Yapıştırıcı ile Birleştirilen Kompozitlerde Farklı Parametrelerin Kayma Dayanımına Etkisinin İncelenmesi

Investigation of the Effects of Different Parameters on the Shear Strength of Adhesive Composites

Cansu Şengün Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği İstanbul, Türkiye cnssngn@hotmail.com	Sude Güç Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği İstanbul, Türkiye sudee.gc@gmail.com	Nisa Nur Aktürk Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği İstanbul, Türkiye nnisanurakturk@gmail.com
Evrim Karagöl Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği İstanbul, Türkiye evrimkaragol@gmail.com	Beyza Sena Bülbüloğlu Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği İstanbul, Türkiye senabulbuloglu@hotmail.com **Sanayi Danışmanı** Furkan Karaboğa TUSAŞ – Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. Ankara, Türkiye furkan.karaboga@tai.com.tr	**Akademik Danışman** Ahmet Sağın Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği İstanbul, Türkiye ahsagin@gmail.com

Özetçe—Bu çalışmada yapıştırıcı ile birleştirilmiş karbon fiber takviyeli kompozit plakaların tek bindirmeli kayma dayanımları yapıştırıcı kalınlığı, kompozit kalınlığı ve fiber yönlenmesi gibi değişen parametrelerle kıyaslanmıştır. Mukavim bir bağlantı elde etmek ve bunun incelenmesi amaçlanmıştır. İlk olarak, bahsedilen bu parametrelerin malzeme mukavemetine olan etkisi hakkında teorik bilgi verilmiş sonrasında ise kompozit numune üretimi anlatılmıştır. Numuneler ASTM 5868 standardına göre hazırlanmıştır. Numuneler, yapıştırma işlemi sonrası tek bindirmeli kayma testine alınmış ve veri eldesi sağlanmıştır. Sonrasında kompozitlerin uğradığı hasarlar SEM altında incelenerek parametrelere göre hasar mekanizmaları gözlemlenmiştir. Bu çalışma sayesinde, farklı parametrelerin kayma dayanımına etkisi incelenerek özellikle havacılık sektöründe kullanılan yapıştırıcı bağlantıları için bir ön bilgi olması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler — Karbon fiber,Kayma dayanımı, Kompozit, Yapıştırıcı kalınlığı

Abstract—In this study, the single lap shear strengths of adhesive bonded carbon fiber reinforced composite plates were compared with varying parameters such as adhesive thickness, composite thickness and fiber orientation. It is aimed to obtain a strong connection and to examine it. First, theoretical information about the effect of these parameters on material strength is given, and then composite sample production is explained. Samples were prepared according to ASTM 5868 standard. The samples were taken to the single lap shear test after the bonding process and data was obtained. Afterwards, the damages suffered by the composites were examined under SEM and the damage mechanisms were observed according to the parameters. Thanks to this study, the effect of different parameters on shear strength was examined and it was aimed to be a preliminary information for adhesive bonds used in the aviation industry.

Keywords —Adhesive thickness, Carbon fiber, Composite, Shear strength,

I. PROBLEMİN TANIMI

İki veya daha fazla sayıda, aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmesi ile oluşan malzemelere kompozit malzeme denmektedir. Kompozit malzemelerin sanayi alanında kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmıştır. Sağlanması istenen malzeme özelliklerine uygun olması sebebiyle özellikle havacılık sektöründe çok fazla tercih edilmektedir. Kompozit malzemeler, yüksek dayanım/yoğunluk ve yüksek elastisite modülü/yoğunluk oranı, yüksek mukavemet, yüksek korozyon dayanımı, yüksek termal dayanım gibi özellikleri barındırırken aynı zamanda hafifliği ile uçak sanayinde tercih sebebidir [1]. Uçak şirketlerinin bakım onarım masraflarını azaltmak amacıyla dayanımı daha yüksek ve daha az bakım onarım gerektiren malzemelerin tasarlanması gerekmektedir [2]. 1996 yılında Starke ve Staley tarafından yayınlanan çalışma, ilk üretilen uçaklarda kullanılan malzemelerde mukavemet/ağırlık oranı daha önemli bir kriterken, sonraki yıllarda ihtiyaçların değişmesi sebebiyle kompozit malzemelerin ilave özelliklere sahip olması gerektiğini ortaya koymuştur. Bu çalışma ile birlikte eski uçaklardan farklı olarak yeni uçaklara iyileştirilmiş hasar direnci ve korozyon dayanımı sağlayan kompozit malzemeler geliştirilmiştir [1]. Kompozit malzemelerin havacılık endüstrisinde kullanımı yaygınlaştıkça perçin ve civata gibi mekanik bağlantı yöntemlerinin yerini tutacak bir alternatifin gerekliliği de artmıştır. Yapıştırıcı ile birleştirmede boşluklar kolayca doldurulabildiğinden korozyona karşı koruma görevi yapmaktadır. Bu sayede çatlak korozyonu tehlikesi ortadan kalkmaktadır. Uygulanması daha kolay, ucuz ve çabuktur[3]. Farklı malzemelerin birleştirilmeleri mümkündür. Bu nedenlerden dolayı son yıllarda havacılıkta yapıştırma ile birleştirme yaygın bir yöntem haline gelmiştir. Bu bağlam doğrultusunda projemizde yapıştırma işlemi ile mukavim bağlantı oluşturmak için uygulanması gereken parametreleri incelemek ve değişen durumlara göre optimum sonucun alınmasına dair literatürde eksik bilgilerin yerini doldurmak hedeflenmektedir.

