

Araştırma Makalesi / Research Article

**Karbon Fiber Takviyeli Epoksi Matrisli Kompozitlerin Bağlantı Bölgelerinin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi**

İ. Sinan ATLI<sup>1\*</sup>, Recep KURT<sup>2</sup>, Mesut YEŞİL<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5899-4082>, sinanatli@aku.edu.tr

<sup>2</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0759-3465>, recepkurt4142@gmail.com

<sup>3</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6717-1996>, myesil@terraco.com.tr

Geliş/ Recieved: 14.08.2020;

Kabul / Accepted: 20.08.2020

**ÖZET:** Bu çalışmada polimer matrisli kompozit malzeme parçalarının farklı yöntemlerle birleştirilmesi sonrası, farklılıkların birleşme bölgesinin çekme kuvvetine etkileri incelenmiştir. Öncelikle çift yönlü dokumaya sahip karbon fiber kumaş takviyeli epoksi kompozit çekme testi numuneleri üretilmiştir. Kompozit numune üretiminde elle yatırma sonrası sıcak presle presleme yöntemi kullanılmıştır. Üretilen numuneler ASTM D412 standardına uygun ölçülerde boyutlandırılmıştır. Numuneler tam ortadan ikiye bölünerek farklı yöntemlerle birleştirilmiştir. Birleştirme yöntemleri vida ile vidalama, piyasada yaygın olarak bulunabilen az maliyetli bir çift bileşenli yapıştırıcı ile yapıştırma, kompozit malzemenin üretildiği laminasyon reçine ile yapıştırma ve aynı laminasyon reçinenin karbon fiber tozu ile katkılandırılarak yapıştırılması şeklindedir. Yapıştırılan numuneler çekme testine tâbi tutularak birleşme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Vida ile birleştirilen bölgenin kopma kuvveti en az değeri verirken piyasada yaygın olarak bulunabilen az maliyetli çift bileşenli yapıştırıcı ile yapıştırılan bölgelerin kopma kuvveti en yüksek değeri vermiştir ve bu değerler sırasıyla 2278,67 N ve 12062 N'dur. Yapılan çalışma kapsamında en düşük kuvvet değeri vidalama tekniği ile birleştirilen numunelerde, en yüksek değer ise çift bileşenli yapıştırıcı ile birleştirilen numunelerde gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Epoksi, Karbon fiber, Birleşme bölgesi, Çekme mukavemeti.

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar / Corresponding author: [sinanatli@aku.edu.tr](mailto:sinanatli@aku.edu.tr)

Bu makaleye atıf yapmak için /To cite this article

Atlı, İ.S., Kurt, R., Yeşil, M. (2020). Karbon Fiber Takviyeli Epoksi Matrisli Kompozitlerin Bağlantı Bölgelerinin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi. Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM), 1(2), 66-75.

## Investigating the Mechanical Behavior of Joints of Carbon Fiber Reinforced Epoxy Composites

**ABSTRACT:** In this study, after bonding polymer matrix composite joints via different methods, the effect of the methods to tensile force were investigated. Firstly, tensile test specimens of plain weaved carbon fiber fabric reinforced epoxy composite were manufactured. Hot pressing after hand layup method were utilized in production. Specimens were sized in accordance with the ASTM D412 standard. Each sample were cut into half and bonded with different methods. Bonding methods include fastening with bolts, bonding with a low-cost two-component adhesive, widely available in the market, bonding with lamination resin from which the composite material is produced by, and bonding with the same lamination resin with carbon fiber powder. Bonded specimens were subjected to tensile test according to compare joint forces. While the breaking force of the region joined by the bolts gives the least value, the tensile strength of the regions bonded with the low-cost two-component adhesive that can be found in the market has the highest value and these values are 2278,67 N and 12062 N, respectively.

