

SICAKLIK DEĞİŞİMİNİN YAPIŞTIRMALI VE PİMLİ ALÜMİNYUM PLAKALARDAKİ GERİLMELER ÜZERİNE ETKİSİ

Faruk ŞEN*, Kemal ALDAŞ

Aksaray Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü 68100 Aksaray

Özet

Bu çalışmada, farklı üniform sıcaklıklar altındaki yapıştırılmış ve pim bağlantısı yapılmış karma bağlantılarda sıcaklığın gerilmelere etkisi incelenmiştir. Çözümde, üç boyutlu modeller oluşturularak sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Daha önceki birçok çalışmada, yapıştırıcı bağlantıları veya pim bağlantıları ayrı ayrı incelenmiş olmakla birlikte, bu çalışmada karma bir bağlantı analiz edilmiştir. Karma bağlantıya, çekme yükü ve sırasıyla 40, 50, 60 ve 70 °C üniform sıcaklık yükleri birlikte uygulanmıştır. Uygulanan üniform sıcaklıktaki artış miktarına bağlı olarak, gerilmelerin ve şekil değiştirmelerin önemli oranda arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yapıştırıcı bağlantısı, Pim bağlantısı, Karma bağlantılar, Sonlu elemanlar metodu, FEM

EFFECT OF TEMPERATURE CHANGING ON STRESSES IN ADHESIVELY BONDED AND PINNED ALUMINUM SHEETS

Abstract

In this study, the effect of temperature on stresses in hybrid joints designed with pinned joint and adhesively bonded joint was investigated. In solution, by created three dimensional models used with finite element method. In many previous studies, either adhesive joints or pinned joints were only investigated, but a hybrid joint was analyzed in this work. Tensile load and uniform temperature loads such as 40, 50, 60 and 70 °C were applied with together. Stresses and strains were increased by increasing applied uniform temperatures, strictly.

Keywords: Adhesive joint, Pinned joint, Hybrid joints, Finite element method, FEM

1.Giriş

Günümüzün tasarımları iş verimi ve emniyetini arttırmaya, boyutları ve ağırlığı küçültmeye, aynı zamanda malzeme ve imalat masraflarını azaltmayı amaçlamaktadır. Buna paralel olarak birleştirme tekniği de, sürekli bir şekilde yeni problemlerle karşı karşıya kalmaktadır [1, 2]. Bu zorunluluklardan dolayı, maliyeti düşük ve emniyetli bir yapıştırıcı bağlantısı tasarımı oldukça önem kazanmaktadır [3]. Uygulamada, yapıştırıcı bağlantılarının sadece mekanik yüklemeler altında değil, bununla birlikte ısıll yüklerle de maruz kaldığı anlaşılmıştır. Bu farklı yüklemelerden dolayı, yapıştırıcı bağlantısını meydana getiren yapıştırıcı tabakası ve yapıştırılan plakalar üzerinde önemli gerilmeler oluşmaktadır. Bunun nedeni, yapıştırıcı bağlantılarının genel olarak, birbirinden farklı ısıll ve mekanik özellikleri olan malzemelerden oluşmasıdır. Sonuç olarak yapıştırıcı bağlantısı üzerinde, bu farklı özellikler nedeniyle farklı şekil değiştirmeler meydana gelmektedir [4].

* E-posta: faruk.sen@deu.edu.tr

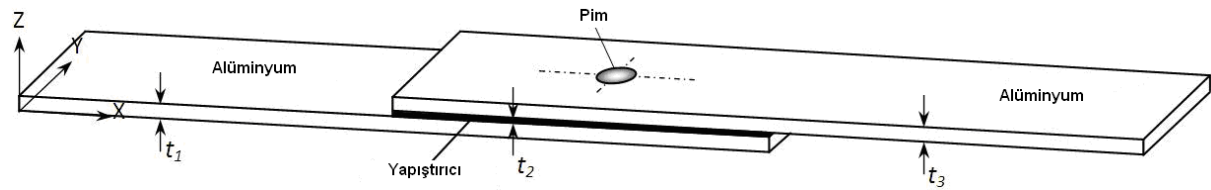
Bu duruma güzel bir örnek olarak, süpersonik bir hava taşıtında kullanılan yapıştırıcı bağlantısının, taşıtın uçuş esnasındaki yükseklik değişimlerinden kaynaklanan ve genellikle $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında değişen veya daha fazla miktarda oluşan sıcaklık değişimlerine dayanmasının arzu edilmesidir [5]. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş veya pimli bağlantılarda sonlu elemanlar metodundan (FEM) yararlanılmaktadır. Çünkü yapısal, katı ve akışkanlar mekaniği ile ilgili problemlerin analizlerinin yapılmasında, FEM yaklaşık olarak son kırk yıldır çok geniş bir uygulama alanı bulan bir metod haline gelmiştir [6].