II. GERÇEKLEŞTİRİLEN ARAŞTIRMA FAALİYETLERİ

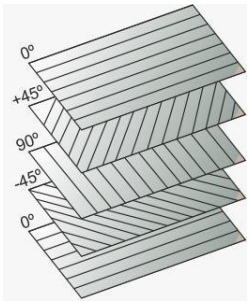
Proje içeriği ile alakalı taslak oluşturulmuş,çeşitli kaynaklardan çeşitli parametrelerin kayma dayanımına etkisi üzerine literatür taraması yapılmıştır.Dayanımı etkileyen birçok faktör bulunmaktadır fakat en önemli faktörler fiber doğrultusu,yapıştırıcı kalınlığı ve kompozit tabaka kalınlığıdır.Bu çalışmada da bu 3 parametre üzerinde durulmuştur. katman sayısının artmasıyla çekme dayanımı da artmaktadır[4]. Ancak bu artış miktarı sınırlıdır [5].

Fiberlerin doğrultusu, kayma gerilimlerinin daha homojen bir şekilde dağılmasını sağlamaktadır. Paralel fiber düzenlemesi, yatay yüklemelerde daha fazla dirençli yüzey alanı sağlamakta ve kayma gerilmelerini azaltmaktadır. Bu nedenle, paralel fiber düzenlemesi, daha yüksek bir kayma dayanımı sağlamaktadır[6].

Diğer önemli bir parametre olan yapıştırıcı kalınlığı arttıkça aynı fiber yönlenme ve katman sayısına sahip olan kompozitlerde daha düşük kuvvette hasar gördüğü yapılan çalışmalarda görülmüştür[7].

A. Fiber Yönelimi Etkisi

Kompozit malzemelerde fiberler takviye edici ve destek sağlayıcı bir elemandır, yükü taşır ve iyi bir dayanım sağlarlar. Yapıldıkları malzemeler, boyları, dağılımları ve yönlenmeleri; kompozitin üzerinde önemli mekanik değişikliklere sebep olur. Malzemenin nerelerden hangi yüklere maruz kalacağı analiz edilerek fiber yönlenmesi yapılır. Fiberlerin yönlendiği doğrultu boyunca malzemenin dayanımı, bu doğrultuya dik olan yöne kıyasla daha fazla olacaktır. Yapmış olduğumuz çalışmada 0-90 ve +-45 fiber yönlenme dereceleri uygulanmış ve analiz edilmiştir. 0-90 yönlenmeli plakalar 6 katman ve 10 katman, +- 45 yönlenmeli plaka ise 6 katmandan oluşmaktadır.



