

Çentikli kompozit levhaların hasar davranışlarının incelenmesi

Abdullah ÇELİK, Kadir TURAN*

Dicle Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 21280, Diyarbakır

Makale Gönderme Tarihi: 22.01.2015

Makale Kabul Tarihi: 14.05.2015

Öz

Bu çalışmada, çentikli kompozit levhaların hasar davranışları statik çekme testleriyle deneysel olarak araştırılmıştır. Sekiz tabakalı örgülü cam elyaf takviyeli epoksi reçine matrisli kompozit levhalar kullanılmıştır. Levhaya kenarlarından ve ortasından açılan çentiklerin ve fiber takviye açısı değişiminin levhanın çekme mukavemeti üzerine etkileri incelenmiştir. Fiber takviye açısının etkileri $[0^\circ]_s$, $[15^\circ]_s$, $[30^\circ]_s$ ve $[45^\circ]_s$ tabaka dizilimine sahip levhalar için araştırılmıştır. Çentik türü değişimi ise levha ortasında radyal delik (Tip 1), levha kenarında yarım daire çentik (Tip 2), levha merkezinde dairesel delik (Tip 3) ve levha kenarında u çentik (Tip 4) olmak üzere 4 farklı çentik türü için incelenmiştir. Fiber takviye açısına bağlı olarak tüm çentik türleri için hasar yüklerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Buna ek olarak çentik türü değişiminin hasar yükleri üzerinde oldukça etkili olduğu deneysel çalışma sonuçlarından görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Tabakalı kompozit levhalar, hasar analizi, çentik etkisi.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Kadir TURAN. kturan@dicle.edu.tr; Tel: (412) 241 10 00 (3603)

Giriş

Günümüzde artan malzeme ihtiyacı ve azalan kaynaklardan dolayı malzeme talebini karşılamak amacıyla, gelişen teknolojiyle uyumlu yeni malzemelerin keşfine ihtiyaç duyulmuştur. Farklı malzemelerin istenilen özelliklere uyacak şekilde bir araya getirilmesiyle elde edilen kompozit malzemeler günümüz ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Çünkü kompozitler sınırsız taleplere sınırsız üretim seçenekleriyle cevap vermektedir. Kompozit malzemeler; güçlü, sert fiberlerin daha zayıf ve daha az katı matris malzemeler içerisinde sıkıca sarılmasıyla elde edilir (Mallick, 1993).

Kompozitler levhalarda istenmeyen dış etmenlerden kaynaklı veya konstrüktif zorunluluklara bağlı olarak çentikler meydana gelebilir. Çentikler gerilme yığılması gibi büyük bir problemi de beraberinde getirir. Çentik geometrisi ve kompozitlerin fiber takviye açıları hasar oluşumunda belirleyici etkenlerdendir. Khashaba ve diğerleri (2007), çentikli ve çentiksiz cam fiber epoksi kompozitlerinin eğilme davranışlarını statik ve yorulma yükleri altında deneysel yöntemlerle incelemiştir. Delikli kompozit levhalarda delik çaplarının artmasıyla nihai eğilme mukavemetinin düştüğü, çentik çapı düşüşünün yorulma süresini arttırdığı ve daha uzun yorulma ömrünün deliksiz numunelerde olduğu belirtilmiştir. Tomita ve Tempaku (1997), epoksi reçineli tekyönlü karbon fiberlerle takviye edilmiş kompozit levhalarda fiber hacim oranının çekme hasar davranışı üzerine etkisini araştırmışlardır. Çentikli ve çentiksiz levhalarda fiberlere paralel yönde yük uygulanmıştır. Kırılmaların genelde yük yönüne paralel olduğu tespit edilmiştir. Bouiadjra ve diğerleri (2007), çekme gerilmesine maruz kalan kompozit levhaların çentik ve çatlak uç kısımlarında gerilme yoğunluk faktörü hesabını sonlu elemanlar yöntemiyle incelemiştir. Fiber takviye açısı azaldıkça çatlak

