

**ÇİFT TAKVİYELİ YAMALARI GÖMÜLÜ YAPIŞTIRMA
BAĞLANTILARININ EĞİLME ALTINDA ANALİZİ****APPLICATION OF EMBEDDED PATCH IN DOUBLE-STRAP
ADHESIVE JOINT UNDER BENDING****Yaşar AYZAZ^{1*} ve Şemsettin TEMİZ²**¹*İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Böl., Malatya*²*İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Böl., Malatya***Geliş Tarihi:** 21 Aralık 2011 **Kabul Tarihi:** 4 Nisan 2012**ÖZET**

Klasik çift takviyeli yapıştırma bağlantılarında dış yüzeye yapıştırılan yama özellikle hava araçlarında dış yüzeyde hava direncine sebep olmaktadır. Bu direnci ortadan kaldırmak için yamalar yapıştırılan parçanın içine gömülürler. Bu çalışmada çift takviyeli yamaları gömülü yapıştırma bağlantılarının dört nokta eğilme altındaki davranışı ve yapıştırma bağlantılarında parça kalınlığının etkisi sonlu elemanlar yöntemiyle (SEY) incelenmiştir. Üç farklı kalınlıktaki (4.8, 5.6 ve 6.4 mm) AA 2024-T3 alüminyum parça ve 0.4 mm kalınlık ve 15 mm bindirme uzunluğunda yay çeliği yama ile çift taraflı yapıştırılmışlardır. Yapıştırıcı olarak SBT 9244 kullanılmıştır. Parça kalınlığının gerilme dağılımı üzerinde önemli etkisi olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yapıştırıcılar, çift takviyeli bağlantı, sonlu elemanlar analizi, mekanik özellikler, gerilme analizi

ABSTRACT

In classic double-strap adhesive joints, patch parts are bonded to the outer surface. But these parts resist air flow. To prevent form this effect and for constructive and aesthetic requirements, patch parts were embedded into the adherends. In this study, stress analysis and effect of adherend thickness of double-strap joints with embedded patches subjected to four points bending was carried out using the finite element method. In this study, aluminum adherends AA 2024-T3 with three different thicknesses (4.8, 5.6, and 6.4) were bonded as double patches with 0.4 mm spring steel patch thickness and 15 mm overlap length. SBT 9244 adhesive was used. It can be observed from the results that adherends thickness has considerable influence on failure loads and stress distributions.

* Sorumlu yazar: yasar.ayaz@inonu.edu.tr

Keywords: Adhesives, double-strap joints, finite element analysis, mechanical properties, stress analysis.

1. GİRİŞ

Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantılarda, bindirme uçlarında gerilme yığılmaları oluşur. Bu gerilme yığılmalarını azaltmak için bindirme uçlarında pervazlama, pahlama, yapıştırma bölgelerindeki keskin uçların yuvarlatılması gibi geometrik modifikasyonla ve, farklı elastik özelliklere sahip yapıştırıcıların birlikte kullanılması gibi uygulamalar yapılmıştır(Çitil vd., 2011).

Adams ve Harris(1987) yapıştırma bağlantılarında bindirme uçları şeklinin gerilme üzerine etkisini incelemişlerdir. Uçlarda yaptıkları yuvarlama işlemi ile tekillik noktaları ortadan kaldırılarak gerilme değerlerini büyük ölçüde azaltmışlardır. Analitik ve nümerik çalışmalar yuvarlama ve kavis benzeri şekillerin gerilmeyi azaltmada etkili olduklarını göstermektedir(Valle'e et al., 2010).

Adams et al.(1986) ve Hildebrand(1994) dış metal ve kompozit parçaları basamaklamanın gerilmeyi büyük ölçüde azalttığını göstermişlerdir.

Hava taşıtlarının burun konisi, kokpit camları, kanat dış kenarları, dikey ve yatay stabilizatör gibi dış yüzeylerinde kuşlar, dolu, yıldırım ve yerde iken çarpan yükleme araçları gibi dış faktörlerden dolayı değişik boyutlarda hasarlar oluşmaktadır. Otomobil tampon ve kaportalarında diğer araç ve nesnelerin çarpmasından dolayı değişik boyutlarda hasarlar oluşmaktadır. Hasar gören parçaların birçoğu kompozit malzemeden yapıldığından, değiştirmek yerine ekonomik açıdan tamir edilme yoluna gidilmektedir(Marques et al., 2008).

