



**Kocaeli Üniversitesi**

**Havacılık Malzemeleri  
Araştırma ve Geliştirme Laboratuvarı (HAMAG)  
2017 yılı Faaliyet Raporu**

## **Giriş**

Kocaeli Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi bünyesinde Ağustos 2016 tarihinde kurulan “Havacılık Malzemeleri Araştırma ve Geliştirme Laboratuvarı” hava araçlarında kullanılan ileri malzemelerin üretimi ve İleri işleme teknikleri ile malzemelerin fonksiyonelleşmesi konularında çalışmalar yapmaktadır. Laboratuvarın havacılık malzemelerin işlenmesi konusundaki fikirleri TÜBİTAK tarafından “Yüksek Adhezif Yapışma Dayanımı Sağlamak İçin Karbon Fiber Katkılı Kompozit Yüzeylerinin Lazer İle İşlenmesi Ve Optimum Parametrelerinin Belirlenmesi” başlıklı 1001 projesi ile desteklenmektedir. Bu bağlamda 2017 yılı içerisinde gerçekleştirilen çalışmalar aşağıdaki özetlenmektedir.

### **Adheziv Yapıştırma Dayanımını Arttırmak için Karbon Fiber Katkılı Kompozit Malzemelerin Yüzeylerinin İşlenmesi**

Karbon fiber katkıli kompozitler olağanüstü dayanıklılıkları, düşük yoğunlukları gibi özelliklerinin getirdiği avantajlar sebebiyle havacılık veya otomotiv sektöründe çok fazla tercih edilen kompozit malzemeler arasındadır. İlk olarak 1980’lerde CFRC malzemeler uçak üreticileri tarafından uçakların rudder (dikey stabilizer) gibi ikincil yapılarında kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde bu malzemeler Airbus A380’in uçak gövdesi gibi temel yapılarının %20’sini oluşturmaktadır.

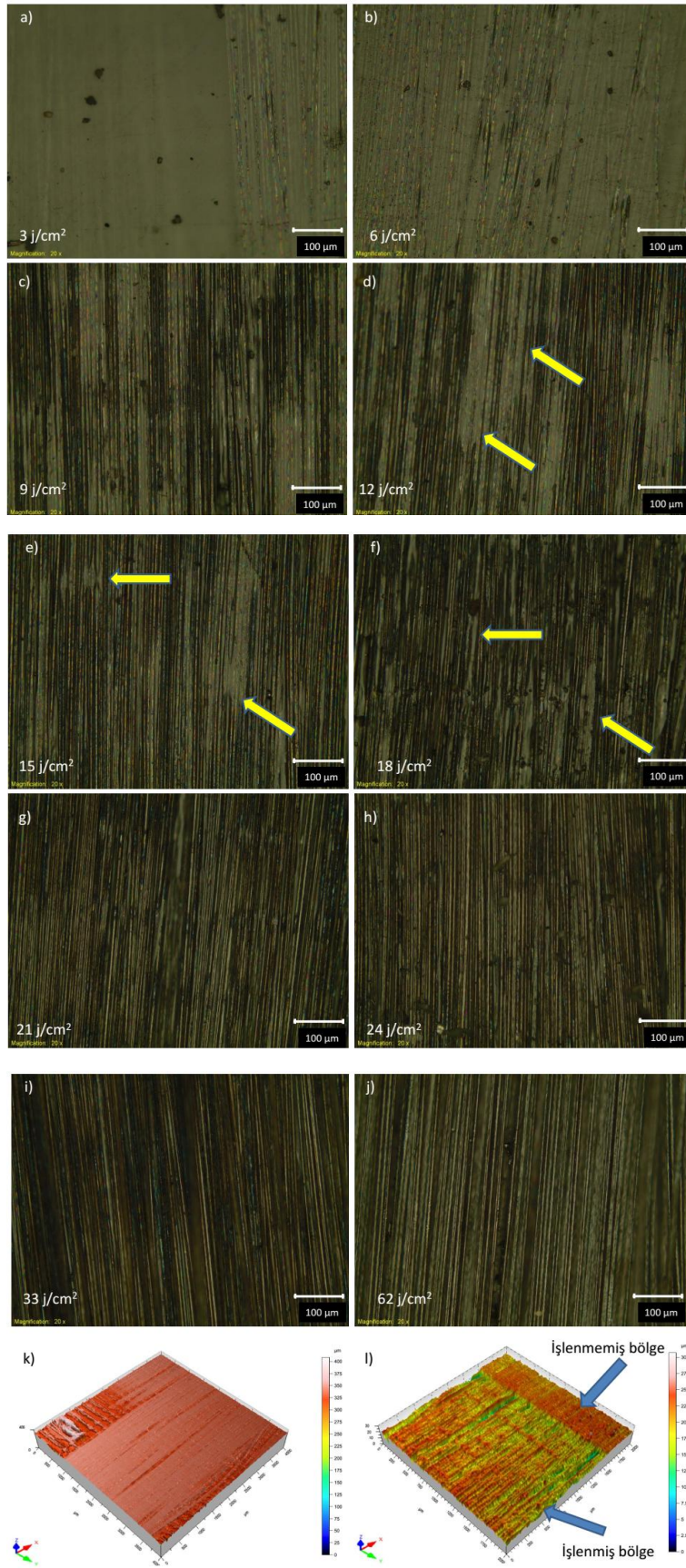
Karbon fiber katkıli kompozitlere adhezif olarak yapılan yapıştırma bu malzemelerin getirdiği avantajları tam anlamıyla kullanabilmek için alternatif bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Adhezif yapıştırma prosesinde bağlanma kalitesini belirleyen belki de en önemli faktör malzeme yüzeyidir. İleri malzeme işleme yöntemlerinden biri olan lazer ile yüzey işleme, karbon fiber katkıli kompozitlerin işlenmesinde kullanım potansiyeli olan bir tekniktir.

