



# Kompozit Yama ile Tamir Edilmiş Oval Çentikli Çelik Plakanın Çekme Dayanımının Deneysel Olarak Araştırılması

Berkant Dindar<sup>1\*</sup>, İnan Ağır<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Tokat Gaziosmanpaşa University, Faculty of Engineering and Architectural, Department of Mechanical Engineering, Tokat, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1215-3621), [berkant.dindar@gop.edu.tr](mailto:berkant.dindar@gop.edu.tr)

<sup>2</sup> Pamukkale University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Denizli, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8845-1452), [iagir@pau.edu.tr](mailto:iagir@pau.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 1 Ekim 2020 ve Kabul Tarihi 15 Nisan 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.802907)

**ATIF/REFERENCE:** Dindar, B., Ağır, İ. (2021). Kompozit Yama ile Tamir Edilmiş Oval Çentikli Çelik Plakanın Çekme Dayanımının Deneysel Olarak Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 697-701.

## Öz

Bu çalışmada oval çentikli 304 östenitik paslanmaz çelik levhanın karbon/epoksi kompozit yama ile tamir edilebilirliği deneysel olarak araştırılmıştır. Bu bağlamda 2 mm kalınlığındaki çelik levhadan 250x40 mm boyutunda deney numuneleri kestirilerek merkezlerine CNC tezgahta 20x4 mm ebatında üç farklı oryantasyonda oval çentikler açılmıştır. Daha sonra bu çentikleri yamamak için karbon elyaf takviyeli kompozit yamalar hazırlanmıştır. Yamalarda kullanılan kompozitler el yatırması yöntemi ile üç eksenli kumaşlara epoksi uygulanması ve sonrasında sıcak presleme yapılması ile üretilmiştir. Üretilen bu kompozit plakalardan 40x40 mm ebatında su jeti ile kompozit yamalar kesilmiştir. Daha sonra bu yamalar Weicon RK-7100 yapıştırıcı ile tek taraflı ve çift taraflı olacak şekilde çentikli çelik levhalara yapıştırılmıştır. Yapıştırma işlemi yapılmadan önce plakaların yüzeylerindeki kir ve tortu tabakası döner keçe ile temizlenmiştir. Daha sonra numunelere solvent bazlı yüzey temizleyici sprey sıkılarak mükemmel bir yapışma yüzeyi elde edilmiştir. Yapıştırma işlemi tamamlandıktan sonra yapıştırıcının kürleşmesi için numuneler üç gün süre ile beklemeye alınmıştır. Numuneler nihai hallerini aldığı anda statik çekme deneyleri yapılarak çekme gerilmeleri tespit edilmiş ve her bir açı değeri için yamasız, tek yön yamalı ve çift yön yamalı olacak şekilde grafikler üzerinde karşılaştırmaları yapılmıştır. Yamalı numunelerin kritik akma dayanımının yamasız numunelere kıyasla dikkate değer ölçüde iyileştiği tespit edilmiştir. Nihai çekme dayanımlarında ise yamalı ve yamasız numuneler arasında belirgin bir fark görülmemiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kompozit yama, 304 paslanmaz çelik, çekme dayanımı, karbon fiber, epoksi.

## Experimental Investigation of Tensile Strength of Oval Notched Steel Plate Repaired with Composite Patch

### Abstract

In this study, the repairability of oval notched 304 austenitic stainless steel plate with carbon/epoxy composite patch was experimentally investigated. In this context, 250x40 mm test specimens were cut from 2 mm thick steel plate and in the CNC machine, oval notches 20x4 mm sized were opened in three different directions on their centers. Carbon fiber reinforced composite patches were then prepared to patch these notches. The composites used in patches were produced by applying epoxy to triaxial fabrics by hand lay-up method and then hot pressing. Composite patches were cut from composite plates with water jet. These patches were then affixed with Weicon RK-7100 adhesive to one-sided and double-sided notched steel plates. Before the adhesion process, the dirt and residue layer on the surfaces of the plates were cleaned with a rotary felt. Then, by spraying solvent-based surface cleaner on the samples, a perfect adhesion surface was obtained. After the bonding process was completed, the samples were kept for three days in order for the adhesive to cure. When the samples were in their final form, static tensile tests were performed, tensile stresses were determined and comparisons were made on the graphics for each angle value without patches, one way patches and two way patches. It was found that the critical yield strength of the patched specimens was significantly improved compared to the unpatched samples. There was no significant difference between the patched and non-patched samples in the ultimate tensile strength.

