış çubuğu).

1.6.Literatür Çalışması

Kompozit yamalarla ilgili çalışan E. Ergün [36], cam-elyaf takviyeli $[0^\circ]$ yönlü kompozit malzeme ile merkezi çatlaklı 2024-T3 alüminyum levhaları tamir etmiş ve levhanın değişik ortam koşullarında (sıcaklık ve nem) kırılma mekaniği parametrelerinin ve çalışma ömrünün değişimi araştırmış, nümerik analizleri yapmış. Yapılan çalışmada 2 mm alüminyum kalınlığı ve oda sıcaklığı göz önüne alındığında 2 tabaka yama ile %50, 8 tabaka yama ile %156 oranında ömür artışı sağlanmıştır. Buna karşın 5 mm alüminyum kalınlığında 2 tabaka yama ile %11, 8 tabaka yama ile %45 oranında ömür artışı

sağlanmıştır. Bu da kalınlık arttıkça yama kalınlığının artmasının öneminin az olduğunu göstermektedir.

A. Saylak ve arkadaşları [37], farklı ebatlarda çentik açılan Al levhalara [0°] yönlendirdiği karbon elyafları polimer kompozit malzemesini kullanarak tek ve çift taraflı olacak şekilde tamir işlemi yaparak çekme deneylerine tabi tutmuşlardır. Deney sonrasında yamasız ve kompozit yamalı numuneler karşılaştırıldığında levhaların çentik genişliği ve boyunun; yük dayanımı, uzama ve elastik yük değerleri ile ters orantılı olduğu, en iyi sonuçların çift taraflı yama yapılan numunelerde görüldüğü gözlemlenmiştir. Yamasız numunelerin gösterdikleri hasar davranışlarına bakıldığında çentik bölgesinden koparak ayrılma gözlemlenmiştir. Tek taraflı yamalı ürünlerdeki hasar davranışlarına bakıldığında çentik başlangıç noktasından kırılarak kopma gözlemlenmiştir. Çift taraflı yamalı levhalarda ise kompozit malzeme levhadan sıyrılarak ayrıldığı gözlemlenmiştir.

C. Güler ve arkadaşları [38], SiC partikül takviyeli Al matris elemanlı kompozit yapının mekanik özelliklerindeki değişimleri irdelenmişlerdir. İndüksiyon fırınında eritilen Al alaşımına %10 ağırlık oranında eklenen 44 µ çapındaki SiC partikülleri karıştırılarak kalıba döküldükten sonra pres yardımıyla yüksek basınç ve sıcaklık etkisi altında üretmişlerdir. Daha sonra üretilen numunelere çekme testi, sertlik testi uygulanarak mikro yapıları incelenmiştir. Sertlik testleri sonucunda partikülsüz 55 HV olan Al alaşımının sertliğinin partikül katkısı ile 90 HV ye çıktığı gözlemlenilmiştir. Çekme testi sonrasında ise 180 MPa'dan 260 MPa'ya artış gözlenmiştir.

M. Kaburcuk ve arkadaşları [39], Al 6061/SiC partikül takviyeli kompozit malzemelere düşük hızlı darbe yükleri uygulayarak bu yükler altındaki mekanik davranışlarını irdelenmişlerdir. 10 µm boyutuna sahip SiC partikülleri farklı hacim-ağırlık oranlarında Al alaşımlarına katılarak toz metalürji yöntemi ile kompozit numuneler üretilmiştir. Yapılan farklı hızlarda düşük hızlı darbe testleri sonrasında temas kuvvetinin darbe hız artışı ile doğru orantılı olduğu, partikül hacim oranı artışı ile doğru orantılı olup darbe zamanı ile ters orantılıdır. Partikül boyutu arttıkça temas kuvveti ve enerji absorbesinin arttığı, darbe süresinin uzadığı görülmüştür.

B. Günaydın [40], Borularında oluşan hasarların onarımı için kompozit yama yapısı kullanarak hasarların onarımındaki yorulma davranışlarını incelemiştir. Yaptığı

çalışmada farklı yama genişlikleri ve kalınlıkları ile hasar sonrası Sonlu Elemanlar Metodu ile gerilme analizi yapmıştır. Kompozit boru üretiminde Vetrotex 1200 teks E cam elyaf ve matris malzemesi olarak Ciba Geigy CY 225 Epoksi reçine kullanarak yaş sargı metodu ile üretmiştir. Boruların bazılarında çentikler açarak kompozit yama ile hasar onarımı yapılmış ve sonrasında çentikli ve çentiksiz kompozit borulara tekrarlı iç basınç uygulayarak yorulma ömürleri ve yorulma hasar davranışlarını incelemiştir. 100 mm genişliğindeki çentikli boruları farklı katmanlardaki yamalarla tamir edip patlama basıncına maruz bırakarak aynı ebattaki yamasız boruya göre sırayla %16, %50, %66, %83, %91 ve %133 oranlarında artış gözlemiştir. Yorulma iç basıncı azaldıkça yorulma ömründe artış olmuştur. Kompozitle onarılmış yüzeylerde yama katman sayısı arttıkça yorulma ömrü artmıştır. Yama kat sayısı ve uygulanan basınç artırıldıkça yama hasar alanında da artış gözlemlenmiştir. Yapılan deneyler ve analizler sonucunda çentikli borularda mukavemetlerini artırabileceklerini, çentikli bölgelerdeki gerilmeleri azaltabileceklerini ve hasarın ilerlemesini durdurabileceklerini yaptıkları deneyler sonucunda görmüşlerdir.

Y. Akgün [41], onarılmış Cam/Epoksi kompozit plakalardaki darbe davranışlarını deneysel olarak ele almışlardır. Kompozit plakalarını elle yatırma ve vakum infüzyon yöntemi ile onararak iki farklı tipte onardıkları kompozit plakaların farklı enerjilerde yaptıkları düşük hızlı darbe testlerinin sonucunda, infüzyon yönteminin daha dayanıklı olduğu ve düşük darbelerde en yüksek eğilme rijitliğine sahip olduğunu fakat enerji artışının ile kuvvet-yer değiştirme davranışlarında birbirine yaklaştığını, yani iki yöntemle onarımında yüksek enerjili darbelerde neredeyse aynı olduğunu görmüştür. Farklı derinlikteki onarımlara bakıldığında (yama derinliği) farklı enerji altındaki hasar ömürleri incelenmiş, yama derinliği artışı ile darbe enerjisi ile daha çok hasar olduğu ve tekrarlı darbe ile hasar ömrünün arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan sıcaklık deneyinde ise yüksek ve düşük sıcaklıkların oda sıcaklığı ile kıyaslandığında yapılan darbelerin nasıl değiştiğini incelemiştir. Soğuk ortamdaki darbenin yama dayanımını daha çok artırdığını sıcaklık artışı ile tekrarlı darbelerin(Oda sıcaklığında yapılan tekrar sayısı ile karşılaştırıldığında) yama yapısındaki elyaflarda daha çabuk kopma yaşandığı görülmüştür.

E. Yıldız [42], iki farklı tipte çentik yapısına sahip olan Cam/Epoksi kompozit levhaları vakkum infüzyon yöntemi ile üretip, matris yapısı, geometrisi ve et kalınlığı farklı olan

kompozit yamalarla tamir işleminin yapıldıktan sonra farklı enerjilerde düşük hızlı darbe testleri uygulamıştır. Darbe sonucunda en iyi hasar davranışının cam fiberli yamada gözlemlendiği, Al yamanın plastik deformasyona uğradığı, karbon fiberli yamada ise deliminasyon olduğu gözlemlenmiştir. Yama kalınlığı arttıkça hasar yüzeyinin azaldığı gözlenmiştir.

H. Hoshi ve arkadaşları [43], yaptıkları CFRP yama yapılarına darbe testi uygulayarak yama yapısının mekanik özelliklerini ve darbe karakteristiklerinin, yama açısı değişimine göre nasıl değiştiğini incelemişlerdir. Statik testlere bakıldığında yama açısının artmasıyla, yama bağlantılarındaki çekme ve basma kuvvetlerinin azaldığı görülmüştür. Darbe testlerinin sonucuna göre yama bağlantılarındaki hasar yapısının yama açısı arttıkça arttığı gözlenmiştir. Yama bağlantılarındaki darbe enerjisi ve yama açısı arttıkça artık gerilmeler azalmaktadır. Çalışmanın sonucunda yama bağlantılarındaki yama açısının darbe karakteristiğini ve yama bağlantı gücünü yüksek oranda etkilediği görülmüştür.

U. Çalışkan ve arkadaşları [44], çentikli metal plakaların farklı geometrilerdeki kompozit yama ile onarıldıktan sonra, yama bağlantısına uygulanan farklı darbe enerjileri altındaki darbe davranışının gözlemlenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile ABAQUS/Explicit ortamında modellenmiş ve testlerin yapılmıştır.

Ş. Oba ve arkadaşları [45], SiC partikül dolgu cam fiber takviyeli kompozit plakaların düşük hızlı darbe davranışlarını deneysel olarak araştırmışlardır. Dört farklı oranda partikül katkısı ile kompozit plakaları üretmiş ve bu plakalara düşük hızlı darbe testi uygulayarak malzemenin hasar özelliklerini incelemişlerdir. Malzemedeki bazı mekanik özelliklerin belirli oranda artırılması sağlanmıştır. Kinetik enerji-zaman, kuvvet-zaman grafikleri ve hasar görüntülerini analiz etmişlerdir.

Cheng ve arkadaşları [46], farklı enerji seviyelerinde düşük hız etkisine maruz kalan kademeli yama ile tamir edilen epoksi ile güçlendirilmiş karbon fiber kompozit laminelerin hasar karakterlerini deneysel olarak incelemişlerdir. Farklı enerji seviyelerinde yamasız ve yamalı plakaların farklı bölgelere düşük hızlı darbe testi uygulayarak yama yapısı incelenmiştir. Yük-zaman grafikleri incelenmiş ve yama yapılan laminenin temas yükü geçmişi, düşük hızlı bir darbeye maruz kaldığında orijinal laminenininkinden farklıdır. Kademeli tamir edilmiş lamineler için, darbe konumu, yük

tepkisi farklıdır. Darbe konumu, onarılan laminenin deliminasyon eşik yükünü etkilediği, en düşük deliminasyon eşiğinin onarılan laminenin yama merkezinde olduğu gözlemlenmiştir. Kalınlık yönündeki onarımda yapışma arayüzüne uygulanan darbeye yapışkan tabaka ve kompozit lamineler arasında açılmalar olduğu, darbe noktası yapışma bölgesine ne kadar yakınsa ayrılmanın da o kadar fazla olacağı gözlemlenmiştir.

Kadir Günadoğan ve arkadaşları [47] yaptıkları çalışmada, polistiren matris içerisine 30 µm boyutunda değişik ağırlık oranlarında (% 0.1, % 0.2, %0.3) grafen takviyesi uygulayarak plastik enjeksiyon yöntemi ile 50x75 mm boyutlarında 5 mm kalınlığında numunleri üreterek ısı, çekme ve sertlik deneyine tabi tutmuşlardır. Tanecikler ve matris yüzeleri arası etkileşimin artmasıyla (% tanecik oranı) kompozit numunelerin mekanik özelliklerinin arttığı ancak belirli bir seviyede düşüş yaşandığı gözlemlenmiştir. Isıl deneyler sonucunda % tanecik oranı arttıkça kompozit malzemenin bozunma sıcaklığında artış gözlemlenmiştir.

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Deneysel Yöntem

Nano boyutta partikül katkılı polimer matrisli kompozitlerde tamir edilen çentikli alüminyum plakaların düşük hızlı darbe davranışları üzerine katkı tipi ve oranının etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla, öncelikle epoksi reçine içerisine ağırlıkça %0,5, %1 ve %2 oranlarında SiC ve Grafen ayrı ayrı ilave edilerek ultrasonik karıştırıcı ile homojenize edilmişlerdir. Böylece, elde edilen farklı oranlardaki her bir karışım vakum infüzyon yöntemi ile karbon fiber kumaşa emdirilerek kompozit plakalar elde edilmiştir. Üretilen nanopartikül katkılı kumaşlar belirlenen boyutlarda kesilerek üzerine çentik açılmış alüminyum plakalara endüstriyel Araldite-2015-1 yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Son olarak, SiC ve Grafen katkılı kompozit plakalarla yama yapılan alüminyum plakalara düşük hızlı darbe testi uygulanmıştır. Deneysel yönetime yönelik ayrıntılı açıklamalar aşağıdaki alt başlıklar altında verilmiştir.

2.2. Kompozit Plakaların Üretimi

Kompozit numunelerin üretimi için gerekli tüm teçhizatlar Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği laboratuvarlarında yapılarak deneyler için hazırlanmıştır. Gerekli tüm malzemelerin temin edilmesinin ardından numune üretimleri sırasıyla yapılacaktır.

Karbon fiberli polimer matrisli kompozitlerin her birine ağırlıkça %0,%0,5,%1 ve %2 oranında nano boyutta SiC ve Grafen partikülleri eklenerek deney numuneleri üretilmiştir. Nanopartikül katkılı kompozit plakalar vakum infüzyon yöntemi ile üretimleri yapılacaktır. Tablo 2.1 ve 2.2 de numune üretiminde kullanılan nano tozların mekanik ve fiziksel özellikleri yer almaktadır.

