T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KOMPOZİT YAMA İLE KUVVETLENDİRİLMİŞ ÇENTİKLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN DÜŞÜK HIZLI DARBE DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Hazırlayan
Ercan YILDIZ

Danışman
Doç. Dr. Recep EKİCİ

Yüksek Lisans Tezi

Ağustos 2018
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KOMPOZİT YAMA İLE KUVVETLENDİRİLMİŞ ÇENTİKLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN DÜŞÜK HIZLI DARBE DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Ercan YILDIZ

Danışman
Doç. Dr. Recep EKİCİ

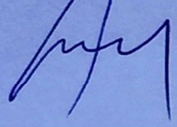
Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 216M519 kodlu proje ile desteklenmiştir.

Ağustos 2018
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.

Ercan YILDIZ



"Kompozit Yama ile Kuvvetlendirilmiş Çentikli Kompozit Malzemelerin Düşük Hızlı Darbe Davranışlarının İncelenmesi" adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi' ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan
Ercan YILDIZ

Danışman
Doç. Dr. Recep EKİCİ

Makine Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Necdet ALTUNTOP

Doç. Dr. Recep EKİCİ danışmanlığında **Ercan YILDIZ** tarafından hazırlanan **"Kompozit Yama ile Kuvvetlendirilmiş Çentikli Kompozit Malzemelerin Düşük Hızlı Darbe Davranışlarının İncelenmesi"** adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

08/08/2018

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Recep EKİCİ .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Cem BOĞA .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi M. Didem DEMİRBAŞ .....

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 29/08/2018 tarih ve 2018/38-17 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

29/08/2018

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım sırasında tecrübe ve desteklerini esirgemeyen değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Recep EKİCİ' ye projemin yürütülmesi sırasında vermiş olduğu destekten dolayı, teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalışmam süresince, problemlerin çözümüne ait değişik yorumları, farklı bakış açılarıyla bana elinden gelen her türlü desteği fazlasıyla veren Araş. Gör. Umut ÇALIŞKAN' a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca büyük sabır göstererek maddi ve manevi her daim yanımda olan başta abim Yüksek Makine Mühendisi Erdem YILDIZ olmakla birlikte beni bu günlere getiren canım aileme en içten şükranlarımı sunarım. Desteklerini her zaman yanımda hissettiğim değerli arkadaşlarıma ve tezimin ortaya çıkmasında katkısı bulunan herkese teşekkür ederim.

Ercan YILDIZ

Ağustos 2018, KAYSERİ

KOMPOZİT YAMA İLE KUVVETLENDİRİLMİŞ ÇENTİKLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN DÜŞÜK HIZLI DARBE DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Ercan YILDIZ

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2018
Danışman: Doç. Dr. Recep EKİCİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında, kompozit yamalarla tamir edilmiş çentikli kompozit malzemelerin düşük hızlı darbe davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışma sayesinde, tamir işleminde kullanılan kompozit yamanın geometrisi ve et kalınlığının, tamir edilen kompozit malzemelerin darbe davranışları üzerinde etkileri deneysel olarak incelenmiştir. İlk aşama olarak laboratuvar ortamında vakum infüzyon tekniği kullanılarak farklı geometride ve kalınlıkta katmanlı kompozit yama üretimleri gerçekleştirildi. Sonrasında, kare ve dikdörtgen geometrilerinde kesilmiş kompozit malzemelere iki farklı tip çentik açıldı. Çentik açılan kompozit malzemelere, dikdörtgen ve kare şeklinde kesilen farklı kompozit yamalar, yapıştırıcı vasıtası ile yapıştırıldı. Daha sonrasında, yama uygulanmamış iki farklı geometriye sahip çentikli kompozit malzemelere ve yama uygulanmış çentikli kompozit malzemelere farklı düşük hızlarda darbe deneyleri yapıldı. Tamamlanan darbe deneyi sonuçları kuvvet-zaman grafikleri ve kinetik enerji-zaman grafikleri ile irdelenmiş, deformasyona uğramış malzemelerin görüntüleri SolidWorks'te yüzey alanı ölçümüyle incelenmiştir. Bu deneysel çalışma ile farklı geometrideki kompozit yamalar ile farklı tür ve kalınlıktaki kompozit yamaların, çentikli kompozit malzemeler üzerindeki düşük hızlı darbelerin deformasyonları incelenmiştir. Yapılan deneyler ve teknik analizler doğrultusunda kompozit yamaların hasarı önlemede önemli bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompozit yama, düşük hızlı darbe, çentikli kompozit malzeme, vakum destekli infüzyon

INVESTIGATION OF IMPACT BEHAVIOR OF NOTCHED COMPOSITE MATERIALS WITH COMPOSITE PATCH UNDER LOW VELOCITY

Ercan YILDIZ

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Master Thesis, July 2018
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Recep EKİCİ

ABSTRACT

In this thesis, low speed impact behaviors of notched composite materials repaired by composite patches have been experimentally investigated. In this study, effects of thickness and geometric structure of composite patches on the impact behavior of the repaired composite materials have been experimentally investigated. As a first step, a vacuum infusion technique have been used to produce layered composite patches as different geometric structure and different thicknesses in the laboratory. After that, the produced composite materials were notched in two different types. Rectangular and square cut composite patches were adhesively bonded to produced notched composite materials with adhesive. Then, low velocity impact tests have been applied to have two different types unpatched notched and patched notched composite materials. Completed impact test findings inspected with kinetic energy-time graphs and force-time graphs, in addition that damaged images of composite materials were investigated with surface are method by SolidWorks. In conclusion with this study effects of different geometric structure, type and different thickness of composite patches on the low velocity impact deformation of notched composite materials have been searched. It has been observed that in the direction of the experiments and technical analyzes, the composite patches have an important effect on the damage prevention.

Keywords: Composite patch, Low-velocity impact, Notched composite materials, vacuum assisted infusion

İÇİNDEKİLER

KOMPOZİT YAMA İLE KUVVETLENDİRİLMİŞ ÇENTİKLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN DÜŞÜK HIZLI DARBE DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK iii
KABUL VE ONAY iv
TEŞEKKÜR v
ÖZET vi
ABSTRACT vii
İÇİNDEKİLER viii
KISALTMALAR x
TABLOLAR LİSTESİ xi
ŞEKİLLER LİSTESİ xiii
GİRİŞ 1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Genel Bilgiler 3
1.1.1. Kompozit Malzemelerde Onarım 3
1.1.2. Hasar Tipleri 4
1.1.2.1. Yüzey Hasarı 4
1.1.2.2. Tabaka Hasarı 4
1.1.3. Onarım Metodları 6
1.1.3.1. Koruyucu Bant Metodu 6
1.1.3.2. Reçine ile Kapatma Metodu 7

1.1.3.3. El Yatırması Onarım Metodu 8
1.1.3.4. Pre-Preg Onarım Metodu 8
1.1.3.5. Dolgu ve Basamaklı Yama Metodu 9
1.2. Literatür Araştırması 10

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Giriş 16
2.2. Düşük Hızlı Darbe Testi 16
2.3. Yöntem 20
2.4. Vakum İnfüzyon Yöntemi ile Kompozit Üretimi 21
2.4.1. Üretim Aşamaları 22
2.5. Kompozit Levhalara Çentik Açılması 27
2.6. Çentikli Kompozit Levhaların Yama ile Tamir Edilmesi 28

3. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Giriş 31
3.2 Temas Kuvveti Değişiminin İncelenmesi 33
3.3 Kinetik Enerji Değişiminin İncelenmesi 36
3.4 Darbe Testi Sonrasında Deformasyon Alanlarının İncelenmesi 38

4. BÖLÜM

SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1 Sonuç ve Öneriler 51

KAYNAKÇA 53
ÖZGEÇMİŞ 57

KISALTMALAR

σ_a : Eksenel gerilme

σ_n : Basınçlı kabın yüzeyine dik yönde etki eden gerilme

σ_T : Teğetsel gerilme

d : Deplasman, yer değiştirme

E : Elastisite modülü

E_a : Yutulan enerji

F : Kuvvet

T : Zaman

t_y : Yama kalınlığı

P : İmpuls

p : Basınç

ρ_c : Kompozitin yoğunluğu

ρ_f : Elyafın yoğunluğu

δ : Yer değiştirme

δ_f : Kalıcı yer değiştirme

V : Hız

V_y : İzafi hız

V_f : Elyafın hacimsel oranı

W_c : Kompozitin ağırlığı

W_d : Çarpışmada parça üzerine yapılan iş

W_f : Elyafın ağırlığı

w_y : Yama genişliği

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Düşük hızlı darbe testleri 17
Tablo 3.1. Darbe testlerinde kullanılan enerji seviyeleri 33

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Kanat kısmından hasara uğramış yolcu uçağı....4
Şekil 1.2. Yüzey hasarları 5
Şekil 1.3. Tabaka hasarları....6
Şekil 1.4. Takviyeli ve takviyesiz alüminyum bant 7
Şekil 1.5. Fiberglass malzemenin reçine ile onarılması 7
Şekil 1.6. El yatırma metodu ile kompozit onarımı 8
Şekil 1.7. Pre-preg karbon fiber 9
Şekil 1.8. Düz plakalarda dolgu yama onarım oranları 9
Şekil 1.9. Düz plakalarda basamaklı yama onarım oranları 10
Şekil 2.1. Charpy Darbe deney şeması....17
Şekil 2.2. Izod Darbe deney şeması 18
Şekil 2.3. Charpy ve Izod deney düzeneği....18
Şekil 2.4. Ceast Fractovis Plus marka düşük hızlı darbe test cihazı 21
Şekil 2.5. İnfüzyon yönteminde vakumun ilerlemesi 22
Şekil 2.6. Uygun elyaf seçilmesi ve kesim işlemi....22
Şekil 2.7. Alttan ısıtmalı alüminyum masa 23
Şekil 2.8. Ayırıcı filmin serilmesi ve sızdırmazlık bandının yapıştırılması....23
Şekil 2.9. Elyafların istenilen kalınlıkta serilmesi 24
Şekil 2.10. Soyma kumaşının ve infüzyon filesinin serilmesi 24
Şekil 2.11. Spiral hortumun takılması....25
Şekil 2.12. Reçinenin vakum ile ilerlemesi....26
Şekil 2.13. Deneylerde kullanılacak numuneler 26
Şekil 2.14. Çentik açılan dikdörtgen ve kare numuneler 28
Şekil 2.15. Kompozit plakanın ve yamanın ethanol ile temizlenmesi 29
Şekil 2.16. Kompozit yamanın plakaya yapıştırılması....29
Şekil 2.17. Çentikli kompozit plakanın yama ile tamiri 30
Şekil 2.18. Deneylerde kullanılacak numuneler 30
Şekil 3.1. Numunelerin Fractovis Plus marka darbe cihazına bağlanması 32
Şekil 3.2. Farklı plaka geometrilerine sahip yamalı ve yamasız çentikli kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki temas kuvveti-zaman değişimleri .35

Şekil 3.3. Farklı plaka geometrilerine sahip yamalı ve yamasız çentikli kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki kinetik enerji-zaman değişimleri ..37
Şekil 3.4. Dikdörtgen plaka geometrisine sahip yamasız çentikli kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü ve alanları.....39
Şekil 3.5. Dikdörtgen plaka geometrisine sahip 1 mm kalınlıklı cam fiber/epoksi yamalı çentikli kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü ve alanları.....40
Şekil 3.6. Dikdörtgen plaka geometrisine sahip 2 mm kalınlıklı cam fiber/epoksi yamalı çentikli kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü ve alanları.....41
Şekil 3.7. Dikdörtgen plaka geometrisine sahip 1 mm kalınlıklı karbon fiber/epoksi yamalı çentikli kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü ve alanları.....42
Şekil 3.8. Dikdörtgen plaka geometrisine sahip 2 mm kalınlıklı karbon fiber/epoksi yamalı çentikli kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü ve alanları.....43
Şekil 3.9. Dikdörtgen plaka geometrisine sahip 1 mm kalınlıklı aliminyum yamalı çentikli kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü ve alanları.....44
Şekil 3.10. Kare plaka geometrisine sahip yamasız çentikli kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü ve alanları 45
Şekil 3.11. Kare plaka geometrisine sahip 1 mm kalınlıklı cam fiber/epoksi yamalı çentikli kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü ve alanları.....46
Şekil 3.12. Kare plaka geometrisine sahip 2 mm kalınlıklı cam fiber/epoksi yamalı çentikli kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü ve alanları.....47
Şekil 3.13. Kare plaka geometrisine sahip 1 mm kalınlıklı karbon fiber/epoksi yamalı çentikli kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü ve alanları.....48
Şekil 3.14. Dikdörtgen plaka geometrisine sahip 2 mm kalınlıklı karbon fiber/epoksi yamalı çentikli kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü ve alanları.....49

Şekil 3.15. Dikdörtgen plaka geometrisine sahip 1 mm kalınlıklı aliminyum yamalı çentikli kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü ve alanları 50

GİRİŞ

Günümüzde malzeme ihtiyacının giderek artması ve mevcut kaynakların bu artışı karşılayamamasından dolayı, gelişen teknolojiye uygun ve ihtiyaçlarımıza karşılık verebilen yeni malzemelere gereksinim doğmuştur. Teknik olarak en az iki malzemenin biraraya getirilmesiyle oluşturulan yeni malzemeye kompozit malzeme denir. Kompozit malzemeler aynı veya farklı en az iki malzemeyi fiziksel olarak karıştırarak, kendisini oluşturan malzemelerden farklı özelliklere sahip çok bileşenli yeni bir malzeme oluşturmak olarak da tanımlanır. Ayrıca kompozit malzemelere; çok bileşenli malzeme, çok fazlı malzeme, donatılı malzeme, pekiştirilmiş malzeme gibi adlar da verilmektedir [1]. Farklı malzemelerin istenilen özelliklerinin bir araya getirilmesiyle oluşan kompozit malzemeler günümüzde başta mühendislik uygulamaları olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır [2].

Kompozit malzemelerin asıl üretilme amaçları, kendilerini oluşturan malzemelerin herbirinde bulunan; basınç, eğilme dayanımı, yorulma dayanımı, aşınma dayanımı, yüksek sıcaklık özelikleri, ısı ve elektirik iletkenliği, elektirik direnci, rijitlik, sertlik, ağırlık, elastik özellikler ...vb. özelliklerin tek bir malzemede birleştirilerek daha üstün performansa sahip bir malzeme oluşturma isteğidir [3,4].

Aşağıdaki koşulları sağlayan malzemeler kompozit malzeme olarak kabul edilmektedir:

- Doğal bir malzeme olmaması ve dışarıdan bir etki ile oluşmuş olması,
- Kimyasal özellikleri birbirinden farklı ve fiziksel olarak da birbirinden ayrılmış en az iki adet malzemenin bir araya gelmesiyle oluşmuş olması,
- Malzemelerin birbirleriyle fiziksel olarak birleştirilmiş olması,
- Birleşimini oluşturan malzemelerin her birinin güçlü özelliklerini taşıması ve dolayısıyla bu amaçla üretilmiş olmasıdır [3,4].

Farklı malzemelerden oluşan bütün karışımları da kompozit olarak sınıflandırmak yanlış olacaktır. Buna örnek vermek gerekirse, çelikteki krom ve vanadyumdur. Bu malzemeler bir karışım olmasına rağmen kompozit malzeme olarak kabul edilmemektedir. Çünkü mikroskobik olarak incelendiğinde homojen bir yapıya sahiptir ve yukarıda belirtmiş olduğumuz 'fiziksel olarak birbirinden ayrılmış olmalı' kuralına uymamaktadır.

Kompozit malzemeler maruz kaldıkları ortamlar ve bilimum konstrüktif zorluklara bağlı olarak; çatlak, çentik, delik vb. şeklindeki yüzey bozulmalarına sıklıkla uğrarlar. Bu çentikler gerilme yığılmalarına neden olarak büyük bir problemi de beraberinde getirmektedir. Buna karşın kompozit malzemelerin onarım konusu da bu prosesin doğal bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Sonlu elemanlar metodunun gelişmesi ile de fiber takviyeli kompozit yama ile tamir edilmiş kompozit levhaların onarım yöntemleri ve kompozit performanları üzerine birçok çalışmalar yapılmıştır.

Kompozit malzemelerin, uygulama yerlerine ve kullanım amacına göre maruz kaldıkları darbeler çok çeşitli şekillerde olabilir. Bu darbeler genellikle düşük hızda ve yüksek hızda olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Ancak bu sınıflandırma çok keskin bir şekilde ayrılmamaktadır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde bir çoğunun düşük hızlı darbeyi; hedef malzemenin özellikleri, rijitliği ve çarpan cismin özellikleri, rijitliğine bağlı olarak 1 ila 10 m/s arasında değişen hızlar olarak tanımladıkları görülmektedir[5, 6]. Örneğin kompozit bir malzemenin üretimi veya bakımı esnasında üzerine bir rijit cisim düşmesi suretiye aldığı darbe, düşük hızlı bir darbedir. Bu çeşit darbelerde kompozit malzeme, mekaniği gereği darbe esnasında oluşan enerjiyi elastik olarak depolar ve temas süresi de uzun olur. Ancak yüksek hızlı darbelerde mekanizma daha farklı işler. Oluşan darbe sonucu iç yapıda meydana gelen enerji miktarı büyük olur ve buna paralel olarak da yayılan gerilme dalgaları da hızlanır. Hızlı gelen bu dalgalara yeterli tepki süresi olmadığı için de malzemede lokal olarak hasarlar meydana gelir.

Bu tez çalışmasında, kompozit yama ile tamir edilmiş çentikli kompozit malzemelerin düşük hızlı darbe davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Yama özelliklerinin tamir edilmiş kompozit malzemenin düşük hızlı darbe davranışı üzerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Kompozit malzemeler sağladıkları pek çok avantaj sayesinde havacılık endüstrisinde, deniz araçlarında, otomotiv sektöründe, yenilenebilir enerji, savunma sanayi ve bunun gibi birçok alanda etkin olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte kompozitlerin onarım yöntemleri de sektöre bağlı olarak gelişme göstermiştir. Özellikle havacılık sektöründe kullanılan alüminyum panellerin kompozit malzemeler ile tamir edilmesi, uygulanabilirlik ve kazandırdığı dayanım açısından son derece başarılı olmuştur.

1.1. Genel Bilgiler

1.1.1. Kompozit Malzemelerde Onarım

Kompozit malzemelerde onarım isteği iki farklı nedenden dolayı ortaya çıkar. Bunlardan en temeli, kullanımdan kaynaklı oluşan deformasyonlar ve darbeye bağlı uğramış olduğu hasarlardan dolayıdır. Bir diğeri ise de çok sık görülmese de malzemenin üretiminde ve tasarım yetersizliğinden dolayı yapılan onarımlardır. Böyle durumlarda deforme olmuş bölgeden kaynaklı kullanıma elverişsiz olma durumu yalnızca hasarlı bölge tamir edilerek giderilir ve malzeme orjinaline yakın bir mukavamet değerine ulaşmış olur. Onarım işlemleri sayesinde; yeniden üretim, zaman ve maddi yönlerden çok büyük anlamda kazanımlar ve kolaylıklar sağlamaktadır. Şekil 1.1.'de yapısal olarak kanat kısmından büyük hasar almış bir yolcu uçağı görülmektedir.

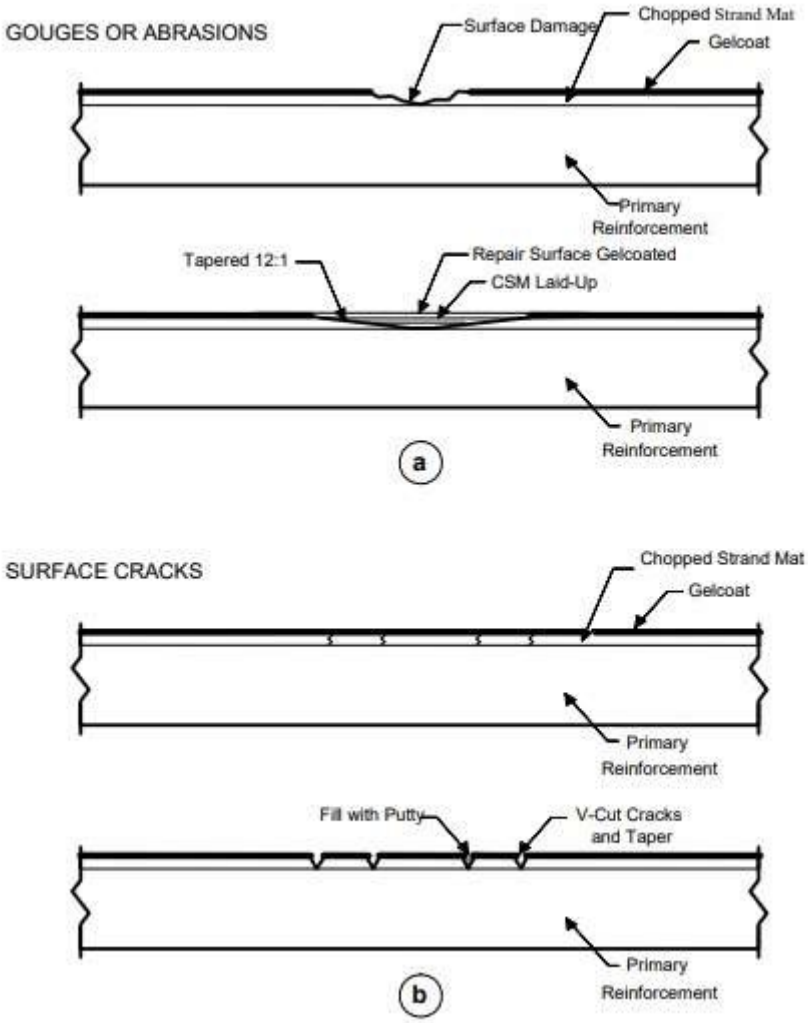


Şekil 1.1. Kanat kısmından hasara uğramış yolcu uçağı [7].