**Keywords:** Composite patch, 304 stainless steel, tensile strength, carbon fiber, epoxy.

\* Corresponding Author: [berkant.dindar@gop.edu.tr](mailto:berkant.dindar@gop.edu.tr)

## 1. Giriş

Paslanmaz çelikler, mükemmel oksidasyon ve korozyon direnci manyetik olmayan yapı, biyo uyumluluk gibi özellikleri ile (Liao, vd., 2019) deniz taşımacılığı ve diğer alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Üretim sırasında 304 paslanmaz çelikler de mikro kusurlar meydana gelebilmektedir. Bu kusurlar daha sonra makro kusurlara dönüşerek malzeme hasarına neden olabilmektedir (Hu, vd, 2020). Çeşitli mühendislik alanlarında delemantasyon, çentik, çatlak gibi hasarlar değişik şekillerde oluşabilmektedir. Bu tür hasarlı yapıların onarımı için kompozit yamalar yaygın olarak kullanılmakta olup etkinliği kanıtlanmıştır (Aabid, vd., 2020). Bu hasarlar günümüzde ileri teknolojiye kompleks yapılar dolayısıyla geçmişe nazaran çok daha fazla karşımıza çıkmaktadır (Saylık, 2016). Hasara uğramış yapıları değiştirmek kimi zaman yüksek maliyetli olurken kimi zamanda imkansızdır (Ergün, 2008). Hasarlı yapı elemanlarında farklı sebeplerden dolayı oluşabilecek süreksizlikler tamir işlemi ile ortadan kaldırılarak düzeltilebilmektedir (Cowardrey., vd., 1998).

Günümüzde çentikli metal yapıların onarımında kompozit yamaların kullanımı dünya çapında daha popüler hale gelmiştir (Pradhan, vd., 2020; Daryabor, 2017 vd.). Tek taraflı fiber takviyeli yama ile metalik panellerde yorulma çatlakları tamirinin yapılabilirliği araştırılmış ve yamanın boyutunun yorulma hasarını etkileyebileceği belirtilmiştir (Ki-Huyun, vd., 2003). Bir yama onarımı için optimum bir yapışkan kalınlık değeri vardır. Az kalınlıkta ki bir yapıştırıcı onu kırılma ve sert hale getirerek delik kenarlarında kayma kopmasını başlatmaktadır. Fazla bir yapıştırıcı kalınlığı ise yapıştırılan yapı ve yama arasındaki yük transferini azaltmakta ve numunenin nihai mukavemetinde genel bir azalmaya sebep olmaktadır (Liu ve Wang, 2007). Yamanın şekli de onarımın performansını etkilemektedir (Kashfuddoja ve Ramji, 2014). Ayrıca yapıştırma işlemi perçin bağlantıları ile desteklenirse bağlantının mukavemeti önemli ölçüde artmaktadır (Özenç ve Şekercioğlu,

2014). Metal plakaya karbon/epoksi yama şeritlerinin eklenmesi ezilme yüklerine karşı enerji absorbeasyonunu iyileştirmektedir

(Lebaupin, vd., 2019). Yapılardaki hasar, yapının yapısal bütünlüğünü ve kullanım ömrünü azaltmaktadır. Servis ömrünü geliştirmek için, hasarın onarılacak yapısal bütünlüğünün tekrar sağlanması gereklidir. Yapıştırılarak tutturulmuş kompozit yama onarımı, hasarlı parçanın yapısal bütünlüğünü düzeltmek için kullanılan popüler tekniklerden biridir (Uslu M. 2018).

