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

KOMPOZİT VE METAL YAMALARLA TAMİR EDİLMİŞ ÇENTİKLİ METAL PLAKALARIN DÜŞÜK HIZLI DARBE DAVRANIŞLARINA YAMA ÖZELLİKLERİNİN ETKİSİ

Hazırlayan
Ayşe YILDIZ

Danışman
Doç. Dr. Recep EKİCİ

Yüksek Lisans Tezi

Temmuz 2018
KAYSERİ

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

KOMPOZİT VE METAL YAMALARLA TAMİR EDİLMİŞ ÇENTİKLİ METAL PLAKALARIN DÜŞÜK HIZLI DARBE DAVRANIŞLARINA YAMA ÖZELLİKLERİNİN ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Ayşe YILDIZ

Danışman
Doç. Dr. Recep EKİCİ

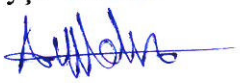
Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 216M519 kodlu proje ile desteklenmiştir.

Temmuz 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.

Ayşe YILDIZ



"Kompozit ve Metal Yamalarla Tamir Edilmiş Çentikli Metal Plakaların Düşük Hızlı Darbe Davranışlarına Yama Özelliklerinin Etkisi" adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi' ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan
Ayşe YILDIZ

Danışman
Doç. Dr. Recep EKİCİ

Makine Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Necdet ALTUNTOP

Doç. Dr. Recep EKİCİ danışmanlığında **Ayşe YILDIZ** tarafından hazırlanan **"Kompozit ve Metal Yamalarla Tamir Edilmiş Çentikli Metal Plakaların Düşük Hızlı Darbe Davranışlarına Yama Özelliklerinin Etkisi"** adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

/ 07 / 2018

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Recep EKİCİ

Üye : Prof. Dr. Zeynep Gül APALAK

Üye : Doç. Dr. Yusuf CÜNEDİOĞLU

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 14/08/2018 tarih ve 2018/36-15 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

14 / 08 / 2018

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ/TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca gerek akademik bilgisiyle gerek durumlara olan farklı bakış açısıyla yardım ve katkılarını esirgemeyen danışmanım sayın Doç. Dr. Recep EKİCİ hocama, tez çalışmam sırasında bilgi birikimini ve yardımını esirgemeyen sayın Dr. Umut ÇALIŞKAN'a, iyi ve kötü günde her zaman yanımda olan ve beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan annem Gülay YILDIZ'a , kardeşlerim Özlem ARI'ya, Ali YILDIZ'a ve Nail YILDIZ'a, göstermiş olduğu sabır anlayış ve desteğinden dolayı eşim Rıza BAYAZIT'a, yakın zamanda aramıza katılacak olan kızımız Deniz BAYAZIT'a, tezimi yazmamda en büyük desteği sağlayan arkadaşım Ayşegül MURAT'a teşekkür ederim.

Ayrıca 216M519 numaralı proje ile bu yüksek lisans tezimi destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, bölümümü seçmemde ve bitirmemde en büyük katkıyı sağlayan, maalesef bugünümü göremeyen rahmetli babam Nihat YILDIZ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayşe YILDIZ

Temmuz 2018, KAYSERİ

KOMPOZİT VE METAL YAMALARLA TAMİR EDİLMİŞ ÇENTİKLİ METAL PLAKALARIN DÜŞÜK HIZLI DARBE DAVRANIŞLARINA YAMA ÖZELİKLERİNİN ETKİSİ

Ayşe YILDIZ

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

ÖZET

Bu çalışmada, kompozit yamalarla tamir edilen çentikli metal plakaların düşük hızlı darbe davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Bu kapsamda, kullanılan kompozit yamanın, kalınlığı ve takviye fiber malzemesinin, tamir edilen malzemelerin darbe davranışları üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel çalışmanın ilk aşamasında laboratuvar ortamında vakum infüzyon tekniği ile farklı kalınlıkta tabakalı kompozit yamalar üretimi gerçekleştirildi. Daha sonra, temin edilen alaşımlı alüminyum plakalar numune boyutlarına getirilerek üzerlerine farklı tipte çentikler açıldı. Bu aşamanın ardından, uygun boyutlarda kesilen tabakalı kompozit yamalar, endüstriyel bir yapıştırıcı ile iki farklı tipteki çentiğe sahip metal plakalara yapıştırıldı. Deneysel çalışmanın son aşamasında, iki farklı geometri ve çentiğe sahip tamir edilmeyen çentikli ve tamir edilen numunelere farklı hızlarda düşük hızlı darbe deneyleri yapıldı. Darbe deney sonuçları kuvvet-zaman ve kinetik enerji-zaman grafikleri, hasar görüntüleri ele alınarak irdelenmiştir. Kompozit yama ile tamir edilmiş çentikli alüminyum levhaların yama ve çentik geometrisinin yanı sıra, yama boyutlarının düşük hızlı darbe altındaki hasar davranışlarına etkileri incelenmiştir. Temas kuvveti ve kinetik enerji değişimleri ile birlikte deformasyon geometrileri ve hasar görüntüleri birlikte düşünüldüğünde, kompozit yamaların hasarı önlemede başarılı olduğu ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kompozit yama, tamir edilmiş malzemeler, yapıştırıcı ile birleştirme, dinamik davranış, düşük hızlı darbe,

EFFECTS OF PATCH PROPERTIES ON THE LOW VELOCITY IMPACT BEHAVIOR OF NOTCHED METAL PLATES REPAIRED WITH COMPOSITE AND METAL PATCHES

Ayşe YILDIZ

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

ABSTRACT

In this study, low speed impact behaviors of notched metal plates repaired by composite patches were experimentally investigated. In this context, effects of thickness and fiber material used in manufacturing of composite patch on the impact behavior of the repaired materials have been searched. In the first stage of the experimental work, a vacuum infusion technique was used to produce layered composite patches of different thicknesses in a laboratory environment. Then, the supplied aluminum alloy plates were notched in different geometries. After that, the laminated composite patches were cut to appropriate sizes and adhesively bonded with the notched metal plates. At the final stage of the experimental work, low-velocity impact tests were carried out for different impact velocities on the test specimens. The patch and notch geometry of notched aluminum plates repaired with composite patch, as well as the effects of patch size on damage behavior under low-speed impact are investigated by considering force-time graphs, kinetic energy-time graphs and damage images. When the deformation geometries and damage images together with contact force and kinetic energy changes are considered together, it has been found that composite patches are successful in preventing damage.

Keywords: Composite patch, repaired materials, adhesively bonding, dynamic behavior, low-velocity impact,

İÇİNDEKİLER

KOMPOZİT VE METAL YAMALARLA TAMİR EDİLMİŞ ÇENTİKLİ METAL PLAKALARIN DÜŞÜK HIZLI DARBE DAVRANIŞLARINA YAMA ÖZELİKLERİNİN ETKİSİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....ii

YÖNERGEYE UYGUNLUK ……..…...iii

KABUL VE ONAY ……..iv

ÖNSÖZ v

ÖZET vi

ABSTRACT vii

İÇİNDEKİLER..... viii

KISALTMALAR..... x

TABLOLAR LİSTESİ..... xi

ŞEKİLLER LİSTESİ xii

GİRİŞ 1

1.BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Tezin konusu ve amacı 16

1.2. Literatür Araştırması..... 16

2.BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Deneysel Yöntem 28
2.2. Kompozit Plakanın Üretilmesi..... 30
2.3. Alüminyum Malzemenin Hazırlanışı 36
2.4. Alüminyum Levhaların Kompozit Yama ile Tamir Edilme İşlemi..... 38

3.BÖLÜM

BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Giriş……..42
3.2. Temas Kuvveti Değişiminin İrdelenmesi……..44
3.3. Kinetik Enerji Değişiminin İrdelenmesi……...46
3.4. Darbe Testi Sonrası Deformasyon Geometrilerinin İrdelenmesi……...48

4.BÖLÜM

SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Sonuç ve Öneriler..... 58

KAYNAKÇA..... 61
ÖZGEÇMİŞ 68

KISALTMALAR

CTP : Cam Elyaf Takviyeli Plastik

CFRP : Carbon Fiber Reinforced Polymer

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo G.1. Kompozit malzemelerin avantaj ve dezavantajları…….. 4
TabloG.2.Yapıştırıcı ile birleştirme tekniğinin avantaj ve dezavantajları……. 6
Tablo G.3. Epoksi/cam kumaş bazlı levhaların kalite sınıflarının belirgin özellikleri…….…….. 31
Tablo 3.4. Deney testlerinde kullanılan enerji seviyeleri…….…….. 43

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil G. 1. İnşaat alanında kullanılan beton ve demir çubuk yapısı. 3
Şekil G. 2. Gerilme dağılımının mekanik (a) ve yapıştırmalı (b) birleştirme yöntemleri arasında karşılaştırılması. 5
Şekil G. 3. Islatılma hatası gösterimi. 7
Şekil G. 4. Adhezyon hasarı 7
Şekil G. 5. Kohezyon hasarı 8
Şekil G. 6. Sık kullanılan yapıştırma bağlantı tipleri 9
Şekil G. 7. Adhezyon ve kohezyon hasarının alüminyum ile bakır malzemeleri üzerinde gösterimi 10
Şekil G. 8. Alüminyum malzemenin kompozit ile tamir edilmesi (a) Yama ile tamir edilen tek yönlü çentikli kare alüminyum plaka. (b) Yama ile tamir edilen tek yönlü çentikli dikdörtgen alüminyum plaka. 11
Şekil G. 9. Darbe sonucunda oluşan hasar çeşitleri 14
Şekil 2. 1. Ceast Marka Fractovis Plus Düsük Hızlı Darbe Test Cihazı 29
Şekil 2. 2. Pnomatik Numune Bağlama mekanizması 29
Şekil 2. 3. Alüminyum masa. 31
Şekil 2.4. Ayırıcı film. 32
Şekil 2. 5. Ayırıcı film üzerine cam fiber kumaşın serilmesi. 32
Şekil 2.6. Soyma kumaşını üzerine infüzyon filesinin serilmesi. 33
Şekil 2. 7. Vakumun oluşturulması. 33
Şekil 2. 8. Reçinenin karıştırılması. 33
Şekil 2. 9. Reçinenin vakum ortamında yol alması. 34
Şekil 2. 10. Üretilen cam fiber plaka. 34
Şekil 2. 11. Yüksek Hızlı Testere 35
Şekil 2. 12. 50x50mm(a) ve 30x50mm(b) Boyutlarında Kesilmiş Cam Fiber Plakalar. 35
Şekil 2. 13. Çentik açılmış alüminyum numuneler. 36
Şekil 2. 14. Özel Bir Kesici İle Kare Alüminyum Üzerine Çentik Açma İşlemi. 37
Şekil 2. 15. Özel Bir Kesici İle Dikdörtgen Alüminyum Üzerine Çentik Açma İşlemi. 37
Şekil 2. 16. 50×50 mm camfiber kompozit yamaların 150×150 mm Al. Plakalar üzerine yapıştırılma işlemi. 39

Şekil 2. 17. 30×50 mm cam fiber kompozit yamaların 130×150 mm Al. Plakalar üzerine yapıştırılma işlemi. 39
Şekil 2. 18. 50×50 mm ve 30×50 mm Al. yamaların 150×150 mm ve 130×150 mm Al.Plakalar üzerine yapıştırılma işlemi. 40
Şekil 2. 19. Kompozit Yamaların Basınç Altında Yapıştırılması 40
Şekil 2. 20. Deneye Hazır Alüminyum Ve Kompozit Yamalı Plakalar 41
Şekil 3. 1. Numunelerin Fractovis Plus marka darbe cihazına bağlanması 43
Şekil 3. 2. Farklı plaka geometrilerine sahip yamalı ve yamasız çentikli plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki temas kuvveti-zaman değişimleri ….. 45
Şekil 3. 3. Farklı plaka geometrilerine sahip yamalı ve yamasız çentikli plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki kinetik enerji-zaman değişimleri…..……..... 47
Şekil 3. 4. Dikdörtgen plaka geometrisine sahip yamasız çentikli plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü 49
*Şekil 3. 5.*Dikdörtgen plaka ve yama geometrisine sahip alüminyum yama ile tamir edilmiş çentikli plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü 50
Şekil 3. 6. Dikdörtgen plaka ve yama geometrisine sahip 1 mm kalınlıklı cam fiber/epoksi yama ile tamir edilmiş çentikli plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü. 51
Şekil 3. 7. Dikdörtgen plaka ve yama geometrisine sahip 2 mm kalınlıklı cam fiber/epoksi yama ile tamir edilmiş çentikli plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü 52
Şekil 3. 8. Kare plaka geometrisine sahip yamasız çentikli plakaların 25,50,100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü…… 54
Şekil 3. 9. Kare plaka geometrisine sahip alüminyum yamalı çentikli plakaların 25,50,100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü…… 55
Şekil 3. 10. Kare plaka geometrisine sahip 1 mm kalınlıklı cam fiber/epoksi kompozit yamalı çentikli plakaların 25,50,100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü . ……... .. *56*
Şekil 3. 11. Kare plaka geometrisine sahip 2 mm kalınlıklı cam fiber/epoksi kompozit yamalı çentikli plakaların 25,50,100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü …… ... 57

GİRİŞ

Günümüzde mühendislikte kullanılan çeşitli malzemeler değişik şekillerde hasara uğrarlar ve bu hasarların büyük bir bölümü kırılma olarak tanımlanan yapısal şekil değiştirmelerle oluşur. İnsanlar tarafından üretilen yapılar var olduğu sürece, kırılma sorunu toplumun bir problemi olmaya devam edecektir. Günümüz ileri teknolojisi ve karmaşık yapılar nedeniyle bu problem, geçmiş dönemlere göre kıyasla karşımıza daha fazla çıkmaktadır. Kırılma mekaniği problemi günümüzde bu alandaki çalışmaların artmasına neden olmuştur. Artan bu çalışmaların amacı yapısal dayanımı artırmaktır. Çalışmalar malzemelerin deneysel olarak incelenmesinin sonucunda elde edilen sayısal verilerin üç boyutlu sonlu elemanlara sahip programlar ile analiz edilmesiyle, incelenen malzemenin yüklere bağlı olarak gerilme dağılımlarını kolaylıkla görmeyi amaçlamaktadır [1].

Hasarlı yapıların değiştirilmesi her zaman mümkün olmayıp değişim durumlarında ise maliyetleri oldukça yüksek olabilmektedir. Bundan dolayı hasarlı yapıyı değiştirmek yerine, hasarlar tamir işlemiyle onarılabilmektedir. Örneğin, metal hasarlarında metali metalle tamir işlemi gerçekleştirilirken, alüminyum gibi metallerin tamir işlemi ise kompozit malzemelerle gerçekleştirilebilmektedir [2].

Fiber takviyeli kompozit malzemelere müdahale edilebilir. Bu özelliklerinden dolayı da uçak yapıları başta olmak üzere birden çok alanda kullanılır. Çekirdek olarak kullanılan fiber bir malzeme ve bunun çevresinde hacimsel çoğunluğu oluşturan bir matris malzemenin bir araya gelmesiyle kompozit malzemeler oluşur. Bunlardan fiber malzeme, kompozit malzemenin mukavemet ile yük taşıma özelliğini sağlarken, matris malzeme plastik deformasyona geçiş esnasında oluşabilecek çatlakların ilerlemesinin önlenmesi ve kompozit malzemenin kopmasının gecikmesini sağlamaktadır. Matris malzemenin en önemli kullanım amacı, fiber malzemelerin yük altında bir arada tutulması ve yükü lifler arasında eşit olarak dağıtılmasıdır. Bu amacın gerçekleştirilmesi

durumunda, fiber malzemeler plastik deformasyona uğradıkları zaman ortaya çıkabilecek çatlak ilerlemesi durdurulmuş olur [3].

Uçak ve uzay taşıtları gibi ağırlığa hassas uygulamalarda, fiber takviyeli reçine kompozitlerinin kullanımı son zamanlarda önemli ölçüde artmıştır. Tekne ve yatların yapımında yakın zamana kadar sac ve ahşap kullanılırken, günümüzde bu malzemelerin yerine polyester, cam ve elyaftan yapılan çeşitli kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Kompozit malzemeler kullanılan teknelerin daha hafif, uzun ömürlü ve daha süratli olmalarına ek olarak bakım-onarımlarının da kolay olmasından dolayı günümüzde daha çok tercih edilmektedirler. İmalat sanayisi başta olmak üzere birçok alanda kullanılan kompozit malzemeden üretilen parçalar kullanılmaktadır.

Kompozit malzemeler ile diğer malzemelerin farklı yöntemler kullanılarak birleştirilmesiyle, mekanik özellikleri daha yüksek düzeyde olan bir yapı oluşturulur. Kullanılan bu farklı yöntemlerin birleştirme teknikleri çoğunlukla cıvatalı, perçinli ve yapıştırmalıdır. Bu yöntemlerden yapıştırmalı birleştirme tekniği, en ucuz maliyetli teknik olmasından dolayı daha fazla tercih edilmektedir. Ayrıca yapıştırma tekniği kompozit ve metalik elemanların birleştirilmelerinde de önemli bir yere sahiptir. Sıcak, soğuk ve nem gibi farklı çevresel etkiler kompozit yama ile kuvvetlendirilmiş makine elemanlarında bulunan bir çatlağın, gerilme altında hızlı veya yavaş bir şekilde ilerlemesine etki etmektedir [3, 4].

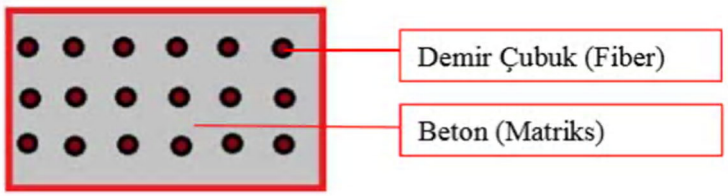
Çatlağın bulunduğu yüzey tek ya da çift yönlü yamanın kullanılmasıyla yapıştırma işlemi yapılabilmektedir, fakat tek yönlü yapıştırma pratik nedenlerinden dolayı en fazla tercih edilen yöntemdir. Buna ek olarak, tek yönlü yapıştırmada yükleme sonrasında ince levhalarda düzlem dışı değişimlerin ortaya çıkması olasıdır.Çatlak, çentik ve delik gibi geometrik düzensizliklerin olduğu yapılarda, yamalı tamir işlemi sonrasında statik ve dinamik yük etkisi altındaki mekanik davranış analizlerinin gerçekleştirilmesi oldukça önemlidir. Fiber takviyeli kompozit yamayla tamir edilen çatlaklı levha analizleri, sonlu elemanlar metodunun gelişmesiyle hız kazanmıştır. [5]

Alüminyum Malzemeler

Tabiatta en çok bulunan elementlerden biri olan alüminyum, çelikten sonra mühendislik yapılarında en fazla kullanılan metal türüdür. Alüminyum malzemelerin yoğunluğu (2.71 g/cm$^{3)}$ çeliğin yoğunluğunun (7.83 g/cm^3)1/3'ü kadardır ve sünek bir yapıya sahiptir. Alüminyumun yüksek akma sınırı değerleri, pek çok çelik türünün akma sınırı değerlerinden fazladır. Hafiflik istenilen uygulamalar için genellikle alüminyum alaşımları tercih edilir ve düşük yoğunluk ile yüksek mekanik özelliklerinden dolayı birçok önemli üretim alanında kullanılırlar. İşlenebilme kabiliyetleri, yüksek ısı ve elektriksel iletkenliği, tekrar tekrar kullanılabilmesi, yüksek korozyon direnci göstermesi, kolayca şekillendirilebilmesi, hafif ve alaşımlandırıldıklarında yüksek dayanımlı olmasından dolayı alüminyum birçok alanda diğer metallere göre daha avantajlıdır [4].

Kompozit Malzemeler

Kompozit malzeme, iki veya daha fazla malzemenin en iyi özelliklerinin makro düzeyde tek bir malzemede birleştirilmesiyle oluşturulan malzemedir. Çekirdek adı verilen takviye elemanı ile çekirdek etrafını saran matris elemanlarından meydana gelmektedir. Şekil G.1. 'de kompozit malzemenin anlaşılması için inşaat alanında kullanılan demir çubuk çekirdeğin, beton ise matrisin yapısının anlaşılması için örnek olarak verilmiştir. Kompozit malzemeler arasında Cam Elyaf Takviyeli Pastik (CTP) en çok bilinen malzemedir. Bu malzeme ülkemizde fiber-glass olarak bilinmektedir ve gemicilik, havacılık ve otomotiv gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Örneğin, ilk yerli otomobilimiz olan Anadol'un kaportası CTP'den yapılmıştır.



*Şekil G. 1.*İnşaat alanında kullanılan beton ve demir çubuk yapısı.

Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Kompozit malzemeler makro düzeyde birleşip tek bir malzeme özelliği göstermesi sebebiyle mekanik olarak birçok avantaja sahiptir ve bu avantajları sayesinde çeşitli alanlarda tercih edilmektedir. Bileşenlerin mukavemet özellikleri, üretim tekniği, takviye elemanı ve matris uyumluluğu gibi faktörler kompozit malzemelerin avantajlılarını etkiler. Tablo G.1.'de belirtildiği gibi kompozit malzemelerin dezavantajları olmasına rağmen avantajları nedeniyle her gün yeni bir alanda tercih edilmektedir [7].

Tablo G.1. Kompozit malzemelerin avantaj ve dezavantajları.

