



Kompozit yama ile tamir edilmiş eliptik delikli alüminyum plakalarda eğilme davranışının sayısal incelenmesi

Yasemen KARAMAN

Batman Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Batman

yasem_yk@msn.com ORCID: 0000-0002-2244-4505, Tel: (488) 2173553

Hamit ADİN*

Batman Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Batman

hamit.adin@batman.edu.tr ORCID: 0000-0003-2455-967X, Tel: (488) 2173553

Geliş: 26.01.2018, Kabul Tarihi: 31.05.2018

Öz

Uzay, havacılık ve otomotiv sanayinde malzemede hasar oluştuğu zaman eğer hasar küçük çaplı ise tüm malzemeyi değiştirmek yerine maliyet, işçilik, zaman vb. sebeplerden dolayı hasarın tamiratına başvurulur. Oluşan bu hasarları tamir edebilmek veya yavaşlatabilmek için çeşitli tamirat yöntemleri bulunmaktadır. Malzemede oluşan hasarlı bölgeye yapacağımız tamirat yöntemlerinden biri de fiber takviyeli kompozit malzeme kullanılarak çift taraflı bindirme bağlantıları oluşturmaktır. Bu çalışmada yapıştırma bağlantısı ile yama işleminin hasarlı bölgeyi onarması amaçlanmıştır. Bu amaçla, merkezine farklı boyutlarda eliptik delikler açılan alüminyum levhaların yamasız ve farklı boyutlarda çift taraflı bindirme bağlantılarının eğme yükü altındaki davranışları sayısal olarak hesaplanmıştır. Yama malzemesi olarak cam elyaf takviyeli kompozit malzeme kullanılmıştır. Yapıştırma işleminin yapılacağı malzeme ve yapıştırıcı malzeme olarak sırası ile AA-5083 ve DP460 kullanılmıştır. Yamalı ve yamasız numuneler eğme yüküne maruz bırakılarak kritik hatlardaki gerilme dağılımlarını belirlemek hedeflenmiştir. Gerilme dağılımlarını hesaplamak için Sonlu Elemanlar Metodu kullanılmıştır. Sonlu Elemanlar Metodu ANSYS (v.14.5) programı ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerde, farklı yama boyutları ve farklı elips büyük yarıçapları kullanılmış olup elips küçük yarıçapı sabit tutularak değişkenlerin eğme davranışına etkisi incelenmiştir. Normal gerilmeler ve kayma gerilmeleri incelenerek grafiklerle gösterilmiştir. Yamalı ve yamasız numuneler karşılaştırıldığında yamalı numunelerin daha fazla gerilme taşıdığı görülmüştür. Yama uzunluğu arttıkça yapışma yüzeyi arttığı için numunelerin mukavemeti artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapıştırıcılar; Yapıştırıcı Bağlantılar; Gerilme Dağılımları; Kompozit Malzemeler; Sonlu Elemanlar Yöntemi;

*Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Günümüz endüstrisinde bazı malzeme ve parçalar hasara uğradığında yenilemek yerine zaman, maliyet vb. sebeplerden dolayı tamirine başvurulur. Tamiratın minimum zamanda ve minimum maliyette gerçekleşmesi hedeflenir ve tamirat yöntemi seçilirken avantaj ve dezavantajları dikkate alınmalıdır. Birleştirme, çatlak ve yırtık tamirleri göz önüne alındığında malzeme cinsine, ağırlığına ve kalınlığına göre yapıştırma, kaynak veya perçin bağlantıları kullanılabilir. Kimi zaman ise hasara uğramış malzemeleri tamir etmek imkânsızdır. O zaman sadece hasarı yavaşlatmak için yapıştırma bağlantıları kullanılarak yamalamaya ihtiyaç duyulur (Karaman, 2017).

Yapıştırıcı, ASTM tarafından yüzey teması ile malzemeleri bir arada tutabilen malzeme olarak tanımlanmıştır (ATSDR, 1999). Yapıştırıcı ile birleştirme; son yıllarda birçok uygulamada perçin, kaynak ve mekanik bağlama gibi alışılmış metotlara daha çok tercih edilen bir birleştirme tekniğidir (Solmaz ve Turgut, 2011). Uçak ve ahşap yapılarda yapıştırılmış elemanların dayanımı ve gerilme değişimleri yıllardır araştırılmaktadır (Shields, 1975). Yapıştırıcı kullanılarak oluşturulan bağlantıların analizinin yapıldığı çalışmalarda temel amaç bağlantılar tarafından taşınan yükün şiddetinin tespit edilmesidir. Bu bağlantılar, dayanıklı yapısal yapıştırıcıların son zamanlardaki gelişmelerine bağlı olarak bağlantıların mukavemetindeki tatmin edici iyileşme ile sanayinin birçok alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapıştırıcı kullanılarak oluşturulan birleştirmelerde mekanik birleştirmelere göre; yüklerin daha üniform dağılması, tasarımın daha esnek yapılabilmesi, imalat kolaylığı, hafiflik, sızdırmazlık, yalıtımın daha iyi olması, korozyon direnci, darbe sönümlenme ve yüksek yorulma dayanımları gibi özellikler daha üstündür (Beylergil, 2010). Birçok araştırmacı yapıştırma bağlantıları üzerinde yoğunlaşmış olup bu konuda teorik ve deneysel çalışmalar çok fazladır. Bu konudaki bazı çalışmalar şunlardır (Adams vd., 1974; Allman vd., 1977; Her, 1999; Turan ve Kaman,

2010; Turan ve Pekbey, 2015; Çitil vd., 2015; Turan ve Kaman, 2016) vb. çalışmalarda tek ve çift tesirli yapışma bağlantılarının analitik, sayısal ve deneysel yöntemlerle analizleri yapılmıştır. Yapıştırıcı tipleri ve geometrik boyutların etkileri araştırılmıştır.

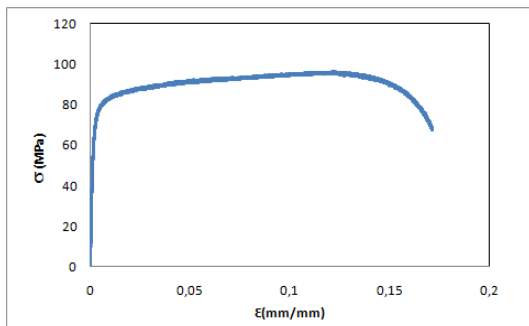
Kompozit malzemelerle yapıştırma bağlantıları oluşturularak tamirat işleminin yapılması için sonlu elemanlar modelleri çeşitli sayısal teknikler geliştirilerek karşılaştırmalı olarak kullanılmıştır (Odi ve Friend, 2002). Hasarlı ve onarılmış kompozit plakaların eğilme analizleri için bir sonlu elemanlar yaklaşımı sunulmuştur. Hasarlı-hasarsız ve onarılmış plakalarda analizler yapılmış ve kullanılan değişik modelleme tekniklerinin avantaj ve dezavantajları tartışılmıştır (Bair ve arkadaşları, 1991). Onarılmış tek ve çift tesirli kompozit plakalardaki gerilme dağılımı ile ilgili sayısal bir araştırma yapılmıştır. Numune geometrisi, tabaka dizilişi ve yama kalınlıklarının onarım performansını etkileyen en önemli parametreler olduğu gösterilmiştir (Campilho vd., 2005). Cıvata ile tamir edilmiş kompozitler sonlu elemanlar yaklaşımı kullanılarak analiz edilmiştir (Her ve Shie, 1998). Kompozit yama ile tamir edilmiş plakaların mekanik analizi yapılarak çatlak bulunan bir plakanın onarımında sınır eleman formülü geliştirilmiştir (Widagdo ve Aliabadi, 2001). Sonlu elemanlar metoduyla eliptik delikli tabakalı kompozit levhaların gerilme analizi yapılmıştır. Maksimum gerilmelerin plakanın üst ve alt yüzeylerinde eliptik delik etrafında meydana geldiği gösterilmiştir (Örçen vd., 2009). Savaş helikopterlerinin hasara uğramış kuyruk şaftlarını onarmak için kompozit yama kullanılarak tamirat işleminin başarılı olduğu deneysel ve sayısal olarak gösterilmiştir (Li vd., 2012). Kompozit yamalar kullanılarak metalik panellerin çatlaklarını tamir etmek için yapıştırma bağlantıları oluşturulmuş ve çatlakların büyümelerini tahmin etmek için iki boyutlu sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır (Mall ve Conley, 2009). Çatlak hasarı olan alüminyum plakaları kompozit yama ile birleştirilerek çatlak büyümesi araştırılmıştır. Sayısal ve deneysel sonuçlardan yamalı