Apalak ve ark.[7] yapıştırılmış ve nokta kaynağı yapılmış bağlantılarda sıcaklık dağılımı ve sıcaklık tesiriyle meydana gelen ısı gerilmeleri incelemiştir. Sıcaklık dağılımı geliştirdikleri Fortran programını kullanarak, ısı gerilmeleri ise ANSYS sonlu elemanlar yazılımını kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Sen [8] yapmış olduğu çalışmada, uniform sıcaklık yükü altındaki kompozit plaklarda meydana gelen ısı dağılımını sonlu elemanlar metodunu kullanarak hesaplamıştır. Termoplastik kompozit plakanın orta kısmına, delik modellenmiş ve ısı gerilmeleri üzerine, delik etkisi incelenmiştir. Sen yapmış olduğu bir başka çalışmada [9] üzerinde çok sayıda delik kompozit bulunan bir diskin ısı analizini gerçekleştirmiştir. Analiz elastik-plastik olarak gerçekleştirilmiş ve sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Sen ve ark.[10] tarafından yapılan deneysel çalışmada, pim ve cıvatalı bağlantılarda hasar analizini incelemiştir. Çalışmada tek pim bağlantısı kullanılmış ve pim ile delik arasında bir boşluk bırakılarak, boşluğun hasar davranışını gözlemlemek amacıyla testler yapılmıştır. Pakdil ve Sen yaptıkları deneysel çalışmada [11], cam lifleri ile takviye edilmiş epoksi matrisli kompozit levhalarda pim bağlantıları neticesinde oluşan hasar davranışları belirlenmiştir. Sen ve ark.[12], çift örtü kullanarak yapıştırılmış metal levhalarda meydana gelen ısı gerilmelerin araştırıldığı çalışmada sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda ya pim bağlantısı ya da yapıştırıcı bağlantısı ve değişik geometrilerin ve yükleme şartlarının araştırıldığı görülmektedir.

Bu çalışmada, pim bağlantısı ve yapıştırıcı bağlantısı birleştirilerek, karma bir bağlantı elde edilmiştir. Bu karma bağlantı üzerine hem çekme yükü hem de uniform sıcaklık yükü uygulanmıştır. Çekme yükü sabit tutularak, farklı uniform sıcaklıklar uygulanmış ve sıcaklık değişiminin gerilmeler üzerine etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

2. Malzeme ve Yöntem

Bu çalışmada, iki adet ince alüminyum levhanın öncelikle epoksi türü bir yapıştırıcı ile yapıştırıldığı ve yapıştırılan bu parçalara ayrıca pim bağlantısı yapıldığı varsayılmıştır (Şekil 1). Buradaki amaç, daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak, bir karma bağlantı oluşturulması ve modellenmesidir. Çünkü, daha önceki çalışmalarda, genel olarak ya yapıştırıcı bağlantıları ya da pimli bağlantılar ayrı ayrı çalışılmıştır. Tek bindirme bağlantısı yapılan alüminyum levhaların her birinin kalınlığı 2 mm, uzunlukları 100 mm ve genişlikleri 25 mm olacak şekilde modellenmiştir. Pim deliğinin çapı 5 mm olarak seçilmiştir.



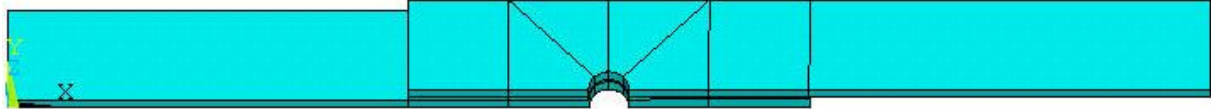
Şekil 1. Modellenen karma bağlantı

Çizelge 1. Alüminyum ve epoksi yapıştırıcının mekanik özellikleri

Özellik	Alüminyum	Epoksi
Yoğunluk, ρ (kg/m^3)	2707	1264
Özgül ısı, c_p (J/kgK)	896	1046
Isı iletim katsayısı, k (W/mK)	204	0.179
Elastiklik modülü, E (GPa)	66	3.3
Poisson oranı, ν	0.33	0.30
Isıl genişleme katsayısı, α ($\mu\text{m/m}^{\circ}\text{C}$)	23.6	43.3