ilerlemesine karşı olan direncin azalacağı gözlemlenmiştir. Kompozitler için yapıştırıcı özellikleri seçilirken malzeme, yapıştırıcı ve yüzey hasarları birlikte orantılanarak değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Kannan ve diğerleri (2011), merkezi delikli karbon/karbon kompozit levhaların çekme mukavemetlerini sonlu elemanlar yöntemini kullanarak araştırmışlardır. Sayısal bağlantılardan elde edilen gerilme yoğunluk faktörü sonlu eleman yöntemi sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Ouinas ve Achour (2013), eliptik delikli ve deliksiz kompozit levhaların burkulma analizlerini sonlu elemanlar metodunu kullanarak araştırmışlardır. Fiber takviye açısı, anizotropi derecesi, çentik konumu ve boyutu göz önünde tutularak tabakaların tek ekseninde basma karşısında burkulmaya karşı direnci incelenmiştir. Turan ve diğerleri (2009), dairesel delikli kompozit levhaların hasar davranışlarını deneysel ve sayısal yöntemlerle araştırmışlardır. Karbon fiber takviyeli epoksimatriks reçineli $[0^\circ/\theta^\circ]_2$ kompozit levhaların hasar davranışları incelenmiştir. Fiber takviye açısı değişimi, simetrik ve anti-simetrik dizilim için hasar yükleri tespit edilmiştir.

Bu çalışmada çentikli kompozit levhaların hasar davranışları deneysel olarak araştırılmıştır. Fiber takviye açısının hasar yükü üzerine etkilerinin araştırmak için 0° , 15° , 30° ve 45° fiber takviye açısına sahip kompozit levhalar kullanılmıştır. Geometrik özellikleri göz önüne alınarak dört farklı çentik tipi araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda çentik tiplerinin fiber takviye açılarına göre değişiminin hasar yükleri üzerinde etkileyici olduğu gözlemlenmiştir.

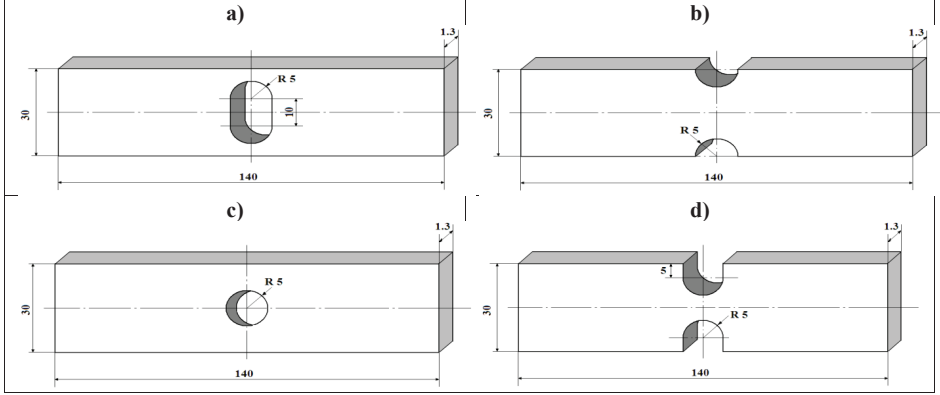
Problemin Tanımı

Bu çalışmada Şekil 1'de geometrik özellikleri sunulmuş olan örgülü cam elyaf takviyeli epoksi matriks reçineli ve 8 tabakalı kompozit levhalar kullanılmıştır. Kompozit levhalar İzoreel Firmasından temin edilerek gerekli Şekil 1'de görülen

Çentikli kompozitlevhaların hasar davranışlarının incelenmesi

boyut ve özelliklerde işlenmiştir. El yatırma ve sıcak presleme tekniği ile imal edilmiş olan kompozit levhalar farklı fiber takviye açılına sahip olacak şekilde üretilmiş ve boyutlandırılmıştır. Çentik türlerinin farklılığını belirtmek amacı ile

Şekil 1’de görülen levhalar Tip 1, Tip 2, Tip 3 ve Tip 4 olarak adlandırılmıştır. Fiber takviye açısı değişiminin analizi için $[0^{\circ}]_8$, $[15^{\circ}]_8$, $[30^{\circ}]_8$ ve $[45^{\circ}]_8$ olan kompozit levhalar kullanılmıştır.



Şekil 1. a) Tip1, b) Tip2, c) Tip3 ve d) Tip4 çentikli kompozitlevhaların geometrik gösterimi(Çelik, 2015).