Havacılık Malzemeleri Araştırma ve Geliştirme Laboratuvarında karbon fiber malzemelerin yüzey işleme ve yapıştırma işlemlerini gerçekleştirilmiştir.

### **Karbon Fiber Katkılı Kompozit Malzemelerin Yüzeylerinin İşlenmesi**

CFRP kompozit malzemelerin yapıştırılması için lazer ile yüzey hazırlama çalışmalarında belirtilen temel hedef; yük taşıyıcı görevi üstlenen fiberlere zarar vermeden kompozit malzemelerin üretimi sırasında malzeme yüzeyinde oluşan ve yapışmayı olumsuz etkileyen ajanların kaldırılması olarak tanımlanmaktadır. Ancak doğru parametreler seçilmediğinde kullanılan tüm lazer dalgaboylarında fiber hasarları veya delaminasyon kusurları oluşturulabilmektedir Yokozeki vd. (2016).

Farklı lazer akıları kullanılarak üretilmiş örneklerin yüzey görüntüleri ve örnek profilometre sonuçları Şekil 1’de görülmektedir.

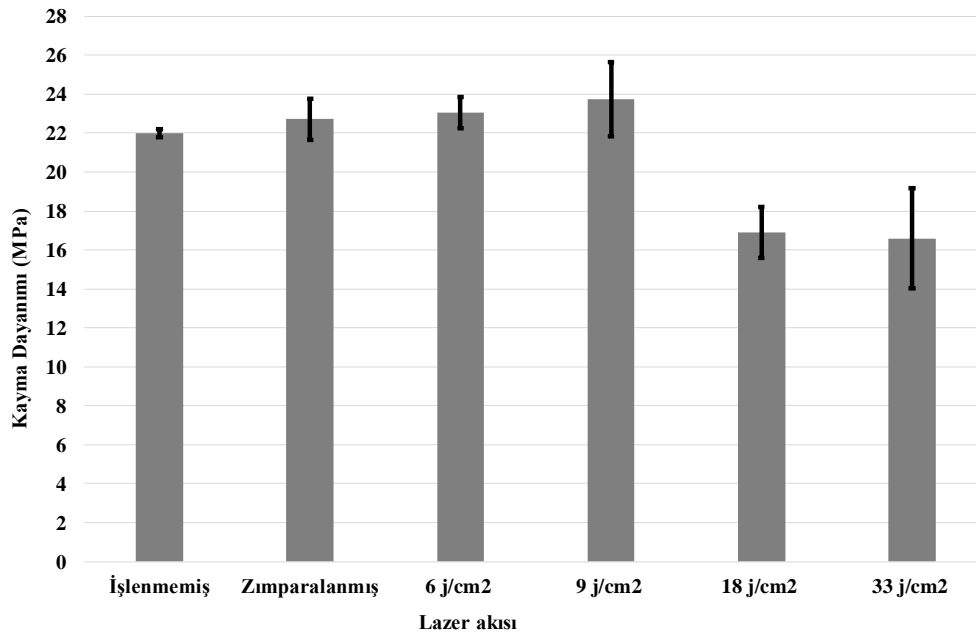


**Şekil 1.** CO<sub>2</sub> Lazer kullanılarak farklı lazer akımlarında yüzeyleri işlenmiş CFRP laminant malzemeler ve yüzey profilometre görüntüleri.

Lazer ile işlenmiş yüzeylerin kirlilik analizleri için X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) kullanılmıştır. XPS verileri incelendiğinde de yüzeydeki kirliliğin göstergesi olan oksijen/silisyum (O/Si) elementleri oranı arttıkça çekme dayanımının artış göstermesi beklenmektedir. Çekme testi sonuçları incelendiğinde (Şekil 2) lazer akısında meydana gelen artış ile çekme dayanımında bir artış olmuştur. Lazer akısındaki artışa devam edildiğinde çekme dayanımında hızlı bir azalma olduğu gözlenmekte ve sonrasında bu davranış devam etmektedir ( $18 \text{ J/cm}^2$  ve  $33 \text{ J/cm}^2$ ). Bu durum; düşük lazer akısında ( $6 \text{ J/cm}^2$ ) kirlilik ajanının yüzeyden tamamen kaldıramadığı sonucu ile açıklanabilir (Tablo 1). Lazer akısında meydana getirilen artış yüzeydeki kirlilik oranının azalmasına neden olmuş ve çekme dayanımı maksimum değerine ulaşmıştır ( $9 \text{ J/cm}^2$ ). Lazer akısı  $18 \text{ J/cm}^2$ 'ye çıkartıldığında dayanımda sert bir düşüş gözlenmesi;  $18 \text{ J/cm}^2$  ve üstü lazer akısı değerlerinin CO2 lazer ile yüzey işleme için yüksek değerler olduğu ve üst katmandaki fiberlerin çevresini saran reçinenin ısıl etki ile delaminasyon kusuru ve fiber kırılma hasarları nedeniyle mukavemetin düştüğü sonucu ile açıklanabilir. Yüzey kirliliği diğer örneklerle göre nispeten daha az olmasına rağmen yüzey kusurları sebebiyle mukavemetin düştüğü sonucu ortaya çıkmaktadır.

**Tablo 1.** Yüzeylerin XPS sonuçlarına bağlı yüzey element konsantrasyonları.

İçerik	İşlenmemiş	Zımparalanmış	$6 \text{ J/cm}^2$	$9 \text{ J/cm}^2$	$18 \text{ J/cm}^2$	$33 \text{ J/cm}^2$
O [%]	18.1	14.4	16.4	18.8	16.45	14.6
Si [%]	1.7	1.7	1.5	1.3	1.04	0.8
O/Si	10.64	8.4	10.9	14.46	15.8	18.25