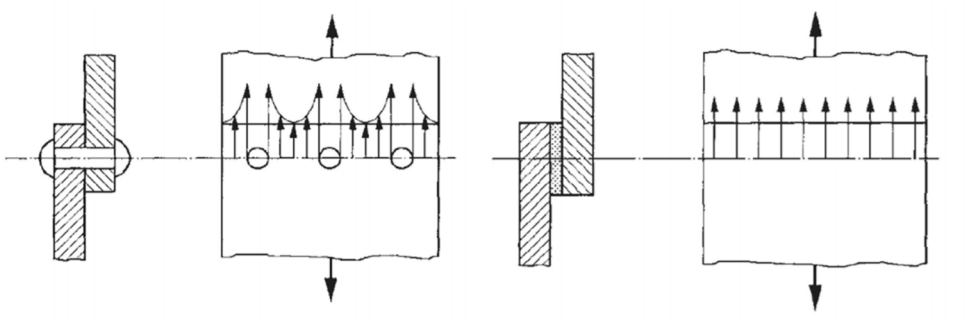
KOMPOZİT MALZEME	
AVANTAJ	**DEZAVANTAJ**
Düşük ağırlık	Yüksek maliyet
Aşınmaya karşı direnç	Düşük yüzey kalitesi
Yüksek korozyon direnci	Üretim zorluğu
Yüksek sıcaklık kapasitesi	Gevrek malzeme özelliği
Yüksek ısı dayanımı ve rijitlik	Kırılma uzaması azlığı
Yanmazlık, Sızdırmazlık	Delaminasyona maruziyeti
Yüksek yorulma dayanımı	Yapım güçlüğe
Yüksek ısı iletkenliği	İşleme güçlüğü
Çeşitlilik ve Tamir edilebilirlik	Geri dönüşümsüz olması
Kalıplama kolaylığı ve Tasarım esnekliği	

Bağlantı Teknikleri

Bağlantı teknikleri cıvata, perçin veya vidayla yapılan mekanik birleştirme, kaynak veya lehimle yapılan termal birleştirme ve kimyasal malzemeyle yapılan yapıştırıcı ile birleştirme teknikleri olmak üzere üç gruba ayrılır.

Yapıştırıcı ile Birleştirmeler

Mühendislik yapılarında, malzemenin yükleme durumunda yüklerini belirlemek ve ortaya çıkabilecek gerilmeleri hesaplamak dikkat edilmesi gereken durumlardan biridir ve mekanik dayanım üretim aşamalarında önemli bir yere sahiptir. Birleştirme tekniklerinden yapıştırıcı kullanılarak yapılan birleştirme tekniği, malzeme üzerinde oluşabilecek gerilme yığılmalarını orantılı bir şekilde dağıtması sebebiyle diğer yapıştırıcı teknikleri olan mekanik ve termal birleştirme tekniklerine göre daha avantajlıdır. Şekil G.2.a' da mekanik, Şekil G.2.b' de yapıştırmalı bağlantı teknikleri ile birleştirilen malzemeler üzerinde oluşan gerilme dağılımları kıyaslanmıştır [8].



(a) (b)

Şekil G.2. Gerilme dağılımının mekanik (a) ve yapıştırmalı (b) birleştirme yöntemleri arasında karşılaştırılması [8].

Yapıştırma ile birleştirme teknikleri; teknik ve hafif yapı konstrüksiyonlarında, sac levha takviyesinde, mil-göbek bağlantısında, fren-debriyaj balatalarında, ahşap-plastik malzeme konstrüksiyonlarında gibi uygulama alanlarında kullanılır. Yapıştırma ile birleştirme tekniğinin avantaj ve dezavantajları Tablo G.2.'de verilmiştir [9].

Tablo G.2. Yapıştırıcı ile birleştirme tekniğinin avantaj ve dezavantajları.

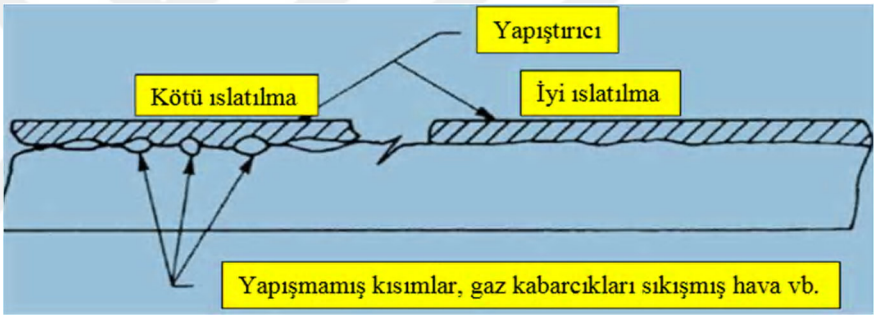
YAPIŞTIRICI İLE BİRLEŞTİRME	
AVANTAJ	**DEZAVANTAJ**
Yüksek seviyede dinamik-yorulma direnci	Yüksek seviyedeki sıcaklıkta yapıştırılma sınırı
Düzgün gerilme dağılımı ve malzeme ağırlığında değişime sebep olmaması	Çekme ve kayma yükleri altında düşük mukavemet ve tokluk değerleri
Sızdırmazlık	Çevre şartlarına bağlı olarak yüzey işlemlerine ihtiyaç
Yapıştırma maliyeti düşük	Malzemeye göre değişen fiyat
Farklı geometrilere sahip malzemeleri birleştirilebilirlik	Tahribatsız muayeneyle kontrol zorluğu
Pürüzsüz yüzey eldesi	Bazı solventlere karşı dayanıksızlık
Alüminyum ve karbon fiber gibi farklı malzemelerin birleştirilmesi	Artan çalışma sıcaklığıyla mukavemet değerlerindeki düşüklük
Oluşabilecek titreşimi sönümler	Sökülemez yapıda olması
Esas malzemenin özelliği bozulmaz	

Yapışma İşlemi

Yapıştırıcıları tarih öncesi dönemler de farklı şekillerde kullanılmıştır. Örneğin; hayvanların deri ve kemiklerinin kaynatılmasıyla eski Mısırlılar ve Sümerler yapıştırıcı yapmışlardır. Günümüzde kullanılan teknolojide ise, sentetik malzemelerin kullanılmasıyla yapıştırıcı yapılmaktadır. Yapıştırıcı ile birleştirme tekniğinde en fazla

epoksi, poliüretan, akrilik, silikon, fenolik, siyanoakrilik ve anaerobikler tercih edilen yapıştırıcılardır [10].

Adhezyon ve kohezyon kuvvet yapıştırma işleminin temel iki unsurudur. Özellikleri benzer ya da farklı olan malzemelerden en az ikisinin birbirlerine adhezyon kuvveti aracılığıyla kuvvetli bir şekilde bağlanması durumu yapışma olarak adlandırılır. Bu yapışma işleminin gerçekleşmesini sağlayan bağlantı elemanı yapıştırıcı olarak tanımlanır ve yapıştırıcının uygulandığı malzemeye kimyasal ve fiziksel olarak nüfuz etmesi sonucunda yapışma olayını gerçekleştirir. Yapışma işleminin en önemli hususlarından birisi ise yapıştırıcının levha ıslanması sırasında doğru sürülmesidir. Şekil G.3'de yapıştırma işlemi sırasında kötü ve iyi ıslatılmanın şekilsel olarak gösterimi verilmiştir [11].



*Şekil G.3.*Islatılma hatası gösterimi [11].

Adhezyon

İki maddenin temas yüzeylerindeki yapışma kuvveti adhezyon olarak tanımlanır. Yapışma esnasındaki en önemli faktör, çekim ve yüzeye tutunma fiziksel kuvveti olan Van der Waals kuvvetleridir. Yapıştırma kuvvetinin verimliliği, yüzeyin ıslatılması ve yüzeyin yapışma özelliğine bağlıdır. Mekanik olarak işlenmiş yüzeylerde bulunan pürüzlü bölgelere tamamen temas edemediğinde adhezyon hasarının oluşması (Şekil G.4.) ile yapıştırma kuvvetinin verimliliği düşer [12].



*Şekil G. 4.*Adhezyon hasarı

Yapıştırma kuvvetinin verimliliğinin yüksek olması için, yüzeyin temiz olması, yapıştırıcının viskozitesinin iyi olması, sürülen yüzeyin geriliminin uygun olması, yapıştırıcının yüzeydeki pürüzlere tamamen nüfuz etmesi ve yüzeyin tamamını iyi ıslatması gerekir.

Kohezyon

Kohezyon kuvveti, yapıştırıcı moleküllerin arasında bulunan ve yapıştırıcıyı bir arada tutan kuvvettir. Moleküller arası çekim kuvveti (Van der Waals) ve polimer moleküllerinin kendi aralarında kenetlenmesi gibi kuvvetler kohezyona etki eder. İyi bir yapıştırma işleminin olması için adhezyon ve kohezyon kuvvetleri eşit olmalıdır. Şekil G.5.'de görüldüğü gibi yapıştırıcıya ait tabakanın yapıştığı plaka üzerinden ayrılması olayının gerçekleştirmesi ile kohezyon hasarı oluşur [13].



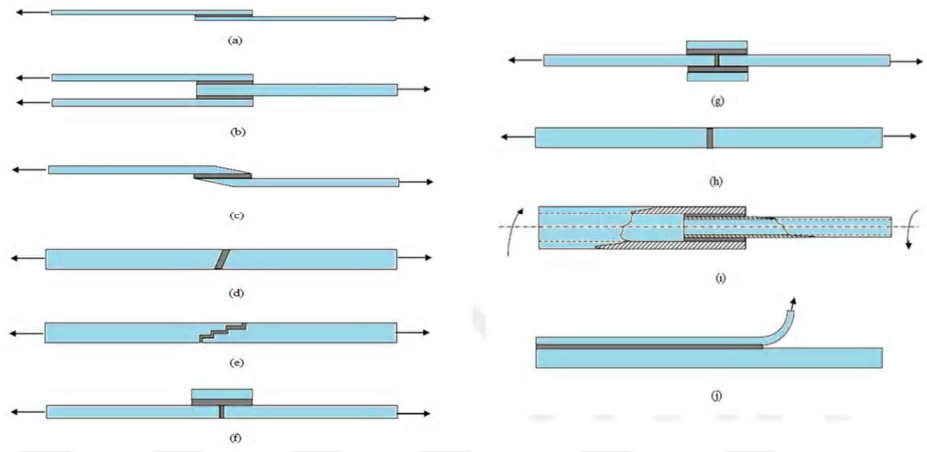
*Şekil G.5.*Kohezyon hasarı [12]

Adhezyon ve kohezyon kuvvetlerine ait bağlarının sağlamlığı, yapıştırma işlemleri sırasında oluşabilecek hasarların ortaya çıkmasında etkilidir ve sağlam bir şekilde oluşmuş bağ yapısı yapışma hasarının oluşmasına engel olup ilerleyen süreçte oluşabilecek dış etkilere karşı direnç sağlar.

Yapıştırmalı Bağlantı Tipleri

Yapıştırmalı birleştirme yöntemiyle birbirine bağlanan bağlantıların mekanik özellikleri; yapıştırılacak malzemenin türüne, yapıştırıcı türüne, çalışılacak ortam şartlarına, ek yeri tasarımına ve üzerine etkiyen yüklere bağlı olarak değişir [14]. Ek yeri tasarımının dışında, bağlantının çalışma ortamı, sıcaklık, nem ve kimyasallar gibi faktörler yapıştırıcı seçimini doğrudan etkiler. Ek yeri tasarımı, yapıştırıcının özelliklerine göre ayarlanmalıdır. Örneğin hacimsel kürleşme, boşluk doldurma, vb. unsurlara göre uygunluğu düşünülmeli ve tasarıma uygun bir yapışma işlemi yapılmalıdır. Çünkü tasarım soyulma, yarılma gibi en zor yükleri dahi taşıyabilecek

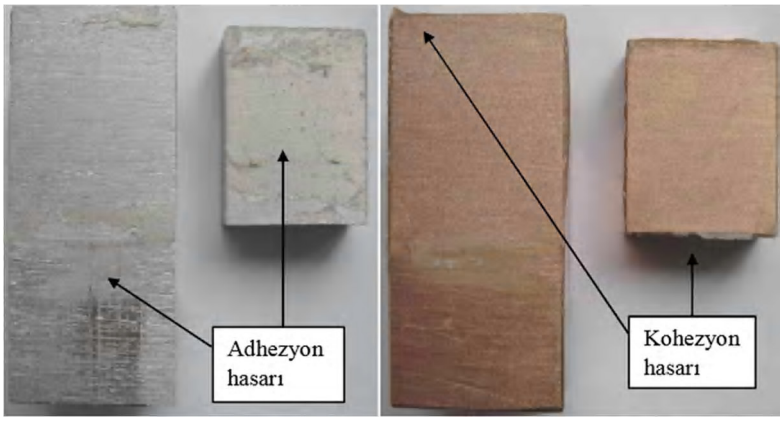
şekilde oluşturularak hazırlanmalıdır. Gerilme şartlarına uygun tasarlanan yapışmalı birleştirmeler yapıştırmadan maksimum mekanik dayanım alınmasını sağlar [2]. Şekil G.6.' da farklı yapıştırma bağlantı tiplerine ait görsel verilmiştir. Şekilde (a) tek tesirli bindirmeyi, (b) çift tesirli bindirmeyi, (c) boyun bindirmeyi, (d) açılı bindirmeyi, (e) teraslamayı, (f) tek takviyeli bindirmeyi, (g) çift takviyeli bindirmeyi, (h) alın bağlantıyı, (ı) silindirik bindirmeyi, (j) soyulma tipi bağlantı tiplerini ifade etmektedir.



*Şekil G.6.*Sık kullanılan yapıştırma bağlantı tipleri [15].

Yapıştırmalı Bağlantı Tiplerinde Oluşan Hasarlar

Yapıştırma bağlantılarında genellikle iki tip hasar oluşur, bunlardan birincisi adhezyon hasarı ve kohezyon hasarıdır. Şekil G. 7.'de gösterildiği gibi adhezyon hasarında yapıştırıcı ve yapıştırılan malzemenin ara yüzeyinde ayrılma oluşur ve bağlantı kopar. Kohezyon hasarında ise yapıştırıcı veya yapıştırılan malzemede gözle görülecek hasar oluşur ve bağlantı kopar. Oluşabilecek hasarları en aza indirme; yapıştırılacak malzemeler için en uygun yapışkanın kullanılmasına ve yükleme durumlarına göre seçilen yapıştırma tipine uygun yapıştırılmasına bağlıdır. Yapışma kalitesini artırmak ve oluşabilecek hasarları engellemek için; yapıştırıcın birleştireceği malzemeler arasında boşluk olmamasına, yapıştırılacak malzeme yüzeyleri hassas bir şekilde temizlenmesine, yapıştırıcı sertleşme süresi için hava ortamının uygun şartlarda sağlanmasına, yüzey alanı yapıştırmaya uygun geometri biçiminde hazırlanmasına dikkat edilmelidir [16].



Şekil G.7. Adhezyon ve kohezyon hasarının alüminyum ile bakır malzemeleri üzerinde gösterimi [16].

Tamir İşlemi

Yapıştırmalı birleştirme yöntemleriyle yapılan tamir işleminde kompozit malzeme kullanımı oldukça yaygın bir yöntemdir ve uçak, savunma, imalat sanayisi gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerde görülen hasarların birçoğu hatalı tasarım ve kullanmaya bağlı olarak ortaya çıkar. Oluşan hasarlar malzeme içinde oluşan küçük çatlakların büyümesi sonucu başlar, malzemenin içyapısına doğru devam eder. Bazen olağanüstü çevre koşullarında kompozitlerin ya da metallerin küçük hasarlarının zamanla büyümesi ve aşırı yüklemelerin yapılması sonucunda da hasarlar oluşabilir. Oluşan hasarlar belirlendikten sonra hasarın tamiri ya da değiştirilmesi işlemi yapılır [17].

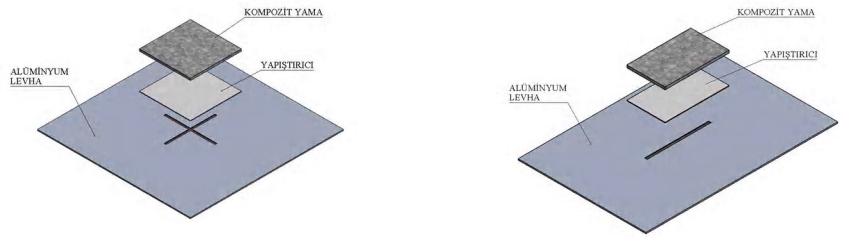
Yamanın hasarlı elamana nasıl uygulanacağı ve yama malzemesinin seçimi; statik dayanım, malzeme ömrü, rijitliğe, aerodinamik düzlüğe, işlem sıcaklığı, çevre şartları, maliyet-zaman ve ağırlık-denge gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterir. Tabaka ayrılması ve çatlak olmayan durumlarda, hasar sonucu oluşan boşluklar reçine ile doldurulup kür edilebilen yamasız onarım kullanılır. Boşluklara reçine enjekte edilmesiyle birleşmiş tabakalar arasındaki bağlantı sağlamlaştırılır [18].

Yama ile tamir edilen malzemelerin arası genelde hasar bölgesi çıkarılarak hasarlı bölge kompozit malzemeyle doldurulur ve reçineyle yapıştırılarak tamir işlemi uygulanır. Kompozit yama ile tamir işlemi birçok sektörde tercih edilmektedir. En çok tercih edilen sektörlerden biride uçak sanayidir. Havacılık alanında kompozitle oluşmuş uçak

yapıları zamanla hasara uğrarlar ve bu yapıların tamiri yeni bir parça değiştirildiğinde maliyet artacağından yapılar kompozit yama ile tamir edilerek hasarları giderilir. Özel teknikler yapı elamanın tipine, bağlantıların yeterlilik düzeyine ve yüzey pürüzlüğünün dikkate alınmasına göre çeşitlilik kazanır. Tamir ortamı hasarlı yapının oluştuğu bölge için özel olarak hazırlanmalıdır. Örneğin Alüminyum bir yüzeyi temizlerken üzerine Metil-Etil-Keton karışımından oluşmuş bir sıvıya daldırılan sünger ile hasar yüzeyi temizlenir.

Yapıların tamirinde hem macun hem de sıvılaştırılmış olan yapıştırıcılar kullanılır. Bu tür birleştirmelerde genel olarak yapıştırma işlemini sağlayan reçine yani epoksi malzeme kompozit malzeme tabakaları arasına düzgün bir biçimde sürülerek yapıştırılır. Daha sonra yüzey temizleme işlemi yapılmış hasarlı yapının üzerine epoksi sürülerek kurutulma işlemine geçilir. Kurutma işlemi vakumla yani basınçlı havayı çekerek veya fırında pişirilme işlemi olarak yapılabilmektedir. Tamir ortamında gerçekleştirilecekse vakumlama yöntemi iyi bir yöntem değildir çünkü vakumlama oda sıcaklığında bir gün boyunca yamanın kurutulmasıyla gerçekleşir. Pişirme kazanı işlemi ise hasarlı kısmın daha çabuk ve hareket ettirilmeden tamir işlemi yapılmasını sağlar [19].

Kompozit malzemenin alüminyum malzeme ile yapıştırılma işlemine ait görsel Şekil G.8.'de verilmiştir. Metal malzemenin üzerine sürülen reçine onun ve üzerine kompozit ile yama işlemi yapılabilir. Hasarlı bölgenin kompozit yama ile kaplanması sonucu tamir sağlanmış olur.



(a) (b)

Şekil G.8. Alüminyum malzemenin kompozit ile tamir edilmesi(a) Yama ile tamir edilen tek yönlü çentikli kare alüminyum plaka. (b)Yama ile tamir edilen tek yönlü çentikli dikdörtgen alüminyum plaka.

Düşük Hızlı Darbe

Bir çarpışma sırasında meydana gelen tepki kuvvetleriyle, yapıların oluşan tepki kuvvetlerine karşı oluşturduğu cevap darbe mekaniğiyle incelenir. Çarpışan cisimlerde zıt doğrultuda etki-tepki bileşke kuvveti sonucunda cisimler arasında bir direnç oluşur ve bu direnç sonucunda cisimler zıt yönde hareket eder. Düşük hızlı çarpışmalar sadece gözle görülmeyen az belirgin küçük deformasyonlara neden olurken, yüksek hızlı çarpışmalar temas alanı yakınlarındaki plastik akmasından kaynaklanan büyük deformasyonlara neden olur ve belirgin olup kolaylıkla gözlenebilirler.

Darbe esnasında meydana gelen bölgesel deformasyonlar, cisimlerin sertliklerine, temas sırasındaki hızlarına ve kütleleriyle doğru orantılıdır. Çarpışma sırasında gelişen deformasyonun çarpışan cisimler üzerindeki dağılımı ve darbe süreci üzerindeki etkisi göz önünde bulundurulduğunda, darbe tipleri genel olarak dört ana başlık altında toplanabilir. Bu darbe tipleri; parçacık/partikül darbesi, rijit cisim darbesi, esnek cisimler üzerine düşey darbe, esnek cisimler üzerine eksenel/boyuna darbedir [20].

Metal ve metal alaşımları darbe altında, elastik ve plastik şekil değiştirme sergiler ve darbe hasarı, makul bir çarpma yüzeyinde başladığı anda kolaylıkla tespit edilebilir. Metaller plastik şekil değiştirebilme kabiliyetlerinden dolayı enerjiyi yutabilirler ve yük taşınmasında tehlike oluşturmazlar. Ayrıca sabit bir gerilme durumunda yapısı sertleşmeden önce çok büyük uzamalarda akabilmelerinin sayesinde ani veya beklenmedik kırılmalar oluşmaz. Darbeye maruz kalan tabakalı kompozit malzemelerde oluşan hasar, çarpmanın türüne göre darbeye maruz kalmayan yüzeyde meydana gelebilir ve bu iç yapıda oluşan tabakalar arası ayrılma yani delaminasyon şeklinde başlayabilir. Metallerde darbe, plastik şekil değiştirme sonucunda bir kırılmaya neden olur iken, kompozitler çok değişik tiplerde hasara uğrayabilirler.

Kalınlık boyunca takviyesiz tabakalı kompozit malzemede, enine doğrultudaki malzeme elastikiyetinin düşük olmasından dolayı en büyük darbe hasarı enlemesine oluşur. Darbe esnasında kompozit malzemeye aktarılacak enerjinin düzeyi (darbe hızı) hasar tiplerini etkileyen bir faktördür [21].