numunelerde hasarın daha geç ve daha büyük yüklerde gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Seo ve Lee, 2002).

Bu çalışmada alüminyum levhalar üzerinde eliptik delikler açılmış, yapıştırıcı yardımıyla bu eliptik delikler kompozit malzemeden üretilen yamalar ile tamiratı yapılmıştır. Bu şekilde üretilmiş çift taraflı bindirme bağlantılarının eğilme davranışı sonlu elemanlar metodu ile incelenmiştir.

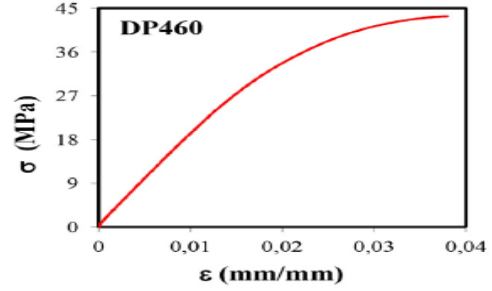
Materyal ve Yöntem

Yapılan çalışmada eliptik delikli alüminyum plaka kompozit yama ile yapıştırılarak tamir edilmiş ve eğilme davranışı sayısal olarak incelenmiştir. 140 mm uzunluğa, 40 mm genişliğe, 3 mm kalınlığa sahip yamasız numune ve 24 mm, 32 mm yamalarla tamir edilmiş numuneler kullanılmıştır. Elips deliklerinin içerisine yapıştırıcı konulmamıştır. Elips büyük yarıçapına (R) üç farklı değer verilmiştir. Numunelerin ana malzemesi olarak AA-5083 alüminyum alaşımı, yapıştırıcı malzeme olarak DP-460 ve yama malzemesi olarak cam fiber takviyeli epoksi kompozit malzeme kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri Tablo 1’de, alüminyum alaşımı ve yapıştırıcı malzemenin gerilme şekil değiştirme grafikleri ise Şekil 1 ve Şekil 2’de verilmiştir. İncelemeler, sonlu eleman analizlerinde kullanılan ANSYS 14.5 programı ile yapılmıştır. Sayısal analizlerde Tablo 1’deki malzeme özellikleri kullanılarak; nokta, çizgi, alan, hacim ve hassas mesh (ağ) yapısı oluşturulmuştur.



Şekil 1. AA-5083 Alüminyum alaşımı çekme diyagramı (Ergün, 2014)

Üç boyutlu(3D) modellemelerde üç serbestlik dereceli ve sekiz düğüm noktalı SOLID 185 eleman kullanılmıştır. Yapıştırma işleminin yapıldığı bölge daha küçük elemanlara bölünmüştür.



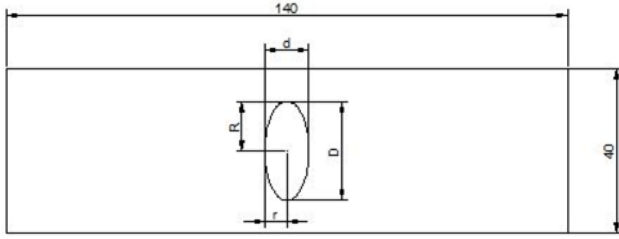
Şekil 2. DP-460 Çekme diyagramı (Akpınar, 2012)

Tablo 1. Malzeme özellikleri (Ergün, 2014)

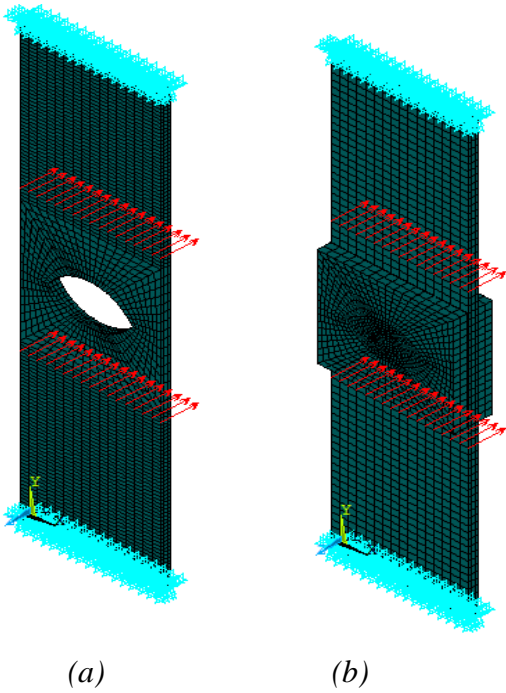
AA-5083 Mekanik Özellikleri		
Özellik	Değer	Birim
Elastisite Modülü (E)	71	(GPa)
Kayma Modülü (G)	26,4	(GPa)
Poisson Oranı (ν)	0,33	
Akma Dayanımı	0,078232	(GPa)
Çekme Dayanımı	0,095687	(GPa)
DP-460 Mekanik Özellikleri		
Özellik	Değer	Birim
Elastisite Modülü (E)	2,0771	(GPa)
Poisson Oranı (ν)	0,38	
Çekme Dayanımı	0,044616	(GPa)
Yama Malzemesi		
Özellik	Değer	Birim
Elastisite Modülü (E_x)	44	(GPa)
Elastisite Modülü (E_y)	20	(GPa)
Elastisite Modülü (E_z)	20	(GPa)
Kayma Modülü (G_{xy})	4	(GPa)
Kayma Modülü (G_{xz})	4	(GPa)
Kayma Modülü (G_{yz})	3	(GPa)
Poisson Oranı (ν_{xy})	0,32	
Poisson Oranı (ν_{xz})	0,32	
Poisson Oranı (ν_{yz})	0,41	

Şekil 3’te yamasız alüminyum alaşımının, şekil 5’te ise yamalı numunelerin ve yama boyutlarının şematik gösterimi verilmiştir. Modellemede büyük yarıçap (D) ve küçük yarıçap (d) olmak üzere; (D-d) 21mm-11mm, 24mm-11mm, 27mm-11mm boyutlarında elips delikler açılmış, (WxH) olmak üzere

40mmx24mm, 40mmx32mm boyutlarında kompozit yamalar kullanılmıştır. Modele eğme yükleri mesnet noktalarına L/6 uzaklıkta ve yamasız numuneler için 18 N/mm, yamalı numuneler için 28 N/mm olarak uygulanmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan numune boyutları Tablo 2’de, Ansys ile oluşturulan modelin mesh yapısı ve sınır şartları ise Şekil 4’te verilmiştir. Grafiklerde $R=D\sqrt{2}$ ve $r=d/2$ ‘dir.