1.1.2. Hasar Tipleri

1.1.2.1. Yüzey Hasarı

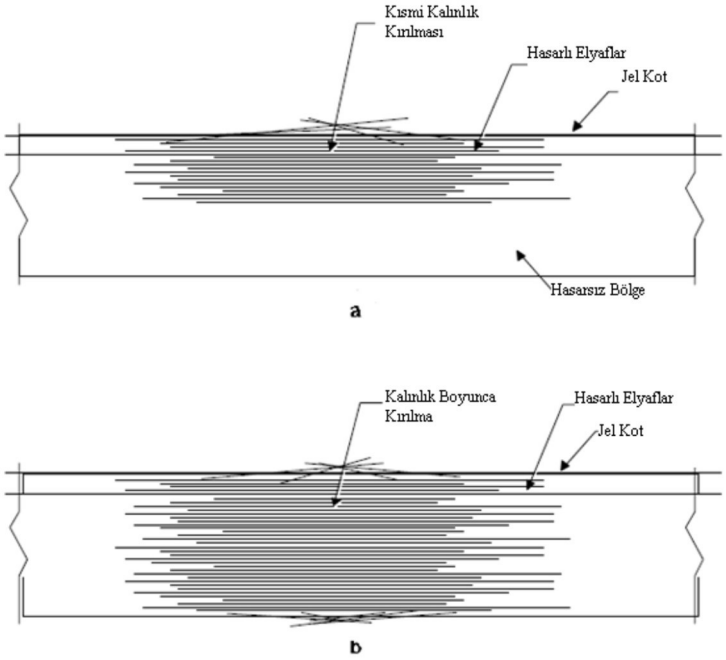
Kompozit malzemelerde sıklıkla aşınma, çatlama ve kabarma gibi hasarlar meydana gelmektedir. Oluşan hasarın yüzey hasarı olarak kabul edilebilmesi için 2mm'den az olması gerekmektedir. İlk başta fazla önemli olarak görülmeyen bu hasarlar zamanla fiberlerin arasına sıvı sızması ile tabaka ayrılmalarına kadar çok ciddi problemlere yol açabilmektedirler.



Şekil 1.2. Yüzey hasarları [8].

1.1.2.2. Tabaka Hasarı

Kaldırabileceğinden fazla dinamik yüklere maruz kalan kompozitlerde çatlak, delik ve tabakalar arası kaymalar meydana gelebilir. Malzemede fiziksel olarak ayrılma anlamına gelen tabakalar arası kayma, ilk olarak yüzeydeki gerilme yığılmasının en fazla olduğu bölgede yani süreksiz olan bölgelerde başlar. Oluşan bu hasarlar 'kısmi kalınlık boyunca hasar' ve 'kalınlık boyunca hasar' olmak üzere ikiye ayrılır.



Şekil 1.3. Tabaka hasarları [8].

1.1.3. Onarım Metodları

Gözlemlenen hasar tiplerine göre en uygun onarım metodunu seçmek ve uygulamak önemli bir konudur. Tabiki burada hasarın boyutu, geçici veya kalıcı olup olmaması ve en önemlisi de onarma işleminin mantıklı olup olmamasıdır. Yani her durumda onarma işlemi yapmak mantıklı değildir. Bazı hasar tiplerinde parçanın servis ömrü, kullanım yeri ve süresi gibi parametrelerde göz önüne alınarak parça değişimi yapmak daha mantıklı olabilir. Bu sayede onarıma harcanan zamandan ve pahalı olan onarım maliyetinden de tasarruf sağlanmış olunur. Literatürde kullanılan bazı onarım metodları şöyledir:

1.1.3.1. Koruyucu Bant Metodu

Bu metod isminden de anlaşılabileceği gibi kalınlıkları 0,025 ila 0,075 mm arasında değişen alüminyum bantlar kullanılanılarak uygulanan bir onarım metodudur. Uygulaması çok kolay olan bu yöntem; temizlenmiş olan hasarlı bölgeye bir tarafı folyo diğer tarafı kağıt olan alüminyum bantın, kağıt kısmı çıkarıldıktan sonra yapışkanlı yüzeyin hasarlı bölge üzerine gelecek şekilde yapıştırılmasıyla uygulanmaktadır. Bu sayede alüminyum folyo yapışan yüzeydeki serbest fiberlerin dağılması önlenir ve dışarıdan su girişi de engellenmiş olur. Bu yöntem tam anlamında bir onarım ve koruma

sağlamaz. Ancak kısa süreli olarak hasarın daha da büyümesini engelleyerek bize zaman kazandırmak için kullanılır.



Şekil 1.4. Takviyeli ve takviyesiz alüminyum bant [9].

1.1.3.2. Reçine ile Kapatma Metodu

Bir başka geçici onarım metodu olan reçine ile kapatma metodu ise; hasarlı bölgedeki serbest fiberlerin ayrılmasını önlemek ve bir arada kalmasını sağlamak amacıyla üzerlerine onarım reçinesi sürmek suretiyle kaplanması işlemidir.



Şekil 1.5. Fiberglass malzemenin reçine ile onarılması [10].

1.1.3.3. El Yatırması Onarım Metodu

Onarım şartlarına ve sağladığı avantajlara bakıldığında bu yöntem kolay uygulanabilmesi ve etkin sonuç vermesi açısından sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir. Genellikle keçe veya dokuma biçimli elyaf, hasarlı bölgeye yerleştirilerek matriksi oluşturan reçine basit el aletleriyle elyafın üzerine sürülerek uygulanır. Bu sayede onarılacak yüzeye kolayca uyum sağlamış olur. Yapışmanın gerçekleşmesi için vakum basıncı yeterli olmaktadır. Eğer istenildiği takdirde tabakalı olarak ek kumaş da kullanılabilir. Bu yönteme uygun olması nedeniyle reçine olarak sıklıkla polyester ve epoksi kullanılmaktadır. El yatırması metodu genel anlamda ikiye ayrılmaktadır:

- Oda sıcakığında el yatırması
- Yüksek sıcaklıklarda el yatırması

Uygulanan her iki metodun prosesleri aynıdır. Tek farkları birisinin kürleşmesi oda sıcaklığında olurken diğeri 95 °C gibi bir sıcaklığa ihtiyaç duymaktadır.

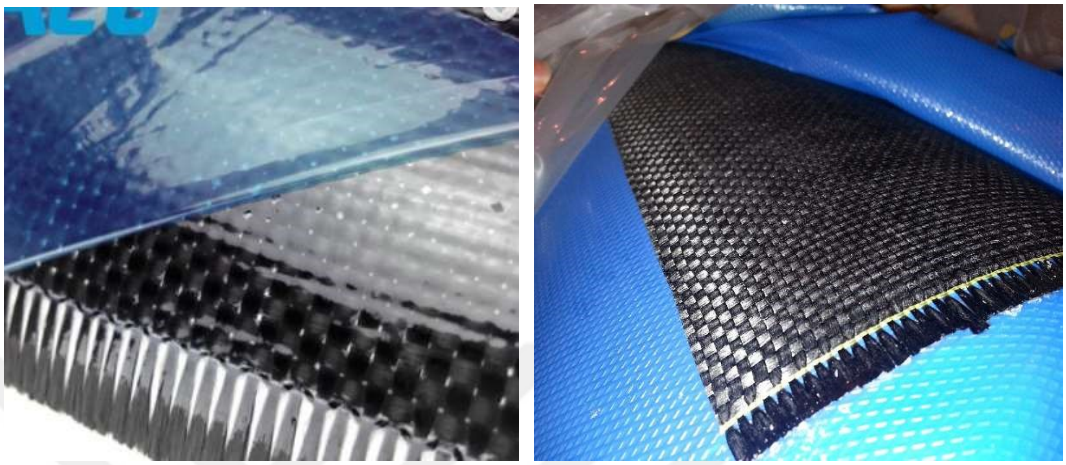


Şekil 1.6. El yatırma metodu ile kompozit onarımı [10].

1.1.3.4. Pre-Preg Onarım Metodu

Pre-preg; önceden reçine emdirilmiş karbon, cam yada aramid elyaf anlamına gelmektedir. Dokunmuş ya da tek yönlü cam, karbon ve aramid kumaşlar üzerine emdirilmesi ve yarı kürleştirilmesi ile oluşmaktadır. Kuru kumaşların kalıba serilip ardından reçinelenme işlemine göre pre-prep serimi oldukça basittir. Çünkü önceden

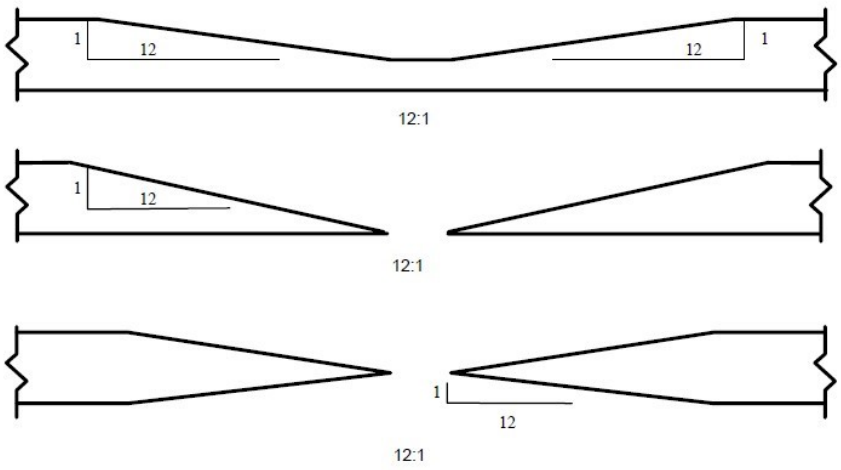
emdirilmiş reçine, üzerine gelen fiber kumaşı tutar ve yapıştırır bu sayede serim ve kesim işlemleri kolaylıkla yapılır. Ayrıca reçine hazırlama süreci de olmadığı için çalışma koşulları temiz ve işçi sağlığı açısından da tercih sebebi olmaktadır [11].



Şekil 1.7. Pre-preg karbon fiber [12].

1.1.3.5. Dolgu ve Basamaklı Yama Onarımı

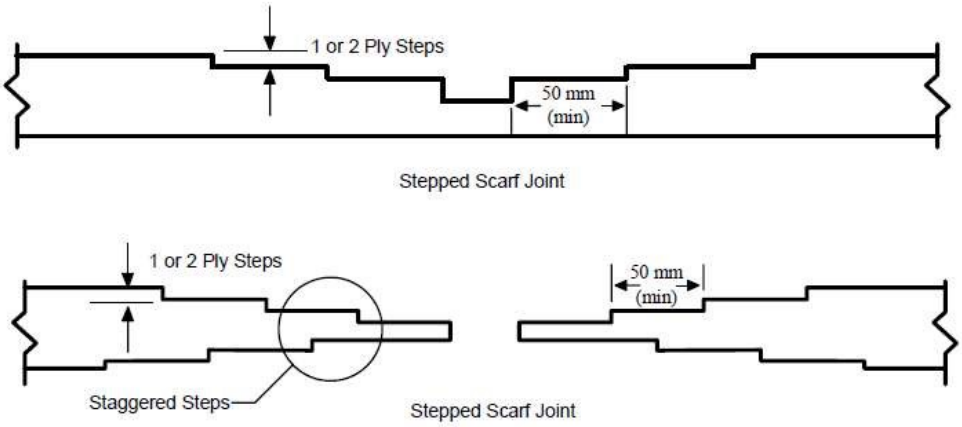
Dolgu ve basamaklı yama onarım çeşitleri yapışma ile yama yöntemi olduğu için en çok kullanılan onarım yöntemlerinden biridir. Dolgu yamaları bağlanma dayanımının yüksek olduğu yerlerde yapılmaktadır. Genellikle düz plakalara uygulanan bu yöntem; dayanım analizleri doğrultusunda şekil 1.8.' de görüldüğü gibi 12:1 oranında uygulanmaktadır [8].



Şekil 1.8. Düz plakalarda dolgu yama onarım oranları [8].

Dolgu yama onarımı sayesinde yapışma yüzeylerinde daha düzgün kayma gerilmeleri gözlemlenir ve bu da deliminasyon etkisini azaltarak sıyrılmaları azaltır.

Basamaklı yama onarımının dolgu yama onarımından tek farkı fiziksel olarak şeklinin basamak şeklinde olmasıdır ve basamakların her bir tabaka için bindirme yüksekliği 50 mm olması istenmektedir. Aşağıda şekil 1.9.' da basamaklı yama şeması gözükmektedir.



Şekil 1.9. Düz plakalarda basamaklı yama onarım oranları [8].

Basamaklı yamalarda ana parça/yama ilişkisi dolgu yamalara göre daha belirgindir. Bu nedenle daha fazla tercih edilmektedir. Dolgu ve basamaklı yamalarda; yama ile ana parça iyi bir şekilde kaynaşarak parçanın mukavemetini ve statik özelliklerini kuvvetlendirir ancak bunun yanında bir takım dezavantajlarıda beraberinde getirmektedirler. Öncelikle uygulaması zor ve zaman alan bir proses gerektirir, ayrıca uygun yama ve ana parça oranlarını yakalamak için hasarsız kısımlardan da gerektiğinden fazla parça almak gerekmektedir. Bu da malzeme israfına neden olmaktadır.

1.2. Literatür Araştırması

Kompozit malzemelerin onarılması ve düşük hızlı darbeye vermiş oldukları tepkiler ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Bu konudaki çalışmalardan bazıları şunlardır:

Rotem, Lifshits ve arkadaşları, kompozit malzemelerin dinamik yüklemeler altındaki davranışlarını ilk olarak incelemişlerdir [13].

Tzetzis ve Hogg, hasara uğramış karbon fiber kompozitlerin vakum destekli infüzyon yöntemi ile tamirinde fiberlerin yapışma ara yüzey tokluğunun geliştirilmesiyle alakalı çalışmalar yapmışlardır [14].

Mencattelli ve arkadaşları, kompozit malzemelerde sürtünmenin 4 noktadan sonlandırılmış çentikli karbon fiber malzemeleri nasıl etkileyeceği üzerinde durmuşlardır. Bir yükleme ve boşaltma döngüsü deneysel ortamda hazırlanmış ve yüke karşı farklı sürtünme yerlerinde oluşan deplasmanlar incelenmiştir [15].

Motuku, Vaidya ve Janowski, hem makro hem de mikro hasarı kendi kendine onarma potansiyeline sahip olan cam takviyeli polimer kompozitlerin düşük hızlı darbe davranışlarını araştırmışlardır. Kompozit paneller vakum destekli infüzyon yöntemi ile elde edilmiştir. Bu çalışmada; işleme kalitesi, tamir çözeltisi için depolama çözeltisinin seçimi, tamir çözümünün serbest bırakılması ve taşınması, tamir tüplerinin sayı,tip ve mekânsal dağılımının, matris materyalinin ve darbe enerji seviyesi gibi parametrelerin etkisi incelenmiştir [16].

Byung Seon Jeon ve arkadaşları, iki farklı açı katının arayüzüne gömülü optik fiberlerle çapraz katlı kompozit laminatların darbe hasarı ve darbe sonrası sıkıştırma davranışının geliştirilmesini araştırmak için bir düşme darbe testi ve tabakalara ayırma burkulma testi yapmışlardır. Optik fiberlerin ana fiber takviye liflerine paralel olarak yerleştirildiği zaman, laminantın hasar alanının şekli ve boyutu üzerinde çok az ve marjinal bir etkiye sahip olduğunu gözlemlemişlerdir [17].

Kim ve arkadaşları, kompozit bir yapının aşamalı hasar analizi için sürekli hasar mekaniğine (CDMs) dayalı bir bileşik hasar modeli ile çalışmışlardır. Kompozitlerin doğrusal olmayan kayma davranışını da dikkate almışlardır. Ayrıca hasar nedeniyle geri dönüşü olmayan gerilimi dikkate alan basit bir model uygulanmış ve ABAQUS programında hesaplamaları yapmışlardır [18].

Bemhardt, Ramulu ve Kobayashi, TiGr olarak bilinen bir hibrit titanyum kompozit plakanın düşük hızlı darbe davranışını, grafit/epoksi kompozit ile

karşılaştırmışlardır. Titanyumun sünekliği, kırılgan bitişik kompozit kat kırılmasına yol açarken bükülmeye neden olduğu görülmüştür [19].

Dursun ve Soutis, alüminyum alaşımlarının geliştirilmiş mekanik özeliklerini ve yüksek performanslı birleştirme özelliklerini araştırmışlardır. Yeni geliştirilen 2000 ve 7000 serisi alüminyum alaşımlar ve yeni nesil Al-Li alaşımları üzerindeki mekanik özellikler, geleneksel alüminyum alaşımları ile karşılaştırılmıştır [20].

Belingardi ve arkadaşları, kompozit malzemelerde et kalınlığının düşük hızlı darbe davranışına olan etkilerini incelemişlerdir. Kalınlıkları birbirinden farklı olan 3 adet deney numunesi hazırlamışlardır. Bu numunelere yarı statik darbe yüklemesi yapılarak farklı darbe hızlarındaki enerji yutma kabiliyetleri araştırılmıştır [21].

Patrick, Jyi ve Isaac, sandviç panellerin ve bir PVC köpük çekirdeğin düşük hızlardaki darbe davranışlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Yapılan deneylerden sonra eşdeğer statik yük ile düşük hız etkisinin genellikle yerel hasarlar haricinde yarı statik olduğunu görmüşlerdir [22].

Giovanni ve Roberto, uygun kompozit malzeme seçiminin yapısal kullanımlarda kinetik enerjiyi dağıtmadaki performans karakteristiklerini incelemişlerdir. ASTM standartlarına uygun bir şekilde serbest düşme testleri yapmışlardır. Malzemelerin etki davranışlarını analiz etmek için enerji parametrelerini gösteren diyagramlar çizmişlerdir. İncelenen malzemeler, dikkate alınan yükleme koşulları altında zorlanma oranı etkisine karşı herhangi bir hassasiyet göstermediklerini saptamışlardır [23].

Baker, ARL, Avustralya'nın ortaya koyduğu yorgunluk veya gerilme korozyonunun neden olduğu çatlamadan kaynaklanan uçak bileşenlerinin sahada veya yerinde oranımı için yeni ve yüksek maliyetli bir şemayı incelemiştir. Şema, gelişmiş fiber kompozitlerin (genellikle bor elyafı takviyeli plastik BFRP) yapıştırılmış yamalarının uygulanmasına dayanmaktadır [24].

Ayatollahi ve Hashemi, çeşitli modlarda çatlakların onarılması için bağlanmış kompozit yamaların etkilerini, stres yoğunluğu faktörlerini ve T-stresini hesaplayarak analiz etmek için sonlu elemanlar yöntemi kullanmışlardır. Birinci modda; orta çatlak, çift kenar çatlak ve tek kenar çatlak modelleri incelenmiş, diğer karışık modda ise;

merkezi bir çatlak üzerinde değişik eğim açıları denenmiştir. Her iki modda da sayısal sonuçlar, kompozit yamanın T-stresi üzerinde önemli bir etki yarattığını gözlemlemişlerdir [25].

Baker, belirli bir onarım durumunda kullanılabilecek minimum kalınlık yamasını tahmin etmek için bir ön tasarım yaklaşımını araştırmıştır. Deneysel çalışmasında Mirage 3 uçağının kanat yüzeyinin onarımı üzerinde çalışmışlardır. İncelenen konular arasında, tamir durumunda yapıştırıcı bağlanması için minimum sertleşme ve yüzey işleme koşullarının değerlendirilmesi, yamadan kaynaklanan potansiyel termal ve artık stres problemleri, yamalanmış panellerde onarım ve çatlak yayılma davranışını temsil eden üst üste bindirme derzleri üzerindeki çalışmalar da yer almıştır [26].

Dae ve Jung, kalın levhalar üzerinde kompozit yama ile tamir edilen kırık alüminyum plakanın yorulma çatlağı büyüme davranışını araştırmışlardır. Bunu yaparken de Stres yoğunluğu faktör aralığı (ΔK) ve yorulma çatlağı büyüme oranı (da / dN) kullanarak bağlanmış kompozit yama ile tamir edilen kalın panelin yorulma çatlağı büyüme davranışını araştırmışlardır [27].