Temelde darbe, düşük hızlı veya yüksek hızlı olmak üzere ikiye ayrılır. Düşük hızlı darbe, hedef rijitliğine, malzemenin özelliğine, çarpan cismin kütle ve rijitliğine

bağlıdır. Ayrıca literatürdeki mevcut bilgilere göre düşük hızlı darbe 1-10 m/s arasında değişen hızlar içinde kullanılır [22, 23].

Düşük hızlı darbeye örnek olarak imalat veya bakım esnasında kaza sonucu bir parçanın düşmesi verilebilir ve çarpma anında malzeme içyapısında hasar oluşturur. Düşük hızlı darbede, malzemenin iç yapısının darbeye tepki oluşturması için gerekli olan temas süresi uzundur ve oluşan fazla enerji elastik şekilde depolanmasına rağmen yüksek hızlı darbede, küçük bir bölgede hasar oluşur ve malzemenin darbeye karşı cevap verebileceği süresi kısadır [21]. Darbe tipi çarpma hızı veya büyüklüğüne göre belirlenebilir. Yüksek hız delinme şeklinde meydana gelmiş fiber kopmasına neden olurken düşük hız tabakalar arası ayrılma (delaminasyon) ve matris kırılması gibi hasar tiplerine neden olur [24].

Tabakalı Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışı

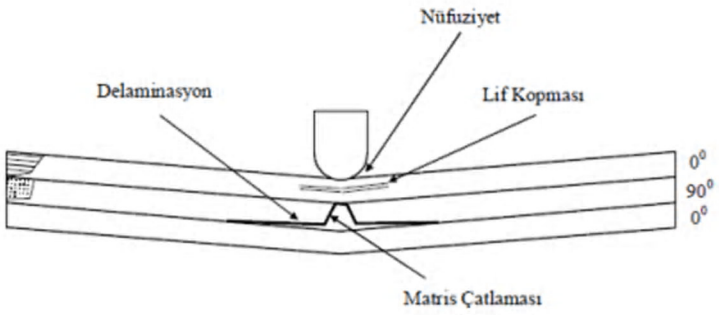
Uygulamanın yeri ve kullanım amacı malzemenin maruz kalabileceği darbelerin farklı şekilde olmasını sağlar. Darbeye karşı metal veya metal-alaşımlarında elastik uzama ve plastik şekil değiştirme şeklinde cevap oluşabilir. Bu hasar genellikle çarpmanın başladığı anda yüzeyde kolay şekilde ayırt edilebilirdir. Sabit gerilme durumunda metaller yapı sertleşmesinin öncesinde fazla uzamalar şeklinde akabilir, bu sebeple oluşabilecek kopmalar beklenmedik şekilde aniden olmaz. Darbeye maruz kalan tabakalı kompozit malzemelerde meydana gelen hasar, darbenin uygulanmadığı yüzeyde meydana gelir ve bu durum içyapıda oluşan tabakalarda ayrılmaya yani delaminasyona neden olur.

Özetle; darbe cevabı metallerde plastik şekil değiştirme neticesinde, kopma şeklinde olmasına rağmen, kompozitler değişik modlarda hasara uğrayabilir. Genellikle kompozitlerde gözle görülemeyen ya da çok az görülebilen hasarlar oluşur. Plastik matrisli kompozit malzemelerde enerji elastik deformasyon ve birkaç hasar mekanizmaları sebebiyle soğurabilir. Kalınlık boyunca takviyesiz tabakalı kompozit malzemede, enine doğrultudaki malzeme elastikiyetinin düşük olmasından dolayı en büyük darbe hasarı enlemesine oluşur ve bundan dolayı kompozit malzemelerde enine hasar fazladır.

Tabakalar arasında oluşan kesme ve normal gerilmeler, tabakalar arası mukavemet zayıflığından dolayı ilk kopmaya neden olurlar. Darbe sırasında kompozite aktarılan enerji, malzemenin oluşan enerjiyi sönümlemesi için oluşan hasar modunu belirler ve kompozit malzemede darbenin oluşturacağı hasar tahmini darbe hızının belirlenmesinde önemlidir.

Darbe Sonucu Oluşan Tabakalı Kompozit Malzemelerdeki Hasar Modları

Anizotropik ve heterojen yapısından dolayı elyaf takviyeli plastik tabakalar 4 farklı darbe hasarı modları oluşturur bu durum Şekil G. 9.'da gösterilmiştir. 4 farklı darbe hasarı modunu 1.'si bası ve kesme gerilmelerinin sonucunda çatlama liflerine paralel oluşan matris modu, 2.'si tabakalar arasındaki uyumsuzluktan (eğilme cevabı) meydana gelen deleminasyon modu, 3.'sü gerilme altındaki lifin kopması ve sıkıştırma altındaki lifin eğilmesi ile oluşan elyaf modu, 4.'sü çarpan cismin kompozite temas etmesiyle oluşan nüfuziyettir.



Şekil G. 9. Darbe sonucunda oluşan hasar çeşitleri

Hasar modları yapının mukavemeti hakkında bilgi almayı ve malzeme üzerindeki hasar modlarının belirlenmesi açısından önemlidir. Hasar modlarındaki etkileşmeyi çözmek, hasar modunun başlamasının ve ilerlemesininın anlaşılması için önem arz etmektedir.

Matris Hasarı

Matris hasarı, matris çatlaması ya da matris ara yüzey ara bağının kopması şeklindeki düşük hızlı enine darbeden meydana gelen ilk hasar tipidir. Matristeki çatlamalar genelde karmaşık düzende ve tahmini zor olan lif doğrultusuna paralel olan tek yönlü

liflerden oluşur. Tabakalı kompozitte matris hasarının öneminin olmamasına rağmen, başlayan matris çatlakları delaminasyona sebep olur.

Delaminasyon

Matris yoğunluğunun fazla olduğu bölgede çeşitli elyaf yönlendirmelerinin olduğu katmanlarda oluşan ayrılmaya delaminasyon denir. Bu elyaf yönlendirmelerinden dolayı da katmanların eğilme rijitleri farklıdır ve eğilme kaynaklı kayma gerilmeleriyle birlikte delaminasyona sebep olurlar. Tabakalar arası eğilme rijitliğinin uyuşmazlığının büyüklüğüyle delaminasyon doğru orantılıdır. Delaminasyonu malzemenin özelliği, sıralamanın düzeni ve tabakanın kalınlığı da etkilemektedir.

Elyaf Kopması

Çoğunlukla elyaf kopması, çarpan cisim altında ya da darbeden etkilenmemiş yüzeyde matris çatlamasıyla delaminasyon sonrasında oluşur. Çarpan cisim alltında gerçekleşmesinin sebebi yüksek gerilme ve nüfuziyetken darbeden etkilenmeyen yüzeyde olmasının sebebi yüksek eğme gerilmeleridir.

Nüfuziyet

Çarpan cismin malzemenin üstünde gerçekleştirdiği dalma-delme miktarını ifade eden makroskobik hasar moduna nüfuziyet denir ve elyaf hacim oranlarıyla doğru orantılıdır.

Hasar Tahmini Sonuçları

Darbe hasarı delaminasyonlarını, matris çatlamalarını ve elyaf kopmalarını içerdiğinden dolayı tahmini tam olarak yapılamaz. Bu tip darbe hasarlarında malzemenin özelliğindeki düşüş hesaba katıldığı zaman delaminasyonun yeri ve boyutu tahmin edilebilir hale gelir. Bunun yapılması karmaşık ve maliyetli olduğu için rutinde hesaplamaları için uygun değildir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Tezin konusu ve amacı

Bu projede, tabakalı kompozit yamalarla tamir edilen çentikli metal ve fiber takviyeli yapıların, düşük hızlı darbe davranışlarının deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, kullanılacak olan kompozit yamanın kalınlığı ve fiber malzemesinin tamir edilen malzemelerin darbe davranışları üzerine etkileri araştırılmıştır.Deneysel çalışmanın ilk aşamasında laboratuvar ortamında vakum infüzyon tekniği ile farklı kalınlıkta tabakalı kompozit yamalar üretimi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, üretilen malzemelerde ve temin edilen alaşımlı alüminyum plakalarda çentik açılmıştır.Bu aşamanın ardından, tabakalı kompozit yamalar yapıştırıcı ile çentikli metale yapıştırılmıştır. Deneysel çalışmanın son aşamasında, iki farklı geometri ve çentiğe sahip tamir edilmeyen çentikli ve tamir edilen numunelere farklı hızlarda düşük hızlı darbe deneyleri yapıldı. Darbe deney sonuçları kuvvet-zaman ve kinetik enerji-zaman grafikleri, hasar görüntüleri ele alınarak irdelenmiştir. Kompozit yama ile tamir edilmiş çentikli alüminyum levhaların yama ve çentik geometrisinin yanı sıra, yama boyutlarının düşük hızlı darbe altındaki hasar davranışlarına etkileri incelenmiş ve yama ile çentikli bölgenin mukavetini artırmak amaçlanmıştır.

1.2. Literatür Araştırması

Yapılan tez çalışmasında geometrik düzensizlik içeren alüminyum levhalar ile kompozit malzemenin yapıştırmalı bağlantı tekniğiyle birleştirilerek tamiri gerçekleştirilmiştir. Literatürde kompozit yamalarla tamir tekniğinin deneysel olarak çalışıldığı çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Ancak bunların çoğu yamalarla tamir edilen malzemelerde yamanın yorulma, çekme ve basma gibi mekanik davranışları üzerine etkilerinin incelendiği, bir kısmının ise yamalar için tasarım ve şekil optimizasyonu içeren

araştırmalar olduğu görülmektedir. Geriye kalan az sayıdaki araştırmada ise farklı tipte ve geometride tasarlanan yamalı malzemeler için balistik, çentik darbe ve patlama testleri yapılarak bu malzemelerin davranışları incelenmiştir. Dolayısıyla, literatürde kompozit yamanın yama kalınlığının ve kompozit yamanın fiber malzemesinin kompozit yamalarla tamir edilen yapıların düşük hızlı darbe davranışları üzerine etkisinin incelendiği ve aynı zamanda hasar modellerini de içeren herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Xiong ve Shenoi [25] yaptıkları çalışma ile alaşımlı çentikli alüminyum plakalara farklı kalınlıkta ve özellikte kompozit yama uygulayarak tamir etmişler daha sonra yamayla tamir ettikleri alüminyum plakaların statik ve yorulma gerilmesi altında davranışlarını inceleyerek sonuçlar elde etmişlerdir. Yama kalınlığının değişimine bağlı,çekme yükü altında tahribat ve hasar incelemelerini yapmışlardır. Kompozit kalınlığı arttıkça kırılma başlangıcının geç başladığını gözlemlemiştir.

Kara vd. [26] kompozit yama kullanarak onarılan fiber takviyeli kompozit boruların, darbe davranışlarını incelemişlerdir. Farklı darbe enerjileri altındaki cam fiber takviyeli kompozit borular darbe testine maruz bırakılmış ve hasar gören borular farklı katman sayısında kompozit yamalarla onarılmıştır. Sonra tamir edilen kompozit borular, patlama testine maruz bırakılmıştır. Çalışmada 6 tabakalı kompozit yama hasarı önlemekte başarılı olmuştur.

Madani vd. [27] farklı geometrilere sahip alüminyum plakalar kompozit yama ile onarılarak deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Farklı fiber oryantasyonuna sahip 14 tabakalı karbon/epoksi yamalar kullanmışlar ve hazırladıkları yamaları birkaç numuneye tek taraflı, birkaçına çift taraflı uygulamışlardır. Sonra bu plakaların statik yük altındaki gerilmelerini ve tahribatlarını incelemişlerdir. Deneysel olarak buldukları sonuçları ise sonlu elamanlar analizini kullanıp sayısal sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Sonuçta yamanın uygulanan takviyeli levhalardaki gerilme yoğunluğunu azalttığı gözlemlemişlerdir.

Anaraki vd. [28] farklı çatlak açılarına sahip alüminyum plakaları fiber metal tabakalı, hibrit yapılı kompozit yamalar ile tamir ederek deneysel çalışma yapmışlardır. Yamalar iki tabakalı olup biri alüminyum tabaka diğeri cam/epoksi ile hazırlamışlardır. Yamalı

ve yamasız numuneleri statik gerilme altında karşılaştırmalardır. Sonuç olarak yamalı numunelerde çatlak uzama miktarının azaldığını elde etmişlerdir.

Wang vd. [29] merkezinde çatlak bulunan alüminyum plakaları kompozit yamayla tamir edip farklı ortam şartlarında gerilme durumlarına göre davranışlarını araştırmışlardır. Onarılan alüminyum plakalar değişik sıcaklık değerlerine sahip (higrotermal, ultraviyole radyasyon ve tuz spreyli) üç farklı ortamda bırakılmışlardır. Onarılan alüminyum plakaları yamalı, yamasız ve değişik ortamda kalma durumlarına göre karşılaştırmışlardır. Yama etkisinin önemini statik gerilme analizleriyle destekleyen sonuçlara ulaşmışlardır.

Srilakshmi [30] kompozit yama ile yapıştırmayla onarılan alüminyum plakaların yorulma ve statik gerilme altında davranışlarını deneysel ve sayısal olarak araştırmıştır. Çalışmasında merkezde 45^{o}'lik çatlak bulunan 2024 T6 alüminyum plakalar kullanmıştır. Plakaları çatlak bölgesinden tek ve çift taraflı karbon/epoksi yamalar ile tamir etmiştir. Plakaların tek taraflı, çift taraflı ve yamasız durumlarına bağlı statik yük ve yorulma yükü altında davranışlarını deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir.

Okafor vd. [31] uçak yapısına ait çatlaklı alüminyum levhaların bor/epoksi kompozit yamayla tamir edilmesini hem deneysel hem de sayısal olarak incelemişlerdir. Yama durumlarına bağlı gerilme altında davranışları incelemişlerdir. Yamalı durumlarda plakaların deneysel sonuçları sayısal sonuçlara yakın değerde elde etmişlerdir.

Turan ve Kaman [32] tek taraflı yapıştırma bağlantısını hasar analizini hem deneysel hem de sayısal olarak incelemişlerdir. Bağlantıda yapıştırıcı epoksi reçine ve yapışkanda karbon fiber takviyeli epoksi reçine matrisli dört tabakalı kompozit plakalar kullanmışlardır. Sayısal çalışmalarını sonlu elemanlar metodu kullanarak çözüm yapan ANSYS programı ile yapmışlardır. Hasar analizinde kompozit plakalar için Hashin Hasar Teorisi kullanmışlar, yapıştırıcı için ise Maksimum Asal Gerilme Hasar Teorisi kullanmışlardır. Bağlantı mukavemeti üzerinde yapıştırıcı kalınlığı, bindirme uzunluğu ve plaka genişliği etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Yapışma yüzey alanı değişiminin hasar yükleri üzerinde etkili olduğunu görmüşlerdir.

Ong ve Shen [33] çalışmalarında hasarlı uçak parçasını kompozit yama ile yapıştırmalı onarmışlardır. Yapıştırmalı bağlantılı tiplerinden basit bindirmeli tipi kullanmışlardır. Yorulma testlerini üç farklı oda sıcaklığında yaparak karşılaştırmışlardır. Deneysel olarak yamalı ve yamasız durumlarına göre karbon veya boron kompozit yamalarla yapıştırmalı onarımdan sonra, Alüminyum plakadaki çatlağın yorulma ömrü 60 ile 100 kat arasında arttığını tespit etmişlerdir.

Colombi vd. [34] ön gerilmeli kompozit yamalarla tamir edilen çatlaklı çelik yapılar için takviyeli kompozitlerin tabaka dizilimlerinin tesirlerini incelemişlerdir. Polimer takviyeli karbon fiber şeritlerle onarılmış çentikli çelik plakalara yorulma testi uygulamışlardır. Optik tekniklerle yapışkan tabaka ve çelik plaka aralarında oluşan çatlağı gözlemlemişlerdir.Bu gözlem neticesinde yapışkan kalınlığı arttıkça kohezyon hasarının da arttığı görülmüştür.

Sabelkin vd. [35] bir yüzeyinden kompozit yamayla yapıştırmalı birleştirme yöntemi kullanılarak onarılan ince 2024-T3 alüminyum panel içerisindeki yorulma çatlak büyüme eğilimini incelemişlerdir. Boron/epoksi kompozit yama ile onarılan plakaların çatlak büyüme oranının ve gerilme şiddet faktörünün azaldığını, yorulma ömrünün arttığını tespit etmişlerdir.

Wang vd. [36] hasar almış helikopter kuyruk şaftlarına kompozit yama tekniği ile onarma işlemini uygulamışlardır. Onarmada kullanılan kompozit yamaların bu malzemeleri eski haline göre çok daha iyi dayanıma getirdiklerini belirlemişlerdir. Sonuçların sayısal ve deneysel olarak birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir.

Hosseini-Toudeshky vd. [37] çalışmalarında merkez çatlaklı 2024T3 alüminyum plakaları farklı kalınlıklarda oluşturulan cam/epoksi kompozitle tek taraflı onararak yorulma altındaki eğilimlerini deneysel olarak incelemişlerdir. Yama ile onardıktan sonraki çatlak boyutunun değişimi üzerine sonuçlar çıkarmışlardır. Yamalı ve yamasız malzemeler birbirlerine göre kıyaslandığında yamalı plakaların daha dayanıklı olduğunu ve yama kalınlık değişiminin çatlak değişimini daha geç bir zamanda başlattığı sonucuna ulaşmışlardır.

Seo ve Lee [38] çalışmalarında çatlak alüminyum plakaların kompozit yamayla onarılabilirliğini incelemişlerdir. Onardıkları alüminyum plakaların yorulma altındaki

eğilimlerini sayısal ve deneysel yöntemlerle incelemişler ve çalışmalarının sonucunda sayısal sonuçların deneysel sonuçlar ile benzer olduğunu, kompozit yama ile onarma işleminin çatlak değişimi üzerinde önemli sonuçlar verdiğini görmüşlerdir.

Jian-Bin vd. [39] çalışmalarında merkezinde çentik olan alüminyum plakaların çift taraflı kompozit yamayla onararak yorulma altındaki eğilimlerini sayısal ve deneysel yöntemlerle incelemişlerdir. Yorulma testi sonuçlarına göre merkezinde 10 mm çatlak bulunan alüminyum plakaların çift taraflı yamayla onarılması sonucunda onarılmayan numunelere göre 31 kat daha fazla dayanıklı olduğunu tespit etmişlerdir.

Salehi-Khojin vd. [40] alüminyum plakayı boron/epoksi yamayla onararak sürekli yorulma altındaki kırılma eğilimini ve yama etkisini sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Yama kalınlığı ile çatlak ilerleme oranının azaldığı sonucuna ulaşmışlardır. Yapılan deneysel sonuçlar ile sayısal sonuçların birbirine yakın olduğunu ve kompozit yamayla onarımın kompozit plakalarda mukavemet artırdığı sonucuna varmışlardır.

Ergün [3] tez çalışmasında cam-elyaf takviyeli [0^o] yönlü kompozit malzemeyle onarılan merkezi çatlaklı alüminyum plakanın farklı ortam şartlarında sıcaklık nem değişimlerinin kırılma mekaniği parametrelerini ve çalışma ömür değişimini incelemiştir. Çalışma sonucunda; nem değişiminin sonucu fazla değiştirmediğini yalnız mekanik özellikleri biraz düşürdüğünü gözlemlemiştir. Sıcaklık ve yama kalınlığının kırılma parametrelerini büyük ölçüde değiştirdiğini gözlemlemiştir.

Samancı [41] Muharebe Araç gövde malzemesi olarak kullanılan, Al-Mg alaşımından üretilen eliptik yüzey çentikli numuneler üzerine yapılan cam, karbon ve kevlar epoksi kompozit yamalar malzemenin mukavemetine etkisini deneysel incelemiştir. Çalışmada karbon elyaf takviyeli yamanın çekme dayanımının diğer yamalara göre daha iyi sonuç verdiğini tespit etmiştir. Tamir işleminde kullanılan yama tiplerinin akma ve çekme gerilmelerini kıyaslamıştır.

Balaganesan ve Khan, [42] darbe yüklerine maruz kalan tamir edilmiş kompozit levhaların enerji sönümlemesini araştırdıkları çalışmalarında ‘n’ adet katmanla üretilmiş kompozit plaka için ‘n+1’adet tabakadan oluşan kompozit yama kullanmışlardır.

Kompozit yama ile tamir edilmiş kompozit plakalar merkezinden ve farklı bölgelerinden balistik teste maruz tutulmuştur. Numunelerin enerji sönümlemesi ve darbe hasarı için analizlerinin yapıldığı çalışmada deneysel ve nümerik sonuçların oldukça uyumlu olduğu bildirilmektedir.

Mall ve Conley [43] kompozit yamalar kullanılarak tamir edilen hasara uğramış ince ve kalın metalik panellerin modellenmesini ve validasyonunu araştırmışlardır. İki boyutlu sonlu elemanlar analizi kullanılarak sunulan çalışmada kompozit yamalar kullanılarak tamir edilen metal panellerin hasar gelişimi tahmini yapılmıştır. Önceden hasara uğrayan alüminyum numunelerin yorulma testleri iki farklı kalınlıktaki (1 ve 6.35 mm) alüminyum numuneler için yapılmıştır. Tahmin edilen yorulma hasar gelişim oranlarının deneysel ve sayısal değerlerle uyum olduğu saptanmıştır.

Shams ve El-Hajjar [44] karbon fiber/epoksi tabakalı kompozitlerde hasarı yamalarla kapatarak tamir edilmesini sayısal ve deneysel olarak çalışmışlardır. Çizik şeklinde bulunan hasar, sonlu elemanlar programına tabaka tabaka modellenerek aktarılmıştır ve yamalar laminaların gerilme durumu göz önüne alınarak yerleştirilmiş ve analizler yapılmıştır. Sonuçlar yüzeye paralel yöndeki lamina içi hasar gelişiminin, tamir parametrelerinin dikkatli seçimi ile yavaşladığını göstermiştir.