Şekil 3. AA-5083 alüminyum alaşımı boyutları



(a)

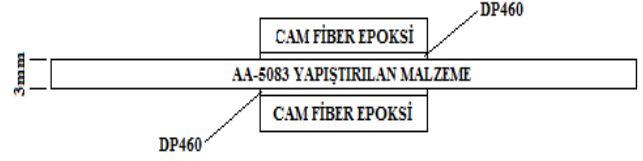
(b)

Şekil 4. Eğme yükü ve sınır şartları uygulanmış model (a. yamasız, b. yamalı)

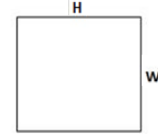
Eşdeğer gerilmeler (σ_{eqv}) aşağıda verilen von-Mises kriterine göre hesaplanmıştır.

$$2\sigma_0^2 = (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_2)^2 \quad (1)$$

Burada σ_0 malzemenin içinde oluşan diğer tüm



(a)

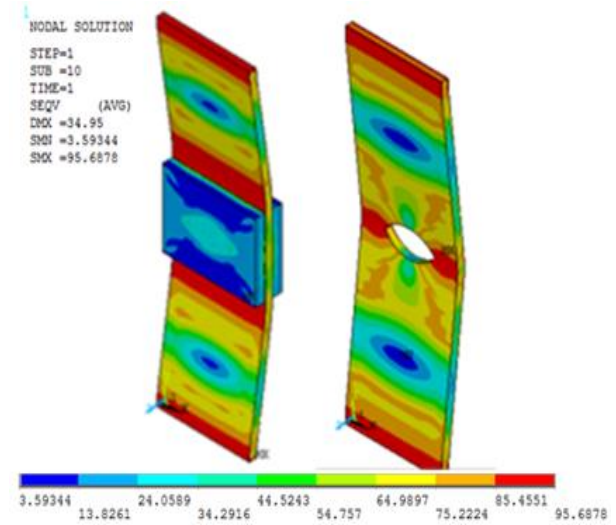


(b)

Şekil 5. Yamalı numunelerin (a) ve yama boyutlarının (b) şematik gösterimi

gerilmelerin yerine kullanılan eşdeğer (von-Mises) gerilmedir.

Eğme yükü altında elips büyük yarıçapı $R=10.5$ mm, küçük yarıçapı $r=5.5$ mm ve yama uzunluğu 32 mm olan yamalı numune ile aynı yarıçaplara sahip yamasız numunelere ait von-Mises dağılımları şekil 6’da verilmiştir.



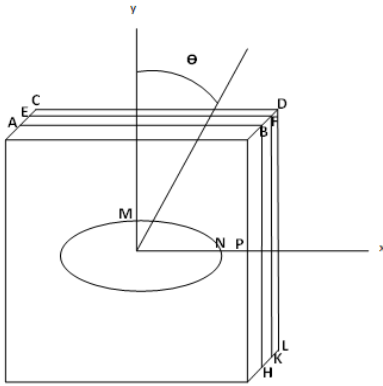
Şekil 6. Yamalı ve yamasız numunelerin yükleme sonrası deforme olmuş hali

Tablo 2. Sayısal analiz numune boyutları

SAYISAL ANALİZ NUMUNE BOYUTLARI					
Alüminyum AA-5083			Cam-EpoksiKompozit		
Levha Boyutu	Eliptik Delik Boyutları		Yama Boyutları		
	D	d	H	W	Kalınlık
40x140x3	21	11	24	40	3
			32		
	24	11	24		
			32		
	27	11	24		
			32		

Uygulama ve Başarımlar

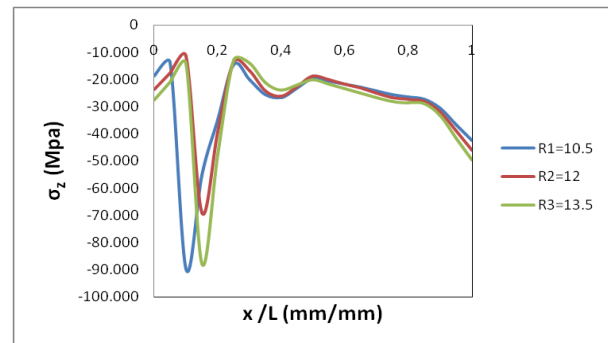
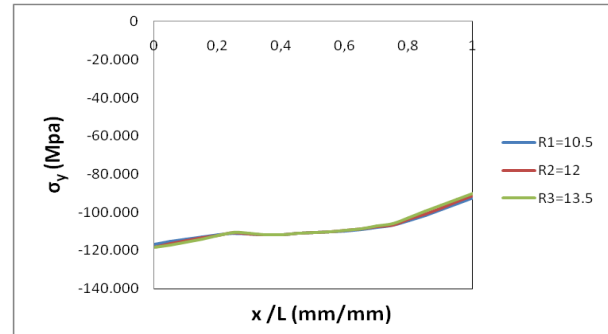
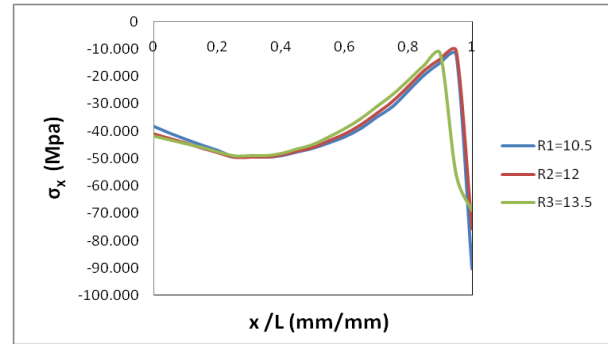
Gerilme dağılımlarını tespit etmek için numunenin yapıştırma bölgesinde Şekil 7’de verilmiş olan yörüngeler tanımlanmıştır. Burada AB ve BH kompozit yama ile yapıştırıcı malzeme arasındaki yörüngeyi, EF ve FK yapıştırıcı malzeme ortasındaki yörüngeyi, CD ve DL yapıştırıcı malzeme ile alüminyum alaşımı arasındaki yörüngeyi MN ve NP ise kompozit yama üzerindeki yörüngeyi ifade etmektedir.