Schubbe ve Mall, asimetrik olarak bağlanmış boron/epoksi kompozit yama ile tamir edilen 6.350 mm kalınlığında 2024-T3 alüminyum panellerde onarım sonrası yorulma çatlağı büyüme davranışını karakterize etmek için deneysel bir araştırma yapmışlardır. Onarımlar, yorulmamış baz hattı (çatlamış) numuneler üzerinde yorulma ömründe en az dört ila beş kez iyileşme sağladıklarını saptamışlardır [28].

Jones ve Callinan, bir kompozit malzeme örtüsüyle yamulmuş metal tabakalardaki çatlakların davranışlarını analiz etmek için sonlu elemanlar yönteminin nasıl kullanılması gerektiğini incelemişlerdir. Analiz, tabakaların kompozit yamanın ve yapışkanın ayrı tepkilerini içermektedir [29].

Woo-Young ve Jung-Ju, bileşik yamalar ile takviye edilmiş çatlamış alüminyum plakaların yorulma çatlağı büyüme davranışını karakterize etmek için ardışık sonlu elemanlar analizi tekniğini kullanan analitik bir yaklaşım gerçekleştirmişlerdir [30].

Ong ve diğerleri, kompozit yama tamir teknolojisinin kırık bileşenlerin yapısal bütünlüğünü geri kazanmak için nasıl bir başarılı bir şekilde uygulanabileceğini

kanıtlamışlardır. AVI13 / HV998 yapıştırıcısı ile birlikte uygulandığında, alüminyum üzerinde bulunan fosforik asit anodize (PAA) yüzey işlemi uygun yama yapıştırma mukavemetinin elde edilmesi için esas teşkil etmiştir [31].

Chung ve Yang, kompozit malzemelerde yama tamiri üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalar tek taraflı fiber takviyeli kompozit yama ile kalın AI6061-T6 (6 mm) panellerde yorulma çatlağı büyüme davranışını karakterize etmek için yapılmıştır. Üç boyutlu sonlu elemanlar metodu kullanılarak, yorulma çatlak büyüme hızlarının deneysel olarak ölçüldüğü stres yoğunlupu faktörlerini hesaplamışlardır [32].

Pang ve Bond, doldurulmuş içi boş liflerden gelen bir akıntı etkisi ile kendi kendini onarma ve etki hasarlarının görsel olarak artmasını sağlamak için biyometrik bir yaklaşım kullanan yeni bir fiber takviyeli plastik geliştirmeye çalışmışlardır. Eğilme testinin sonuçları, incelenen tabaka için çarpma hasarından sonra kaybolan önemli bir bükülme mukavemeti oranının içi boş lifler içinde saklanan bir iyileştirici reçinenin kendi kendini onarma etkisi ile restore edilebileceğini göstermiştir [33].

Soutis yaptığı çalışmada modern uçak üretiminde kompozitlerin kullanıldığı son gelişmelerin bir incelemesini sunmakta ve fiber takviyeli polimerlerin özeliikle de karbon fiber takviyeli plastiklerin (CFRP) gelecekte yapısal kütlesinin %50' sinden fazlasına katkıda bulunabileceğini ortaya koymuştur [34].

Errouane ve diğerleri, merkezi bir çatlağı içeren alüminyum plakanın kompozit yama onarımının optimizasyonu için sayısal model geliştirmişlerdir. Yama aralarında yerleştirilmiş küçük bir yapışkan tabaka kullanılarak kırık bir alüminyum levha üzerine yapıştırılmıştır. Geliştirdikleri model ile çatlak plakalanın gerilme yükü altındaki davranışını ve bunun, yapının bütünlüğü üzerindeki yama etkisini görtermişlerdir [35].

Donadon ve diğerleri, kompozit plakaların darbe yüklemesi altındaki dinamik davranışlarını inceleyen çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalar; formülasyon ve sürekli hasar mekaniği (CDM) yaklaşımına dayanır ve ağ arıtma ve kırık düzlemi yönelimine bakılmaksızın her bir arıza modu ile ilişkili enerji yayılımının kontrolünü sağlar. Malzeme modeli katı elemanlar içinde LS-DYNA adlı sonlu elemanlar koduna uygulanmıştır ve statik / dinamik yanıtlar, absorbe edilen enerji ve hasarın boyutu

açısından deneysel sonuçları iyi bir doğrulukla yeniden üretme kapasitesine sahip olduğunu ortaya çıkartmışlardır [36].

Erçin ve arkadaşları, kompozit plakalarda merkezi deliklere yüklenen yüklerin mukavemete etkisini deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Farklı delik ölçülerine ve sabit genişlik/çap oranlarına sahip olan numuneler yarı statik yük altında ve gerilme değerleri altında test edilmiş ve artan boyutlar için mukavemet azaltımı, iki farklı yükleme durumu için ayrı ayrı ölçülmüştür [37].

Ridha ve arkadaşları, kompozitlerde hasar ilerlemesi için ileri hesaplama yöntemlerinin ve teorik modellerin ortaya çıkması, kompozit yapıların ve çoklu malzeme sistemleri ile sanal test etmenin mümkün olabileceğini göstermişlerdir. Son zamanlardaki çalışmalar, numune boyutunun ve materyal ortotropinin, kompozit plakaların açık delik gerginliği (OHT) mukavemeti üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya çıkarmışlardır [38].

Reifsnider ve diğerleri, plaka halindeki kompozit malzemelerin yük altında bozulmasını, hasar modlarının ve hasar mekanizmalarının karmaşık bir kombinasyonu ile gerçekleştirir. Reifsnider ve arkadaşları bu çalışmalarında tabakalı kompozit levhaların yorulma yükleme altındaki genel hasar geliştirme durumunu irdelemişlerdir [39].

Summerscales ve arkadaşları, reçine transfer kalıplama (RTM) tanımlı bir kalıp boşluğuna önceden yüklenmiş olan bir kuru elyaf tabakasına uzun süreli reçine akışını incelemişlerdir [40].

Giovanni ve arkadaşları, vakum infüzyon yöntemi ve geleneksel el ile serma yöntemlerinin tekrarlanan darbe yüklemesine karşı gösterdikleri davrnışları incelemişlerdir. Denizcilik uygulamaları için tasarlanmış , kalın, simetrik olmayan cam elyaf takviyeli bir plastik malzemenin 1.5, 2.5, 3.1 ve 3.8 m/s darbe hızlarındaki davranışları bu dört farklı hız için 40 tekrar ile deneye tabi tutulmuştur [41].

Rijswijk ve diğerleri, termoplastik kompozitlerin; daha yüksek tokluk, daha hızlı üretim ve geri dönüştürülebilir nitelikleri gibi termoset muadillerine göre bazı ilginç avantajlar sunduğunu gözlemlemişlerdir. Termoplastik kompozit parça üretilmesi için

reçine transfer kalıplama, vakum infüzyon ve reçine film infüzyonu gibi farklı üretim proseslei kullanılmıştır [42].

Ken ve arkadaşları, dağılabilir alan yapısı uygulamaları için karbon fiber takviyeli şekil hafızalı polimer matriks kompozitlerin deformasyonu üzerine sonuçları incelemişlerdir. Kompozitler hem saten hem düz örg lyaf mimarileri ile reçine tranfer kalıplama veya önceden emdirilmiş pre-preg laminantlar kullanılarak üretilmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda mikroskobik incelemeler, kompozitlerin baskın lokal modunun, bükümün iç yüzeyindeki karbon fiberlerin burkulması olduğu saptanmıştır [43].

Guden ve arkadaşları, E-cam dokuma kumaş polyester kompozit tüpün ve ince duvarlı alüminyum/polyester kompozit hibrid tüpün yarı statik kırma davranışına karşı kapalı hücreli köpük dolgusunun etkisini deneysel olarak incelenmişlerdir. Boş kompozit ve boş hibrid tüpler, herhangi bir tetikleme mekanizması uygulanmadan ağırlıklı olarak kademeli kırma modunda ezilmiştir. Köpük dolgusunun, kompozit tüplerin kırılma yüklerinin, boş kompozit tüp ve köpük kırma yüklerinin toplamı üzerinden arttırılmasında etkisiz olduğu bulunmuştur [44].

Valittu ve arkadaşları, çeşitli şekillerde güçlendirilmiş ısıyla sertleşen akrilik reçine test numunelerinin darbe dayanımını karşılaştırmışlardır. Her test gurubu için on adet dikdörtgen test numunesi üretilmiştir. Charpy tipi bir darbe testinde testler yapılmıştır. Sonuçlar, uygulanmayan örneklerle karşılaştırıldığında, her iki takviye türünün test numunelerinin darbe mukavemetlerini önemli ölçüde arttırdığı gözlemlenmiştir [45].

Silvia ve arkadaşları, cam elyaflar (GF), polipropilen (PP) esaslı kompozitlerde en çok kullanılan takviy maddesi olduğu için cam elyafları tercih etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada GF/PP yapışma iyileştirme yöntemleriyle ilgili doğru bir analiz yapmak ve PP in-situ polimerizasyonuna dayalı yeni bir yol önermeşlerdir [46].

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Giriş

Darbe mekaniği (impact mechanics); cisimlerin çarpışması sırasında ortaya çıkan kuvvet ve yapıların bu kuvvete vermiş oldukları dinamik cevaplarla ilgilenmektedir. Bu konu başta mühendislik uygulamaları olmak üzere; otomobillerin çarpışma testleri, dayanıklı ev aletlerinin tasarımı vb. gibi birçok alanda aktif olarak kullanılmaktadır.

2.2. Düşük Hızlı Darbe Testi

Düşük hızlı darbeleri, hedef rijitliğe ve çarpan malzemenin kütle ve sertliğine bağlı olarak 1-10 m/s aralığında meydana gelebilecek olaylar olarak tanımlayabiliriz. Düşük hızda darbeler, çalışma esnasında ve bakım faaliyetleri gerçekleştirirken ortaya çıkabilir. Bu darbe türü kompozit laminatlar üzerindeki en tehlikeli yüklerden biri olarak kabul edilirler.

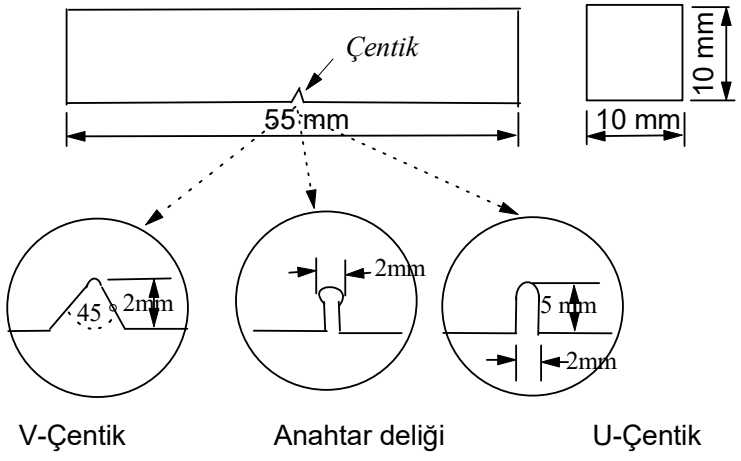
Düşük hızı darbe deneylerinde sıklıkla kullanılan metodlar aşağıdaki gibidir:

- Charpy
- Izod
- Aletli ağırlık düşürme testi

Tablo 2.1. Düşük hızlı darbe testleri [47].

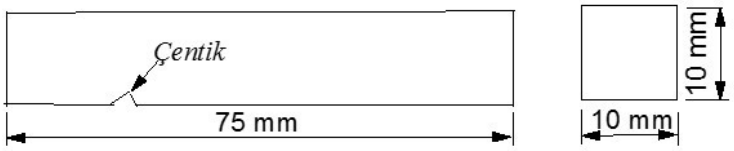
Yöntem	İşlevi
Izod ve Charpy Darbe Testi	
Ağırlık sarkacı olan büyük makineye çentikli parça yerleştirilir. Sarkaç belli bir noktaya kadar yüksektilir ve serbest düşüş yaptırılır. Sarkaç numuneye çarptığında, oluşan etki ile kırar ve tekrar yükselir. Geldiği son yükseklik ölçülerek hesaplanır.	Malzemenin sertlik direnci test edilir. Farklı dokuma yönleri ve düzlemleri olan kompozitler kaşılaştırılır.
Ağırlık Düşürme Testi	
Bir kütle belli bir yüksekliğe çıkarılır ve serbest bırakılır.	Kompozit plakaların darbe davranışları test edilir.

Charpy ve Izod darbe tesleri, bileşim veya üretim koşullarında farklı olan izotropik malzemelerin çarpma tepkisini karşılaştırmak için yaygın olarak kullanılır. Her iki darbe testi için de sarkaç kullanılır. Ancak numunelerin mesnete oturtulma biçimleri farklıdır. Charpy de numuneler yatay ve basit halinde oturtulurken Izod da dikey ve konsol kiriş halindeki bir kavrama çenesine oturtularak kırılmaktadır [48].



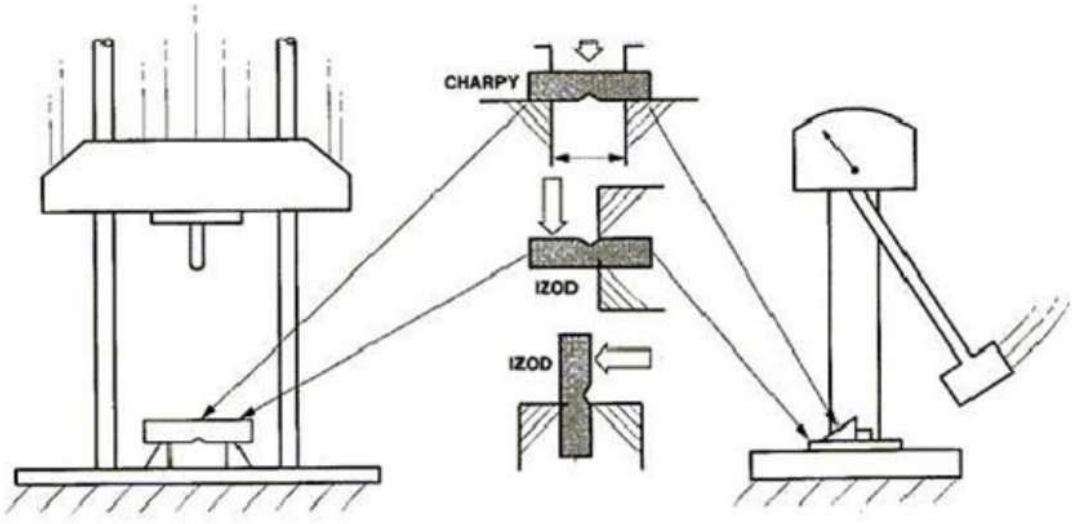
Şekil 2.1. Charpy Darbe deney şeması.

Bir diğer farkta çentiklerin malzeme üzerinde bulundukları yerdir. Charpy de numune üzerindeki çentik orta kısıma açılırken Izod numunesinde çentik üçte birlik kısıma açılır.



Şekil 2.2. Izod Darbe deney şeması.

Izod deneyinde çekiç numunenin ucuna vurularak numunenin kırılması sağlanırken, Charpy de çekiç numune üzerindeki, çentiğin ters tarafından vurularak kırılması sağlanmaktadır. Aşağıdaki Şekil 2.3.' de Charpy ve Izod deney düzeneği şeması yer almaktadır.



Şekil 2.3. Charpy ve Izod deney düzeneği.

Alınan darbe sonucunda numunede meydana gelen basınç dalgası, levha düzlemi boyunca tek boyutta yayıldığı ve bu nedenle de numune üzerinde bir basunç gerinimi oluşturduğu varsayılmaktadır.

$$\varepsilon_c = \frac{V_i}{V_s} \tag{2.1}$$

Yukarıdaki formülde yer alan V_i darbe hızı, V_s ise de malzemedeki sesin hızıdır.

Düşük hızda gerçekleştirilen darbe deneyleri (Charpy, Izod ve Aletli ağırlık düşürme testi) için darbe enerjisini hesaplamak için aşağıdaki bağıntıları kullanmamız gerekmektedir.

$$E_0 = \frac{1}{2} m V_0^2 \tag{2.2}$$

Yukarıdaki formül sayesinde çarpma öncesinde numuneye verilen maksimum enerjiyi hesaplayabiliriz. 'V_0' çekicin darbeden önceki hızı ve 'm'vurucu ucun kütleisidir.

$$W = w_h + (\frac{1}{3})\, w_b \tag{2.3}$$

'w' sistemn topla ağırlığıdır ve 'w_h' vurucu ucun ağırlığı, w_b ise de test numunesinin ağırlığıdır. Vurucu ucu, serbest düşme hareketi yapan bir cisim olarak kabul edebiliriz. O zaman şu bağıntı ortaya çıkmış olur:

$$V_0 = \sqrt{2gh_0} \tag{2.4}$$

Formüldeki h_0 düşme yüksekliğidir ve çarpma işlemi gerçekleştiği zaman, cihazın enerjisi de ΔE_0 kadar düşer.

$$\Delta E_0 = E_0 - E_f = (\frac{1}{2}) m\, (V_0^2 - V_f^2) \tag{2.5}$$

Formülasyonda kullanılan E_f numune ile vurucunun ilk temas ettiği andan, *t* zamanına kadar olan kinetik enerjisidir. V_f ise buna karşılık gelen hızdır.

İtme – momentum denklemine bakarsak;

$$\int_0^t P dt = m\, (V_0 - V_f\,) \tag{2.6}$$

Momentum denklemiyle enerjideki değişim formülleri yer değiştirilirse aşağıdaki denklemler ortaya çıkar.

$$\Delta E_0 = E_a \left[1 - \frac{E_a}{4E_0} \right] \tag{2.7}$$

$$E_a = V_0 \int_0^t P dt \tag{2.8}$$

$$\Delta E_0 = \tilde{V} \int_0^t P dt \tag{2.9}$$

Bu denklemler düzenlenirse en son aşağıdaki denklem elde edilmiş olur.

$$\tilde{V} = \left(\frac{1}{2}\right) (V_0 + V_f) \tag{2.10}$$

2.3. Yöntem

Kompozit yama ile kuvvetlendirilmiş çentikli kompozit malzemelerin düşük hızda darbe davranışlarının deneysel olarak incelenmesi aşağıdaki adımlar uygulanmıştır.

- Deney numunesinin oluşturulması ve boyutlarının ayarlanması,
- Kompozit yama ile kuvvetlendirilmiş çentikli plakanın uygun boyutlara getirilmesi,
- Yapıştırıcı malzemenin temini,
- Yapıştırma işlemi öncesinde gerekli hazırlıkların yapılması ve yapıştırma işleminin gerçekleştirilmesi,
- Üretilen yamalı numunenin test sırasındaki sınır şartlarının belirlenmesi,
- Şekil 2.4.' de gösterilen Fractovis Plus marka düşük hızlı darbe test cihası ile deneylerin gerçekleştirilmesi,
- Toplanan deneysel verilerin bilgisayar ortamında işlenmesi ve yorumlanması,

- Deney bittikten sonra makineden çıkarılan deney numunelerinin hasar analizlerinin yapılması.

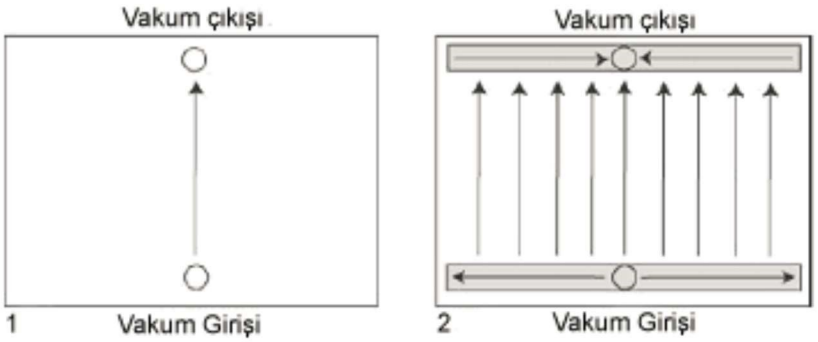


Şekil 2.4. Ceast Fractovis Plus marka düşük hızlı darbe test cihazı.

2.4. Vakum İnfüzyon Yöntemi ile Kompozit Üretimi

Vakum infüzyon yöneti; son zamanlarda farklı sanayi dallarında kompozit malzeme üretmede sıkça kullanılmaktadır. İsminden de anlaşılacağı gibi üretim aşamasında vakumlanmış bir ortamdan faydalanılan bu yöntem, imalat hazırlıkları tamamlanmış fiber liflerin içerisinde reçinenin ilerlemesi için vakum oluşturma prensibine dayanır.

Bu yöntem ile kompozitler el değmeden istenilen boyut ve şekle göre önceden hazırlanmış kalıplar sayesinde kolaylıkla üretilmektedir. Kullanılan reçinenin üretilmek istenilen kompozitlerin yapısına göre uygun viskoziteli olması ve mümkün olduğu kadar kısa bir sürede elyaflara emdirilmesi oluşan kompozitlerin kalitesi açısından son derece önemlidir [49].



Şekil 2.5. İnfüzyon yönteminde vakumun ilerlemesi [50].

