



# Termal Yaşlandırılmış Kompozit Levhaların Burkulma Davranışlarının Araştırılması

**Kadir TURAN**

Dicle Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

[kturan@dicle.edu.tr](mailto:kturan@dicle.edu.tr) ORCID: 0000-0002-4065-9649, Tel: (412) 241 10 00 (3603)

**Baran ERKEK**

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Van

[erkekbaran@gmail.com](mailto:erkekbaran@gmail.com)

Geliş: 15.05.2019, Kabul Tarihi: 27.05.2019

## Öz

*Bu çalışmada; termal yaşlanmanın kompozit levhaların burkulma davranışları üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Kompozit levha olarak  $[0^{\circ}]_8$  fiber takviye açısına sahip örgülü cam elyaf takviyeli epoksi reçine matrisli levhalar kullanılmıştır. Termal yaşlanma sıcaklığı ve termal yaşlanma zamanı değişimi ile birlikte çentik etkisi araştırılmıştır. Kompozit levhaların ortasında 10 mm çapında dairesel delik açılarak çentik oluşturulmuştur. Çentikli levhalardan elde edilen sonuçlar çentiksiz levhalardan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Termal yaşlandırma etkilerini incelemek amacı ile termal olarak yaşlandırılmış kompozit levhaların kritik burkulma yükleri ve yaşlandırma işlemine tabi tutulmamış (oda sıcaklığında muhafaza edilmiş) kompozit levhaların kritik burkulma yükleri karşılaştırılmıştır. Statik basma yükü uygulanan levhaların kritik burkulma yükleri tespit edilmiştir. Termal yaşlandırma işleminin çentiksiz numunelerin kritik burkulma yükleri üzerinde % 3.04 ile % 9.97 arasında değişen oranlarda, çentiğin ise kritik burkulma yükleri üzerinde % 5.54 ile % 12.87 arası değişen oranlarda etkili olduğu belirlenmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Tabakalı kompozit levhalar; burkulma; termal yaşlanma.

\* Yazışmaların yapılacağı yazar:

DOI: 10.24012/dumf.565715

## Giriş

Gelişen teknoloji ile hafif, mukavemetli ve korozyona dirençli malzemelere duyulan ihtiyaç gün geçtikçe artmıştır. Bu özellikleri barındıran ve tasarlanabilen bir malzeme türü olarak kompozit malzemeler geliştirilmiştir. Mühendislik açısından malzeme seçimi sırasında çevre, iklim şartları ve çalışma ortamının sıcaklık değişimleri oldukça önemlidir. Termoset kompozit malzemelerin matriks yapısını oluşturan reçine bir tür polimerdir. Polimer bazlı malzemelerin mekanik özellikleri sıcaklıkla değişmektedir. Beklenmeyen veya ön görülmeyen sıcaklık artışları zamana bağlı olarak mekanik özellikleri olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi camsı geçiş sıcaklığı adı verilen bir parametre ile oldukça ilişkilidir. Camsı geçiş sıcaklığı polimerik malzemenin ısıtılması sonucunda faz değişiminin meydana geldiği sıcaklık olarak adlandırılabilir. Bu sıcaklık değeri aşıldığında malzeme tekrar soğutulmaya bırakıldığında mekanik özellikler üzerinde olumlu yada olumsuz değişimler meydana gelebilmektedir. Kompozit malzemeler genellikle son ürün olarak üretilirler. Bu durumda sıcaklık değişimleri sonucu meydana gelecek beklenmeyen durumlar malzemenin yapısını etkileyebilmektedir. Alcock ve diğerleri (2007) -50 ile 160 °C arası değişen sıcaklıklara maruz polipropilen kompozit malzemelerin statik ve dinamik mekanik davranışlarını araştırmışlardır. Sıcaklığın artmasına bağlı olarak polipropilen kompozitlerin çekme mukavemeti ve elastisite modülünün azaldığını belirlemişlerdir (Alcock vd., 2007). Belaid ve diğerleri (2015) termal yaşlanmanın camfiber/polyester kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Araştırmalarını 30, 60, 90, 120 günlük periyotlar şeklinde ve sıcaklık 80 °C olarak belirlemişlerdir. Yaşlanma süresi arttıkça elastisite modülünün % 50 oranında azaldığını ve kopma mukavemetinin %22 oranında azaldığını belirlemişlerdir (Belaid vd., 2015). Örçen (2018) tarafından yapılan çalışmada tek ve çift bindirme bağlantılı kompozit levhaların hasar yükleri üzerine sıcak suyun etkileri