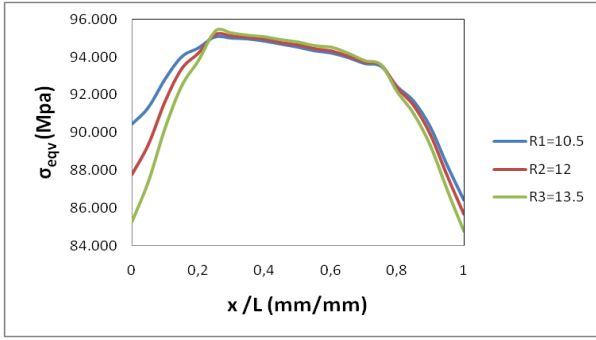


Şekil 7. Sayısal analizde incelenen yörüngeler

Yamasız, elips küçük yarıçapı $r=5.5$ mm ve farklı elips büyük yarıçap (R) değerlerindeki numunelerin NP yörüngesinde meydana gelen von-Mises ve normal gerilme dağılımları Şekil 8’de verilmiştir. σ_x gerilmeleri maksimum gerilme değerine P noktasında ve $R_1=10.5$ mm büyük yarıçap değerine sahip olan numunede ulaşmıştır. R değeri arttıkça gerilme değerlerinde azalma görülmektedir. σ_y gerilmeleri negatif bölgede N noktasında maksimum gerilme değerine ulaşmış olup N noktasından uzaklaştıkça azalarak P noktasında

minimum gerilme değerini almıştır. R değeri arttıkça σ_y gerilmelerinin maksimum değeri artma, minimum değerleri azalma göstermiştir. σ_z gerilmeleri de maksimum gerilme değerlerine 0-0,2 br arasında ulaşmış ve R değişimine göre gerilme değerleri değişiklik göstermiştir. Uç noktalarda R arttıkça σ_z gerilmeleri de artış göstermiştir. Eşdeğer gerilmeler ise en yüksek gerilme değerine 0,2-0,4 br arasında ulaşmış ve R değeri arttıkça eşdeğer gerilmelerin maksimum değerleri azalmış minimum değerleri artmıştır.



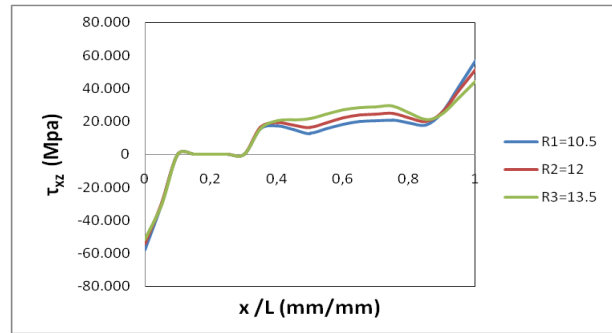
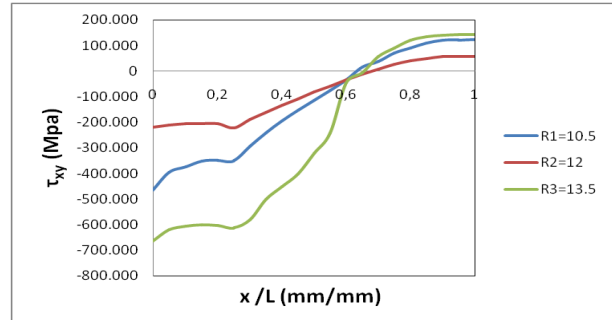


Şekil 8. Yamasız, elips küçük yarıçapı $r = 5.5$ mm ve farklı R değerlerinde NP yörüngesindeki von-Mises ve normal gerilme dağılımları

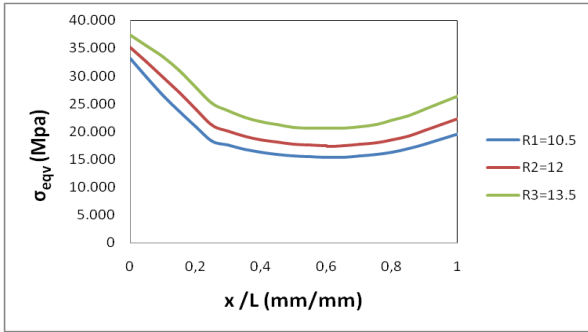
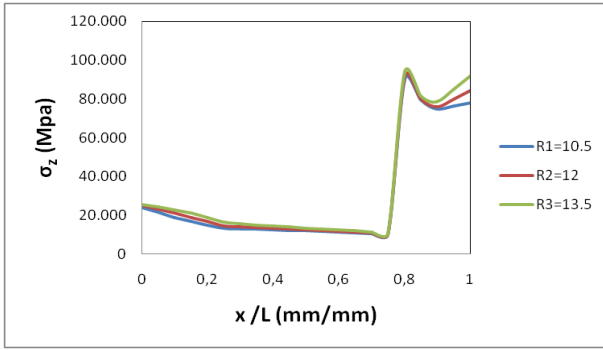
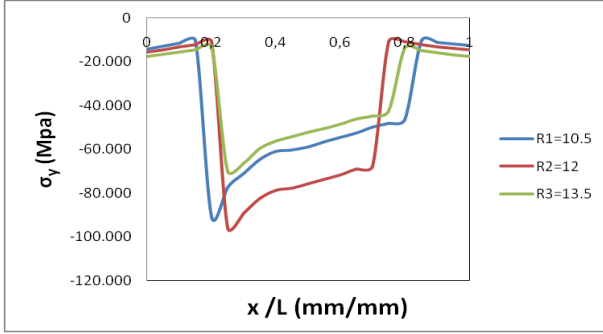
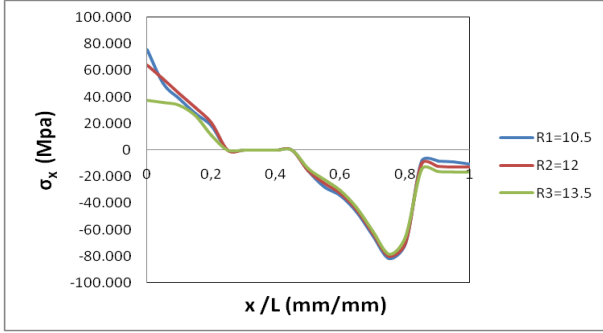
Yamasız, elips küçük yarıçapı $r=5.5$ mm ve farklı R değerleri numunelerin NP yörüngesindeki kayma gerilme dağılımları Şekil 9'da verilmiştir. τ_{xy} gerilmeleri N noktasında en yüksek değeri göstermiş olup R değeri arttıkça gerilme değerleri de artmıştır. Bunun sebebi de çentik ucunun N noktası olması sonucu gerilme yığılmaları bu noktada meydana gelir. τ_{xz} gerilme dağılımları incelendiğinde maksimum gerilmeler N noktasında $R_1=10.5$ mm olan numunede görülmüş ve P noktasında da maksimum gerilmelere yakınsamıştır.

Çift tarafı yamalı, $r=5.5$ mm elips delikli $W \times H=40\text{mm} \times 28\text{mm}$ boyutlu ve farklı R değerli numunelerin NP yörüngesindeki von-Mises ve normal gerilme dağılımları Şekil 10'da verilmiştir. Maksimum σ_x gerilmeleri 0,6-0,8 br arasında, en yüksek gerilme değeri ise $R_1=10.5$ mm olan numunede gerçekleşmiştir. R değeri arttıkça uç noktada gerilme değerleri azalmıştır. σ_y gerilmeleri $R_2=12$ mm olan numunede ve 0,2-0,4 br arasında maksimum gerilme değerine ulaşmıştır. R değişiminin σ_z gerilmeleri üzerinde pek fazla etkisi olmadığı ve P noktasına yaklaşık 0,2 br uzaklıkta en yüksek gerilme değerlerine ulaştığı görülmüştür. Eşdeğer gerilmeler N noktasında maksimum değerde iken P noktasına kadar azalma göstermiştir. Eşdeğer gerilme dağılımlarında $R_3=13.5$ mm olan numunede en yüksek σ_{eqv} gerilmeleri görülmüş olup R değeri arttıkça gerilmelerin arttığı tespit edilmiştir. Yamasız, $r=5.5$ mm elips yarıçaplı ve farklı R değerli numunelerin BH yörüngesindeki von-Mises ve

