

# Havacılık Sektöründe Kullanılan Karbon Fiber Takviyeli Polimer (CFRP) Kompozitlerin Tamiri

**Bengisu AKPINAR<sup>\*1</sup>**

<sup>1</sup>Doktora Öğrencisi, Türk Havacılık ve Uzay Sanayi, Ankara, [bngsuakpinar@gmail.com](mailto:bngsuakpinar@gmail.com)  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Ankara

**Arman ULUOĞLU<sup>2</sup>**

<sup>2</sup>Yüksek Lisans, Türk Havacılık ve Uzay Sanayi, Ankara, [armanuluoglu@gmail.com](mailto:armanuluoglu@gmail.com)  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Ankara

**Evren SONAT<sup>3</sup>**

<sup>3</sup>Dr, Türk Havacılık ve Uzay Sanayi, Ankara, [sonatevren@gmail.com](mailto:sonatevren@gmail.com)  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Ankara

**Geliş Tarihi/Received:** 24.04.2023 **Kabul Tarihi/Accepted:** 25.08.2023 **e-Yayın/e-Printed:** 31.08.2023

**DOI: 10.52995/jass.1286831**

**ORCID: 0000-0002-1004-984X, 0009-0007-1628-7770, 0000-0001-8040-327X**

## ÖZET

Havacılık sektöründe kullanılan kompozit malzemeler genel olarak karbon fiber takviyeli polimer, cam fiber takviyeli plastikler ve aramidlerdir. Bu çalışmada avantajlarından dolayı sıklıkla kullanılan, karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) kompozitlerin üretim, montaj veya servis ömrü boyunca çıkan hasarları gidermek amaçlı kullanılan tamir yöntemleri ele alınmıştır. Havacılık sektöründe en yaygın kullanılmakta olan tamir yöntemlerinden 3 tanesi açılı açma (scarf), basamak şeklinde açma (step) ve üst üste bindirme (overlap) yöntemleridir. Yapılan çalışmada bu tamir yöntemlerinden ve kullanılan muayene yöntemlerinden genel olarak bahsedilmiştir. Ayrıca, hasarlı bir parça üzerinde basamak şeklinde açma ve açılı açma yöntemlerinin uygulanışı ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Yapılan çalışmaların güvenilirliği ve uygulanabilirliği için tahribatsız muayene yöntemleri uygulanıp sonuçlar değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kompozit parçaların tamiri, tahribatsız muayene, karbon fiber kompozitler

## Repair of Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP) Materials Used in Aerospace Industry

### ABSTRACT

Mostly, carbon fibre reinforced plastics (CFRP), glass fibre reinforced plastics (GFRP) and aramid have been used in aerospace industry for years. In this study, repair techniques of CFRP that many advantages to be used were discussed during production, assembly or/and service life of composite components. There are three common techniques for CFRP repair in commercial way for aerospace industry, which are scarf, step and overlap. These techniques were applied in practice and shown on the study. In addition, detail examination was shown for repairing composite components. In order to make sure repair was reliable, non-destructive inspection (NDI) methods were performed.

**Keywords:** Repair of composite components, NDI, CFRP

### 1. GİRİŞ

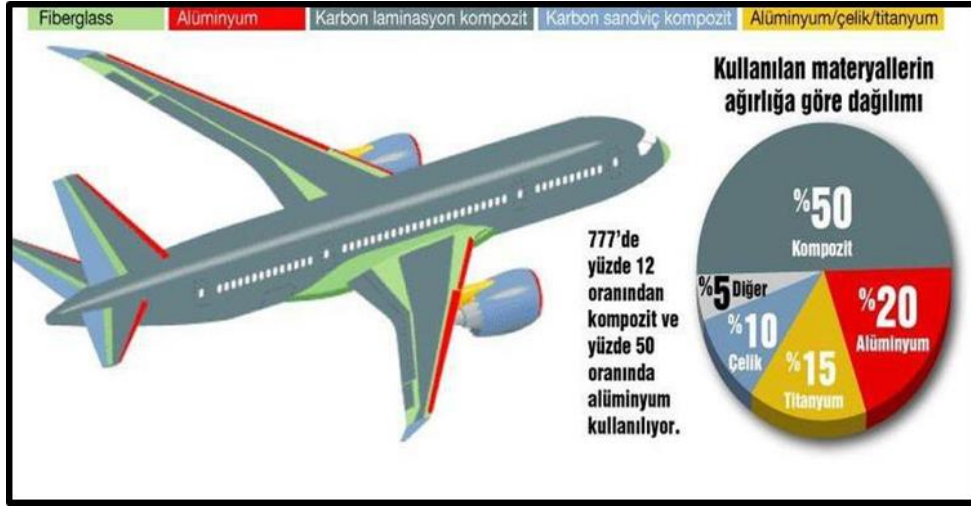
Karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) malzemeler, metallere kıyasla hem hafiflik, korozyon direnci, tasarım esnekliği, yüksek mukavemet, daha iyi yorulma ömrü vb. gibi özelliklere sahip olmaları, hem de yapısal düzenlemelerle özelliklerinin değişerek tasarım gereksinimlerine göre uyarlanabilmelerinden dolayı 1960lı yıllardan beri havacılık sektöründe yer almaktadır. Kompozit malzemelerin kullanımı bilindiği üzere bu sektörde pek çok faydaya sahiptir. Bunlardan bazıları ağırlıkta azalmaya bağlı olarak yakıt tasarrufunda ve yolcu ve yük taşıma kapasitesinde artış olarak gözlenmektedir. Bu bakımdan mukavemet-ağırlık oranının yüksek olması bu malzemeleri önemli kılmaktadır.