Karbon fiber takviyeli polimerler, son yıllarda endüstride, bilimde, günlük kullanım ekipmanlarında ve mühendislikte giderek daha fazla kullanılmaktadır (Nguyen, vd. 2018). Bu çalışmada 304 östenitik paslanmaz çelik plakalara CNC tezgahta üç farklı açı değerinde oval çentikler açılmış ve pratik bir hasar onarımı olarak karbon/epoksi yamaların bu çentikleri onarabilme yeterlilikleri deneysel olarak araştırılmıştır. Bu bağlamda her üç çentik açısında levhaların yamasız, tek yön yamalı ve çift yön yamalı konfigürasyonlarının çekme deneyleri yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Deney numuneleri, çentiğin bulunduğu paslanmaz çelik (yapıştırılan malzeme) ve çentiğin onarılmasını sağlayan karbon fiber takviyeli kompozit yama olmak üzere başlıca iki kısımdan oluşmaktadır. Deneysel çalışmalar ortam sıcaklığı ve ortam nem koşullarında Instron 8801 test cihazı kullanılarak yapılmıştır.

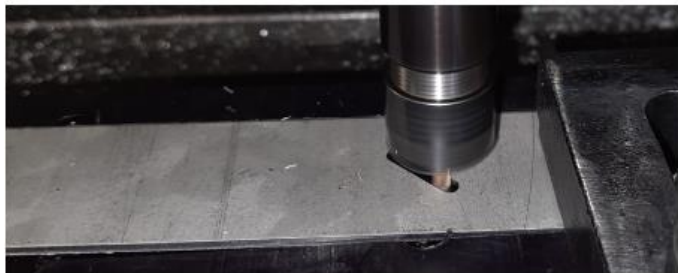
### 2.1. Yapıştırılan Malzeme

Yapıştırılan malzeme 2 mm kalınlığında, 304 tip östenitik paslanmaz çelik plakadır. Malzemenin ortalama kimyasal bileşimi ve oda sıcaklığındaki bazı mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Malzeme Tokat'ta faaliyet gösteren Borusan Şirketinden tedarik edilmiştir.

Tablo 1. Standart 304 östenitik paslanmaz çeliğin kimyasal yapısı (%) ve mekanik özellikleri.

Kimyasal Özellikler (%)					Mekanik Özellikler			
Mn	Ni	Cr	Si	C	Elastisite Modülü (GPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Paisson Oranı (ν)
0,84	8,09	18,16	0,42	0,06	193	317	686	0,26

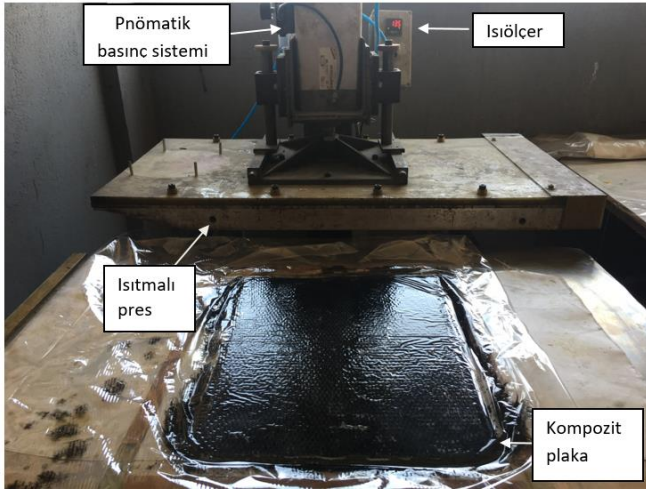
Çentikler 0°, 45°, 90° olmak üzere 3 farklı açı değerinde oval geometride (Şekil 1) İzmir'de faaliyet gösteren Egesky Makina tarafından CNC tezgahta açılmıştır. Çentiklere dair bir standart mevcut değildir çentik boyları ve şekilleri literatürdeki çalışmalar incelenerek literatürün eksikliğini giderecek şekilde uygun görülen geometrilerde oluşturulmuştur.



Şekil 1. Çelik numunelere çentik açılması (45° açılı).

### 2.2. Yama Malzemesi

Bu çalışmada karbon fiber takviyeli polimer kompozitin yama olarak kullanılabilme kabiliyeti araştırılmıştır. Çalışmada el yatarması ve sıcak kalıplama tekniği (Şekil. 2) ile karbon/epoksi plakalar üretilerek bu plakalardan yamalar elde edilmiştir. Bu bağlamdasıcak kalıplama işlemi İzmir'de faaliyet gösteren Meduza Karbon Şirketinde yapılmıştır (8 bar basınç ve 100 °C sıcaklık ile). Kalıplama sonrası kürleşen plakanın kenarlarındaki epoksi çapakları yine Meduza Karbon şirketinde elektrikli kompozit testeresi ile temizlenmiştir.