Deneyler sırasında kullanılan kompozit levhalar Erciyes Üniversitesi Makine Mühendisliği mekanik laboratuvarlarında vakum infüzyon yöntemi ile üretilmiştir.

2.4.1. Üretim Aşamaları

Öncelikle deneylerde kullanılacak kompozit numuneleri, plakalar halinde üretilmekte ve daha sonra istenilen ölçülerde ve boyutlarda kesilmektedir. Bu plakalar tek yönlü liflerin 90° döndürülmesiyle üst üste katmanlar halinde üretilmektedir. Kompozit plaka üretimi için uygun lif seçimi ve bu liflerin kesimi Şekil 2.6' da gösterilmiştir.



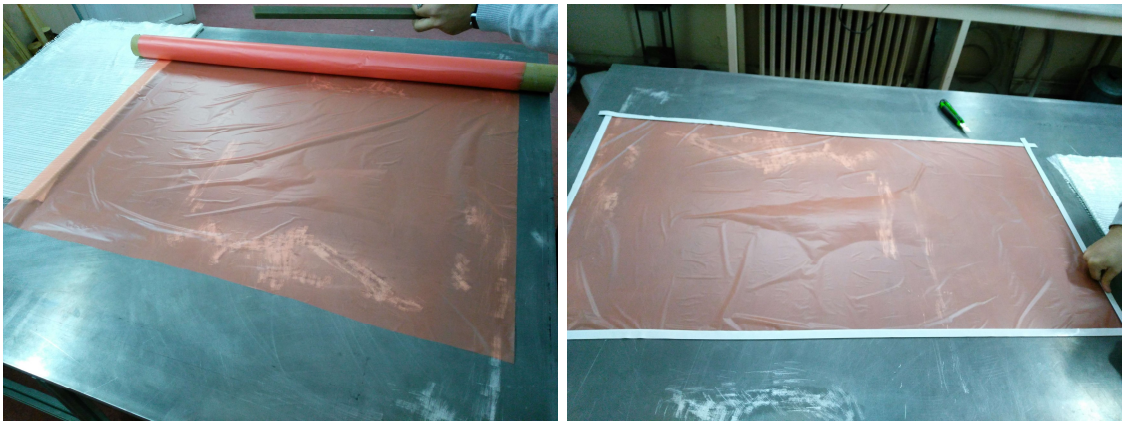
Şekil 2.6. Uygun elyaf seçilmesi ve kesim işlemi.

Üretilecek plakalar için kesilen elyaflar, üretilmek istenilen boyutlara göre kenarlardan 10'ar mm fazla pay ile kesilmelidir. Üretilecek kompozitler düz plaka şeklinde olduğu için kalıp olarak alttan ısıtmalı alüminyum masa kullanılmıştır. Bu masa 1 saat ısınma, 1 saat bekleme ve 1 saat de soğuma şeklinde 3 periyotta çalışmaktadır.



Şekil 2.7. Alttan ısıtmalı alüminyum masa.

Temizlenerek üretime hazır hale getirilen masaya önceden uygun boyutlarda keserek hazırlamış olduğumuz elyaflar altına ayırıcı bir film koymak suretiyle serilmiştir. Üretilmek istenilen kompozit arada kalacak şekilde, kesilmiş elyafların etrafına 50'şer mm geniş bir alana sızdırmazlığı sağlaması için bant yapıştırılmıştır.



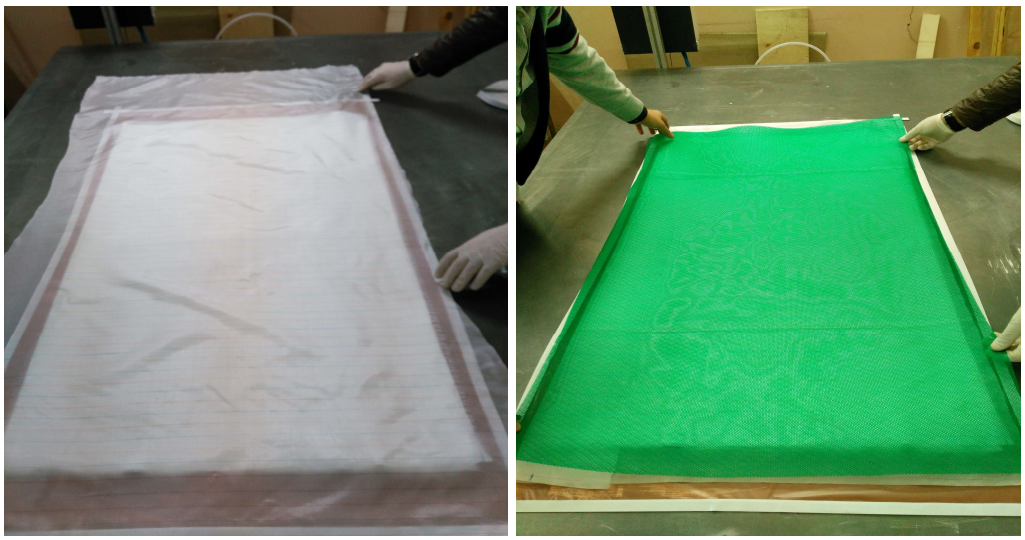
Şekil 2.8. Ayırıcı filmin serilmesi ve sızdırmazlık bandının yapıştırılması.

İstenilen boyutlarda kesilen elyaflar ayırıcı filmin üzerine (0/90) derecede iki yönlü olarak serilmiştir. Bu sayede tek yönlü olan elyafların her iki yönde de mukavemetli olması sağlanmıştır. 1mm kalınlığa erişmek için 4 adet, 2mm kalınlık içinse 8 adet fiber kumaş (0/90) derece olarak katman katman üst üste serilmiştir.



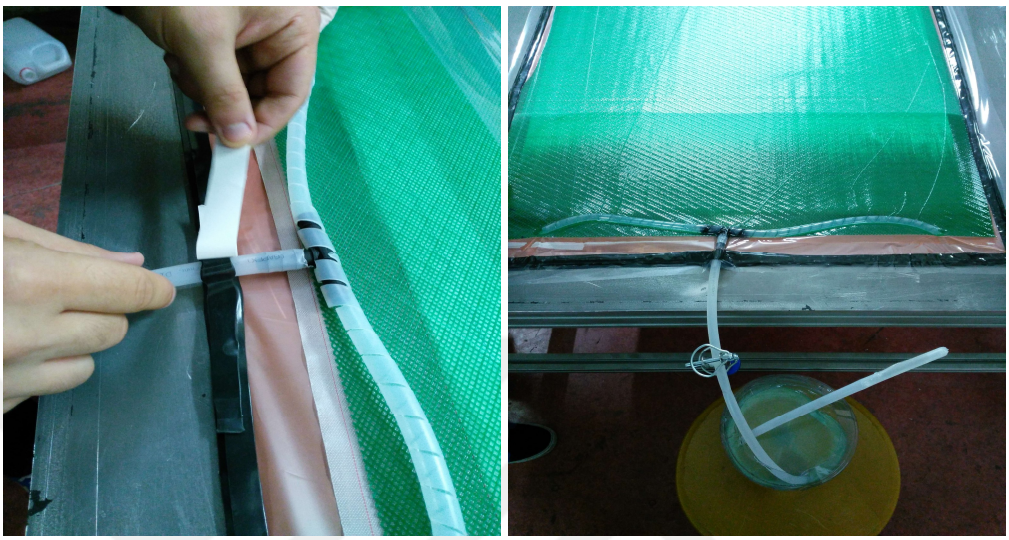
Şekil 2.9. Elyafların istenilen kalınlıkta serilmesi.

Hazırlanan elyafların üzerine tamamen kapatacak şekilde soyma kumaşı serilmiştir ve bu kumaşın üzerine de infüzyon filesi serilmiştir.



Şekil 2.10. Soyma kumaşının ve infüzyon filesinin serilmesi.

Vakum naylonu tüm malzemeleri içine alacak bir şekilde uygun boyutlarda kesilerek sistemin üzeri örtülür. Şeffaf hortum bir ucundan spiral hortuma bağlanarak T şeklini alır. Spiral hortum çözülmesin diye ayrıca bant ile yapıştırılır.



Şekil 2.11 Spiral hortumun takılması.

T şeklinde oluşturulan hortumlardan 2 adet olmalıdır. Bunlardan birisi spiral diğeri ise normal hortumdur. Spiral hortuma bağlı olan şeffaf hortum önceden hazırlamış olduğumuz sertleştirici ve epoksi karışımına daldırılır, diğer hortum ise vakum pompasına bağlanır. Sistemin sızdırmazlığından emin olduktan sonra pompa çalıştırılır. Bu sayede reçine vakum pompası yardımı ile elyafların arasından Şekil 2.12. ‘deki gibi yol almaktadır.

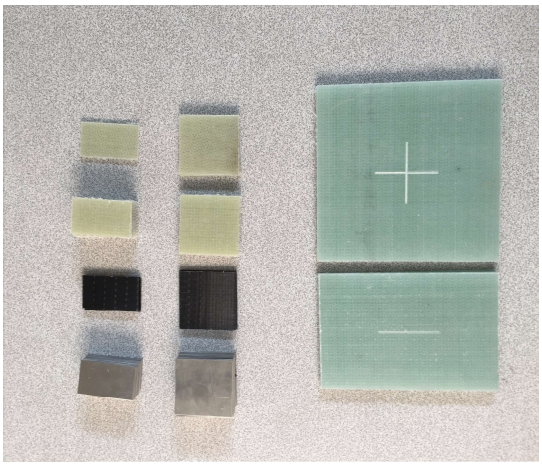


Şekil 2.12. Reçinenin vakum ile ilerlemesi.

Altında ısıtma için rezistanslar olan alüminyum masa ile :

- 1 saat oda sıcaklığından 100°C ye gelmesi,
- 1 saat 100 C de bekleme
- 1 saat 100 C den oda sıcaklığına gelmesi beklenmektedir.

Bu işlemler sonunda kompozit plakamız, üzerinden vakum naylonu, infüzyon file ve soyma kumaşı kaldırılarak kullanıma hazır hale gelmektedir. Daha sonra bu plakadan deneylerde kullanılmak üzere 30x50 (Dikdörtgen) ve 50x50 (Kare) parçalar yüksek hızlı testere yardımı ile kesilmiştir.



Şekil 2.13. Deneylerde kullanılacak numuneler.

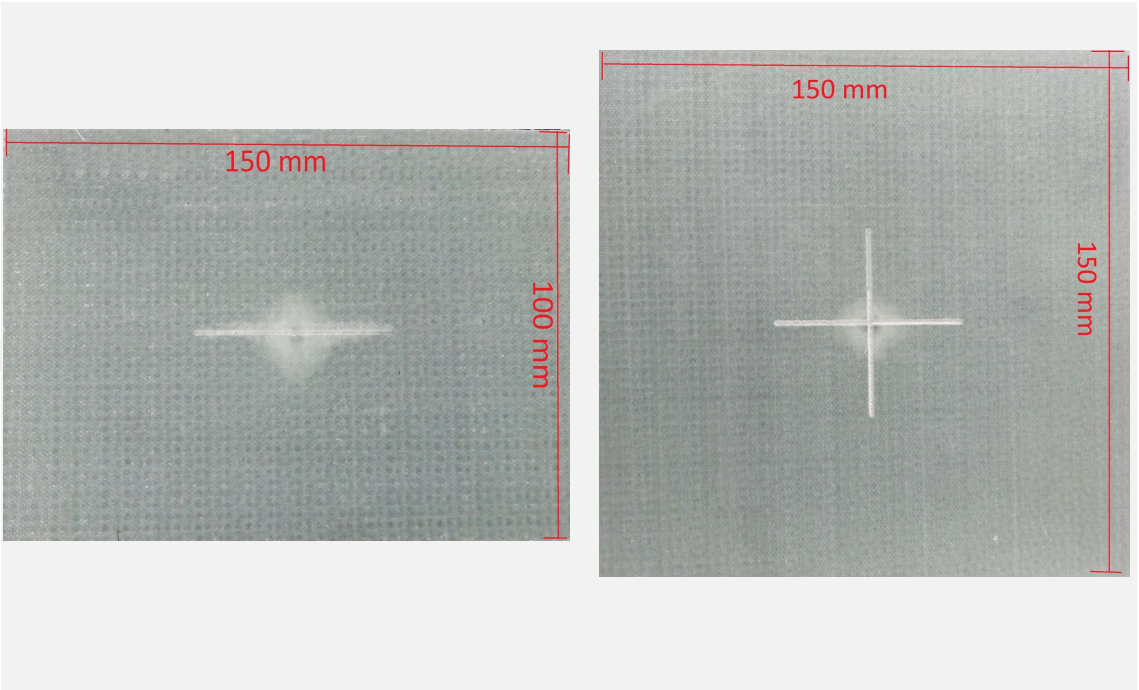
Deneylerde kullanılmak üzere plakalardan kesilen numuneler şu şekildedir:

- 18 Adet 100x150 mm Dikdörtgen Plaka
- 18 Adet 100x150 mm Kare Plaka
- 3 Adet 30x50 mm, 1mm Kalınlığında Cam Fiber Dikdörtgen Yama
- 3 Adet 30x50 mm, 2mm Kalınlığında Cam Fiber Dikdörtgen Yama
- 3 Adet 50x50 mm, 1mm Kalınlığında Cam Fiber Kare Yama
- 3 Adet 50x50 mm, 2mm Kalınlığında Cam Fiber Kare Yama
- 3 Adet 30x50 mm, 1mm Kalınlığında Karbon Fiber Dikdörtgen Yama
- 3 Adet 30x50 mm, 2mm Kalınlığında Karbon Fiber Dikdörtgen Yama
- 3 Adet 50x50 mm, 1mm Kalınlığında Karbon Fiber Kare Yama
- 3 Adet 50x50 mm, 2mm Kalınlığında Karbon Fiber Kare Yama
- 3 Adet 30x50 mm, 1mm Kalınlığında Alüminyum Dikdörtgen Yama
- 3 Adet 50x50 mm, 1mm Kalınlığında Alüminyum Kare Yama

2.5. Kompozit Levhalara Çentik Açılması

Deneylerde kullanacağımız kompozit yama ile onarılmış çentikli levhaların, yama ile onarma işlemini gerçekleştirmeden önce sağlam levhalara çentik açılarak deney düzeneğine uygun hale getirilmiştir. Çentik açma işlemi pantograf adı verilen bir tezgahta plakaların tam ortalarına gelecek şekilde açılmıştır.

Şekil 2.14 de görüldüğü gibi numunelere çentik, özel bir uç yardımı ile kompozit plakaların orta noktasına, dikdörtgen olan numunelere geometrik olarak '-'; kare olanlara ise '+' şeklinde açılmıştır.

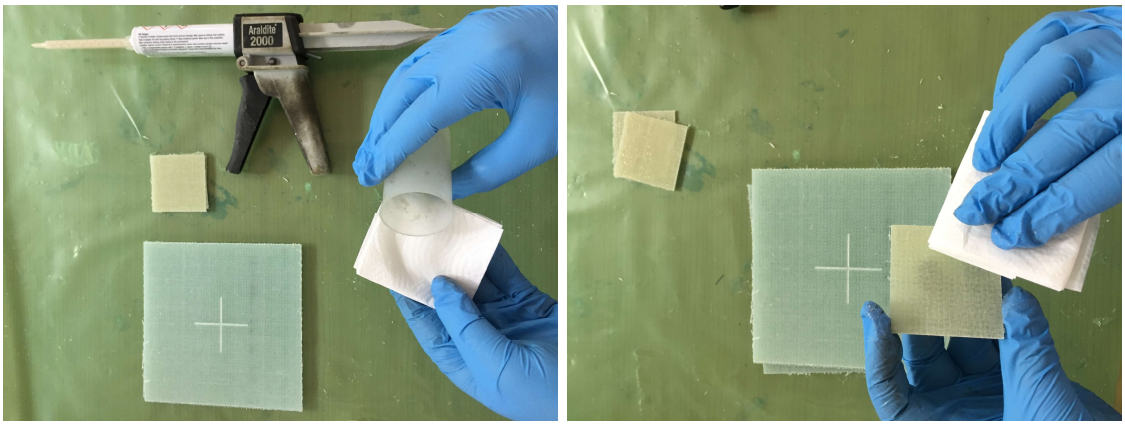


Şekil 2.14. Çentik açılan dikdörtgen ve kare numuneler.

2.6. Çentikli Kompozit Levhaların Kompozit Yama ile Tamir Edilmesi

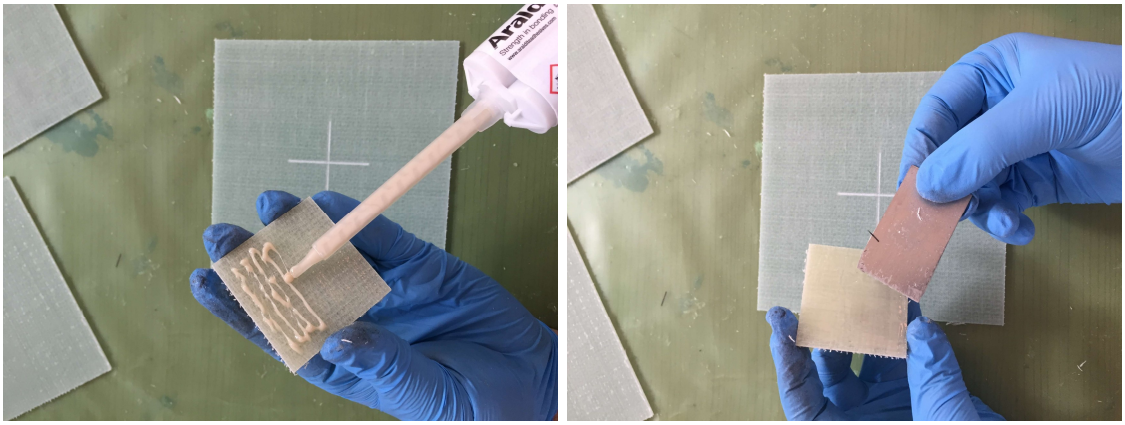
Deney numunelerini hazırlamak için çentikli kompozit plakalara kompozit yama yapıştırmak sureti ile tamir işlemini inceleyeceğiz. Yapıştırıcı malzeme olarak 'Areldite' kullanılmıştır. Bu yapıştırıcı metakrilat esaslı ve çift komponente sahip toklaştırılmış yapıştırıcı çeşitidir. 25 °C' de 18 dk gibi hızlı bir sürede kürlenmektedir. Ayrıca yüksek sıyrılma mukavemeti ile pek çok plastik, metal ve kompozit yüzey çeşitine yapışabilme özelliğine sahiptir. 100 °C' ye kadar çalışma sıcaklığına sahiptir.

Yapıştırma işlemine başlamadan önce, kompozit plaka ve yamanın yapıştırılacak yüzeyler temizlenir (Şekil 2.15).



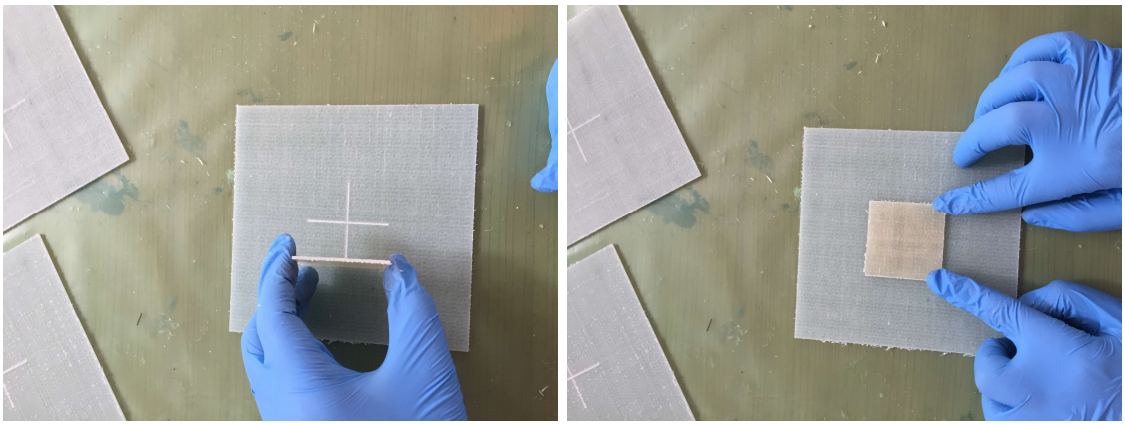
Şekil 2.15. Kompozit plakanın ve yamanın ethanol ile temizlenmesi.

Temizleme işlemi, yumuşak yüzeyli bir peçete veya kağıt havluya ethanol dökülerek silinmesiyle tamamlanmalıdır. Daha sonra 1 dk kadar bekletilerek kuruması sağlanır. Yapıştırılacak yamanın, yapışacak yüzeyine 'Araldite' adlı yapıştırıcı sıkılarak, yamanın yüzeyine iyice yedirilir. Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta vardır. Yapıştırıcı, yamanın yüzeyinde çok ince bir tabaka halinde olmalıdır. Aksi taktirde kuruması için üzerine ağırlık konulan yamalı kompozitlerde yama, yapıştırıcı maddenin fazlalığından kompozit levha üzerinde hareket ederek, çentik üzerinden kaymaktadır (Şekil 2.16 ve 2.17).