Günümüzde yeni nesil uçakların çoğunda hem birincil yük taşıyan hem de ikincil yapıdaki parçalarda kompozit kullanılmaktadır. Görsel olarak Boeing 787 kompozit ve diğer malzemelerin uçak üzerinde kullanımı Şekil 1'de verilmiştir. Bu uçaklarda, bileşenlerin yaklaşık yüzde elliden fazlası kompozit parçalardır. Kullanılan kompozit parçaların artışı ve yüksek maliyeti, kompozitler üzerindeki tamiri havacılık sektörü için çok önemli bir hale getirmiştir.

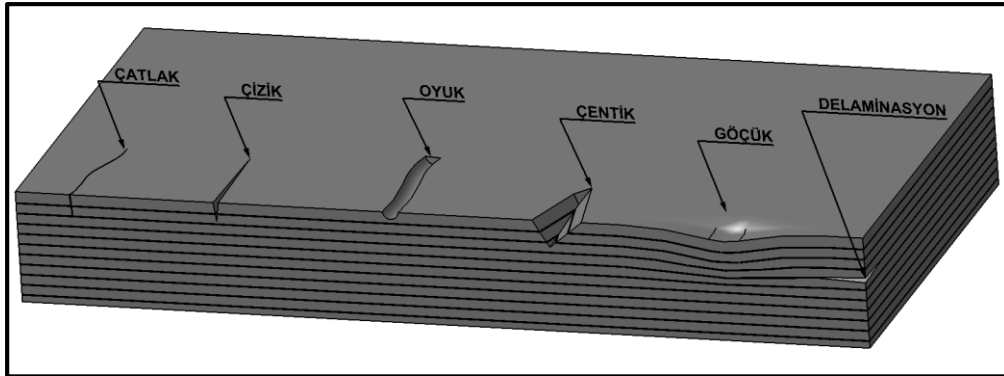
Kompozit tamirleri birçok farklı şekilde kategorilendirilebilir. Sadece lamine veya lamine ve bal peteği yapıdan oluşan sandviç olmak üzere yapı farkından kaynaklı tamir yöntemleri bulunmaktadır. Bu çalışmada sadece lamine yapıda olan kompozitler üzerindeki tamir çeşitleri çalışılmıştır. Şekil 2'de gösterildiği üzere, lamine yapılarda meydana gelen hasarlardan en çok karşılaşılanlar beş başlık altında toplanmıştır (Ercan, 2011).

Kompozit malzemelerde çatlak, reçine matrisinde veya fiberde oluşan yüzey kırılmasıdır. Çizik ise malzeme üzerinde kesit alanını değiştiren bir hasar çizgisi olarak tanımlanabilir. Kesit alanında değişime sebep olan hasarlı alana oyuk denir. Bunlara ek olarak sınırlı bir oyuguñ sivri bir uca sahip olduğu durum çentik olarak adlandırılmaktadır. Kompozit

malzemelerde iç bükey bir çöküntü meydana getiren fakat fiberi kırmayan hasar ise göçük olarak adlandırılır. Bir göçük delaminasyona sebep olabilir. Katmanlara ayrılma (delaminasyon) ise bitişik lamine katmanlarının birbirinden ayrılması durumudur (Boeing, 1996).



Şekil 1: Uçak üzerinde kullanılan malzemelerin gösterimi(Boeinglerin Yıldırımından Koruyan Kumaş Türklerden, 2017).



Şekil 2: Lamine kompozitlerde hasar türleri

Hasarlanan bir lamine malzemeye en uygun tamiri verebilmek için öncelikle uygun tahribatsız muayene yöntemi kullanılarak hata tipi ve boyutları belirlenir. Muayeneler; hasarın tespitinde kullanıldığı gibi tamir aşamasından sonra tamirin doğru uygulanıp uygulanmadığını kontrol amaçlı da uygulanmaktadır. Lamine kompozit malzemelerde en yaygın olarak kullanılan tahribatsız muayene yöntemleri şunlardır; gözle muayene, ultrasonik darbe yankı, ultrasonik geçirim ve tap test yöntemidir. Parçanın gözle görülen bir hatası yok ise gözle muayene tamamlanır ardından diğer yöntemlerden uygun olanı yapılır.

Gözle muayene: Muayene yöntemlerinin en başında gelir. Görmeye elverişli, aydınlık bir ortamda bakılarak hasar tespiti yapılabilir. Çentikler, çatlaklar, boya bozuklukları, delikler ve parça üzerinde ezilmeler tespit edilebilir (Boeing Company, 2012).

Darbe yankı metodu: Bu yöntem ile yüksek frekanslı ses dalgalarının parça içerisine gönderilerek geçirgenliği farklı ara yüzeylerden yansıma ve kırılması sonucunda, hatanın tespit edilebilmesi sağlanır. Uygun kalibrasyon blokları kullanılarak, parça içerisindeki hatanın konumu, derinliği ve boyutları saptanabilir. Bu yöntemle çatlaklar, boşluklar ve katmanlar arası ayrışmalar (delaminasyonlar) tespit edilebilir.