araştırılmıştır. Sıcaklığın etkileri oda sıcaklığı ve 50°C için araştırılırken, suda bekleme süresi olarak 0, 7 ve 21 gün uygulanmıştır. Suda bekletilen numunelerden elde edilen hasar yükleri kuru numuneler ile karşılaştırıldığında hasar yüklerinin bekleme süresi ve sıcaklığın etkisi ile yaklaşık %15 civarında azaldığını belirlemiştir (Örçen, 2018).

Kompozit malzemelerin geleneksel malzemelerin yerine tercih edilme sebeplerinden biri olan hafifliği kullanılan levhanın kesitini küçültmektedir. Kesit/ boy oranındaki küçülme ise narinlik adı verilen durumun ortaya çıkmasına sebep olmakta ve malzemelerde beklenmeyen burkulma davranışlarını ortaya çıkarabilmektedir. Yazıcı vd. (2002) U çentikli kompozit levhaların burkulma davranışları üzerine fiber takviye açısı etkilerini araştırmışlardır. Kritik burkulma yükünün fiber takviye açısına bağlı olmamakla birlikte fiber takviye açısının 45° sonra kritik burkulma yüküne etkisinin azalmakta olduğunu belirtmişlerdir (Yazıcı vd., 2002). Camphilho vd. (2010) yapışma bağlantısı ile tamir edilmiş karbon/epoksi kompozit levhaların kritik burkulma yüklerini deneysel ve sayısal yöntemlerle araştırmışlardır. Bindirme uzunluğunun ve yama kalınlığının artmasına bağlı olarak kritik burkulma yüklerinin arttığını belirlemişlerdir (Camphilho vd., 2010). Razumov vd. (2012) termo modifiyeli ahşap kompozit malzemelerin 160 °C ve 220 °C arasında değişen sıcaklıklarda ısıtarak her yarım saatte bir ağırlıklarını gözlemlemişler ve yaklaşık %3 oranında ağırlık kaybına uğradıklarını belirlemişlerdir (Razumov vd., 2012). Soutis vd. (1999) dış kısmından yama ve yapıştırıcı ile tamir edilmiş dairesel delikli kompozit levhaların basma yükü altındaki davranışlarını deneysel ve sayısal çalışmalarla araştırmışlardır. 20 mm genişliğindeki levhaya açılacak 10 mm çapında dairesel deliğin basma mukavemetini % 50 oranında azalttığını belirlemişlerdir. Tek yüzünden yama ve yapıştırıcı kullanılarak tamir edilmiş kompozit levhanın hasar yüklerinin çentiksiz numunenin hasar yüklerine % 80 yaklaştığını belirlemişlerdir (Soutis vd., 1999). Akbulut ve Sayman (2001) tarafından yapılan çalışmada