Albedah vd. [45] kompozit yamalar ile tamir edilen çatlak içeren alüminyum plakaların yorulma ömründe yük değişiminin etkisini araştırmışlardır. V şeklinde çentik açılan alüminyum 2024T3 ve 7075T6 alaşımlı numunelerin yorulma davranışları boron/epoksi kompozit yamalar ile tamir edilerek deneysel olarak çalışılmıştır. Çentik açıldıktan sonra kompozit yama bir yapıştırıcı yardımı ile birleştirilmiştir. Sonuçlar yorulma yük değeri arttıkça kompozit yama ile tamir edildikten sonra her iki alüminyum alaşımında da hasar ilerlemesinin yavaşladığını ortaya koymaktadır.

Cheng vd. [46] kompozit yamalar ile tamir edilen malzemelerin çekme davranışlarına deneysel olarak karar vermişlerdir. Çentikli kompozit plakaların yamalar ile tamir edilmesi sonucu çekme testi altında yük taşıma kapasitesini ve hasar proseslerini araştırmışlardır. Tamir edilen malzemelerin hasar modları görsel muayene ve ses emilimi ile belirlenmiştir. Sonuçlar tamir edilen malzemelerin hasar gelişiminin

yalnızca yamanın setliğine, rijitliğinin yanı sıra katman sırasına da bağlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Constantin vd. [47] kompozit yamaların yapıştırılması ile tamir edilen alüminyum panellerin mekanik performanslarını inceledikleri çalışmalarında, nümerik analizleri deneysel sonuçlar kullanarak kıyaslamış ve tutarlı sonuçlar elde etmişlerdir. Sayısal çalışma doğrulandıktan sonra çeşitli yama konfigürasyonları ile çalışmalar sürdürülmüştür. Yamanın yapıştırılmasında kullanılan yapıştırıcı tabakası modellenmiş ve gerilme dağılımları dikkate alınarak yama konfigürasyonlarının etkileri incelenmiştir.

Errouane vd. [48] çekme altındaki çatlak barındıran alüminyum plakaların kompozit yamalar ile tamirinin dizayn optimizasyonunu nümerik olarak belirlenmişlerdir. Çalışma sonlu elemanlar metodu kullanılarak çatlak bölgesindeki gerilme yoğunluğu faktörünün tespiti açısından güzel sonuçlar vermiştir. Model doğrulandıktan sonra çeşitli yama konfigürasyonlarının ağırlık, genişlik ve kalınlık gibi analizler yapılmıştır. Bu yama konfigürasyonları da farklı çatlak boyutları altında gerçekleştirilmiştir ve çekme altında çatlak ilerlemesinde yama kullanımı oldukça başarılı sonuçlar vermiştir.

Benyahia vd. [49] uçak yapılarında kullanılan 7075 T6 Alüminyum levhada çatlak bulunması durumunda kompozit ve alüminyum yama ile tamir edilmesini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Kompozit yamalar hem yaşlandırılmış hem de yaşlandırılmamış numuneler için sayısal ve deneysel testler yapılmıştır. Deneysel çalışmalar kompozit yama ile tamir edilen malzemelerin yorulma ömrünün uzadığını ortaya koymaktadır. Yaşlandırılmış yamalar ile tamir edilen malzemelerin dayanımının azaldığı görülmektedir. Kompozit yamalar çatlak bölgesindeki gerilme yoğunluğu faktörünü azaltmıştır ve yapıştırıcı bölgesindeki gerilme büyüklükleri de azalmıştır. Deneysel ve sayısal sonuçlar, kompozitle yapılan yamaların alüminyumla yapılan yamalardan daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Sabelkin vd. [50] kompozit yamaların yapıştırılması ile tamir edilen çatlak içeren Alüminyum 7075-T6 panellerin yorulma ve diğer mekanik davranışlarını deneysel ve analitik olarak araştırmışlardır. Çatlak etrafında şekil değiştirme dağılımı, düzlem dışı deformasyon ve artık gerilme dağılımı ortaya konulmuştur. Çalışmanın sonucunda yamaların yapıştırılması ile tamir edilen yapıların yorulma ömrü açısında kalıcı dayanımı artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Khalili vd. [51] kompozit yamalar kullanarak tamir edilen çatlak içeren AA-1050 alüminyum plakaların çentik darbe testi davranışlarını deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmalarında karbon ve cam fiber takviyeli iki farklı yama malzemesini iki farklı katman sayısında (3 ve 5) kullanmışlardır. Çatlak içeren alüminyum plakalarda ise 3 farklı çatlak boyu kullanmışlardır. Enerji sönümleme özellikleri araştırılan farklı konfigürasyonlar karşılaştırıldığında, 5 tabakalı karbon fiber içeren yamaların daha iyi sonuçlar verdiği saptanmıştır.

Kwon ve Hall [52] kompozit yamalarla tamir edilen çatlak içeren ince sertleştirilmiş plakaların analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Tek taraflı kompozit yama kullanarak mod-I şekil değiştirme enerjisi oranı önceden tahmin etmek analitik model geliştirmişlerdir. Bunun yanında sonlu elemanlar metodunu kullanarak da mod-I şekil değiştirme enerjisi oranını tahmin etmişlerdir ve analitik sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Sonuçlar tamir edilmiş malzemedeki tarafsız eksenin yerinin çok önemli olduğunu göstermektedir.

Gong vd. [53] tabakalı kompozit yapıların yama yapıştırılması sonucu tamir edilmesinin tasarımı ve optimizasyonunu araştırmışlardır. Çentikli numunelerin çekme testi altında davranışları sonlu elemanlar metodu kullanılarak sayısal ve deneysel olarak araştırılmıştır. Numunelerde hasar başlangıcı ve ilerlemesi yapılan yamanın sertliğine ve rijitliğine bağlı olduğu sonucunu ortaya koymuşlardır.

Manalo vd. [54] çelik kirişlerin önceden epoksi emdirilmiş karbon fiber takviyeli kompozit yamalarla tamirini mekanik testler yaparak araştırmışlardır. Yama olarak önceden epoksi emdirilen karbon fiber yani prepreg kullanılması çelik kirişlerin performansına oldukça olumlu bir şekilde etki etmiş, yük taşıma kapasitesini ve rijitliğini arttırmıştır. Vakumlu ortamda hazırlanan prepreglerin vakumsuz ortamda hazırlananlara kıyasla mekanik performansının daha iyi olduğu belirlenmiştir.

Daryabor ve Safizadeh [55], kompozit yamalar ile tamir edilen metal plakaların ısı transferini deneysel ve sayısal olarak araştırdıkları çalışmalarında bozunum özelliği ve ısıtma prosedürü gibi parametrelerinin önemli rol oynadığını belirlemişlerdir. Çalışmada deformasyon tipinin delaminasyon gibi bazı parametrelere etkisi de araştırılmıştır. Sayısal çalışmalar deneysel sonuçlar kullanılarak doğrulanmıştır.

Ramji vd. [56] sonlu elemanlar metodunu kullanarak kompozitlerin tamirinde kullanılan yamaların şeklinin optimizasyonunu araştırmışlardır. Bu optimizasyon yamanın kalınlığı, katmanlama konfigürasyonu ve yamanın şekli gibi parametreleri kapsamaktadır. Çalışmada optimum tasarımı yapabilmek için 3 boyutlu sonlu elemanlar metodu tercih edilmiştir. Yama şekli olarak dairesel, dikdörtgensel, kare, elips ve altıgen geometrili yapılar kullanılmıştır. Çalışmada en iyi performansın altıgen yama şekli tarafından gösterildiği ortaya konmuştur.

Pandey ve Kumar [57] kompozit yamaların yapıştırıcı ile birleştirilmesi ile tamir edilen metalik hava taşıtlarını sayısal olarak araştırmışlardır. Yapıştırıcı tabakası elasto-plastik olarak modellenmiştir. Çatlak içeren alüminyum alaşımlı yapılar karbon fiber takviyeli kompozit yamalar ile tamir edilmiştir. Kare ve altıgen olarak iki farklı yama geometrisi dikkate alınmıştır ve aynı zamanda sayısal analizlerde lineer olmayan geometrik ve malzeme özellikleri dikkate alınmıştır.

Ergün, [58] eliptik delikli alüminyum plakalar ve cam elyaf takviyeli kompozit yamalar ile, DP460 yapıştırıcı malzemesi kullanarak çift taraflı yapıştırma bağlantıları oluşturmuş sonrasında çekme yükü uygulayarak hasar yükleri ve gerilme davranışlarını, deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Sayısal analizler için ANSYS 12.0 programı kullanmıştır. Sayısal hasar yükleri ve deneysel hasar yükleri karşılaştırmış ve %92 oranda yakınsama gözlemlenmiştir.

Saylık [59] çalışmasında çentikli alüminyum plakaları kompozit yamayla onararak tamir etmiştir. Onarılan 5754 alüminyum plakalarda; çentik boyunu ve genişliğini temel alarak beş değişik çentik boyutunda hazırlamıştır. Çentikli alüminyum plakalara tek taraflı ve çift taraflı kompozit yama uygulayarak iki farklı onarım yapmıştır. Kompozit yama olarak aynı takviye yoğunluğunda ve yönlenme açısında [0^o] dört çapraz dokumalı karbon elyaf kumaş kullanmıştır. Yapıştırıcı ise Hysol EA 9396 epoksi tercih etmiştir. Hazırlanan yamalar, yapıştırıcıyla alüminyum plakaların çatlak bölgesini dolduracak biçimde yapıştırılıp vakum ortamına bırakılarak onarmıştır. Yamasız ve tek-çift taraflı yama ile onarılan Alüminyum plakalar çekme yükü altında test edilmiştir. Sayısal olarak sonlu elamanlar metodunu kullanmıştır. Çentikli alüminyum plakaların yama durumları ve çentik boyutları değişiminin çekme yükü altında hasar davranışlarına etkisi karşılaştırılarak sonuçlar yorumlanmıştır.

Karaman [60] çalışmasında eliptik delikli AA-5083 alüminyum plakaların çift taraflı bindirme bağlantısını eğme yükü altında davranışlarını sayısal olarak hesaplamıştır.
Cam elyaf takviyeli kompozit malzemeyi Bindirme bağlantısı olarak kullanmıştır. Bağlantılar DP460 yapıştırıcı malzemesiyle oluşturmuştur. Sayısal analiz için sonlu elemanlar analiz programı ANSYS 14,5 kullanmıştır. Bu analizlerde bindirme uzunluğunun(H), elips büyük yarıçapının(R), elips küçük yarıçapının(r) değişimlerini eğme davranışına etkisi incelenmiş ve grafiklerle göstermiştir. Yamalı numuneler ve yamasız numuneler karşılaştırıldığında yamalıların fazla yük taşıdığını görmüştür. Yama uzunluğunun artması yapışma yüzeyini arttığı için numunelerin mukavemetini artırmıştır.

Aslan vd. [61] düşük hızlı darbe uygulanan fiber takviyeli tabakalı kompozitleri dinamik davranışlarını incelemişlerdir. Cam fiber/epoksi kompozitlerin zamana bağlı analizleri üzerine deneysel ve sayısal araştırma yapmışlardır ve sayısal olarak bulunan temas kuvveti-zaman değerleri, deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Düşük hızlı darbe uygulanan tabakalı kompozitlerde darbe hızının, kompozit plağın boyutlarının ve kalınlığının, darbe kütlesinin, önemini belirlemişlerdir.

Topac vd. [62] düşük hızlı darbe uygulanan kompozitlerde hasar sürecini sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında tek yönlü $[0_5/90_3]s$ karbon fiber kiriş yapılar üzerine silindirik uçlu vurucu düşürerek yapmışlardır.Sonucunda oluşan matris çatlaklarından ve delaminasyondan oluşan hasarın başlaması ve ilerlemesini saniyede 60.000 kare görüntüyle ultra yüksek hızlı kamera ile gerçek zamanlı olarak görselleştirmişlerdir ve hasar sırasını net bir şekilde yakalamışlardır. Üç boyutlu sonlu elemanlar analizleri ABAQUS programı ile yapmışlardır ve çalışmaları sonucunda, havacılık ve rüzgâr türbini endüstrisinde kullanılan gerçekçi istifleme dizilerini deneysel sonuçlarla ilişkilendirip, hesaplamalı hasar modelleri için gerçekçi model oluşturulabileceği kanısına varmışlardır.

Long vd. [63] düşük hızlı darbe uygulanan kompozit levhaların hasar analizlerini incelemişlerdir. Ara yüzeylerde delaminasyon alanını araştırmak amacıyla Ultrasonik C-Tarama kullanılmışlar ve sayısal modellerini, kohezif temas yöntemini uygulandığı hasar modeli ile oluşturmuşlardır. Sonlu elemanlar sonuçları ile deneysel sonuçlar uyum

göstermiştir. Çalışmalar sonucunda, delaminasyon bölgesini darbe noktası civarında simetrik olarak dağılmış şekilde bulmuşlardır.

Zhang ve Zhang [64] düşük hızlı darbe uygulanan kompozit tabakalarda kritik darbe kuvveti ile ona karşılık gelen hasarı tahmini üzerine çalışmışlardır. Tabakalardaki hasarı analiz etmek ve hasar modunun tabaka rijitliği üzerinde etkisini araştırmak amacıyla sonlu elemanlar modelini oluşturmuşlardır. Orta düzleme bitişik arayüzlerde delaminasyon ve alt yüzeyde matris kırılmasının, kritik darbe kuvvetini karşılayan ilk yük düşüşüne sebep olduğu sonucuna varmışlardır.

Kim vd. [65] düşük hızlı darbe yükleri uygulanan lineer olmayan mekanik davranışı bulmak amacıyla cam elyaf takviyeli termoplastik kompozitler için üç boyutlu (3B) hasar ilerlemesi ve malzeme modeli geliştirmişlerdir. Bu çalışmalar neticesinde, üç boyutlu olarak ilerleyen hasar modelinin yalnız hasarın ilerleme ve çarpma eğilimini değil aynı zamanda delaminasyonuda tahmin etmek için kullanılabileceği sonucuna ulaşmıştır.

Cestino vd. [66] düşük hızlı darbe uygulanan kompozit havacılık yapılarının çekme ve burkulma altında davranışını deneysel ve sayısal olarak araştırmışlardır. Düşük darbe enerjisi seviyesinde paneller için, en fazla çekme yükünde ortalama %20'lik ve daha yüksek enerji seviyesinde %70'e yaklaşan bir azalma görmüşlerdir.

Liao ve Liu, [67] plastik fiber takviyeli kompozit tabakaların düşük hızlı darbe uygulaması altında hasar mekanizmalarını ve dinamik analizlerini incelemişlerdir. Düşük hızlı darbe uygulaması altındaki iki kompozit numunelerin, temas kuvveti-zaman grafikleri, yer değiştirme-zaman grafikleri ve farklı darbe enerjilerinde sönümlenen enerji grafikleri,sonlu elemanlar analizleri ve deneylerden elde edilen sonuçları mukayese ederek incelemişlerdir. Sayısal sonuçlar, darbe enerjisi fazlalaştıkça plastik hasarın, elastik hasar modelinden daha fazla hassaslığa neden olduğunu göstermiştir.

Cai vd. [68] cam fiber takviyeli ve tek yönlü kompozitlerin eksenden kaçık çekme yükü uygulaması altındaki mekanik özellikleri deneysel olarak incelemişlerdir. Kompozit plakaların hasar mekanizmalarını incelemek amacı ile farklı fiber açıları göz önüne alarak bir dizi testler gerçekleştirmişlerdir.Belirlenen çatlak yüzeylerini taramalı

elektron mikroskobuyla (SEM) gözlemlemişlerdir.Kompozitlerin çekme yükü uygulaması altındaki hasar mekanizmalarını tespit etmişlerdir.

Sisi vd. [69] farklı ağırlıklıların uygulanmasıyla tekrarlı düşük hızlı darbe etkisinde kalan tabakalı kompozit kirislerin dinamik eğilimi için teorik bir model ortaya koymuşlardır. Çalışma neticesinde, temas kuvvetleri, kiris deplasmanları, kiris tarafından sönümlenen enerjilerle normal ve kayma gerilmeleri üzerlerinde çarpma zamanının çok önemli bir rol oynadığını tespit etmiş ve göstermişlerdir.

Lee ve Lee [70] tek yönlü yamayla onarılmış levhalarda kalınlık boyunca çatlak büyüme doğrultusunu ve levhaların ömrünü lineer olmayan sonlu elemanlar metodu ile deneysel sonuçlar ile uyumlu olarak hesaplamışlar ve Grafit/epoksi kompozit yamayla tamir edilmiş çatlaklı alüminyum plakaların yorulma çatlak büyüme eğilimlerini sonlu eleman analiziyle incelemişlerdir. Yorulma ömrünü ve çatlak ucu gelişiminin belirlenmesinde deneysel ve analitik sonuçlar uyumlu çıkmıştır. Böylece tek taraflı tamirler için yorulma ömrü ve çatlak ucu gelişiminin, sonlu eleman analiziyle tespit edilebileceği sonucuna varılmıştır.

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

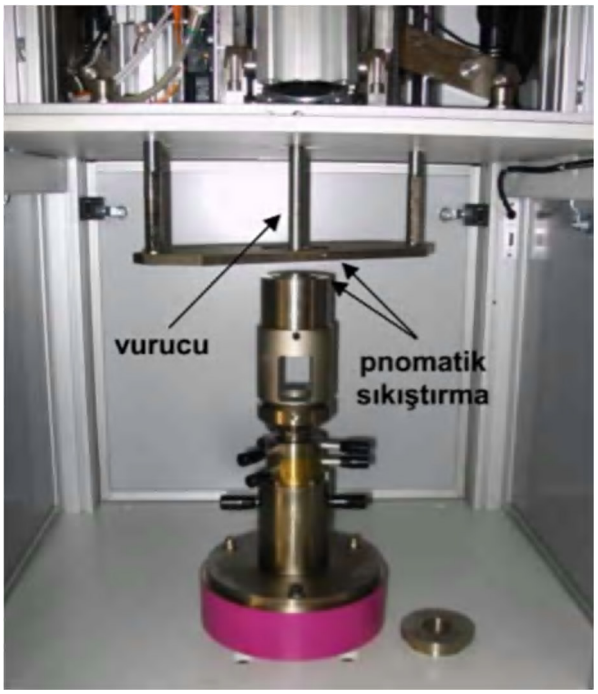
2.1. Deneysel Yöntem

Kompozit yamalarla tamir edilmiş çentikli malzemelerin düşük hızlı darbe davranışlarına fiber tipi ve yöneliminin etkisinin deneysel incelemesinde şu adımlar takip edilmiştir:

- Metal plakaların temini, uygun boyutlara getirilmesi ve çentik açılması,
- Fiber takviyeli tabakalı kompozit plakaların üretimi için gerekli olan sarf malzemelerin temini,
- Vakum infüzyon yöntemi ile kompozit plakarın üretimi ve uygun boyutlara getirilmesi,
- Alüminyum yamaların uygun boyutlara getirilmesi,
- Yapıstırıcı malzemesinin temini,
- Yapıştırma işlemi için ön çalışmalar ve yapıştırma işlemi
- Fractovis Plus düsük hızlı darbe test cihazı (Sekil 2.1) ile deneylerin yapılması,
- Deneysel verilerin toplanması,
- Darbe sonrası numunelerin hasar analizlerinin yapılması
- Bilgisayar ortamında deneysel verilerin islenmesi ve yorumlanması,



*Şekil 2.1.*Ceast Marka Fractovis Plus Düşük Hızlı Darbe Test Cihazı



*Şekil 2.2.*Pnomatik Numune Bağlama mekanizması

Özel üretim test cihazıyla, numunenin düşük hızlı darbe davranışlarının dinamik darbe testleri yapılmıştır. Cihaz darbe başlangıcından sonuna kadar darbe enerjilerini kaydedebilen özelliktedir.

İtalya menşeili INSTRON firmasından ithal edilen CEAST marka düşük hızlı darbe test cihazı, enerji iletme kabiliyetine sahiptir. Sistem ile farklı geometriye sahip vurucu uçlar kullanılabilmekte ve 0.8 – 25 m/s hız aralığında, plaka ve filmlerde delme testleri, Izod ve Charpy testleri yapılabilmektedir.

Cihaz (Şekil 2.1, 2.2) bağlama aparatını, çelik rayları, darbe ucu kütlesini üzerinde tutan alt tabla, çelik ray-darbe ucu kütlesi bağlantısı ve numune bağlama aparatı grubuyla elektronik kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Cihazda bulunan darbe ucu kütlesinin istenilen yüksekliğe getirilmesini sağlayan palanga sistemi ve bu sistemi tutan mekanik bir kanca da bulunmaktadır. Sistem üzerindeki kol kaldırıldığı zaman, darbe ucu kütlesinin serbest düşmesiyle çelik rayda düşey hareket oluşur.

2.2.Kompozit Plakanın Üretilmesi

Fiber takviyeli kompozit malzemelerin vakum infüzyon yöntemi ile üretilmesi bu başlıkta anlatılmıştır.

Camfiber plakalar Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi laboratuvarlarında vakum destekli reçine infüzyon yöntemi ile üretilmiştir.