Şekil 2. Kompozit plakaların kürleştirilmesi.



Şekil 4. Kompozit yamaların yapıştırılması.

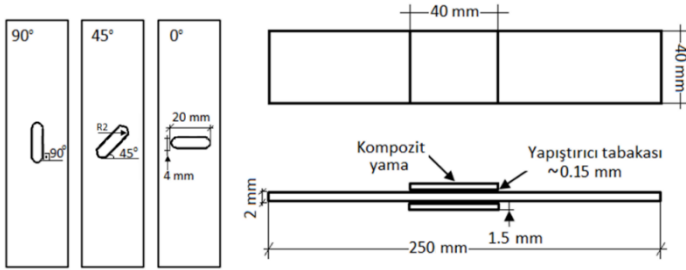
### 2.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Deney numuneleri üç farklı açı yönünde yamasız tek yön yamalı ve çift yön yamalı olarak her bir konfigürasyon için 3 tekrar olacak şekilde toplam 27 numune hazırlanmıştır. Kompozitler anizotropiktir: lif yönünde (eksenel yönde), kompozitler çok mukavim olabilirken, enine transverse yönde dayanımları çok daha düşüktür. Transverse yönde, kompozitler sıyrılmaya yüküne maruz kalarak, yamalar yapıştırıcıdan önce hasara uğrayabilmektedir (Neto, vd., 2012). Bu nedenle kompozit yamalar aksel yönünde elyafların bulunduğu oryantasyonda [0,45,-45,45,-45,0] kesilmiştir.

RK-7100 yüksek çekiş, kesme ve soyulma mukavemetiyle plastikler, metaller, ahşap ve seramikler gibi pek çok maddeyi kendileriyle ve birbirlerine yapıştırmak için kullanılabilir. Özellikle yüksek dayanıklılık gerektiren yapısal yapıştırmalar için uygundur. Yüksek viskozitesi sayesinde dikey yüzeylerdeki uygulamalar için de uygundur (Weicon, 2018). Yapıştırmada kullanılan Weicon RK-7100 yapıştırıcının teknik özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Yapıştırıcının teknik özellikleri (Weicon, 2018).

Teknik Özellikler	Değer
İçerik	Metil metakrilat
Çekmede kesme ayanımı	22 N/mm <sup>2</sup>
Uygulama sıcaklığı	+10 ile +40 °C arası
Nihai sertleşme	12 saat
Sıcaklık dayanımı	-55 ile +125 °C arası

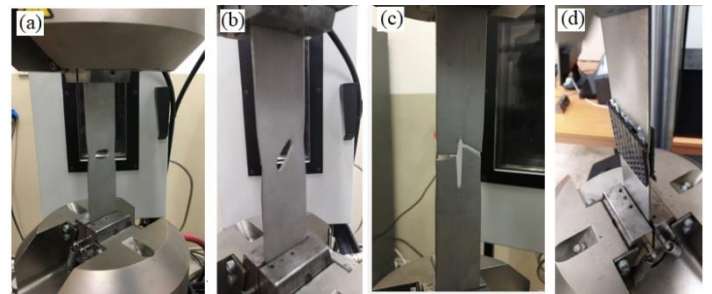


Şekil 3. Çentik açıları ve numunenin teknik resim çizimi.

Yamaların yapıştırılması Weicon RK-7100 çift komponent yapıştırıcı ile yapılmıştır. Mükemmel bir yapışma elde edebilmek için paslanmaz çelik numunelerin yapıştırma yapılacak bölgeleri elektrik motoruna bağlı döner keçe ile temizlenmiştir. Sonrasında Weicon yüzey temizleyici sıkılarak parça yüzeyi yapıştırmaya hazır hale getirilmiştir. Yapıştırıcı yüzeye sürüldükten sonra yaklaşık 5 dk. içerisinde kürleşmeye başlamaktadır. Bu nedenle seri bir şekilde yamalar yapıştırılmıştır (Şekil 4). Yapışmanın en iyi şekilde olması için yama yapıştırılmış numuneler üç gün süre ile beklemeye alınmıştır. Bekleme sürecinde sıkıştırma mandalları ile yamalara bası kuvveti uygulanmıştır. Bu mandalların uyguladığı bası kuvveti eşdeğer olduğundan dolayı yaklaşık 0,15 mm kalınlığında yapıştırıcı tabaka oluşmuştur.