Tablo 2.1. Grafen nanopartikülün mekanik ve fiziksel özellikleri.

Yoğunluk(g/m^3)	2250000
Saflık(%)	99
Boyut(nm)	1-2
Kristal Kafes Yapısı	Hekzagonal
Yüzey Alanı(m^2/g)	2600
Renk	Siyah

Tablo 2.2. SiC nanopartikülün mekanik ve fiziksel özellikleri

Yoğunluk(g/m^3)	3100000 – 3200000
Saflık(%)	99.5
Boyut(nm)	50-70
Kristal Kafes Yapısı	Kübik
Yüzey Alanı(m^2/g)	8.4
Renk	Açık Kahve

Tablo 2.3’de numune üretiminde kullanılan matris malzemesi karbon fiberin mekanik ve fiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.3. Karbon fiber elyafın mekanik ve fiziksel özellikleri

Yoğunluk(g/m^3)	1760000
Gerilme Modülü(GPa)	238

Gerilme Dayanımı(MPa)	3950
Laminat Kalınlığı (mm)	0,48
Dokuma Tipi	Tek Yönlü – Çözü Elyaf,T700
Ağırlık (g/m^2)	300

Takviye malzemesi olarak karbon fiber elyaf ve SiC ve Grafen nano tozlarından oluşan bu numunelerin matris malzemesi MGS LR160 reçine ve MGS LH160 sertleştirici kullanılmıştır. Bu malzemelerin mekanik ve fiziksel özellikleri aşağıda tablo 2.4 ve 2.5’de verilmiştir.

Tablo 2.4. Sertleştirici mekanik ve fiziksel özellikleri(Ölçüm Şartları:25°C)

Yoğunluk(g/m^3)	930000 – 970000
Viskozite(mPas)	80-100
Refraktör İndeksi	1.4980-1.4985
Amin Değeri (mgr KOH/g)	450-500

Tablo 2.5. Reçine mekanik ve fiziksel özellikleri(Ölçüm Şartları:25°C)

Yoğunluk(g/m^3)	1180000-1230000
Viskozite(mPas)	600-900
Epoksi eşdeğeri g/eşdeğer	155-170

Epoksi değeri eşdeğer/100 g	0,59-0,65
Refraktör İndeksi	1,525-1,530

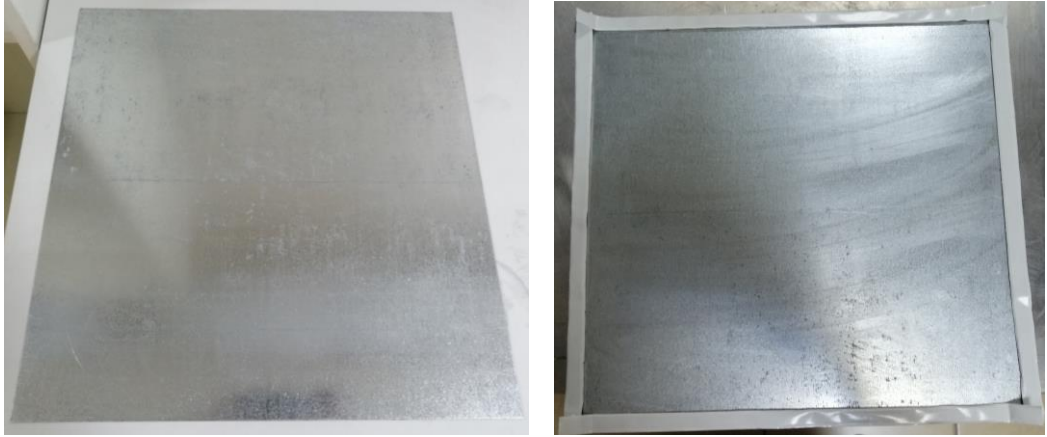
2.2.1. Partikül Katkısız Plakaların Üretimi

Partikül katkılı ve katkısız karbon fiber matrisli kompozit numunelerin ağırlıkça oranları, takviye ve matris malzeme özellikleri yukarıda verilen malzemelerden Tablo 2.6. 'da verilen oranlarla üretim yapılmıştır.

Tablo 2.6. Nano Partikül Katkılı Numuneler için matris ve takviye eleman oranları.

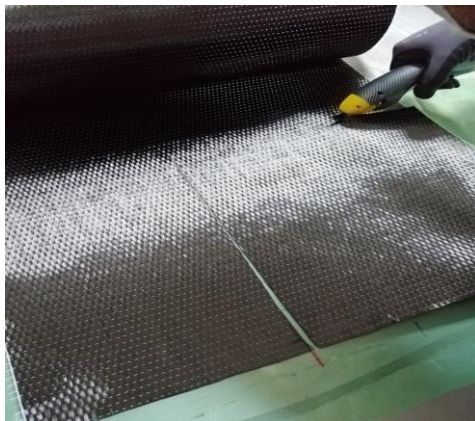
Numune No	Epoksi (gr)	Sertleştirici (gr)	SiC (gr)	Grafen (gr)	Nanopartikül Katkı Oranı(%)
1	200	50	0	0	0
2	200	50	1	0	0.5
3	200	50	2	0	1
4	200	50	4	0	2
5	200	50	0	1	0.5
6	200	50	0	2	1
7	200	50	0	4	2

Partikül takviyesi ağırlıkça katkısız (%0) olan numuneler için öncelikle düz ve pürüzsüz bir yüzey elde edilmesi gerekmektedir. Vakum ortamında herhangi bir dengesizlik yaratmamak adına üretilecek plakalar için uygun boyutlarda galvanizli saclardan plakalar kesilmiştir. Bu plakaların üzerleri aseton ile temizlenerek kir ve tozlardan arındırılması sağlanmıştır. Daha sonra kürlenerek üretimi tamamlanan kompozit plakaların galvanizli saclardan ayrılabilmesi için galvanizli sac üzerine kalıp ayırıcı sürülmüş ve kenarlarına sızdırmazlık bandı yapıştırılmıştır (Şekil 2.1).



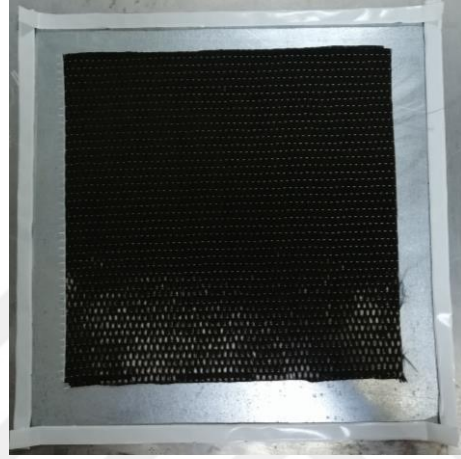
Şekil 2.1. Galvaniz kaplı sac plaka ve sızdırmazlık bantlı hali.

Üretim yapılırken herhangi bir polimer matris malzemesi veya hava kaçıışının engellenmesi için plaka çevresine sızdırmazlık bantları çekilmiştir. Kompozit numuneler için fiber malzemesi olarak karbon elyaflar 300x300 mm boyutunda fiber kesme makası ile istenilen boyutlarda ebatlanarak kesim işlemi yapılmıştır(Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Karbon fiberlerin fiber kesme makası ile ebatlanması.

Kompozit üretimi için 1 mm' lik numune oluşturacak şekilde ($0^0/90^0$) 4 katmanlı karbon fiber kumaşları sırasıyla kalıp ayırıcı sürülmüş plakaya Şekil 2.3'deki gibi yerleştirilmiştir.



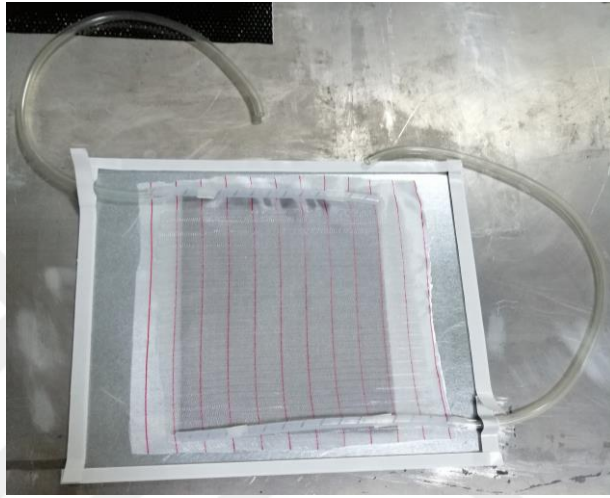
Şekil 2.3. Karbon fiberin plakaya yerleştirilmesi.

4 katman olacak şekilde fiber kumaşlar serildikten sonra üzerine bir adet ayırıcı soyma kumaşı için 350x350 mm boyutunda kesilerek yerleştirilmiştir (Şekil 2.4).



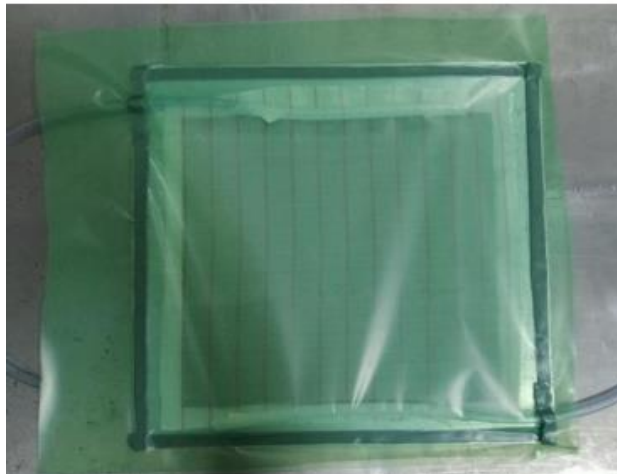
Şekil 2.4. Katman halindeki karbon fiberlerin üzerine ayırıcı soyma kumaşının (infüzyon filesi) yerleştirilmesi.

Katmanlı yapıyla beraber sertleştirici ile karıştırılmış matris malzemesi polimerin homojen bir şekilde yayılması için spiral hortum ve vakumu sağlayacak infüzyon hortumunun katmanların kenarlarına Şekil 2.5'deki gibi yerleştirilmiştir.



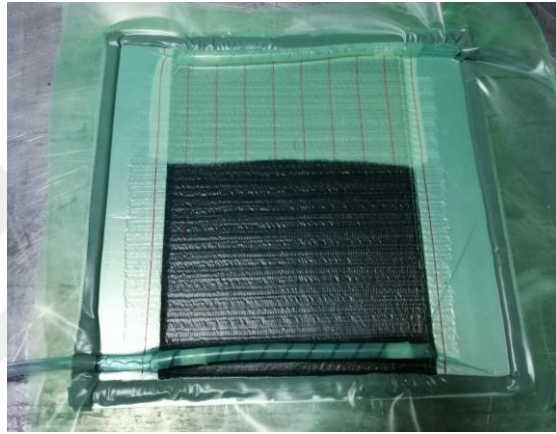
Şekil 2.5. Katmanlı yapıya spiral ve infüzyon hortumlarının yerleştirilmesi.

Hazırlanan yapıya tüm malzemeleri içine alacak şekilde kesilen 500x500 mm ebatlarında vakum naylonu hava almaması için çift taraflı bant ile özenle Şekil 2.6'deki gibi yapıştırılmıştır.



Şekil 2.6. Vakum naylonunun yapıştırılması.

Yapıştırılmadan sonra sızdırmazlık kontrolü vakum pompası çalıştırılarak yapılır ve uygunluğu test edilir. Uygunluk sağlandıktan sonra vakum hortumları sıkma kelepçeleri ayarlanır. Nanopartikül katkısı olmadan cam beher içerisine 150 gr epoksi ve 50 gr sertleştirici eklenerek bir çubukla homojen bir karışım sağlanır. Homojen karışım sağlandıktan sonra vakumlu ortamı oluşturulan karbon fiber kumaş katmanının bir ucundaki infüzyon borusunun ucuna beher yerleştirilerek vakum pompası ile epoksi karışımının homojen emilimini sağlar (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Epoksi karışımının vakum altında karbon fiber katmanında ilerlemesi.

Vakum altında karbon fiber katmanının her yerine reçine emdirildikten sonra vakum pompası kapatılır ve hava almaması için vakum hortumlarının kelepçeleri iyice sıkılarak hava alması önlenir. Daha sonra kürlenmesi için oda sıcaklığında 24 saat beklemeye bırakılır.