**Keywords:** Epoxy, Carbon fiber, Joint, Tensile strength.

### 1. GİRİŞ

Günümüzde farklı alanlarda kullanımı oldukça yaygınlaşan polimer matrisli kompozit elemanların tek parça üretilemeyip birleştirme yolu ile bir araya getirilmesi gereken yapılar vardır. Bütün yapının mekanik özellikleri birleştirme bölgesinin mekanik özelliklerine bağlıdır ve bu yüzden birleştirme yöntemini doğru seçmek oldukça önemlidir. Polimer matrisli malzemelerin birleştirilmesinde Thoppul ve ark. (2009)'na göre mekanik olarak vidalama, yapıştırıcı yardımı ile bağlama ve hibrit vidalama-yapıştırma yolu ile bağlama olarak adlandırılabilir üç çeşit birleştirme yöntemi vardır. Mekanik vidalama yöntemi birleştirilecek yüzeylerde delik açılarak vidanın bu deliklerden geçirilmesi ve civata ile sıkılması prensibine dayanır. Vinson (1989), Schwartz (1994) ve Ashcroft ve ark. (2000) mekanik olarak bağlamanın metal eklentiler gerektirdiğini ve bu durumun ağırlık artışına sebep olduğunu belirtmektedirler. Prabhakaran (1982) ve Vinson (1989) polimer matrisli kompozit malzemelerin birleşme yerlerinde vidalama deliklerinin açılması ile sürekli fiberlerin kesilmeye uğradığı, süresiz hale geldiği ve açılan her deliğin etrafında gerilme yığılması meydana geldiğini belirtmişlerdir. Kweon ve ark. (2006) bu delikler etrafında oluşan mikro çatlakların gerilme yığılmaları ile birlikte hasar başlangıç noktası olarak davranacağı ve erken hasara sebebiyet vereceğini söylemişlerdir. Collings ve ark. (1987) bu gerilme yığılmalarının zamanından önce çekme veya kayma hasarlarına sebep olduğunu vurgulamışlardır. Her ne kadar mekanik olarak vidalama yönteminin bahsedilen dezavantajları olsa da Collings (1982) ve Todd (1990) havacılık malzemelerinde bu yöntemin kullanılmasının tahmin edilebilir sonuçları olmasından dolayı daha güvenilir olduğunu belirtmişlerdir.

Yapıştırıcı ile birleştirme yöntemi akışkan bir polimerin birleştirilecek yüzeylere uygulanmasından sonra yüzeylerin bir araya getirilmesi ve reçinenin kurlenmesi ile yüzeylerin birleşmesidir. Banea ve Da Silva (2009)'a göre bu yöntemin mekanik vidalamaya göre uygulama kolaylığı olması, delik açma ile tahrip etme gereksinimi olmaması, birleştirme ile eklenecek ağırlıkların daha az olması gibi avantajları vardır. Bunun yanında Encinas ve ark. (2014), Paranjpe ve ark. (2018) ve Joseph ve ark. (2018)'e göre iletken kompozit malzemelerin bu özelliklerini etkilemeyecek şekilde uygulanabilir bir yöntemdir. Kim ve ark. (2006) bir yapıştırıcı ile yapıştırma

yönteminde delik açılması gerekmediği için uygulanan yükün kompozitin parçaları arasında daha eşit bir şekilde transfer olacağını vurgulamışlardır. Hart-Smith (2002) ve Pantelakis ve Tserpes (2014)'e göre, yapıştırıcı ile birleştirme gerçekleştirilmeden önce yüzey özelliklerinin iyileştirilmesinin çevre şartları ile birlikte kompozit malzemenin performansını etkilemektedir.

Polimer matrisli kompozit malzeme parçalarının birleştirilmesinde kullanılan bir başka yöntemde hibrit vidalama-yapıştırma yöntemidir. Adından da anlaşılacağı üzere bu yöntemde hem polimer bir yapıştırıcı hem de mekanik vidalama işlemlerini içerir. Bu yöntemde uygulanan yükün hem vida hem yapıştırıcı tarafından taşınmayacağı, daha rijit olan yapıştırıcı tarafından taşınacağı Clarke (2003) tarafından söylenmiştir. Kelly (2006) yaptığı çalışmalarda, düşük elastik modül özelliğine sahip bir yapıştırıcının kullanıldığı birleşim yerlerinin vidalama ile kuvvetlendirilmesi ile mukavemetlerinin, sıklıklarının ve yorulma dirençlerinin gözle görülür şekilde arttığını, fakat yüksek elastik modüle sahip yapıştırıcı ile birleştirilen bölgelerin bahsedilen bu özelliklerinin vidalama ile çok fazla artmadığını bulmuştur.

