

Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Dalgalı Bağlantı (Wavy-lap) Performanslarının Uç Açısına Bağlı Olarak Araştırılması

Murat Yavuz SOLMAZ, Selahattin YILDIRIM

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fak. Makine Mühendisliği Bölümü, Elazığ
mysolmaz@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 06.12.2017; Kabul/Accepted: 12.02.2018)

Özet

Bu çalışmanın amacı, bindirme bağlantılarında bindirme kenarındaki yapıştırıcı birikintisinin uç açısına bağlı olarak bağlantı mukavemetine etkisini tespit etmektir. Bu amaçla tek tesirli bindirme (Single-lap) ve dalgalı bindirme (Wavy-lap) olmak üzere iki farklı bağlantı tipi göz önüne alınarak 0^0 (açısız), 15^0 , 30^0 , 45^0 ve 60^0 birikintili toplam 10 model oluşturulmuş ve bu bağlantıların ANSYS paket programı kullanılarak lineer elastik gerilme analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler neticesinde bağlantıların bindirme bölgeleri üzerinde oluşan maksimum eşlenik gerilmeleri elde edilmiştir. Eşit kuvvetlere maruz bırakılmaları durumunda bu bağlantı tasarımlarının uç açısında oluşacak gerilme değerleri karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapıştırıcı, Single-Lap Bağlantısı, Wavy-Lap Bağlantısı, Serbest Uç Açısı, ANSYS, Sonlu Elemanlar

An Investigation on the Joint Performance of Wavy-lap Adhesive Joints Depending on the Taper Angles

Abstract

The purpose of this work is to determine the effect of the bond strength on the bond strength of the bond, depending on the end angle of the adhesive deposit on the bond side. For this purpose, a total of 10 models with 0^0 (no angles), 15^0 , 30^0 , 45^0 and 60^0 spots were created considering the two types of connection, single and wavy lap, and using these connections' ANSYS package program, linear elastic stress analyzes were carried out. As a result of the analyzes, the maximum conjugate stresses on the overlapping regions of the links are obtained. In case of being exposed to equal forces, the stress values to be generated at the end points of these connection designs are compared.

Keywords: Adhesive, Single-Lap Joints, Wavy-lap Joints, Taper Angle, ANSYS, Finite Element

1. Giriş

Kompozit malzemeler ve onların üretim yöntemlerinde özellikle son 20 yılda önemli atılımlar gerçekleştirilmiştir. Bu durum hava taşıtlarının birçok parçasında polimer matris kompozitlerin yeni uygulama alanı bulmasına sebep olmuştur [1]. Kompozit malzemelerde meydana gelen bu hızlı gelişim, taşıyıcı yapı elemanların birleştirme yöntemlerinde etkili ve güvenilir ilerlemelerin ortaya çıkmasını, dolayısıyla mekanik birleştirme yöntemlerinden uzaklaşılmasını zorunlu hale getirmiştir [2]. Yapıştırıcıların endüstrideki kullanımı, son zamanlarda hızla artış göstermektedir. Yapıştırıcılar diğer bağlantı türlerinin (cıvata, perçin, kaynak, lehim v.b.) giderek yerini alırken onların tamamlayıcı görevini de sürdürmektedir [3]. Yapıştırıcı birleştirmeli bağlantıların analitik

analizinin ilk girişimleri Volkersen (1938) tarafından yapılmıştır [4]. Volkersen çalışmasında, tek bindirme bağlantısında yapıştırıcı tabakasındaki kayma gerilmesi dağılımını, yapıştırılan iki malzemenin çok direngen olduğunu ve çekme yükü altında deforme olduğunu, yüklemeye dolaylı eğilmediğini kabul ederek analiz etmiştir.

Chan ve Vedhagiri, tamirat için yapıştırıcı, cıvata ve yapıştırıcı ile cıvata bağlantısının her ikisini bir arada kullandıkları bir çalışmalarında başlangıç olarak tabakalardaki yük dağılımını göz önüne aldıkları karbon fiber takviyeli kompozit bir malzemeyi basit şerit olarak birleştirmişlerdir [5]. Fu ve Mallick, kompozit malzemelerde karma bağlantının (yapıştırıcı/cıvata) statik ve yorulma mukavemetini araştırmışlar ve çalışılan malzeme sistemi için karma bağlantının yapıştırıcı

bağlantılara göre daha yüksek statik mukavemete ve daha düşük yorulma ömrüne sahip olduğunu göstermişlerdir [6].