Şekil 1. Fiber Yönlenme Dereceleri [8]

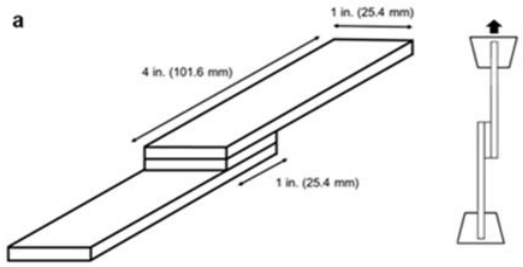
B. Yapıştırıcı Kalınlığı

Yapıştırıcı kalınlığını değiştirmenin basit bindirmeli bağlantıların dayanımına etkisi, literatürde en fazla çalışma yapılan konular arasındadır. Yapılan çalışmaların büyük bir oranı, yapıştırıcı kalınlığını arttırmanın bağlantı dayanımını düşürdüğünü göstermektedir. Aynı zamanda, bazı kaynaklar gösteriyor ki yapıştırıcı kalınlığını değiştirmek, yapıştırıcı bağlantılarının dayanımlarına etkisi farklılıklar gösterebilmektedir[9]. Bu çalışmada 0.2, 0.5, 0,76 olmak üzere üç farklı yapıştırıcı kalınlığı test edilmiştir..

C. Tabaka Kalınlığı

Kompozit malzemelerde tabaka kalınlığının artması, genellikle kayma dayanımını artırır. Kompozit katman sayısı, fiberlerin matrise göre daha fazla veya daha az serbest hareket etmesini etkileyebilir. Genellikle daha fazla katman, liflerin hareket etme özgürlüğünü azaltır ve kayma dayanımını artırır. Bunun nedeni, daha fazla katmanın lifler arasında daha fazla ara yüzey oluşturmasıdır, bu da kayma kuvvetlerini daha etkili bir şekilde iletebilir.

Ancak, katman sayısının kayma dayanımına etkisi malzemeye bağlı olarak değişebilir. Örneğin, bazı kompozit malzemelerde, çok fazla katmanın yüksek stres konsantrasyonlarına neden olabileceği ve bu durumun kayma dayanımını azaltabileceği gözlemlenebilir. Genel olarak, daha fazla katmanlı bir kompozit malzeme daha yüksek bir kayma dayanımına sahip olma eğilimindedir. Ancak, bu genel bir kural değildir ve spesifik malzeme sistemleri ve üretim süreçleri dikkate alınmalıdır. Bu çalışmada 6 katlı ve 10 katlı numuneler üzerinde inceleme gerçekleştirilmiştir. Numunelerin kayma dayanımının ölçülmesi için ASTM D5868 standardı kullanılmıştır. Bu kapsamda teste tabii tutulacak numunelerin genişliği 25.4 mm, uzunluğu 101.6 mm ve kalınlığı 2.5 mm'dir.



Şekil 2. ASTM D5868 standardına ait tek bindirmeli kayma deneyi numunesi

D. Numune Hazırlama

Okulumuz Alternatif Enerjili Sistemler Kulubü (AESK) Atölyesinde gerçekleştirilen kompozit üretiminin ilk aşamasında üretim gerçekleştirilecek yüzey üzerine bantlar ile şeritler çekerek alan belirlendi ve alan içerisinde herhangi bir pürüz kalmaması için yüzey aseton ile silindi.



Şekil 3. Kullanılacak kalıp yüzeyi

Ardından bu alana fırça yardımıyla düz şeritler halinde polivaks sıvı kalıp ayırıcıyı sürüldü ve 15 dakika beklendi. 15 dakika sonunda tekrar fakat bu sefer yan şeritler halinde sıvı kalıp ayırıcı sürüldü ve ardından 45 dakika beklendi.



Şekil 4. Sıvı Kalıp ayırıcının sürülmesi

45 dakikalık bekleme süresi sırasında, tabakalı kompozit üretimi için takviye malzemesi olarak kullanılacak karbon dokuma kumaş önceden belirlenen 25 cm × 27 cm ebatlarında kesildi.



Şekil 5. Karbon Dokumanın Kesilmesi

Ardından matris malzemesi olarak kullanılacak epoksi reçine hazırlama aşamasına geçildi. 400 gram epoksiye 100 gram sertleştirici eklenerek reçine elde edildi. Reçine fırça yardımı ile öncesinde kalıp ayırıcı sürmüş olunan cam yüzeye sürüldü ve sürülen kısmın üzerine ilk kat karbon elyafı yerleştirildi.

Şekil 6. Karbon Dokumanın yüzeye katmanlar halinde yerleştirilmesi

Sonrasında hazırlanan reçine fırça darbeleri ile dokumaya yedirildi. 0-90 yönlenmeli 10 katmanlı, 0-90 yönlenmeli 6 katmanlı ve 0-45 yönlenmeli 6 katman olacak şekilde yerleştirilen karbon elyafların arasına reçineyi sürülerek işleme devam edildi.