DeneySEL Çalışma

DeneySEL çalışmada her parametre için 3 adet numune üretilerek kullanılmıştır. Bütün numuneler uç kısımlarından çenelere sabitlenerek Şekil 2’deki 100 KN’luk İnstron BS 8800 çekmecihazıyla oda sıcaklığında çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme test hızı 1 mm/dk uygulanmıştır. Test cihazının üstteki çenesi sabit ve alttaki çenesi hareketlidir. Numuneler bağlanırken eksenlemeye dikkat edilmiş ve çene basınçları eşit uygulanmıştır. Numuneler test edilirken hasar yükleri ve yer değiştirmeler bilgisayara otomatik olarak kaydedilmiş ve bu veriler istenilen grafiklerde kullanılmıştır.

Levha üzerine açılan çentiklerin etkilerinin daha iyi anlamak için öncelikle çentiksiz levhaların hasar davranışları incelenmiştir.

Şekil 3.’te çentiksiz levhaların deneySEL çalışma sonuçları görülmektedir. Şekil 3 incelendiğinde hasaryükü-uzama

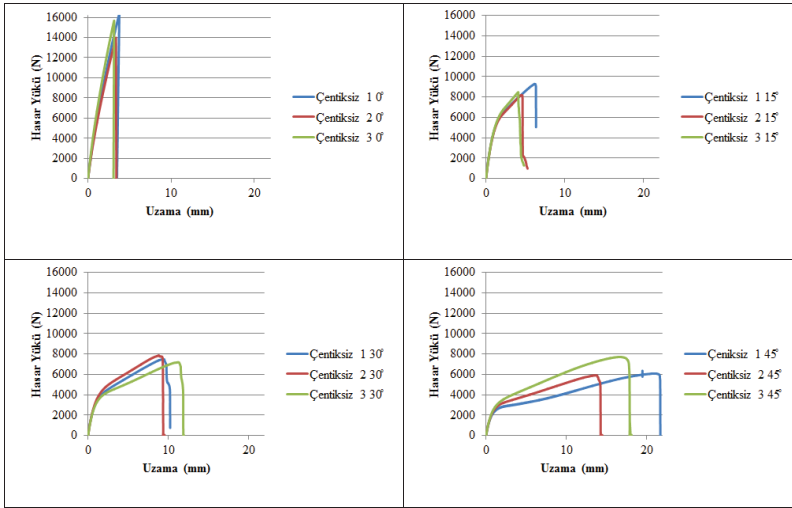


Şekil 2. Çekme test cihazına bağlanmış çentikli kompozitlevha(Çelik, 2015).

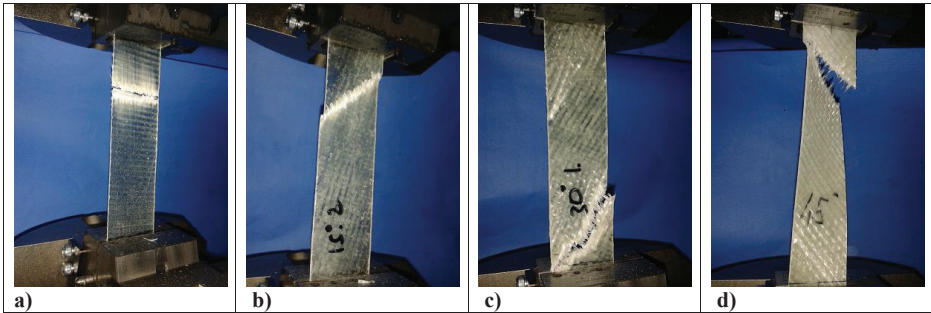
grafiklerinin $[0^{\circ}]_8$ levha hariç olmak üzere iki lineer bölgeden oluştuğu görülmektedir. Fiber takviye açısının artmasına bağlı olarak hasar yüklerinin düştüğü, buna karşılık uzamanın arttığı görülmektedir. Lineer bölgeler ile uzama oranları arasında bir ilişki olduğu da grafiklerden görülebilir. $[0^{\circ}]_8$ kompozit levhalarda 1. lineer bölgenin sonunda ani kırılma gerçekleşir ve 2. lineer bölge görülmez. Yapılan üç deneyin ortalaması

