

## Karma Bağlantılı Kompozit Plakalarda Farklı Sıcaklıklar Etkisiyle Oluşan Gerilmelerin Analizi

Kemal ALDAŞ<sup>1</sup>, Faruk ŞEN<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Aksaray Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Aksaray, Türkiye

**ÖZET:** Bu çalışmada, karma bağlantı yapılarak birleştirilmiş iki kompozit plakada uygulanan farklı uniform sıcaklıklar etkisiyle meydana gelen gerilmeler analiz edilmiştir. Karma bağlantı, pim ve yapıştırıcının birlikte kullanılması ile meydana getirilmiştir. Analizde sonlu elemanlar metodu (FEM) kullanılmıştır. Modelleme üç boyutlu olarak yapılmıştır. Modelleme ve çözümde, sonlu elemanlar yazılımı olan ANSYS programından yararlanılmıştır. Oluşturulan modele hem çekme yükü hem de uniform sıcaklık yükü aynı anda uygulanmıştır. Sıcaklığın gerilmeler üzerine etkisini gözlemlemek için çekme yükü sabit tutulmuş fakat 50, 70, 90 ve 110 oC'lik uniform sıcaklıklar uygulanmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, gerilmelerin delik çevresinde yoğunlaşmıştır. Dolayısıyla, karma bağlantı üzerinde başlayacak bir hasarın delik çevresinden başlayacağı anlaşılmıştır. Gerilmelerin değeri, uniform sıcaklık artışındaki miktara bağlı olarak artmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** *Karma Bağlantı, Gerilme Analizi, FEM, ANSYS, Kompozit.*

## Analysis of Stresses Created Effect of Different Temperature in Hybrid Bonded Composite Plates

**ABSTRACT:** In this study stresses created different uniform temperatures effect in two composite plates bonded together with hybrid joint were analyzed. The hybrid joint was created using both pin and adhesive with together. In analysis, the finite element method (FEM) was used. Modeling was done as three dimensional. During both modeling and solution processes, it was utilized from ANSYS software which is a perfect finite element code. Both tensile load and uniform temperature load were applied on created model. To observe the effect of temperatures on stresses tensile load is applied as constant but 50, 70, 90 ve 110 °C uniform temperatures were performed. According to obtained analysis results, thermal stresses were concentrated around pin hole. Therefore, it is understand that any failure may be start from pin hole zone firstly. The magnitudes of stresses were increased by increasing uniform temperature.

**Keywords:** *Hybrid joint, stress analysis, FEM, ANSYS, Composit*

### 1. GİRİŞ

Metal-matriksli kompozitlerin, yüksek sıcaklıklardaki üstün özellikleri, cam lifi ile takviye edilmiş plastiklerle karşılaştırıldığında ön plana çıkmaktadır. Birçok sıcaklık değerinde, metal matrislerin mukavemet ve elastiklik modülü, reçine esaslı matrislerden daha yüksektir. Ayrıca, metal matriksli kompozitlerin gevrek kırılma ihtimali daha düşüktür[1]. Bununla birlikte, alüminyum ve çelik gibi yaygın olarak kullanılan geleneksel metal ve metal alaşımları ile karşılaştırıldığında, kompozit malzemelerin, hafiflik, yorulmaya karşı uzun ömür, korozyon dayanımı gibi üstün özellikleri nedeniyle önemi artmaktadır [2]. Kompozit malzemelerdeki hızlı gelişmelere bağlı olarak, kompozit plakaların birbirine

veya diğer malzemelerden yapılmış plakalara bağlantıları için yeni ve çeşitli bağlantı şekilleri ve geometrileri üzerinde de yoğun olarak çalışılmaktadır. Çünkü bu bağlantıların en az hasar meydana getirecek şekilde tasarımı oldukça önemlidir Sağladığı çeşitli avantajlar nedeniyle, kompozit plakaların özellikle pim bağlantıları ile birleştirilmesi oldukça tercih edilen bir yöntemdir. Bu yüzden, kompozit pimli bağlantılar birçok yerde uygulama sahası bulmuştur [3-4].

Apalak ve ark. [5] yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmiş ve ardından nokta kaynağı yapılarak oluşturulmuş karma bağlantılarda, önce sıcaklık dağılımını ve daha sonra sıcaklık etkisiyle oluşan ısı gerilmeleri analiz etmişlerdir. Sıcaklık dağılımını, geliştirdikleri Fortran programını kullanarak, ısı gerilmeleri ise ANSYS sonlu elemanlar yazılımını

\*Sorumlu Yazar: Faruk Şen, [faruk.sen@deu.edu.tr](mailto:faruk.sen@deu.edu.tr)

kullanarak oluşturdukları alt programlar yardımıyla gerçekleştirmişlerdir. Alüminyum, titanyum ve çelik ince levhalar analiz edilmiş ve ısıl gerilme analizi elasto-plastik olarak gerçekleştirilmiştir. Sen ve ark. [6], yapıştırıcı ile birleştirilmiş ince metal plakaların tek bindirme bağlantılarının ısıl gerilmelerini incelemiştir. Yapıştırılmış bağlantıya, üniform sıcaklık uygulanmasından kaynaklanan ısıl gerilme dağılımlarını sonlu elemanlar metodu (FEM) kullanarak bulmuşlardır. Çalışma iki boyutlu olarak yapılmış ve ısıl gerilme dağılımları, alüminyum ve çelik gibi farklı ince metal levhalar için bulunmuştur. Aldaş ve ark. [7], epoksi türü bir yapıştırıcı kullanılarak yapıştırılmış çift bindirme bağlantısında meydana gelen ısıl gerilmeleri incelemiştir. Isıl yük olarak, üniform sıcaklık uygulanmıştır. Analiz, sonlu elemanlar metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Modelleme iki boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir. Sen ve ark. [8], diğer önemli yapıştırıcı ile birleştirilme usullerinden biri olan, çift örtü kullanarak yapıştırılmış ince metal levhalarda sıcaklık etkisiyle oluşan ısıl gerilmeleri incelemiştir. Problemin modellenmesinde ve çözümünde, sonlu elemanlar metodunu kullanılmışlardır.