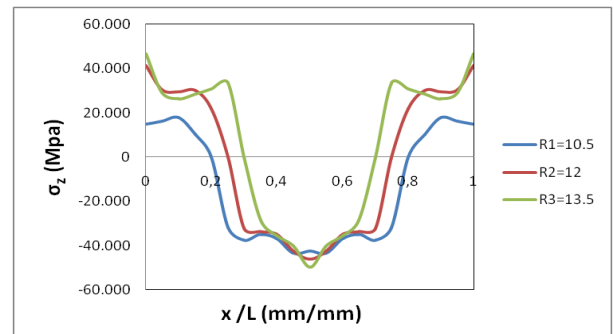
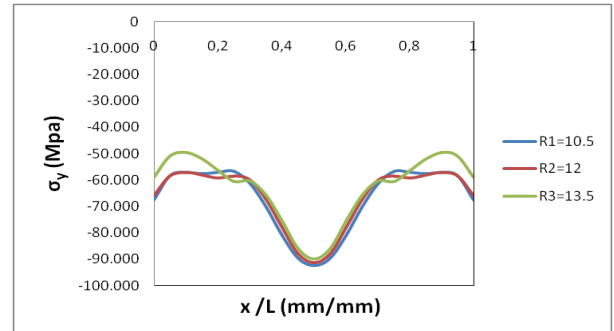
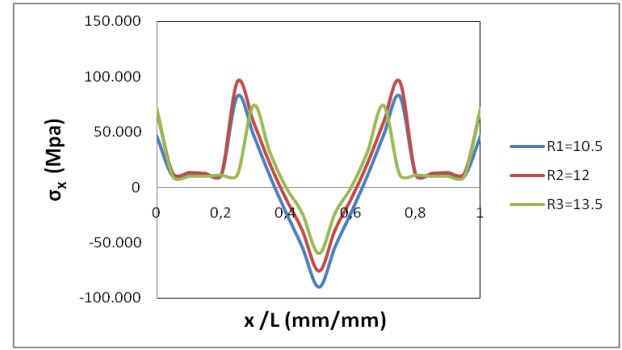
normal gerilme dağılımları Şekil 11'de verilmiştir. $R_1=10.5$ mm olan numunenin orta noktasında σ_x gerilmeleri en yüksek değere ulaşmıştır. R_2 ve R_3 yarıçaplı numunelerde ise uç noktalardan yaklaşık 0,3 br uzaklıkta ulaşmıştır. Maksimum σ_y değeri orta noktada ve $R_1=10.5$ mm yarıçaplı numunede görülmüştür. R değeri arttıkça σ_y gerilmeleri azalmıştır. Orta noktada σ_z gerilmeleri maksimum değere ulaşmış ve R değeri azaldıkça σ_z değerleri de azalmıştır.



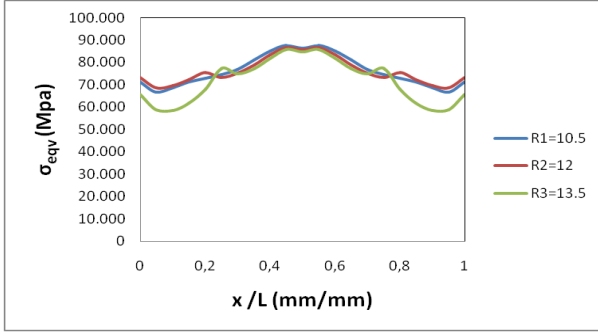
Şekil 9. Yamasız, elips küçük yarıçapı $r = 5.5$ mm ve farklı elips R değerli numunelerin NP yörüngesindeki kayma gerilme dağılımları



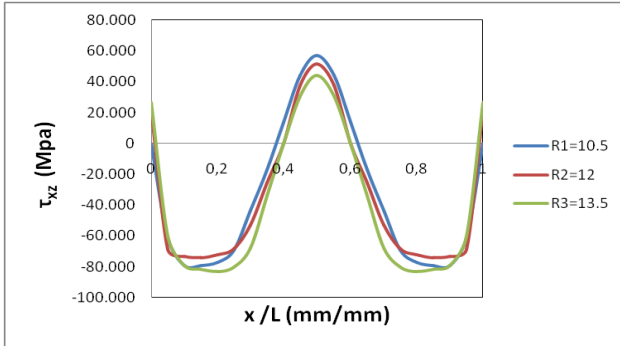
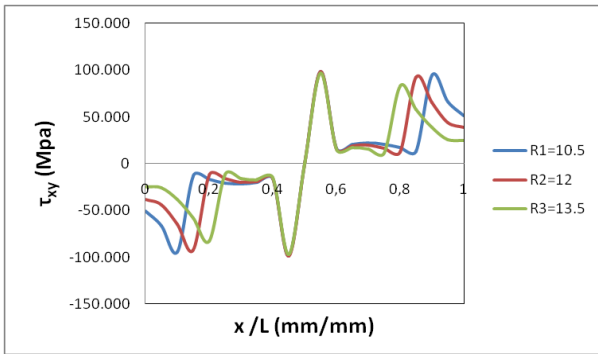
Eşdeğer gerilmelerin en düşük değeri uç noktalardan yaklaşık 0,1 br uzaklıkta, en yüksek değeri ise orta noktadan yaklaşık 0,1 br uzaklıkta gerçekleşmiştir. R değeri arttıkça maksimum eşdeğer gerilme değerlerinde azalma görülmüştür. Yamasız, elips küçük yarıçapı $r=5.5$ mm ve farklı R değerlerindeki numunelerin BH yörüngesinde meydana gelen kayma gerilme dağılımları şekil 12'de verilmiştir. τ_{xy} gerilmeleri B ve H noktalarında R değeri arttıkça gerilme değerlerinde azalma görülmüştür. R değişiminin maksimum gerilmeler üzerinde etkisi görülmemektedir. τ_{xz} gerilmeleri ise en yüksek gerilme değerine 0-0,4 br arasında ulaşmış olup R değişimine göre gerilmeler değişim göstermiştir. B ve H noktalarında da R değeri arttıkça gerilmeler artmıştır.



Şekil 10. Çift taraflı yamalı, elips delikli $r=5.5$ mm $W \times H=40 \times 28$ mm boyutlarında ve farklı R değerlerindeki numunelerin NP yörüngesindeki von-Mises ve normal gerilme dağılımları



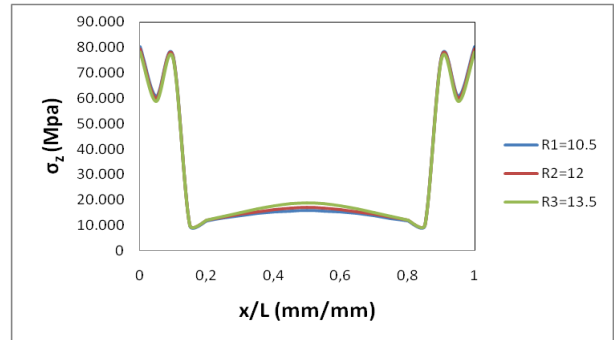
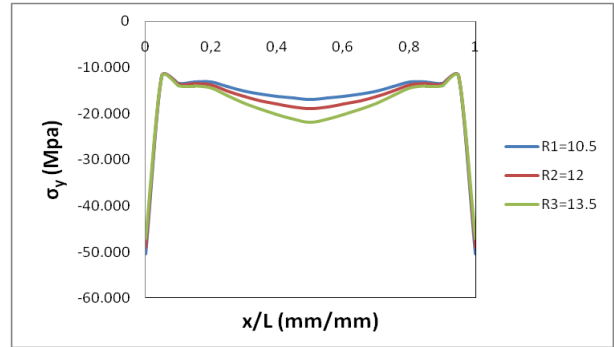
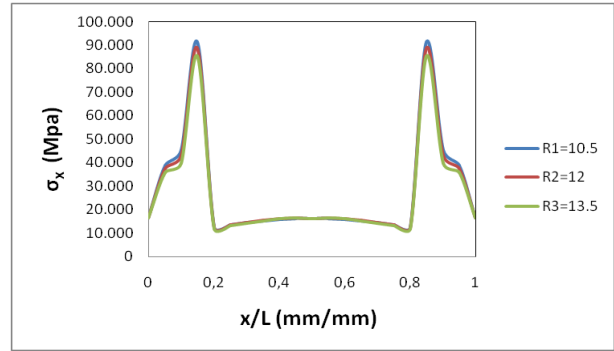
Şekil 11. Yamasız, elips küçük yarıçapı $r = 5.5$ mm ve farklı R değerlerindeki numunelerin BH yörüngesinde meydana gelen von-Mises ve normal gerilme dağılımları