Korozyondan dolayı oluşan hasarlar, tekrarlanan yüklerden kaynaklanan oluşan çatlaklar, kötü şartlardan oluşan bozulmalar yapısal ve mekanik parçaların tamir veya değişimini gerektirir. Arızalı kalma süresinin kısalığı, kolay ve hızlı bulunan malzeme kullanımı, daha az malzeme kullanımı, daha basit araçlar ve prosedüre ihtiyaç duyması tamir etmenin değişime göre avantajlarıdır(Baker at al., 2002).

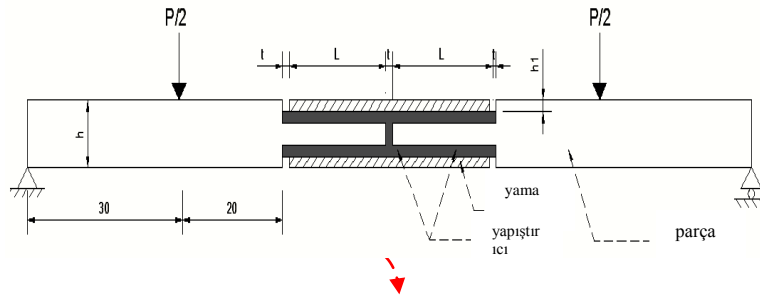
Klasik çift takviyeli yapıştırma bağlantıları hasarlı parçaların tamir ve birleştirmelerinde özellikle hava taşıtları ve otomotiv endüstrisinde tercih edilmektedirler (Peter et al.,2001; Sabrina et al., 2006; Jarry and Sheno, 2006; Lee et al.,2009; Campilho et al., 2009). Klasik çift takviye bağlantılarında yamalar parçaların dış yüzeyine yapıştırıcı ile birleştirilirler. Yamaların dış yüzeye yapıştırılması ekstra ağırlık, hava direncine sebep olması, dar alanlarda aracın hareketini kısıtlaması gibi dezavantajlara yol açarlar. Bu sorunlar tamir maliyetini arttırır. Bu problemleri ortadan kaldırmak ve tamir maliyetini azaltmak için yamalar parçaların içine gömülerek pürüzsüz bir yüzey elde edilir. Bu yüzeylerde kaplama ve boyama işlemi kolaylaşır ve daha estetik bir yüzey elde edilir.

Bu çalışmada çift takviyeli yamaları gömülü yapıştırma bağlantılarının dört nokta eğilme yükü altındaki davranışı lineer olmayan sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiş ve bağlantılardaki gerilme dağılımları incelenmiştir.

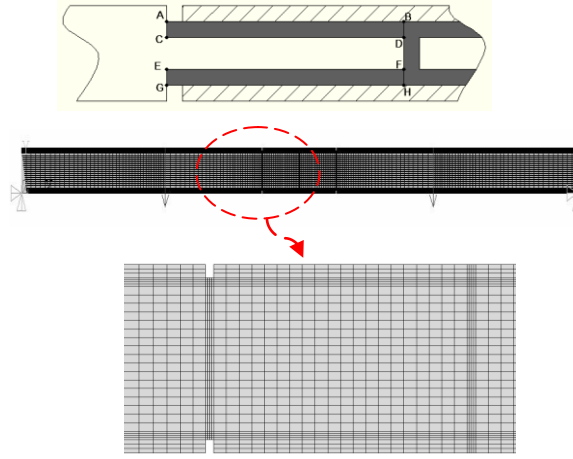
2. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1.Sonlu Eleman Modeli