alınarak son hasar yükü değerleri hesaplanmıştır. En büyük hasar yükü $[0^0]_8$ kompozit levhalar için 15348.05 N olarak ölçülürken en düşük hasar yükü $[45^0]_8$ kompozit levhalar için 6356.76 N olarak ölçülmüştür. $[0^0]_8$ kompozit levhalar için uzama 0 ile 5 mm arasında gerçekleşirken, $[45^0]_8$ kompozit levhalar için uzama 15 ile 25 mm arasında gerçekleşmiştir. Bu durum kompozit malzemenin yüksek mukavemetli

bileşeni olan fiberin yük taşıma oranının artması ile malzemenin gevrekleştiği ve mukavemet artışına bağlı olarak uzama oranının düşmesi şeklinde ifade edilebilir. Şekil 4'te çentiksiz levhalarda çekme testi sonucunda meydana gelen hasar oluşumları görülmektedir. $[0^0]_8$ levhada hasar fibere dik yönde gerçekleşirken diğer fiber takviye açılarında hasar fiber takviye açısına paralel olarak gerçekleşmiştir.



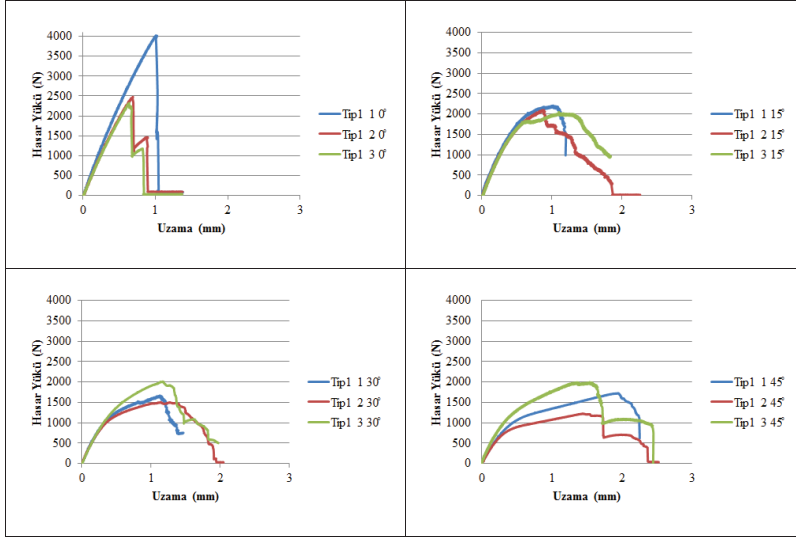
Şekil 3. $[0^0]_8$, $[15^0]_8$, $[30^0]_8$ ve $[45^0]_8$ çentiksiz levhalar için elde edilen yük-yer değiştirme değerleri grafiği (Çelik, 2015).



Şekil 4. a) $[0^0]_8$ b) $[15^0]_8$ c) $[30^0]_8$ d) $[45^0]_8$ çentiksiz levhalarda hasar gerçekleştikten sonraki görünüm (Çelik, 2015).

Şekil 5’de Tip1 çentikli kompozit levha için hasar yükü-uzama grafikleri görülmektedir. Levhaya açılan çentiklerin etkisi ile hasar yükleri ve uzama azalmıştır.

$[0^\circ]_8$ levha olan numunelerde hasar ani bir kırılma ile gerçekleşirken diğer takviye açılarında ise uzama ile birlikte hasar gerçekleşmektedir.

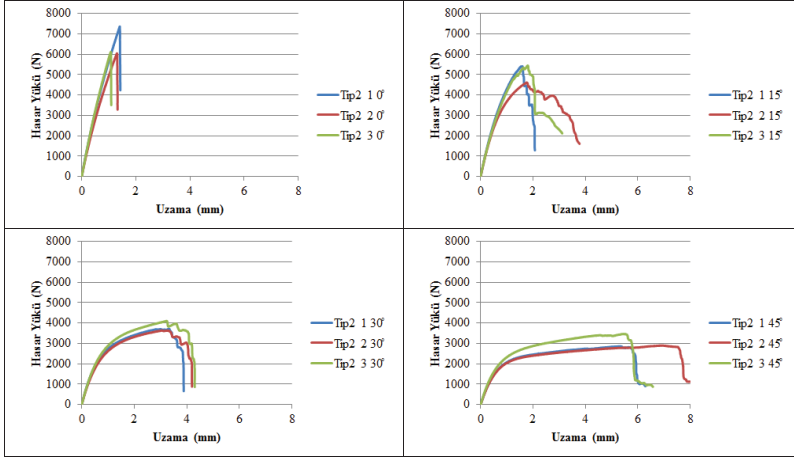


Şekil 5. $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$, $[45^\circ]_8$ fiber takviye açılı, Tip1 çentikli kompozit levha için yük-yer değiştirme değerleri grafikleri (Çelik, 2015).