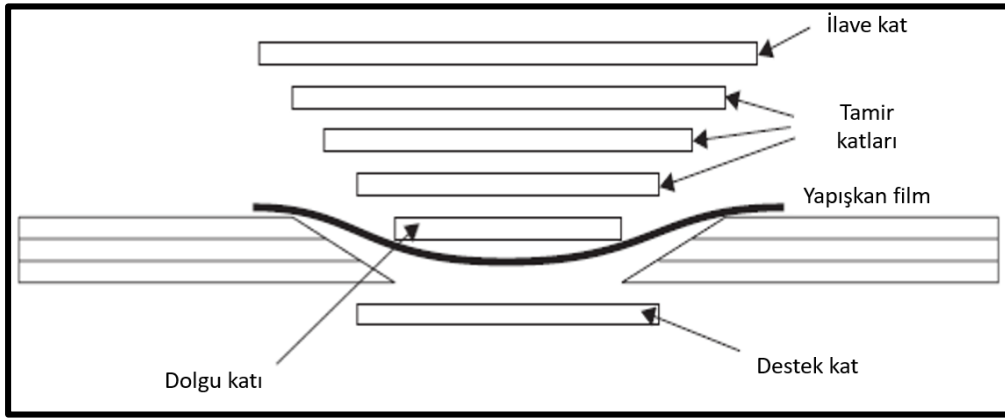
Ultrasonik Geçirim Metodu: Bu teknikte ise bir adet iletici prob ve karşısında duran bir adet alıcı prob vardır. Ses dalgası birinden yapıya verilip diğerinden toplanır. Bu yöntemle de çatlaklar, boşluklar ve katmanlar arası ayrışmalar (delaminasyonlar) tespit edilebilir. Darbe yankı tekniğinden farklı olarak, bu yöntem ile hatanın derinliği tespit edilemez (Boeing Company, 2012).

Tap test: Bu teknikte bir test çekici veya metal bozuk para şeklinde bir disk ile uygulanır. Tap cihazı da bu yöntemde kullanılan alternatifler arasındadır. El ile yapılan (manuel) ve aletle yapılan (otomatik) tap test olmak üzere ikiye ayrılır. Elle tap test para testi olarak da bilinir. Genellikle elle, bozuk para veya test çekici yardımıyla test muayenesi yapılacak bölgeye vurularak uygulanır. Lamine yapılarda, tap test, delaminasyon sorununun tespitinde kullanılır. Delaminasyon olan bölgelerde daha sönük bir ses çıkması beklenir. Bu yöntem hatalı bölgenin işaretlenmesi için güzel bir yöntem olmasına rağmen kalın tabakalı yerlerde çok hassas ve iyi sonuçlar vermez. Bunlara ek olarak manuel yolla yapıldığı için yapan insanın tecrübesi, duyma kalitesi ve hassasiyetine de oldukça bağlı bir testtir. Otomatik tap test cihazları cihazın hatalı bölgeye yerleştirilmesiyle yapılır ve hatalı bölgenin gösteriminde manuel yöntemle kıyasla daha hassas sonuçlar verir (Boeing Company, 2012).

Tahribatsız muayene uygulanıp hasarın boyutlarının, yerinin ve tipinin tespitinin ardından bu bulgulara istinaden iade olan tamir yöntemi tasarlanır. Havacılık sektöründe yaygın olarak kullanılmakta olan 3 tamir yöntemi, öncelikle hasarlanan bölgenin parçadan çıkarılması, sonrasında yapışma yüzeyinin seçilen tamir metoduna göre hazırlanması ve çıkarılan katların yeniden yerine yerleştirilmesi aşamalarını içerir. CFRP laminelerde yaygın olan bu üç tamir yöntemi aşağıda anlatılmıştır.

### 1.1. Açılı açma (scarf)

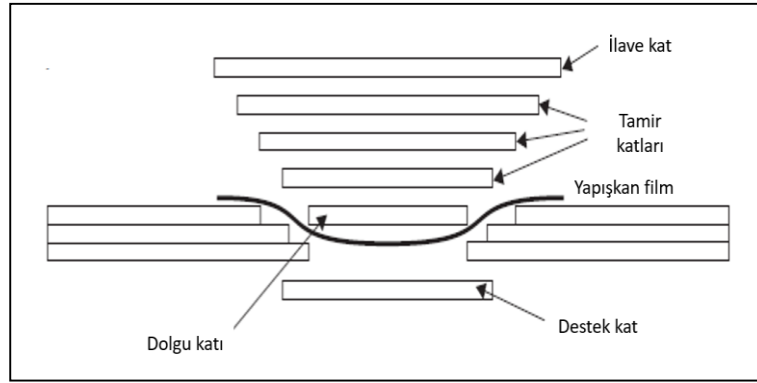
Literatürde bilinen adıyla Scarf/ Taper Sanded tamirler zımpara yardımıyla yüksek mukavemet gereksinimi olan ve aerodinamik yüzey gereksinimi gibi sebeplerle düz bir yüzey istenen bölgelerde kullanılan ve hasarlı bölgenin, belirli bir açı verilerek temizlenmesi tekniğidir (Mangalgiri, 1999). Verilen bu açı, kullanılan malzeme, parça kalınlığı gibi etmenlere bağlı olup yapışma mukavemeti açısından son derece önem arz etmektedir. Hasarlı bölge temizlendikten sonra, çıkarılan kadar kat; tekrar serilerek tamir tamamlanır. Çoğu tamir uygulamasında olası işçilik ve süreç hatalarını telafi edebilmek için en üste 1 kat fazladan malzeme atılır (Soutis, 2005). Şematik görüntüsü Şekil 3’de yer alan tamirde açılan bölge temizlendikten sonra bir yapışkan film konur. Yapışkan film uygulaması yüksek sıcaklıkta kür olacak parçalarda kullanılan bir yöntem olduğu için her zaman kullanımı şart değildir.