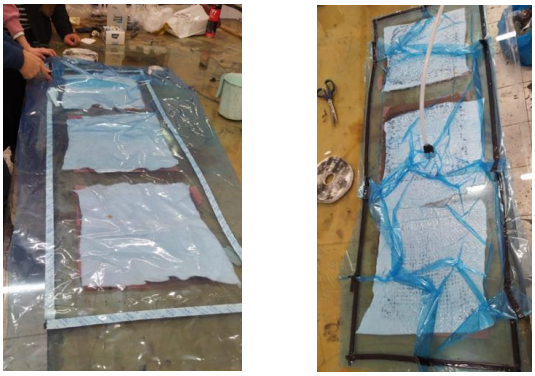
Şekil 7. Karbon elyafların arasına reçine sürülmesi

Son karbon dokuma da yerleştirildikten sonra numunenin boyutlarına uygun olarak ayırıcı film ve battaniye kesildi. Önce ayırıcı filmi daha sonra da battaniye hazırlanan numunenin üzerine konuldu.



Şekil 8. Ayırıcı film Ve battaniye

Son aşamada vakum işlemini gerçekleştirmek için numunelerin üzerine vakum torbası konuldu. Vakum torbasının kenarları çift taraflı bir bant ile hava girmeyecek şekilde bantlandı. Vakum sırasında hava çıkışı olup olmayacağını gözlemleyebilmek için kulakçıklar yapıldı. Orta kısım delinerek vakum borusu geçirildi ve yine o kısmında kenarları hava almaması amacıyla bantlandı. Ardından vakum cihazı çalıştırıldı ve vakum işlemi gerçekleştirildi. Yapılan kompozit bu vakum altında iki gün bekletildi.



Şekil 9. Vakum torbalama işlemi

E. Yapıştırma İşlemi

Kompozit malzemeler dramer ile ASTMD5686 standartlarına göre kesilmiştir.Kesim kenarları zımpara ile düzeltilerek yapıştırma işlemine hazırlanmıştır.



Yapıştırıcı kalınlığı analiz etmek istediğimiz parametrelerden biridir. Bu sebeple yapıştırıcı kalınlığını ayarlamak amacıyla 3d yazıcıdan destek plakalar çıkarılmıştır. Ardından bu plakalar yapıştırma işleminin gerçekleştirileceği cam yüzey üzerine 3M sprey yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır.

Birbiri ile eşlenen plakalar uç noktadan 2.5cm olmak üzere yapıştırıcı sürülerek birleştirilmiştir.Kullanılan yapıştırıcı kompozit için özel tasarlanmış bir yapıştırıcı olup iki farklı maddenin aynı oranda karıştırılmasıyla elde edilmektedir (Araldite 2015).Yapıştırılan kompozit plakalar destek plaka üzerine yerleştirilmiş, yapıştırıcının her noktaya düzgün yayılabilmesi için kompozit plaka üzerine ağırlık sağlayan tahta bir destek parçası konulmuştur.Sabitliği sağlamak ve yapıştırıcının olduğu bölgeye baskı uygulamak adına mengene ve işkenceler ile plakalar tutturulmuştur.1 gün beklenerek yapıştırıcının kürlenmesine imkan sağlanmıştır.Yapıştırılan tüm plakaların uçlarına daha sonra tab yapıştırılmıştır.Bu işlem çekme cihazının yapıştırıcı ile aynı eksende yük uygulaması için yapılmıştır.

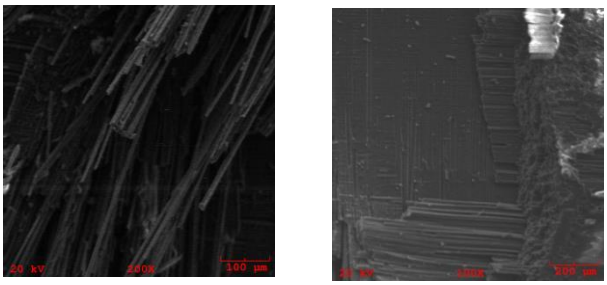
Şekil 10. Yapıştırma düzeneği

Tüm numuneler hazırlandıktan sonra kayma dayanımlarını ölçmek için cihaza gönderilmiştir. Elde edilen veriler daha sonra simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmak üzere kaydedilmiştir.