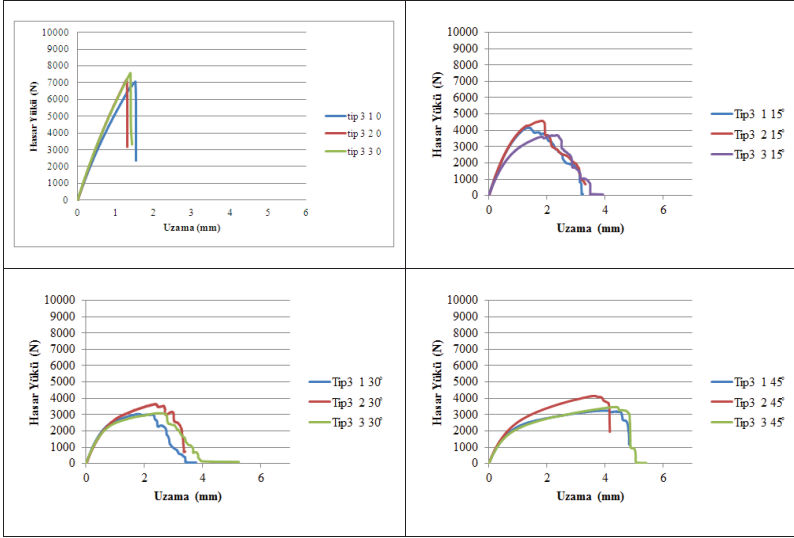
Şekil 6’da Tip2 çentikli kompozit levha için hasar yükü-uzama grafikleri sunulmuştur. Çentiğin türüne bağlı olarak uzama oranları ve hasar yüklerinin Şekil 5’te sunulmuş olan Tip 1 çentik türüne göre arttığı görülmektedir. Bu durum hasar yüklerinin değişimi üzerine fiber takviye açısı kadar çentik türü değişiminin de etkili olduğunu göstermektedir.

türlerine göre hasar yükleri açısından en yüksek hasar yükü bu çentik türü için elde edilirken $[15^\circ]_8$ ve $[30^\circ]_8$ levhalar için aynı durum geçerli değildir. Bu gözlem çentik türü ile fiber takviye açısı arasında da bir bağlantı olduğunu göstermektedir.

Şekil 7’de Tip3 çentikli kompozit levha için hasar yükü-uzama grafikleri görülmektedir. Çentik türüne bağlı olarak $[0^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhalar için diğer çentik



Şekil 6. $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$, $[45^\circ]_8$ fiber takviye açılı, Tip2 çentikli kompozit levha için yük-yer değiştirme değerleri grafikleri (Çelik, 2015).