**Şekil 2.** Yüzeyleri CO2 lazer ile işlenmiş CFRP numunelerin lazer akısına göre yapışma dayanımı sonuçları.

## **Sonuçlar**

Gerçekleştirilen bu projede havacılıkta kullanılan kompozit/kompozit bağlantılarının adheziv birleştirme çekme dayanımını arttırmak için kompozit malzemelerin yüzeylerinde üretim kaynaklı var olan kirliliğin azaltılması ve mekanik kilitleme sağlayabilecek yapıların oluşturulması hedeflenmiştir. Lazer ile yapılan çalışmaların ilk aşaması yüzey işleme çalışmalarında sonucu etkileyen en önemli parametre olan lazer akısının optimizasyonu olmuştur. Literatür incelendiğinde adheziv yapışma için uygun bir yüzey; kirliliklerden arındırılmış, yüzey enerjisi artırılmış (temas açısı azaltılmış), mekanik kilitleme sağlayacak pürüzlülüğe sahip ve aynı zamanda yüzeyler arasında elektrostatik kuvvetler oluşturabilecek kimyasal özelliklere sahip yüzeyler olarak tanımlanmaktadır. CO<sub>2</sub> lazer ile yüzey işleme sürecinin gerçekleştirildiği iş paketinde düşük akılardan başlanarak yüzeyde hiç epoksinin kalmadığı ve fiberlerin açığa çıktığı akı değerlerine kadar yüzey işleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Lazer ile gerçekleştirilen çalışmalarda lazer akı değerlerinde gereğinde fazla gerçekleştirilen artışın kayma dayanımı değerlerinde azalmalara neden olduğu tespit edilmiştir. Lazer akısının optimizasyonu için gerçekleştirilen çalışma ile elde edilen en düşük dayanım uygun parametreler kullanıldığında %43 oranında arttırılabileceği belirlenmiştir. IR dalgaboyunda ışıma veren CO<sub>2</sub> lazer ile işlenen yüzeylerde referans örnekleri olan işlenmemiş ve zımparalanmış yüzeylere göre sırasıyla %7,8 ve %4,4 oranında artış sağlanmıştır.

## **Yayınlar**

- 1- Finite element thermal analysis for PMMA/st.st.304 laser direct joining", Furat I.Husein, Kareem N.Salloomi, E.Akman, K.I.Hajim, A.Demir, Optics & Laser Technology, 87, 64-71, (2017)
- 2- Experimental investigation of single and repeated impacts for repaired honeycomb sandwich structures, Onur Balcı, Onur Çoban, Mustafa ÖzgürBora, Eyüp Akagündüz, Enver Bülent Yalçın, Materials Science and Engineering: A, Volume 682, 13 January 2017, Pages 23-30.

## **Sözlü ve Poster Bildirileri**

- 1- "Effect of Bondline Thickness on Adhesive Bonding of Laser Treated Carbon Fiber Reinforced Composites", III. International Conference on Engineering and Natural Science, ICENS, Budapeşte, 3-7 Mayıs 2017.
- 2- Study Of Laser Induced Micro-Hole Configuration In Order To Exploit Mechanical Interlocking Effect On Adhesive Bonding", III. International Conference on Engineering and Natural Science, ICENS, Budapeşte, 3-7 Mayıs 2017.
- 3- Investigation of laser induced line pattern surface structuring effect on adhesive bonding of CFRP aircraft composites", III. International Conference on Engineering and Natural Science, ICENS, Budapeşte, 3-7 Mayıs 2017.

4- Laser Structuring of CFRP Surface For Adhesive Bonding Using Michelson Interferometer and Laser Beam”, Turkish Physical Society 33rd International Physical Congress, Muğla, 6-10 Eylül 2017.

5- Analysis of Laser Treated CFRP Surfaces By Laser Induced Breakdown Spectroscopy”, CSLXL-IXEMSLIBS Colloquium Spectroscopicum Internationale XL and The IX Euro Mediterranea Symposium on Laser Induced Breakdown Spectroscopy, İtalya, 11-16 Haziran 2017.

6- Discrimination of Polymers By Using Laser Induced Breakdown Spectroscopy and chemometric Techniques, CSLXL-IXEMSLIBS Colloquium Spectroscopicum Internationale XL and The IX Euro Mediterranea Symposium on Laser Induced Breakdown Spectroscopy, İtalya, 11-16 Haziran 2017.

7- Identification and Classification of Polymers Using LIBS and Chemometry, 3rd International Turkish Congress and Molecular Spectroscopy, Muğla, 26-29 Ağustos 2017.