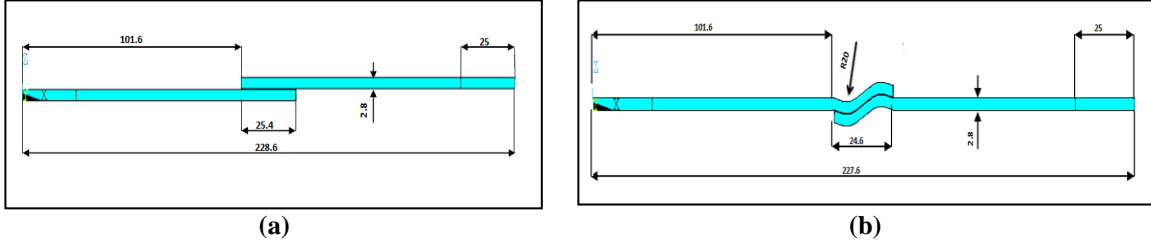
Antonio F.Avila, Plinio de O. Bueno, kompozit malzemede tek tesirli ve dalgalı bindirme bağlantı tiplerini kullanarak gerilme analizi yapılmışlardır.[7].

Bu çalışmada ise, bindirme bağlantılarında bindirme kenarındaki yapıştırıcı birikintisinin uç açısına bağlı olarak bağlantı mukavemetine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla farklı açılarda kenar birikintili modeller oluşturulmuş ve eksenel çekme gerilmesi altında bağlantıların mekanik davranışları sayısal olarak incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan kompozit malzemelerde yapıştırıcı ile birleştirme yöntemlerinden olan birikintisiz (0°) tek tesirli ve dalgalı bindirme bağlantı boyutları sırasıyla Şekil 1’ de verilmiştir. Bu bağlantı tiplerine 15° , 30° , 45° ve 60° açılara sahip kenar birikintileri eklenmiştir.

Çalışmada kullanılan numunelerde; Tek tesirli bindirme 0° (açısız), 15° , 30° , 45° , 60° ve dalgalı bindirme 0° (açısız), 15° , 30° , 45° , 60° olmak üzere 5 farklı açı (θ), 0.192 mm ve 0.1mm olmak üzere iki farklı yapıştırıcı kalınlığı (δ) kullanılmıştır. Eşit kuvvetlere maruz bırakılmaları durumunda bu bağlantı tasarımlarının uç açısında oluşacak gerilme değerleri karşılaştırılmıştır ve aralarından en uygun tasarımlar seçilmiştir.



Şekil 1. Bindirme bağlantılarının geometrik boyutları [7] a) tek tesirli b) dalgalı

Oluşturulan modellerde yapışma alanlarının eşit olması için tek tesirli bindirme bağlantı modeline 24.6 mm ve dalgalı bindirme bağlantı modeline 25.6 mm genişlik verilmiştir. Bu şekilde birikintisiz olarak modellenen her iki modelin yapışma alanı 625.16 mm^2 olarak eşitlenmiştir.

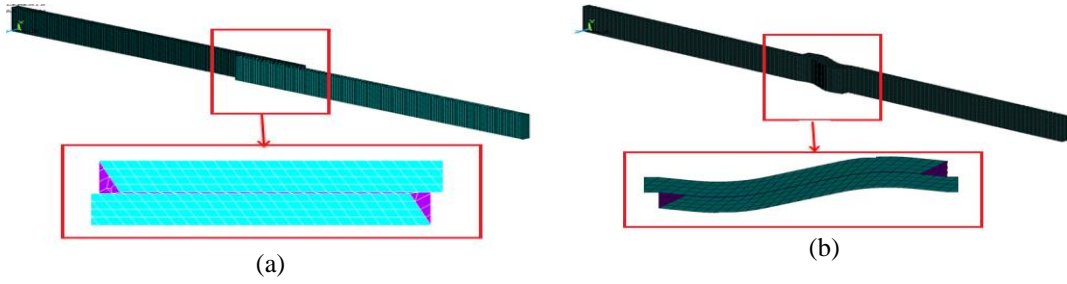
ANSYS programı kullanılarak oluşturulan modellerde yapışan malzemeler (adherent) için SOLID186, yapıştırıcı tabaka için ise SOLID185 eleman tipi seçilmiştir. Çalışmada kullanılan kompozit malzemenin ve yapıştırıcının mekanik özellikleri Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri [7]