Cam takviyeli epoksi malzemelerin yüksek dayanıklılığını yanında üretim prosesleri kolaylığı sebebiyle ucuz ve çabuk ulaşılabilir olması, kompozit malzemede oluşan hasarın kısmende olsa gözle görülebilir olması ve kürleme (sıcaklık etkisi olmaksızın sertleşme) özelliğinin olması kullanılacak numune malzemesi seçiminde göz önünde bulundurduğumuz nedenler olarak sıralayabiliriz. İzoreel Kompozit İzole Malzemeler Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi'nde Epoksi/Cam Kumaş bazlı levhaların kalite sınıfları Tablo G.3.'de şu şekilde sıralanmıştır:

Tablo G.3. Epoksi/Cam Kumaş Bazlı Levhaların Kalite Sınıflarının Belirgin Özellikleri

Özellikler	Test Metodu	Birim	Hgw 2372 Grade G10 Ep GC 201	Hgw 2372.1 Grade FR-4 Ep GC 202	Hgw 2372.4 Grade G11 Ep GC 203
Mekanik Özellikler					
Çekme Mukavemeti	ISO 527	MPa	320	280	320
E Modülü	ISO 178	GPa	20	20	20
Eğilme Mukavemeti	ISO 178	MPa	400	350	450
Bası Mukavemeti	ISO 609	MPa	500	500	550
Fiziksel Özellikler					
Özgül ağırlık	ISO 1183-A	g/cm³	1,8 - 2,0	1,8 – 2,0	1,8 – 2,0
Su emme	ISO 62/1	Mg	15	10	15
Sıcaklık dayanımı	IEC 216	T.I	150	180	180
Alevlenebilirlik	UL 94	-	-	FVO	-
Elektriksel Özellikler					
Elektriksel mukavemet (90°C yağda)	IEC 243-1	KV/mm	18	13	18
Dağılma faktörü, 50Hz	IEC 250		0,008	0,005	0,008
Geçirgenlik, 50Hz	IEC 250		5,0	4,5	5,0

Bu çalışmada cam elyaf takviyeli epoksi levha olarak Hgw 2372 seçilmiştir. Darbe cihaz üzerindeki darbe ucu 7,045 Kg'lık bir kütleye sahiptir ve tabaka sayısının belirlenmesinde bu kütleye bağlı olarak 4 ve 8 tabakalı çift yönlü güçlendirilmiş kompozit malzeme seçilmesi uygun görülmüştür.

Üretim aşamaları:

- Şekil 2.3'de görüldüğü üzere altında rezistans bulunan alüminyum masa temizlenerek üretim yapmak için temiz hale gelmiştir.



*Şekil 2. 3.*Alüminyum masa.

- Kalıp yüzeyinde kaplama ayırıcı bir film ile yapılmıştır. 650×1300 mm boyutlarda levha kenarlarından 10 mm daha büyük olacak şekilde kesilerek, kenarları sızdırmazlık bandıyla Şekil 2.4'deki gibi masaya yapıştırılmıştır.



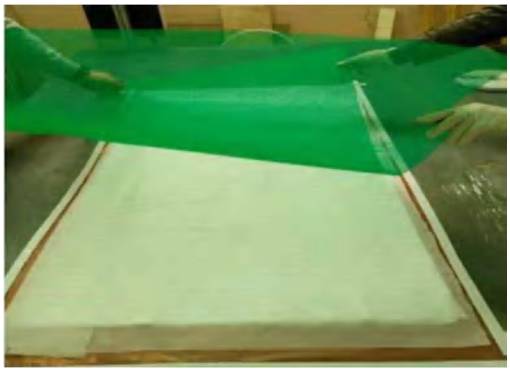
Şekil 2. 4.Ayırıcı film.

- 650×1300 mm boyutlarında, [0/90] iki yönlü cam fiber kumaş kesilmiş, dört ve sekiz katman olacak şekilde Şekil 2.5'deki gibi ayırıcı film üzerine serilmiştir.



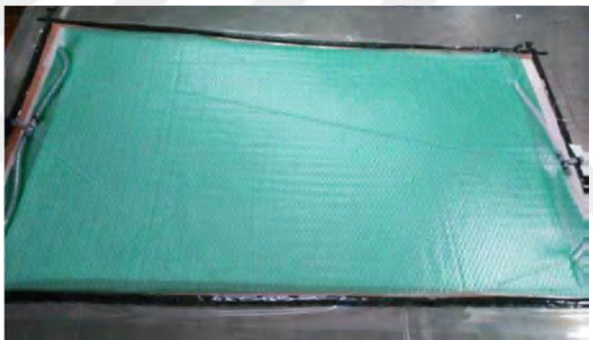
Şekil 2. 5.Ayırıcı film üzerine camfiber kumaşın serilmesi.

- İnfüzyon filesi ve soyma kumaşı cam fiber kumaşların üzerine tamamen kapatacak şekilde kesilmiştir. Cam fiberlerin üzerine soyma kumaşı ve soyma kumaşı üzerine infüzyon filesi gelecek biçimde Şekil 2.6'daki gibi serilmiştir.



*Şekil 2. 6.*Soyma kumaşını üzerine infüzyon filesinin serilmesi.

Vakum naylonu tüm malzemeleri içine alacak boyutlarda kesilerek, T bağlantı borusu, infüzyon hortumu ile spiral hortum birleştirilip vakum naylonun altına reçinenin ilerleme doğrultusuna 2.7'deki gibi yerleştirilmiştir.



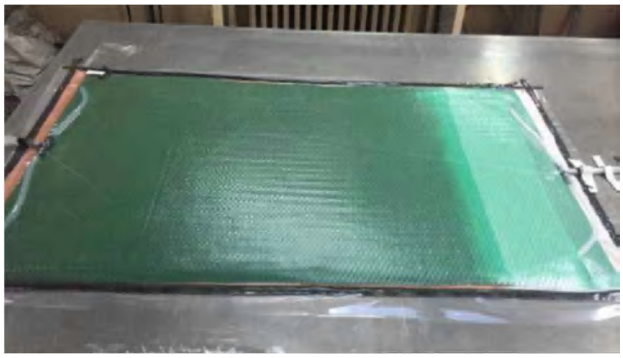
*Şekil 2. 7.*Vakumun oluşturulması.

- Vakum pompası çalıştırılıp, sızdırmazlık kontrol edilmiştir.
- Sertleştirici ve epoksi Şekil 2.8'de görüldüğü gibi bir kap içerisinde birleştirilip reçine bir çubuk ile karıştırılarak hazırlanmıştır.



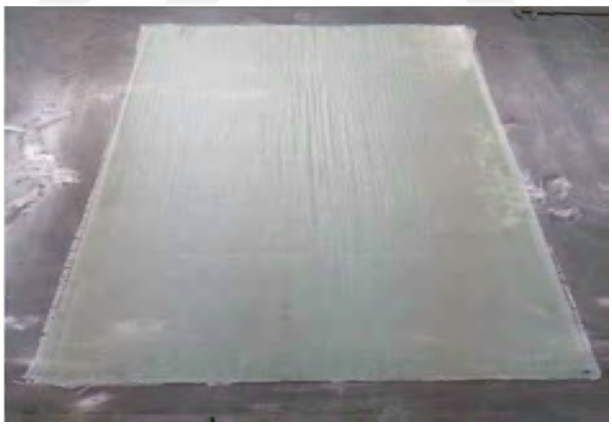
*Şekil 2. 8.*Reçinenin karıştırılması.

- Vakum pompası çalıştırılıp, reçinenin vakum ortamında yol alması Şekil 2.9'daki gibi izlenir.



*Şekil 2. 9.*Reçinenin vakum ortamında yol alması.

- Reçine doldurulduktan sonra, alüminyum masadaki rezistanslarından faydalanılarak 100°C de 2 saat boyunca vakum altında bekletilir. Cam fiber kompozit üzerinde vakum naylonu, infüzyon file ve soyma kumaşı kompozitten ayrılıp camfiber kompozit oluşturulur. Şekil (2.10)

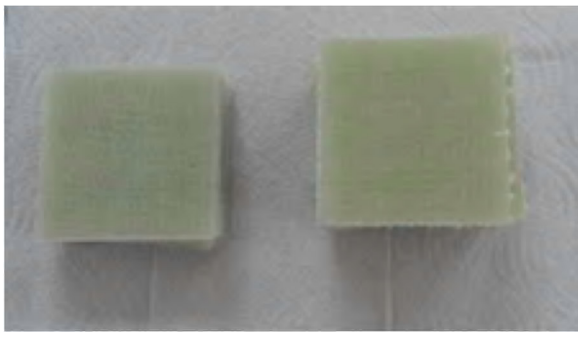


*Şekil 2. 10.*Üretilen camfiber plaka.

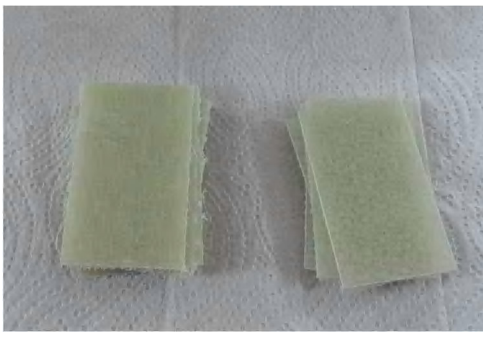
- Camfiberkompozit plakalar 50x50 mm ve 30x50 mm boyutlarına yüksek hızlı testere (Şekil 2.11) yardımıyla kesilir.



*Şekil 2. 11.*Yüksek Hızlı Testere.



(a)



(b)

*Şekil 2. 12.*50x50mm(a) ve 30x50mm(b) boyutlarında kesilmiş cam fiber plakalar.

Tez çalışmasında cam fiber kumaşlar kullanılmıştır. Cam fiber takviyeli epoksi matrisli kompozit [0/90]s açı oryantasyonuna sahiptir. Cam fiber takviye elemanının hacimsel oranı %55'tir. Çapraz katlı kompozitin fiber takviye elemanı olarak içinde bulunan cam fiber, E-camıdır. Kompozit plakaların kalınlığı 1 mm ve 2 mm'dir. Kompozit plakalar

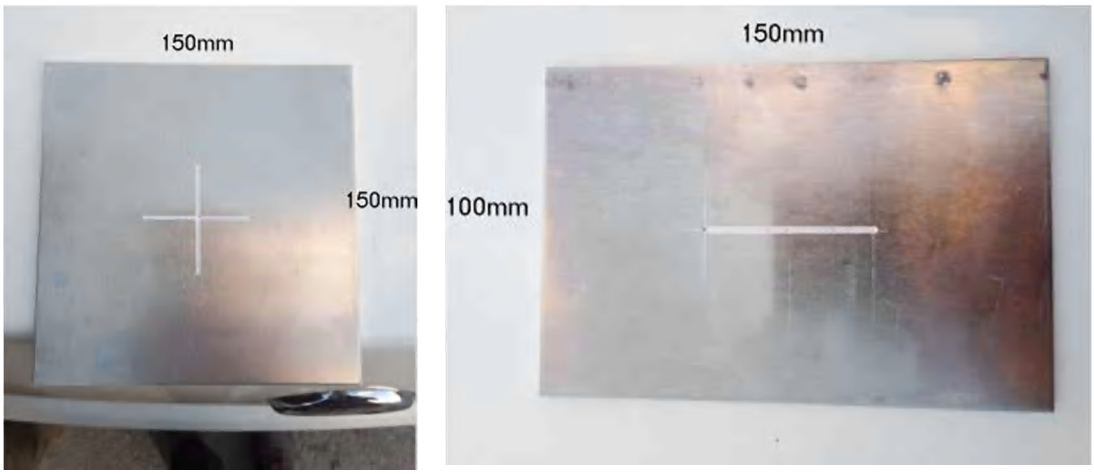
çift yönlü üst üste 4 ve 8 tabakadan oluşmaktadır. Cam fiber takviyeli polyester kompozitler yüksek hızlı dairesel testere kullanılarak Şekil 2.12b ‘de gösterildiği gibi dikdörtgen geometrili plaka için 30×50mm boyutlarında, Şekil 2.12a’da görüldüğü gibi kare geometrili plaka için 50x50mm boyutlarında kesilmiştir

2.3. Alüminyum Malzemenin Hazırlanışı

Kompozit yama ile tamir edilmiş çentikli metal plakalarda hasar analizi deneyi için kullanılacak olan 2024 T3 Alüminyum malzemelere çentik açma işlemi yapılmıştır. Bu çentikler pantograf tezgahında plakaların tam ortalarına gelecek şekilde 1*1*50mm ölçülerinde çentikler açılmıştır. Bu çentik Şekil 2.13’de görüldüğü gibi dikdörtgen geometrili Alüminyum plakada tek çentik açılmış olup kare geometrili alüminyum plakaya ise birbirini 0°-90° kesecek şekilde (+) çentik açılmıştır.

Bu çentik açma işleminde pantograf tezgahında özel tasarlanan bir uç yardımı ile hassas bir şekilde açılan çentiklere yapılacak olan deneyde önce yamasız sonrada kompozit ve alüminyum yamalı olarak yapılacak hasar işlemi sayesinde kompozit yamaların oluşan hasar üzerindeki etkileri incelenecektir.

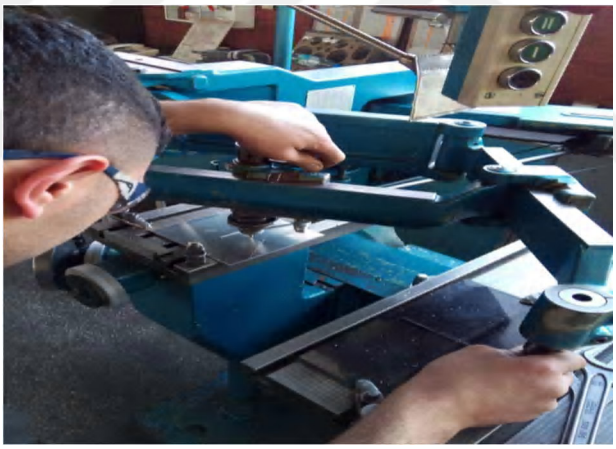
Metal plakaların farklı geometrilerde olması hasar analizindeki farklı değerler elde etmemize ve bu sayede daha geniş bir inceleme yapmamıza olanak sağlamaktadır. Kare geometrili metal plakalara artı şekilde çentik açılmış olup bu geometrilerdeki plakalarda oluşacak hasarı daha net ortaya koyması sağlanmıştır.



*Şekil 2. 13.*Çentik açılmış alüminyum numuneler.



Şekil 2.14.Özel Bir Kesici İle Kare Alüminyum Üzerine Çentik Açma İşlemi.



Şekil 2.15.Özel Bir Kesici İle Dikdörtgen Alüminyum Üzerine Çentik Açma İşlemi.

Şekil 2.14 ve Şekil 2.15'deki malzemelere CNC freze tezgahında bu çentikler açılmak istenmiş fakat parmak frezenin çapının 1 mm olması ve malzemenin alüminyum gibi yumuşak bir malzeme olması sebebiyle istenen verim alınamamıştır. 1 mm çapındaki parmak frezenin kesici zırhı daha ilk talaşa dalma sırasında talaş tarafından sıvandığı için ilerleme esnasında artık parmak freze kesme değil malzemeden talaşı sıyırmaya başladığından gerekli yüzey hassasiyetine ulaşılamamıştır. Bu durumu gidermek için bulunan çözüm ise 2'nci Ana Bakım Fabrika Müdürlüğü envanterinde bulunan pantograf tezgahına tasarlanan özel bir kesici yardımıyla 1 mm genişlikte ve 1mm

derinlikte olacak şekilde çentikler gerekli yüzey hassasiyetinde karşılayarak başarıyla açılmıştır. Bu çentikleri açmak için tasarlanan özel kesici parmak frezenin aksine zırh kısmına talaş sıvanmaması için tek ağızlı ve derin zırha sahiptir. Ayrıca bu kesici takımın uç açısı düşük olduğundan talaşı direk dışarı savurmakta ve zırh kısmına sıvanmasını engellemektedir. Bu sebepten sürekli olarak keserek talaş kaldırdığından yüzey kalitesi açısından istenilen seviyede çentik açma işlemi gerçekleştirilmiştir.

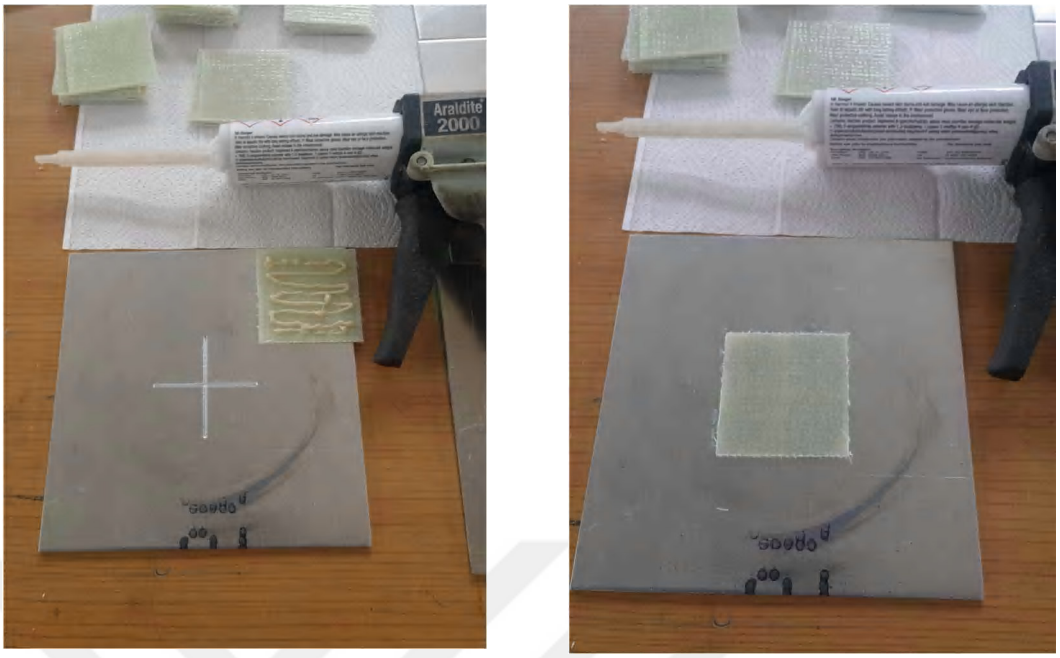
2.4.Alüminyum Levhaların Kompozit Yama ile Tamir Edilme İşlemi

Yapıştırıcı malzemesi olarak araldite 2015 kullanılmıştır. Toklaştırılmış macun, CFRP kompozitleri için ideal, 10mm ye kadar boşluk doldurma özelliğine sahiptir. Yüksek performanslı yapısal yapıştırıcılar veya mühendislik yapıştırıcıları ileri kompozit uygulamalarının ayrılmaz parçasıdır.

Bu ileri teknoloji yapıştırıcıları genellikle, en azından yapıştırılan malzemelere eşit mekanik özelliklere sahiptir ve yapıştırma sonrası elde edilen bitmiş parçanın nihai mukavemetiyle uyumludur.

ARALDITE 2000 serisi yapıştırıcılar, zorlu mühendislik gereksinimlerini karşılamak üzere özel olarak geliştirilmiş yapısal yapıştırıcılardır. Epoksi, poliüretan ve metakrilat esaslı yapıştırıcıları içerir. Bu seriyi karbon fiber, CTP / FRP, metal, ahşap, alüminyum honeycomb, nomex honeycomb, bazı plastik çeşitleri ve diğer materyalleri yapıştırırken kullabilmektedir.

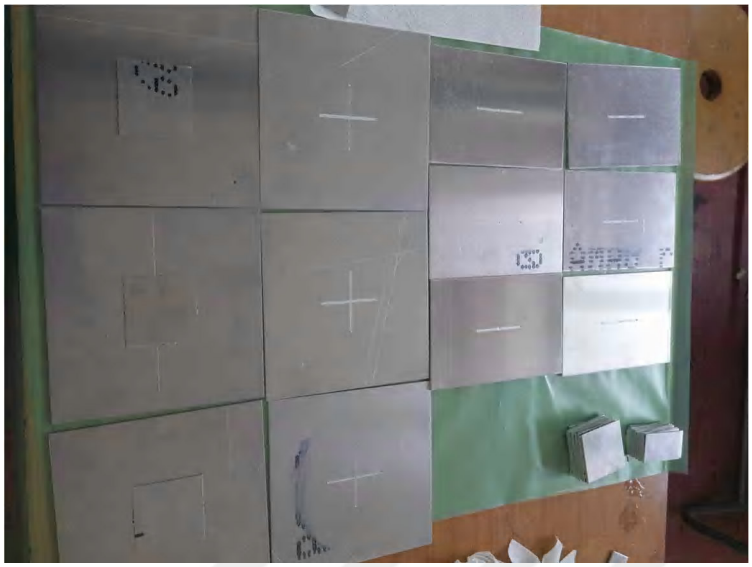
Uygulama: Araldite 2015 uygulaması kolay bir yapıştırıcıdır. Şekil 2.16, Şekil 2.17 ve Şekil 2.18’ de görüldüğü gibi kompozit plakalar ile metal plakalar arasına yeterli miktarda uygulandıktan sonra aparat yardımı ile basınç uygulanır (Şekil 2.19) ve yaklaşık 48 saat kürlenmeye bırakılır.Numuneler Şekil 2.20 deki gibi hazır hale geldikten sonra testlere geçilir.



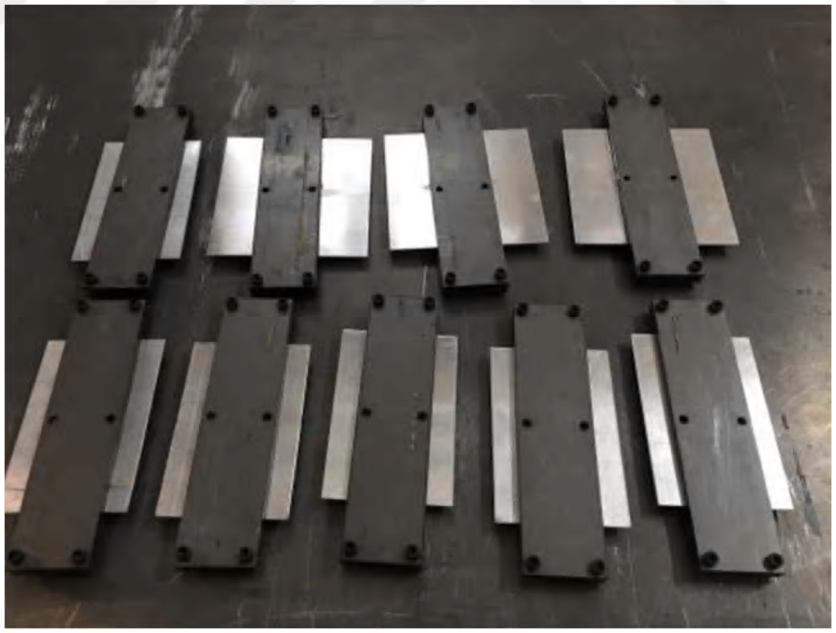
*Şekil 2. 16.*50×50 mm camfiber kompozit yamaların 150×150 mm Al. Plakalar üzerine yapıştırılma işlemi.