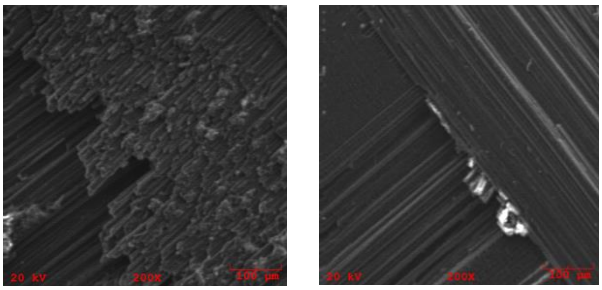


Şekil 11. Tek bindirmeli kayma deneyi cihazı

Kayma testinden çıkan plakalar arasından 6 adet seçilmiş ve bu plakalar SEM görüntüleme cihazında taranarak yüzeydeki kusurların daha net görülmesi sağlanmıştır.



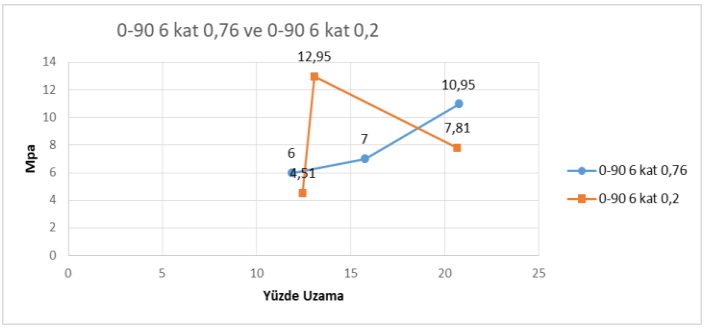
Şekil 12. 0-90 yönlenmeli 10 katman kompozit numunede ayrılan fiberlerin SEM görüntüsü.



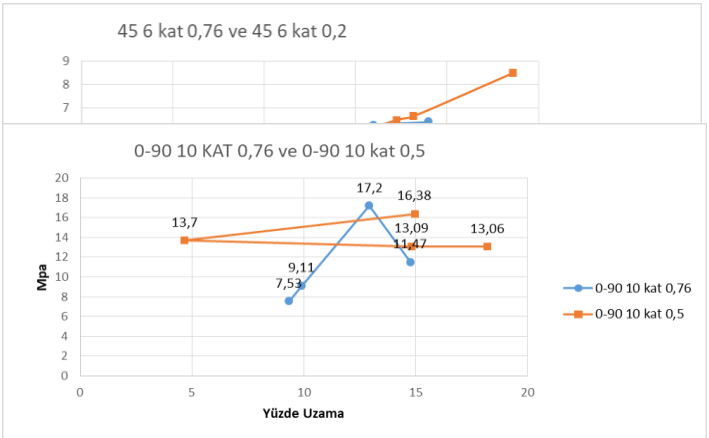
Şekil 13. 0-45 yönlenmeli 6 katman kompozit numunede ayrılan fiberlerin SEM görüntüsü

III. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE ÇIKTILAR

Elde edilen çıktılar çizgi grafiği üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 14. 0-90 6 kat 0,76 ve 0-90 6 kat 0,2 çizgi grafiği



Şekil 15. 0-90 10 kat 0,76 ve 0-90 10 kat 0,5 çizgi grafiği

Şekil 16. +-45 6 kat 0,76 ve +-45 6 kat 0,2 çizgi grafiği

Yaptığımız deneyde 0-90 yönlenme için 6 ve 10 katmanlı ve bir tane 6 katmanlı +- 45 yönlenmede kompozitlere tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısı altında çekme testi uygulanmıştır. Elde edilen değerlere göre her kat ve yönlenme çeşidi için ince yapıştırıcı kalınlıklarında daha yüksek gerilme değerlerine ulaşılmıştır.0-90 yönlenme ve aynı yapıştırıcı kalınlığında (0.76 mm) 6 katman sayısında ulaşılan maksimum gerilme değeri 10 katmanda ulaşılana kıyasla daha düşüktür. Bunun yanında en yüksek gerilme değerine 0-90 yönlenme 10 kat, ince yapıştırıcı (0.5 mm) uygulanan numunede ulaşılmıştır. 6 kat ve 0.76 mm yapıştırıcı uygulanan yönlenmesi farklı kompozit numunelerde +- 45 yönlenmede daha düşük gerilme değerine ulaşılmıştır. En düşük gerilme değerine +- 45 yönlenme 6 katmanda kalın (0.76 mm) yapıştırıcı kalınlığında ulaşılmıştır. Bu doğrultuda yapıştırıcı kalınlığının azalmasıyla ve aynı yönlenme – yapıştırıcı kalınlığı için katman sayısının artmasıyla ulaşılan gerilme değerlerinin arttığını; en düşük gerilme değerlerine +- 45 yönlenmelerde ulaşıldığını söyleyebiliriz.