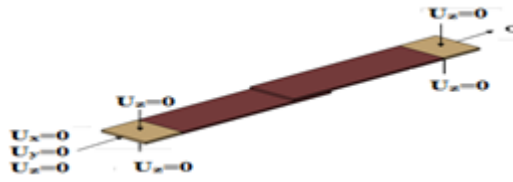
	$E_x=E_y$ (GPa)	E_z (GPa)	G_{xy} (GPa)	$G_{xz}=G_{yz}$ (GPa)	ν_{xy}	$\nu_{yz}=\nu_{zx}$
Adherent	18.31	8.35	3.19	2.42	0.17	0.37
Adhesive	2.20				0.31	

Ansysis’ de oluşturulan tek tesirli ve dalgalı bindirme bağlantı modelinin mesh yapısı Şekil 2’te verilmiştir. Gerilme dağılımları açısından kritik bölge olan yapıştırma işleminin gerçekleştirildiği bölge daha küçük elemanlara bölünmüştür. Ayrıca tüm modellerde mümkün olduğunca eşit boyutlara sahip elemanlar kullanılmıştır.

Çalışmada çekme gerilmesi olarak 10 MPa alınmış ve gerilme sıfırdan başlayarak kademeli olarak arttırılmıştır. Şekil 3’de tüm bağlantı tiplerine uygulanan sınır şartları ve yükleme durumu gösterilmiştir [15].



Şekil 2. Bağlantıların sonlu eleman ağ yapısı a) tek tesirli bindirme b) dalgalı bindirme

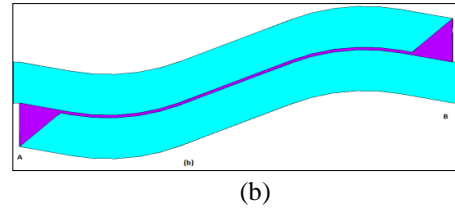
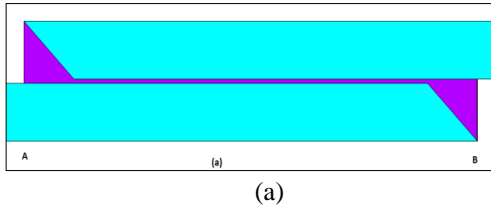


Şekil 3. Sınır şartları ve yükleme

3. Sonuçlar ve Değerlendirme

Bindirme bağlantılarında kritik bölge Şekil 4'te gösterilmiş olan yapıştırıcı-yapıştırılan

malzemenin A, B ile gösterilen uç kısımlarıdır.

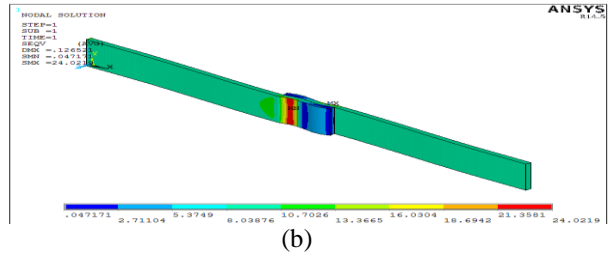
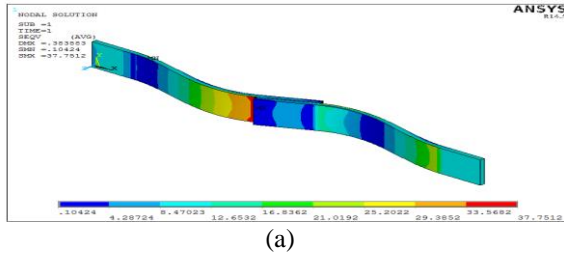


Şekil 4. Farklı kenar birikintili bağlantılar için kritik bölge a) tek tesirli bindirme b) dalgalı bindirme

Farklı bindirme uzunluklarına sahip modellerde oluşan gerilme dağılımlarını karşılaştırabilmek için, gerilme dağılımı hesaplanan noktanın yatay eksen üzerindeki

koordinat değeri (x), kendi bindirme uzunluğuna (a) bölünerek normalize edilmiştir.