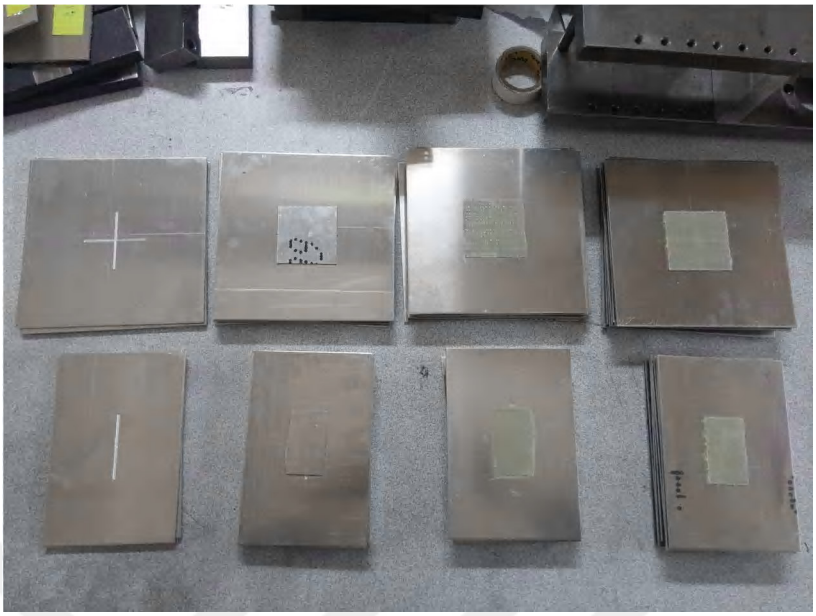
*Şekil 2. 17.*30×50 mm cam fiber kompozit yamaların 130×150 mm Al. Plakalar üzerine yapıştırılma işlemi.



*Şekil 2. 18.*50×50 mm ve 30×50 mm Al. Yamaların 150×150 mm ve 130×150 mm Al.Plakalar üzerine yapıştırılma işlemi.



*Şekil 2. 19.*Kompozit Yamaların Basınç Altında Yapıştırılması



*Şekil 2. 20.*Deneye Hazır Alüminyum ve Kompozit Yamalı Plakalar

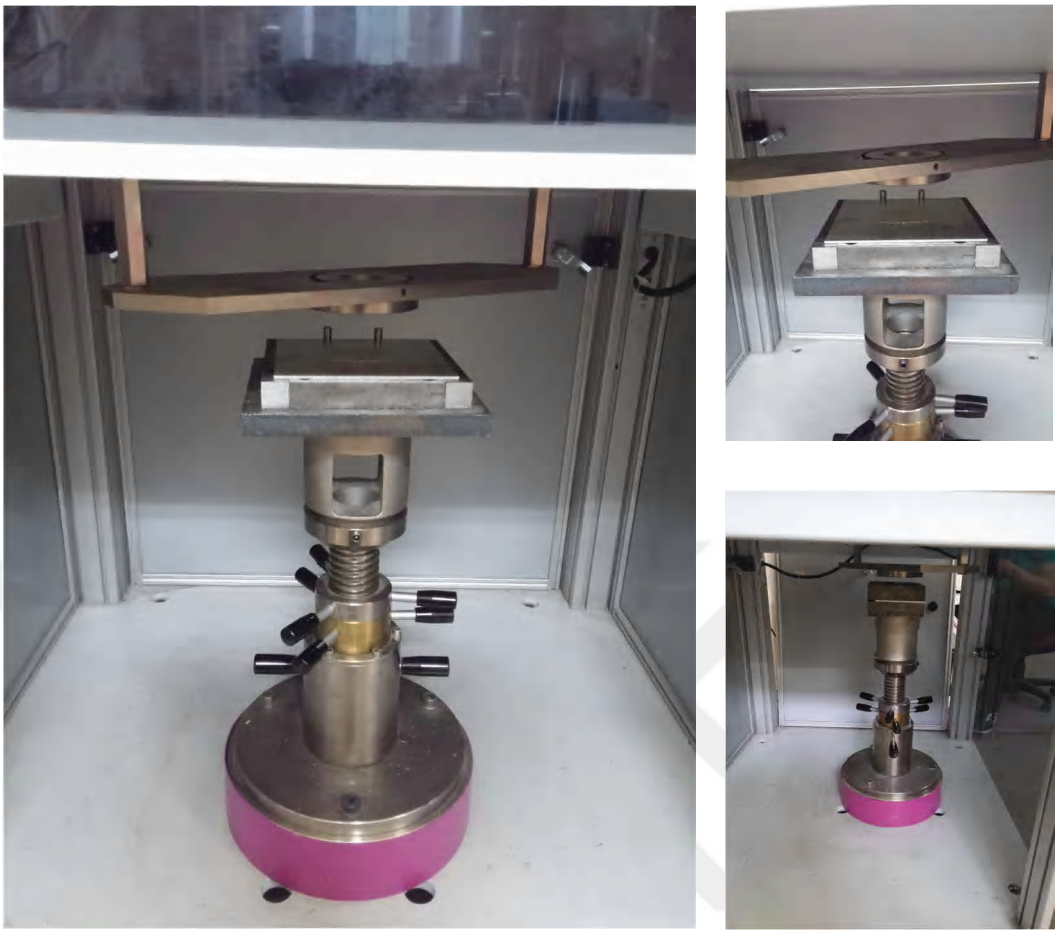
3. BÖLÜM

BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Giriş

Kompozit yamalar ile tamir edilmiş çentikli metal plakaların düşük hızlı darbe davranışları 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altında deneysel olarak incelenmiştir. Öncelikli olarak yamasız plakalarda darbe testleri yapılarak deformasyon geometrileri irdelenmiştir. Yamalar ile tamir edilmiş yamalı plakaların düşük hızlı darbe davranışları, temas kuvveti değişimi, kinetik enerji değişimi ve darbe sonrası görüntüleri açısından irdelenmiştir. Tez çalışmasında iki farklı çentik açılmış plaka geometrisi kullanılmıştır. Düşük hızlı darbe davranışları farklı yama geometrisi, farklı yama kalınlığı ve farklı yama malzemesi için araştırılmıştır.

Şekil 3.1'de görüldüğü gibi deneyde kullanılan numuneler dört tarafı ankastre olacak şekilde bağlama aparatına bağlanmıştır. Tablo 3.4'te tez çalışmasında kullanılan darbe hızı ve enerji seviyeleri verilmiştir. 7,045 kg kütleli vurucu 100x150x2mm boyutlarındaki numuneye ilk olarak 25 J, ikinci olarak 50 J, daha sonra 100 J darbe enerjisi ile darbe enerjisi yapılmıştır. 25 J'de alüminyum levha üzerinde bir yırtılma meydana gelmez iken 50J ve 100J enerjilerde çentik bulunan noktalardan yırtılma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Aynı işlem 150x150x2mm boyutlarındaki numuneye de uygulanmıştır. Daha sonra alüminyum yamalı, 1 mm kompozit yamalı ve 2 mm kompozit yamalı numunelere uygulanarak testlere devam edimiştir.



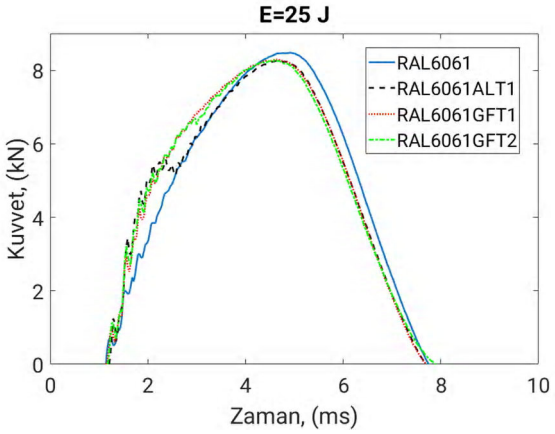
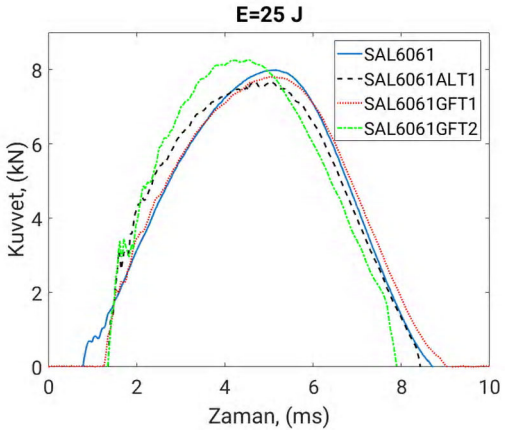
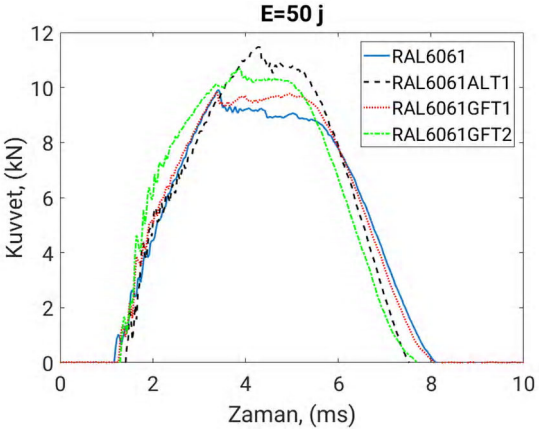
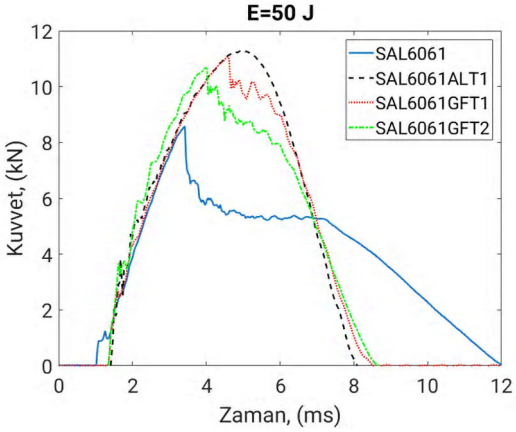
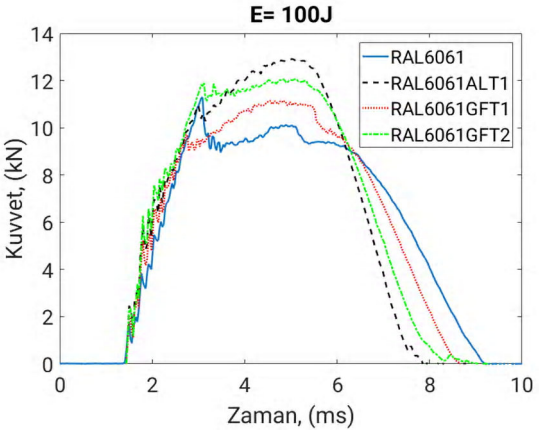
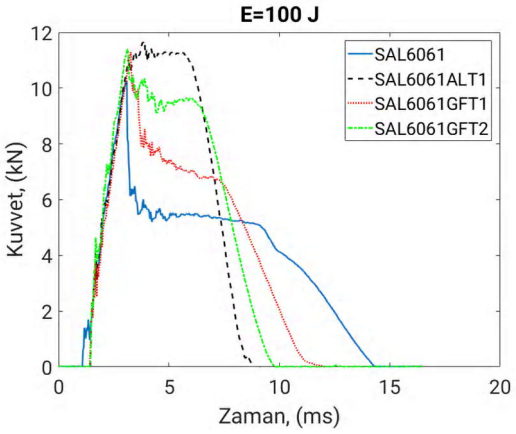
Şekil 3. 1. Numunelerin Fractovis Plus marka darbe cihazına bağlanması

Tablo 3.4. Darbe testlerinde kullanılan enerji seviyeleri

E (joule) Toplam Enerji	V(m/s) Çarpma hızı	M(kg) Kütle
25	2,7	7,045
50	3.8	7,045
100	5.33	7,045

3.2. Temas Kuvveti Değişiminin İrdelenmesi

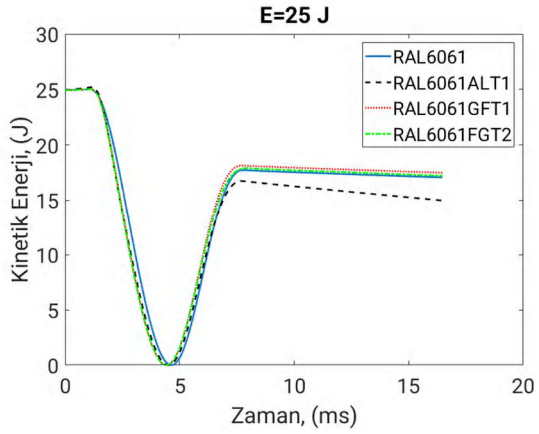
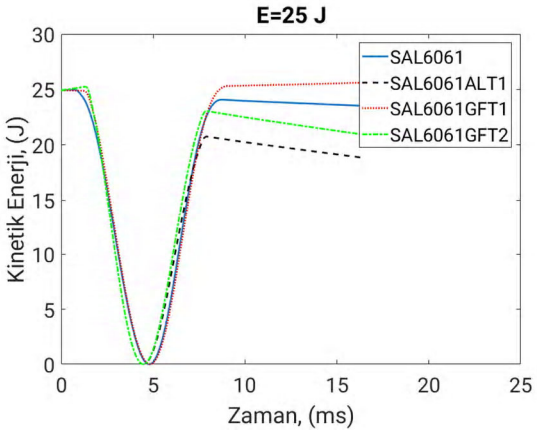
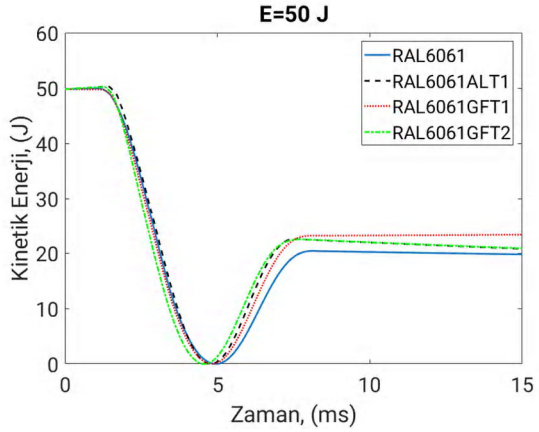
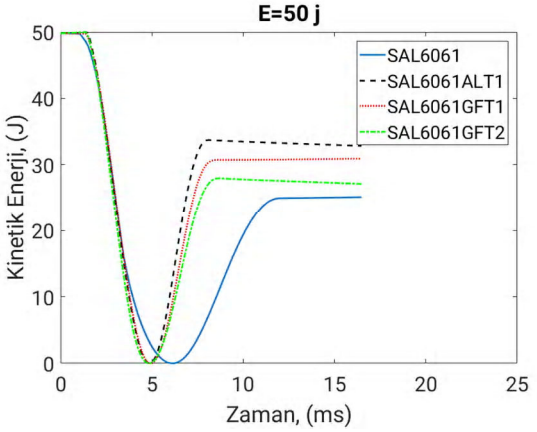
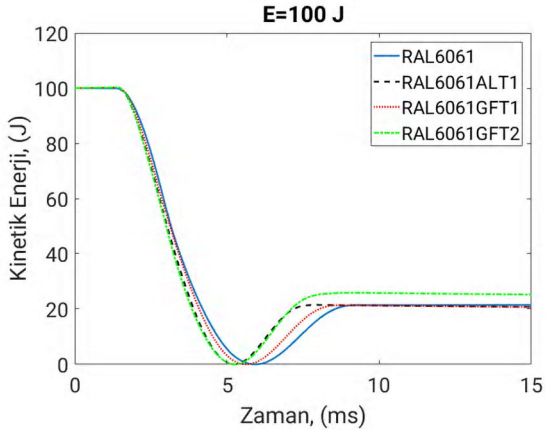
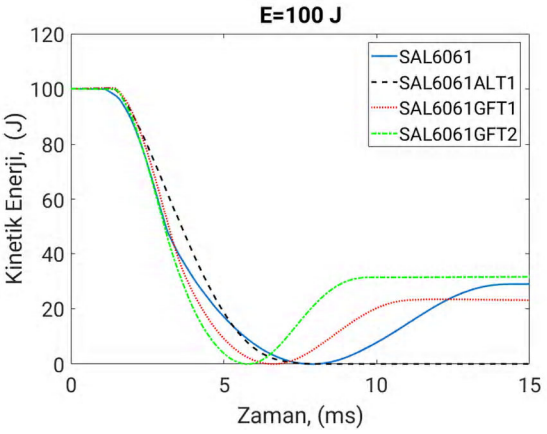
Şekil 3.2'de yama malzemeleri alüminyum ve cam fiber/epoksi kompozit olan farklı geometriye sahip çentikli alüminyum plakalar ve yamasız çentikli plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki temas kuvveti-zaman değişimleri verilmiştir. Plaka, yama ve çentik geometrisinin düşük hızlı davranışına etkisi açıkca ortaya konmuştur. Bunun yanında yama malzemesi ve yama malzemesi kalınlığının düşük hızlı darbe davranışına etkisi araştırılmıştır. Tüm parametrelerin temas kuvveti değişimi grafiklerde verilmiştir. Her bir parametre için farklı darbe enerjilerinde testler yapılmıştır ve darbe enerjisi artışının, darbe davranışına olan etkisi araştırılmıştır. **Dikdörtgen geometrili plakalar** dikkate alındığında, 25 J darbe enerjisinde yamalı ve yamasız numuneler hemen hemen benzer davranış sergilermişlerdir. En büyük temas kuvveti değeri yaklaşık 8 kN olurken, temas süreleri ise 8 ms civarındadır. Darbe enerjisi arttığında ise, en büyük temas kuvetleri 12 kN yaklaşırken, sırasıyla en büyük temas kuvvetleri alüminyum yamalı plaka, 2 mm kompozit yama kalınlığına sahip plaka, 1 mm kompozit yama kalınlığına sahip plaka ve yamasız plakada meydana gelmiştir. Yamasız plakalarda temas kuvveti artışının olmayışı, plakaların delinerek hasara uğradığını ve yük taşıma kabiliyetinin kaybolduğunu göstermektedir. Alüminyum yamalı plakalar oldukça rijit davranmıştır ve en büyük temas kuvvetleri ortaya çıkmıştır. Kompozit yamalar ise darbe enerjisini daha iyi sönümleyerek daha düşük temas kuvvetleri ortaya çıkarmıştır. Yama kalınlığının artması ile en büyük temas kuvvetlerinde artış olmaktadır. Temas süreleri ise, en büyük temas kuvvetine sahip plakalarla ters orantılı olarak değişmektedir ve yamasız plakalar en büyük temas süreleri sergilemektedir. **Kare geometrili plakalar** irdelendiğinde ise, 25 J darbe enerjisi altında, bütün numuneler benzer temas kuvveti davranışı göstermiştir. Darbe enerjisi arttıkça, numuneler hasara uğramış ve numuneleri davranışları değişmiştir. Bu geometride de en büyük temas kuvvetleri alüminyum yamalı plakalarda ortaya çıkmıştır. 1 ve 2 mm yama kalınlığına sahip numunelerde en büyük temas kuvvetleri benzer olurken, 1mm yama kalınlığına sahip numunenin temas kuvveti eğrilerinde ani düşüşler daha çok ve çabuk hasara uğradığını göstermektedir. Temas sürelerinde ise değişimler farklı olmakla birlikte, en kısa temas süresi alüminyum yamalı plalarda meydana gelmiştir. En uzun temas süresi ise yamasız plakalarda meydana gelmiştir. Temas kuvveti seviyeleri ve temas süreleri, kare ve dikdörtgen geometrili plakalarda benzer davranış göstermişlerdir.

Geometri: Dikdörtgen	Geometri: Kare
	
E= 25 J	
	
E= 50 J	
	
E=100 J	

Şekil 3. 2. Farklı plaka geometrilerine sahip yamalı ve yamasız çentikli plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki temas kuvveti-zaman değişimleri.

3.3. Kinetik Enerji Değişiminin İrdelenmesi

Şekil 3.3'de yama malzemeleri alüminyum ve cam fiber/epoksi kompozit olan farklı geometriye sahip çentikli alüminyum plakalar ve yamasız çentikli alüminyum plakaların 25, 50 ve 100 j darbe enerjileri altındaki kinetik enerji-zaman grafikleri verilmiştir. Darbe performansında en önemli hususlardan birisi de malzemelerin enerji sönümleme kapasitesidir. Ancak kinetik enerji değişimleri, temas kuvveti zaman grafiklerinden sayısal yöntemlerle elde edilmektedir. Bu açıdan grafiklerde hataların olabileceği düşünülmektedir ve yorumlar bu ölçüde yapılmıştır. Dikdörtgen geometriye sahip plakalar irdelendiğinde, bütün numuneler benzer enerji sönümleme kabiliyetine sahiptirler. Yamasız plaka delinerek hasara uğramıştır ve enerjiyi bu şekilde sönümlemiştir, alüminyum yamalı plaka plastik deformasyona uğrayarak enerjiyi deforma etmiştir ve kompozit yamalı plaka hasara uğrayarak enerjiyi deforme etmiştir. Darbe enerjisi arttıkça, numunelerin enerji sönümleme kabiliyeti artmaktadır. Kare geometrili plakalar irdelendinde, bütün numunelerin enerji sönümleme kabiliyeti değişmektedir. 25 J darbe enerjisi altında, en fazla darbe enerjisini alüminyum yamalı plaka sönümlemiştir. Darbe enerjisi arttıkça yamasız plaka delinmiş ve enerjinin hepsini absorbe etmiştir. Darbe enerjisi arttıkça numunelerin enerji sönümleme kabiliyeti artmaktadır. Kare ve dikdörtgen geometrili plakalara dikkat edildiğinde, enerji sönümleme kabiliyetleri benzer özellikler göstermişlerdir.