Sen [9] tabakalı kompozit plakalarla ilgili yapmış olduğu çalışmada, sıcaklık yükü nedeniyle plakalarda oluşan ısıl gerilmeleri incelemiştir. Çalışmada, sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Elasto plastik olarak yapılan çalışmada, termoplastik kompozit plakanın orta kısmına bir delik oluşturulmuş ve ısıl gerilmeler üzerine, delik etkisi incelenmiştir. Sen [10], üzerinde çok sayıda delik bulunan kompozit bir diskin ısıl analizini gerçekleştirmiştir. Elastik-plastik olarak yapılan analizde, sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Çalışmada ayrıca artık gerilemelerde hesaplanmıştır.

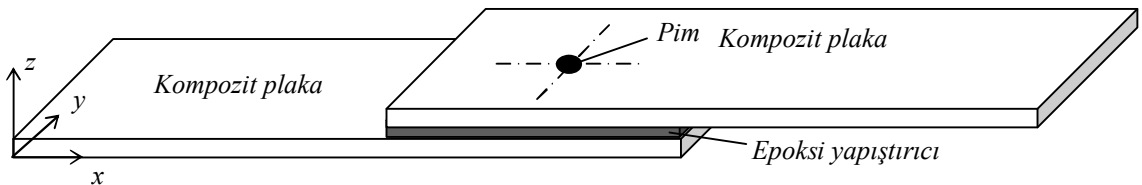
Silva ve Adams [11] karma bir yapıştırıcı bağlantısını incelemiştir. Deneyler titanyum/titanyum ve titanyum/kompozit çift bindirme bağlantıları için yapılmıştır. Yapılan çalışmaların neticesinde, benzer olmayan levhaların yapıştırıcı ile birleştirilmesinde iki yapıştırıcının karışımından elde edilen yapıştırıcının performansının, yüksek sıcaklıkta

kullanılan bir yapıştırıcının tek başına kullanılmasından daha iyi olduğu anlaşılmıştır. Pakdil ve Şen tek pim bağlantısı kullanarak yaptıkları çalışmada [12], cam lifleri ile takviye edilmiş epoksi matrise sahip kompozit levhalarda oluşan hasar davranışını incelemiştir. Deneysel olarak yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, tek pim bağlantılı kompozit plaklarda, yatak mukavemetleri ve hasar tipleri hem geometrik parametrelerden hem de tabaka dizilişlerinden kesinlikle etkilenmektedir. Sen ve ark. [13] tarafından yapılan deneysel çalışmada, pim ve civata bağlantısı yapılmış bağlantılarda hasar analizi yapılmıştır. Çalışmada tek pim bağlantısı kullanılmış ve pim ile delik arasında bir boşluk bırakılarak, özellikle bu boşluğun hasar davranışını gözlemlemek amacıyla testler yapılmıştır. Kısaca özetlemek gerekirse, daha önce çalışmaların, genel olarak sadece ya pim bağlantısı ya da yapıştırıcı bağlantısı şeklinde olduğu görülmektedir. Ayrıca, analizlerde bağlantılar değişik parametrelere sahip olmakla birlikte, bağlantılara etki ettirilen yüklerinde tekil olarak ya çekme yükü ya da sadece ısıl yük olduğu anlaşılmaktadır.

Bu çalışmada, kompozit plaklara hem pim bağlantısı hem de yapıştırıcı bağlantısı içeren, karma bir bağlantı modellenmiş ve analiz edilmiştir. Bu karma bağlantıya hem çekme yükü hem de ısıl yük aynı anda uygulanmıştır. Ayrıca, farklı ısıl yükler uygulamak suretiyle sıcaklık değişiminin gerilmeler üzerine etkisi incelenmiştir.

## 2. Problemin Tanımlanması

Pim bağlantısı ve yapıştırıcı bağlantısı içeren karma bağlantı Şekil 1 şematik olarak gösterilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi iki adet kompozit plaka karma bağlantı ile birleştirilmiştir. Tek bindirme bağlantısı yapılan alt ve üst kompozit levhaların ve üst metal plakaların her birinin kalınlığı 2 mm, plaka uzunlukları 100 mm ve plaka genişlikleri 25 mm olacak şekilde modellenmiştir. Pim deliğinin çapı ise 5 mm olarak seçilmiştir.



Şekil 1. Karma bağlantı.

Modellenen kompozit plaka alüminyum matrise sahip, çelik tellerle takviye edilmiş bir yapıdadır. Bu kompozit malzeme özellikleri Sayman [14] tarafından üretilmiştir ve Tablo 1’de verilmiştir.

Daha detaylı bilgi literatürden temin edilebilir. Epoksi yapıştırıcının mekanik özellikleri Tablo 2’de verilmiştir [5].

**Tablo 1.** Kompozit malzemenin mekanik özellikleri [14].

$E_1$	$E_2$	$G_{12}$	$\nu_{12}$	$\alpha_1$	$\alpha_2$
(MPa)	(MPa)	(MPa)		( $1/^\circ\text{C}$ )	( $1/^\circ\text{C}$ )
85000	74000	30000	0,29	$18,5 \times 10^{-6}$	$21 \times 10^{-6}$

Karma bağlantı probleminin çözümünde, son yıllarda birçok mühendislik probleminin çözümünde hem endüstride hem akademik çalışmalarda yaygın olarak tercih edilen sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Bu nedenden dolayı, modelleme ve çözümde ANSYS [15] sonlu elemanlar programından

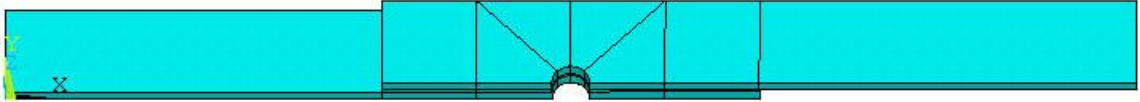
yararlanılmıştır. Bilindiği üzere, ANSYS yazılımı, birçok farklı problemin çözümünde son yıllarda oldukça çok tercih edilmektedir. Bunun başlıca nedenleri, gayet güzel ve tam sonuçlar elde edilmesini sağlaması, gerek modellemede gerekse sonuçların değerlendirilmesi aşamasında sağladığı eşsiz avantajlarıdır.