2.2.2. Nanopartikül Katkılı Plakaların Üretimi

2.2.2.1. SiC Nanopartikül Katkılı Plakaların Üretimi

Tablo 2.6'da verilen ağırlıkça farklı oranlarda SiC nanopartikül tozu ile numunelerin üretim yöntemi de nanopartikül katkısız numunelerde olduğu gibi aynıdır. Farklı aşamalar aşağıda anlatılacaktır. Karbon fiber katmanına uygun vakum ortamı hazırlanıp test edildikten sonra Tablo 2.6.'da verilen ölçülerle 150 gr epoksi ve ağırlıkça %1 oranındaki SiC nanopartikülü ki buda toplam ağırlık üzerinden 2 gr olarak hesaplanır Şekil

2.8' deki gibi cam bir beherde karıştırılır. Elde edilen reçine karışımı daha iyi karıştırmak için cam beher kabı ultrasonik karıştırıcı cihaza Şekil 2.9 'daki gibi yerleştirilir.

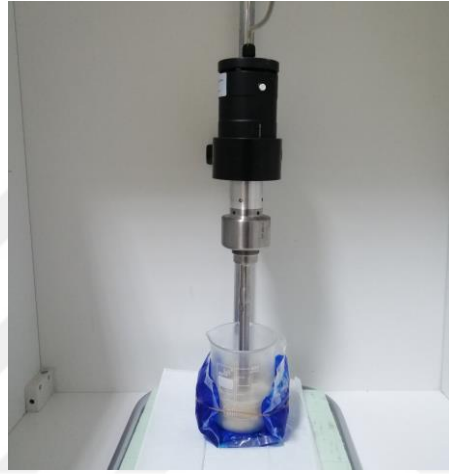


Şekil 2.8. 2 gr SiC nanopartiküllü reçinenin cam beherde karıştırılması.



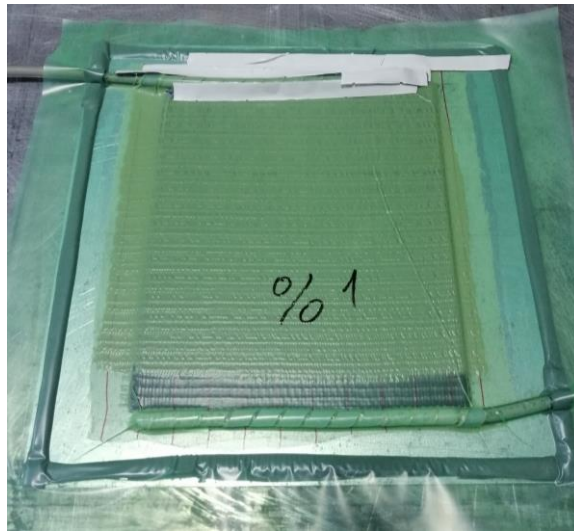
Şekil 2.9. Ultrasonik karıştırıcı ve SiC nanopartiküllü reçinenin ultrasonik karıştırıcıda karıştırılması.

Cam beher ultrasonik karıştırıcıya dikkatli bir şekilde yerleştirildikten sonra 30 dakika boyunca karışması beklenir. Bu işlem boyunca reçine sıcaklığı yükselmeye başladığından viskozitesi düşer. Reçine karışımının daha homojen olması adına cam beher tekrardan karıştırılmak üzere ultrasonik homojenizatöre yerleştirilerek 15 dakika boyunca karıştırılır. Karışım esnasında karışımın sıcaklığının kaynama noktasını geçmesini ve reçinenin kimyasal özelliğinin bozulmasını önlemek için beher çevresi soğutucu jel ile Şekil 2.10 'da ki gibi sarılır. Reçine ve nanopartikülün homojen karışımı elde edildikten sonra 50 gr sertleştirici karışıma eklenir ve bir çubukla karıştırılır.



Şekil 2.10. Ultrasonik homojenizasyon işlemi için beherin soğutucu jel ile kaplanması.

Daha sonra vakum ortamındaki fiber katman yapısına vakum pompası yardımı ile bu karışımın emilimi sağlanır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Karışımın vakum pompası yardımı ile karbon fiber katmanına tamamen emdirilmesi.

İşlem tamamlandıktan sonra vakum hortumlarının kelepçeleri sıkılır ve vakum ortamının hava alması engellenir. Hazırlanan kompozit oda sıcaklığında kurlenmesi için 24 saat bekletilir. Bölüm 2.2.2.1'deki gibi SiC Nanopartikül Katkılı Plakaların Üretimi bölümündeki tüm aşamalar ağırlıkça %0.5, %2 oranında SiC nanopartikülü için tekrarlanmıştır.

2.2.2.2. Grafen Nanopartikül Katkılı Plakaların Üretimi

Tablo 2.6'da verilen ağırlıkça farklı oranlarda grafen nanopartikül nanopartikül tozu ile numunelerin üretim yöntemi aynı SiC nanopartikül katkıli kompozit plakalar gibidir. Bütün adımlar aynı şekilde işlenmiştir. Karbon fiber katmanına uygun vakum ortamı hazırlanıp test edildikten sonra Tablo 2.6'da verilen ölçülerle 150 gr epoksi ve ağırlıkça %1 oranındaki Grafen nanopartikülü ki buda toplam ağırlık üzerinden 2 gr olarak hesaplanır Şekil 2.12' deki gibi cam bir beherde birleştirilerek karıştırılır.



Şekil 2.12. Grafen nanopartikülü ve reçinenin cam beherde karıştırılması.

Elde edilen reçine karışımı daha iyi karıştırmak için cam beher kabı ultrasonik karıştırıcı cihaza Şekil 2.13 'daki gibi yerleştirilir.



Şekil 2.13. Ultrasonik karıştırıcı ve Grafen nanopartiküllü reçinenin ultrasonik karıştırıcıda karıştırılması.

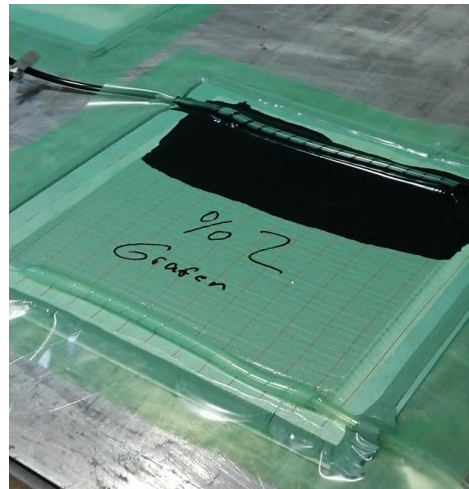
Cam beher ultrasonik karıştırıcıya dikkatli bir şekilde yerleştirildikten sonra 30 dakika boyunca karışması beklenir. Bu işlem boyunca reçine sıcaklığı yükselmeye başladığından viskozitesi düşer.

Reçine karışımının daha homojen olması adına cam beher tekrardan karıştırılmak üzere ultrasonik homojenizatöre yerleştirilerek 15 dakika boyunca karıştırılır. Karışım esnasında karışımın sıcaklığının kaynama noktasını geçmesini ve reçinenin kimyasal özelliğinin bozulmasını önlemek için beher çevresi soğutucu jel ile Şekil 2.14 'da ki gibi sarılır.



Şekil 2.14. Ultrasonik homojenizasyon işlemi için beherin soğutucu jel ile kaplanması ve grafen nanopartiküllü reçinenin karıştırılması.

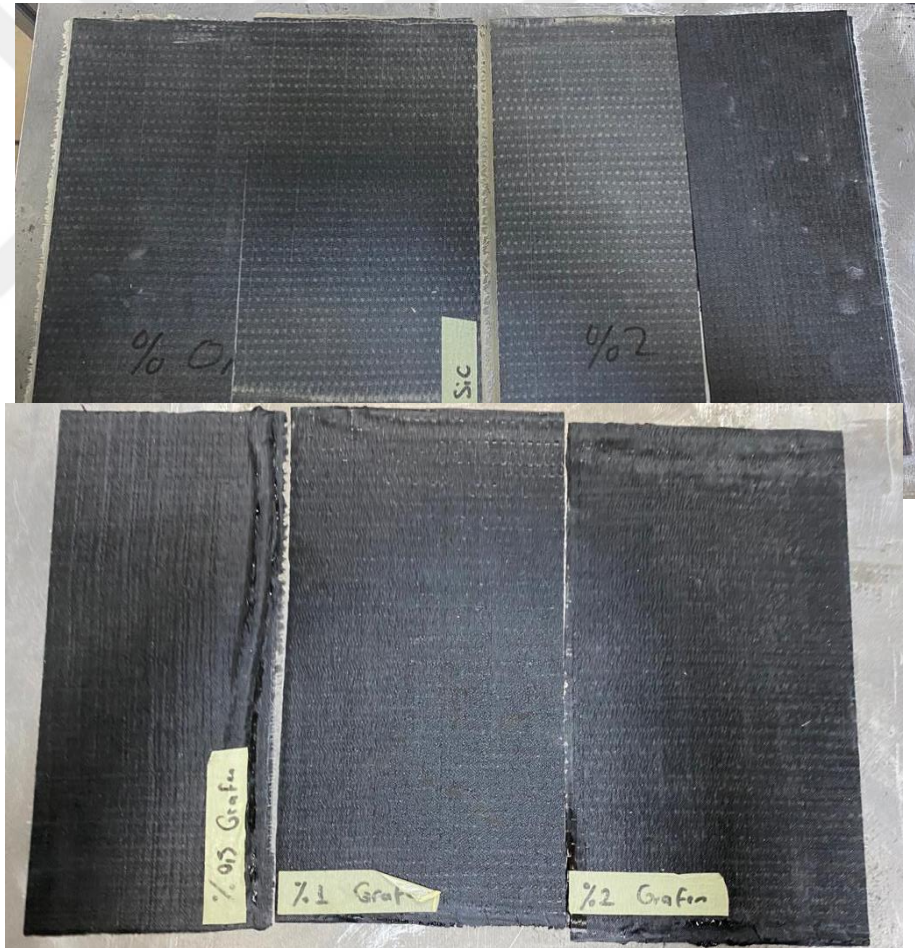
Reçine ve nanopartikülün homojen karışımı elde edildikten sonra 50 gr sertleştirici karışıma eklenir ve bir çubukla karıştırılır. Daha sonra vakum ortamındaki fiber katman yapısına vakum pompası yardımı ile bu karışımın emilimi sağlanır (Şekil 2.15).



Şekil 2.15. Karışımın vakum pompası yardımı ile karbon fiber katmanına emdirilmesi.

İşlem tamamlandıktan sonra vakum hortumlarının kelepçeleri sıkılır ve vakum ortamının hava alması engellenir. Hazırlanan kompozit oda sıcaklığında kürlenmesi için 24 saat bekletilir. Bölüm 2.2.2.2’de Grafen Nanopartikül Katkılı Plakaların Üretimi bölümündeki tüm aşamalar ağırlıkça %0.5, %2 oranında grafen nanopartikülü için tekrarlanmıştır.

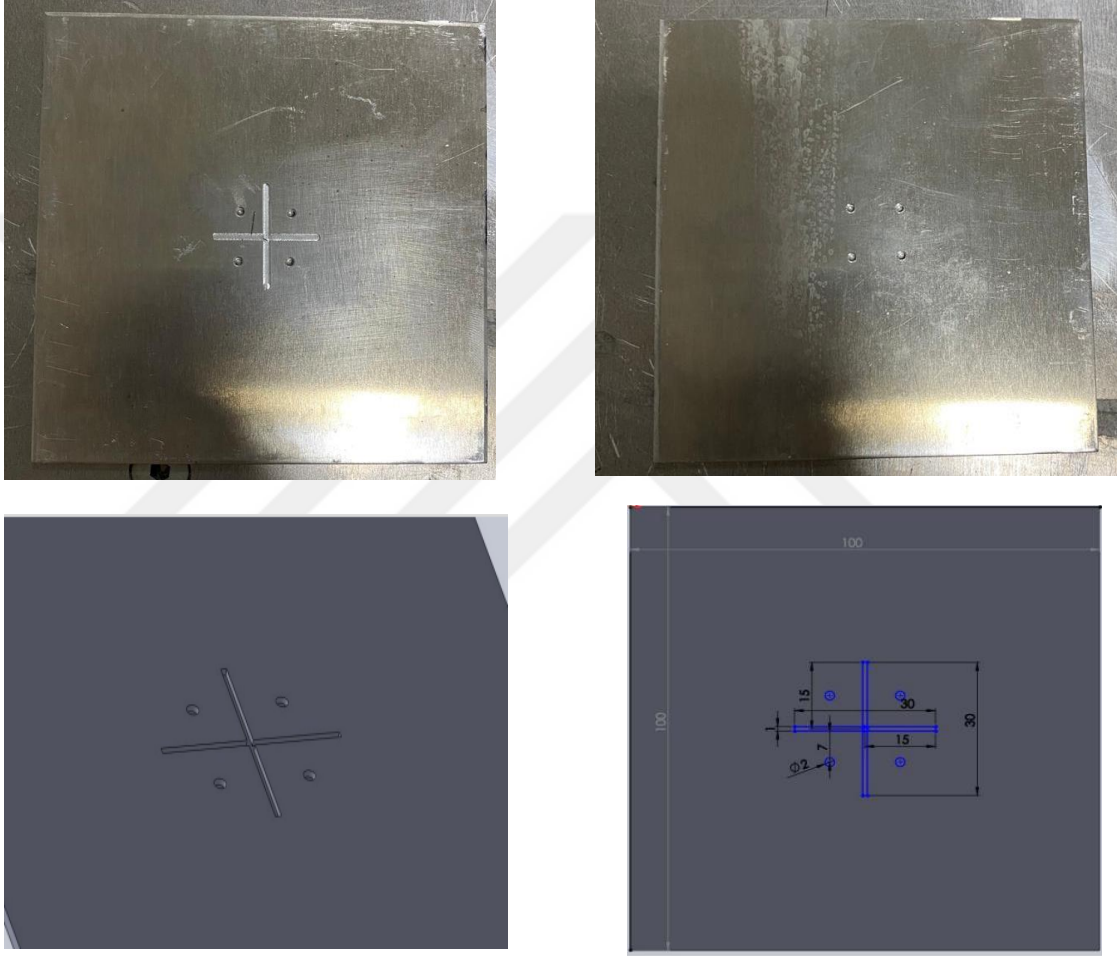
24 saat kürlenmeden sonra sırayla vakum naylonu, spiral hortum ve ayırıcı kumaş yavaş yavaş çıkarılır. Daha sonra kompozit ve sac plaka birbirinden ayrılmıştır. Farklı ağırlık oranlarında üretilen kompozit plakaların son halleri Şekil 2.16’deki gibidir.