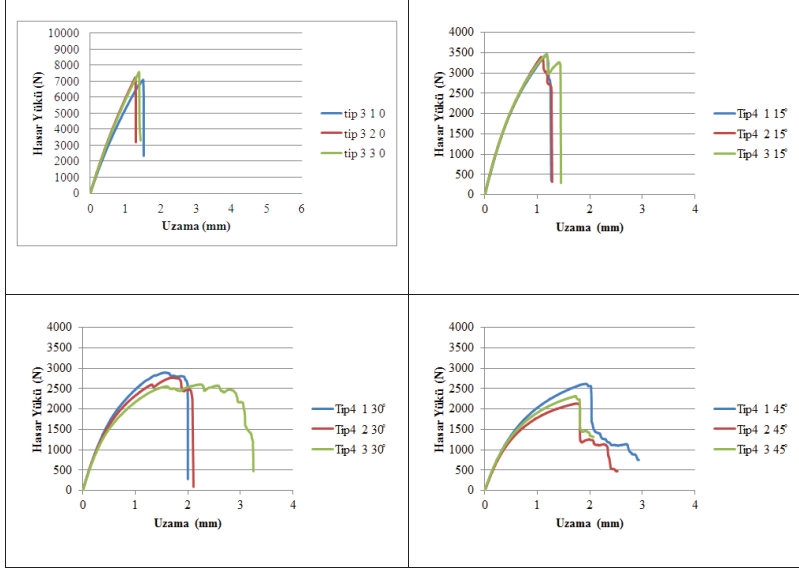


Şekil 7. $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$, $[45^\circ]_8$ fiber takviye açılı, Tip3 çentikli kompozit levha için yük-yer değiştirme değerleri grafikleri (Çelik, 2015).

Şekil 8'de Tip4 çentikli kompozit levha için hasar yükü-uzama grafikleri görülmektedir. Çentik tipleri arasında bir kıyaslama yapıldığı zaman en düşük uzama

bu numuneler için elde edilmiştir. kompozit levhanın çentik nedeni ile azalan uzama oranı ile bağlantılı bir durum gözlemlenmiştir.

Çentikli kompozitlevhaların hasar davranışlarının incelenmesi

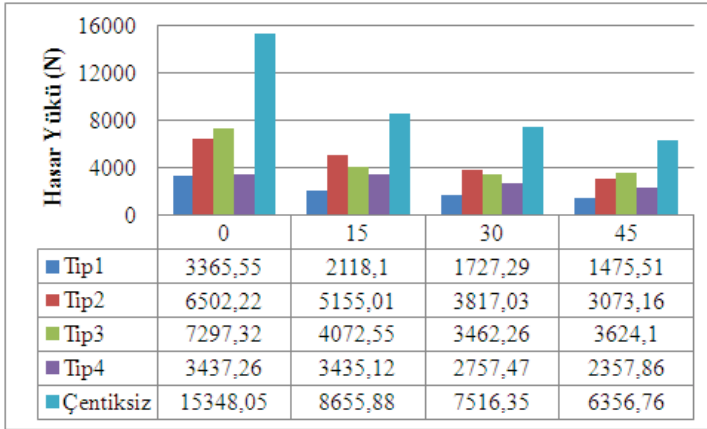


Şekil 8. $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$, $[45^\circ]_8$ fiber takviye açılı, Tip4 çentikli kompozit levha için yük-yer değiştirme değerleri grafikleri (Çelik, 2015).

Sonuç ve Değerlendirmeler

Şekil 9'da çentikli ve çentiksiz kompozit levhaların hasar yüklerinin fiber takviye açısına bağlı değişim grafikleri sunulmuştur. Şekil 9'da yer alan grafikler incelendiğinde genel olarak fiber takviye

açısının artışına bağlı olarak hasar yüklerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 9. $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$, $[45^\circ]_8$ çentiksiz ve çentikli Tip1,2,3,4, levhalar için elde edilen en büyük yük değerlerinin karşılaştırılması grafiği (Çelik, 2015).

En büyük hasar yükü değeri $[0^\circ]_8$ tabaka dizilimine sahip Tip3 çentik türü için 7297.32 N olarak ölçülürken en düşük hasar yükü $[45^\circ]_8$ tabaka dizilimine sahip Tip1 çentik türü için 1475.50 N olarak ölçülmüştür. Tablo 1’de kompozit levhaya açılan çentiklerin hasar yükü üzerine % 40.4 ile % 78 arasında değişen oranda azalmaya neden olduğu görülmektedir. Fiber takviye açısının kendi içerisinde hasar yüklerini azaltmasının yanı sıra çentik tipi değişimi daha etkin bir rol oynamaktadır.

Hasar yüklerindeki azalma oranları göz önüne alındığında Tip1 tüm fiber takviye açılarında en büyük düşüşü sağlamakta ve hasar yüklerindeki azalma %75.5 ile % 78 arasında değişmektedir. Tip4 hasar yükündeki azalma oranları Tip1’den az olmakla birlikte yakın değerdedir. Hasar yükleri üzerinde ortalama % 50 civarında azalmaya neden olan ise Tip3 çentik tipidir.