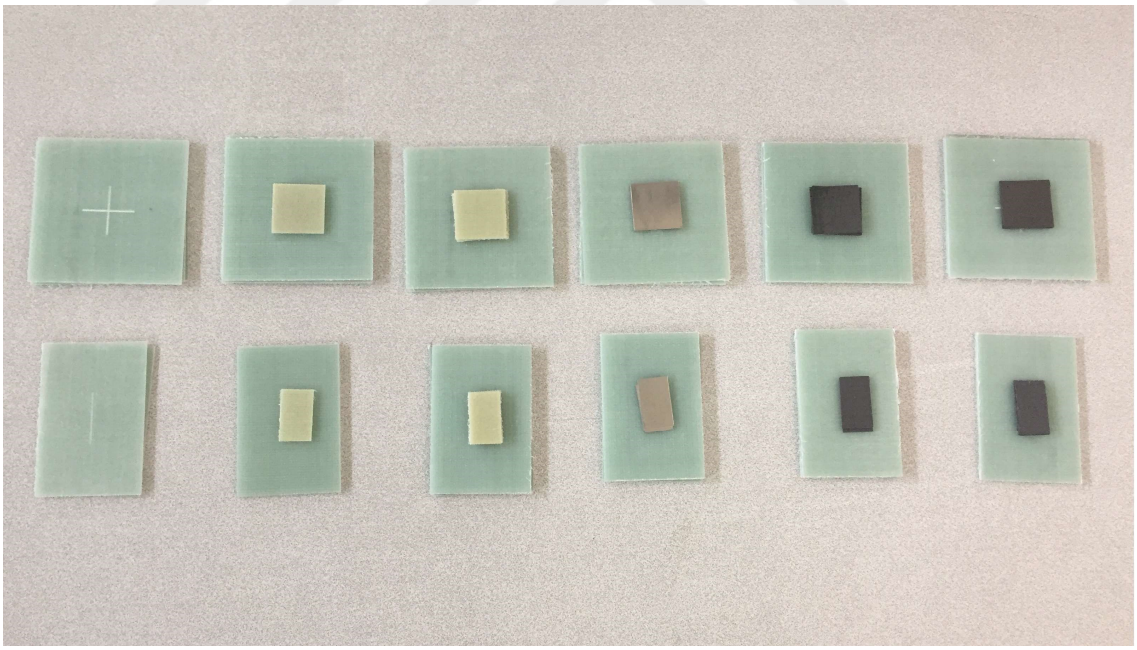
Şekil 2.16. Kompozit yamanın plakaya yapıştırılması.

Yapışma yüzeyi ince bir yapıştırıcı tabakası ile kaplanan kompozit yamalar, çentik tam yamanın ortasında kalacak şekilde üzerine getirilerek yapıştırılır.



Şekil 2.17. Çentikli kompozit plakanın yama ile tamiri.

Daha sonra yamalı kompozitlerin üzerlerine ağırlık konularak yapışmanın daha sağlıklı olması sağlanmaktadır. Numuneler bu şekilde bir gün bekletilerek deneye hazır hale getirilmiştir (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. Deneylerde kullanılacak numuneler.

3. BÖLÜM

BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1 Giriş

Kompozit yamalar ile tamir edilmiş çentikli kompozit levhaların düşük hızlı darbe davranışları 2.66, 3.77 ve 5.33 m/sn çarpma hızları altında deneysel olarak incelenmiştir. Sırası ile;

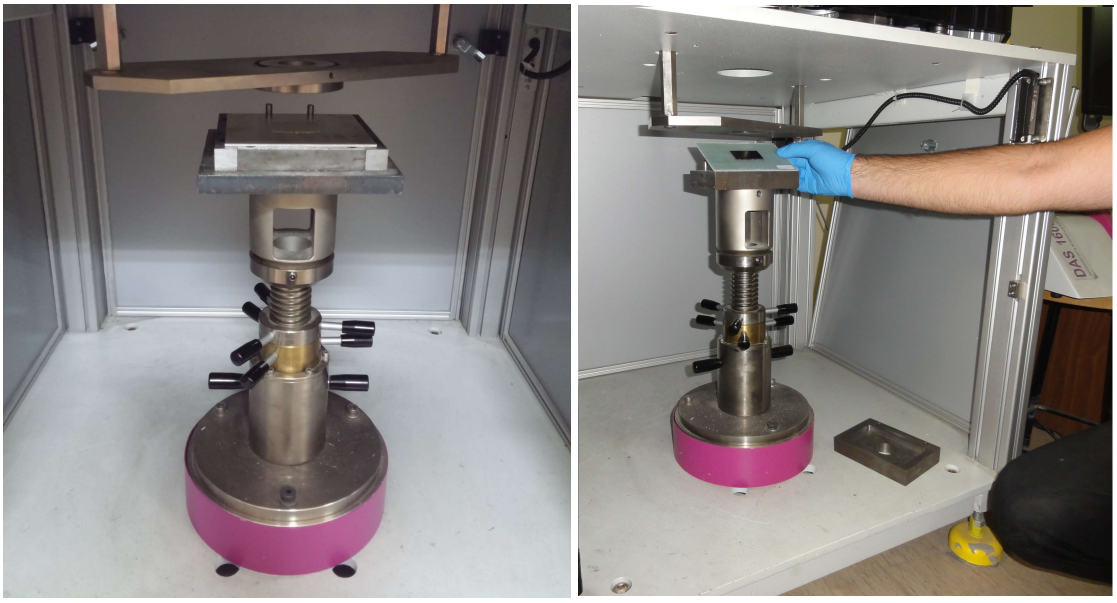
- Yamasız plakaların
- 1 mm kalınlıklı Dikdörtgen Cam Fiber yama ile tamir edilmiş plakaların
- 2 mm kalınlıklı Dikdörtgen Cam Fiber yama ile tamir edilmiş plakaların
- 1 mm kalınlıklı Dikdörtgen Karbon Fiber yama ile tamir edilmiş plakaların
- 2 mm kalınlıklı Dikdörtgen Karbon Fiber yama ile tamir edilmiş plakaların
- 1 mm kalınlıklı Dikdörtgen Alüminyum yama ile tamir edilmiş plakaların
- 1 mm kalınlıklı Kare Cam Fiber yama ile tamir edilmiş plakaların
- 2 mm kalınlıklı Kare Cam Fiber yama ile tamir edilmiş plakaların
- 1 mm kalınlıklı Kare Karbon Fiber yama ile tamir edilmiş plakaların
- 2 mm kalınlıklı Kare Karbon Fiber yama ile tamir edilmiş plakaların
- 1 mm kalınlıklı Kare Alüminyum yama ile tamir edilmiş plakaların

Kare ve dikdörtgen geometriler için 25, 50 ve 100 J enerji seviyelerinde darbe deneyleri yapılmıştır. Tüm bu deney numuneleri için darbe testleri yapılarak deformasyon geometrileri ve alanları incelenmiş ve yama ile tamir edilmiş plakaların düşük hızlı darbe davranışı sonrasında temas kuvvetlerindeki değişimler ve kinetik enerji değişimleri, numunenin darbe sonrasında çekilen görüntüleri ile kıyaslanarak incelenmiştir.

Yapılan çalışmada iki farklı çentik geometrisine sahip kompozit plakanın, farklı yama kalınlığı ve farklı yama malzemesi kullanılmasıyla düşük hızlı darbe davranışlarının deneysel olarak incelenmesi sağlanmıştır.

Şekil 3.1' de deney için hazırlanan numunelerin önceden üretilmiş olan kalıp bağlama aparatına yerleştirilmesi gösterilmiştir. Tablo 3.1' de ise deneylerde kullanılan darbe hızı ve enerjisi gösterilmiştir.

7.045 kg kütleli vurucu 100x150x2 mm boyutlarındaki kompozit plakaya sırası ile 25, 50 ve 100 J enerji seviyeleri ile düşük hızlı darbeler uygulanmıştır. Daha sonra aynı deneyler farklı yama malzemesi ve farklı yama geometrileri ile her birinden 2' şer kere olmak üzere 72 defa tekrarlamıştır.



Şekil 3.1. Numunelerin Fractovis Plus marka darbe cihazına bağlanması.

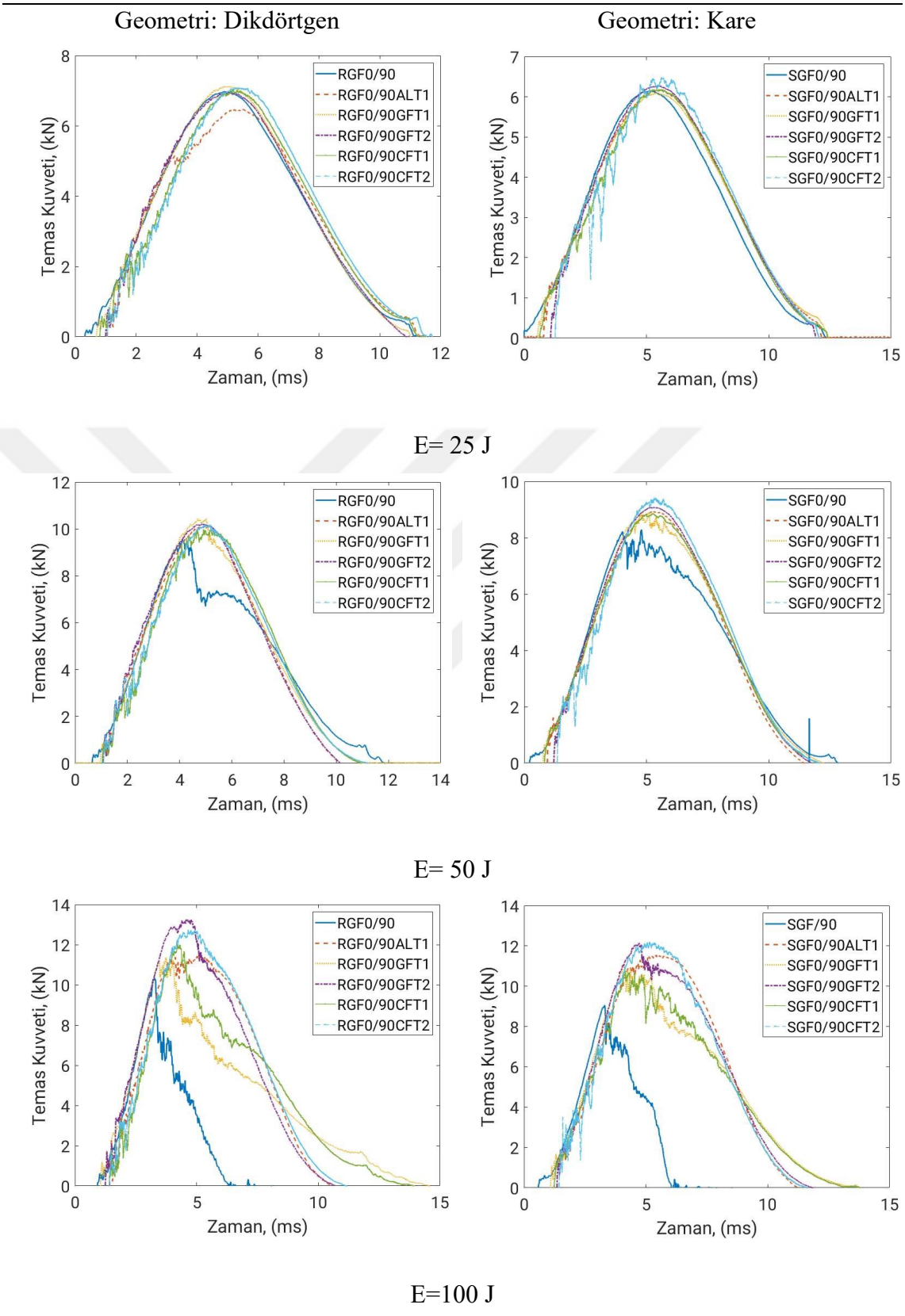
Tablo 3.1. Darbe testlerinde kullanılan enerji seviyeleri.

E (joule) Toplam Enerji	V(m/s) Çarpma hızı	M(kg) Kütle
25	2.66	7.045
50	3.77	7.045
100	5.33	7.045

3.2 Temas Kuvveti Değişiminin İncelenmesi

Şekil 3.2'de Farklı plaka geometrilerine sahip yamalı ve yamasız çentikli cam fiber kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki temas kuvveti-zaman değişimleri gösterilmiştir. Düşük hızlı darbe davranışlarında, farklı malzeme ve geometrideki kompozit yamaların farklı geometrideki çentikli plakalar üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Buna ek olarak yama işleminde kullanılan malzemelerin kalınlığının, düşük hızlı darbe testi sonuçlarına etkileri araştırılmıştır. Deneyde kullanılan tüm parametler için temas kuvveti grafikleri hazırlanmıştır ve farklı darbe enerjilerinin, darbe davranışları üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Dikdörtgen geometrili kompozit plakalar incelendiğinde, yamalı ve yamasız plakaların 25 J darbe enerjisinde hemen hemen hepsi benzer davranışlar sergilemişlerdir. Temas kuvveti değerlerini incelediğimizde en büyük temas kuvveti değeri 7 kN iken, temas süreleri ise 11 ms dolaylarındadır. Grafikleri incelediğimizde darbe enerjisinin artışına paralel olarak temas kuvvetlerinin arttığını ve maksimum 13 kN civarında olduğu görülmüştür. Yamasız kompozit plakalarda temas kuvvetinin artmayıp, hızlı bir şekilde düşüş göstermesinin sebebi ise kompozit plakanın delindiğini ve yük taşıma kabiliyetini yitirdiği göstermektedir. Bunu takiben en büyük temas kuvveti 2 mm kalınlığa sahip kompozit yamalarda görülürken, kalınlık artışının temas kuvvetini artırdığı ortaya çıkmıştır. Burada dikkat çeken başka bir nokta ise 1 mm kalınlıklı aliminyum yamalı çentikli kompozit plaka, kalınlığı 2 mm olan yamalarla birleştirilmiş çentikli kompozit plakalarla hemen hemen aynı temas kuvvetine sahiptir. Kare geometrili çentikli kompozit plakalar incelendiğinde 25 J darbe enerjisi etkisinde, bütün plakalar benzer temas kuvveti davranışı sergilemiştir. Darbe enerjisi artırıldıkça temas kuvvetlerinde farklılıklar

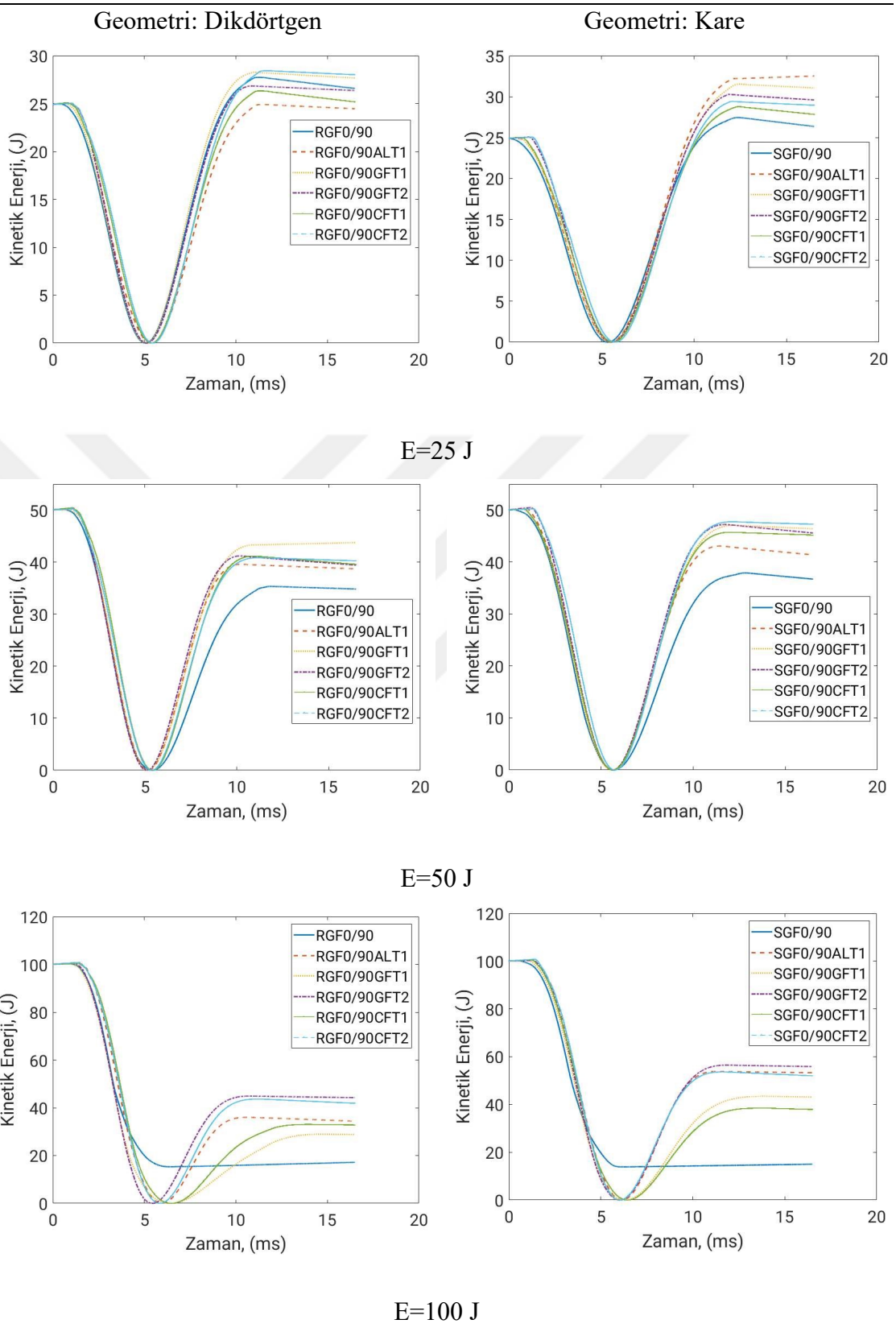
meydana gelmiştir ancak aynı kalınlığa sahip karbon fiber ve cam fiber kompozit yamalarının temas kuvvetlerinin benzer olduğu gözlemlenmiştir. Dikdörtgen geometrili kompozit malzemelerde 2 mm kalınlıklı cam fiber yamanın temas kuvveti, kare geometrili kompozit malzemelerde 2 mm kalınlıklı karbon fiber yamanın temas kuvvetinden yüksek darbe enerji seviyelerinde daha büyük olduğu ölçülmüştür. Yamasız çentikli kompozit numunelerde ve 1 mm kalınlıklı yamaya sahip kompozit numunelerin grafiklerinde ani düşüşler daha çok olduğundan bu malzemerdeki hasarların da daha büyük olduğu görülmüştür.



Şekil 3.2. Farklı plaka geometrilerine sahip yamalı ve yamasız çentikli kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki temas kuvveti-zaman değişimleri.

3.3 Kinetik Enerji Değişiminin İncelenmesi

Şekil 3.3'de Farklı plaka geometrilerine sahip yamalı ve yamasız çentikli cam fiber kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki kinetik enerji-zaman değişimleri gösterilmiştir. Darbe testindeki en önemli hususlardan biriside, malzemelerin enerji sönümleme kapasiteleridir. Fakat kompozit malzemelerin kinetik enerji değişimleri hesaplanırken, temas kuvveti-zaman grafiklerinden elde edilen sayısal veriler kullanılmıştır. Bu yüzden kinetik enerji-zaman grafiklerinde hataların olabileceği düşünülmektedir. Bu bağlamda grafikler incelendiğinde artan darbe enerjileri neticesinde, kompozit malzemelerin enerji sönümleme yeteneği artmaktadır. En büyük kinetik enerji değişimleri, darbe enerjisinin en yüksek olduğu 100 J da gözlemlenmiştir.Yamasız çentikli kompozit plakalar, artan enerji seviyelerinde delinerek enerjiyi sönümlerken, yamalı çentikli kompozit plakalar çeşitli hasarlara uğrayarak enerjiyi absorbe ettiği gözlemlenmiştir. Farklı geometriye sahip yamalı çentikli kompozit malzemeler elde edilen grafikler bütünüyle incelendiğinde benzer enerji sönümleme davranışları sergiledikleri gözlemlenmiştir. Aynı kompozit yama kalınlığına sahip çentikli kompozit plakalarda ise artan enerji seviyelerinde karbon fiber yamalı plakalarda meydana gelen hasar, cam fiber yamalı plakalarda meydana gelen hasar boyutlarından daha küçüktür.