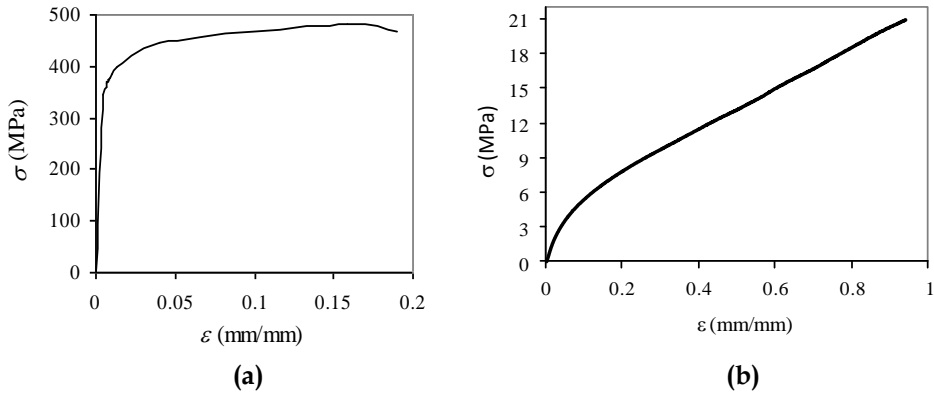
Bu çalışmada eğilmeye maruz ana parçaya gömülü çift takviyeli yapıştırma bağlantısında gerilme analizleri sonlu elemanlar metoduyla ANSYS paket programı kullanılarak yapılmıştır. Yama parçaları ana parçaya gömülmüştür. Bağlantı şekli ve sonlu eleman ağ detayları Şekil 1 ve 2 de verilmiştir. 2 boyutlu lineer olmayan düzlem şekil değiştirme analizi yapılmıştır. ANSYS paket programı ile 8 düğümlü izoparametrik dörtgen düzlem eleman olan PLANE 82 kullanılmıştır.



Şekil 1. Çift takviyeli gömülü yamalı yapıştırma bağlantısının görünüşü



Şekil 2. Ağ yapısı ve sınır şartları



Şekil 3. Parça ve yapıştırıcı malzemesinin gerilme şekil değiştirme diyagramları; a) AA2024-T3, b) SBT 9224

3.2. Malzeme Özellikleri

Lineer olmayan sonlu eleman modelinin oluşturulmasında kullanılan yama malzemesi gerilme şekil değiştirme diyagramının elde edilmesi için, paslanmaz çelikten ASTM370 standardına göre çekme numunesi yapılmış, test cihazında 5mm/dak çekme hızında çekilmiş ve elde edilen gerçek gerilme-şekil değiştirme diyagramı Şekil 3.a'da verilmiştir. Şekil 3'de diyagramları verilen yapıştırılan

malzeme ve yapıştırıcının gerilme-şekil değiştirme diyagramları Aydın vd.(2003) yaptığı çalışmadan alınmıştır.

Geometrik özelliklerden parça kalınlığının yapıştırma bağlantısı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla, yama kalınlığı, yapıştırıcı kalınlığı ve bindirme boyu sabit tutularak üç adet farklı parça kalınlığı için inceleme yapılmıştır. Çalışmada kullanılan yapıştırma bağlantısına ait geometrik özellikler ve malzeme özellikleri sırayla Tablo 1 ve 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Çift takviyeli yapıştırma bağlantısının geometrik özellikleri.

| Parça Kalınlığı, mm (h) | Yama Kalınlığı, mm (h ₁) | Bindirme Boyu, mm (L) | Yapıştırıcı Kalınlığı, mm (t) |
|----------------------------|---|-----------------------------|-------------------------------------|
| 4.8 5.6 6.4 | 0.4 | 15 | 0.25 |

Tablo 2. Parça, yama ve yapıştırıcı malzeme özellikleri

| | AA2024-T3 alaşımı | SBT 9244 yapıştırıcı |
|-------------------------|-------------------|----------------------|
| E_a (MPa) | 71875 | 82.80 |
| ν_e | 0.33 | 0.35 |
| σ_y (MPa) | 430 | 4.5 |
| σ_t (MPa) | 482 | 20.97 |
| ε_t (mm/mm) | 0.1587 | 0.94 |

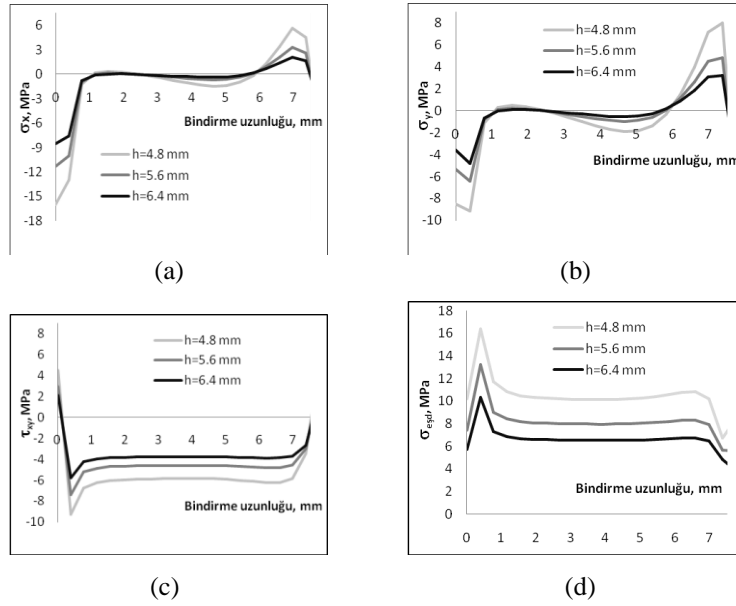
E_a : Elastisite Modülü; ν_e : Poisson oranı; σ_y : akma dayanımı;
 σ_t : maksimum çekme dayanımı ε_t : maksimum şekil değiştirme