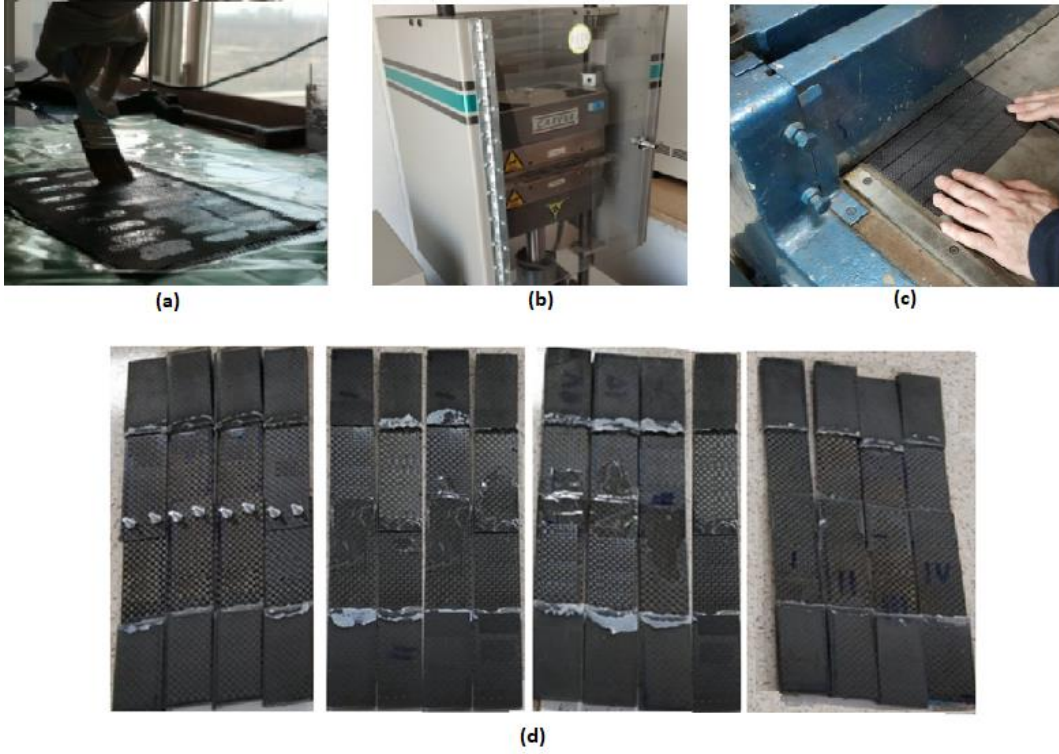
Bu çalışmada birleştirme yöntemi olarak vidalama ve polimer bazlı yapıştırıcılarla yapıştırma yöntemleri kullanılarak yapışma kuvvet değerleri çekme testi ile ölçülerek kullanılan yöntemler arasında karşılaştırma yapılmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada polimer matrisli karbon fiber takviyeli kompozitlerin farklı birleştirme yöntemleri ile birleştirildikten sonra ayrılma dayanımlarının test edilmesi amacı ile, numuneler üretilerek çekme testi uygulanmıştır.

### 2.1 Deney Numunelerin Üretimi

Karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin üretiminde takviye elemanı olarak Tenax-E HTA 40 3k düz dokumalı karbon fiber kumaş kullanılmıştır. Kumaşın metrekare ağırlığı 200 gr, dokuma sıklığı 5 adet/cm olup bir fiber demetinde 3000 adet karbon fiber bulunmaktadır. Matris elemanı olarak ise LR300/LH300 çift bileşenli laminasyon epoksi seti kullanılmıştır. Şekil 1.a'da görüldüğü gibi elle yatırma yöntemi ile ön şekil verilen 4 tabakalı kompozit malzeme daha sonra hava kabarcıklarından ve fazla epoksiden kurtulma amacı ile Şekil 1.b'deki Carver marka sıcak presi cihazı ile 1,09 MPa basınç altında preslenerek 100°C'de 1 saat kürlenmiştir. Basınç miktarı daha önce bu cihazla yapılan çalışmalarda kullanılan optimum miktardır. Belirlenen kürleme sıcaklığı matris malzemesi olan epoksinin kullanım talimatlarında belirtilen kürleme sıcaklığıdır. Cihaz sıcaklık ve basıncı eş zamanlı olarak uygulayabilmektedir. Cihazda basınç altında kürleme işlemi sona erdikten sonra elde edilen 250 mm x 180 mm ölçülerindeki kompozit levha, ASTM D412 standartlarına uygun şekilde 250mm x 25 mm x 0,67 mm (uzunluk x genişlik x kalınlık) ölçülerinde giyotin yardımı ile boyutlandırılmıştır. Boyutlandırma işlemi Şekil 1.c'de gösterilmiştir