Şekil 2.16. Farklı ağırlık oranlarında üretilen kompozit plakalar.

2.3. Alüminyum Levhaların Hazırlanması

Üretimi yapılan kompozit yamalarla tamir işlemi yapılmak üzere 2024 T3 Alüminyum malzemesini 100x100 mm boyutlarında ebatlanıp kesilerek daha sonrasında tam ortasından çentik açılmıştır. Çentikler pantografik tezgahda özel bir uçla (+) şeklinde açılmıştır (Şekil 2.17).



Şekil 2.17. + şeklinde çentik açılmış Al plakaların önden ve arkadan görünüşü.

Herhangi bir freze tezgahında bu işlem Al plakanın yumuşak bir malzeme olduğu için talaş kaldırma sırasında istenilen seviye verimli çentik işlemi yapılamadığından, 2'nci Ana Bakım Fabrika Müdürlüğü'ndeki özel kesici uç tasarımına sahip pantograf tezgahı ile 1 mm genişliğinde ve 1 mm derinliğinde olacak şekilde çentikler Şekil 2.17'deki gibi açılmıştır. Her bir deney için yaklaşık 28 adet çentikli Al plaka hazırlanmıştır.

2.4. Nanokompozit Plakaların Yama İşlemi İçin Hazırlanması

Üretimi yapılmış nanokompozit plakaların her biri 3x3 cm kareler halinde ayarlanarak Şekil 2.18'deki yüksek hızlı testere ile kesilmiştir.



Şekil 2.18. Yüksek hızlı testerede kompozit plakaların kesimi.

Kesilen her bir numune ayrı ayrı kaplara Şekil 2.19'deki gibi yerleştirilmiştir.

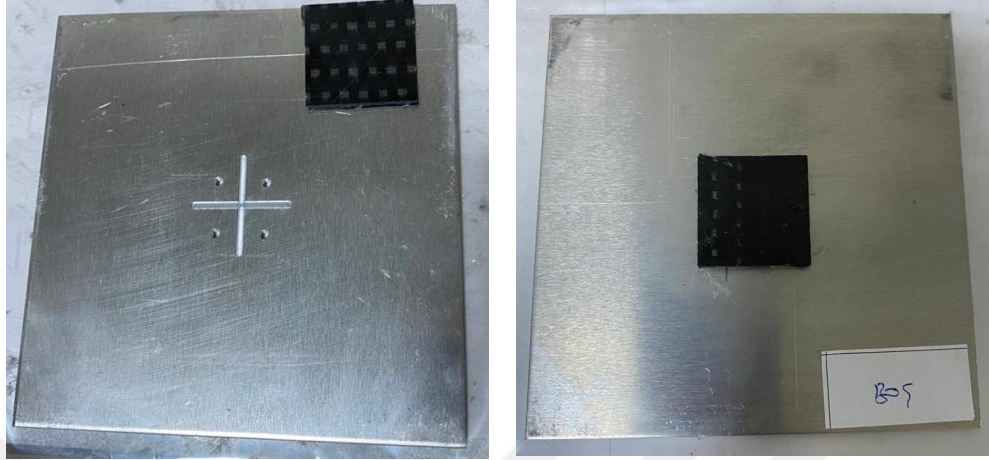


Şekil 2.19. 3x3x1 boyutundaki farklı ağırlık oranındaki kompozit numuneler.

2.5. Alüminyum Levhaların Nanokompozit Yama ile Tamir Edilme İşlemi

Şekil 2.19'deki her bir numune Şekil 2.17'deki Al levhalara 4'er adet olacak şekilde numune test için ayarlanmıştır. Çentikli Al levhalar yama ile tamirinden önce iyi bir yapıştırma ortamı oluşturmak için yüzeyi aseton ile temizlenir. Daha sonra çentikleri tam kapatacak şekilde kompozit numuneler özel mühendislik yapıştırıcısı olan Araldite 2015-

1 ile elyaf yönleri $0/90^\circ$ olacak şekilde 2'şer adet $3 \times 3 \times 1$ 'lik kompozit yamalarla Şekil 2.20'deki gibi yapıştırılır.



Şekil 2.20. Çentikli Al plakaların kompozit yamalarla tamir işleminin yapılması.

Farklı ağırlık oranındaki her bir kompozit yama numunesi ile çentikli Al levhalarının tamiri sırayla yapılmıştır. Her bir ağırlık oranındaki numune için 4 adet, toplamda 28 adet test numunesi hazırlanmıştır. Yapıştırılma işlemi yapıldıktan sonra kompozit yama tabakalarının aralarında hava kabarcığı kalmadan kaliteli bir şekilde yapışması için her bir numune üzerine ağırlık yerleştirilmiştir (Şekil 2.21). Fakat ağırlık yerleştirilirken yama tabakalarının kaymamasına ve yapının bozulmamasına dikkat edilmelidir.



Şekil 2.21. Hazırlanan numunelerin üzerine ağırlık yerleştirilmesi.

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Düşük Hızlı Darbe Deneyleri

Düşük hızlı darbe deneyleri Erciyes Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarlarında bulunan ağırlık düşürme darbe cihazı ile yapılmıştır. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de sırasıyla ağırlık düşürme darbe cihazının bölümleri ve numune yerleştirme kısmı gösterilmiştir. Cihaz darbe enerjilerini, darbe başlangıcından sonuna kadar kaydetmektedir. Enerji iletim özelliği geniş aralıklardadır. Bu cihazdaki sistemde farklı geometriye sahip vurucu uçlar kullanılabilir. 0.8-25 m/s aralığındaki hızlarda film ve plakalara delme, İzod ve Charpy deneyleri yapılabilir. Cihaz; bağlama aparatını, çelik rayları ve darbe kütlelerini üzerinde tutan alt tabla, çelik ray-darbe ucu kütle bağlantısı, numune bağlama aparatı grubu ve elektronik kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Darbe ucu kütlelerinin istenilen yükseklikten salınabilmesi için palanga sistemi ve tutulmasını sağlayan mekanik kanca mevcuttur. Sistem üzerindeki kol kaldırıldığında darbe kütleleri serbest şekilde düşmektedir. Çelik rayda düşey olarak hareket eder. Tablaya bağlı numuneye istenilen enerjideki darbeler uygulanır. Her bir enerji seviyesi için hazırlanan numuneler sırasıyla düşük hızlı darbe deneyine maruz bırakılır.



Şekil 3.1. Ağırlık Düşürme Darbe Cihazı.



Şekil 3.2. Ağırlık Düşürme Darbe Cihazının numune yerleştirme kısmı.

Kompozit yamalarla onarılmış Al plakalar her bir test için tek tek vurucunun ucundaki bölme yerleştirilir. Ardından belirlenen her bir enerji için vurucu ayarları yapılır. Yapılan test için 50 J, 100 J ve 150 J olmak üzere 3 farklı enerjide, Tablo 2.6.'daki her bir numune ile onarılmış Al plakalara sırasıyla darbeler uygulanıldı. Vurucu ucu 10 kg kullanılan cihazda, her bir enerji seviyesi için gerekli hızlar hesaplanarak darbe testleri yapıldı. Hesaplanan hızlar Tablo 3.1'deki gibidir.

Tablo 3.1. Uygulanan her bir enerji için cihazdaki hız miktarları.

Enerjiler ve Hızlar	
E=50 J	$V_1 = 3,12 \text{ m/s}$
E=100 J	$V_2 = 4,41 \text{ m/s}$
E=150 J	$V_3 = 5,4 \text{ m/s}$

3.2. Temas Kuvveti Değişimlerinin İncelenmesi

Çentikli Al levhaların onarımı sonrası yapılan darbe testleri sonucu, her bir parametre için darbe enerjisinin, darbe davranışına etkisi incelenmiştir. Şekil 3.3'de bulunan her bir grafik sırasıyla irdelenmiştir.

1. E: 50 J için;

İlk grafiğe bakıldığında; çentikli-boş (AL), çentikli-karbon fiber yama (ALCF), çentikli-karbon fiber yama-%0,5 Grafen (ALCFG05), çentikli-karbon fiber yama-%0,5 SiC (ALCFS05)'nin zamana bağlı temas kuvvet değişimi görülmektedir. Burada en iyi temas kuvveti değerini, yaklaşık 4-5 ms arasında 10 kN civarında çentikli-karbon fiber yama-%0,5 Grafen (ALCFG05) yama yapısında görülmüştür. İkinci grafikte en iyi temas kuvveti değeri, yaklaşık 2-4 ms arasında 14 kN civarında çentikli-karbon fiber yama-%1 Grafen (ALCFG1) yama yapısında görülmüştür. Fakat tüm yapılarda dengesiz sonuçlar ve süreksizlik mevcuttur. Üçüncü grafikte en iyi temas kuvveti değeri yaklaşık 4-5 ms arasında 10 kN civarında çentikli-karbon fiber yama-%2 SiC (ALCFS2) gözlenmektedir.

Fakat çentikli-karbon fiber yama-%2 Grafen (ALCFS2)'de bu değere çok yakın değerler görülmektedir.

2. E: 100 J için;

İlk grafiğe bakıldığında, en iyi temas kuvveti değeri yaklaşık 3-4 ms arasında yaklaşık 14 kN civarında çentikli-karbon fiber yama (ALCF) ve çentikli-karbon fiber yama-%0,5 Grafen (ALCFG05)'de görülmüştür. Çentikli-karbon fiber yama -%0,5 SiC (ALCFS05) 2-3 ms arasında 12 kN civarında kalmıştır. İkinci grafikte, en iyi temas kuvveti değeri yaklaşık 2-4 ms arasında 13-14 kN civarında gözlemlenmiştir. 3-4 ms arasında en pik noktayı çentikli-karbon fiber (ALCF) yama yapısında gözlenmiştir. %1 Grafen partikül katkılı (ALCFG1) yama yapısının %1 SiC partikül katkısına (ALCFS1) oranla daha verimli değerlerin elde edildiği gözlenmiştir. Üçüncü grafikte en iyi temas kuvveti değeri yaklaşık 4 ms'de 15 kN civarında çentikli-karbon fiber yama-%2 Grafen (ALCFS2) katkılı yama yapısında görülmüştür. 2-3 ms arası çentikli-karbon fiber (ALCF) yama yapısında ve çentikli-karbon fiber -%2 Grafen (ALCFG2) yama yapısında aynı oranda değerler gözlemlenmiştir. 4 ms'den sonra çentikli-karbon fiber (ALCF) yama yapısındaki temas kuvveti değerlerinde düşüşler yaşanmıştır.