**Tablo 2.** Epoksi yapıştırıcının mekanik özellikleri[5].

$\rho$ ( $\text{kg/m}^3$ )	E (GPa)	$\nu$	$\alpha$ ( $\mu\text{m/m}^\circ\text{C}$ )
1264	3.3	0.30	43.3

Karma bağlantının ilk olarak katı modeli oluşturulmuştur. Bağlantının y-eksenine göre simetrik olmasından dolayı yarım modelleme yapılmıştır. Bununla, eleman ve düğüm sayısının önemli oranda

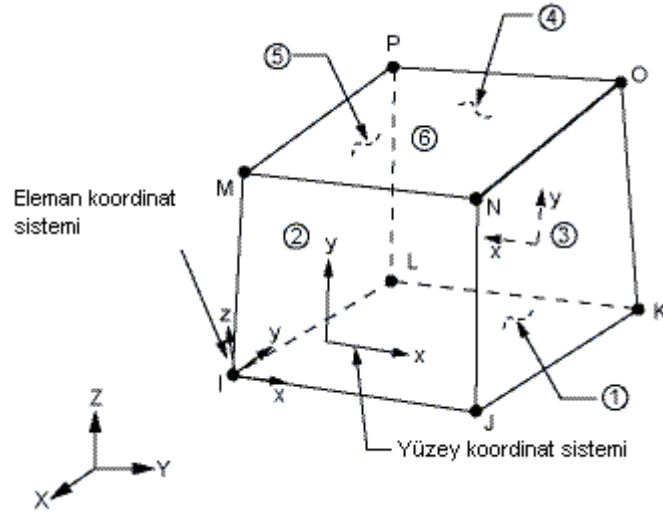
azaltılması, çözüm süresinin kısaltılması ve daha küçük çözüm dosyalarının elde edilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen üç boyutlu yarım katı model Şekil 2’de gösterilmiştir.



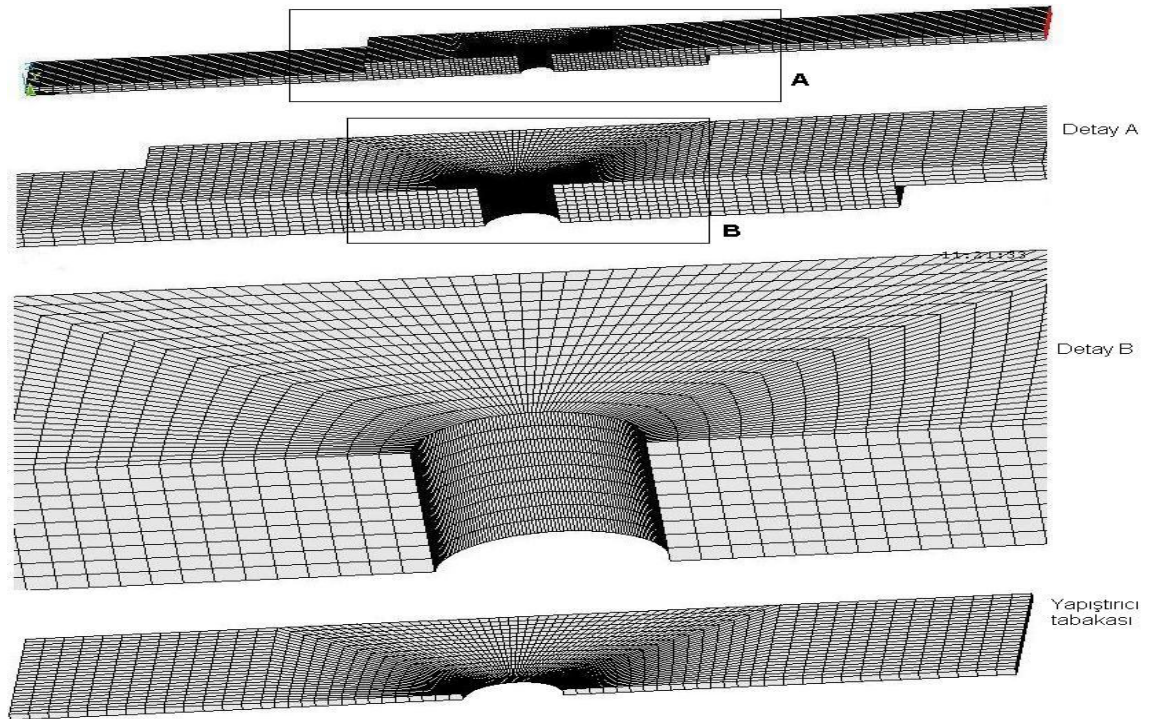
**Şekil 2.** Yarım model.