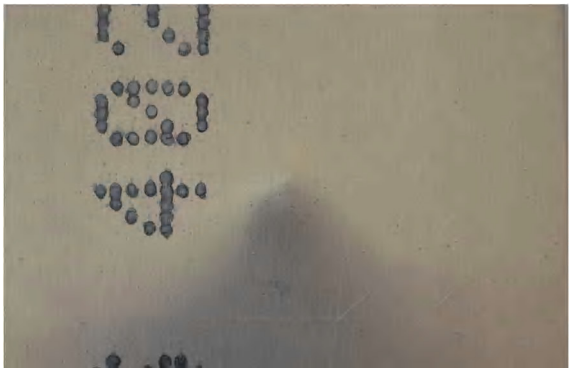
Geometri: Dikdörtgen	Geometri: Kare
	
E=25 J	
	
E=50 J	
	
E=100 J	

Şekil 3. 3. Farklı plaka geometrilerine sahip yamalı ve yamasız çentikli plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki kinetik enerji-zaman değişimleri.

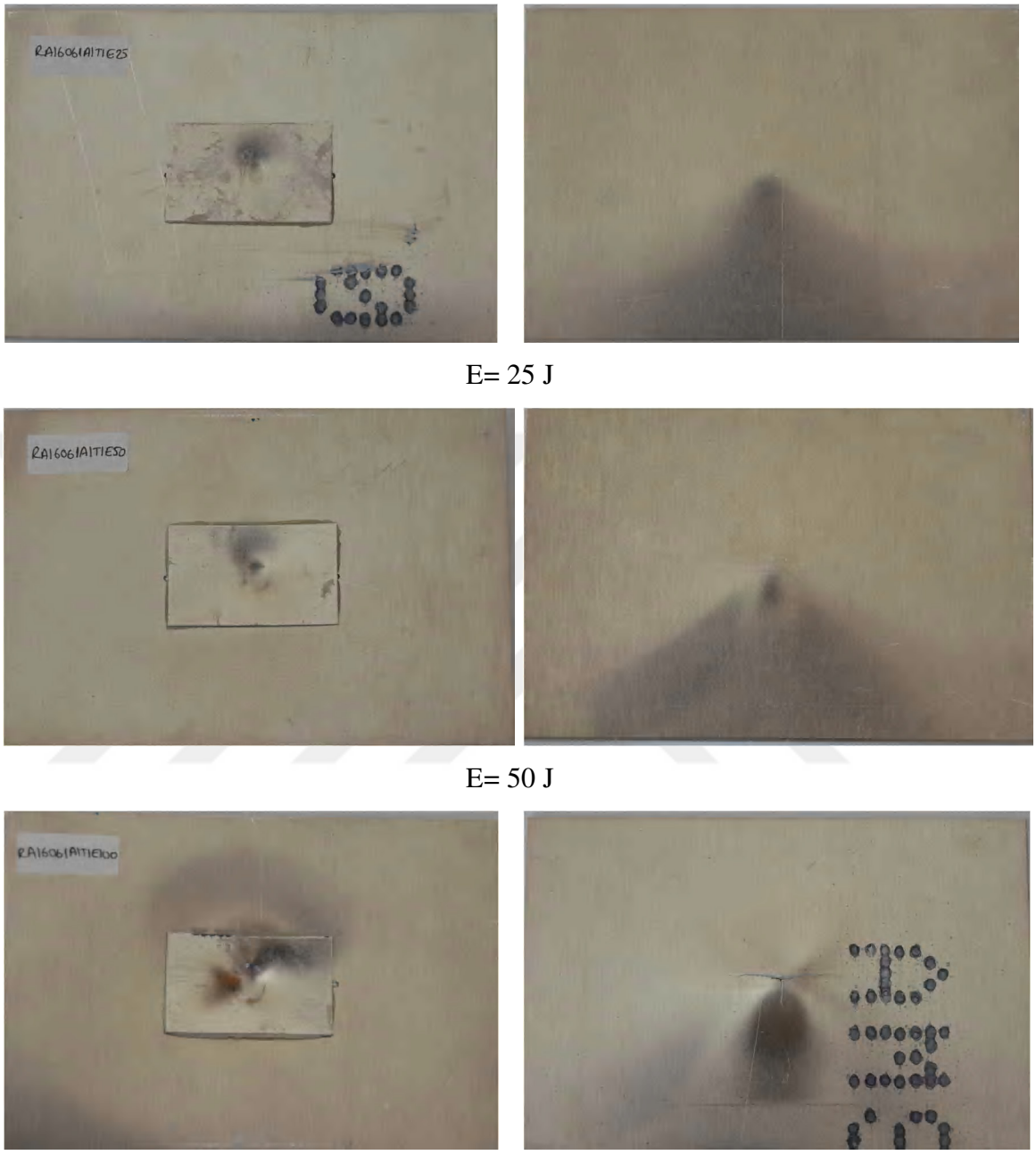
3.4. Darbe Testi Sonrası Deformasyon Geometrilerinin İrdelenmesi

Şekil 3.4, 3.5, 3.6 ve 3.7'de dikdörtgen plaka ve yama geometrisine sahip yamasız, alüminyum ve cam fiber/epoksi kompozit yama ile tamir edilmiş çentikli plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüleri verilmiştir. Yamasız plakalarda 25 J enerji seviyesinde delinme meydana gelmezken, 50 J enerji seviyesinde çatlak oluşmuş ve 100 J enerji seviyesinde tamamen delinmiştir. Delinme ve hasar çentik geometrisine uygun başlamıştır ve bu doğrultuda ilerlemiştir. Alüminyum yamalı plakalar dikkate alındığında, yama hasarı korumada oldukça başarılıdır. 25 ve 50 J enerji seviyelerinde hasar meydana gelmezken, 100 J enerji seviyesinde çatlak oluşmuş ve plaka delinmiştir. Alüminyum yamalı plakalarda, malzeme plastik deformasyona maruz kalarak, deformasyon geometirisi oldukça belirgindir. Kompozit yamalarda ise bu durum farklıdır, kompozit yamalar hasarı kendi üzerine alaraki plastik deformsyonu engellemiştir. Sadece 100 J enerji seviyelerinde plakada hasar oluşmuştur, bu hasarda sadece çatlak oluşumu aşamasındadır. Kompozit yamalar kalınlık değişimi açısından incelendiğinde, yama kalınlığının artması ile hasar alanlarının azaldığı görülmektedir. Cam fiber takviyeli kompozitler hasara uğradığında hasar alanlarının gözle görülebilmesi, sonuçların daha iyi anlaşılabileceği açısından önemlidir. Ancak kompozit yama kalınlığının artışı malzemeye fazladan bir rijitlik kazandırmaktadır. Bu durum temas kuvveti değişimlerinde açıkca görülmektedir.

Temas kuvveti ve kinetik enerji değişimleri ile birlikte deformasyon geometrileri ve hasar görüntüleri birlikte düşünüldüğünde, kompozit yamaların hasarı önlemede ne kadar başarılı olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu yapılarda asıl amaç, hasarı ve delinmeyi önlemekle birlikte, deformasyon geometrisinin olabilidiğince düzgün olmasını sağlamaktır. Enerji sönümleme kabiliyeti artarken, malzemelerin üzerindeki kuvvetlerinde en küçük olması istenir ve malzemenin olabildiğince az şekil değiştirmesi istenir. Kompozit malzemeler bu tanıma uygun olarak hareket ettikleri için mühendislik uygulamalarında kullanım alanları oldukça yüksektir.

Ön görüntü	Arka görüntü
	
E= 25 J	
	
E= 50 J	
	
E= 100 J	

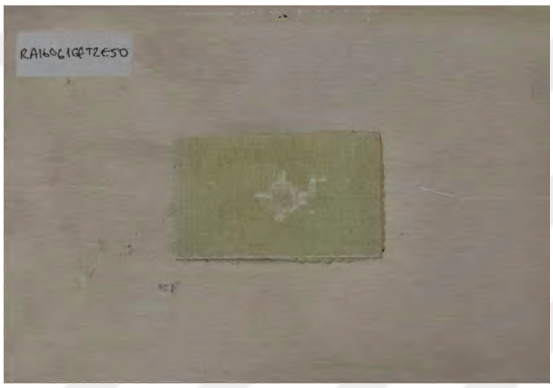
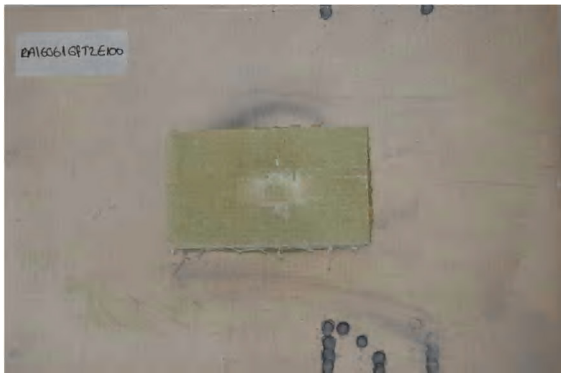
Şekil 3.4. Dikdörtgen plaka geometrisine sahip yamasız çentikli plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü



Şekil 3.5. Dikdörtgen plaka ve yama geometrisine sahip alüminyum yama ile tamir edilmiş çentikli plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü

Ön görüntü	Arka görüntü
	
E= 25 J	
	
E= 50 J	
	
E= 100 J	

Şekil 3.6. Dikdörtgen plaka ve yama geometrisine sahip 1 mm kalınlıklı cam fiber/epoksi yama ile tamir edilmiş çentikli plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü

Ön görüntü	Arka görüntü
	
E= 25 J	
	
E= 50 J	
	
E= 100 J	

Şekil 3.7. Dikdörtgen plaka ve yama geometrisine sahip 2 mm kalınlıklı cam fiber/epoksi yama ile tamir edilmiş çentikli plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü

Şekil 3.8, 3.9, 3.10 ve 3.11'de kare plaka ve yama geometrisine sahip yamasız, alüminyum ve cam fiber/epoksi kompozit yama ile tamir edilmiş çentikli plakaların 25, 50 ve 100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüleri verilmiştir. Yamasız plakalarda 25 J enerji seviyesinde delinme meydana gelmezken, 50 J enerji seviyesinde çatlak oluşmuş ve 100 J enerji seviyesinde tamamen delinmiştir. Delinme ve hasar çentik geometrisine uygun başlamıştır ve bu doğrultuda ilerlemiştir. Alüminyum yamalı plakalar dikkate alındığında 25 J ve 50 J enerji seviyelerinde hasar meydana gelmezken, 100 J enerji seviyesinde çatlak oluşmuştur. Alüminyum yamalı plakalarda, malzeme plastik deformasyona maruz kalarak, deformasyon geometirisi oldukça belirgindir. Kompozit yamalarda ise bu durum farklıdır, kompozit yamalar hasarı kendi üzerine alarak plastik deformsyonu engellemiştir. Sadece 100 J enerji seviyelerinde plakada hasar oluşmuştur, bu hasarda sadece çatlak oluşumu aşamasındadır. Kompozit yamalar kalınlık değişimi açısından incelendiğinde, yama kalınlığının artması ile hasar alanlarının azaldığı görülmektedir. Cam fiber takviyeli kompozitler hasara uğradığında hasar alanlarının gözle görülebilmesi, sonuçların daha iyi anlaşılabileceği açısından önemlidir. Ancak kompozit yama kalınlığının artışı malzemeye fazladan bir rijitlik kazandırmaktadır. Bu durum temas kuvveti değişimlerinde açıkca görülmektedir.

Darbenin ilk başlangıcından sonuna kadar bütün veriler kuvvet algılayıcı tarafından elektronik aksama iletilmiş ve veriler Signal Express yazılımı ile elde edilen kuvvetin zamana göre değişim grafiğinde gösterilmiştir. Deneyde her bir deney numunesi için üç ayrı çarpma hızında elde edilen kinetik enerji ve kuvvet etkisi belirlenmiştir. Hasara uğramış numunelerin makro yapıda hasar analizleri yapılmıştır. Temas kuvveti ve kinetik enerji değişimleri ile birlikte deformasyon geometrileri ve hasar görüntüleri birlikte düşünüldüğünde, kompozit yamaların hasarı önlemede başarılı olduğu bu testler ile de ortaya konmuştur. Bu yapılarda asıl amaç, hasarı ve delinmeyi önlemekle birlikte, deformasyon geometrisinin olabilidiğince düzgün olmasını sağlamaktır. Enerji sönümleme kabiliyeti artarken, malzemelerin üzerindeki kuvvetlerinde en küçük olması istenir ve malzemenin olabildiğince az şekil değiştirmesi istenir. Kompozit malzemeler bu tanıma uygun olarak hareket ettikleri için mühendislik uygulamalarında kullanım alanları oldukça yüksektir.

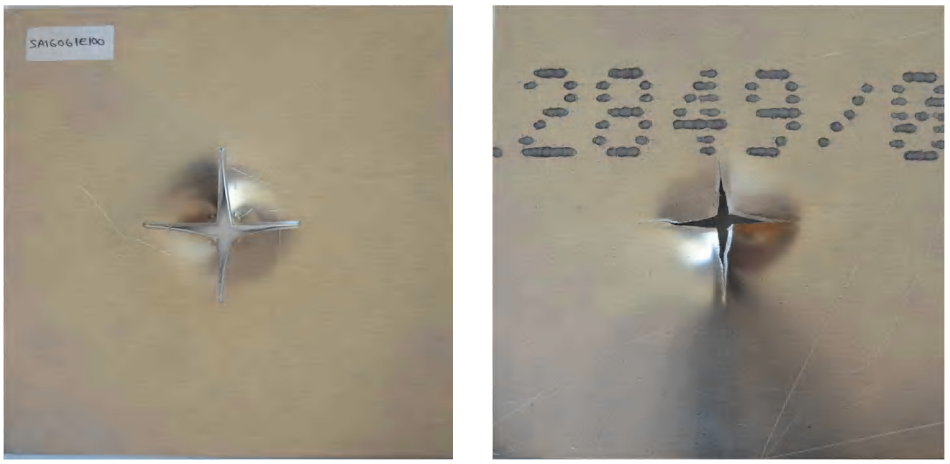
Ön görüntü	Arka görüntü



E= 25 J

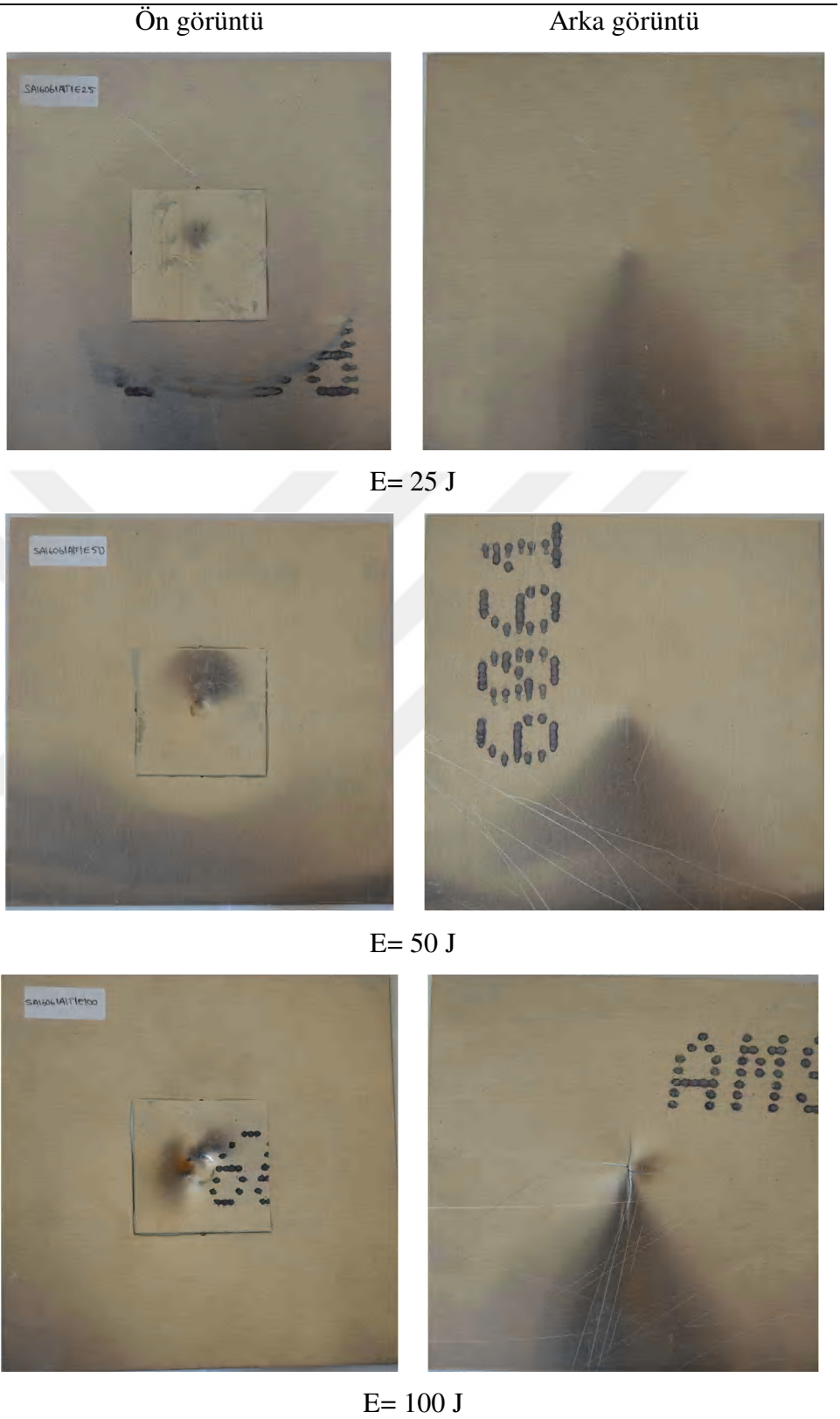


E= 50 J

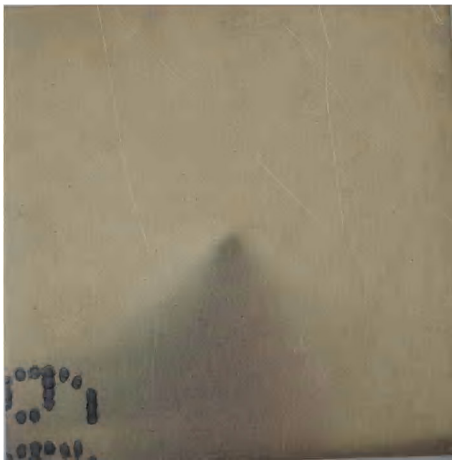
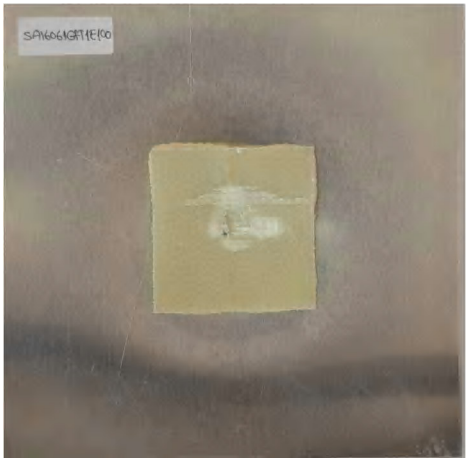