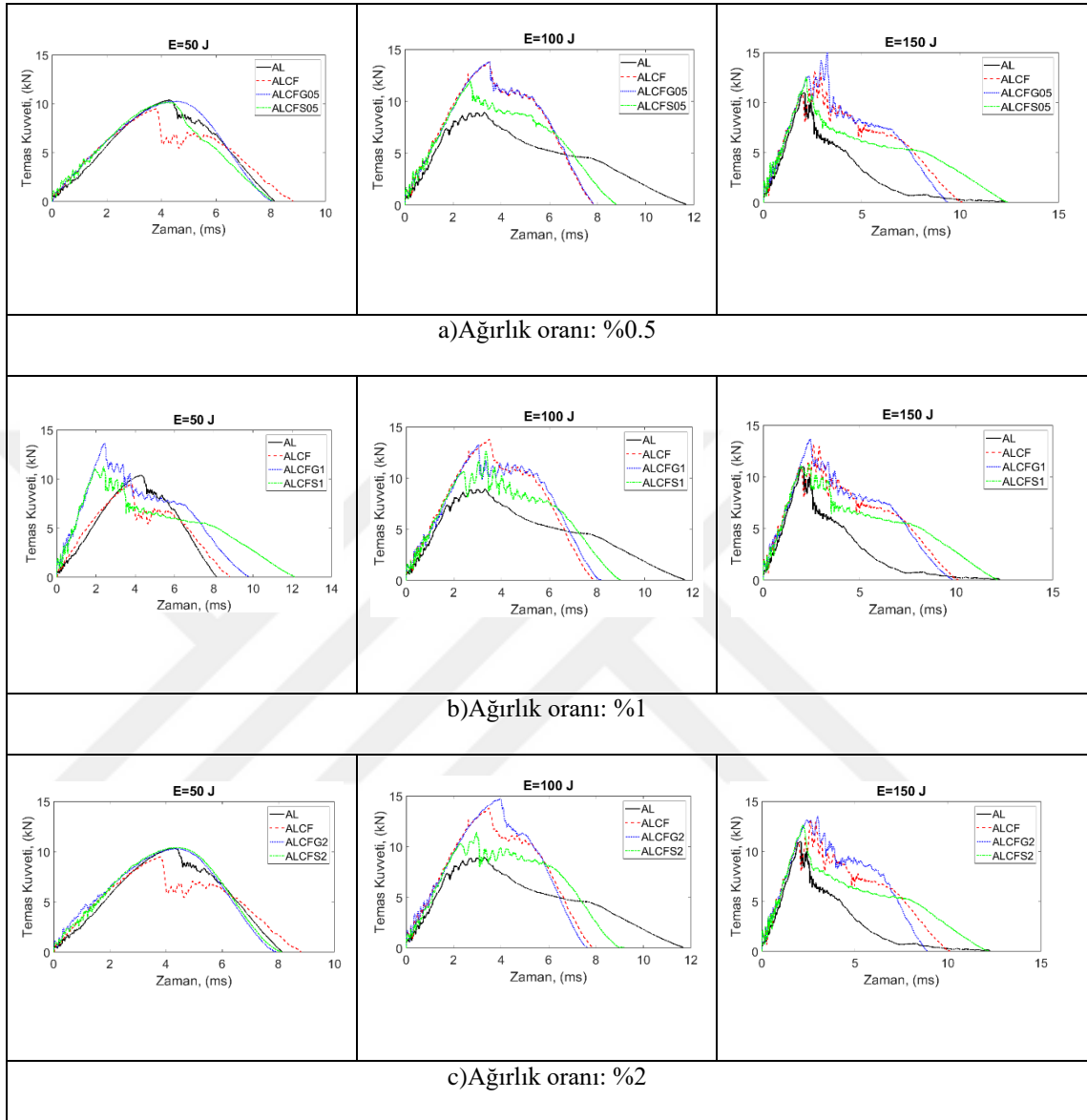
3. E: 150 J için;

İlk grafikte, en iyi temas kuvveti değeri yaklaşık 0-5 ms arasında 15 kN'de çentikli-karbon fiber yama-%0,5 Grafen (ALCFG05) yama yapısında gözlenmiştir. Fakat bütün yamadaki değerlerin sürekli olmadığı ve dengesiz olduğu görülmektedir. İkinci grafikte en iyi temas kuvveti değeri yaklaşık 2 ms'de 14 kN civarında %1 oranında grafen partikül katkılı yamada görülmektedir. Üçüncü grafikte ise %2 partikül oranı artışı ve enerji seviyesinin artmasıyla, temas kuvveti süresinin azaldığı gözlemlenmiştir.

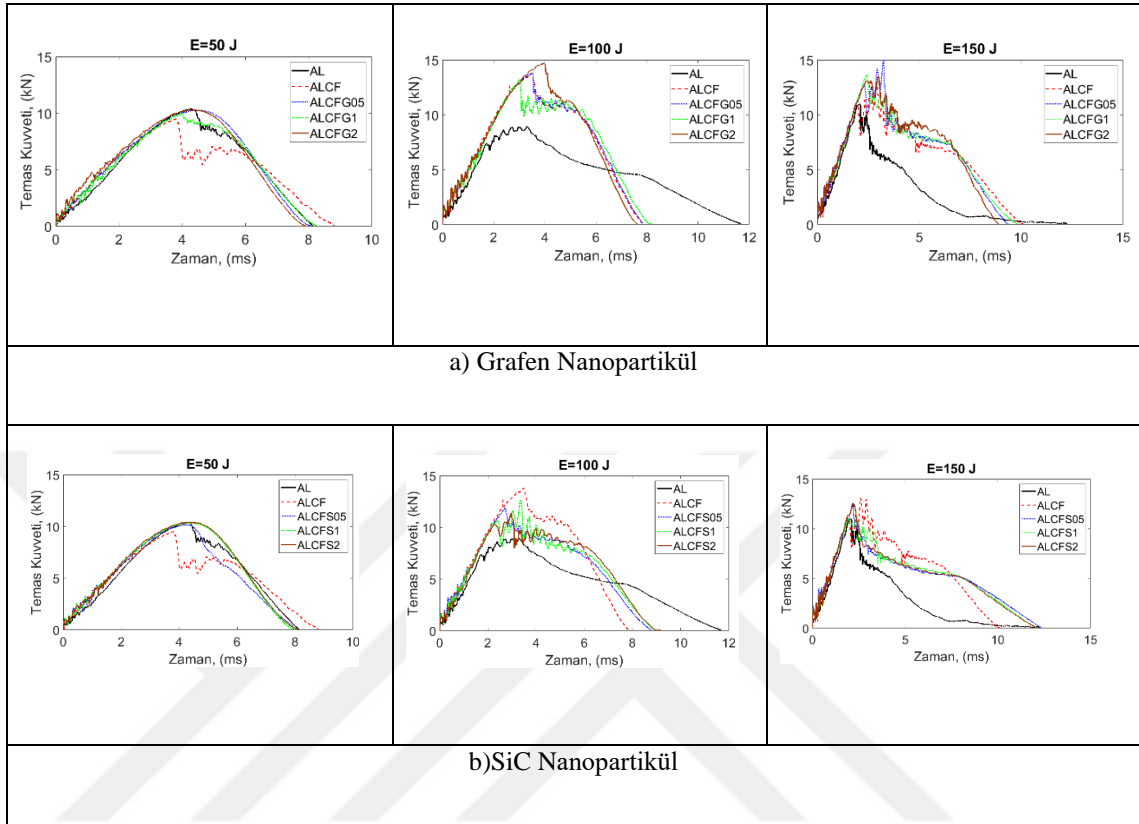
Genel olarak Şekil 3.4'de Grafen nanopartiküllü yamaların, ağırlık oranının enerji değişimi ile numunelerin temas kuvvet yükünün artışı arasındaki değişime bakıldığında, en verimli ve sürekli sonuçlar %1 oranında partikül katkısının olduğu durumlarda ve 100 J enerji seviyesinde gözlenmiştir. Çentikli-Karbon fiber yamalı numunelerde enerji seviyesi arttıkça, temas kuvvetinin şiddetide artmış fakat bu artışın çok dengesiz olduğu görülmektedir. SiC nanopartikülü yamalardaki ağırlık oranının, enerji değişimi ile temas kuvvet yükünün artışı arasındaki değişime bakıldığında ise en iyi sonuçlar %1 oranında

partikül katkısının olduğu durumlarda gözlenmiştir. Fakat grafen ile karşılaştırıldığında SiC nanopartikülünün etkisinin daha az olduğu görülmektedir. Bu durumunda, grafen ana yapısının karbon atomlarından meydana gelmesi ve yama yapılarının fiber malzemesinin karbon fiber olmasından dolayı atomik bağların daha iyi olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Sonuç olarak enerji seviyesi arttıkça temas kuvvet şiddeti artmakta fakat temas süresinin azaldığı ve süreksiz olduğu görülmüştür. Kompozit üretiminde reçineye katılan grafen ve SiC nanopartiküllerinin belirli seviyede malzeme tokluğu ve mukavemetini artırdığı gözlenmiştir. Elyaf-matris malzemesi arasındaki bağlantı yüzeylerinin iyileştirildiği gözlenmiştir.





Şekil 3.3. Nanopartikül takviyeli yamalar ile tamir edilmiş çentikli metal plakaların 50, 100 ve 150 J darbe enerjileri altında ağırlıkça nanopartikül oranına göre a) %0.5, b) %1 ve c) 2 için temas kuvveti değişimleri.

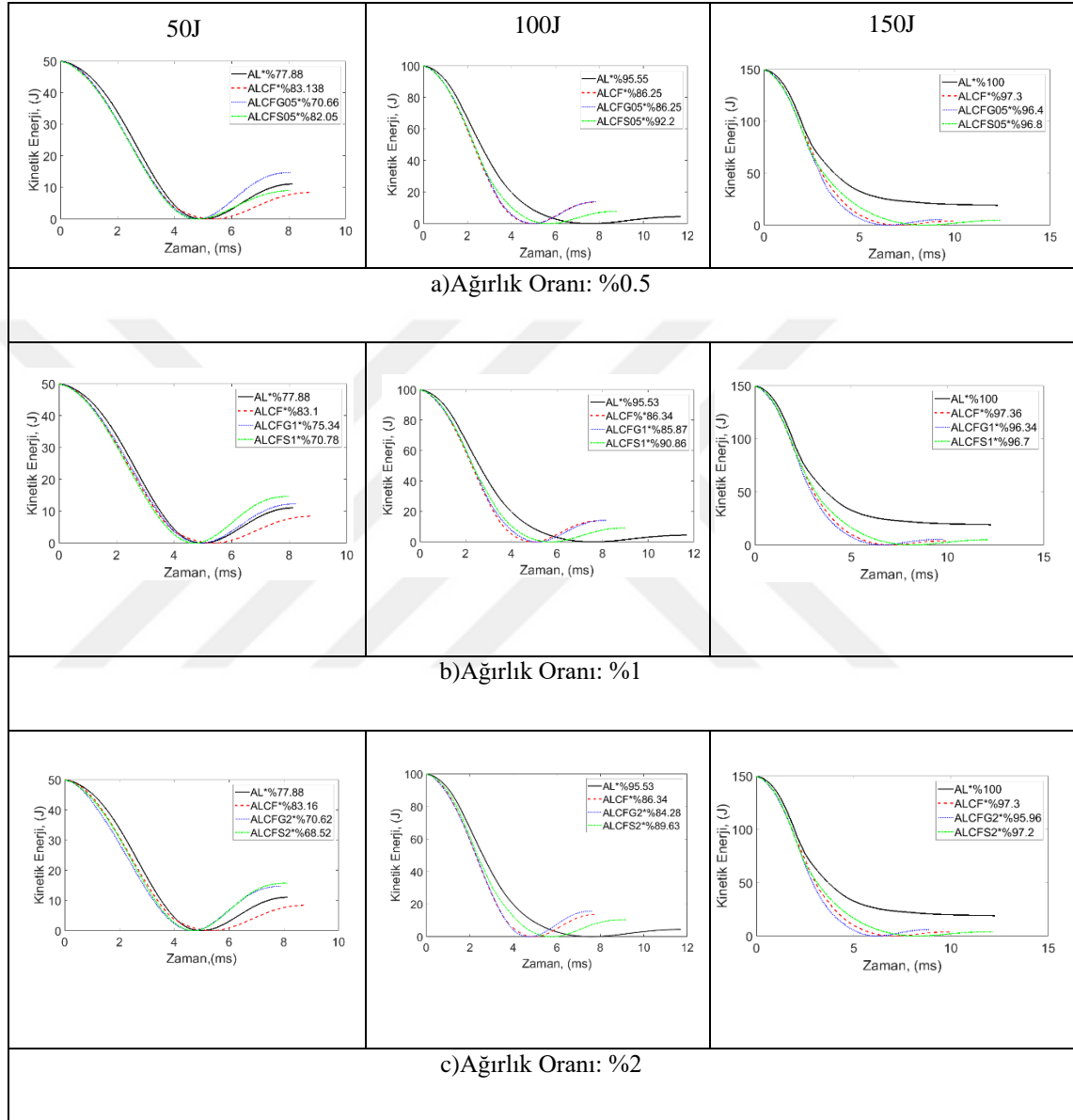


Şekil 3.4. Nanopartikül takviyeli yamalar ile tamir edilmiş çentikli metal plakaların 50, 100 ve 150 J darbe enerjileri altında nanopartikül tipine göre a) Grafen ve b) SiC için temas kuvveti değişimleri.