Şekil 5'de, 0° kenar birikintili tek tesirli ve dalgalı bindirme bağlantılarının eşlenik gerilme dağılımları gösterilmiştir.



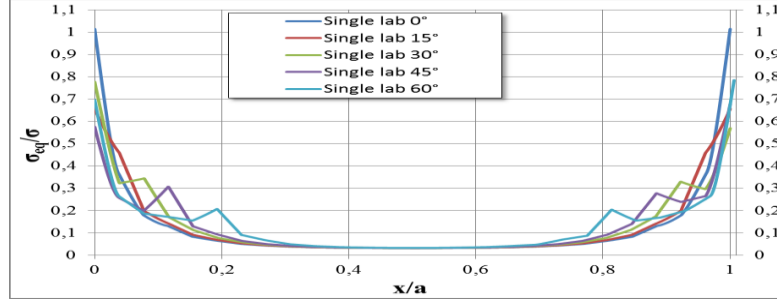
Şekil 5. 0° kenar birikintili bağlantılarda eşlenik gerilme dağılımı a) tek tesirli bindirme b) dalgalı bindirme

Tüm bağlantılar için benzer gerilme dağılımları elde edilmiş ve A-B hattı boyunca elde edilen gerilmelerin dağılımları grafikler halinde sunulmuştur.

Şekil 6'da, 0.1 mm yapıştırıcı kalınlığı kullanılarak birleştirilmiş 5 farklı uç açısına (0°, 15°, 30°, 45° ve 60°) sahip tek tesirli bindirme bağlantılarında A-B hattı boyunca oluşan eşdeğer gerilme dağılımlarını göstermektedir.

Grafikten görüleceği üzere bindirme uçlarında maksimum eşdeğer gerilme oranı, 0° de $\sigma_{eq}/\sigma=1$ değerini yani maksimum değer, 30° de ise $\sigma_{eq}/\sigma=0.5$ ve $\sigma_{eq}/\sigma=0.6$ arası değer yani

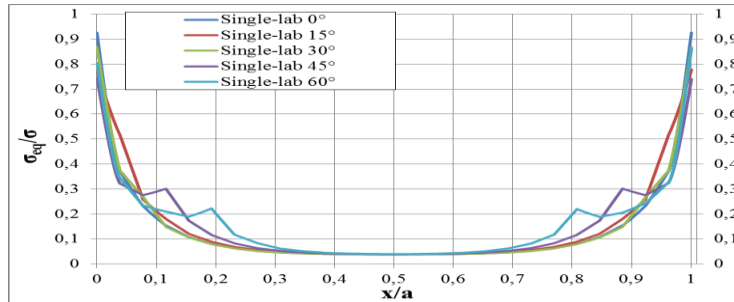
minimum değer almıştır. Bindirme bölgesinin orta kısımlarında ise tam tersi bir durum söz konusu olmuş ve uç açısı 0° de minimum değer, 30° ise maksimum değer almıştır.



Şekil 6. Tek tesirli bindirme bağlantılarında 0.1 mm kalınlığındaki yapıştırıcı tabakada oluşan eşlenik gerilme dağılımları

Şekil 7’de, 0.192 mm yapıştırıcı kalınlığı kullanılarak birleştirilmiş 5 farklı uç açısına (0° , 15° , 30° , 45° ve 60°) sahip tek tesirli bindirme bağlantılarında A-B hattı boyunca oluşan eşdeğer gerilme dağılımlarını göstermektedir. Grafikten görüleceği üzere bindirme uçlarında maksimum eşdeğer gerilme oranı 0° de $\sigma_{eq}/\sigma=1$

değerini yani maksimum değer, 45° de ise $\sigma_{eq}/\sigma=0.7$ ve $\sigma_{eq}/\sigma=0.8$ arası değer yani minimum değer almıştır. Bindirme bölgesinin orta kısımlarında ise tam tersi bir durum söz konusu olmuş ve 0° de minimum değer, 30° ise maksimum değer almıştır.