Şekil 3: Açılı açma metodu ile yapılan tamir yönteminin şematik görüntüsü (Boeing, 1996).

### 1.2. Basamak şeklinde açma (step)

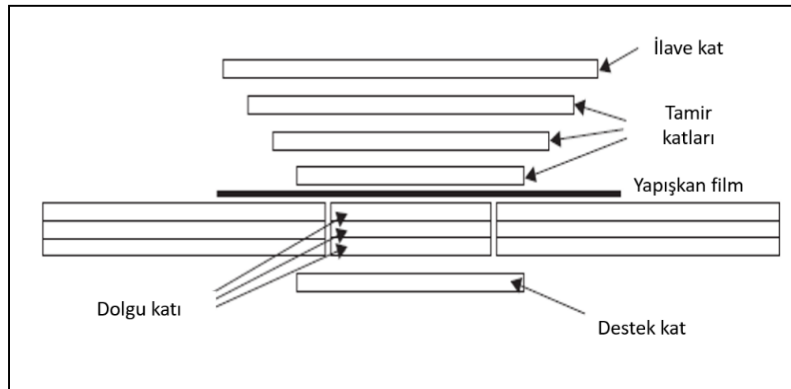
Bilinen adıyla Step/ Step Sanded tamir metodu hasarlı bölgeyi basamak basamak genişleterek açmak ve açılan yerin üstüne tamir için gerekli katların atılmasıyla uygulanır. Katmanların üst üste binme miktarı, tamir mukavemetini etkileyen en önemli parametredir. Tamir yapılacak alan açılıp temizlendikten sonra, yapışkan bir film konup serim işlemi öyle yapılır (Mangalgiri, 1999). Hasarlı bölge temizlendikten sonra, çıkarılan kadar kat; aynı boyutlarda ve aynı yönlerde olacak şekilde serilerek tamir tamamlanır. Şekil 4’de görüldüğü üzere bu tamir yönteminde de genelde fazladan bir kat atılmaktadır.



Şekil 4: Basamak şeklinde açarak tamir yönteminin şematik görüntüsü (Boeing, 1996).

### 1.3. Üst üste bindirme (overlap)

Bu yöntem literatürde Patch/ Overlap yöntemi olarak bilinmektedir ve hasarlı bölgenin temizlenmesi, çıkarılan kadar katın dış yüzeylere yapıştırılması tekniğidir. Tek taraflı veya iki taraflı bindirme şeklinde yapılabilir (Mangalgiri, 1999). Bu tamir tekniğini, yüzeyde çukıntı oluşturacağı için, yüzey düzlüğü istenen bölgelerde kullanmak mümkün değildir. Bazı durumlarda içerideki kısım kompozit kumaş katlarıyla bazı durumlarda reçineye emdirilmiş doğranmış fiberlerle doldurulmaktadır (Edwards, 2008). Şematik olarak görüntüsü Şekil 5' de verilmiştir.



Şekil 5: Üst üste bindirme yöntemi ile tamir uygulamasının şematik görüntüsü (Boeing, 1996).

## 2. MATERYEL VE METHOD

Bu çalışmada, CFRP lamine parçalar üzerinde, açılı açma ve basamaklı açma yöntemleri kullanılarak yapılan tamir yöntemleri ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Ana malzemesi epoksi reçine emdirilmiş karbon fiber olan yapıda tamir için ana malzeme yerine kuru örgülü karbon fiber kumaş kullanılmıştır. Isıtma ve kürlenme işlemi için

ıslak tamir metodu seçilmiş ve yapılan tamirde reçine olarak epoksi reçine kullanılmıştır. Böylece, fabrika ortamı gereksinimi olmadan, yerinde tamir olanakları incelenmiştir.

Hasar tipi, sivri bir cisimle darbeye bağlı bir yüzeyden diğer yüzeye penetre olmuş delik ve çevresindeki bölgede katmanlar arası ayrılma (delaminasyon) olarak belirlenmiştir. Şekil 6'da gösterilen hasarlı bölge temizlenmiş ardından açılı açma yöntemi uygulanmıştır. Dünyada yaygın olarak kullanılan tamir manuellere de belirtildiği ve uygulandığı üzere en uygun açılı olarak 1:20 oranında bir açma oranı ile sivriltilerek açılı açılan ve en alttaki kata kadar inen bu yöntem ile açılan parça Şekil 7'de gösterilmiştir. Açma işleminden sonra Şekil 8'de yüzey açılı bir şekilde temizlenmiştir. Daha sonra Şekil 9'da görüldüğü üzere kuru karbon fiber kumaş ile ıslak serim yapılarak tamir yapılmıştır.

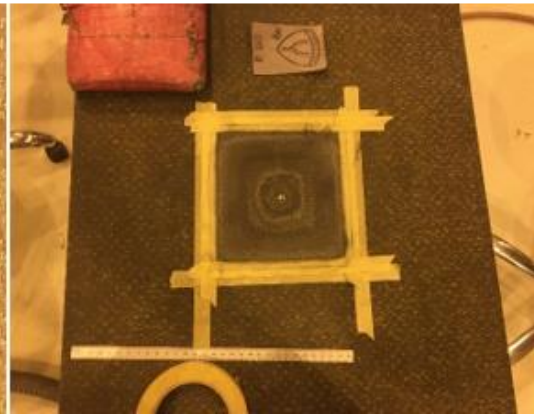
Serim işleminden sonra tamir yapılan bölgenin etrafına ayırıcı film serilmiş üzerine kalıp ayırıcı kimyasal kumaş serilmiştir. Ardından yüzey battaniyesi serilerek en dışa vakum torbası serilmiştir. Şekil 10 ve Şekil 11'de gösterildiği üzere tamir bölgesinin etrafında mesafe bırakarak sızdırmaz yapışkan macun çekilmiş ve vakum torbası bu macuna yapıştırılarak sızdırmazlık amaçlanmıştır.