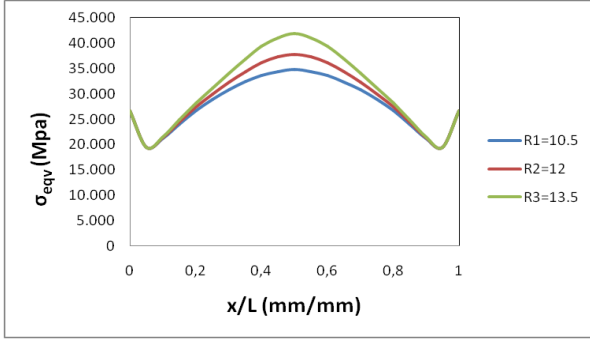


Şekil 12. Yamasız, elips küçük yarıçapı $r = 5.5$ mm ve farklı R değerlerindeki numunelerin BH yörüngesinde meydana gelen kayma gerilme dağılımları

Çift tarafı yamalı, elips delikli $r=5.5$ mm $W \times H=40\text{mm} \times 24\text{mm}$ boyutlarında ve farklı R değerlerindeki numunelerin BH yörüngesinde meydana gelen von-Mises ve normal gerilme dağılımları Şekil 13'te verilmiştir. σ_x gerilmeleri B noktasında minimum değere yakın bir değerdeyken 0,2 br uzaklaşınca maksimum değere ulaşmış ve R değeri arttıkça maksimum

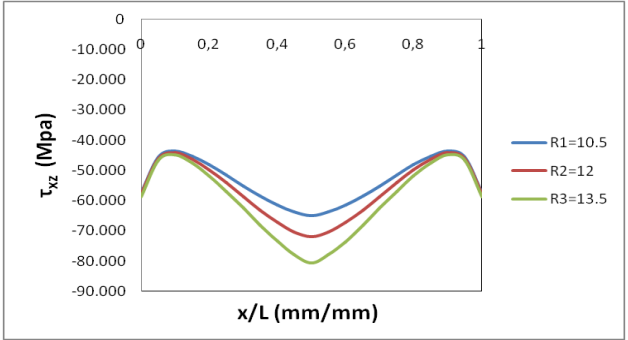
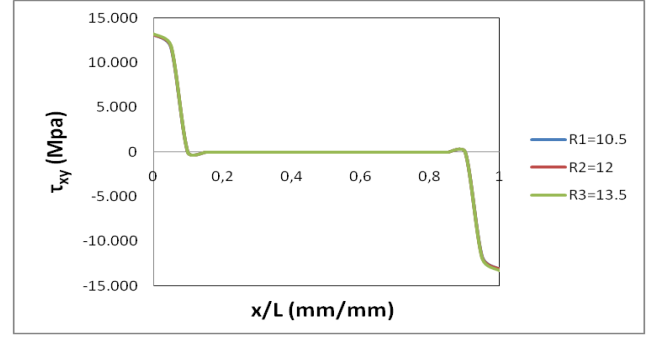
gerilme değerleri azalmıştır. Orta noktalarda gerilmeler minimum değerlere ulaşırken H noktasına yaklaştıkça tekrar maksimum değer alıp ani düşüşle minimuma yaklaşmaktadır. σ_y gerilmeleri B ve H noktalarında maksimum değere ulaşmış olup R değeri arttıkça maksimum gerilmeler azalmıştır. Kenarlardan 0,1 br uzaklaşınca σ_y gerilmeleri minimum gerilme değerini almaktadır. σ_z gerilmeleri ise yama kenarlarında gerilmeler maksimum değere ulaşmıştır. Eşdeğer gerilmeler orta noktada en yüksek değere ulaşmış olup R değeri arttıkça eşdeğer gerilmeler artmıştır.





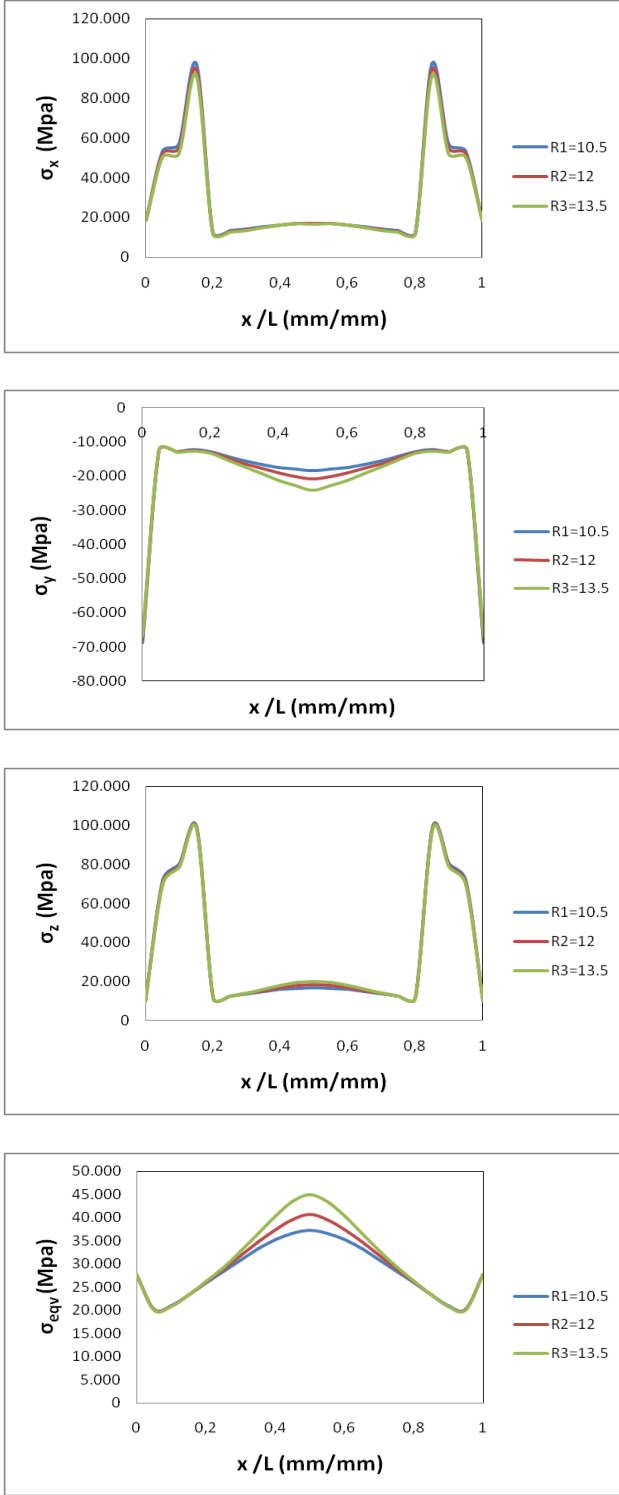
Şekil 13. Çift taraflı yamalı, elips delikli $r=5.5$ mm $W \times H=40 \times 24$ mm boyutlarında ve farklı R değerlerindeki numunelerin BH yörüngesinde meydana gelen von-Mises ve normal gerilme dağılımları