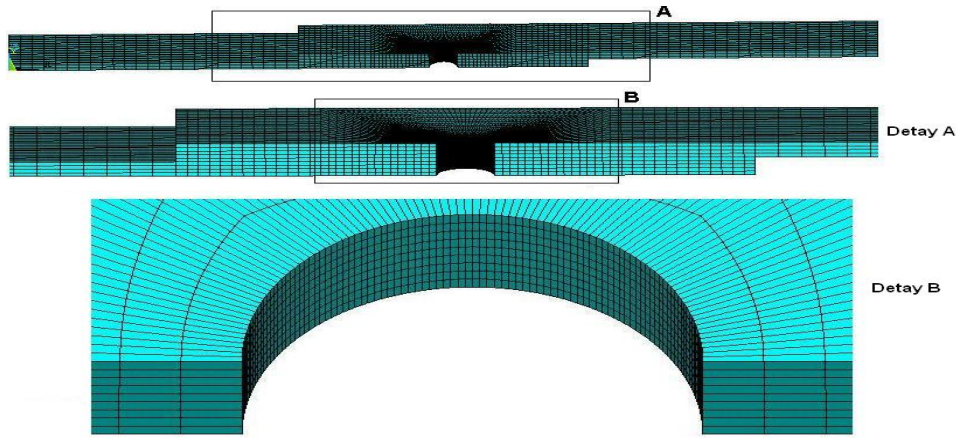
Böylece daha önceki tek pimli bağlantılar için yapılan deneysel çalışmalarda en iyi oran olarak önerilen $E/D=W/D=5$ pimli bağlantı oranı oluşturulmuştur [9-10]. Buradaki E/D oran, levhanın serbest ucunun pim delik

çapına oranı ve W/D oranı ise levha genişliğinin pim delik çapına oranıdır. Bununla birlikte, yapıştırıcı tabakasının kalınlığı 0.2 mm, uzunluğu 50 mm ve genişliği 25 mm olacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 2. Yarım model

Alüminyum levhaların ve epoksi yapıştırıcısının modelleme yapılırken kullanılan mekanik özellikleri Çizelge 1’de listelenmiştir [7]. Problemin çözümünde, son yıllarda birçok mühendislik programının kullanımında yaygın olarak tercih edilen sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Bu nedenle, ANSYS [13] sonlu elemanlar yazılımından yararlanılmıştır. ANSYS programı, birçok endüstriyel ve akademik çalışmada tercih edilen, olumlu sonuçların elde edilmesini sağlayan, gerek modellemede gerekse sonuçların irdelenmesi aşamasında sağladığı avantajları nedeniyle, tercih edilmektedir.



Şekil 3. Modelin sonlu elemanlar ağı yapısı ve delik çevresinin büyütülmüş görüntüsü

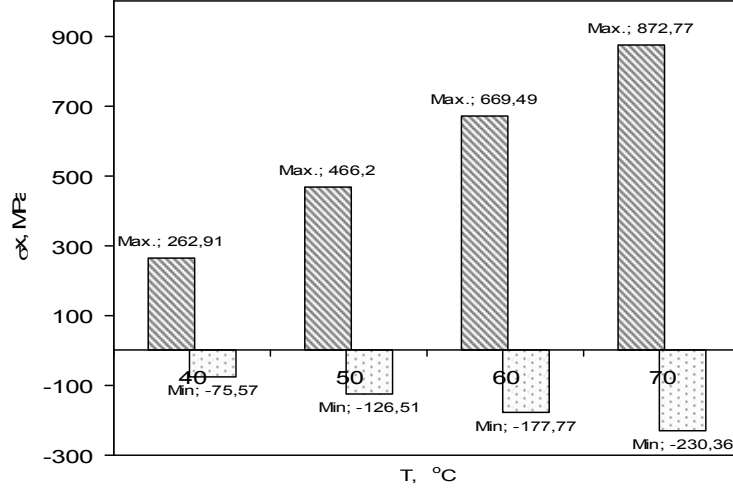
Tasarlanan, karma bağlantının y-eksenine göre simetrik olmasından dolayı, modelleme aşamasında tüm model yerine, simetri eksenine göre yarım modelleme yapılmıştır (Şekil 2). Bundaki temel amaç, modelleme sonrasında oluşturulan sonlu elemanlara bölme işlemi sonrasında, model üzerindeki düğüm noktası sayısı ve eleman sayısının azaltılmak istenmesidir. Böylece, düğüm noktası ve eleman sayısındaki önemli orandaki azalma sonrasında, çözüm süresi kısaltılmış ve daha küçük boyutlu sonuç dosyasının oluşması sağlanmıştır.