Sonlu elemanlarla çözüm işleminde modelin oluşturulmasından sonra en önemli işlem, modelin sonlu elemanlar ağ yapısının oluşturulmasıdır. Bu aşamada, çözülecek probleme ve sınır şartlarına uygun olarak ANSYS çok sayıda eleman tipi kullanıma sunmaktadır. Bu çalışmada, sonlu elemanlar ağ yapısının oluşturulması amacıyla, eleman tipi olarak, Şekil 3’te gösterilen SOLID 45 kullanılmıştır [15]. Modelin, sonlu elemanlara bölme işleminden sonra elde edilen, sonlu elemanlar ağ yapısı Şekil 4’te gösterilmiştir. Bu şekilde görüldüğü gibi, oluşturulan yarım modelin tamamında ve delik çevresinde düzgün dörtgen elemanlardan meydana gelen bir sonlu elemanlar ağ yapısı oluşturulmuştur. Bilindiği gibi sonlu elemanlarla çözüm yönteminde düzgün bir sonlu elemanlar ağ yapısı elde edilmesi, elde edilecek sonuçlarında doğru bir şekilde

elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte, eğer bir model üzerinde herhangi bir amaçla oluşturulmak zorunda kalınan ve dolayısıyla var olan bir deliğin varlığı, bu tür düzgün bir ağ yapısının oluşturulmasını oldukça zorlaştırmaktadır. Oluşturulan bağlantı üzerinde pim deliği olmasına rağmen, olması istenen iyi ve düzgün ağ yapısı, delik çevresi de dahil olmak üzere, bağlantının tamamında oluşturulmuştur. Şekil 4’te bağlantının tamamında ve delik çevresinde elemanların oldukça düzgün oluşturulduğu açıkça görülmektedir. Bu şekilde, yapıştırıcı tabakasının sonlu elemanlara ayrılmış görüntüsüne de yer verilmiştir. Bu çizim ile de yapıştırıcı tabakası üzerinde de oldukça düzgün bir ağ yapısı meydana getirildiği anlaşılmaktadır. Sonuç olarak, model üzerinde 34350 eleman ve 42290 düğüm noktası elde edilmiştir.



Şekil 3. ANSYS SOLID 45 eleman tipi [15].



Şekil 4. Karma bağlantının sonlu elemanlar ağ yapısı.

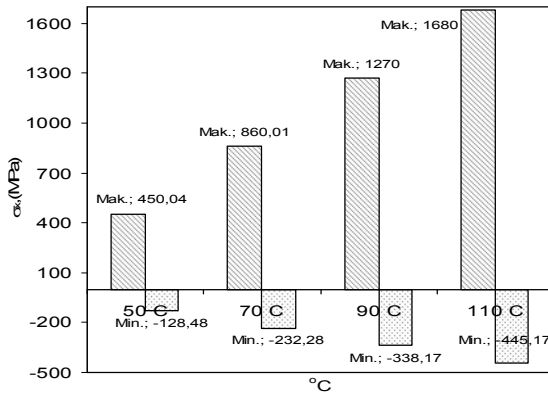
Karma bağlantının, üç boyutlu modellenmesi ve sonlu elemanlar ağ yapısının oluşturulmasından sonra, bağlantıya çeşitli sınır şartları uygulanmıştır. İlk olarak, alt kompozit plakanın serbest ucundan, model tutularak ankastre hale getirilmiştir. Daha sonra, üst kompozit levhanın serbest ucundan ise  $-15$  MPa bir basınç uygulanmıştır. Böylece plakanın bu ucundan bağlantıya bir çekme yükü uygulanması sağlanmıştır. Yarım modelden dolayı simetri sınır şartı uygulanmıştır. Son olarak, deliğin iç kısmına, pim sınır şartı

uygulanmıştır. Daha önce bahsedildiği üzere, çalışmanın arzulanan amaçlarından biri de karma bağlantıya uygulanan farklı uniform sıcaklıkların gerilmelerin dağılımı ve değerleri üzerine etkisinin incelenmesidir. Bu nedenle, karma bağlantı üzerine sırasıyla  $50$ ,  $70$ ,  $90$  ve  $110$  °C uniform sıcaklıklar uygulanmıştır. Sonuç olarak, üç boyutlu olarak modellenen karma bağlantı üzerine aynı anda hem çekme yükü hem de ısıl yükleme aynı anda gerçekleştirilmiştir. Böylece, daha önceki çalışmalardan

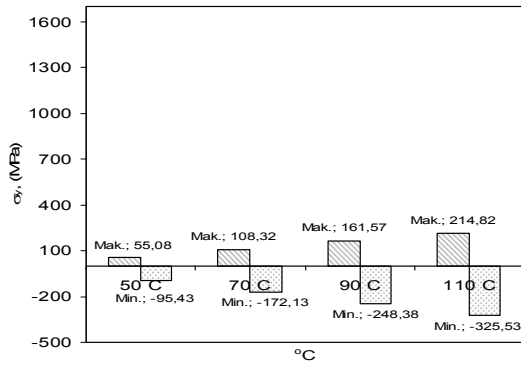
önemli bir farkta, iki farklı yüklemenin üç boyutlu modele aynı anda uygulanmış olmasıdır.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

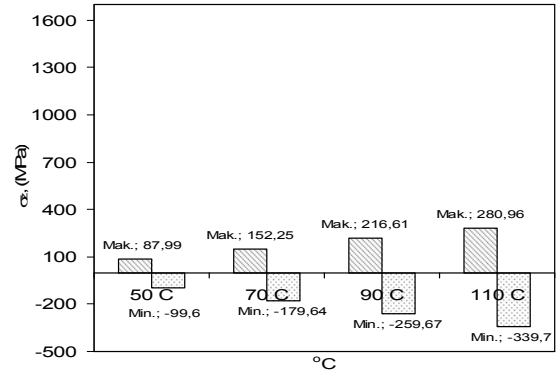
Karma bağlantıya uygulanan her biri üniform sıcaklık neticesinde elde edilen normal gerilmelerin maksimum değerleri her bir doğrultu için Şekil 5'te gösterilmektedir. Bu şekilden görüldüğü gibi x-doğrultusunda meydana gelen ( $\sigma_x$ ) hem çekme hem de bası gerilmelerinin diğer doğrultularda meydana gelen gerilmelerden ( $\sigma_y$  ve  $\sigma_z$ ) daha büyük olduğu anlaşılmaktadır. Bunun nedeni, bağlantıya uygulanan çekme gerilmesin x-doğrultusunda etki ettirilmesidir. Her bir sıcaklık değerinde x-doğrultusu için hesaplanan çekme gerilmelerin basma gerilmelerinden çok daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Bununla birlikte y ve z-doğrultularında hesaplanan basma gerilmeleri çekme gerilmelerinden daha yüksek değerlerdedir. Tüm doğrultular göz önüne alındığında, en yüksek basma ve çekme gerilmeleri 110 °C üniform sıcaklık uygulandığında meydana gelirken, en düşük gerilmeler 50 °C sıcaklık uygulandığında hesaplanmıştır.