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. A-B hattı boyunca gerilme dağılımı sonuçları

Şekil 4’te 0.4 mm yama kalınlığı, 7.5 bindirme uzunluğu ve değişik parça kalınlıkları için çift takviyeli bağlantının A-B hattı boyunca normal, kayma ve eşdeğer gerilme dağılımları verilmiştir. En büyük normal gerilmeler A noktasında görülmektedir. Negatif değerde olan bu gerilmeler A noktasından uzaklaştıkça sifıra yakın değerler almakta, B noktasında yaklaştıkça pozitif olmaktadır. Yama kalınlığı arttıkça normal gerilmelerin (σ_x , σ_y), kayma gerilmeleri (τ_{xy}) ve von-Mises (σ_{eqv}) eşdeğer gerilmelerin azaldığı görülmektedir. En büyük gerilmeler 4.8 mm yama kalınlığında meydana gelmiştir. Bağlantı, kayma (τ_{xy}) ve eşdeğer gerilmeleri (σ_{eqv}),

normal (σ_x) ve soyulma(σ_y) gerilmelerinden daha fazla uçlardan iç kısma doğru dağıtmaktadır.



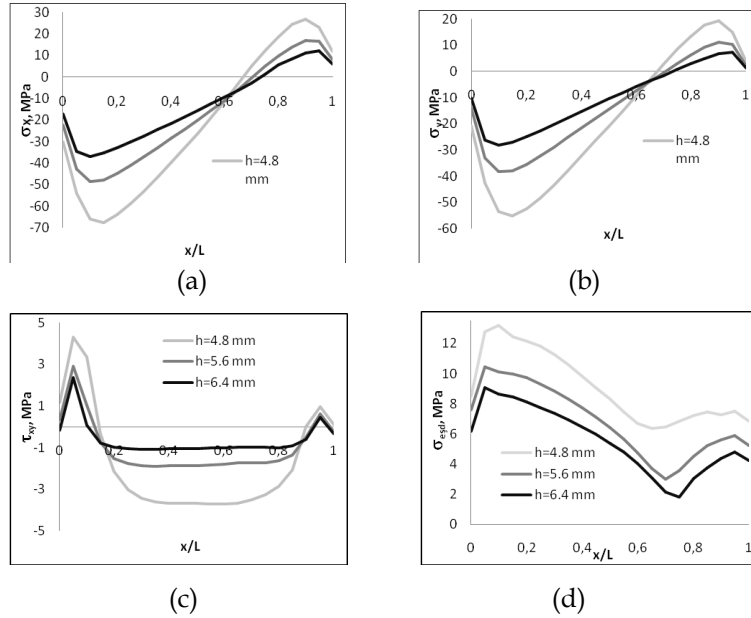
Şekil 4. 0.4 mm yama kalınlığı, 7.5 bindirme uzunluğu ve değişik parça kalınlıkları için A-B hattı boyunca normal,kayma ve eşdeğer gerilme dağılımları a) σ_x , b) σ_y , c) τ_{xy} , d) σ_{esd}

3.2. D-F hattı boyunca gerilme dağılımı sonuçları

Şekil 5'te değişik parça kalınlıkları, 0.4 mm yama kalınlığı ve 7.5 bindirme uzunluğu çift takviyeli bağlantının D-F hattı boyunca normal, kayma ve eşdeğer gerilme dağılımları verilmiştir. Parça kalınlıkları arttıkça normal gerilmeler (σ_x , σ_y), kayma gerilmeleri (τ_{xy}) ve von-Mises (σ_{eqv}) eşdeğer gerilmeler azalmaktadır. D ucu yakınında maksimum gerilmeler oluşmaktadır.