**Şekil 1.** a) Elle yatırma yöntemi ile tabakaya ön şekil verme prosesi, b) Presleme ve kürleme işlemlerinin yapıldığı Carver marka sıcak pres cihazı, c) Kompozit plakanın ASTM D412 standartlarına göre boyutlandırılması işlemi, d) Ortadan kesildikten sonra birleştirilen ve teste hazır hale getirilen numuneler

Numuneler, kesme işlemi sona erdikten sonra, daha sonra farklı yöntemlerle birleştirilmek üzere, boylamasına ortadan kesilmiştir. Ortadan kesilen numunelere vida, piyasada yaygın olarak bulunabilen Jalasanj marka az maliyetli bir çift bileşenli yapıştırıcı, kompozit malzemenin üretildiği laminasyon reçinesi ve karbon fiber tozu katkılı laminasyon reçinesi ile birleştirme yöntemleri kullanılarak birleştirilmiştir. Çift bileşenli yapıştırıcının kürleyici ve yapıştırıcı bileşenleri 5 dk boyunca karıştırılarak yüzeye uygulanmış, yüzeyler birleştirilmiş ve kürlenmeye bırakılmıştır. Çekme testi çenelerinin numunelerin uç kısımlarına zarar vermemesi ve test sırasında çeneler içinden erken hasara sebebiyet vermemesi için, numunelerin çeneler içinde kalan 50 mm'lik kısımları ekstra epoksi ile kaplanmıştır. Üretilen numuneler Şekil 1.d'de gösterilmektedir.

## 2.2 Mekanik Çekme Testlerinin Gerçekleştirilmesi

Çekme testi işlemleri Shimadzu AG-IS 10 kN universal test cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Test edilen bir numunenin cihaza yerleştirilmiş hali Şekil 2'de gösterilmiştir.



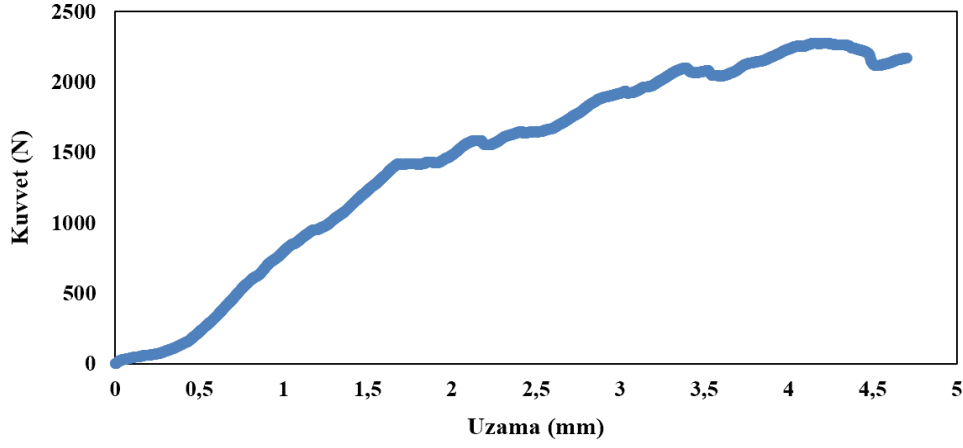
**Şekil 2.** Çekme testlerinin gerçekleştirildiği Shimadzu AG-IS 10 kN üniversal test cihazı

Her ne kadar gerçekleştirilen mekanik test yüklemeye doğrultusundan dolayı çekme testi olarak adlandırılrsa da elde edilen çıktı, birleştirilen iki kompozit malzemenin ara yüzeyindeki yapışma kuvvetidir. Mekanik test çekme hızı 2 mm/dk olup numune, 50 mm'lik uç kısımları çeneler içinde kalacak şekilde cihaz içine yerleştirilmiştir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Şekil 3'te vida ile birleştirilen numunelerin kuvvet uzama eğrisi verilmiş olup, bu numuneler ortalama 2278,67 N'luk kuvvet değerinde vidalama bölgelerinden hasara uğramıştır. Çekme esnasında vidalar vidalandıkları bölgeleri hasara uğratmış, civatalar hasarlı bölgelerden kayarak sıyrılmıştır. Oluşan bu hasar türü ve nispeten düşük kuvvet değerinde oluşan hasar Dai ve ark. (1998)'nin açılan vida delikleri etrafında oluşan gerilme yığılmalarının erken hasara yol açabileceğini savını desteklemektedir. Yani Vidalama yöntemi ile birleştirilen numunelerde, açılan vidalama delikleri etrafında oluşan mikro-çatlakların çekme testi sırasında ilerlediği ve en sonunda erken hasara yol açtığı düşünülmektedir. Çekme testi yapılan numuneler birleşme bölgelerinden kopmuş olup, bu kopma bölgeleri Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4'te görüldüğü üzere vidalama yöntemi ile birleştirilen numunenin vida delikleri etrafında hasarlar meydana gelmiştir. Çekme testi sırasında meydana gelen hasarın temsili gösterimi Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 5.a'da henüz kuvvet uygulanmamış numunede birleşme bölgesi gösterilmiş olup, kırmızı ile işaretlenen yerler vida deliği açılmasından kaynaklı oluşan mikro-çatlakları göstermektedir. Çekme kuvveti uygulandıkça mikro-çatlaklar Şekil 5.b'de gösterildiği gibi ilerlemekte ve en son Şekil 5.c'de ki gibi hasara yol açmaktadır.