### 2.3. Deneysel Çalışmalar

Deneylerin tamamı Pamukkale Üniversitesi Mekanik Laboratuvarında, Instron 8801 test cihazı ile ortam koşullarında 5 mm/dk çekme hızında deplasman kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler test cihazının çenelerine aksel yönlü bağlanmışlardır çenelerin kavrama mesafesi 50 mm’ ve çekilen bölgenin dikey uzunluğu 200 mm’dir. Çekme deneyleri 0° çentikli numune Şekil 5(a), 45° çentikli numune Şekil 5(b), 90° çentikli numune Şekil 5(c) ve çift tarafı yamalı numune Şekil 5 (d)’de görülmektedir. Deneyler her bir parametrede üçer kez tekrar edilerek ortalamaları alınmıştır.



Şekil 5. Çekme deneyleri: 0° çentikli numune (a), 45° çentikli numune (b), 90° çentikli numune (c), 90° çentikli çift tarafı yamalı numune (d).

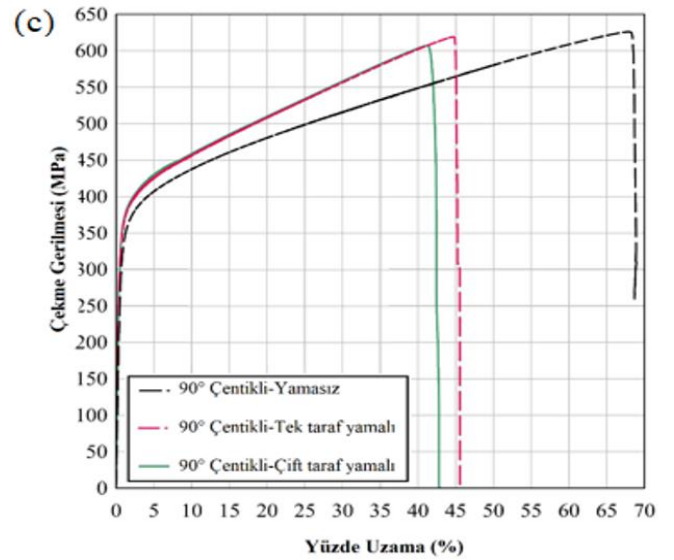
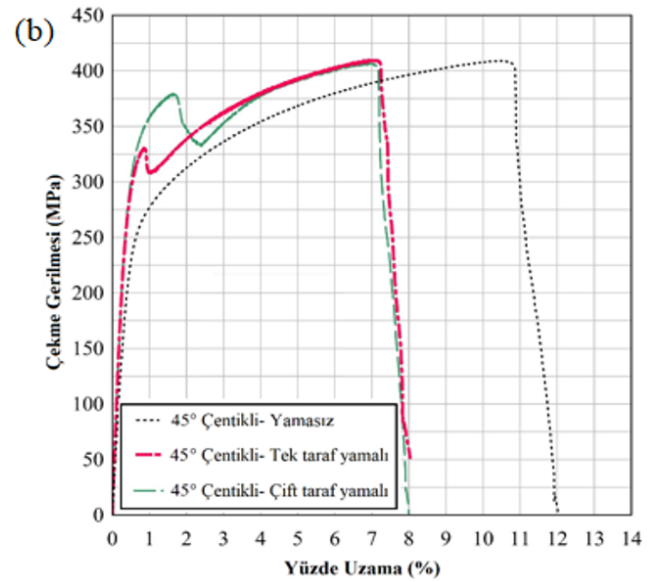
### 3. Bulgular ve Tartışma

Yapılan çekme deneyleri sonucunda gerilme-uzama grafikleri elde edilmiştir.  $0^\circ$  çentikli numunenin çekme uzama eğrileri Şekil 6(a)'da gösterilmiştir.  $0^\circ$  yamasız numunenin nihai çekme dayanımı 400 MPa tek tarafı yamalı numunenin 337 MPa çift tarafı yamalı numunenin 375 MPa olarak tespit edilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere yamalar akma dayanımlarına direkt etki etmişlerdir. Çift yamalı numunenin akma dayanımı 385 MPa tek tarafı yamalı numunenin akma dayanımı 275 yamasız numunenin akma dayanımı 225 MPa olarak tespit edilmiştir.