a)  $\sigma_x$



b)  $\sigma_y$



c)  $\sigma_z$

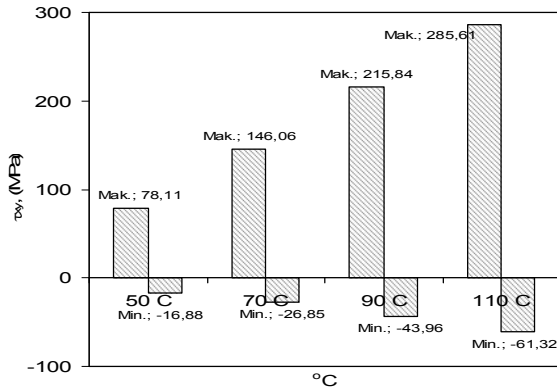
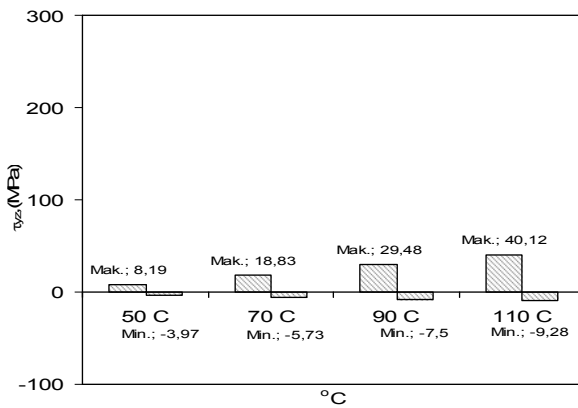
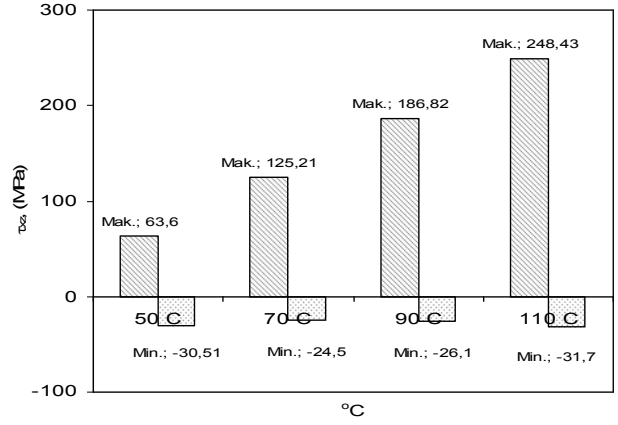
Şekil 5. Normal gerilmelerin maksimum değerleri.

Gerilmelerin değerlerinin artan sıcaklık miktarına bağlı olarak arttığı söylenebilir. En yüksek normal çekme gerilmesi değeri 1680 MPa ve en yüksek basma gerilmesi değeri -445 MPa olarak x-doğrultusunda ( $\sigma_x$ ) ve 110 °C üniform sıcaklık uygulandığı durumda hesaplanmıştır Şekil 5-a.

Her bir üniform sıcaklık değerine bağlı olarak hesaplanan kayma gerilmelerinin ( $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$  ve  $\tau_{xz}$ ) maksimum değerleri Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi  $\tau_{xy}$  kayma gerilmelerini hem çekme hemde basma formundaki değerleri  $\tau_{yz}$  ve  $\tau_{xz}$  kayma gerilmelerinden daha büyük değerlerdedir. En düşük kayma gerilmeleri  $\tau_{yz}$  olarak hesaplanmıştır. Normal gerilmelerde olduğu gibi kayma gerilmelerinin de değerlerinin uygulanan sıcaklık miktarındaki artışa bağlı olarak arttığı açıkça görülmektedir. Bundan dolayı, en düşük değerli kayma gerilmeleri 50 °C sıcaklık için hesaplanırken en yüksek değerli kayma gerilmeleri 110 °C üniform sıcaklık uygulandığı durum için hesaplanmıştır. Tüm elde edilen maksimum kayma gerilmeleri karşılaştırıldığında en yüksek değerli çekme formundaki kayma gerilmesi  $\tau_{xy}=285$  MPa ve en büyük değerli basma formundaki kayma gerilmesi  $\tau_{xy}=-61$  MPa olarak hesaplanmıştır (Şekil 6-a). Bununla birlikte en düşük değerli çekme ve basma formundaki kayma gerilmelerin değerleri sırasıyla  $\tau_{yz}=8$  MPa ve  $\tau_{yz}=3$  MPa olarak bulunmuştur (Şekil 6-b).