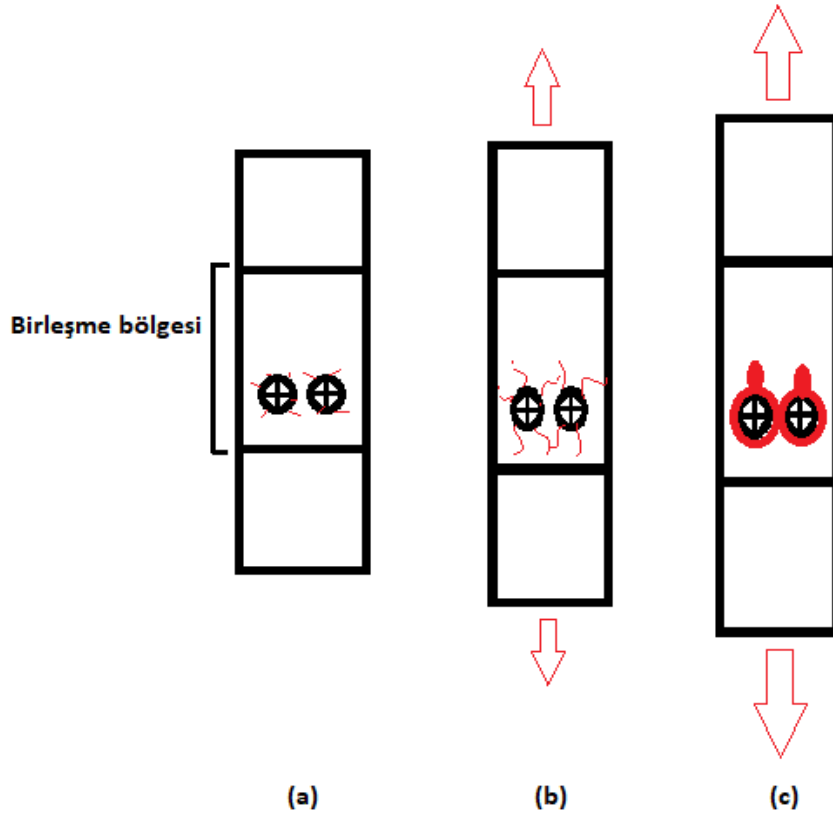
Kompozit malzemenin üretiminde matris malzemesi olarak kullanılan epoksi, bir takım numunenin birleştirilmesinde kullanılmış ve birleştirme bölgesine uygulanan epoksinin tamamen kürlenmesi sonrasında numunelere çekme testi uygulanmıştır. Test sonucunda bu numunelerin hasara uğradığı kuvvet ortalama 8917,5 N olarak tespit edilmiştir. Söz konusu numunelerin kuvvet-uzama grafiği Şekil 6'da verilmiştir.