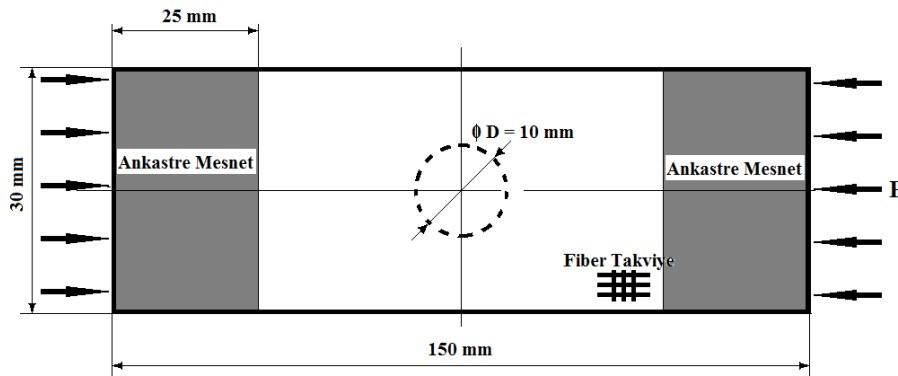
farklı kenar çentiklerinin kritik burkulma yükü üzerine etkileri sonlu elemanlar metodu kullanılarak incelenmiştir (Akbulut ve Sayman, 2001). Kömür vd. (2010) ve Ghannadpour vd. (2006) merkezinde dairesel ve silindirik çentik bulunan kompozit levhaların burkulma davranışlarını araştırmışlardır. Bu çalışmalarda, fiber takviye açısı, çentik pozisyonu ve boyutunun etkileri deneysel ve sayısal yöntemlerle araştırılmıştır. (Kömür, 2010, Ghannadpour, 2006). Mesnet koşullarının, tabaka diziliminin ve fiber takviye açısının kompozit levhaların kritik burkulma yükü üzerine davranışları Özben (2009) tarafından analitik ve sayısal yöntemlerle incelenmiştir (Özben, 2009). Pekbey vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada farklı kalınlıklara sahip kompozit kolonların burkulma optimizasyonu analitik, sayısal ve deneysel metotlarla araştırılmıştır (Pekbey vd., 2007).

Bu çalışmada termal yaşlanmanın kompozit levhaların kritik burkulma yükü üzerine etkileri araştırılmıştır. Termal yaşlanma zamanının etkilerini araştırmak için numuneler 75°C sabit sıcaklıkta 2, 4 ve 8 saat süresince bekletilmişlerdir. Termal yaşlanma sıcaklığının etkilerini belirleyebilmek içinse numunelere 75, 100 ve 150°C sıcaklıklarda; 4 saat sabit süre ile uygulanmıştır. Ayrıca geometrik değişimleri gözlemleyebilmek için ortasına dairesel delik açılan levhalar, düz (çentiksiz) levhaların hasar yükleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca termal yaşlanmanın etkilerinin belirleyebilmek için; termal olarak yaşlandırılmış numunelerin kritik

burkulma yükleri oda sıcaklığında bekletilen numunelerin kritik burkulma yükleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar tablo ve grafikler ile sunulmuştur.

### Problem Tanımı

Deneysel çalışmada  $[0^{\circ}]_8$  tabaka dizilimine sahip örgülü cam fiber/epoksi kompozit levha kullanılmıştır. İzoreel firmasından temin edilen kompozit levhalar 150x30x2.20 mm olacak şekilde boyutlandırılmıştır. Levha halinde hazırlanan numunelerin bir kısmı düz (çentiksiz), diğer bir kısmı ise ortasında 10 mm çapında delik delinerek çentikli levha haline getirilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan numuneler ve sınır şartları Şekil 1'de görülmektedir. Termal yaşlanma işlemi sıcaklık kontrollü fırında gerçekleştirilmiştir. Termal yaşlanma sıcaklığını araştırmak için üretilen numuneler 4 saat süre ile 25 (oda sıcaklığı), 75, 100 ve 150°C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Termal yaşlanma zamanı değişimini araştırmak için kullanılan numuneler ise 0 (oda sıcaklığında bekletilen), 2, 4 ve 8 saat süresince 75°C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Sıcaklık kontrolü termostat (hassasiyeti  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ) ile sağlanırken, sıcaklık kontrolleri lazer işaretlemeli termometre ile yapılmıştır. Her bir numune grubundan üçer adet üretilmiş ve deneysel çalışmadan elde edilen bulguların aritmetik ortalaması alınarak sonuç kabul edilmiştir. Termal yaşlanma işleminden sonra numuneler 1 hafta oda sıcaklığında bekletildikten sonra deneysel çalışma amacı ile kullanılmıştır.