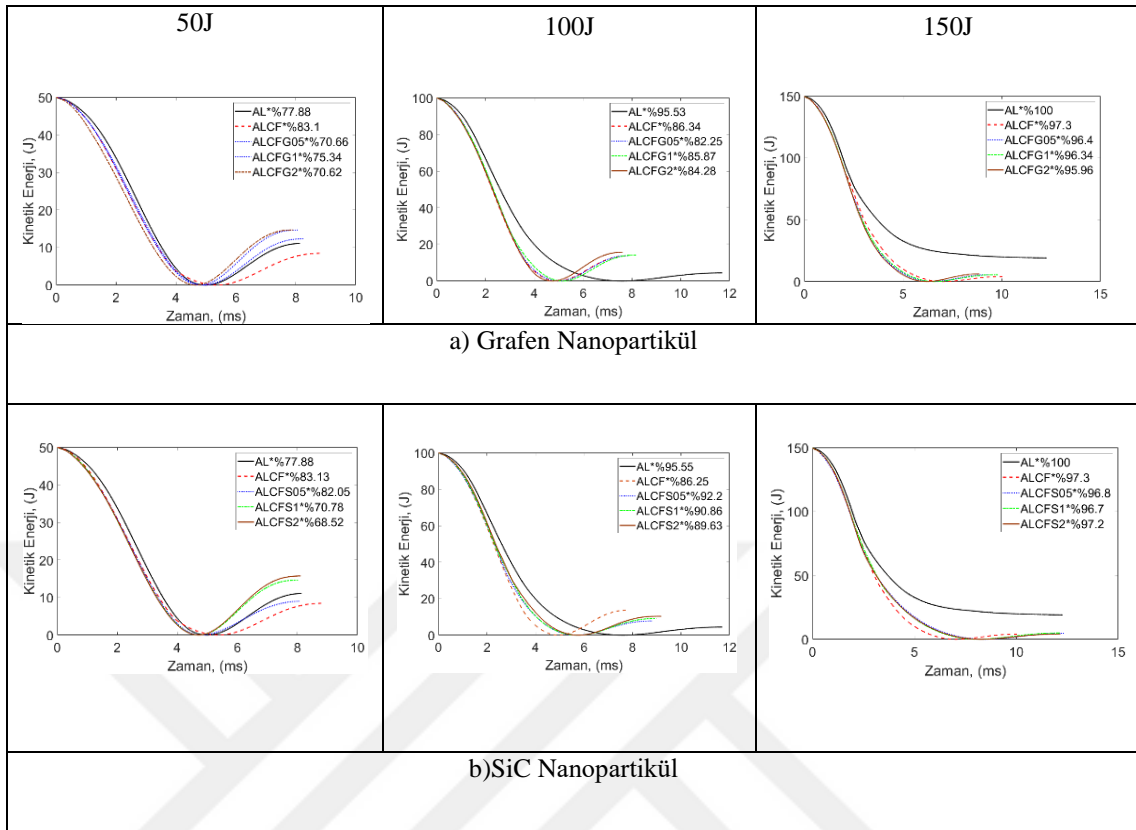
3.3. Kinetik Enerji Değişimlerinin İncelenmesi

50 J, 100 J ve 150 J enerji seviyesi sonrası kinetik enerji değişimlerinin zamana bağlı değişimleri Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da görülmektedir. Darbe testi sonrasında numunelerde meydana gelen darbe sönümlenmesi malzeme özelliğinin iyileştirilmesi açısından önemlidir. Yamasız Al plakalar incelendiğinde delinmeler olduğu gözlenmiştir. Grafen nanopartikülü ağırlık oranının artışıyla kinetik enerji değişiminde artış olmuştur fakat %2 partikül katkıli yamada düşüş yaşanmıştır. SiC nanopartikülüne bakıldığında % ağırlık oranı arttıkça kinetik enerji seviyesi azalmıştır. Genel olarak nanopartikül katkısı ile enerji sönümlenmelerine bakıldığında grafen katkısında çok iyi enerji sönümlenmesi elde edilmiştir. SiC partikülü katkıli yamalar içinde aynı durumdan bahsedebiliriz. Fakat grafen ile kıyaslandığında SiC nanopartikülünün darbe enerjisi sönümleme özelliğinin çok daha iyi olduğu söylenebilir. Kompozit üretiminde reçineye katılan grafen ve SiC

nanopartiküllerinin belirli enerji seviyelerinde malzeme tokluğu ve mukavemetini artırdığı gözlenmiştir. Darbe enerjisi arttıkça, yamaların enerji absorbe kalitesinin arttığı gözlenmiştir.



Şekil 3.5. Nanopartikül takviyeli yamalar ile tamir edilmiş çentikli metal plakaların 50, 100 ve 150 J darbe enerjileri altında a) %0.5, b) %1 ve c) %2 için kinetik enerji değişimleri.



Şekil 3.6. Nanopartikül takviyeli yamalar ile tamir edilmiş çentikli metal plakaların 50, 100 ve 150 J darbe enerjileri altında nanopartikül tipine göre a) Grafen ve b) SiC için kinetik enerji değişimleri.

3.4. Test Sonrası Deformasyon ve Yama Yapısının İncelenmesi

Yamasız (AL), nanopartikül katkısız (ALCF), ağırlıkça farklı oranlarda SiC ve Grafen nanopartikül katkılı karbon fiberli kompozit yamalarla onarılan çentikli Al plakalara, 50 J, 100 J ve 150 J enerji seviyeleri altındaki düşük hızlı darbe testleri uygulanmıştır. Bu testler sonrasında yama bağlantılarındaki hasar yapılarının önden ve arkadan görünüşleri Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da görülmektedir. Yamasız çentikli Al plakalarda; 50 J enerji seviyesinde uygulanan düşük hızlı darbe sonucunda delinme veya yırtılma olmazken, 100 J enerji seviyesinde çatlak ve yırtılma olmuştur, 150 J enerji seviyesinde ise Al plakada delinme görülmektedir.

Karbon fiberli yamalı - çentikli Al plakalarda (ALCF); 50 J enerji seviyesinde darbe sonrasında yama bağlantısında hasar görülmemiştir. 100 J enerji seviyesinde ilk katmandaki kompozit yapıda kırılma ve diğer kompozit katmandan ayrılma

gözlemlenmiştir. 150 J enerji seviyesinde çentikli Al plakada yırtılmalar meydana gelmiştir.

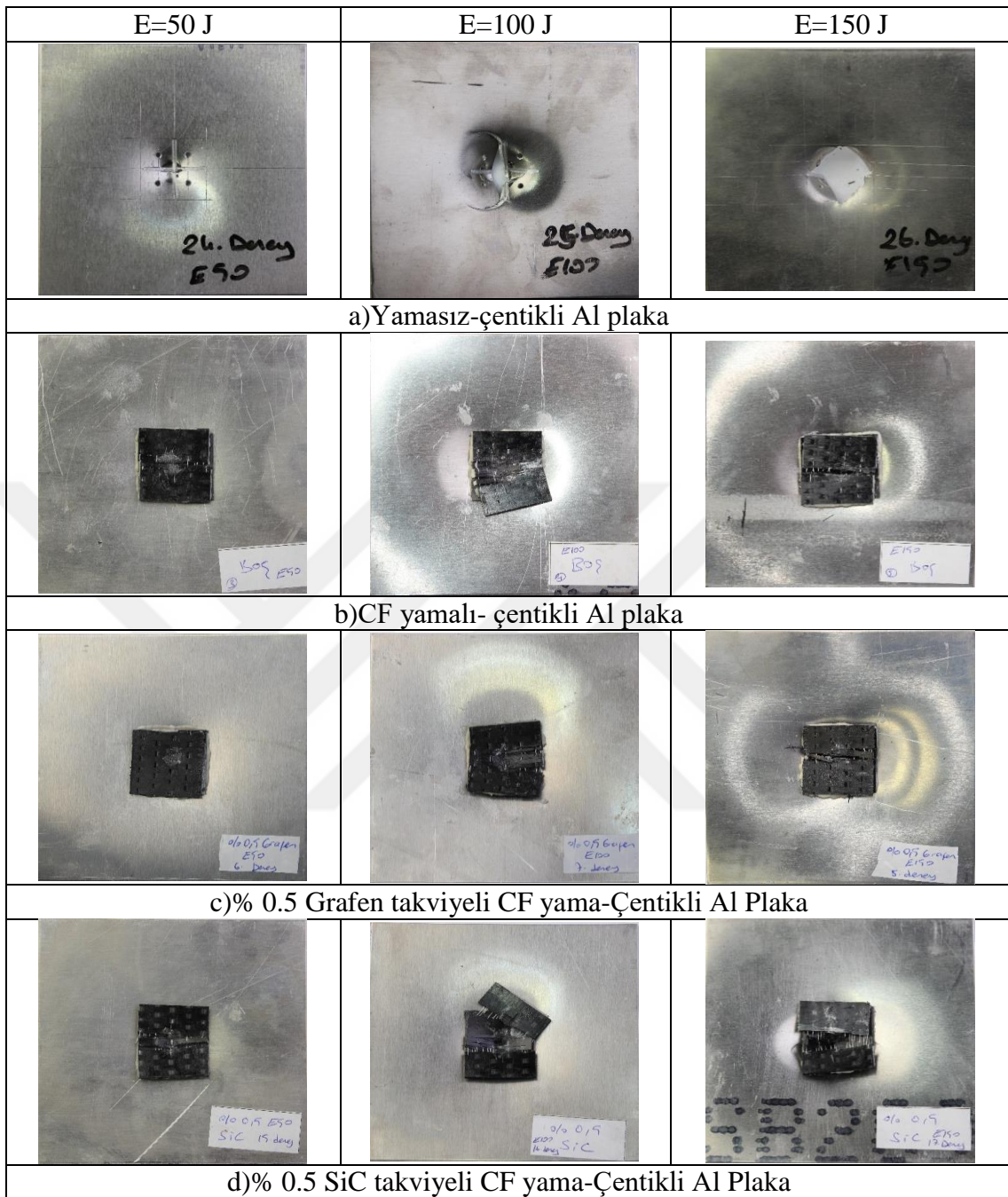
% 0.5 Grafen takviyeli CF yamalı-Çentikli Al plakada (ALCFG05) 50 J enerji seviyesinde darbe sonrasında yama bağlantısında hasar meydana gelmemiştir. 100 J enerji seviyesinde ilk katmandaki kompozit yamadaki liflerde ezilme ve ayrılma olurken, Al plakada çatlak meydana gelmiştir. 150 J enerji seviyesinde kompozit yamanın ilk katmanında ezilme ve liflerde kopma olurken, çentikli Al plakada çatlaklar ve ufak çaplı yırtılma gözlemlenmiştir.

% 0.5 SiC takviyeli CF yamalı-Çentikli Al plakada (ALCFS05) ise %0.5 Grafen (ALCFG05) takviyesine göre darbeyi daha az absorbe ederek Al plakada 150 J enerji seviyesindeki yırtılma oranı daha fazladır.

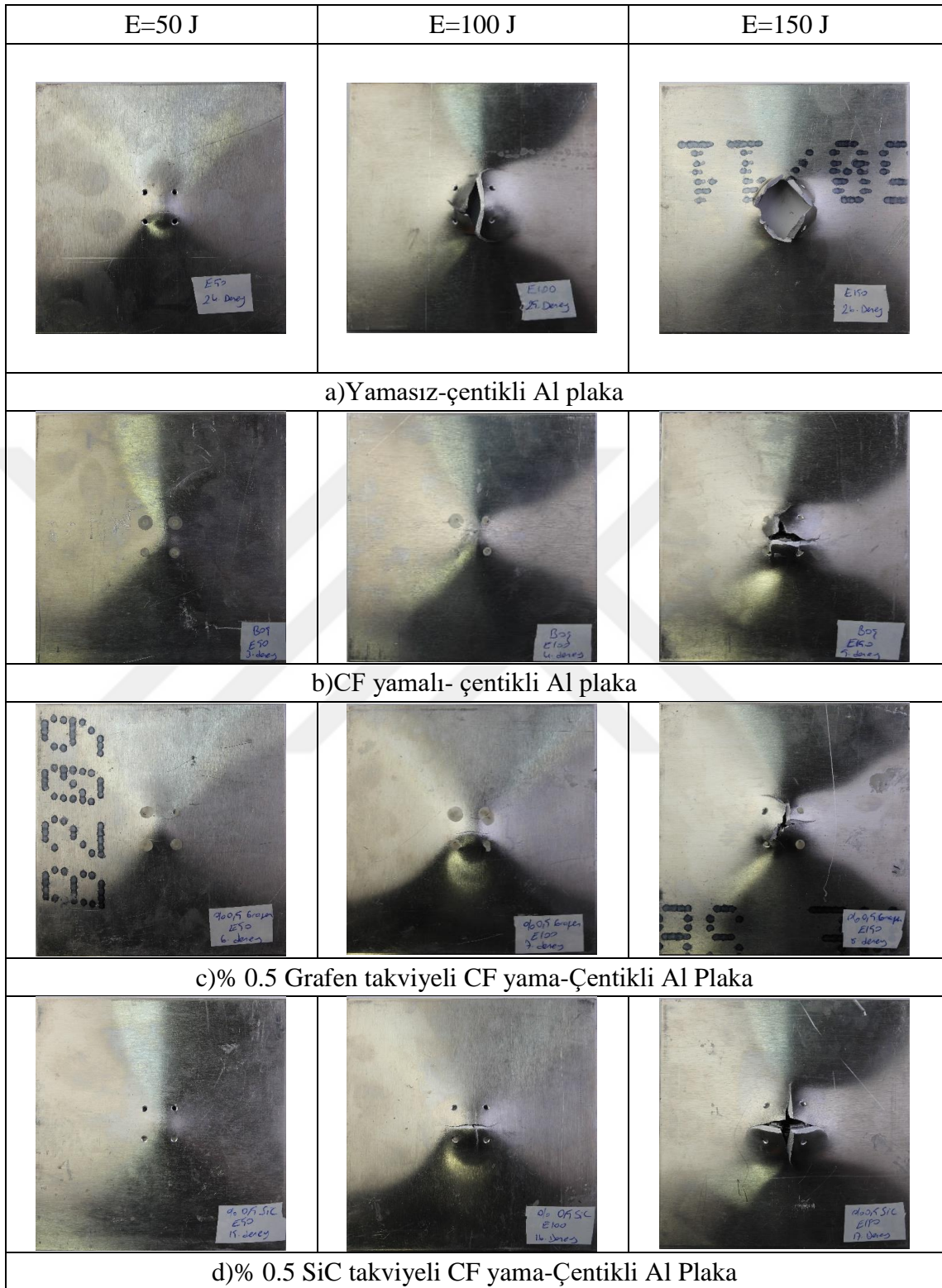
% 1 Grafen CF takviyeli yamalı – Çentikli Al plakada (ALCFG1); her bir enerji seviyesinde kompozit yama darbe enerjisini absorbe ederek 100 J’de ufak boyutta çatlak ve 150 J’de çentik boyutunda yırtılma meydana gelmiştir. % 1 SiC CF takviyeli yamalı – Çentikli Al plakalarda (ALCFS1); üst katmandaki kompozit yama bağlantısında ve liflerde kopmalar yaşanırken enerji absorbesi, %1’lik Grafen yamaya oranla daha az olduğu görülmüştür.