IV. PROJE EKİBİNİN KAZANIMLARI VE TUSAŞ' A OLAN KATKISI

Projenin ekibe olan katkısı;

Bu proje sayesinde, literatür taraması ve araştırmalar neticesinde elde edilen teorik bilgiler simülasyon ve fiziksel deney ile desteklenmiştir. Bir kompozitin üretiminden yapıştırıcı ile birleştirilmesine ve sonrasında tek bindirmeli kayma testine tabi tutulması ve aldığı hasarların SEM ile incelenmesine kadar deneysel bir proses tecrübe edinilmiştir.

Projenin TUSAŞ' a Olan Katkısı;

Kompozit malzemelerin yapıştırıcı ile birleştirilmesi havacılık sektöründe gittikçe artan bir öneme sahiptir. Özellikle son yıllarda bunun geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Çeşitli parametrelerde kompozitlerin davranışlarının sayısal verilere dökülmesiyle literatüre ve TUSAŞ' a yeni veriler kazandırılmıştır

V. ÖNERİLER, ALINAN DERSLER VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Öncelikle, daha çok numune üretimi gerçekleştirilerek daha çok parametre incelenebilir. Kesme işlemi sırasında su jeti kullanılması standarda daha yakın ölçüler elde edilmesini ve daha hassas sonuçlar elde edilmesini sağlayabilir. Yapılan birleştirme işlemi daha yüksek sıcaklık ve basınç altında gerçekleştirilirse performansı değişim gösterebilir. Gelecek

çalışmalarımızda hasarların daha net simüle edilmesi için dinamik analiz kullanılması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Yılmaz, U., Evci, C. (2015). Havacılık ve Savunma Sektöründe Kompozit Malzemelerin Geleceği. The Journal of Defense Sciences, 14(2), 77-109.

[2] Gülcan, O., Tekkanat, K., & Çetinkaya, B. (2019). Fiber Metal Laminatlar ve Uçak Sanayiinde Kullanımı Üzerine Bir İnceleme. Engineer & the Machinery Magazine, 60(697).

[3] Troughton, M. J. (2008). *Handbook of plastics joining: a practical guide*. William Andrew.

[4] Saad N.A., Hamzah M.S., Hamzah A.F., Numerical and Experimental Investigation for Tensile Properties of Polyphenylene Sulfide Basis Composite Material, J. Babylon Univ., 10, 22, 2014.

[5] Rahmani, H., Najafi, S. H. M., Saffarzadeh-Matin, S., Ashori, A., Mechanical properties of carbon fiber/epoxy composites: Effects of number of plies, fiber contents, and angle-ply layers. Polymer Engineering & Science, 54(11), 2676-2682, 2014.

[6] Tarfaoui M., Choukri S., Neme A., Effect of fibre orientation on mechanical properties of the laminated polymer composites subjected to out-of-plane high strain rate compressive loadings, Compos. Sci. Technol., 68(2), 477-485, 2008.

[7] Lorena M. Fernández-Cañadas, Ines Ivañez, Sonia Sanchez-Saez & Ever J. Barbero (2019): Effect of adhesive thickness and overlap on the behavior of composite single-lap joints, Mechanics of Advanced Materials and Structures,

[8] Prof. Dr. Birsen Beşergil. " Fazlı Kompozitler (phase composites)". Aralık 2022. http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page_47.html

[9] Özkan, Ö. Z., & Halil, Ö. Z. E. R. (2016). Hibrit Yapiştirma-Düzeninin Bindirme Bağlanti Mukavemetine Etkileri. *Mühendis ve Makina*, *57*(679), 63-72.