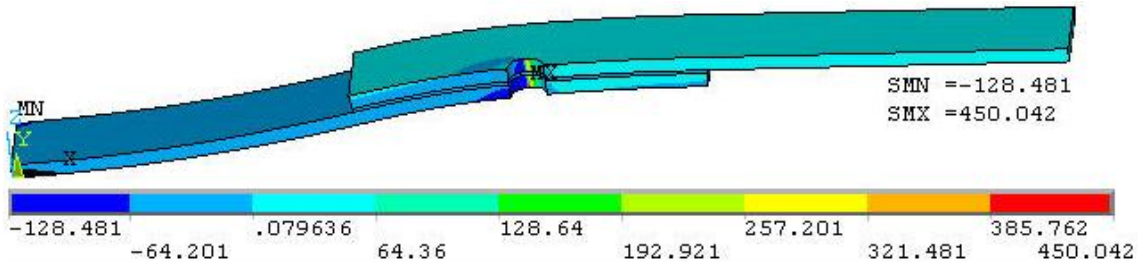
Daha önce bahsedildiği üzere ANSYS sonlu elemanlar programının, çözüm sonrasında sonuçların yorumlanması aşamasında da önemli kolaylıklar sağladığı söylenmişti. Her ne kadar Şekil 5 ve Şekil 6'da normal ve kayma gerilmelerinin hesaplanan maksimum değerleri verilmiş olsa da, bu şekillerden bu maksimum gerilmelerin karma bağlantı üzerinde nerede olduğu gerilme yığılmasının olduğu bölgeler anlaşılamamaktadır. Bununla birlikte, yapılan analiz neticesinde, kritik olan bu bölgelerin tespit edilebilmesi, gerilme yığılması neticesinde oluşabilecek herhangi bir hasarın, bağlantının neresinden başlayabileceği

konusunda bir fikir verebilecektir. Kısacası ANSYS programının sağladığı gerilme dağılımlarının eş gerilme eğrileri ile gösterimi avantajı nedeniyle, Şekil 7'de  $\sigma_x$  normal gerilmelerinin tüm bağlantı üzerindeki dağılımı çizilmiştir. En yüksek gerilmeler x-doğrultusunda meydana geldiğinden, örnek olarak sadece  $\sigma_x$  normal gerilme dağılımları verilmiştir. Şekil 7'den karma bağlantıda meydana gelen elastik deformasyon açıkça görülmektedir. Ayrıca, gerilmelerin değerlerinin sıcaklığa bağlı olarak artışı değerlendirilebilmektedir. En önemlisi, maksimum normal gerilmelerin delik çevresinde yoğunlaştığı görülmektedir. Delik çevresinde oluşan basma ve çekme gerilmesi dağılımlarının daha önce yapılan deneysel çalışmalara [12-13] uyumlu olduğu anlaşılmıştır. Bu nümerik çalışmadan belirlenen gerilme yığılmalarının, bahsedilen deneysel çalışmalarda gözlemlenen yatak hasarı ve çekme hasarını aynı bölgelerde meydana getirebileceği anlaşılmaktadır.

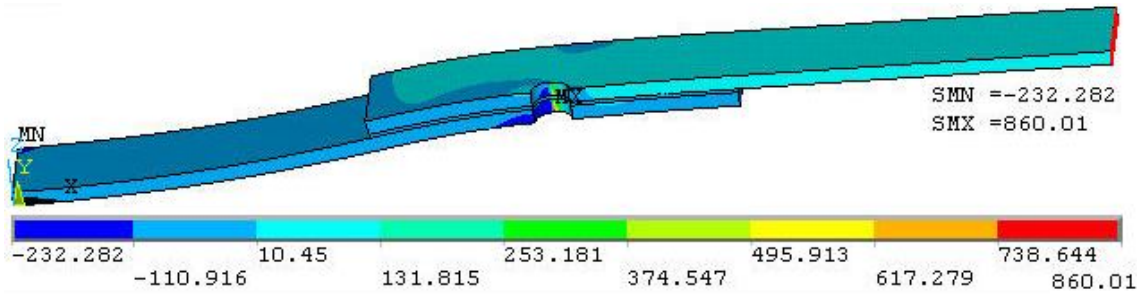
a)  $\tau_{yx}$ b)  $\tau_{yz}$ c)  $\tau_{xz}$ 

Şekil 6. Kayma gerilmelerinin maksimum değerleri.

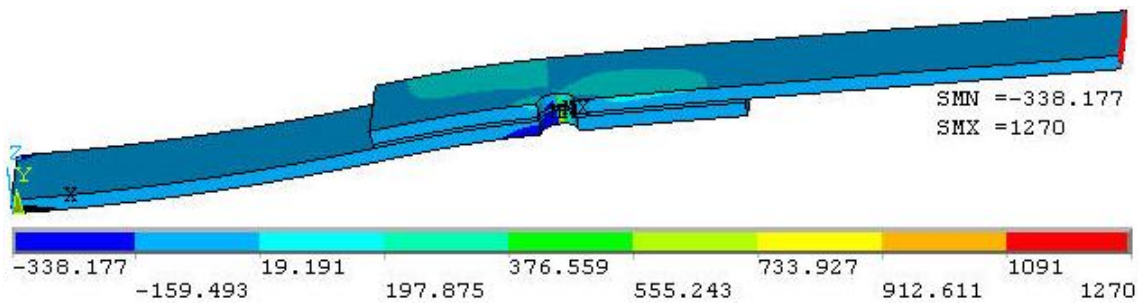
Yapıştırma ile birleştirilmiş bağlantılarda özellikle yapıştırıcı tabakası üzerinde meydana gelen gerilmelerin ve dağılımlarının bilinmesi oldukça önemlidir. Şekil 7'de  $\sigma_x$  normal gerilmelerinin tüm model üzerindeki dağılımı ki dağılımı çizilmiş olmakla birlikte, bu şekilden yapıştırıcı tabakası üzerindeki gerilmelerin değerleri ve dağılımları konusunda herhangi bir fikir elde edilememektedir. Dolayısıyla, yapıştırıcı tabakasının değerlendirilebilmesi için yapıştırıcı tabakası üzerindeki  $\sigma_x$  normal gerilmelerinin dağılımı Şekil 8'de gösterilmiştir. Bu şekle göre yapıştırıcı tabakası üzerinde meydana gelen basma ve çekme gerilmeleri sıcaklığa bağlı olarak artmaktadır. Bundan dolayı yapıştırıcı tabakası üzerinde, x-doğrultusunda hesaplanan en yüksek çekme ve basma gerilmelerinin değeri 41 ve -23 MPA olarak 110 °C uniform sıcaklık uygulandığında hesaplanmıştır.