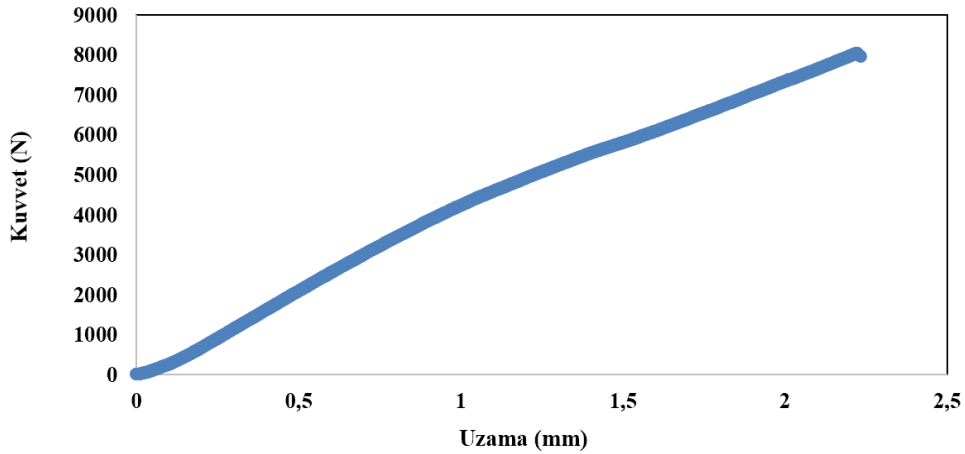
Şekil 3. Vida ile birleştirilen numunelerin çekme testleri sonucunda elde edilen kuvvet-uzama eğrisi



Şekil 4: Kopma bölgelerine ait makro resimler: a) vida ile birleştirilen, b) epoksi ile birleştirilen, c) karbon fiber tozu katkıli epoksi ile birleştirilen ve d) çift bileşenli yapıştırıcı ile birleştirilen numunelerin kopma bölgelerinin resimleri



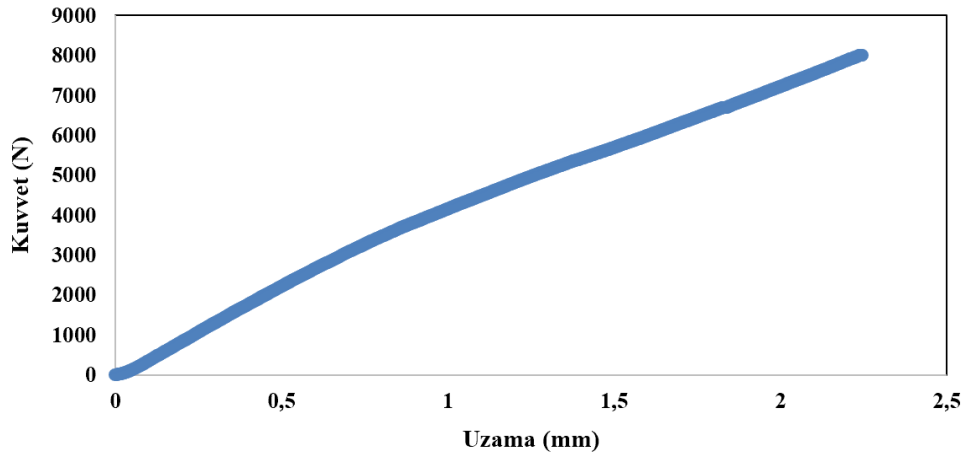
**Şekil 5.** a) Henüz kuvvet uygulanmamış, vidalama yöntemi ile birleştirilmiş numunede mikro-çatlaklar kırmızı renkle temsil edilmektedir, b) çekme kuvveti uygulanmaya başlanan numunede mikro-çatlaklar ilerlemektedir, c) çekme kuvvetinin miktarı arttıkça mikro-çatlaklar büyük hasarlara sebep olmaktadır



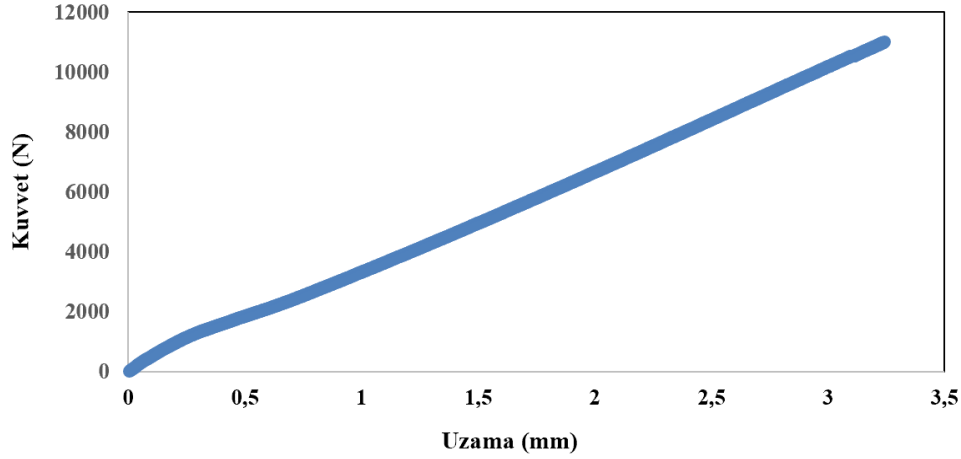
**Şekil 6.** Epoksi ile birleştirilen numunelerin çekme testleri sonucunda elde edilen kuvvet-uzama eğrisi