Vakum torbasının altına vakum portu eklenmiş üstünden de port bağlanarak ilgili parça vakuma alınmıştır. Parça ıslak serim yapıldıktan sonra vakuma alınarak fırına konmuş ve 75-85°C'de 0,6 atm vakum basıncı altında 60-90 dakika aralığında kür işlemi gerçekleştirilmiştir.

İkinci olarak Şekil 12'de gösterildiği gibi basamak şeklinde açma yöntemi için hasarlı bölge temizlendi ve bu bölgeden itibaren 12,5mm yanlara açılarak önden ve arkadan açma olarak çift taraflı tamir uygulandı. Şekil 13'de görüldüğü üzere her bir açılan bölge ölçü alınıp, bantlanarak belirtildi.

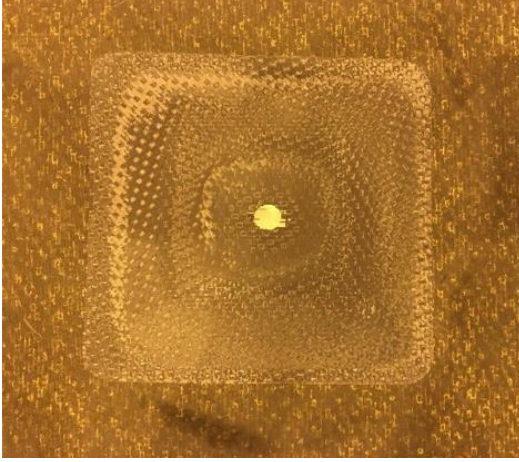


Şekil 6: Hasarlı bölgenin görüntüsü



Şekil 7: Açılı açma yöntemiyle katların en alt kata kadar açılma görüntüsü

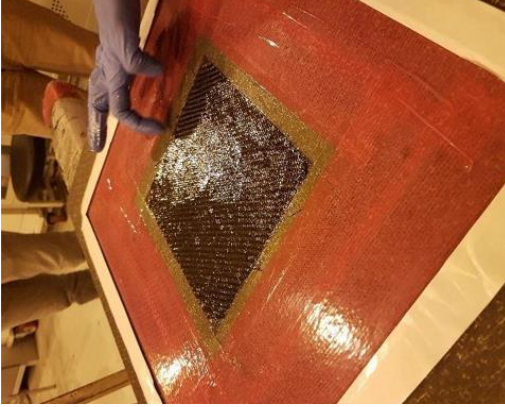




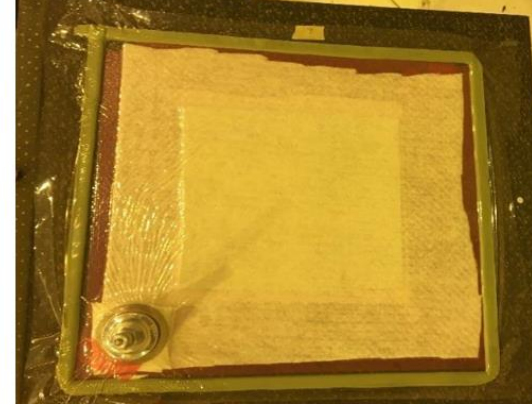
Şekil 8: Açılı açılarak temizlenen bölgenin görüntüsü



Şekil 9: Tamir uygulandıktan sonra hasarlı bölgeye ıslak serim yapılmış görüntüsü



Şekil 10: Tamir uygulandıktan sonra hasarlı bölgenin vakuma alınmadan önceki görüntüsü



Şekil 11: Tamir uygulandıktan sonra hasarlı bölgenin vakuma alınmış görüntüsü



Şekil 12: Hasarlı bölgenin görüntüsü



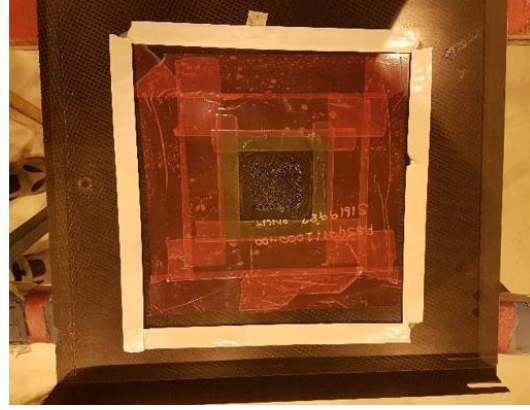
Şekil 13: Basamak şeklinde açma yöntemiyle katların en alt kata kadar açılma görüntüsü



Aynı işlem Şekil 14’da belirtildiği gibi arka yüzeyde de gerçekleştirildi. Açılan katlar daha sonra ön ve arka yüzeyde de karbon fiber kuru kumaş ile epoksi reçine emdirilerek ıslak serimle ana malzeme ile aynı yönde serim yapılarak tamir edildi. Şekil 15’de serim esnasında elde edilmiş tamir bölgesi görüntüsü bulunmaktadır.