% 2 Grafen CF takviyeli yamalı – Çentikli Al (ALCFG2) yapısı, 150 J’de ilk katmanındaki liflerde kopma ve Al plakada çatlak meydana gelmiştir. % 2 SiC CF takviyeli yamalı – Çentikli Al(ALCFS2) yapısı; 100 J ve 150 J’de ilk katmanındaki liflerde kopma olmuştur. Al plakada 100 J’de çatlak oluşmuş ve 150 J’de darbe sönümlemesinin azalmasıyla yırtılma meydana gelmiştir.

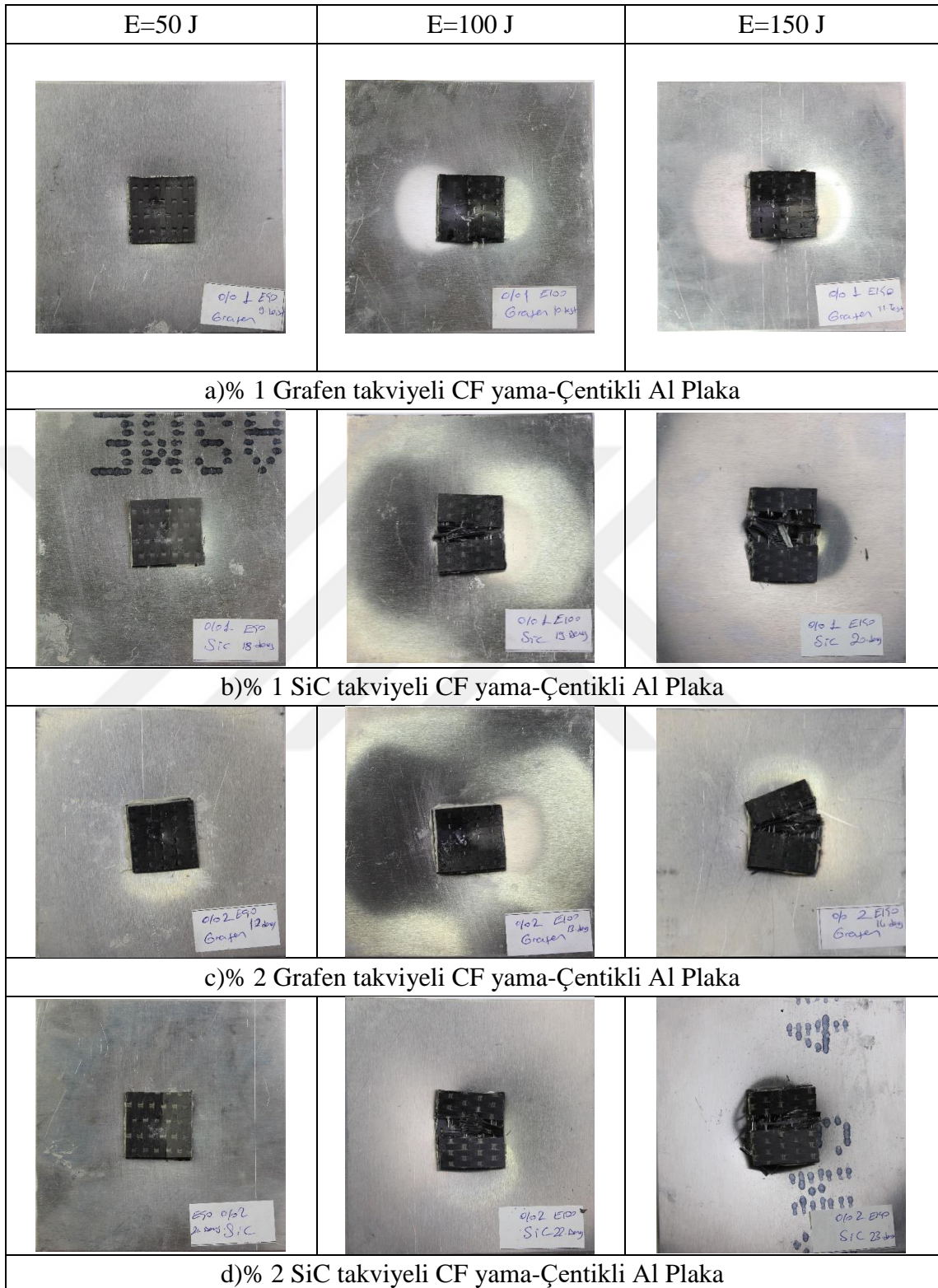
Her bir enerji seviyesi için; yapılan düşük hızlı darbe testleri sonucunda karbon fiberli nanopartikül katkılı kompozit yamaların hasar geometrileri, temas kuvveti-zaman grafikleri ve kinetik enerji-zaman grafikleri beraber incelenmiştir. Nanopartikül türü ve ağırlık oranının artışıyla yama yapısının iyi oranda enerji absorbe ettiği gözlenmiştir. Yama yapısının, Al plakalardaki delinmeyi ve deformasyonu yüksek oranda önlemekle beraber hasar yapısı daha düzgündür. Ağırlık oranı arttıkça enerji absorbe etme kabiliyeti artarken, darbe karşısındaki şekil değişimi ve hasar tepkisi minimum düzeyde olmaktadır.



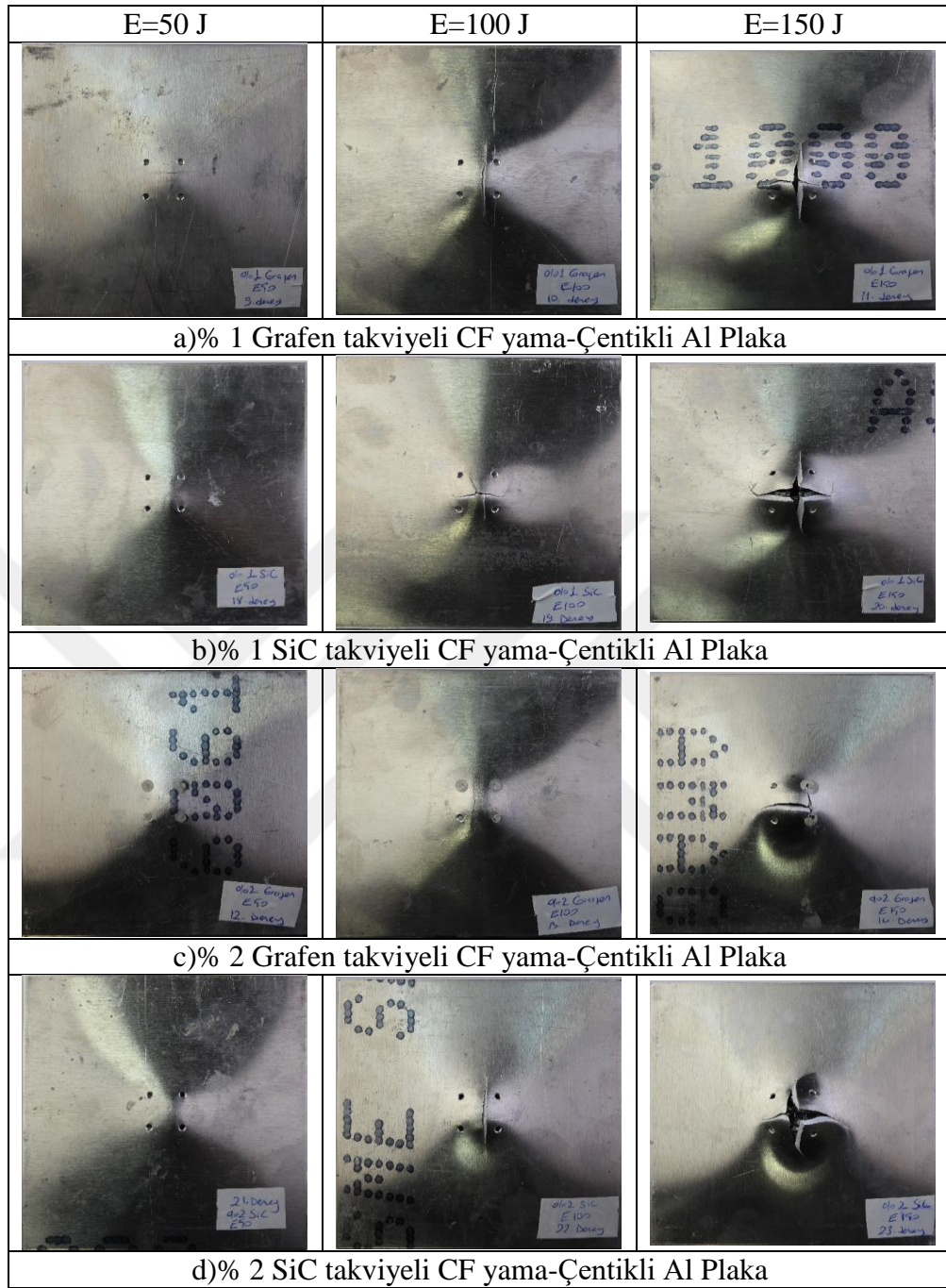
Şekil 3.7. 50,100 ve 150 J darbe enerjileri altında a) Yamasız-çentikli Al plaka, b) CF yamalı-çentikli Al plaka, c) %0.5 Grafen takviyeli CF yama-Çentikli Al Plaka ve d) %0.5 SiC takviyeli CF yama-Çentikli Al Plaka için darbe sonrası ön yüzey görüntüleri.



Şekil 3.8. 50,100 ve 150 J darbe enerjileri altında a) Yamasız-çentikli Al plaka, b) CF yamalı-çentikli Al plaka, c) %0.5 Grafen takviyeli CF yama-Çentikli Al Plaka ve d) %0.5 SiC takviyeli CF yama-Çentikli Al Plaka için darbe sonrası arka yüzey görüntüleri.



Şekil 3.9. 50,100 ve 150 J darbe enerjileri altında a) %1 Grafen takviyeli CF yama-Çentikli Al Plaka, b)%1 SiC takviyeli CF yama-Çentikli Al Plaka, c) %2 Grafen takviyeli CF yama-Çentikli Al Plaka ve d) %2 SiC takviyeli CF yama-Çentikli Al Plaka için darbe sonrası ön yüzey görüntüleri.



Şekil 3.10. 50,100 ve 150 J darbe enerjileri altında a) %1 Grafen takviyeli CF yama-Çentikli Al Plaka, b)%1 SiC takviyeli CF yama-Çentikli Al Plaka, c) %2 Grafen takviyeli CF yama-Çentikli Al Plaka ve d) %2 SiC takviyeli CF yama-Çentikli Al Plaka için darbe sonrası arka yüzey görüntüleri.

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada nanopartikül katkılı polimer matrisli kompozitlerle tamir edilen çentikli alüminyum plakaların düşük hızlı darbe davranışları üzerine katkı tipi ve oranının etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Katkısız, Silisyum karbür (SiC) ve Grafen nanopartikül malzemeler epoksi reçineye ağırlıkça %0.5, %1 ve %2 oranlarında ilave edilerek kompozit yama numuneleri üretilmiştir. Numuneler çentikli Al plakalara 3x3 cm boyutunda, $[0^0/90^0]$ fiber yönü verilerek mühendislik yapıştırıcısıyla onarım işlemi yapılmıştır. Düşük hızlı darbe testlerinde her bir enerji seviyesi ve partikül tipi ve ağırlık oranı testleri için toplamda 40 adet test numunesi yapılmıştır. Yama yapılmış plakalara düşük hızlı darbe testi uygulanmıştır. 50 J, 100 J ve 150 J enerji seviyeleri altında numunelerin malzeme davranışları incelenmiştir. Darbe testi sonrasında kuvvet-zaman ve kinetik enerji-zaman grafikleri, yama yapısının hasar görüntüleri irdelenmiştir.