Birleştirme yerinde kullanılan bir başka malzeme ise ortalama  $100\mu\text{m}$  boyutunda ki karbon fiber tozları ile kuvvetlendirilmiş epoksidir. Bu yöntemle birleştirilen malzemelerin çekme kuvveti ortalama  $8564\text{ N}$ 'a kadar ulaşmıştır. Her ne kadar karbon fiber tozlarının birleşme bölgesinin mukavemetini yükseltmesi beklense de kullanılan tozların boyutları mukavemeti arttırmak için yetersiz kalmış olabilir. Ayrıca tozların epoksiye homojen olarak karışmamış olması da bu sonucu doğuran başka bir etken olabilir. Karbon fiber tozu katkılı epoksi ile birleştirilen numunelerin kuvvet-uzama eğrisi Şekil 7'de verilmiştir.

Jalasanj marka çift bileşenli yapıştırıcı ile birleştirilen numuneler çekme testi sonucunda 12062,8 N'luk çekme kuvvetine ulaşarak bu çalışmadaki birleştirme yöntemleri arasında en yüksek sonucu vermiştir. Söz konusu bu numunelerin kuvvet-uzama eğrileri Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 7. Karbon fiber tozu katkılı epoksi ile birleştirilen numunelerin çekme testleri sonucunda elde edilen kuvvet-uzama eğrisi



Şekil 8. Çift bileşenli yapıştırıcı ile birleştirilen numunelerin çekme testleri sonucunda elde edilen kuvvet-uzama eğrisi

Çizelge 1'de farklı yöntemlerle birleştirilen numunelerin çekme testi sonucu hasara uğradığı kuvvet değerleri gösterilmektedir. Daha önce belirtildiği ve Çizelge 1'de gösterildiği üzere vida ile birleştirme yöntemi polimer bazlı yapıştırıcılara göre daha düşük kuvvet değerinde hasara uğramıştır. Maksimum uzama değerlerine bakıldığında ise vidalanan numunelerin vidalandığı bölgelerden hasara uğramasından dolayı daha fazla uzadığı görülmektedir.

Çizelge 1. Üretilen numunelerin çekme testi sonuçları

Numune adı	Numune kalınlığı (mm)	Yapıştırma kalınlığı (mm)	Genişlik (mm)	Boy (mm)	Yapışma bölgesi uzunluğu (mm)	Max kuvvet (N)	Max uzama (%)
V-ort.	0,66	1,32	24,48	116,03	20,53	2278,67	5,1
E-ort.	0,66	1,88	24,41	115,25	21,8	8917,5	2,5
KFT-ort.	0,67	1,7	24,32	115,25	21,33	8564	2,4
Çift B. ort.	0,69	1,89	24,48	114,42	24,75	12062,8	3,05



#### 4. SONUÇ

Vida ile birleştirilen numuneler çekme testi sonucunda en düşük kopma değerini vermişlerdir. Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan epoksi ile birleştirilen numunelerin kopma kuvveti vida ile birleştirilenlere göre %292 daha fazladır. Epoksi içine karbon fiber tozu katkısı yapılarak birleştirme malzemesi olarak kullanılmış fakat bu malzeme ile birleştirilen numuneler sadece epoksi kullanılarak birleştirilen numunelere göre yaklaşık %3,9 daha düşük bir kuvvette kopmuştur. Kullanılan yöntemler arasında numuneleri birbirine en kuvvetli şekilde bağlayan çift bileşenli yapıştırıcı ile birleştirme yöntemidir ve bu yöntemin kullanıldığı numuneler epoksinin yapıştırıcı olarak kullanıldığı yöntemle oranla %35, vidanın kullanıldığı yöntemle oranla %429 daha fazla kopma direnci göstermiştir. Sonuç olarak bu çalışma kapsamında vida ile birleştirme en zayıf, çift bileşenli yapıştırıcı ile birleştirme en kuvvetli yöntem olarak belirlenmiştir.