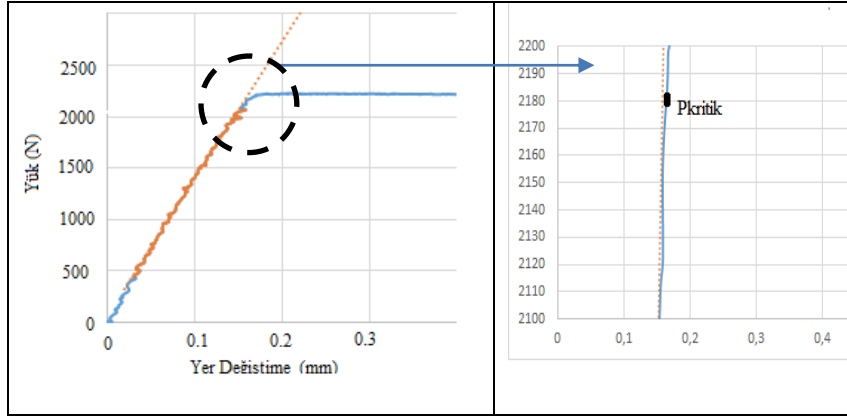


Şekil 1. Numune geometrisi ve Sınır şartları.

## Deneysel Çalışma ve Sonuçlar

Deneysel çalışma Dicle Üniversitesi Merkez Laboratuvarında 100 kN kapasiteli İnstron BS 8800 çekme test cihazında 1 mm/dk çekme test hızında ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Numuneler; bağlantı kısımlarından ve daha önceden yapılmış markalama işlemine uygun olarak ankastre mesnet olacak şekilde cihaza bağlanmıştır.

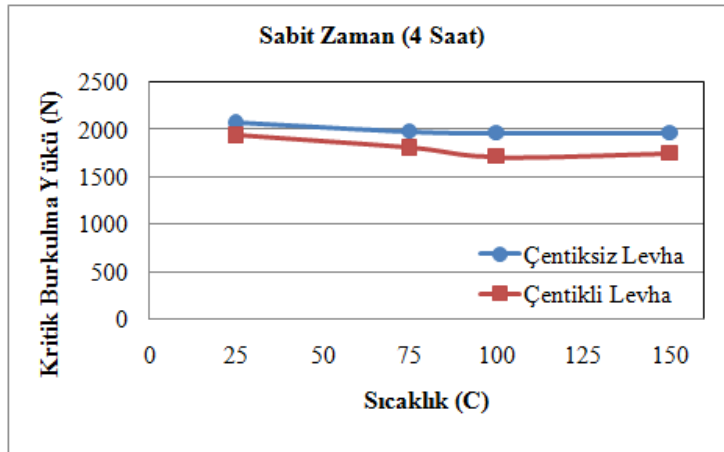
Deney numunelerinden elde edilen sonuçlar deney cihazına bağlı bilgisayardan alındıktan sonra yük yer değiştirme grafiği çizilerek grafikte doğrusallığın bozulduğu yük noktasının ilk noktası kritik burkulma yükü olarak alınmıştır. Şekil 2 ' de kritik burkulma yükünün tespiti gösterilmiştir.



Şekil 2. Kritik yükünün bulunması

Termal yaşlanma sıcaklığın etkileri 4 saat sabit süre ile 75, 100 ve 150°C sıcaklıklarda termal yaşlandırılmış numunelerden elde edilmiştir.

Termal yaşlanma sıcaklığının etkileri Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Termal yaşlanma sıcaklığının kritik burkulma yükü üzerine etkileri.

Şekil 3'ten görüldüğü gibi termal yaşlanmanın hem çentikli hemde çentiksiz levhaların kritik burkulma yüklerini azalttığı görülmektedir. Ayrıca çentiksiz levhaların kritik burkulma

yüklerinin çentikli levhalardan daha yüksek olduğu da görülmektedir. En yüksek kritik burkulma yükü oda sıcaklığında bekletilmiş çentiksiz numune için 2073.49 N olarak

ölçülmüştür. En düşük kritik burkulma yükü ise 1714.68 N olarak 100 °C sıcaklık ile yaşlandırılmış dairesel delikli numune için elde edilmiştir. Sıcaklık ve çentik etkisinin kritik burkulma yükü üzerine değişimleri Tablo 1’de sunulmuştur.