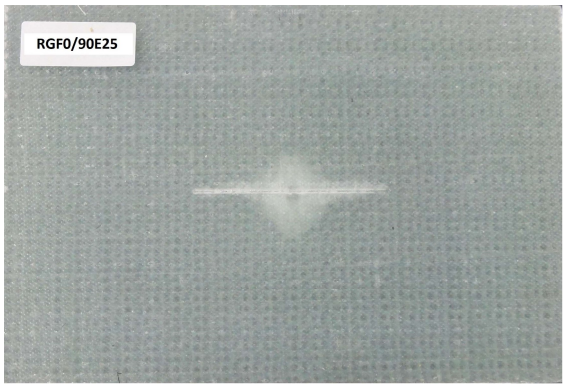
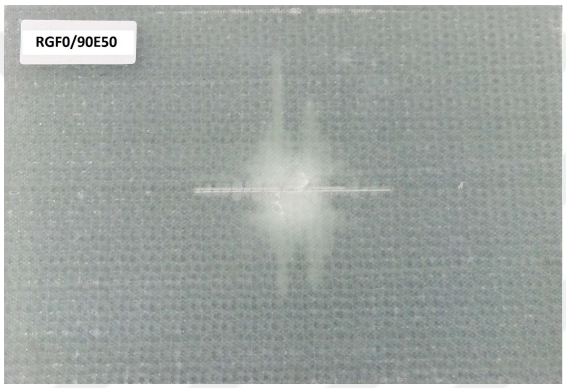
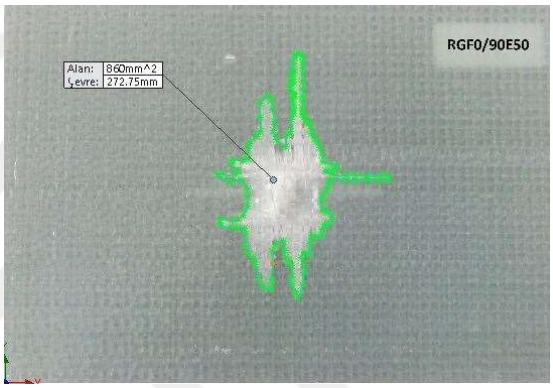
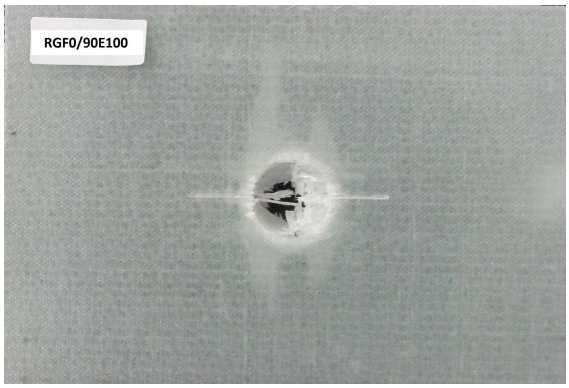
Şekil 3.3. Farklı plaka geometrilerine sahip yamalı ve yamasız çentikli kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki kinetik enerji-zaman değişimleri.

3.4 Darbe Testi Sonrasında Deformasyon Alanlarının İncelenmesi

Şekil 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9'de Dikdörtgen plaka geometrisine sahip yamasız çentikli kompozit plakaların ve sırasıyla 1 mm kalınlıklı cam fiber/epoksi, 2 mm kalınlıklı cam fiber/epoksi, 1 mm kalınlıklı karbon fiber/epoksi, 2 mm kalınlıklı karbon fiber/epoksi, 1 mm kalınlıklı aliminyum yamaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü ve alanlarını göstermektedir. Dikdörtgen geometrili yamasız çentikli kompozit plakalarda 25 J enerji seviyesinde hasar alanı 335.05 mm^2 ve herhangi bir delinme gözlenmezken, enerji seviyesinin artmasına paralel olarak hasar alanı artmaya başlamış ve son enerji seviyesi olan 100 J de hasar alanı 1190.59 mm^2 'ye çıkarak malzemede delinme meydana gelmiştir. Kompozit malzemedeki hasar ve delinme çentik geometrisinde başlamış ve bu doğrultuda ilerlemiştir. Kompozit yamalı plakalar dikkate alındığında yama kalınlığı artışının, hasar alanını azaltan yönde etkilediği gözlenmiştir. Ancak 1 mm kalınlıklı aliminyum yamanın, 2 mm kalınlıklı karbon fiber yamalı çentikli kompozit plaka ile benzer hasar ölçüleri oluşturduğu incelenmiştir. Bu davranış aliminyumun kompozit malzemelere göre daha rijit olmasından kaynaklanmaktadır. Hasar fotoğrafları ve hasar alanları birlikte ele alındığında yama kalınlıklarının, kompozit malzemelerdeki hasarı önlemede önemli ölçüde etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında temas kuvveti grafiklerinde açıkca görüldüğü üzere kompozit yama kalınlık artışının malzemeye fazladan rijitlik kazandırmıştır.

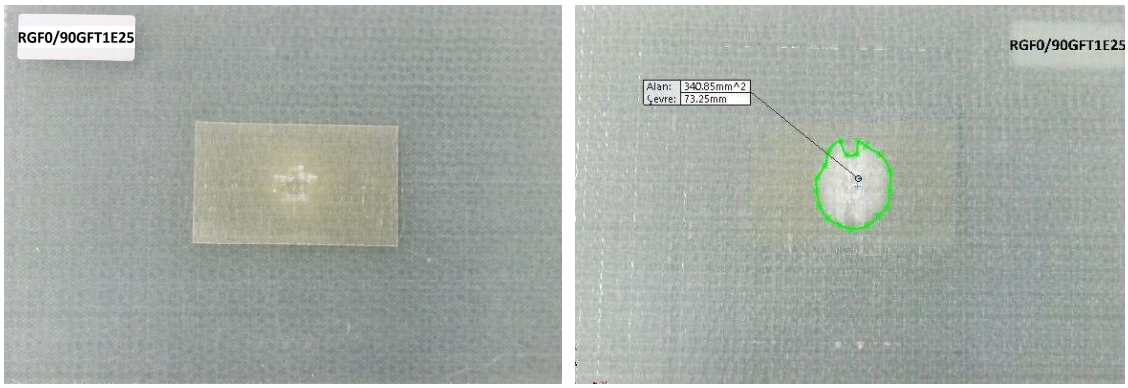
Şekil 3.10, 3.11, 3.12, 3,13, 3,14, 3.15 Kare plaka geometrisine sahip yamasız çentikli kompozit plakaların ve sırasıyla 1 mm kalınlıklı cam fiber/epoksi, 2 mm kalınlıklı cam fiber/epoksi, 1 mm kalınlıklı karbon fiber/epoksi, 2 mm kalınlıklı karbon fiber/epoksi, 1 mm kalınlıklı aliminyum yamaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü ve alanlarını göstermektedir. Hasar fotoğrafları ve hasar alanları birlikte irdelendiğinde kare geometrisine sahip çentikli kompozit plakaların hasar anlizleri dikdörtgen geometrili çentikli kompozit plakaların hasar analizlerine benzer özellik göstermiştir

Kinetik enerji ve temas kuvveti değişimleriyle birlikte hasar görüntüleri ve alanları birlikte düşünüldüğünde, kompozit malzemelerin hasarı önlemede önemli ölçüde başarılı olduğu gözlenmiştir.

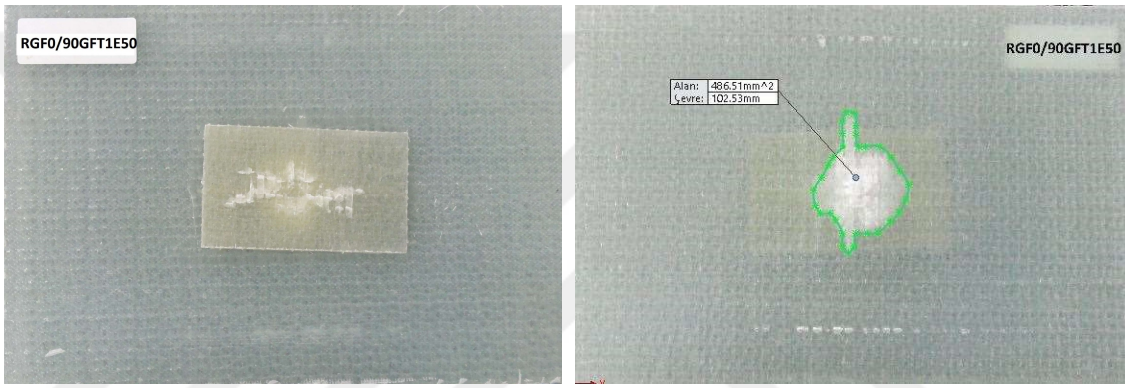
Ön görüntü	Arka görüntü
	
E= 25 J (Hasar alanı: 335.05 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 71.04 mm)	
	
E= 50 J(Hasar alanı: 860 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 272.75 mm)	
	
E= 100 J(Hasar alanı: 1190.59 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 234.90 mm)	

Şekil 3.4. Dikdörtgen plaka geometrisine sahip yamasız çentikli kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü ve alanları.

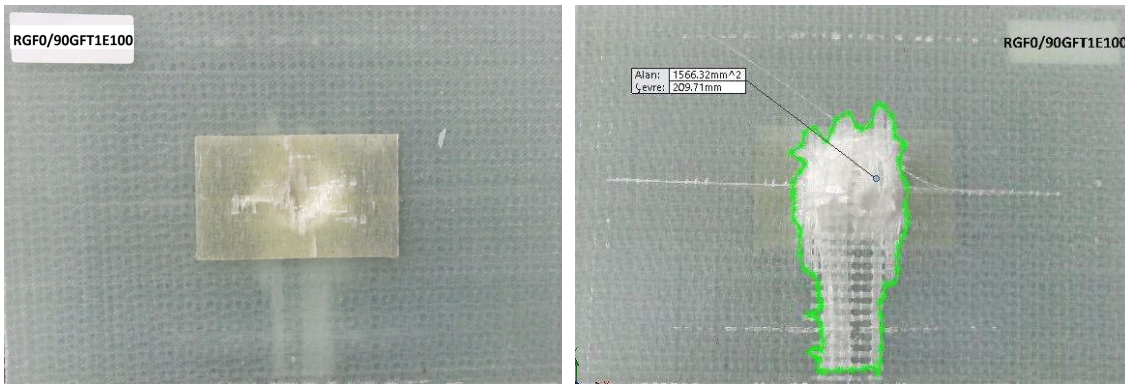
Ön görüntü	Arka görüntü



E= 25 J (Hasar alanı: 340.85 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 73.25 mm)



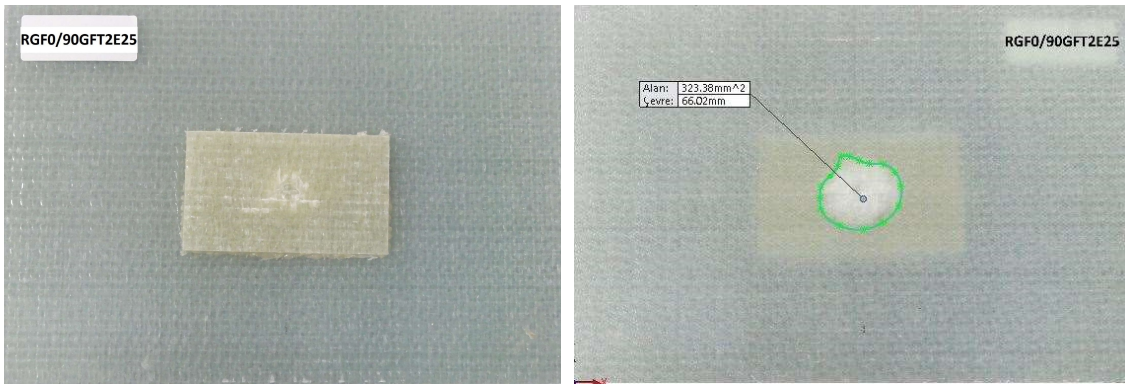
E= 50 J(Hasar alanı: 486.51 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 102.53 mm)



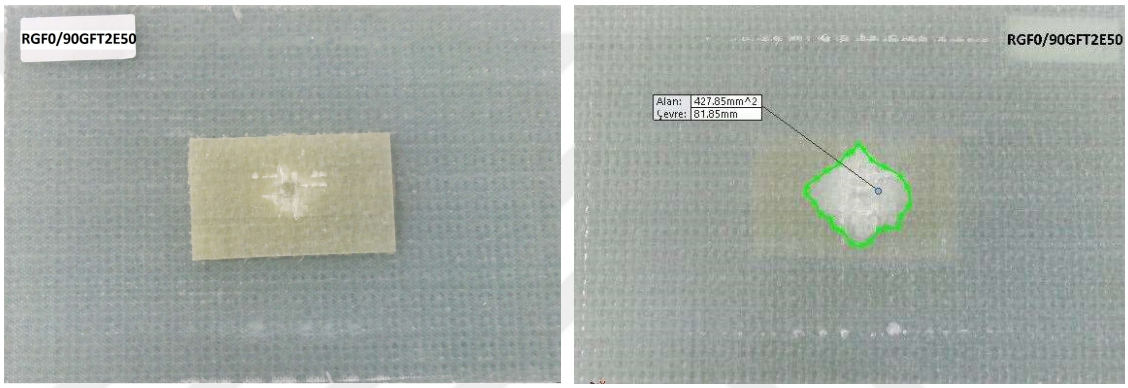
E= 100 J(Hasar alanı: 1566.32 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 209.71 mm)

Şekil 3.5. Dikdörtgen plaka geometrisine sahip 1 mm kalınlıklı cam fiber/epoksi yamalı çentikli kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü ve alanları.

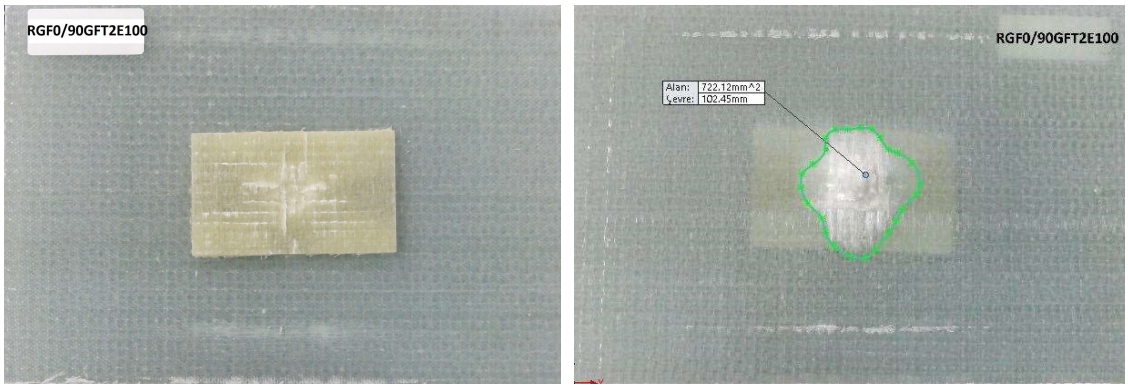
Ön görüntü	Arka görüntü



E= 25 J (Hasar alanı: 323.38 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 66.02 mm)

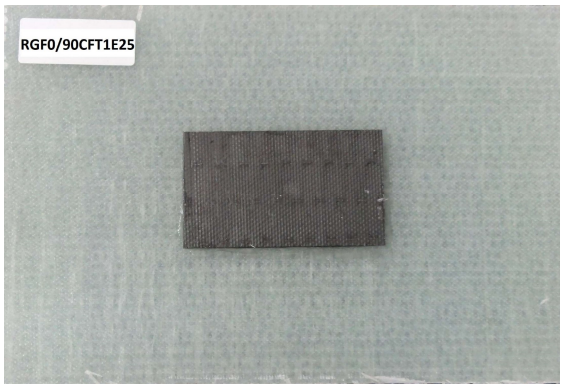
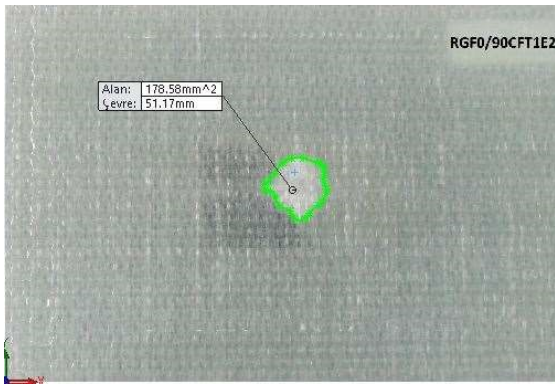
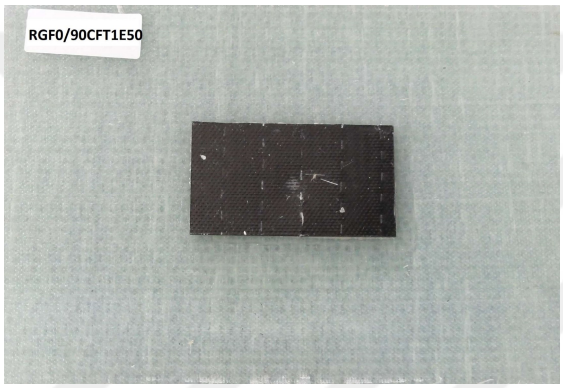
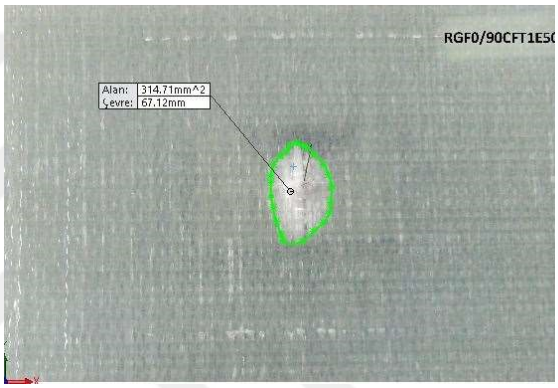
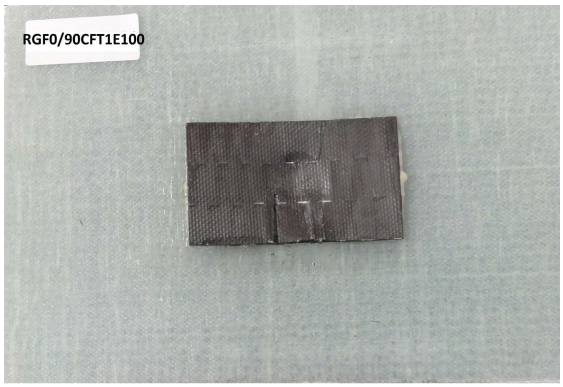
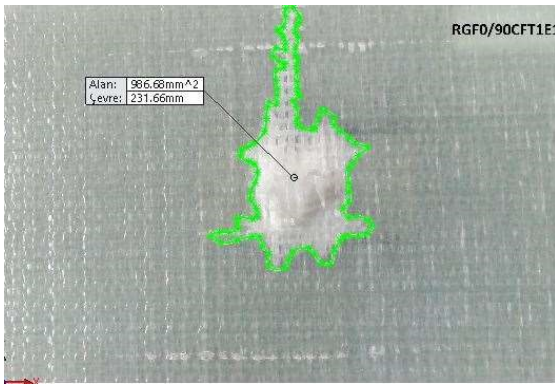


E= 50 J(Hasar alanı: 427.85 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 81.85 mm)

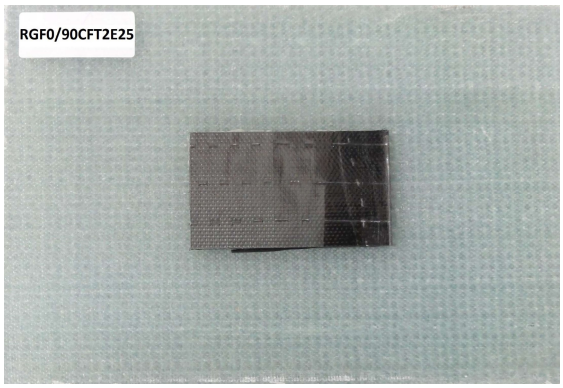
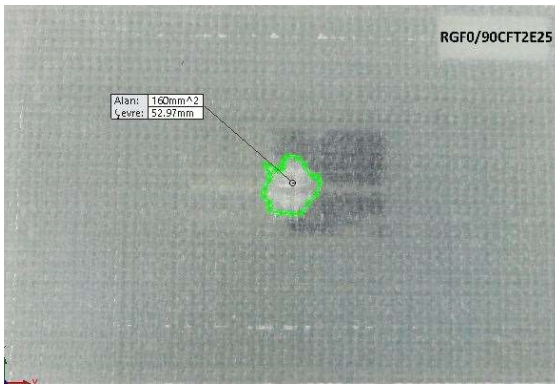
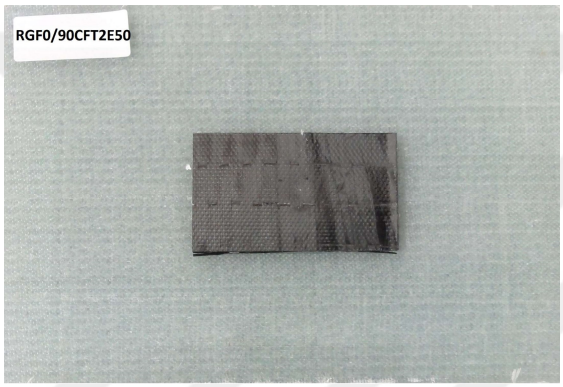
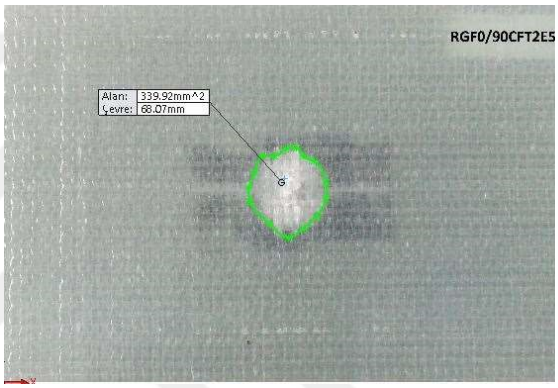
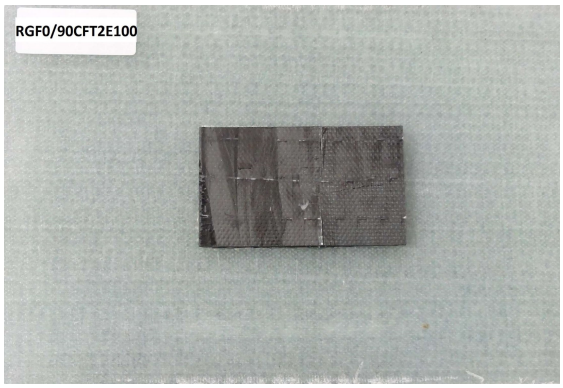
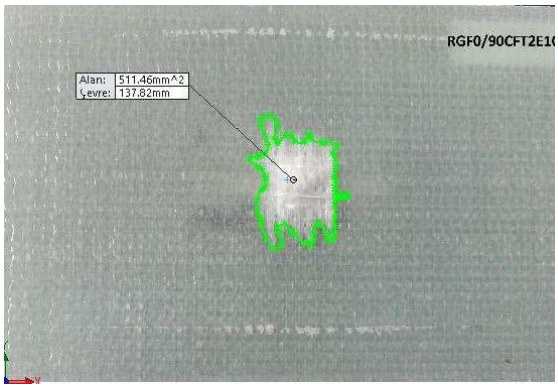