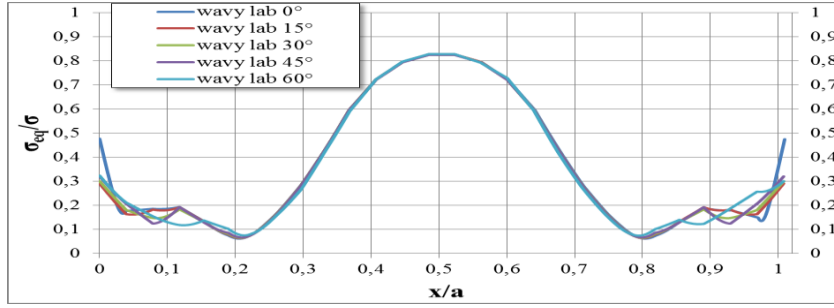


Şekil 7. Tek tesirli bindirme bağlantılarında A-B hattı boyunca 0.192 mm kalınlığındaki yapıştırıcı tabakada oluşan eşlenik gerilme dağılımları

Şekil 8’de 0.1 mm yapıştırıcı kalınlığı kullanılarak birleştirilmiş 5 farklı uç açısına (0° , 15° , 30° , 45° ve 60°) sahip dalgalı bindirme bağlantılarında A-B hattı boyunca oluşan eşdeğer gerilme dağılımlarını göstermektedir. Grafikten görüleceği üzere bindirme bölgesinin orta kısımlarında maksimum eşdeğer gerilme oranı, 45° de $\sigma_{eq}/\sigma=0.8 - 0.9$ arası değerini yani maksimum değer, 0° de ise $\sigma_{eq}/\sigma=0.8$ ve $\sigma_{eq}/\sigma=0.9$ arası değer yani minimum değer almıştır. Bindirme bölgesinin uç kısımlarında, 0° de $\sigma_{eq}/\sigma=0.5$ değerine yakın bir değer yani maksimum değer aldığı, minimum değerini ise

15° de $\sigma_{eq}/\sigma=0.3$ değerine yakın bir değer aldığı görülmektedir.

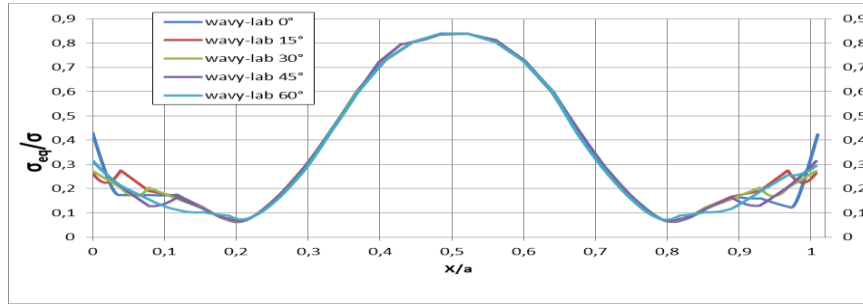
Şekil 9’da, 0.192 mm yapıştırıcı kalınlığı kullanılarak birleştirilmiş 5 farklı uç açısına (0° , 15° , 30° , 45° ve 60°) sahip dalgalı bindirme bağlantılarında A-B hattı boyunca oluşan eşdeğer gerilme dağılımlarını göstermektedir. Grafikten görüleceği üzere bindirme bölgesinin orta kısımlarında maksimum eşlenik gerilme oranı, 45° de $\sigma_{eq}/\sigma=0.8 - 0.9$ arası değerini yani maksimum değer, 0° de ise $\sigma_{eq}/\sigma=0.8$ ve $\sigma_{eq}/\sigma=0.9$ arası değer yani minimum değer almıştır.



Şekil 8. Dalgali bindirmelerde 0.1 mm kalınlığındaki yapıştırıcı tabakada oluşan eşlenik gerilmesi dağılımları

Bindirme bölgesinin uç kısımlarında, 0° de $\sigma_{eq}/\sigma=0.4$ değerine yakın bir değer yani maksimum değer aldığı, minimum değerini ise

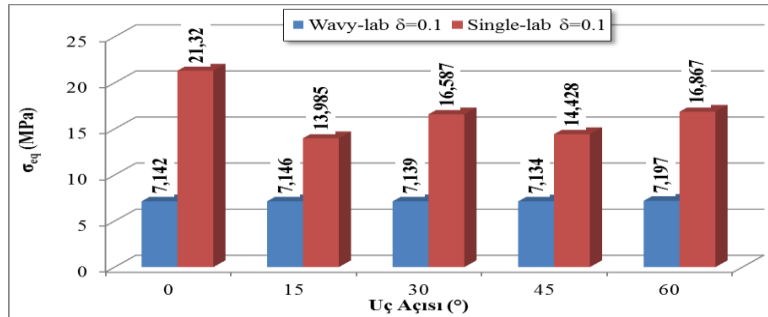
15° de $\sigma_{eq}/\sigma=0.3$ değerine yakın bir değer aldığı görülmektedir.