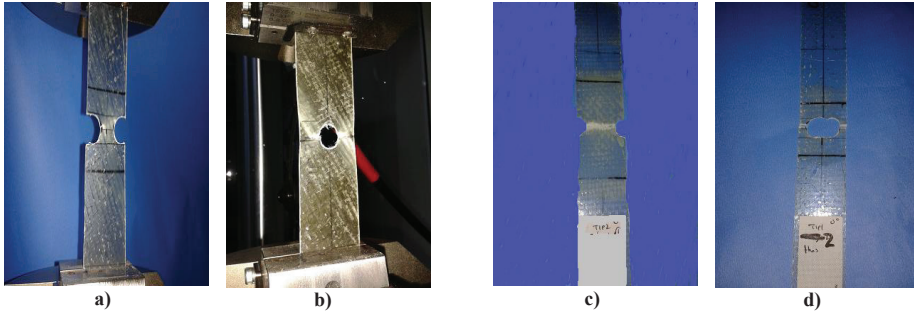
Tablo 1. Çentikli kompozit levhalarda hasar yüklerinde meydana gelen azalma oranları (Çelik, 2015).

Çentik Tipi	Fiber Takviye Açısı $[\theta]$			
	0°	15°	30°	45°
Tip 1	-%78	-%75.5	-%77	-%76.7
Tip 2	-%57.6	-%40.4	-%49.2	-%51.6
Tip 3	-%52.4	-%53	-%53.9	-%42.9
Tip 4	-%77.6	-%60.3	-%63.3	-%62.9

+ Hasar yüklerinde artış oranını göstermektedir.

-Hasar yüklerinin yaklaşım oranını göstermektedir.

Şekil 10.a ve b’de $[30^\circ]_8$ levhalarının hasar yüküne ulaşıldığı andaki şekil değişimi görülmektedir. Fiberlerle aynı doğrultuda bir ayrılma söz konusudur. Şekil 10.c ve d’de $[0^\circ]_8$ levhalarında herhangi bir şekil değişimi olmaksızın kırılmanın gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 10. Açılı ve açısız levhaların değişik tiplerde hasar sonrası görünüşleri (Çelik, 2015).

Tartışmalar

Bu çalışmada;çentik açılmış örgülü cam elyaf takviyeli epoksi matris reçineli kompozit levhaların hasar davranışları araştırılmıştır. Statik çekme deneyleri ile gerçekleştirilen çalışmalarda sırası ile aşağıda yer alan bulgular tartışılmıştır.

- Fiber takviye açısı hasar yüklerinin değişimini belirleyen en önemli parametredir.
- Fiber takviye açısının artışına bağlı olarak hasar yükleri azalmıştır.
- Uzamanın fiber takviye açısının artmasına bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir.
- Fiber takviye açısı arttıkça malzemenin ilk hasarı daha erken gerçekleşmekte ve hemen ardından reçinede pekleşme meydana gelmekte ve uzamanın artmasına sebep olmaktadır.
- Hasar yükleri üzerinde çentik geometrisinin önemli olduğu görülmüştür.
- Uzamanın çentik geometrisine bağlı olarak arttığı yapılan çalışmadan görülmüştür.
- [0_o]₈levhalarda ani kırılmalar gerçekleşmektedir.Düşük bir uzama ile gerçekleşen bu hasar tipikonstrüksiyonlar açısından istenmeyen bir durumdur. Açılı levhalarda ise sünek kırılma gerçekleşmekte ve tam kopma öncesi uzamada artış görülmektedir.