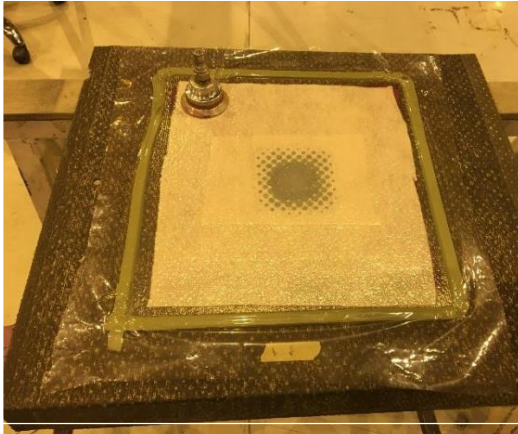


Şekil 14: Basamak şeklinde açma yönteminin arka yüzeyden açılma görüntüsü

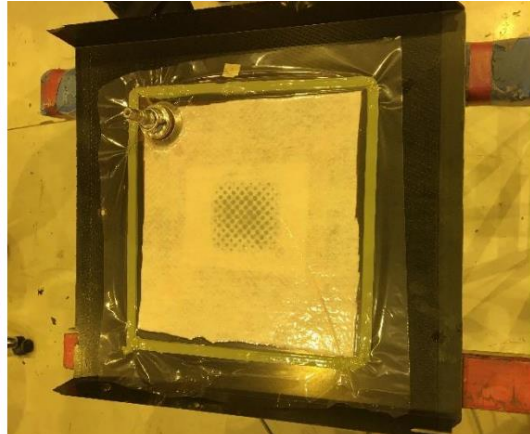


Şekil 15: Serim esnasındaki tamir görüntüsü

Serim işlemi tamamlandıktan sonra bu yöntemde de açılı açma yönteminde olduğu gibi ayırıcı film kullanılmıştır. Ayrıca kalıp ayırıcı kimyasal kumaş serilmiş, ardından yüzey battaniyesi serilerek vakum portu konulmuştur. Şekil 16 ve Şekil 17’de görüldüğü üzere vakum torbası yapışkan macun ile yapıştırılarak hem ön hem arka yüzeye aynı işlemler uygulanmıştır.



Şekil 16: Ön yüzeyde tamir uygulandıktan sonra hasarlı bölgenin vakuma alınmış görüntüsü



Şekil 17: Ön yüzeyde tamir uygulandıktan sonra hasarlı bölgenin vakuma alınmış görüntüsü

Her iki yüzeyinden de vakuma alınan parça 75-85°C’de 0,6 atm vakum basıncı altında 60-90 dakika aralığında fırında kür olmuştur.

İkinci tamir numunesinde kullanılan çift taraflı açma yöntemi, hem açılı açma, hem de basamak şeklinde açma tamir yöntemleri ile kullanılabilir. Tek taraflı ya da çift

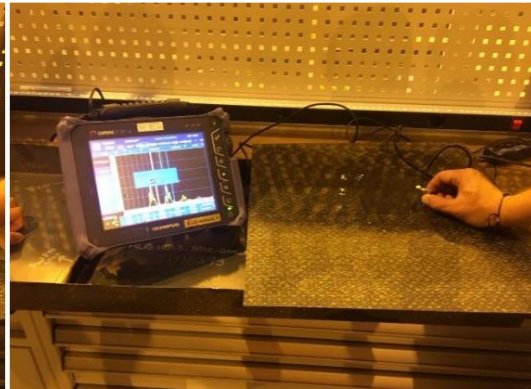
tarafli açma tercihi, hasarın derinliği, parçanın kalınlığı, tamir bölgesinin çevresinde bulunan yapılar ya da bağlayıcıların uzaklığı gibi etmenler göz önünde bulundurulurken yapılır. Çift tarafli açma yöntemini kullanmak için hasarın tüm kompozit katmanlarını etkileyen tüm lamine kalınlıklığı derinliğinde olması gerekir. Tek tarafli açma yöntemine göre, daha dar alanda tamir yapma olanağı sunar, bu da özellikle tamir alanını küçük tutarak varsa çevredeki farklı yapılar ya da bağlayıcılarla kompozit tamirinin çakışmasını önlemede yardımcı olur. Bu makalede maliyet etkin çalışma yapabilmek adına açılı açma metodu tek tarafli, basamak şeklinde açma metodu ise çift tarafli uygulanmıştır.

### 3. TAHRİBATSIZ VE TAHRİBATLI MUAYENE YÖNTEMLERİ İLE İNCELEME

Tahribatsız muayene yöntemi olarak görsel muayene, darbe yankı metodu ve ultrasonik geçirim metodu uygulanmıştır. Görsel muayene de herhangi bir bulguya rastlanmamıştır. Uygulanan iki tamir yönteminde de tamir edilen bölgenin yüzeyinde tamir sonrası gözle görülür herhangi bir çizik, çatlak, çöküklük vb. bir hataya rastlanmamıştır. Darbe yankı metodu ve ultrasonik geçirim metodu ile uygulanan tamirin katmanları arasında ayrılma (delaminasyon) olup olmadığı incelenmiştir. Basamak şeklinde açma yöntemi ile yapılan tamire uygulanan darbe yankı metodu ile muayeneye ait görüntü örnekleri Şekil 18 ve Şekil 19'da verilmiştir.