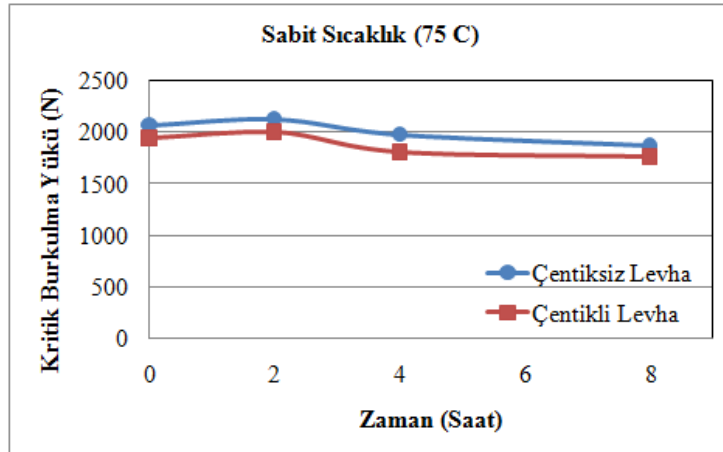
Tablo 1. Termal yaşlanma sıcaklığının ve çentiğin kritik burkulma yükü üzerine etkileri tablosu.

| Sıcaklık (°C) | Termal Yaşlanma Sıcaklığının Etkisi |             | Çentik Etkisi (%) |
|---------------|-------------------------------------|-------------|-------------------|
|               | Çentiksiz (%)                       | Çentikli(%) |                   |
| 25            | -                                   | -           | -6.36             |
| 75            | -4.26                               | -6.92       | -8.96             |
| 100           | -5.08                               | -11.68      | -12.87            |
| 150           | -5.22                               | -9.57       | -10.65            |

- : azalma; + : artış gösterir

Tablo 1’den görüldüğü gibi artan sıcaklıklarda termal yaşlandırılmış numunelerin kritik burkulma yükleri oda sıcaklığına göre % 4.26 ile % 11.68 arası değişen oranlarda azalmıştır. Düz levhaya açılan çentikler sonucunda da benzer olarak hasar yüklerinin % 6.36 ile % 12.87 arası değişen oranlarda azaldığı belirlenmiştir. Termal yaşlanma sıcaklığının artmasına bağlı olarak kompozit malzemelerin mukavemetinin azalacağı Alcock vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada belirtilmiştir. Sıcaklık değerinin artmasına bağlı olarak kompozit levhanın kritik burkulma yükündeki azalma çentikli levhalarda daha belirgin olarak görülmektedir.

Termal yaşlanma zamanının kritik burkulma yükü üzerine etkileri 75 °C sabit sıcaklıktan 2, 4 ve 8 saat süresince yaşlandırılmış numuneler için elde edilmiştir.



Şekil 4. Termal yaşlanma zamanı değişiminin kritik burkulma yükü üzerine etkileri.

Şekil 4’te termal yaşlanma zamanının değişiminin kritik burkulma yükü üzerine etkileri grafiği görülmektedir.

Şekil 4’ten görüldüğü üzere termal yaşlanma zamanı artışının (2 saat süre hariç) genel olarak kritik burkulma yüklerini hem çentikli hemde çentiksiz levha için azalttığı görülmektedir.

En yüksek kritik burkulma yükü 2 saat süresince termal yaşlandırılmış çentiksiz levha için 2136.62 N olarak elde edilirken en düşük kritik burkulma yükü 8 saat süresince termal yaşlandırılmış çentikli levha için 1763.26 N olarak ölçülmüştür.