Bilgilendirme

Bu yayın Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırmaları Destekleme Biriminin (DÜBAP) 14-MF-96 nolu projesi ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Bouiadjra, B.B.,Rezgani, L., Ouinas, D., Belhouari, M. ve Ziadi, A., (2007). Numerical analysis of the notch effect and the behaviour of notch crack in adhesively bonded composite laminates, *Computational Materials Science*, **38**, 759–764.
- Çelik, A., (2015). Yama ve yapıştırıcı kullanılarak tamir edilmiş çentikli kompozit levhaların hasar davranışlarının araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Kannan, V.K.,Murali, V., Rajadural, A. ve Rao, N., (2011). Finite element analysis and notched tensile strength evaluation of center-hole 2d carbon / carbonlaminates, *Advanced Composite Materials*, **20**, 289–300.
- Khashaba, U.A.,Selmy, A.I. veSonbaty I.A.E., (2007). Megahed, M.,Behavior of notch edandun notched [0/±30/±60/90]_s gfr / epoxy composite sunder staticand fatigue loads, *Composite Structures*, **81**, 606–613.
- Mallick, P., (1993). Fiber Reinforced composites, Department of Mechanical Engineering University of Michigan-Deaborn, Michigan.
- Ouinas D.,Achour, B., (2013). Buckling analysis of laminated compositeplates [(h/h)] containing an elliptical notch, *Composites: Part B*, **55**, 575–579.
- Tomita, Y. ve Tempaku, M., (1997). Effect of fiber strength on tensile fracture of unidirectional long carbon fiber-reinforced epoxy matrix composites, *Materials Characterization*, **38**,91-96.
- Turan, K.,Kaman, M. O. ve Gür M., (2009). Dairesel delikli tabakalı kompozit levhalarda deneysel ve sayısal hasar analizi, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, 13-15 Mayıs, Karabük, Türkiye, 126.

Investigation of failure behaviors of notched composite plates

Extended abstract

In this study, the failure behavior of notched composite plate has been investigated experimentally by static tensile test. Eight-layered woven glass fiber reinforced epoxy resin matrix composite plates have been used. Notch opened on the middle and by the side of plates and their effects on the tensile strength of the fiber reinforcement plate angle changing has been examined. Effects of the fiber reinforcement angle has been investigated for the plate with layer $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$, and $[45^\circ]_8$. Radial hole in the middle plate (Type 1), semicircular notch on the plate edge (Type 2), a circular hole in the plate center (Type 3) and U notch on the plate edge (Type 4) has been examined for 4 different notch types. Reducing of the failure loads has been observed for all notch types depending upon the fiber reinforcement angle reducing. In addition, that notch type changing is quite effective on failure loads have been seen from the experimental results.

3 samples has been produced in the laboratory and they has been used for each parameter. All samples has been fixed to the jaws of 100 kN Instron 8800 tensile machine and tests has been carrying out under the room temperature conditions. Tensile test speed has been applied as 1 mm / min. While testing, failure loads and elongations have been recorded to the computer automatically and this data has been used in the desired graphics. Failure loads has been reducing depending on the reducing of fiber reinforcement angle, whereas the elongation rate has been increasing significantly. Elongation rate has been decreasing because of effect notch. $[0^\circ]_8$ plates has been breaking suddenly without significant elongation but failure has been incurring with elongation for the other angels. Alongation to the other supplements has been realized with a sudden breakage occurs with prolonged failure.

The maximum failure load value were measured as 7297.32 N for $[0^\circ]_8$ Type3 notch type. The minimum failure load was measured as 1475.50 N for $[45^\circ]_8$ Type1 notch. Notches

on the composite plates led to a decline as varying from 78% to 40.4 % rates. If we make a generalization; Type1 in terms of all fiber reinforcement angels provides the largest decline according to the reduction of failure to the loads and the decrease in load failure is seen to range between 75.5% and 78%. Type4 failure reduction rate is close to the value of Type1, but less than Type 1. Type3 has 50% average reduction on failure loads. Type1 and type4 have the maximum reducing rate. the change of the fiber reinforcement angle is the most important parameter to determine the failure loads.

General results from this study; Failure loads have been decreasing due to the fiber reinforcement angle increasing. It has been observed that elongation increased due to the fiber reinforcement angle increasing. The first failure of the material has been occurring earlier due to fiber reinforcement angle increasing and after resin hardens immediately, failure progressing time has been increasing. That changes of notch types are important on the failure loads has been seen. Elongation has increased depending on the notch geometry. Sudden breakages carry out at $[0^\circ]_8$ plates, these type breakages are unwanted conditions in terms of types in the structures because of sudden. Ductile fracture has been carrying out in the angled plate and there has been an significant increasing in the elongation before complete breakage. Type1 equals to Type4; Type2 equals to Type3 about geometric dimensions. Different notches locations cause to different failure load values. Failure load of a circular hole in plate center (Type 3) is bigger than plate edge semicircular notch (Type 2). This result is already expected because of central notch performance. U notch on the plate edge (Type 4) is bigger than semicircular notch on the plate edge (Type 2).

Keywords: Laminated composite, failure analysis, notch effect.