İlerleyen çalışmalarda epoksi dışında yapıştırıcı malzemeler, katkılı polimer malzemeler ve hem vidalama hem de yapıştırıcı ile yapıştırma yöntemlerinin aynı malzemede kullanıldığı çalışmalar yapılabilir ayrıca bu çalışmalara kompozit malzemelerinin birleşme bölgelerine farklı yüzey modifikasyonları uygulanarak birleşme bölgesinin mukavemetine olan etkileri incelenebilir.

#### 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm imkanlarından faydalanılarak yürütülmüştür. Bilimsel faaliyetlerin arkasında duran ve itici güç olan bölüm yönetimi ve öğretim elemanlarına sonsuz teşekkürlerimizi borç biliriz.

#### 6. KAYNAKLAR

- Ashcroft, I.A., Hughes, D.J., Shaw, S.J., Adhesive bonding of fibre reinforced polymer composite materials. *Assembly Automation*, 2000.
- Banea, M.D., Da Silva, L.F., Adhesively bonded joints in composite materials: an overview. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 223(1), 1-18, 2009.
- Bowen, R.L., Eichmiller, F.C., Marjenhoff, W.A., Rupp, N.W., Adhesive bonding of composites. *J Am Coll Dent*, 56, pp.10-13, 1989.
- Clarke, J.L., *Structural design of polymer composites: Eurocomp design code and background document*. CRC Press, 2003.
- Collings, T.A., On the bearing strengths of CFRP laminates. *Composites*, 13(3), 241-252, 1982.
- Collings, T.A., Mead, D.L., Stone, D.E.W., The effects of high temperature excursions on environmentally exposed CFC. In *Composite Structures 4*, 345-374, Springer, Dordrecht, 1987.
- Dai Gil Lee, Kwon, J.W., Cho, D.H., Hygrothermal effects on the strength of adhesively bonded joints. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 12(11), 1253-1275, 1998.
- Encinas, N., Oakley, B.R., Belcher, M.A., Blohowiak, K.Y., Dillingham, R.G., Abenojar, J., Martínez, M.A., Surface modification of aircraft used composites for adhesive bonding. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 50, 157-163, 2014.
- Hart-Smith, L.J., Adhesive bonding of composite structures-progress to date and some remaining challenges. *Journal of Composites, Technology and Research*, 24(3), 133-151, 2002.

- Joseph, A.P., Davidson, P., Waas, A.M., Progressive damage and failure analysis of single lap shear and double lap shear bolted joints. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 113, 264-274, 2018.
- Kelly, G., Quasi-static strength and fatigue life of hybrid (bonded/bolted) composite single-lap joints. *Composite structures*, 72(1), 119-129, 2006.
- Kim, K.S., Yoo, J.S., Yi, Y.M., Kim, C.G., Failure mode and strength of uni-directional composite single lap bonded joints with different bonding methods. *Composite structures*, 72(4), 477-485, 2006.
- Kweon, J.H., Jung, J.W., Kim, T.H., Choi, J.H., Kim, D.H., Failure of carbon composite-to-aluminum joints with combined mechanical fastening and adhesive bonding. *Composite structures*, 75(1-4), 192-198, 2006.
- Pantelakis, S., Tserpes, K.I., Adhesive bonding of composite aircraft structures: Challenges and recent developments. *Science China Physics, Mechanics and Astronomy*, 57(1), 2-11, 2014.
- Paranjpe, N., Alamir, M., Alonayni, A., Asmatulu, E., Rahman, M. M., Asmatulu, R., Strength and failure analysis of composite-to-composite adhesive bonds with different surface treatments. In *Behavior and Mechanics of Multifunctional Materials and Composites XII*. International Society for Optics and Photonics, Vol. 10596, p. 105961K, 2018.
- Prabhakaran, R., Photoelastic investigation of bolted joints in composites. *Composites*, 13(3), 253-256, 1982.
- Schwartz, L.M., Effective medium theory of electrical conduction in two-component anisotropic composites. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 207(1-3), 131-136, 1994.
- Thoppul, S.D., Finegan, J., Gibson, R.F., Mechanics of mechanically fastened joints in polymer-matrix composite structures—a review. *Composites Science and Technology*, 69(3-4), 301-329, 2009.
- Todd, S.M., Joining thermoplastic composites. *Society for the Advancement of Material and Process Engineering*, 383-392, 1990.
- Vinson, J.R., Mechanical fastening of polymer composites. *Polymer Engineering & Science*, 29(19), 1332-1339, 1989.