Yama kompozit türlerine bakıldığında en iyi sonucu 100 J enerji için %0.5 ve %1 oranlarında nano grafen partikül katkılı yamalarda gözlenmiştir. Yama yapısı enerjiyi absorbe ederek kompozit yapıda bozulma neredeyse olmamıştır. Fakat 150 J'luk enerji için darbe sonrası Al çentikli levhalarda küçük çaplı yırtılma ve karbon fiber liflerinde parçalanmalar meydana gelmiştir. Darbeler sonucunda fiberlerde görülen hasarlara bakıldığında; SiC partikül katkılı yamalardaki liflerde daha çok kopmalar olduğu gözlenmiştir. Bu durumunda, SiC nanopartikülünün kompozit yapıyı gevrekliğini artırmasından kaynaklanmaktadır.

Tüm deney sonuçlarına bakıldığında darbe enerji artışı-temas kuvvet artışı ve yama hasarları doğru orantıda arttırmaktadır. Hasarlar sırasıyla kompozit yama yapısının matrisinde çatlama, karbon fiber lif kopmaları ve delimasyonlar şeklindedir. Düşük

enerji seviyesindeki yamalı numunelerde deliminasyon gözlenmemiştir. 100 J'de Al levhalarda çatlamlar meydana gelmiş yama yapılarında matris yapısının bozulması ve lif kopması görülmektedir. Fakat delinme 150 J enerji seviyesinde yamasız Al çentikli levhada gözlenmiş olup tüm yamalı numunelerde çeşitli boyutlarda yırtılmalar meydana gelmiştir. Bu durumda, yama yapısının ve türünün değişmesiyle hasarlı bölgelerdeki deliminasyonların şiddetinin belirli seviyelerde önenebileceğini göstermektedir.

Bunla birlikte, aşağıdaki öneriler yapılabilir;

- Partikül yüzde oranları çeşitlendirilebilir.
- Kullanılan nanopartikül tiplerinin artırılarak daha detaylı sonuçlar elde edilebilir.
- Literatür araştırmalarına bakıldığında %5 oranına kadar nanografen partikül kullanımı görülmüştür ancak yapılan deneyler göz önüne alındığında bu oranların %1 ağırlık oranının üzerine 0.1-0.2-0.3 gibi oranlarda katkı sağlayarak yapılması daha sağlıklı olacağı gözlenmiştir.
- Yama yapısının boyutları ve kalınlıkları çeşitlendirilebilir.
- Farklı türde karbon elyaf kumaşları kullanılarak karbon elyaflar arası kıyaslamalara bakılabilir.
- Farklı tipte elyaf malzemeleri kullanarak yama takviyesinin detayına bakılabilir.
- Kompozit üretimi esnasında ortam şartlarının ve üretim yöntemlerinin daha da iyileştirilebilir. (Kompozit üretimini ortam sıcaklığı, temizliği gibi faktörler yüksek oranda etkilediğinden dolayı üretim aşamalarında daha da uygun şartlar sağlanabilir.)

KAYNAKÇA

1. Kaya, A., 2016. Kompozit malzemeler ve özellikleri. **Putech & composite poliüretan ve kompozit sanayi dergisi**, **8** (29): 38-45.
2. Mrazova, M., 2013. Advanced composite materials of the future in aerospace industry. **Incas bulletin**, **5** (3): 139-150.
3. Sarıkaya, E., 2019. Doğal Fiber Takviyeli Kompozit Üretimi Ve Mekanik Özelliklerinin Tespiti. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Denizli, 100.
4. Sabancı, Ş., 2005. Fiber Takviyeli Polimer Matriksli Kompozitlerin Enjeksiyon Yöntemi İle Üretimi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 90.
5. Egbo, M. K., 2021. A fundamental review on composite materials and some of their applications in biomedical engineering. **Journal of king saud university – engineering sciences**, **33** (8): 557-568.
6. Mondal, A., Jana, N. R., 2014. Graphene-nanoparticle composites and their applications in energy, enviromental and biomedical science. **Reviews in nanoscience and nanotechnology**, **3** (3): 177-192.
7. Bağcı, N., 2005. Grafen Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretimi Ve Eşit Kanallı Açısıl Preslemenin (Ekap) Malzeme Özelliklerini Etkisi. Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Mersin, 111.
8. Yin, P., Shah, S., Chhowalla, M., Lee, K., 2015. Design, synthesis, and characterization of grafene-nanaparticle hybrid materials for bio-applications, (Web sayfası: **(PDF) Design, Synthesis, and Characterization of Graphene-Nanoparticle Hybrid Materials for Bio-applications (researchgate.net)**), (Erişim tarihi: Şubat 2015).
9. 2022. Nanografi. (Web sayfası: **Silicon Carbide (SiC) Nanoparticles - Nanografi**), (Erişim tarihi: Haziran 2022).
10. 2022. İndiamart. (Web sayfası: **Silicon Carbide (SiC) Nanoparticles at Rs 8000/piece | SiC, सिलिकॉन कार्बाइड - Nano Research Elements, New Delhi | ID: 18483164491 (indiamart.com)**), (Erişim tarihi: Haziran 2022).

11. 2014. Kompozit malzemeler. (Web sayfası: **Kompozit malzemeler (ogrensen.com)**), (Erişim tarihi: Mayıs 2022).
12. Alaa, A., Jarmal, K., Kovacs, G., 2019. Theoretical and numerical analysis of an aluminium foam sandwich structure. An international journal for engineering and information sciences, **15** (3): 113-124.
13. Beşergil, B., 2022. Tabakalı kompozitler. (Web sayfası: **Prof. Dr. Bilsen Beşergil: Tabakalı Kompozitler (layered composites) (bilsenbesergil.blogspot.com)**), (Erişim tarihi: Mayıs 2022).
14. 2022. Kompozit malzemeler. (Web sayfası: **Kompozit Malzemeler – Serdar Korkut**), (Erişim tarihi: Mayıs 2022).
15. 2014. Kompozit malzemeler. (Web sayfası: **Kompozit malzemeler (ogrensen.com)**), (Erişim tarihi: Haziran 2022).
16. Beşergil, B., 2022. Kompozitler. (Web sayfası: **Prof. Dr. Bilsen Beşergil: Seramik Matris Kompozitler, CMC (ceramic matrix composites, CMC) (bilsenbesergil.blogspot.com)**), (Erişim tarihi: Mayıs 2022).
17. Uygur, İ., Saruhan, H., 2004. Alüminyum esaslı metal matris kompozit malzemelerin mekanik özellikleri. **SAU fen bilimleri enstitüsü dergisi**, **8** (1): 167-174.
18. Kalemtaş, A., 2014. Metal matrisli kompozitlere genel bir bakış, (Web sayfası: https://www.researchgate.net/publication/269624843_Metal_Matrisli_Kompozit_lere_Genel_Bir_Bakis), (Erişim tarihi: Aralık 2014).
19. Beşergil, B., 2022. Kompozitler.(Web Sayfası: **Prof. Dr. Bilsen Beşergil: Metal Matris Kompozitler, MMC (metal matrix composites, MMC) (bilsenbesergil.blogspot.com)**), (Erişim tarihi: Mayıs 2022).
20. Uygur, İ., Saruhan, H., 2004. Alüminyum esaslı metal matris kompozit malzemelerin mekanik özellikleri. **SAU fen bilimleri enstitüsü dergisi**, **8** (1): 167-174.
21. Erik, M. Ç., 2019. Otomotiv Gövde İmalatında Kullanılan Polimer Malzemelerin Enerji Sönümlenme Yeteneklerinin İncelenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar, 77.
22. Scarponi, C., 2016. Carbon/carbon composites in aerospace engineering. (Web sayfası: **Carbon-carbon composites in aerospace engineering - ScienceDirect**), (Erişim sayfası: Haziran 2016).

23. Oku, T., 2003. Carbon/carbon composites and their properties. (Web sayfası: [Carbon/Carbon Composites and Their Properties - ScienceDirect](#)), (Erişim tarihi Ekim 2007).
24. Beşergil, B., 2022. Kompozitler. (Web sayfası: [Prof. Dr. Bilsen Beşergil: Karbon-Karbon Kompozitler, CCC \(carbon-carbon composites, CCC\) \(bilsenbesergil.blogspot.com\)](#)), (Erişim tarihi: Mayıs 2022).
25. Sen, M., 2020. Nanocomposite materials. (Web sayfası: [Nanocomposite Materials | IntechOpen](#)), (Erişim tarihi: Haziran 2020).
26. Beşergil, B., 2022. Kompozitler. (Web sayfası: [Prof. Dr. Bilsen Beşergil: Nanokompozitlerin Sınıflandırılması \(classification of nanocomposites\) \(bilsenbesergil.blogspot.com\)](#)), (Erişim tarihi: Mayıs 2022).
27. 2022. Plasti fab. (Web sayfası: [Vacuum infusion \(plasti-fab.com\)](#)), (Erişim tarihi: Mayıs 2022).
28. 2021. Alüminyum nedir? Avantajları nelerdir? Alaşımaları nasıl üretilir? (Web sayfası: [Alüminyum Nedir? Avantajları Nelerdir? Nasıl Üretilir? \(aluminumburada.com\)](#)), (Erişim tarihi: Mayıs 2022).
29. 2022. Alüminyum alaşımları kullanım alanları. 2022. (Web sayfası: [Alüminyum Alaşımları Kullanım Alanları - Makine Eğitimi \(makinaegitimi.com\)](#)), (Erişim tarihi: Temmuz 2022).
30. 2022. Understanding the aluminum alloy designation system. (Web sayfası: [Understanding the Aluminum Alloy Designation System \(esabna.com\)](#)), (Erişim tarihi: Mayıs 2022).
31. Gündoğan, K., Karaağaç, D., 2019. AA2024 Alüminyum alaşımının sürtünme karıştırma kaynağında farklı parametrelerin mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi, **Pamukkale üniversitesi mühendislik bilimleri dergisi**, **16** (2): 139-147.
32. 1999. Composite repair. (Web sayfası: [Wayback Machine \(archive.org\)](#)), (Erişim tarihi: Mayıs 2022).
33. Goodmiller, G. R., 2013. Investigation of Composite Patch Performance Under Low-Velocity Impact Loading. The University of Tennessee, Yüksek Lisans Tezi, Knoxville, 109.
34. Stronge, W. J., 2000. Impact Mechanics. (Web sayfası: [99044947.pdf \(loc.gov\)](#)), (Erişim tarihi: Mayıs 2022).

35. Sözen, E., Gündüz, G., İmren, E., 2016. Balistik panel ve koruyucu zırh üretiminde kullanılan lif ve kompozit malzemeler. **Bartın orman fakültesi dergisi**, **18** (2): 194-204.
36. Ergun, E., 2009. Isı Ve Nem Etkisindeki Çatlaklı Alüminyum Levhaların Kompozit Yama ile Tamirinin Kırılma Ve Yorulma Analizleri. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Denizli, 114.
37. Saylık, A., 2016. Kompozit Yama İle Tamir Edilmiş Çentikli Alüminyum Levhalarda Gerilme Analizi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 159.
38. Güler, C., 2012. Alüminyum Matrisli SiC Takviyeli Kompozit Malzemenin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Edirne, 78.
39. Kaburçuk, M., 2014. Düşük Hızlı Darbe Yükleri Altında Al/SiC Partikül Takviyeli Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 72.
40. Günaydın, B., 2010. Kompozit Yama İle Onarılmış Yüzey Çentikli Filaman Sarım Borularda Yorulma Davranışları. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya, 113.
41. Akgün, Y., 2010. Onarılmış Kompozit Plakaların Darbe Davranışları. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 113.
42. Yıldız, E., 2018. Kompozit Yama İle Kuvvetlendirilmiş Çentikli Kompozit Malzemelerin Düşük Hızlı Darbe Davranışlarının İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 75.
43. Hoshi, H., Nakano, K., Iwahori, Y., 2007. Study on repair of cfrp laminates for aircraft structures, (Web sayfası: **Study on repair of CFRP laminates for aircraft structures (researchgate.net)**), (Erişim tarihi: Haziran 2007).
44. Çalışkan, U., 2017. Effect of composite patch geometry in notched plates under low velocity impact. **International journal of engineering research and development**, **9** (3): 115-125.
45. Xiaoquan, C., Wenyi, Z., Liu, S., Yunyan, X., Damage of scarf-repaired composite laminates subjected to low-velocity impacts. **Steel and composite structures**, **17** (2): 199-213.

46. Oku, T., 2003. Carbon/carbon composites and their properties. (Web sayfası: [Carbon/Carbon Composites and Their Properties - ScienceDirect](#)), (Erişim tarihi: Ekim 2007).
47. Gündoğan, K., Karaağaç, D., 2019. Grafen takviyeli ps kompozitlerinin yapısal, ısı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, **Bilge international journal of science and technology research** , 4 (1): 21-26.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Ebru GÜÇLÜ
Uyruğu: Türkiye(T.C.)

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği	Devam
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği	2018
Lise	Gülşehir Anadolu Lisesi, Nevşehir	2013

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2020-2022	Yataş Aş.	2020-2022
2022	Baykar Teknoloji	Halen

YABANCI DİL

İngilizce