Termal yaşlanma zamanı ve çentik etkisinin kritik burkulma yükü üzerine değişimleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Termal yaşlanma süresinin ve çentiklerin kritik burkulma yükü üzerine etkileri tablosu.

| Zaman (saat)                   | Termal Yaşlanma Zamanının Etkisi |             | Çentik Etkisi (%) |
|--------------------------------|----------------------------------|-------------|-------------------|
|                                | Çentiksiz (%)                    | Çentikli(%) |                   |
| 0                              | -                                | -           | -6.36             |
| 2                              | 3.04                             | 3.08        | -6.33             |
| 4                              | -4.26                            | -6.92       | -8.96             |
| 8                              | -9.97                            | -9.18       | -5.54             |
| - : azalma; + : artış gösterir |                                  |             |                   |

Tablo 2'den görüldüğü gibi artan termal yaşlanma zamanının kritik burkulma yüklerini genel olarak % 4.26 ile % 9.97 arası değişen oranlarda azalttığı, 2 saat termal yaşlanma zamanı içinse % 3.04 ile %3.08 oranlarında arttırdığı hesaplanmıştır.

## Değerlendirmeler

Bu çalışmada termal yaşlanma sıcaklığı ve zamanı değişiminin, ayrıca çentik etkisinin örgülü cam fiber/epoksi kompozit levhaların kritik burkulma yükü üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Sonuçların genel bir değerlendirmesi maddeler halinde şu şekilde sıralanabilir.

- Termal yaşlanma sıcaklığının artışına bağlı olarak hem çentikli, hemde çentiksiz levhaların kritik burkulma yükleri azalmıştır.
- Termal yaşlanma süresinin oda sıcaklığından itibaren artmasına bağlı olarak (2 saat süre hariç) hem çentikli hem de çentiksiz numunelerin kritik burkulma yükleri azalmıştır.
- Termal yaşlanma süresinin 2 saat olduğu durumda kritik burkulma yükünün arttığı belirlenmiştir.
- Çentik oluşumu kritik burkulma yüklerini azaltmıştır.

## Kaynaklar

- B. Alcock , N.O. Cabrera , N.-M. Barkoula , C.T. Reynolds , L.E. Govaert , T. Peijs., (2007). The effect of temperature and strain rate on the mechanical properties of highly oriented polypropylene tapes and all-polypropylene composites, *Composites Science and Technology*, 67, 2061-2070.
- Belaid, S.,S.F.Chabira, P Balland, M. Sebaa, S. Belhoudeg, (2015). Thermal aging effect on the mechanical properties of polyester fiber glass composites, *j.Mater. Environ. Sci.* 6, 10, 2795-2803.
- Örçen, G., (2018), Bindirme bağlantılı kompozitlerin hasar davranışları üzerinde sıcak suyun etkisi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 9, 753 – 763.
- Yazıcı, M.,Özcan,R., Ülkü,S.,(2003). Buckling of composite plates with u-shaped cutouts *journal of composite materials*, 37, 24, 2179-2195.
- Campilho, R.D.S.G.,de Moura M.F.S.F., Ramantani, D.A. , Morais, J.J.L., Domingues, J.J.M.S., (2010). Buckling strength of adhesively-bonded single and double-strap repairs on carbon-epoxy structures, *Composite Science and Technology*, 70, 371-379.
- Razumov, E. Y.,S.R., Ruslan, B., Steafan, Kviatkova, M.,R. Romelevich, K.,(2013). Studies on mechanical properties of composite materials based on thermo modified timber, *DrvnaIndustrija*, 64, 1, 3-6.
- Soutis C., Duan D.M., Goutas P., (1999). Compressive behaviour of CFRP laminates repaired with adhesively bonded external patches, *Composite Structures*, 45 , 289-301.
- Akbulut H., Sayman O., (2001). An investigation on buckling of laminated plates with central square hole, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 20, 1112-1123.
- Kömür, M. A., Şen F., Ataş, A., Arslan, N., (2010). Buckling analysis of laminated composite plates with an elliptical/circular cutout using FEM, *Advances in Engineering Software*, 41,161–164.
- Ghannadpour, S.A.M., Najafi, A., Mohammadi, B., (2006). On the buckling behavior of cross-ply laminated composite plates due to circular/elliptical cutouts, *Composite Structures*, 75, 3–6.
- Özben T., (2009). Analysis of critical buckling load of laminated composites plate with different boundary conditions using fem and analytical methods, *Computational Materials Science*, 45, 1006-1015.
- Pekbey Y., Özdamar A., Sayman O., (2007). Buckling optimization of composite columns with variable thickness, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 26, 1337-1356.