E= 100 J(Hasar alanı: 722.12 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 102.45 mm)

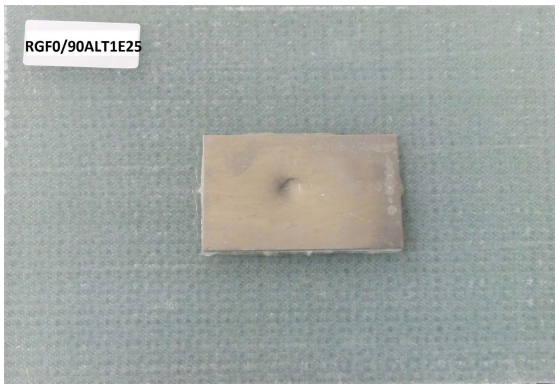
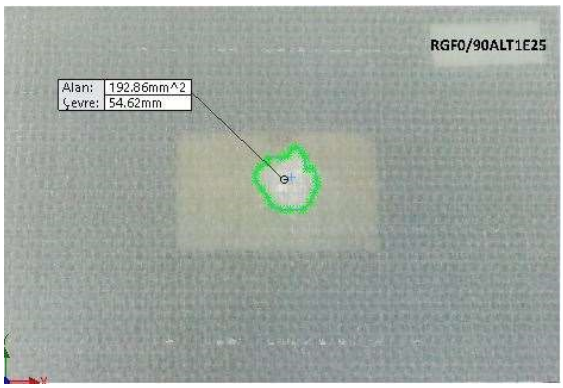
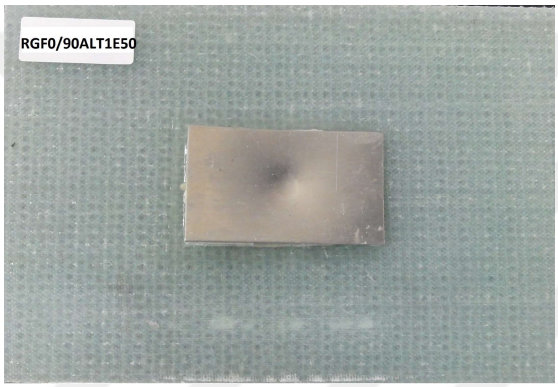
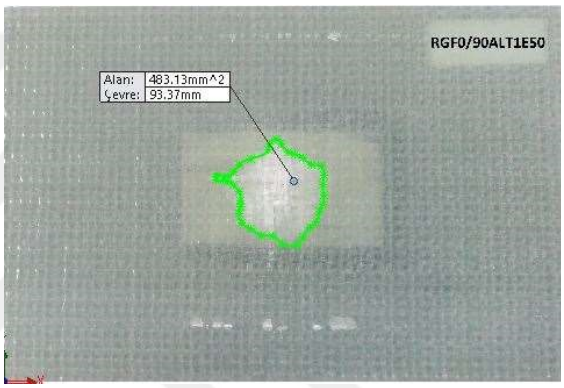
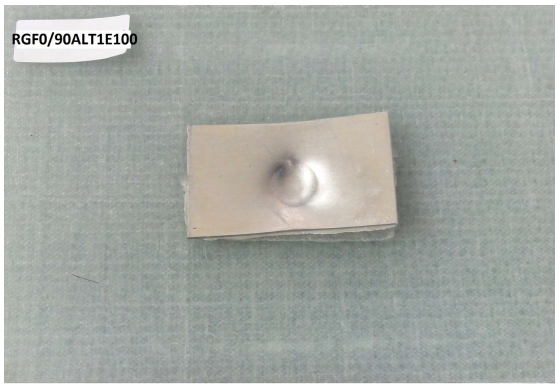
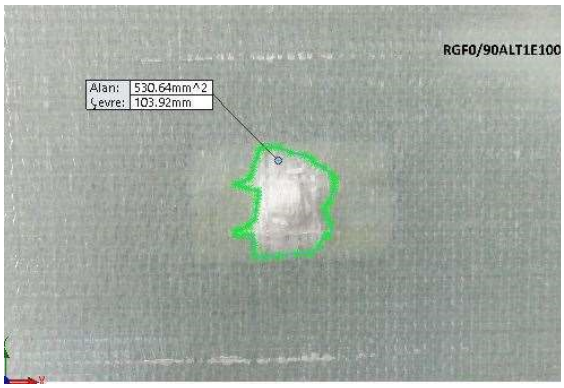
Şekil 3.6. Dikdörtgen plaka geometrisine sahip 2 mm kalınlıklı cam fiber/epoksi yamalı çentikli kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü ve alanları.

Ön görüntü	Arka görüntü
	
E= 25 J (Hasar alanı: 178.58 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 51.17 mm)	
	
E= 50 J(Hasar alanı: 314.71 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 67.12 mm)	
	
E= 100 J(Hasar alanı: 986.68 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 231.66 mm)	

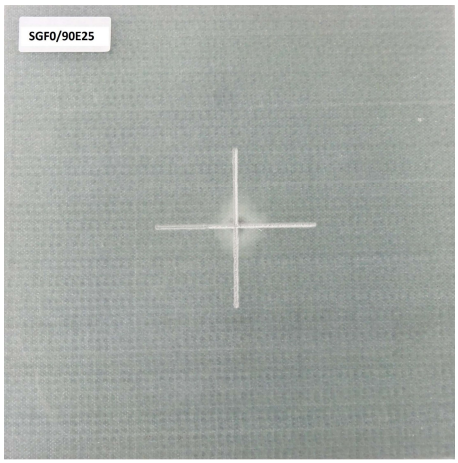
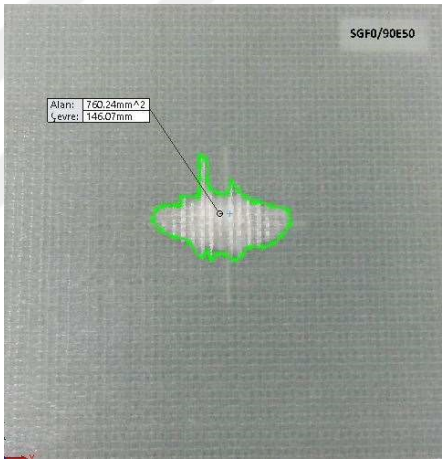
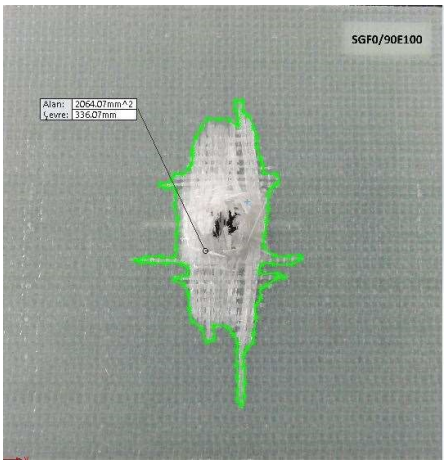
Şekil 3.7. Dikdörtgen plaka geometrisine sahip 1 mm kalınlıklı karbon fiber/epoksi yamalı çentikli kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü ve alanları.

Ön görüntü	Arka görüntü
	
E= 25 J (Hasar alanı: 160 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 52.97 mm)	
	
E= 50 J(Hasar alanı: 339.92 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 68.07 mm)	
	
E= 100 J(Hasar alanı: 511.46 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 137.82 mm)	

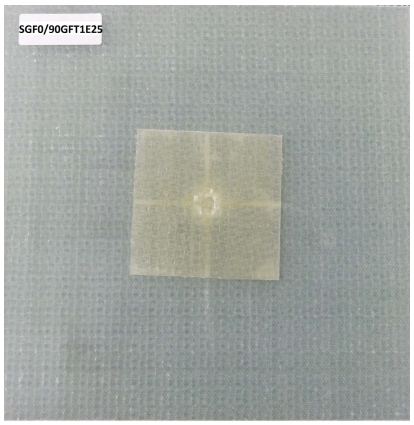
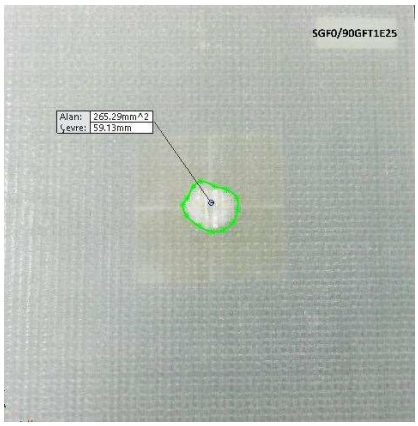
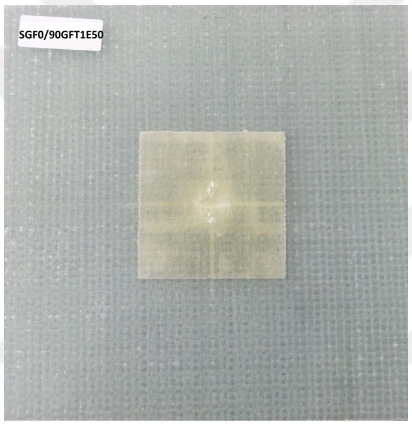
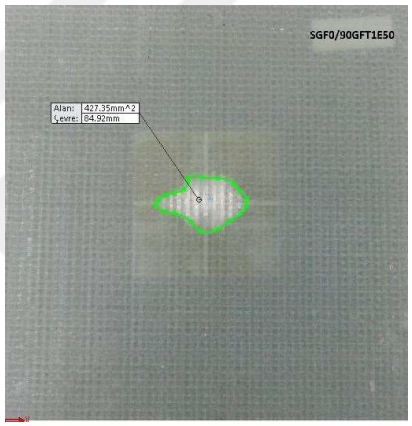
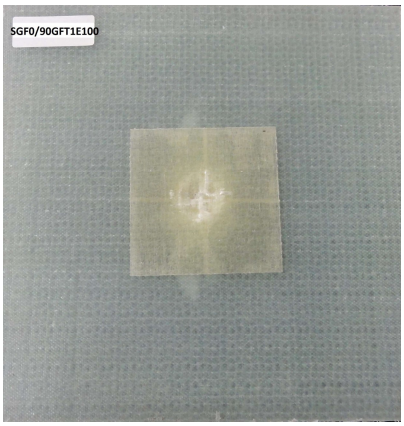
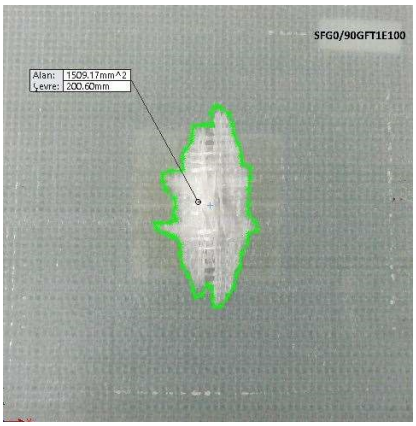
Şekil 3.8. Dikdörtgen plaka geometrisine sahip 2 mm kalınlıklı karbon fiber/epoksi yamalı çentikli kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü ve alanları.

Ön görüntü	Arka görüntü
	
E= 25 J (Hasar alanı: 192.86 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 54.62 mm)	
	
E= 50 J(Hasar alanı: 483.13 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 93.37 mm)	
	
E= 100 J(Hasar alanı: 530.64 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 103.92 mm)	

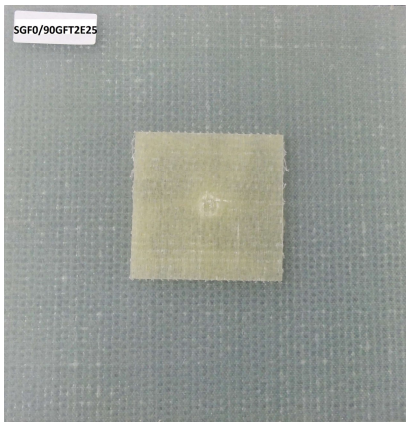
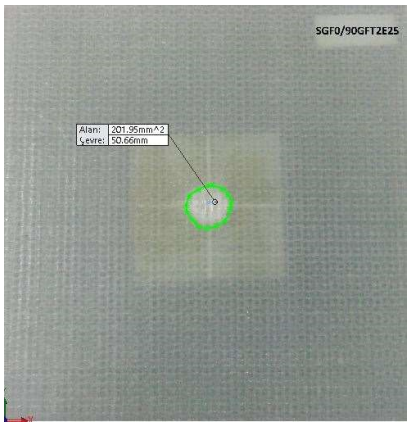
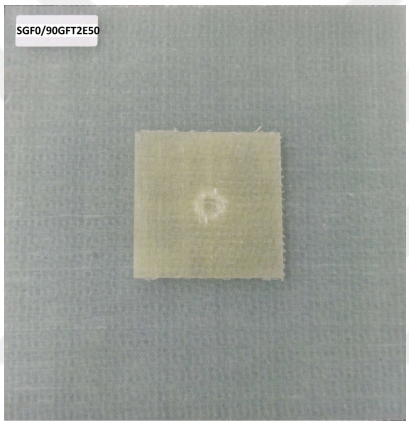
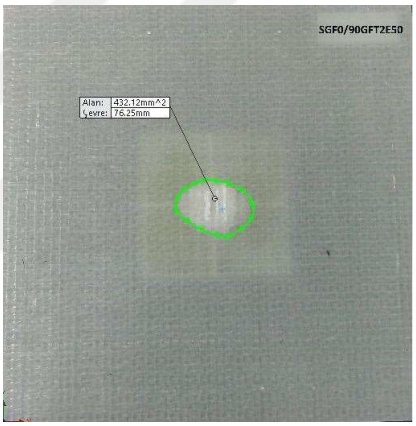
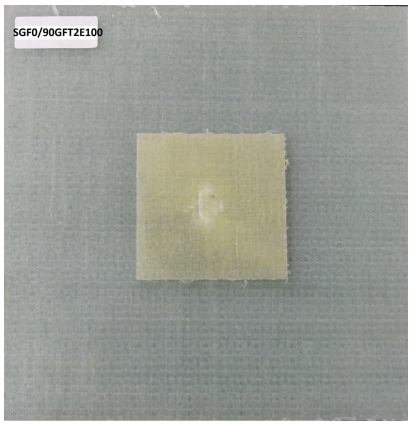
Şekil 3.9. Dikdörtgen plaka geometrisine sahip 1 mm kalınlıklı aliminyum yamalı çentikli kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü ve alanları.

Ön görüntü	Arka görüntü
	
E= 25 J (Hasar alanı: 262.12 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 59.14 mm)	
	
E= 50 J(Hasar alanı: 760.24 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 146.07 mm)	
	
E= 100 J(Hasar alanı: 2064.07 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 336.07 mm)	

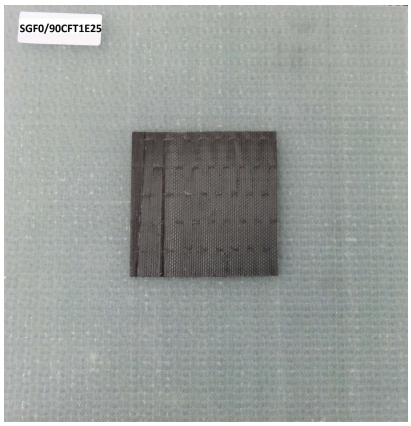
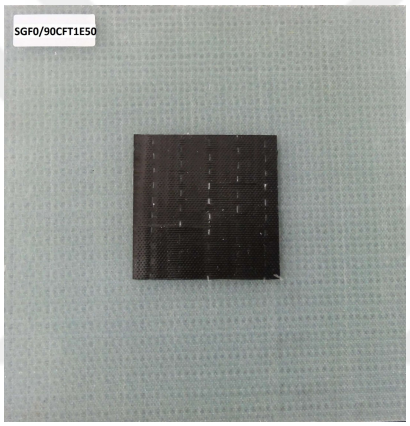
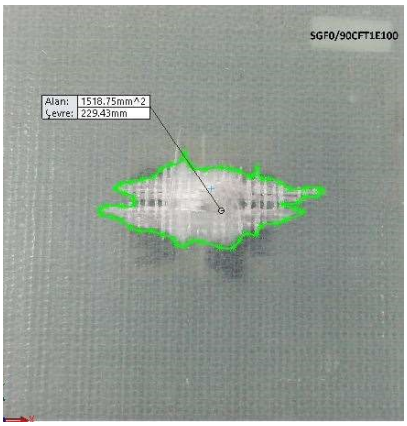
Şekil 3.10. Kare plaka geometrisine sahip yamasız çentikli kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü ve alanları.

Ön görüntü	Arka görüntü
	
E= 25 J (Hasar alanı: 265.29 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 59.13 mm)	
	
E= 50 J(Hasar alanı: 427.35 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 84.92 mm)	
	
E= 100 J(Hasar alanı:1509.17 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 200.60 mm)	

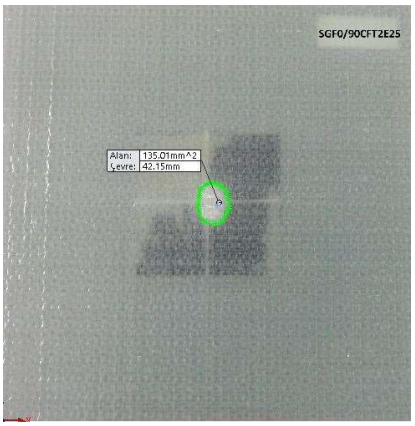
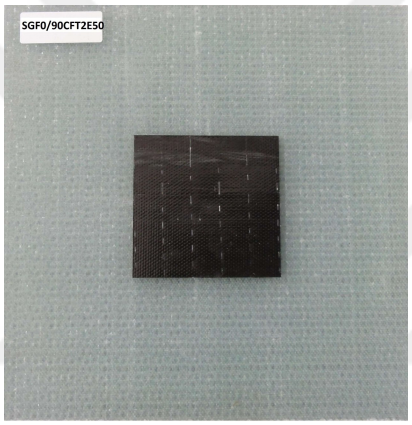
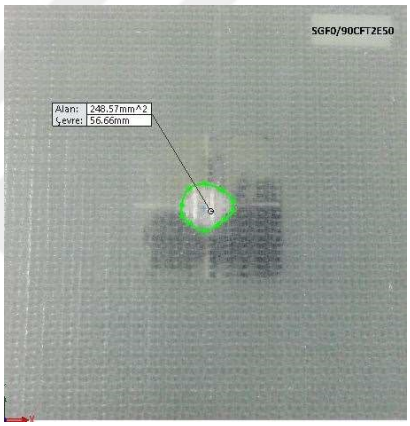
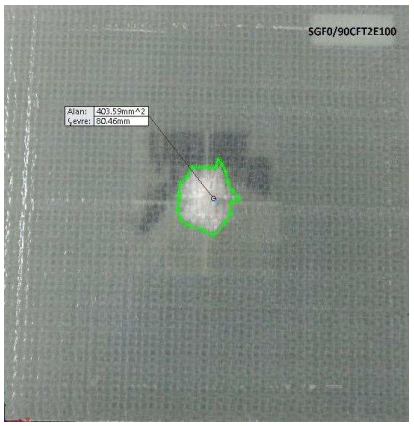
Şekil 3.11. Kare plaka geometrisine sahip 1 mm kalınlıklı cam fiber/epoksi yamalı çentikli kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü ve alanları.