Çift taraflı yamalı, elips delikli $r=5.5$ mm $W \times H=40 \text{ mm} \times 24 \text{ mm}$ boyutlarında ve farklı R değerlerinde BH yörüngesinde meydana gelen kayma gerilme dağılımları Şekil 14'de verilmiştir. σ_{xy} gerilmeleri öncelikle en yüksek gerilme değerleriyle pozitif bölgede başlayıp uç noktadan uzaklaştıkça gerilmeler sıfır civarında olup oldukça düşüktür. H noktasına doğru yaklaştıkça gerilmeler negatif yönde artış göstererek tekrar maksimum gerilme değerine ulaşmıştır. σ_{xz} gerilmesi B ve H noktalarından yaklaşık 0,1 br uzaklaştıkça en düşük gerilme değerlerini almış orta nokta negatif tarafta en yüksek gerilme değerine ulaşmıştır. R değişiminin çok fazla etkisinin olmadığı görülürken σ_{xz} gerilmelerinin R değeri arttıkça maksimum gerilme değerleri de artmıştır.



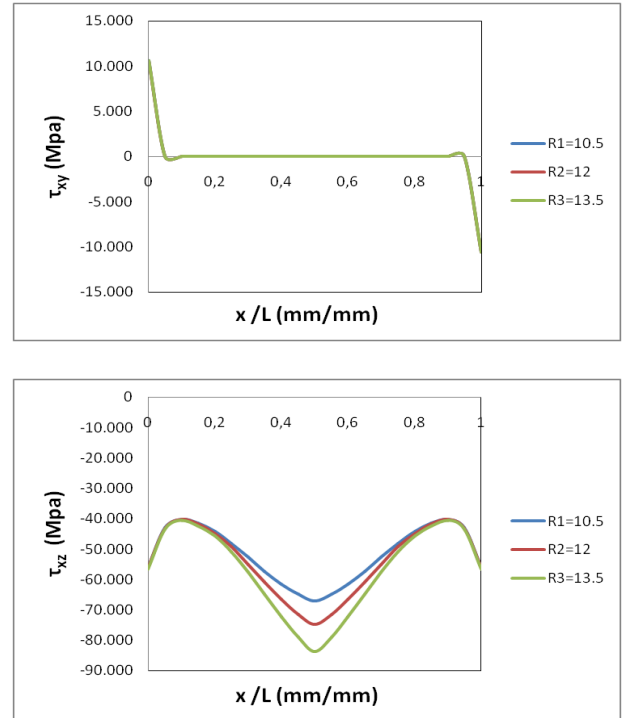
Şekil 14. Çift taraflı yamalı, elips delikli $r=5.5$ mm $W \times H=40 \times 24$ mm boyutlarında ve farklı R değerlerindeki numunelerin BH yörüngesinde meydana gelen kayma gerilme dağılımları

Çift taraflı yamalı, elips delikli $r=5.5$ mm $W \times H=40 \text{ mm} \times 32 \text{ mm}$ boyutlarında ve farklı R değerlerindeki numunelerin BH yörüngesindeki von-Mises ve normal gerilme dağılımları Şekil 15'te verilmiştir. σ_x gerilmeleri yama uçlarından yaklaşık 0,15 br uzaklıkta maksimum değer almış iken en yüksek gerilmeler $R_1=10.5$ mm yarıçaplı numunede görülmüştür. σ_y gerilmeleri yama uçlarında ve negatif bölgede maksimum değer almıştır. R değişiminin σ_y gerilmeleri üzerinde pek fazla etkisi olmamıştır. σ_z , σ_x gerilmeleri maksimum ve minimum gerilme değerleri bakımından benzer gerilme dağılımları göstermişlerdir. Maksimum eşdeğer gerilmeler yamanın orta noktasında görülmüş olup R değeri azaldıkça gerilmeler de azalmıştır.



Şekil 15. Çift taraflı yamalı, elips delikli $r=5.5$ mm $W \times H=40 \times 32$ mm boyutlarında ve farklı R değerlerindeki numunelerin BH yörüngesinde meydana gelen von-Mises ve normal gerilme dağılımları

Çift taraflı yamalı, $r=5.5$ mm elips delikli $W \times H=40 \text{ mm} \times 32 \text{ mm}$ boyutlu ve farklı R değerlerindeki numunelerin BH yörüngesinde meydana gelen kayma gerilme dağılım grafikleri Şekil 16'da verilmiştir. τ_{xy} gerilme dağılımları B noktasında pozitif bölgede maksimum değer almışlar daha sonra ani bir düşme göstermişler ve H noktasına yaklaştıkça negatif bölgede artış göstererek tekrar maksimum değer almışlardır. Büyük yarıçap değişiminin τ_{xy} kayma gerilmeleri üzerinde bir etkisi yoktur. τ_{xz} gerilme dağılım grafiği incelenirse negatif bölgede ve yamanın orta noktasında maksimum gerilme değerlerini almışlardır. En düşük gerilme değeri $R_1=10.5$ mm yarıçap değerine sahip olan numunede görülmüştür, büyük yarıçap değeri arttıkça τ_{xz} gerilme değerleri de artmıştır.



Şekil 16. Çift taraflı yamalı, elips delikli $r=5.5$ mm $W \times H=40 \times 32$ mm boyutlarında ve farklı R değerlerindeki numunelerin BH yörüngesinde meydana gelen kayma gerilme dağılımları

Sonuçlar ve Tartışma

Yapılan çalışmada AA-5083 alüminyum levhalar üzerinde eliptik delikler açılmış ve kompozit malzemeden yapılmış yamalar ile çift taraflı bindirme bağlantıları oluşturulmuştur. Sonlu Elemanlar Metodu yardımıyla yamasız ve yamalı plakalardaki gerilme dağılımları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

1. Eğilme yüküne maruz yamasız numunelerde hasar alüminyum plakadaki elipsin çentik uçlarında oluşmaya başlamıştır. Yamalı numunelerde ise yama dışında yama ile eğilme yükü arasında oluşmaya başlamıştır.
2. Elips küçük yarıçap değeri sabit alınıp büyük yarıçap değeri arttırıldığında elips uçlarında keskinlik artar ve çentik ucunda gerilme yığılmaları meydana geldiği için hasar bu noktadan başlar. Aynı şekilde büyük yarıçap değerini sabit alıp küçük yarıçap değerini arttırdığımızda elips uçlarında keskinlik azaldığı için gerilme değerlerinde artış görülmüştür.
3. Çift taraf yamalı bağlantılarda alüminyum ile yapıştırıcı malzeme arasındaki yörünge, yapıştırıcı malzeme ile kompozit malzeme arasındaki yörünge ve yapıştırıcı malzeme içindeki yörüngeler aynı boyutlar olmasına rağmen farklı gerilme dağılımı göstermişlerdir. Malzemelerin farklı Elastisite modüllerine sahip olması bu farklılığa neden olmuştur.
4. Elips yarıçapları sabit 24 mm, 32 mm uzunluğa ve 40 mm genişliğe sahip yamalı numunelerde yama uzunluğu arttıkça yapıştırılan alan arttığı için bağlantı mukavemeti artmıştır.
5. Yapıştırma ile yama işleminde yapışma alanı arttıkça mukavemet arttığı için yama boyutu büyük tutulmalıdır.