E= 100 J

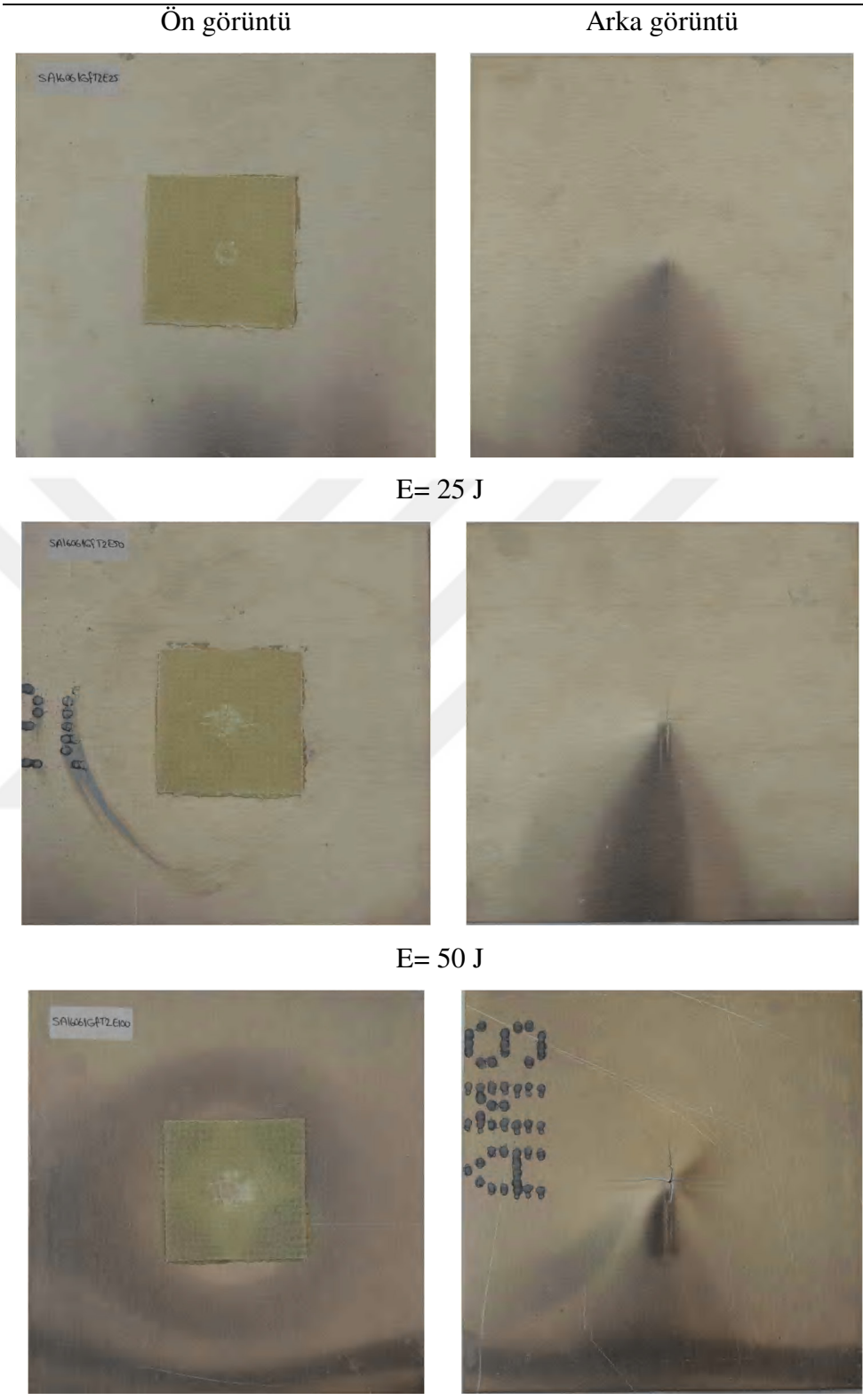
Şekil 3.8. Kare plaka geometrisine sahip yamasız çentikli plakaların 25,50,100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü



Şekil 3.9. Kare plaka geometrisine sahip alüminyum yamalı çentikli plakaların 25,50,100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü

Ön görüntü	Arka görüntü
	
E= 25 J	
	
E= 50 J	
	
E= 100 J	

Şekil 3.10. Kare plaka geometrisine sahip 1 mm kalınlıklı cam fiber/epoksi kompozit yamalı çentikli plakaların 25,50,100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü



Şekil 3.11. Kare plaka geometrisine sahip 2 mm kalınlıklı cam fiber/epoksi kompozit yamalı çentikli plakaların 25,50,100 J darbe enerjileri altındaki darbe sonrası hasar görüntüsü

4. BÖLÜM

SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1.Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada çentikli Alüminyum plakaların kompozit yamayla tamir edilebilir olma durumu incelenmiştir. Temas kuvveti ve kinetik enerji değişimleri ile birlikte deformasyon geometrileri ve hasar görüntüleri birlikte düşünüldüğünde, kompozit yamaların hasarı önlemede ne kadar başarılı olduğu ortaya çıkmaktadır. Yama olarak karbon/epoksi kompozit tek taraflı olarak çentikli levhalara uygulanmıştır. Kompozit yama dört kat ve sekiz kat örgülü karbon fibere epoksi emdirilmesiyle hazırlanmış ve yama durumuna göre tek taraflı olarak Alüminyum plakaların çentik bölgesini dolduracak şekilde uygulanmıştır. Her bir numune tipi için üç adet yamasız, üç adet tek taraflı 1 mm ve 2 mm kalınlığında kompozit yama ile tamir edilmiş ve alüminyum yama ile tamir edilmiş levha hazırlanarak düşük hızlı darbe testine tabi tutulmuştur. Toplamda bu üç farklı hız için 48 adet numune hazırlanarak test edilmiştir. Bu yapılarda asıl amaç, hasarı ve delinmeyi önlemekle birlikte, deformasyon geometrisinin olabilidiğince düzgün olmasını sağlamaktır. Enerji sönümleme kabiliyeti artarken, malzemelerin üzerindeki kuvvetlerinde en küçük olması istenir ve malzemenin olabildiğince az şekil değiştirmesi istenir. Kompozit malzemeler bu tanıma uygun olarak hareket ettikleri için mühendislik uygulamalarında kullanım alanları oldukça yüksektir.

Yama Malzemesinin Hasar Davranışına Etkisi: Test sonuçlarına göre alüminyum yama ve kompozit yama kıyaslamasında alüminyum yamanın daha çok plastik deformasyona uğradığı görülmüştür. Kompozit yama alüminyuma göre daha dayanıklıdır.

Yama Kalınlığının Hasar Davranışına Etkisi:1 mm'lik ve 2 mm'lik kompozit yama çalışmamız sonucunda 1 mm'lik yamanın daha sünek olduğu gözlemlenmiştir. Hasar alanı resimlerde net bir şekilde görülmektedir. 2 mm'lik yamanın ise artan enerji karşısında daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir. Kalın yamadaki hasar alanı ince yamaya göre daha azdır.

Yama Geometrisinin Hasar Davranışına Etkisi: Metal plakaların farklı geometrilerde olması hasar analizindeki farklı değerler elde etmemize ve bu sayede daha geniş bir inceleme yapmamıza olanak sağlamaktadır. Kare geometrili metal plakalara artı şekilde çentik açılmış olup bu geometrilerdeki plakalarda oluşacak hasarı daha net ortaya koyması sağlanmıştır.

- Deneysel sonuçlar irdelendiğinde darbe enerjisinin artması, tüm numuneler için temas kuvvetini ve çökmeleri arttırmakta, numunedeki meydana gelen hasar alanını büyütmektedir.

- Darbe enerjisinin artması numune üzerinde yapılan işi artırmaktadır. Bunun oluşturduğu deformasyonu elastik kısmı ağırlık sistemini geri itmede kullanılmış, plastik kısmı malzeme üzerinde kalıcı hasara neden olmuştur.

- Hasar ilk olarak matris çatlamasıyla başlamış, delaminasyon oluşması ve ilerlemesi sonrası elyaf kopması ile nüfuziyet ile sonuçlanmıştır.

- Düşük enerjilerde delinme oluşmamıştır. Şekil değiştirme enerjinin az kısmı matris çatlaması bir kısmı da delaminasyon başlaması ve ilerlemesin de kullanıldığı gözlemlenmiştir. 100 J ve üzerinde delinme meydana gelmiş bunlarda da matris çatlaması, delaminasyon yanında elyaf kopması ile nüfuziyet tespit edilmiştir.

- Delinen numunelerde delaminasyon alanı azalmış olduğu gözlemlenip, bununda delaminasyon için tükenen plastik şekil değiştirme enerjisini bir kısmını delinmede kullandığını göstermiştir.

- Düşük hızlı darbe uygulanmış yalnız delinmemiş parça aynı şartlarda delinmiş parçadan düşük mekanik özellik sergiler. Bunun sebebi olarak delinmeyen

malzemede harcanan hasar enerjinin büyük kısmını delaminasyonda harca
ve bu durumunda malzemede içyapıda zayıflama olduğu düşünülmüştür.

Sonuçlar bu şekilde elde edildikten sonra bazı farklılıkların çıkması soru işaretleri bırakmaktadır. Literatür tarandığında sayısal sonuçların daha tutarlı olduğu görülmektedir. Burada cihaz ve sensörler ile ilgili problemler olduğu düşünülebilir. Deformasyon geometrilerinin bu kadar benzer olması bu yorumu biraz daha destekler niteliktedir. Çeşitli parametrelerin darbe davranışa nasıl etki ettiği bu tez çalışmasında anlatılmıştır.

KAYNAKÇA

1. Baker, A.A. and .Jones R., 1987. Bonded Repair of Aircraft Structures , Martinus Nijhoff, Dordrecht, Boston Martinus Nijhoff, ISBN 90, 247-251
2. Cowdrey, S., Ferguson, C., Lennox, A.F., Mauro, P., Neummayer, R., Orme, B. and Müller, M., 1998. Loctite Worldwide Design Handbook, Germany.
3. Ergun, E., 2009. Isı ve Nem Etkilisindeki Çatlaklı Alüminyum Levhaların Kompozit Yama ile Tamirinin Kırılma ve Yorulma Analizleri, Doktora Tezi, Denizli.
4. Doğru, A., 2014. Uçak Gövde ve Kanatlarında Oluşan Hasarların Tahribatsız Muayene Yöntemleriyle Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Manisa.
5. Kaman, M. O., & Erkek, H. Kompozit Yama İle Tamir Edilmiş İnce Levhalarda Yorulma Çatlak İlerlemesi Üzerinde Yapıştırma Parametrelerinin Etkisi.
6. Zor, M., 2016. Kompozit Malzemeler, Ders Notu, İzmir.
7. Kaw, A.K.,1997. Mechanics of Composite Meterials, University of South Florida, Tampa.
8. Çitil, Ş., 2012. Ortası Boş ve Ara Elemanlı Çift Takviyeli Yapıştırma Bağlantılarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
9. Edwards, K.L., 1998. A Brief İnsight into the Selection and Use of Engineering Adhesives for Preliminary Joint Design, Materials and Design, 19, 121-123.
10. Samancı, A., 2004. Yüzey Çatlaklı Filaman Sarım CTP Boruların İç Basınç Etkisi Altında Yorulma Davranışı, Doktora Tezi, Konya.
11. Vural, M., 2011. İmal Usulleri, Kaynak ve Birleştirme Teknolojisi, Ders Notu, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
12. Altan, G., 2009. Değişik Sıcaklık ve Nem Etkisinde Çalışan Birleştirilmiş Kompozit Malzemelerin Yorulma Mukavemetlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Denizli.
13. Cowdrey, S., Ferguson, C., Lennox, A.F., Mauro, P., Neummayer, R., Orme, B. and Müller, M., 1998. Loctite Worldwide Design Handbook, Germany.
14. Soy, U., 2005. Bilgisayar Destekli Modelleme Yardımı ile AL 2024-T3 Alaşımlı Plakanın Kompozit Yama ile Yapıştırmalı Tamiri, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
15. Adams, R.D. and Wake W.C., 1984. Structural Adhesive Joints, **Elsevier Applied Science Publishers**, London.

16. Özenç, M., 2007. Yapıştırma Bağlantılarının Darbe Yükleri Altındaki Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Denizli.
17. Hoskin, B. and Baker, A., 1986. Composite Materials for Aircraft Structures, AIAA Education Series, New York.
18. Armstrong, K. B., & Barrett, R. 1998. Care and Repair of Advanced Composites, Society of Automotive Engineers. Warrendale*, USA*.
19. Samancı, A., 2004. Yüzey Çatlaklı Filaman Sarım CTP Boruların İç Basınç Etkisi Altında Yorulma Davranışı, Doktora Tezi, Konya.
20. Stronge, W.J., 2000. Impact Mechanics, University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom.
21. Ceyhun, V. and Turan, M., 2003. **Tabakalı kompozit malzemelerin darbe davranışı, Mühendis ve Makina Dergisi**, **516**.
22. 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. Ve Shivakumar, K., Elber, W., andIllg, W., 1985.Predictionoflow-velocityimpact damage in thin circular laminates, AIAA Journal, 23:442–449.
23. Cantwell, W. and Morton, J., 1989. Geometrical effects in the low velocity impact response of CFRP, **Composite Structures, 12**(1):39 – 59.
24. Robinson, P. And Davies, G., 1992.Impactor mass and pecimen geometry effects in low velocity impact of laminated composites**, International Journal of Impact Engineering, 12**(2):189 – 207.
25. Xiong, J.J. and Shenoi R.A., 2008. Integrated Experimental Screening of Bonded Composites Patch Repair Schemes to Notched Aluminum-Alloy Panels Based on Static and Fatigue Strength Concepts**, Composite Structures, 83**, 266272.
26. Kara, M., Uyaner, M., & Avci, A. (2015). Repairing impact damaged fiber reinforced composite pipes by external wrapping with composite patches. **Composite Structures**, **123,** 1-8.
27. Madani, K., Touzain, S., Feaugas, X., Benguediab, M. and Ratwani, M., 2010. Experimental and Numerical Study of Repair Techniques for Panels with Geometrical Discontinuities, Computational Meterials Science, 48, 83-90.
28. Anaraki, A.P., Payganeh, G.H., Ghasemi, F.A. and Fallah,A., 2012. An Experimental Study on the Tensile Behavior of the Cracked Aluminum Plates

Repaired with FML Composite Patches, International Journal of Mechanical and Aerospace Engineering,6, 209-213.

29. Wang, Z., Zhang Y., Xue J. and Yang W., 2013. Effect of Acelerated Ageing on The Mechanical Propoerties of Composite Repaired Aluminum Plates, International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering (QR2MSE),863-866.
30. Srilakshmi, R., 2014. Experimental and Numerical Investigation on Adhesively Bonded Composite Patch Repair of Inclined Center Cracked Aluminium Panel under Static ve Fatigue Load, Indian Institute of Technology Hyderabad,The Doctor of Philosophy, Indian.
31. Okafor, A.C., Singh, N., Enemuoh U.E. and Rao, S.V., 2005. Design Analysis and Performance of Adhesively Bonded Composite Patch Repair of Cracked Aluminum Aircraft Panels, **Composite Structures, 71**, 258-270.
32. Turan, K. ve Kaman M.O., 2011. Kompozit Yama ile Tamir Edilmiş Tabakalı Kompozit Levhalarda İlerlemeli Hasar Analizi, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 265-270.
33. Ong, C.L. and Shen, S., 1992. The Reinforced Effect Composite Repairs on Metallic Aircraft Structures, International Journal of Adhesion and Adhesive, 12, 19-26.
34. Colombi, P., Bassetti, A. and Nussbaumer, A., 2003. Delamination Effects on Cracked Steel Members Reinforced by Prestressed Composite Patch, Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 39, 61-71.
35. Sabelkin, V., Mall, S. and Avram, J.B., 2006. Fatigue Crack Growth Analysis of Stiffened Cracked Panel Repaired with Bonded Composite Patch, Engineering Fracture Mechanics, 73, 1553-1567.
36. Wang, J., Zhou, Z., Vodicka, R. and Chiu, W.K., 2009. Selection of Patch and Adhesive Materials for Helicopter Battle Damage Repair Applications, **Composite Structures, 91**, 278-285.
37. Hosseini-Toudeshky H., Sadeghi G. and Daghyani H.R., 2005. Experimental Fatigue Crack Growth and Crack-Front Shape Analysis of Asymmetric Repaired Aluminum Panels with Glass/Epoxy Composite Patches, **Composite Structures, 71**, 401-406.

38. Seo, D.C. and Lee, J.J., 2002. Fatigue Crack Growth Behavior of Cracked Aluminum Plate Repaired with Composite Patch, **Composite Structures, 57**, 323330.

39. Jian-Bin H., Xu-Dong L. and Zhi-Tao M., 2015. Fatigue Behavior of Thick Cracked Aluminum Plates Repaired by Two-Sided Composite Patching, Meterial and Design, 88, 331-335.

40. Salehi-Khojin A., Zhamu A., Zhong W.H. and Gan Y., 2006. Effects of Patch Layer and Loading Frequency on Fatigue Fracture Behavior of Aluminum Plate Repaired with a Boron/Epoxy Composite Patch, Journal of Adhesion Science and Technology, 20, 107-123.

41. Samancı, A., 2007. Yüzey çentikli Al-Mg Alaşımı üzerine yapılan farklı kompozit yamaların çekme dayanımına etkisi, **8. Uluslararası Kırılma Konferansı** Bildiriler Kitabı, 346-350.

42. Balaganesan, G., & Khan, V. C. 2016. Energy absorption of repaired composite laminates subjected to impact loading**.** ***Composites Part B: Engineering, 98,*** 39-48.

43. Mall, S., & Conley, D. S. 2009. Modeling and validation of composite patch repair to cracked thick and thin metallic panels**.** ***Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 40***(9), 1331-1339.

44. Shams, S. S., & El-Hajjar, R. F. 2013. Overlay patch repair of scratch damage in carbon fiber/epoxy laminated composites. *Composites Part A:* **Applied Science and Manufacturing, 49**, 148-156.

45. Albedah, A., Khan, S. M., Benyahia, F., & Bouiadjra, B. B. (2016). Effect of load amplitude change on the fatigue life of cracked Al plate repaired with composite patch. **International Journal of Fatigue, 88**, 1-9.

46. Cheng, P., Gong, X. J., Aivazzadeh, S., & Xiao, X. 2014. Experimental observation of tensile behavior of patch repaired composites. **Polymer Testing, 34**, 146-154.

47. Constantin, N., Sandu, M., & Sorohan, Ş. 2013. Restoration of the mechanical performance of damaged Al panels using bonded composite repair patches. **International Journal of Adhesion and Adhesives, 42**, 69-76.

48. 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, 49**, 64-72.

49. Benyahia, F., Aminallah, L., Albedah, A., Bouiadjra, B. B., & Achour, T. 2015. Experimental and numerical analysis of bonded composite patch repair in aluminum alloy 7075 T6. **Materials & Design, 73**, 67-73.

50. Sabelkin, V., Mall, S., Hansen, M. A., Vandawaker, R. M., & Derriso, M. 2007. Investigation into cracked aluminum plate repaired with bonded composite patch. **Composite Structures, 79**(1), 55-66.

51. Khalili, S. M. R., Ghadjar, R., Sadeghinia, M., & Mittal, R. K. 2009. An experimental study on the Charpy impact response of cracked aluminum plates repaired with GFRP or CFRP composite patches. **Composite Structures, 89**(2), 270-274.

52. Kwon, Y. W., & Hall, B. L. 2015. Analyses of cracks in thick stiffened plates repaired with single-sided composite patch**. Composite Structures, 119**, 727-737.

53. Gong, X. J., Cheng, P., Aivazzadeh, S., & Xiao, X. 2015. Design and optimization of bonded patch repairs of laminated composite structures. **Composite Structures, 123**, 292-300.

54. Manalo, A., Sirimanna, C., Karunasena, W., McGarva, L., & Falzon, P. 2016. Pre-impregnated carbon fibre reinforced composite system for patch repair of steel I-beams. **Construction and Building Materials, 105**, 365-376.

55. Daryabor, P., & Safizadeh, M. S. 2016. Investigation of defect characteristics and heat transfer in step heating thermography of metal plates repaired with composite patches. **Infrared Physics & Technology, 76**, 608-620.

56. Ramji, M., Srilakshmi, R., Prakash, M.B., 2013. "Towards optimization of patch shape on the performance of bonded composite repair using FEM", Composites: Part B, 45, 710-720.

57. Pandey, P. C., & Kumar, S. 2010. Adhesively-bonded patch repair with composites**. Defence Science Journal, 60**(3), 320.

58. Ergün, R.K., 2014. Eliptik Delikli Alüminyum Levhaları Kompozit Yama ile Tamir Edilmesinin Gerilme Davranışına Etkisinin Deneysel ve Sayısal Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş.

59. Saylık A. 2016. Kompozit yama ile tamir edilmiş çentikli alüminyum levhalarda gerilme analizi- Yüksek Lisans Tezi, ELAZIĞ.

60. Karaman Y. 2017.Kompozit yama ile yapıştırılarak yamanmış eliptik delikli alüminyum plakaların eğme davranışına etkisinin sayısal incelenmesi.- Yüksek Lisans Tezi, BATMAN.
61. Aslan, Z., Karakuzu, R. & Okutan, B. 2003. The Response of Laminated Composite Plates under Low-Velocity Impact Loading. **Composite Structures, 59**, 119-127.
62. Topac, O. T., Gozluklu, B., Gurses, E., & Coker, D. 2017. Experimental and computational study of the damage process in CFRP composite beams under low-velocity impact. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 92**, 167-182.
63. Long, S., Yao, X., & Zhang, X. 2015. Delamination prediction in composite laminates under low-velocity impact. **Composite Structures, 132**, 290-298.
64. Zhang, J. ve Zhang, X., 2015. An efficient approach for predicting low-velocity impact force and damage in composite laminates**, Composite Structures, 130**:85 – 94.
65. Kim, D.H., Jung, K.H., Lee, I.G., Kim, H.J., ve Kim, H.S., 2017. Three-dimensional progressive failure modeling of glass fiber reinforced thermoplastic composites for impact simulation**, Composite Structures, 176**:757 – 767.
66. Cestino, E., Romeo, G., Piana, P., ve Danzi, F., 2016. Numerical/experimental evaluation of buckling behaviour and residual tensile strength of composite aerospace structures after low velocity impact, **Aerospace Science and Technology, 54**:1 – 9.
67. Liao, B. ve Liu, P., 2017. Finite element analysis of dynamic progressive failure of plastic composite laminates under low velocity impact, **Composite Structures, 159**:567 – 578.
68. Cai, D., Zhou, G., Wang, X., Li, C., ve Deng, J., 2017. Experimental investigation on mechanical properties of unidirectional and woven fabric glass/epoxy composites under off-axis tensile loading, **Polymer Testing, 58**:142 – 152.
69. Sisi, M.K., Shakeri, M., ve Sadighi, M., 2015. Dynamic response of composite laminated beams under asynchronous/repeated low-velocity impacts of multiple masses, **Composite Structures, 132**:960 – 973.

70. Woo-Yong Lee, Jung-Ju Lee, '' Successive 3D FE analysis technique for characterization of fatigue crack growth behavior in composite-repaired aluminum plate'', **Composite Structures 66** 513–520, 2004.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Ayşe YILDIZ
Uyruğu: Türkiye (T.C)
Doğum Tarihi ve Yeri: 07.08.1991 -KAYSERİ
Medeni Durum: Evli
e-mail: ayildiz3891@gmail.com
Yazışma Adresi: Buraya yazınız

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği	2018
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği	2014
Lise	Fevziçakmak Lisesi	2009

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2016-2018	Kum Elektrik Elektronik	2 yıl
2014-2015	Emak Asansör	1 yıl

YABANCI DİL

İngilizce