Şekil 9. Dalgali bindirmelerde 0.192 mm kalınlığındaki yapıştırıcı tabakada oluşan eşlenik gerilme dağılımları

Şekil 10' da, 0.1 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip tek tesirli ve dalgali bindirme bağlantılarının uç açısı değerlerinin değişimine göre yapıştırıcı tabaka üzerinde meydana gelen eşdeğer gerilme değerleri görülmektedir. Tek tesirli bindirme bağlantılarında maksimum eşdeğer gerilme; serbest uç açısı 0° olan numunelerde en yüksek, serbest uç açısı 15° olan numunede ise en düşük değerini almıştır. Dalgali bindirme bağlantılarında ise serbest uç açısı 60° olan numunede en yüksek, serbest uç açısı 30° olan

numunede ise en düşük değerini almıştır. Dalgali ve tek tesirli bindirme bağlantılarının eşdeğer gerilmeleri kıyaslandığında ise dalgali bindirme bağlantılarının maksimum değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Eşit yapıştırıcı kalınlığına sahip dalgali ve tek tesirli bindirme bağlantılarının serbest uç açısı değişiminde meydana gelen maksimum gerilmeler arasındaki farkın en fazla olduğu serbest uç açısı 0° en az olduğu serbest uç açısı ise 15° dir.



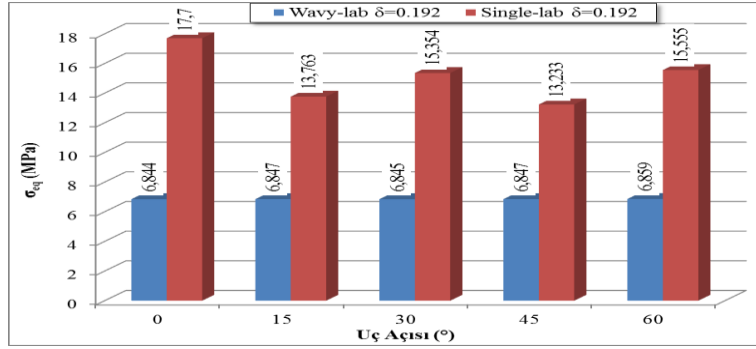
Şekil 10. 0.1 mm kalınlığındaki tek tesirli ve dalgali bindirme bağlantılarında A-B hattı boyunca yapıştırıcı tabakada oluşan maksimum eşlenik gerilmeler

Şekil 11'de ise 0.192 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip Tek tesirli ve dalgali bindirme

bağlantılarının serbest uç açısı değerlerinin değişimine göre eşdeğer gerilme değerleri

görülmektedir. Tek tesirli bindirme bağlantılarında maksimum eşdeğer gerilme değerinin yüksek olduğu serbest uç açısı 0° de, maksimum eşdeğer gerilme değerinin düşük olduğu serbest uç açısı 45° de meydana gelmektedir. Dalgalı bindirme bağlantılarında ise maksimum eşdeğer gerilme değerinin yüksek olduğu serbest uç açısı 60° , maksimum eşdeğer gerilme değerinin düşük olduğu serbest uç açısı ise 0° de olduğu görülmektedir. Dalgalı ve tek