E : Elastisite modülü
 G : Kayma modülü
 ν : Poisson oranı
 D : Elips büyük çapı
 d : Elips küçük çapı
 R : Elips büyük yarıçapı
 r : Elips küçük yarıçapı
 W : Yama genişliği
 H : Yama yüksekliği

σ : Normal gerilme
 τ : Kayma gerilmesi
 σ_{eqv} : Eş değer gerilme
 br : x/L uzunluğunun $1/5$ 'i

Kaynaklar

- Adams, R.D., Peppiatt, N.A., (1974). Stress analysis of adhesive bonded lap joints, *Journal of Strain Analysis*, 9, 185-196.
- Akpınar, S., (2012). Yapıştırıcıyla Birleştirilmiş T-Bağlantılarda Üç Boyutlu Gerilme Analizi. *Doktora Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Allman, D.J., (1977). A theory for the elastic stresses in adhesive bonded lap joints, *Q. J. Mechanical Applied Mathematics*, 30, 415-436
- ANSYS, (2014). Academic Teaching Advanced, v.15.0.5, the general purpose finite element software. Swanson Analysis Systems. Houston. TX.
- ATSDR, (1999). Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Aluminum, Cas # 7429-90-5, Atlanta.
- Bair, D.L., Hudson, P.O., Ghanimati, G.R., (1991). Analysis and repair of damaged composite laminates. International SAMPE Symposium and Exhibition-How Concept Becomes Reality, 36: 2264-2278.
- Beylergil, B., (2010). Yapıştırılarak Bağlantı Sağlanan Kompozit Plakaların Bağlantı Performansının Arttırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Campilho, R.D.S.G., de Moura, M.F.S.F., Domingues, J.J.M.S., (2005). Modelling single and double-lap repairs on composite materials. *Journal of Composites Science and Technology*, 65, 1948-1958.
- Çitil, Ş., Ayaz, Y., Temiz, Ş., (2015). Stress analysis of adhesively bonded double strap joints with or without intermediate part subjected to tensile loading, *Journal of Adhesion*, 93(5), 343-356.
- Ergün, R.K., (2014). Eliptik delikli alüminyum levhaların kompozit yama ile tamir edilmesinin gerilme davranışına etkisinin deneysel ve sayısal araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Her, S.C., (1999). Stress analysis of adhesively bonded lap joints, *Composite Structure*, 47, 673-678.

- Her, S., Shie, D., (1998). The failure analysis of bolted repair on composite laminate. *International Journal of Solids and Structures*, 35(15),1679-1693.
- Karaman, Y., (2017). Kompozit yama ile yapıştırılarak yamanmış eliptik delikli alüminyum plakaların eğme davranışına etkisinin sayısal incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.
- Li, H.C.H., Wangb, J., Baker, A., (2012). Rapid Composite Bonded Repair for Helicopter Tail Drive Shafts. *Composites: Part B*, 43,1579-1585.
- Mall, S., Conley, D.S., (2009). Modeling and Validation of Composite Patch Repair to Cracked Thick and Thin Metallic Panels. *Composites: Part A*, 40,1331-1339.
- Odi, R.A., Friend, C.M., (2002). A comparative study of finite element models for the bonded repair of composite structures. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 21, 311-332.
- Örçen, G., Gür, M., Solmaz, M.Y., (2009). Eliptik Delikli Termoplastik Tabakalı Kompozit Levhalarda Plastik Gerilme Analizi, *Journal Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.* Cilt 24, No 4, 667-674, 2009 Vol 24, No 4, 667-674,
- Seo, D., Lee, J., (2002). Fatigue Crack Growth Behavior of Cracked Aluminum Plates Repaired with Composite Patch. *Composite Structures*, 57: 323-330.
- Shields, J., (1975). Adhesive Bonding, The Desing Council, The British Standards Institution and The Council of Engineering Institutions, Oxford University Press.
- Solmaz, M.Y., Turgut A., (2011). An experimental and numerical study on the effects of taper angles and overlap length on the failure and stress distribution of adhesively-bonded single-lap joints, *Mathematical and Computational Applications*, 16(1), 159-170.
- Turan, K., Kaman, M.O., (2010). Tek tesirli yapıştırma bağlantılarında ilerlemeli hasar analizi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16, 315-323.
- Turan, K., Pekbey, Y., (2015). Progressive failure analysis of reinforced- adhesively single- lap joint, *The Journal of Adhesion*, 91, 962-977.
- Turan, K., Kaman, M.O., (2016). Experimental Failure Analysis of wet-patch-repaired U notched composite plates, *European Journal of Technic*, 6, 152-159.
- Widagdo, D., Aliabadi, M.H., (2001). Boundary element analysis of cracked panels repaired by mechanically fastened composite patches. *Journal of Engineering Analysis with Boundary Elements*, 25, 339-345.

Numerical investigation of effect of bending behavior on aluminum plates with elliptical holes patched by using composite patches

Extended abstract

As in the case of material damages in space, aviation and automotive industry, especially in minor damages, repairing is applied instead of replacing all material due to many reasons such as cost, labour and time. The adhesively bonding methods are widely used for connecting of aluminum plates. This joint type was preferred as it was not have extra weight and it was not effect of vibration. One of the repair methods of damaged parts in the aluminum plates is to make double sided adhesive joints using composite material. Now, aircrafts' structural repair manuals rely on structural bolted repairs as bonded repairs are limited to repair sizes that ensure limit strength capability with the patch departed.

In the literature, stress analysis of single and double aluminum adhesive joints, patch geometry effect on the strength of joint, failure analysis of adhesively joints, reinforcing of adhesive effect on the joint strength were researched. In the studies, the mechanical properties of adhesive, overlap length, adhesive thickness, dimensions of patch and the other geometrical changing were used as parameters.

In this study, it is aimed to repair the damage of the patch process by bonding. For this purpose, the behaviors of double sided lap joints of aluminum plates with elliptical holes under bending loads were calculated as numerically. Composite material reinforced fiberglass was used as patch material. AA-5083 and DP460 materials were used as adherend and adhesive materials, respectively. In order to calculate of stress distributions was by using Finite Element Method. The Finite Element Method was executed with ANSYS (v.14.5) software program. Three dimensional (3D) modeling was done. In modeling, SOLID 185 elements with

three degrees of freedom and eight nodes were used.

In these analyses, the effect of patch dimensions ($W \times H$) and ellipse large radius (R) changes on bending behavior was investigated in constant ellipse small radius (r). In order to see the stress distributions have been defined paths through different line at the patch region. The stress distributions of σ_x , σ_y , σ_z , σ_{eqv} , τ_{xy} , τ_{xz} were shown in graphics. When patched and unpatched samples were compared, it was found out that patched samples could carry more stresses. As the patch length increased, strength of the samples also increased due to the increase in the adhesion surface.

In this way, an approach is developed to lead academic studies which are about the optimization of patch dimensions in the adhesive joints whose patch material, elliptical hole, overlap length and repair procedures are certain.

Keywords: Adhesives, Adhesive joints, Stress distribution, Composite materials, Finite Element Method.