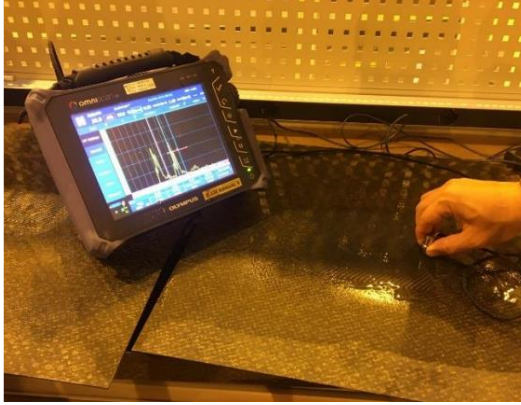
Şekil 18: Basamak şeklinde açma yöntemi ile yapılan tamire uygulanan darbe yankı metodu ile muayeneye ait görüntü



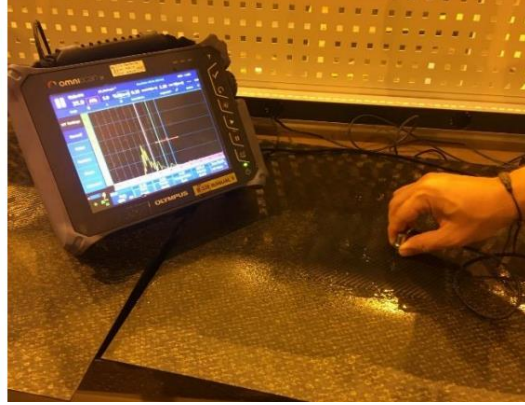
Şekil 19: Basamak şeklinde açma yöntemi ile yapılan tamire uygulanan darbe yankı metodu ile muayeneye ait görüntü

Arkadan ve önden açılarak iki tarafli yapılan bu tamirde katlar arasında boşluk kalmadığı ve tamir edilen bölgenin ana malzemeye yapısal olarak benzerliği dikkat çekmiştir.

Açılı açma yöntemi ile yapılan tamire uygulanan darbe yankı metodu ile muayeneye ait görüntü örnekleri Şekil 20 ve Şekil 21'de verilmiştir.



Şekil 20: Açılı açma yöntemi ile yapılan tamire uygulanan darbe yankı metodu ile muayeneye ait görüntü



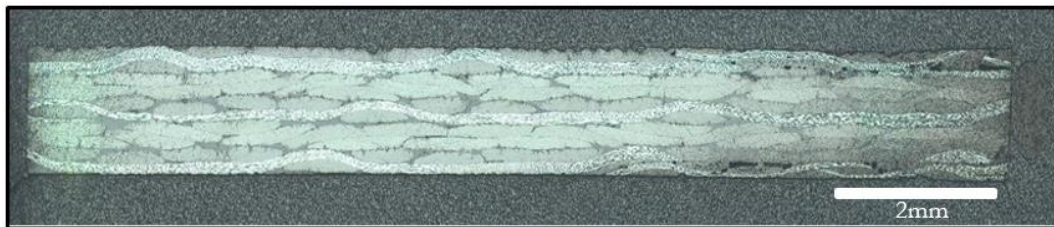
Şekil 21: Açılı açma yöntemi ile yapılan tamire uygulanan darbe yankı metodu ile muayeneye ait görüntü

Bu tamir yöntemiyle yapılan bölgeye uygulanan muayene katların serim aşamasında aralarında delaminasyonlar gözlenmiş ve ana malzemeye yakın olmayan özellikte tamir bölgesi ortaya çıktığını göstermiştir.

Tahribatsız muayene sonucunda açılı açma yöntemiyle tamir yapılan parçanın tamir sonrası muayene kriterlerini karşılayamaması sonucunda muayeneden geçememesi, basamak şeklinde açma yöntemiyle tamir edilen parçanın ise kriterlere uyarak muayeneden geçtiği görülmüştür. Basamaklı açma yöntemi ile tamir uygulanan parçaya, parça kalınlığından dolayı iki taraflı açma yöntemi uygulanmıştır. Hem arka hem ön yüzden açılarak uygulanan bu tamirin her iki taraftan da vakuma alındığı için yapışma yüzeyi artmış ve delaminasyon probleminin büyük ölçüde önüne geçilmiştir. Diğer yandan ise açılı açma yöntemi uygulanan tamir bölgesi tek taraftan yapılmış olup yapışma yüzeyi büyük olduğu için vakum yetersiz kalmış ve delaminasyon gözlenmiştir.

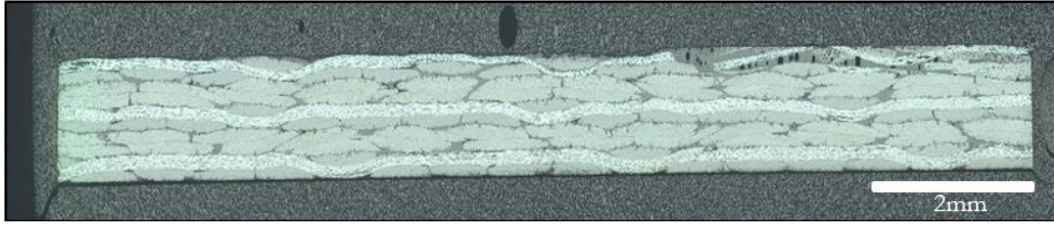
Parçalardan daha sonra tahribatlı muayene ile inceleme amaçlı kesitler alınmıştır. Şekil 22 ve Şekil 23'de iki yöntemle yapılan tamirlerin kesitlerinin mikroskop altındaki görüntüleri verilmiştir.

Her iki yöntemle tamir edilen parçalar için de delaminasyon olmayan bölgeden alınan örnekler optik mikroskop altında incelenmiş ve herhangi bir poroziteye rastlanmamıştır.