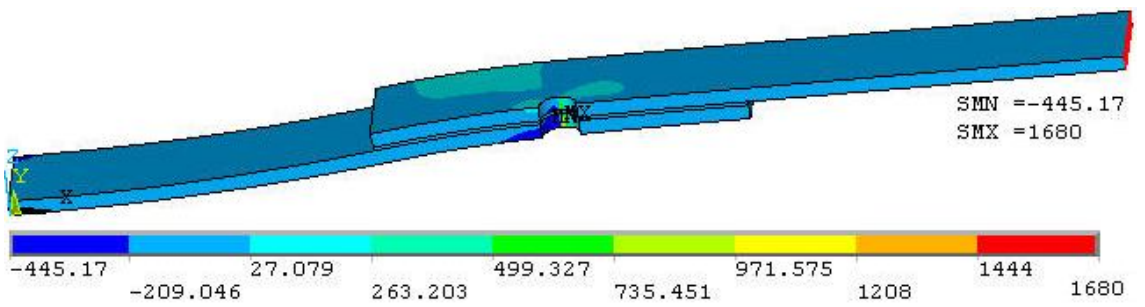
a) 50 °C



b) 70 °C

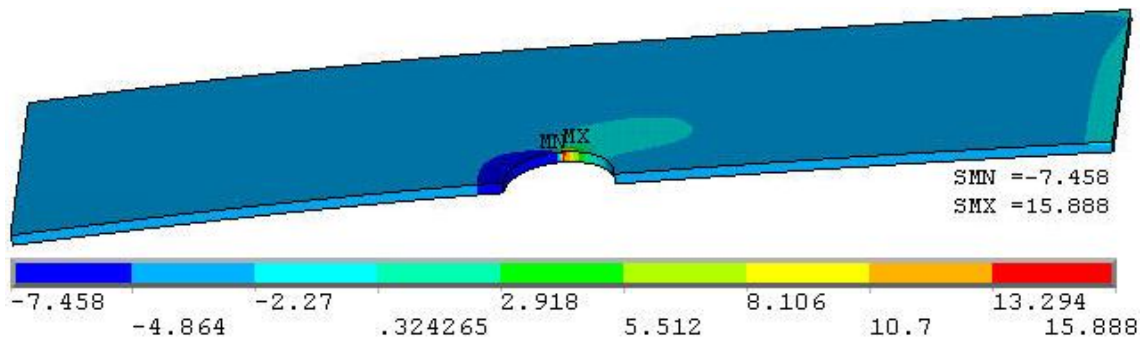


c) 90 °C

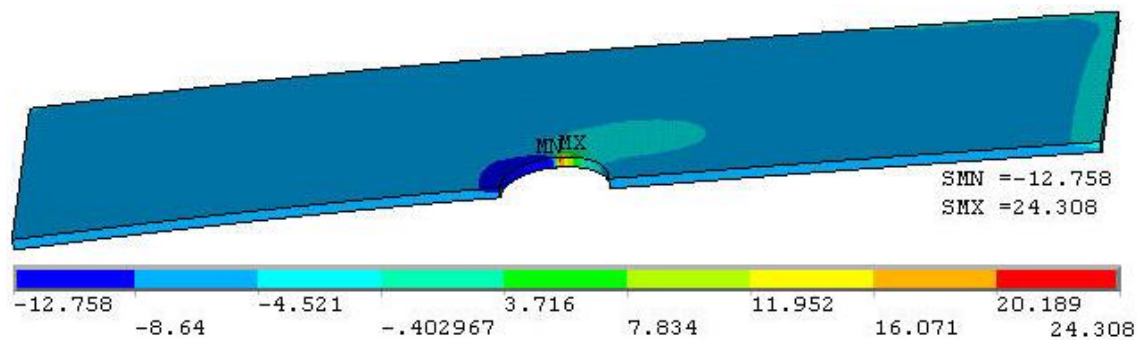


d) 110 °C

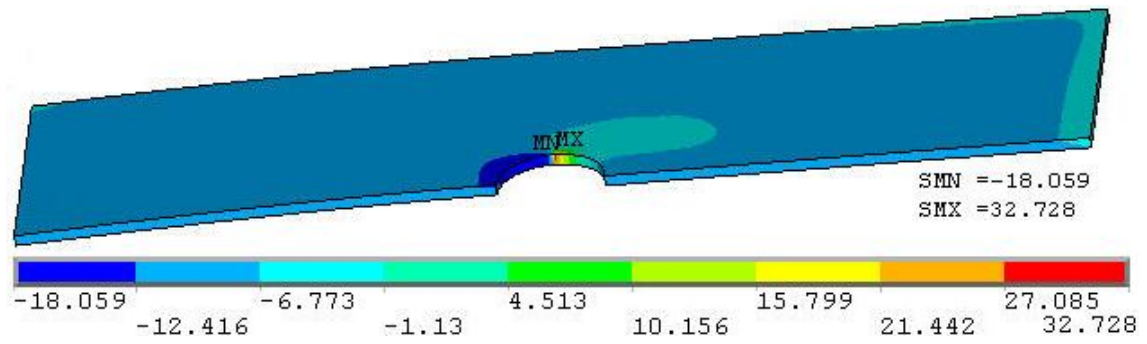
Şekil 7.  $\sigma_x$  normal gerilmelerinin tüm bağlantı üzerindeki dağılımı.