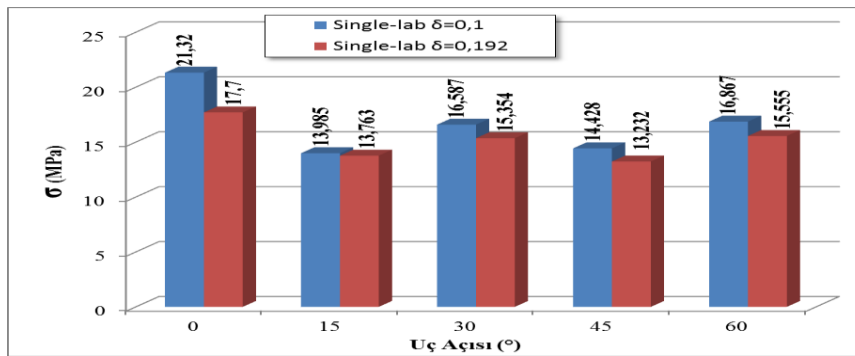
tesirli bindirme bağlantıların eşdeğer gerilmeleri incelendiğinde ise dalgalı bindirme bağlantılarının maksimum değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Eşit yapıştırıcı kalınlığına sahip dalgalı ve tek tesirli bindirme bağlantıların serbest uç açısı değişiminde meydana gelen maksimum gerilmeler arasındaki farkın en fazla olduğu serbest uç açısı 0° en az olduğu serbest uç açısı ise 45° dir.



Şekil 11. 0.192 mm kalınlığındaki tek tesirli ve dalgalı bindirme bağlantılarında A-B hattı boyunca yapıştırıcı tabakada oluşan maksimum eşlenik gerilmeler

Şekil 12’de 0.1 ve 0.192 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip tek tesirli bindirme bağlantılarının serbest uç açısı değişimine göre eşdeğer gerilme değerleri görülmektedir. Tek tesirli bindirme bağlantılarında maksimum eşlenik gerilme, uç açısı 0° ve yapıştırıcı kalınlığı 0.1 mm olan bağlantıda en yüksek, uç açısı 45° ve yapıştırıcı kalınlığı 0.1 mm olan

bağlantıda ise en düşüktür. Farklı yapıştırıcı kalınlığına sahip tek tesirli bindirme bağlantıların maksimum eşlenik gerilmeleri serbest uç açısı değişimine göre kıyaslandığında 0.192 mm kalınlığındaki yapıştırıcı tabakada meydana gelen gerilmelerin daha düşük olduğu görülmektedir.



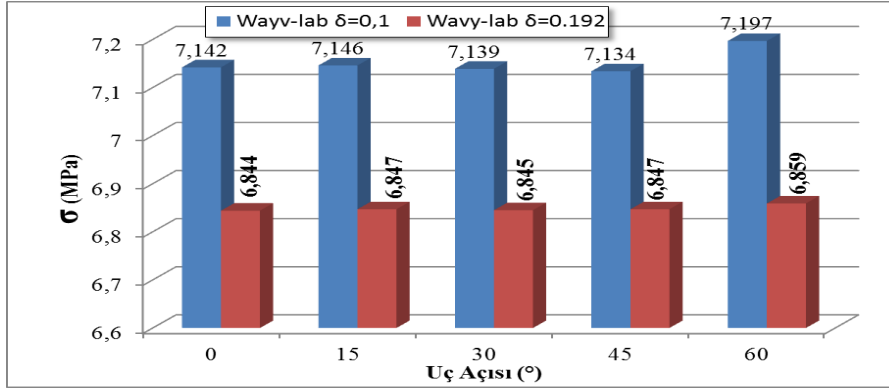
Şekil 12. 0.1 ve 0.192 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip tek tesirli bindirme bağlantılarda A-B hattı boyunca yapıştırıcı tabakada oluşan maksimum eşlenik gerilmeler

Şekil 13’ te yapıştırıcı kalınlığı 0.1 ve 0.192 mm olan dalgalı bindirme bağlantılarının uç açısına bağlı olarak eşdeğer gerilme değerleri görülmektedir. Dalgalı bindirme bağlantılarda serbest uç açısı değişimine göre maksimum

gerilme, uç açısı 60° ve yapıştırıcı kalınlığı 0.1 mm olan bağlantıda yüksek, uç açısı 45° ve yapıştırıcı kalınlığı 0.192 mm olan bağlantıda ise maksimum gerilme düşüktür. Farklı yapıştırıcı kalınlığına sahip dalgalı bindirme bağlantıların

maksimum eşlenik gerilmeleri serbest uç açısı değişimine göre kıyaslandığında 0.192 mm

kalınlığındaki yapıştırıcıda meydana gelen gerilmelerin daha düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 13. 0.1 ve 0.192 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip dalgalı bindirme bağlantılarda A-B hattı boyunca yapıştırıcı tabakada oluşan maksimum eşlenik gerilmeler