Kayma gerilmeleri parça kalınlığının artması ile azalmakta ve gerilme dağılımı D-F boyunca yayılmaktadır. $h=6.4$ mm yama kalınlığı için kayma gerilmeleri düşük olmakla beraber D-F boyunca daha düzgün bir gerilme dağılımı oluşmaktadır.

Çift Takviyeli Yamaları Gömülü Yapıştırma Bağlantıları



Şekil 5. 0.4 mm yama kalınlığı, 7.5 bindirme uzunluğu ve değişik parça kalınlıkları için D-F hattı boyunca normal, kayma ve eşdeğer gerilme dağılımları a) σ_x , b) σ_y , c) τ_{xy} , d) σ_{esd}

SONUÇLAR:

Bu çalışmada çift takviyeli gömülü yamalı yapıştırma bağlantılarının eğilme altındaki davranışı sonlu elemanlar metoduyla incelenmiştir. Aynı bindirme uzunluğu ve yama kalınlığında farklı parça kalınlıklarının etkileri incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda;

- Parça kalınlığı arttıkça A-B hattı boyunca gerilmelerin azaldığı,
- Parça kalınlığı arttıkça D-F hattı boyunca gerilmelerin azaldığı,
- Kayma gerilmeleri parça kalınlığının artması ile azalmakta ve gerilme dağılımının D-F boyunca yayıldığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Adams, R.D. and Harris, J.A. 1987. The influence of local geometry on the strength of adhesive joints. *Int. J. Adhesion Adhesives*, **7**, 69–80.
- Adams, R.D., Atkins, R.W., Harris, J.A. and Kinloch, A.J. 1986. Stress analysis and failure properties of carbon-fiber-reinforced-plastic/steel double-lap joints. *J. Adhesion*, **20**, 29–53.
- Aydın, M.D., Temiz, Ş., Özel, A. 2003. Yapısal Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Belirlendiği Deneysel Yöntemler. *Mühendis ve Makine* Cilt 45, Sayı 536.
- Baker, A. A., Rose, L. R. F. and Jones, R., (Eds), 2002. *Advances in the Bonded Composite Repair of Metallic Aircraft Structure*, Elsevier, Oxford.
- Campilho, R.D.S.G., deMoura, M.F.S.F, Ramantani, D.A., Morais, J.J.L. and Domingues, J.J.M.S. 2009. Tensile behaviour of three-dimensional carbon-epoxy adhesively bonded single- and double-strap repairs. *Int. J. Adhesion Adhesives*, **29**, 678–686.
- Çitil, Ş., Temiz, Ş., Altun, H. and Ozel, A. 2011. Determination of Mechanical Properties of Double-Strap Adhesive Joints with an Embedded Patch. *J. Adhesion Sci. Technol.* **25**, 2555–2567.
- Hildebrand, M. 1994. Non-linear analysis and optimization of adhesively bonded single lap joints between fibre-reinforced plastics and metals. *Int. J. Adhesion Adhesives*, **14**, 261–267.
- Jarry, E. and Shenoi, R.A. 2006. Performance of butt strap joints for marine applications *J. Adhesion Adhesives*, **26**, 162–176.
- Lee, H.K., Pyo, S.H., and Kim, B.R. 2009. On joint strengths, peel stresses and failure modes in adhesively bonded double-strap and supported single-lap GFRP joints. *Composite Struct.*, **87**, 44–54.
- Marques, E.A.S. and da Silva, L.F.M., 2008. Joint strength optimization of adhesively bonded patches. *J. Adhesion*. **84**, 915–934.
- Peter, C. and Francis, R. 2001. Stress analysis of double-strap bonded joints using a variational method. *Int. J. Adhesion Adhesives*, **21**, 241–247.
- Sabrina, F., Riadh, M. and Xiao-Ling, Z. 2006. Experimental and finite element analysis of a double strap joint between steel plates and normal modulus CFRP. *Composite Struct.*, **75**, 156–162.
- Valle'e, T., Tannert, T., Murcia-Delso, J., and Quinn. 2010. Influence of stress-reduction methods on the strength of adhesively bonded joints composed of orthotropic brittle adherends. D.J., *Int. J. Adhesion Adhesives*, **30**, 583–594.