## Investigation of Buckling Behaviors of Thermally Aged Composite Plates

### Extended Abstract

*In this study, the thermal aging effect on the critical buckling load of the composite plate was investigated as experimentally. It was known that the composite materials preferred instead of traditional materials. One of the reasons was lightweight. The strength of composite materials could be improved and generally, lots of composite materials were light from the traditional materials (like metals). The thickness of the composite materials is low when it was used in air vehicles and marine vehicles. This situation leads to the problem of buckling. The woven glass fiber/epoxy composite plates were used and the fiber reinforced angle and stacking sequence were chosen as  $[0^\circ]_8$ . The composite plates were provided from Izoreel Composite Firm. The plates were dimensioned as width : 30mm and the length : 150 mm. The thickness of plates was measured as 2.2 mm. The notches are geometric discontinuities that sometimes occur in unwanted or unexpected situations. The notches may cause local stress concentration and it could be caused a decrease of strength of a machine element. The notch effect was investigated with thermal aging temperature and thermal aging time. The notch was produced with drilling 10 mm diameter the middle of the composite plates. The critical buckling loads of notched composite plates were compared with the critical buckling loads of un-notched composite plates. Thermoset based composite plates were generally solidated with temperature. Also, the mechanical properties of polymers could be affected by temperature and this situation was shown lots of international manuscripts. The temperature might be increased when a machine part was located near an engine or open thermal resource. The temperature changes caused thermal aging on the composite plates. The effect of temperature on the mechanical properties of composite materials is highly correlated with a parameter called glass transition temperature. The glass transition temperature can be called the temperature at which the phase change occurs as a result of heating the polymeric material. When this temperature is exceeded and the material is allowed to cool down again, positive or negative changes in mechanical properties may occur. In this case, unexpected conditions that may occur as a result of temperature changes may affect the structure of the material. In this study, the thermal aging process was carried out by two different*

*methods. The firstly; constant time was chosen as 4 hours with used the changing temperature as 75, 100 and 150 °C. the secondly; the constant temperature was chosen as 75°C with used the changing time as 2, 4 and 8 hours. To investigate the thermal aging effects, the critical buckling loads of thermally aged composite plates were compared with the critical buckling loads of un-aged (keep at room - temperature) composite plates. The critical buckling loads of the composite plates were measured with applied the static compression load. The critical buckling loads were determined when the plate was deflected at the lateral direction. Also, the buckling load was determined from these deviations by using the results recorded on the computer. The critical buckling loads of thermally aged samples were compared with un-aged critical buckling loads of specimens and it has seemed that it was decreased ranging from 4.26% to 11.68%. Similarly, when the critical buckling loads of notched plates were compared to the critical buckling loads of un-notched plate, the critical buckling loads decreased by between 6.36% and 12.87%. The highest critical buckling load was measured as 2073.49 N for a un-notched specimen which was kept at room temperature. The lowest critical buckling load was obtained for the circular notched specimens as 1714.68 N which was thermally aged in 100 °C and 4 hours. It has been determined that increased thermal aging time decreases the critical buckling loads in general by 4.26% to 9.97%. The critical buckling loads of composite plates were increased for 2 hours of thermal aging time and the critical buckling loads were increased between 3.04% and 3.08%. The highest critical buckling load was obtained as 2136.62 N for the thermally aged notched plates for 2 hours, while the lowest critical buckling load was measured as 1763.26 N for the thermally aging notched plates for 8 hours. As a result of the thermal aging process, it was determined that the thermal aging process was effected the critical buckling load between 3.3% and 9.9% rates and the notch was effected the critical buckling load between 5.5% and 12.8% rates.*

**Keywords:** Laminated Composite plates, Buckling, Thermal aging.