4. Genel Sonuçlar

Bu çalışmada; eşit bindirme mesafelerinde farklı uç açısı, iki farklı kalınlığa sahip yapıştırıcı ve farklı bindirme bağlantıları kullanılarak hem malzemeler (adherent) için hem de yapıştırıcı (Adhesive) için Ansys 14.5 ile gerilme analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

0.1 mm ve 0.192 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip tek tesirli bindirme bağlantılarında maksimum eşlenik gerilmeler; bindirme uçlarında ($x/a=0$ ve $x/a=1$) yüksek orta kısımlarda ($x/a=0.4$ ve $x/a=0.6$) ise düşük değer almıştır.

0.1 mm ve 0.192 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip dalgalı bindirme bağlantılarda maksimum eşlenik gerilmeler; orta kısımlarda ($x/a=0.4$ ve $x/a=0.6$) yüksek, binici ucuna yakın kısımlarda ($x/a=0,1-0.3$ ve $x/a=0,7-0.9$) düşük değer almıştır.

Dalgalı bindirme bağlantılarının maksimum eşdeğer gerilme değerleri düşük, tek tesirli bindirme bağlantılarının ise maksimum eşdeğer gerilme değerleri yüksektir. Bu nedenle dalgalı bindirme bağlantıları daha avantajlıdır.

Yapıştırıcı kalınlıkları farklı tek tesirli bindirme bağlantılarında maksimum eşdeğer gerilme değeri; 0.192 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip uç açısı 0° olan bağlantılarda yüksek, 0.1 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip uç açısı 45° olan bağlantılarda ise düşüktür.

Dalgalı bindirme bağlantılarda maksimum gerilme, 0.1 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip uç

açısı 60° olan bağlantılarda yüksek, 0.192 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip uç açısı 0° olan bağlantılarda ise düşüktür.

Yapıştırıcı tabakada oluşan maksimum eşdeğer gerilmeleri düşük değerden yüksek değere göre sıralandığında; dalgalı bindirme $\delta = 0.192 <$ dalgalı bindirme $\delta = 0.1 <$ tek tesirli bindirme $\delta = 0.192 <$ tek tesirli bindirme $\delta = 0.1$ sıralaması elde edilmiştir.

Genel olarak;

Dalgalı bindirme bağlantılarının maksimum eşdeğer gerilme değerlerinin düşük olduğu

Bindirme bağlantılarının her ikisi içinde yapıştırıcı kalınlığının artmasının, yapıştırıcı tabakada meydana gelen maksimum eşdeğer gerilme değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir.

Tüm uç açıları göz önüne alındığında dalgalı bindirmelerde meydana gelen değerlerinin tek tesirli bağlantılarda meydana gelen gerilmelerden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç aynı yükleme şartları için dalgalı bindirmenin daha avantajlı olacağı göstermektedir.

5. Kaynaklar

1. Tomblin, J.S., Yang, C. and Harter, P. (2001). Investigation in thick bond line adhesive joint. Final Report, DOT/FAA/AR-01/33, US., Department of Transportation, Washington, DC.
2. Van Rijn, L.P. (1996). Towards the fastenerless composite design. Composites Part A, 27A, 915-920.

3. Çalık, A. (2008). Yapıştırıcılar ve köşeleri yuvarlatılmış basamaklı bindirme yapıştırıcı bağlantılarda gerilme analizi Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
4. Volkersen, O. (1938). Die Nietkraftverteilung in zugbeanspruchten Nietverbindungen mit konstanten Laschenquerschnitten, Luftfahrtforschung, vol 15, 41-47.
5. Chan, W.S. and Vedhagiri, S. (2001). Analysis of composites bolted-bonded joints used in repairing. J. Compos. Mater, 35(12), 1045-1061.
6. Fu Maofeng and Mallick, P.K. (2001). Fatigue of hybrid (adhesive/bolted) joints in SRIM, Int. Journal of Adhesion and Adhesives, 21(2), 145-159.
7. Antonio F.Avila, Plinio de O. Bueno. (2003). Stress analysis on a wavy-lap bonded joint for composites, Department of Mechanical Engineering, Universidade Federal de Minas Gerais, Mechanics of Composites Laboratory, 6627 Antonio Carlos Avenue, Belo Horizonte 31270-901 MG Brazil.