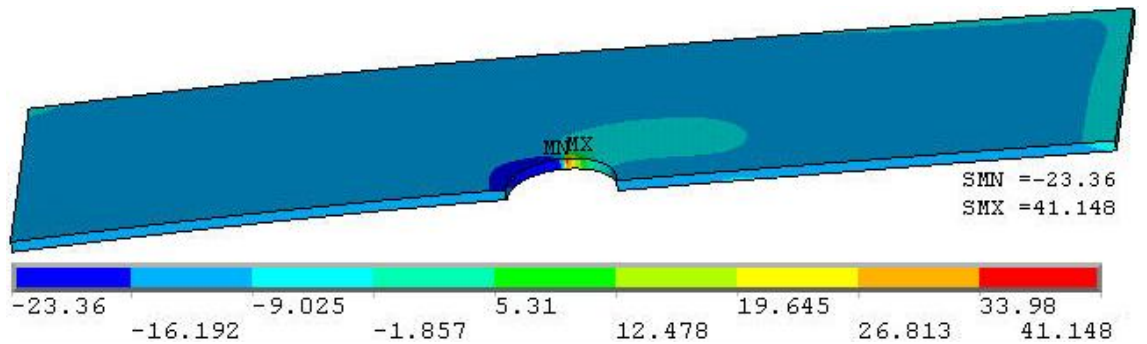
a) 50 °C



b) 70 °C



c) 90 °C



d) 110 °C

Şekil 8. Yapıştırıcı tabakası üzerindeki  $\sigma_x$  normal gerilmelerinin dağılımı.



Şekil 7 ve Şekil 8 karşılaştırıldığında, kompozit plakalar üzerinde meydana gelen gerilmelerin, epoksi yapıştırıcı üzerinde meydana gelen gerilmelerden çok daha büyük değerlerde olduğu anlaşılmıştır. Fakat gerilme yığılmasının benzer şekilde delik çevresinde olduğu görülmüştür. Ayrıca, pim baskı yaptığı yüzeyde benzer şekilde basma ve hemen yan yüzeyde ise çekme gerilmeleri oluşmuştur. Yapıştırıcı tabakası üzerinde genel olarak basma gerilmeleri meydana gelmiştir. Bunun nedeni, kompozit plakaların ve epoksi yapıştırıcının farklı ısıl genişleme katsayılarıdır (Tablo 1 ve 2). Kısaca açıklamak gerekirse, üniform sıcaklık etki ettirildiğinde, epoksi yapıştırıcı daha fazla genişleme göstermek istemesine rağmen, ısıl genişleme katsayıları daha düşük olan kompozit plakalar daha az genişlebildiklerinden, yapıştırıcı tabakasının genişlemesini engellemektedir. Bunun neticesinde de, yapıştırıcı tabakasının üzerinde genel olarak basma gerilmeleri meydana gelmektedir. Burada karıştırılmaması gereken durum ise, delik çevresinde meydana gelen yüksek değerlerdeki basma ve çekme gerilmeleridir. Yüksek değerlerdeki bu gerilmeler ise pim sınır şartından kaynaklanmaktadır. Çünkü x-doğrultusunda çekme etkisinde olan yapıştırıcı tabakasının, bu doğrultuda hareketine pim tarafından izin verilmemektedir. Dolayısıyla hareketi sınırlanan yapıştırıcı tabakasının delik çevresinde yüksek gerilmeler oluşmaktadır.

## REFERANSLAR

- [1]. Ataberk, N., Uyaner, M., Avcı, A., Koçak, S., Elasto-plastic Stress Analysis of Aluminum Metal-Matrix Composite Plate Under In-Plane Loading, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 23, 563-570, (2004).
- [2]. Tong, L., Mouritz, A.P., ve Bannister, M., *3D Fibre Reinforced Polymer Composites*, Elsevier, UK, (2002).
- [3]. Jones, R. M., *Mechanics of Composite Materials* (2th ed.). US: Taylor & Francis, (1999).
- [4]. Sen, F., Sayman, O., Kompozit levhalarda hasar analizi, *MakineTek Dergisi*, 9,180-182, (2010).
- [5]. Apalak, M.K., Aldas, K., ve Şen, F., Thermal non-linear stresses in an adhesively bonded and laser-spot welded single-lap joint during laser-metal interaction, *Journal of Materials Processing Technology*, 142, 1-19, (2003).
- [6]. Şen, F., Aldaş, K., Palancıoğlu, H., Thermal stress analysis of adhesively bonded single lap joints using FEM, *Technological Researches*, 2, 31-40, (2008).
- [7]. Aldaş, K., Palancıoğlu, H., Sen, F., Thermal stresses in adhesively bonded double lap joints by FEM, *Technological Researches*, 6/4, 55-64, (2009).
- [8]. Şen, F., Aldaş, K., Palancıoğlu, H., Çift örtü kullanılarak yapıştırılmış metal levhalarda ısıl gerilme analizi, *Fırat Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20, 649-659, (2008).
- [9]. Şen, F., An investigation of thermal elasto-plastic stress analysis of laminated hermoelastic composites with a circular hole under uniform temperature loading, *Science and Engineering of Composite Materials*, 13, 213-224, (2006).
- [10]. Şen, F., Elastic-Plastic Thermal Stresses in a Composite Disc with Multiple Holes, *Advanced Composite Letters*, 16/3, 95-103, (2007).
- [11]. Silva, L.F.M., ve Adams, R.D., Adhesive joints at high and low temperatures using similar and dissimilar adherents and dual adhesives, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 27, 216-226, (2007).
- [12]. Pakdil, M., Şen, F., An experimental study of glass-epoxy laminated composite pin-joints, *Technological Researches*, 3, 13-19, (2007).
- [13]. Şen, F., Pakdil, M., Sayman O., ve Benli, S., Experimental failure analysis of mechanically fastened joints with clearance in composite laminates under preload, *Materials & Design*, 29, 1159-1169, (2008).
- [14]. Sayman, O., Elastic-Plastic and Residual Stresses in Symmetric Aluminum Metal-Matrix Laminated Plates Under a Linear Thermal Loading, *Journal of Thermal Stresses*, 26, 391-406, 2003.
- [15]. ANSYS, Release 10.0 Documentation, Swanson Analysis System Inc., Houston, PA, USA.