Şekil 6(b)'de  $45^\circ$  açılı numunelerin çekme davranışları incelendiğinde yamasız, tek tarafı yamalı ve çift tarafı yamalı numunelerin çekme dayanımı 410 MPa olarak tespit edilmiştir. Akma dayanımları yamasız 250 MPa tek tarafı yamalı numunenin akma dayanımları 330 MPa çift tarafı yamalı numunenin akma dayanımları 360 MPa olarak tespit edilmiştir.

$0^\circ$  ve  $45^\circ$ 'li çentik açılı numunelerde yama koştugu anda gerilme ani bir şekilde düşmektedir fakat  $90^\circ$  çentik açılı numunelerde bu durum gözlenmemiştir.  $90^\circ$  çentik açılı numunelerin akma dayanımları ve nihai çekme dayanımları bir birlerine yakın değerler şeklinde yaklaşık olarak akmada 300 MPa ve nihai çekmede 620 MPa olarak tespit edilmiştir (Şekil 6 (c)).

Khalili S.M.R. ve arkadaşları kenar çentikli çelik plakaları fiber takviyeli epoksi yamalar ile tamir etmişlerdir. Çalışmalarında çift yamalı tamirat ile numunelerin çekme dayanımlarında % 17,9 artış elde etmişlerdir. Bu çalışmada ise çift tarafı yamalar akma dayanımlarını yamasız numunelere kıyasla  $0^\circ$  açılı numunelerde yaklaşık % 71,1 ve  $45^\circ$  açılı numunelerde % 44 son olarak  $90^\circ$  açılı numunelerde çok küçük nispi bir artış sağlamıştır. Nihai çekme dayanımları ise genel olarak bir birlerine benzerdir.



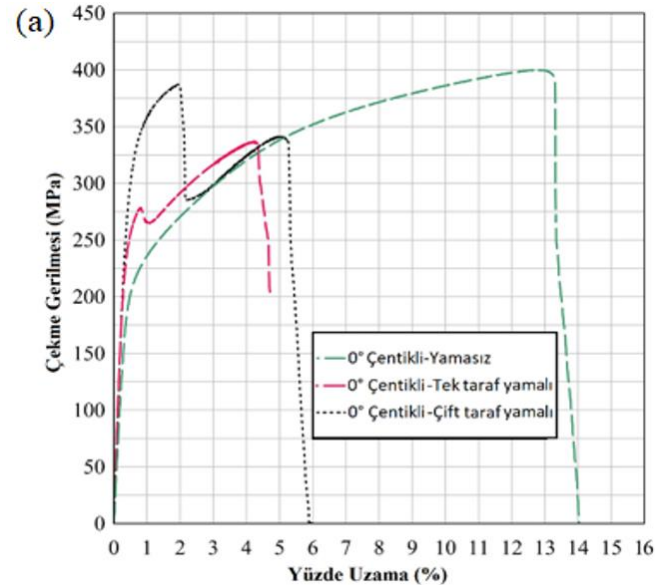
Şekil 6. Çekme gerilmesi-yüzde uzama grafikleri:  $0^\circ$  çentikli numune (a),  $45^\circ$  çentikli numune (b),  $90^\circ$  çentikli numune (c).

### 4. Sonuç

Weicon RK-7100 yapıştırıcı çelik ve karbon/epoksi kompozit arasında yüksek yapıştırma performansı göstermiştir. Yamalar çelik numunelerin akma dayanımlarını belirgin bir şekilde iyileştirmişlerdir. Bu olumlu etki çeliğin akma dayanımını arttırarak çeliğin plastik deformasyon eşiğini arttırmaktadır. Çift tarafı yamalar akma dayanımlarını yamasız numunelere kıyasla  $0^\circ$  açılı numunelerde yaklaşık % 71,1 ve  $45^\circ$  açılı numunelerde %44 son olarak  $90^\circ$  açılı numunelerde çok küçük nispi bir artış sağlamıştır. Nihai çekme dayanımları ise genel olarak bir birlerine benzerdir. Buradan kompozit yamalı numunelerin daha az aktığı anlaşılmaktadır. Son olarak çalışma kompozit yamaların bu tür çentik hasarların tamiratında pratik bir tamir elemanı olarak kullanılabileceğine dair olumlu düşünceler oluşturmuştur.