Ön görüntü	Arka görüntü
	
E= 25 J (Hasar alanı: 201.95 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 50.66 mm)	
	
E= 50 J(Hasar alanı: 432.12 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 76.25 mm)	
	
E= 100 J(Hasar alanı: 559.61 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 104.46 mm)	

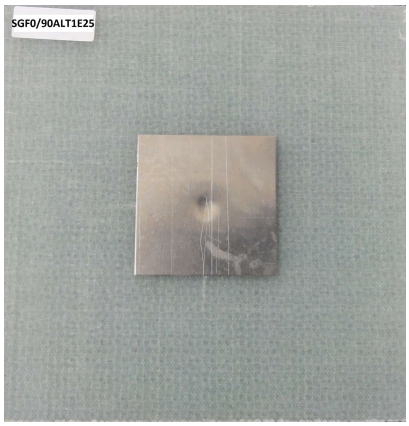
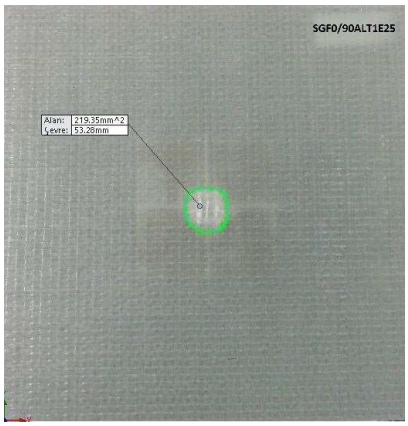
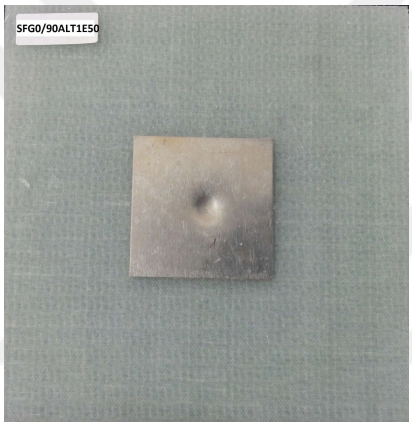
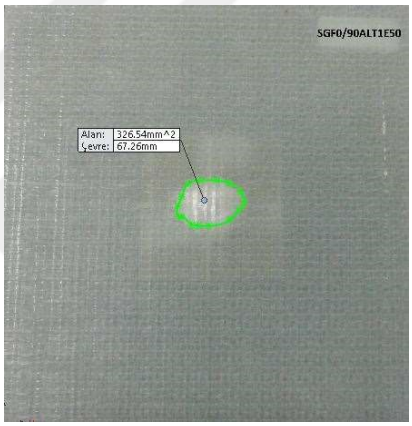
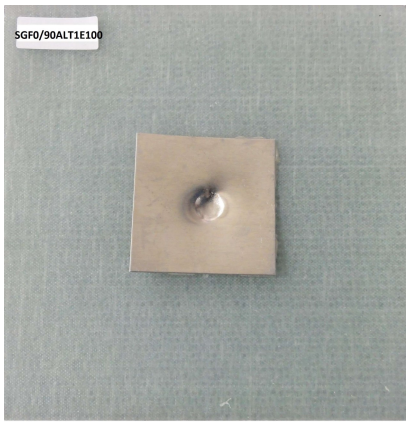
Şekil 3.12. Kare plaka geometrisine sahip 2 mm kalınlıklı cam fiber/epoksi yamalı çentikli kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü ve alanları.

Ön görüntü	Arka görüntü
	
E= 25 J (Hasar alanı: 121.91 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 40.84 mm)	
	
E= 50 J(Hasar alanı: 296.94 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 62.48 mm)	
	
E= 100 J(Hasar alanı: 1518.75 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 229.43 mm)	

Şekil 3.13. Kare plaka geometrisine sahip 1 mm kalınlıklı karbon fiber/epoksi yamalı çentikli kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü ve alanları.

Ön görüntü	Arka görüntü
	
E= 25 J (Hasar alanı: 135.01 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 42.15 mm)	
	
E= 50 J(Hasar alanı: 248.57 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 56.66 mm)	
	
E= 100 J(Hasar alanı: 403.59 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 60.48 mm)	

Şekil 3.14. Dikdörtgen plaka geometrisine sahip 2 mm kalınlıklı karbon fiber/epoksi yamalı çentikli kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü ve alanları.

Ön görüntü	Arka görüntü
	
E= 25 J (Hasar alanı: 219.35 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 53.28 mm)	
	
E= 50 J(Hasar alanı: 326.54 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 67.26 mm)	
	
E= 100 J(Hasar alanı: 695.44 $mm^{2,}$ hasar çevresi: 106.98 mm)	

Şekil 3.15. Dikdörtgen plaka geometrisine sahip 1 mm kalınlıklı aliminyum yamalı çentikli kompozit plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü ve alanları.

4. BÖLÜM
SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1.Sonuç ve Öneriler

Bu tez çalışmasında kompozit yama ile tamir edilmiş çentikli kompozit malzemelerin düşük hızlı darbe davranışları incelenmiştir. Temas kuvveti, kinetik enerji değişimleri, deformasyon alan ve geometrileri ile birlikte hasar görüntüleri incelenerek analiz edildiğinde kompozit yama kullanarak hasarın tamirinin başarılı bir uygulama olduğu saptanmıştır.

Vakum infüzyon yöntemi tek taraflı elyaf kullanılarak 4 kat ve 8 kat üst üste 0/90 derece olacak şekilde serilerek; 1 ve 2 mm kalınlığa sahip Cam Fiber ve Karbon Fiber plakalar üretilmiştir. Bu plakalardan Cam Fiber plakalar 150x150 mm kare ve 100x150 mm dikdörtgen olarak kesilerek çentik açılmak üzere deney numunesi oluşturulmuştur. Yamalar ise 30x50 mm dikdörtgen ve 50x50 mm kare olmak üzere Cam Fiber, Karbon Fiber ve Alüminyum malzemelerden 1mm ve 2mm kalınlıklarda olmak üzere üretilmiştir. 25 ,50 ve 100 J darbe enerjilerinin numuneye etkisini gözlemlemek için her bir yamadan 3'er adet hazırlanmış ve 3'er adette kare ve dikdörtgen geometriler olmak üzere yamasız numuneler hazırlanmıştır. Deney doğrulaması için; tüm malzeme ve yama çeşitlerinin üç farklı hıza göre darbe deneyleri 2'şer defa yapılmıştır ve ortalaması alınmıştır. Toplamda 72 adet numune denenmiştir.

Yapılan bu deneylerde asıl amaç, oluşan hasarı minimize etmekle birlikte deformasyon geometrisinin de olabildiğince düzgün olmasını sağlamaktır. Enerji sönümleme kabiliyetinin olabildiğince yüksek, plastik deformasyonların ise olabildiğince düşük olması hedeflenmektedir. Bu nedenle son yıllarda mühendislik uygulamalarında kompozit malzemeler oldukça sık kullanılmaya başlanmıştır.

Yama Malzemesinin Hasar Davranışına Etkisi: Yapılan deneylerin neticesinde, alüminyum yamanın, cam fiber ve karbon fibere kıyasla akma mukavemetinin düşük olmasından dolayı daha fazla plastik deformasyona uğradığı gözlemlenmiştir. Karbon fiber yamanın ise cam fiber yamaya göre daha gevrek olmasından dolayı daha fazla hasara uğradığı ve delaminasyon oluşmaları gözlemlenmiştir.

Yama Kalınlığının Hasar Davranışına Etkisi: Deneylerde kullanılan 1mm ve 2mm yamalar incelendiğinde, ince olan tabakanın kalın olana göre daha fazla sündüğü ve hasarı ana malzemeye daha fazla geçirdiği gözlemlenmiştir. Hasarlı yüzey alanları da incelendiğinde; 2mm yama ile tamir edilmiş çentikli kompozit plakanın, 1mm yama ile tamir edilmiş çentikli kompozit plakaya göre oluşan hasar yüzeyleri bakımından daha küçük bir alana sahip olduğu görülmüştür.

Yama Geometrisinin Hasar Davranışına Etkisi: Kompozit plakalar, yama geometrisinin hasar davranışına etkisi olup olmadığını incelemek için; dikdörtgen plakaya eksi, kare plakaya ise artı şeklinde çentik açılarak deneylerde kullanılmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda; darbe enerjisinin 25’ den 100 J ‘e yükselmesi ile tüm numuneler aynı tepkisi göstermiştir. Numunelerde meydana gelen hasar alanları büyüyerek temas kuvveti ve çökmeler artmıştır.

Darbe enerjisi veya darbe hızının artması numuneler üzerinde yapılan işi de arttırmaktadır. Oluşan deformasyonun elastik kısmı ağırlık sistemini geri iterken, plastik kısmı ise malzeme üzerinde kalıcı hasarlara neden olmuştur.

Darbe enerjisinin büyüklüğüne göre, önce matris çatlamaları, delaminasyon oluşması ve ilerlemesi son olarak da elyaf kopması ile nüfuziyet gözlemlenmiştir. Özellikler yamasız numunelerde her iki geometri içinde 100 J ‘da elyaf kopması ile nüfuziyet tespit edilmiştir.

Düşük hızlı darbeye maruz kalan malzemelerde, delinmiş olan parça, aynı şartlarda delinmemiş olan parçaya göre daha düşük mekanik özellik sergiler. Bunun sebebi ise şudur: Delinmeyen malzemede harcanan enerjinin büyük kısmı delaminasyonda harcandığı için malzemenin iç yapısında zayıflama olduğu düşünülür.

KAYNAKÇA

1. Ersoy, H.Y., 2001. Kompozit malzeme, İstanbul: Literatür Yayıncılık.
2. Mallick, P., 1993. Fiber reinforced composites. Department of Mechanical Engineering University of Michigan-Deaborn, Michigan.
3. Mallick, P., 2008. Fiber reinforced composites, materials, manufacturing and design (3rd ed.), USA: CRC Press.
4. Şahin, Y., 2006. Kompozit Malzemelere Giriş (Genişletilmiş 2. basım), İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım.
5. Sjoblom, P.O., Hartness, J.T., and Cordell, T.M., 1988. On low velocity impact testing of composite materials, **Journal of Composite Materials, 22(1):**30-52
6. Shivakumar, K., Elber, W., and Illg, W., 1985. Prediction of low velocity impack damage in thin circular laminates**, AIAA Journal, 23:**442-449
7. Aviation Investigated Report A14Q0068, 2014. **www.tsb.gc.ca/ENG/rapports-reports/aviation/2014/a14q0068/a14q0068.asp,** (Erişim tarihi: Mart 2018).
8. Kadala E.E., Gregory W.E., 1996. Repair of Composite Boat Damage, Surface Damge Repair.
9. S&P AFS Havalandırma Sistemleri A.Ş., 2018. **www.solerpalau.com.tr/urunler/aluminyum-folyo-bantlar/bant2,** (Erişim tarihi: Mayıs 2018).
10. Repairing a Fiberglass Hole, 2018. **www.knowhow.napaonline.com/how-to-repair-fiberglass-body-panels,** (Erişim tarihi: Haziran 2018).
11. Oğuz, B., 2017. Prepreg Teknolojisi ile Üretilen Kompozit Malzemelerin Performanslarının Araştırılması. Pamukkale Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 62.
12. Surplus Carbon Fiber, 2018. **www.surpluscarbon.com/product-page/toray-t800-prepreg,** (Erişim tarihi: Mayıs 2018)
13. Rotem, A., Lifshitz, J.M., 1971. Longitudinal Strength of Unidirectional Fibrous Composite Under High Rate of Loading. Proc. 26th Annual Tech. Conf. Soc. Plastic Industry Reinforced Plastics, Composites Division, Washington DC, **Section 10-G**: pp1-10.
14. D. Tzetzis, P. J. Hogg, 2006. Bondline Toughening of Vacuum Infused Composite Repairs. **Composites: Part A, 37:** 1239-1251.

15. Mencattelli, L., Borotto, M., Cugnoni, J., Lazzeri, R., Botsis, J., 2018. Analysis and Evaluation of Friction Effect on Mode II Delamination Testing. **Composite Structures: 190 (2018) 127-136**

16. Motuku, M., Vaidya, U. K., Janowski, G. M., 1999. Parametric Studies on Self-Repairing Approaches for Resin Infused Composites Subjected to Low Velocity Impact. **Smart Materials and Structures, Volume 8**, Number 5.

17. Jeon, S.J., Lee, J.J., Kim, J. K., Huh, J. S., 1999. Low Velocity Iımpact and Delamination Buckling Behavior of Composite Laminates with Embedded O ptical Fibers. **Smart Materials and Structures, Volume 8**, Number 1.

18. Kim, E. H., Rim, M. S., Lee, I., Hwang, T. K., 2013. Composite Damage Model on Continuum Damage Mechanics and Low Velocity Impact Analysis of Composite Plates. **Composite Structures, Volume 95**, Pages: 123-134

19. Bernhardt, S., Ramulu, M., Kobayashi, A. S., 2006. Low Velocity Impact Response Characterization of a Hybrit Titanium Composite Laminate. **Journal of Engineering Materials and Technology,** Volume 129: 220-226, pages 7.

20. Dursun, T., Soutis, C., 2014. Recent Developments in Advanced Aircraft Aluminium Alloys. **Materials & Design, Volume 56**, Pages: 862-871.

21. Belingardi, G., Vadori, R., 2003. Influence of Laminate Thickness in Low Velocity Impact Behavior of Composite Material Plate. **Composite Sstructures**, 61, 27-38.

22. Patrick, M. S., Jyi-Jiin, L., Isaac, M. D., 2005. Low Velocity Impact Behavior of Composite Sandwich Ppanels. **Composite Part A: Applied Science and Manufacturing, Volume 36**, Issue 10, Pages 1389-1396.

23. Giovanni, B., Roberto, V., 2002. Low velocity Impact Tests of Laminate Glass-Fiber-Epoxy Matrix Composite Material Plates. **International Journal of Impact Engineering**, **Volume 27**, Issue 2, Pages 213-229.

24. Baker, A. A., 1984. Repair of Cracked or Defective Metalic Aircraft Components with Advanced Fibre Composites an Overview of Australian Work. **Composite Structures**, **Volume 2**, Issue 2, Pasges 153,181.

25. Ayatollahi, M. R., Hashemi, R., 2007. Computation of Stress Intensity Factors (K1,K2) and T-stress for Cracks Reinforced by Composite Patching. **Composite Structures**, **Volume 78**, Issue 4, Pages 602,609.

26. Baker, A. A., 1984. Fibre Composite Repair of Cracked Metalic Aircraft Components-Practical and Basic Aspects. **Composites**, **Volume 18**, Issue 4, Pages 293-308.
27. Dae, C. S., Jung, J. L., 2002. Fatigue Crack Growth Behavior of Cracked Aluminum Plate Repaired with Composite Patch. **Composite Structures**, **Volume 57**, Issues 1-4, Pages 323-330.
28. Schubbe, J. J., Mall, S., 1999. Investigation of a Cracked Thick Aluminum Panel Repaired with a Bonded Composite Patch. **Engineering Fracture Mechanics**, **Volume 63**, Issue 3, Pages 305,323.
29. Jones, R., Callinan, R. J., 2007. Finite Element Analysis of Patched Cracks. **Journal of Structural Mechanics**, **Volume 7**, Issue 2, Pages 107-130.
30. Lee., W. Y., Lee, J. L, 2004. Successive 3D FE Analysis Technique for Characterization of Fatigue Crazck Growth Behavior in Composite-Repaired Aluminum Plate. **Composite Structures**, **Volume 66**, Issues 1-4, Pages 513-520.
31. Ong, C. L., Chu, R. C., Ko, T. C., Shen, S. B., 1990. Composite Patch Reinforcement of Cracked Aircraft Upper Longeron Analysis and Specimen Simulation. **Theoretical and Applied Fracture Mechanics**, **Volume 14**, Issue 1, Pages 13-26.
32. Chung, K. H., Yang, W. H., 2003. A Study on the Fatigue Crack Growth Behavior of Thick Aluminum Panels Repaired with a Composite Patch. **Composite Structures**, **Volume 60**, Issue 1, Pages 1-7.
33. Pang, J. W. C., Bond, I. P., 2005. A Hollow Fibre Reinforced Polymer Composite Encompassing Self-Healing and Enhanced Damage Visibility. **Composites Science and Technology**, **Volume 65**, Issues 11-12, Pages 1791-1799.
34. Soutis, C., 2005. Fibre Reincorced Composites in Aircraft Construction. **Progress in Aerospace Sciences**, **Volume 41**, Issue 2, Pages 143-151.
35. Errouane, H., Sereir, Z. Chateauneuf, A., 2014. Numerical model for Optimal Design of Composite Patch Repair of Cracked Aluminum Plates under Tension. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, **Volume 49**, Pages 64,72.
36. Donadon, M. V., Iannucci, L., Falzon, B. G., Hodgkinson, J. M., Almeida, S. F. M., 2008. A Progressive Failure Model for Composite Laminates Subjected to Low Velocity Impact Damage. **Computers & Structures**,**Volume 86**, Issues 11-12, Pages 1232-1252.

37. Erçin, G. H., Camanho, P.P., Xavier, J., Catalanotti, G., Mahdi, S., Linde, P., 2013. Size Effect on the Tensile and Compressive Failure of Notched Composite Laminates. **Composite Structures**, **Volume 96**, Pages 736-744.
38. Ridha, M., Wang, C. H., Chen, B. Y., Tay, T. E., 2014. Modelling Complex Progressive Failure in Notched Composite Laminates with Varying Sizes and Stacking Sequences. **Applied Science and Manufacturing**, **Volume 58**, Pages 16-23.
39. Reifsnider, K. L., Talug, A., 1980. Analysis of Fatigue Damage in Composite Laminates. **International Journal of Fatigue**, **Volume 2**, Issue 1, Pages 3-11.
40. Summerscales, J., Searle, T. J., 2005. Low Pressure (Vacuum Infusion) Techniques for Moulding Large Composite Structures. **Journal of Materials**, Pages 2041-3076.
41. Belingardi, G., Cavartota, M. P., Paolino, D. S., 2008. Repeated Impact Response of Hand Lay-Up and Vacuum Infusion Thick Glass Reinforced Laminates. **International Journal of Impact Engineering**, **Volume 35**, Pages 609-619.
42. Rijswijk, K., Bersee, H. E. N., 2007. Reactive Processibg of Textile Fiber-Reinforced Thermoplastic Composites. **Applied Science and Manufacturing**, **Volume 38**, Pages 666-681.
43. Gall, K., Mikulas, M., Munshi, N. A., 2000. Carbon Fiber Reinforced Shape Memory Polymer Composites. **Journal of Intelligent Material Systems and Structures**, Online ISSN: 1530-8138
44. Guden, M., Yüksel, S., Taşdemirci, A., Tanoğlu, M. 2007. Effect of Aluminum Closed-Cell Foam Filling on the Quasi-Static Axial Crush Performance of Glass Fiber Reinforced Polyester Composite and Aluminum/Composite Hybrid Tubes. **Composite Structures**, **Volume 81**, Pages 480-490.
45. Valittu, P. K., Vojtkova, H., Lassila, V. P., 2009. Impact Strength of Denture Polymethyl Methacrylate Reinforced with Continuous Glass Fibers or Metal Wire. **Acta Odontologica Scandinavica**, **Volume 53**, Pages 392-396.
46. Etcheverry, M., Barbosa, S. E., 2012. Glass Fiber Reinforced Polypropylene Mechanical Properties Enhancement by Adhesion Improvement. **Materials**, **Volume 5**, Pages 1084-1113.
47. Duell, J. M., 2004. Impact Testing of Advanced Composites. **Advanced Topics in Characterization of Composites,** S 1,Pages 97-112.

48. Hufenback, W., 2008. Charpy Impact Test on Composite Structures. **Composites Science and Technology**, **Volume 68**, Pages 2391-2400.

49. Genç, Ç., 2006. Cam Elyaf Takviyeli Plastiklerin Üretim Yöntemlerinin Deneysel Karşılaştırması. Kocaeli Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.

50. Sapuan, S. M., Ham, K. W., Ng, K.M., Woo, C.K., Ariffin M.K.A., Baharudin, B.T.H.T., Faieza A.A., Supeni, E.E., Jalil, N.A.A., 2009. Design of Composite Racing Car Body for Student Based Competition. **Scientific Research and Essay**, **Vol 4**, Pages 1151-1162.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı:	Ercan YILDIZ
Uyruğu:	Türkiye (T.C)
Doğum Tarihi ve Yeri:	04.08.1991- Ankara
Medeni Durum:	Bekar
e-mail:	ercannyildizz@gmail.com
Yazışma Adresi:	Ata Mah. Iğdır Cad. Parkyaman Evleri Eryaman/ Ankara

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği	Okuyor
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği	2015
Lise	Hasanoğlan Fen Lisesi, Ankara	2009

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2016-Halen	STAR Refinery (Aegean Refinery)	Kalite Mühendisi
2015-2016	TANAP (Trans Anatolian Natural Gas Pipeline)	Makine Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce

Almanca