Şekil 22: Tahribatlı muayene sonucu kesilen açılı açma yöntemi ile tamir edilen parçanın optik mikroskop altındaki görüntüsü





Şekil 23: Tahribatlı muayene sonucu kesilen basamak şeklinde yöntemi ile tamir edilen parçanın optik mikroskop altındaki görüntüsü

#### 4. SONUÇ VE ÖZET

Tüm manuel kompozit üretim süreçlerinde olduğu gibi kompozit tamir uygulama süreçlerinde de uygulanan ortamın özellikleri, kullanılan malzemeler ve de en önemlisi işçilik önemli faktör olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmada yaygın olarak kullanılan üç tamir yönteminden ikisi ile ilgili uygulamalar yapılmış ve bu iki tamir yönteminin avantajları ve dezavantajları anlaşılmaya çalışılmıştır. Bulgulardan birincisi basamaklı tamir yönteminin açılı tamir yöntemine göre daha geniş bir alana yayılarak yapıldığı dolayısıyla özellikle çok geniş olmayan yüzeylerde ya dezavantajlı olabileceği ya da uygulanamaz durumlar oluşabileceği gözlemlenmiştir. Ayrıca basamaklı açma yönteminde alt katlara inildikçe buradaki katlardan da alma riski mevcuttur. Diğer bir bulgu ise açılı tamir yönteminin başarılı olarak uygulanmasının basamaklı tamir yöntemine göre daha zor olduğudur. Uygulanan tamirde istenilen açının tutturulması oldukça zorlayıcı olmaktadır. Uygulanan işçilik açılı tamirde daha çok önem arz etmekte ve tamirin geçer not almaması ihtimali oluşmaktadır.

Tamir sonrası yapışma hatasının olup olmadığı iki tamir yönteminde de tahribatsız muayene yöntemleriyle anlaşılabilir. Ultrasonik muayene sonucunda basamaklı açma yönteminin muayene kıstaslarına uygun olup muayeneden geçmesinde iki taraftan açma uygulanmasının büyük etkisi vardır [8]. İki taraflı yapılan vakumun yapışma yüzeyi üzerinde olumlu etkisi mevcuttur. Açılı açma yönteminde ise kalın parçalarda tek yüzeyden açılma yapıldığı için tamir yüzeyi artmakta, yapışma yüzeyi genişlemektedir. Bu problemi çözmek için vakuma alma işlemi her kat serimin de yapılabilir.

Bu çalışma sırasında sırasıyla;

Tek bir çeşit malzeme ile tamir yapılmıştır. (Lamine karbon fiber takviyeli polimer - CFRP). Tamir edilen numune sayısı her bir tamir metodu için birer adettir. Yapısal çekme/basma gibi testlerle doğrulama numune sayısı anlamlı bir veri çıkarmak için yetersiz olduğundan uygulanmamıştır.

Sadece ıslak tamir metodu (wet metot) kullanılmıştır. Yüksek sıcaklık metodu (hot metot) kullanılmamıştır.

Fabrika ortamı dışında uygulanabilir olan, laboratuvar ölçekli denenebilecek olan veya tamir gerektiren herhangi bir hava aracı yapısalı üzerinde anında uygulanabilecek olan ıslak tamir metodu yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma da bu metot uygulamalarından bahsedilip ileriki çalışmalara ışık tutması hedeflenmiştir.

İlerleyen dönemlerde daha fazla ve çeşitli uygulamalar yapılarak daha fazla sonuç elde edilebilir. Numune sayısı anlamlı veriler çıkaracak ve standart test yöntemlerinde belirtilen sayılara arttırılarak yapısal testler uygulanırsa metotlar arası mukavemet değer farkları görülebilir. Ayrıca çoklu numune uygulanması ile işçilik ve uygulama farkları analiz edilebilir. Aynı bir çalışmada ıslak metot ile yüksek sıcaklık metodu karşılaştırması yapılabilir.

## 5. KAYNAKÇA

Barlas, Y. (2018). Boeingeri-yildirimdan-koruyan-kumas-turklerden-2254150-ekonomi. Alındığı yer <https://www.haberturk.com/boeingeri-yildirimdan-koruyan-kumas-turklerden-2254150-ekonomi>

Boeing Company (1996), “Advanced Composite Repair for Engineers- Inspection”.

Boeing Company (2012), B737-800 Nondestructive Testing Manuel.

Edwards T. (2008) Composite materials revolutionise aerospace engineering. *Ingenia*, 36:24–28. Alındığı yer <https://www.ingenia.org.uk/ingenia/issue-36/composite-materials-revolutionise-aerospace-engineering>

H. Ercan, A. B. (2011). Uçak Sanayiinde Kullanılan Balpeteği Kompozitlerin Tahribatsız Muayeneleri Ve Tamiri. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), (pp. 521-526). Elazığ.

Hale J. (2006) Boeing 787 from the ground up. *Aero Magazine Boeing*, 24 (4):17–23. Alındığı yer [https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr\\_4\\_06/article\\_04\\_1.html](https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_4_06/article_04_1.html)

Mangalgiri P.D. (1999) Composite materials for aerospace applications. *Bulletin of Materials Science*, 22(3):657–664. doi: 10.1007/BF02749982

Soutis, C. (2005). Carbon fiber reinforced plastics in aircraft construction. *Materials Science and Engineering: A*, 412(1–2), 171–176. doi:10.1016/j.msea.2005.08.064