### Kaynakça

Aabid, A., Hrairi, M., Ali J. S. M., (2020). Optimization of composite patch repair for center-cracked rectangular plate



- using design of experiments method. *Materials Today: Proceedings*, 27, (1713-1719).
- Cowdrey, S., Ferguson, C., Lennox, A.F., Mauro, P., Neummayer, R., Orme, B., Müller, M., (1998). *Loctite Worldwide Design Handbook*, Germany.
- Daryabor P. ve Safizadeh M. S., (2017) Image fusion of ultrasonic and thermographic inspection of carbon/epoxy patches bonded to an aluminium plate, *NDT and E International*, 90, (1-10).
- Ergün, R.K., (2008). Eliptik delikli alüminyum levhaların kompozit yama ile tamir edilmesinin gerilme davranışına etkisinin deneysel ve sayısal araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.
- Hu, B., Liu, Y., Yu, R., (2020). Numerical simulation on magnetic-mechanical behaviors of 304 austenite stainless steel, *Measurement*, 151, (1-10).
- Kashfuddoja, M. ve Ramji M., (2014). Design of optimum patch shape and size for bonded repair on damaged carbon fibre reinforced polymer panels, *Materials and Design*, 54, (174-183).
- Ki-Hyun, C. ve Yang W., (2003). A study on the fatigue crack growth behavior of thick aluminum panels repaired with a composite patch, *Composite Structures*, (60), (1-7).
- Khalili S.M.R., Shiravi M. and Nooramin A.S. (2010). Repaired with polymer composite and smart patches-experimental study, *Journal Of Reinforced Plastics And Composites*, 29, 3021-3037.
- Lebaupin Y., Friedli J., Caglar B., Piccand M., Pasquier, R., Michaund V., (2019). Crushing and intrusion resistance improvement of aluminum beams by carbon/epoxy composite patches. *Composites Structures*, 226, (1-10).
- Liao, J., Tan, J., Wu x., Ning D., Xue G., Yao W., (2019). Corrosion fatigue behavior of 304 stainless steel notched specimen in high temperature pressurized water, *Materials Science & Engineering A*, 748, (137-145).
- Liu X. ve Wang G., (2007). Progressive failure analysis of bonded composite repairs, *Composite Structures*, 81, (331-340).
- Saylık, A., (2016). Kompozit yama ile tamir edilmiş çentikli alüminyum levhalarda gerilme analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Elazığ.
- Natarajan, Y., Murugesan P.K., Mohan, M., Khan, S.A.L.A., (2020). Abrasive water jet machining process: A state of art of review, *Journal of Manufacturing Processes*, 49, (271-322).
- Neto J.A.B.P., Campilho R. D. S. G., Silva L.F.M., (2012). Parametric study of adhesive joints with composites, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 37, (96-101).
- Nguyen P.L., Vu X. H., Ferrier E., (2018). Elevated temperature behaviour of carbon fibre-reinforced polymer applied by hand lay-up (M-CFRP) under simultaneous thermal and mechanical loadings: Experimental and analytical investigation, *Fire Safety Journal*, 100, (103-117).
- Özenc M. ve Şekercioğlu T., (2014). Effect of surface pre-treatment and temperature on the adhesive strength of hybrid aluminum Joints, *Kovove Mater*. 52, (1-10).
- Pradhan S.S., Mishra U., Biswal S.K., (2020). Experimental study on mechanical performance of cracked aluminium alloy repaired with composite patch. *Materials today: Proceedings*, (26) 2, (2676-2680).
- Uslu M., (2020). Yama ile tamir edilmiş çentikli kompozit levhalarda hasar analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, sf. 39.
- WEICON GmbH & Co. KG, WEICON çift komponent yapııştırıcı, (2018).  
[https://www.weicon.com.tr/media/pdf/33/7a/92/TDS\\_10566050-39\\_TR\\_Easy-Mix\\_RK-7100.pdf](https://www.weicon.com.tr/media/pdf/33/7a/92/TDS_10566050-39_TR_Easy-Mix_RK-7100.pdf)