Modelin sonlu elemanlar yapısı Şekil 3’te gösterilmiştir. Bu şekilden açıkça görüldüğü üzere, oluşturulan yarım modelin tamamında ve delik çevresinde düzgün dörtgen elemanlardan meydana gelen bir sonlu eleman ağı yapısı meydana getirilmiştir. Bilindiği üzere, sonlu elemanlarla çözüm yönteminde ne derece düzgün bir ağı yapısı elde edilmesi, analiz sonrasında sonuçlarında gayet iyi bir şekilde yapılmasına olanak vermektedir. Bilinen bir diğer gerçekte, tasarlanan modelde var olan, pim bağlantısı gibi herhangi bir amaçla oluşturulmak zorunda kalınan bir deliğin, bu tür düzgün bir ağı yapısının oluşturulmasını oldukça zorlaştırmasıdır. Fakat bu çalışmada, arzu edilen bu iyi ve düzgün ağı yapısının, delik çevresi de dahil olmak üzere, modelin tamamında oluşması sağlanmıştır. Şekil 3’te Detay A ve Detay B şeklinde, elde edilen düzgün ağı yapısının daha iyi görülebilmesi amacıyla, büyütülmüş görüntüler verilmiştir. Bu detay görüntüler ile kenarlardan delik çevresine doğru yoğunlaşan düzgün ağı yapısı net bir şekilde görülmektedir.

Ağı yapısının oluşturulması işleminden sonra, modele çeşitli sınır şartları uygulanmıştır. İlk olarak, alt alüminyum levhanın serbest ucundan model tutularak ankastre hale getirilmiştir. Daha sonra, üst levhanın serbest ucundan ise -10 MPa bir basınç uygulanmıştır. Böylece bu serbest uçtan bir çekme yükü etki ettirilmiştir. Deliğin iç kısmına, pim sınır şartı etki ettirilmiştir. Böylelikle, modelde bir pim bağlantısı sınır şartı elde edilmiştir. Son olarak bağlantıya, sırasıyla 40, 50, 60 ve 70 °C biriform sıcaklıklar etki ettirilmiştir. Bu işlemle birlikte, modele hem çekme yükü hem de ısı yüklemesi gerçekleştirilmiştir. Özetlemek gerekirse, alüminyum levhalar önce birbirine epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılmış ve daha sonra pim bağlantısı yapılmak suretiyle, arzu edilen karma bağlantı elde edilmiştir. Bu karma bağlantıya da hem çekme yükü hem de ısı yükleri beraber uygulanmıştır.

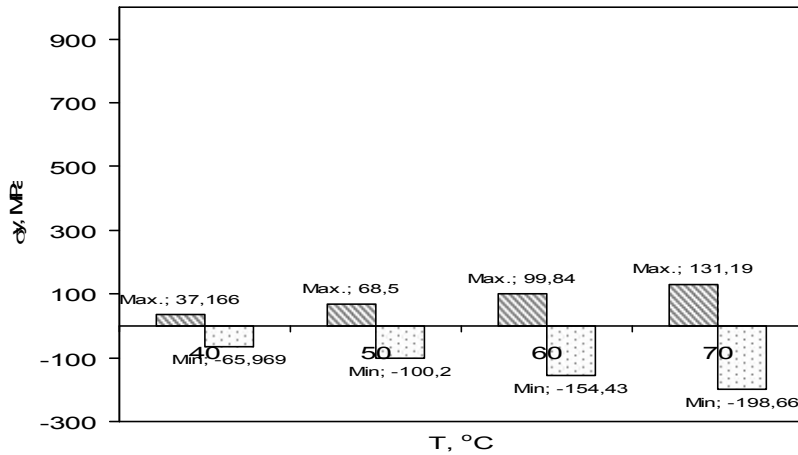
3.Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada; üç boyutlu model oluşturularak, sonlu elemanlar çözümü gerçekleştirilmiş, x, y ve z-yönlerinde oluşan gerilmeler hesaplanmıştır.



Şekil 4. x-yönünde oluşan maksimum ve minimum gerilmeler

Bu üç yön için hesaplanan gerilmelerin maksimum ile minimum değerleri, uygulanan üniform sıcaklık miktarına bağlı olarak sırasıyla Şekil 4, 5 ve 6'da gösterilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü üzere en büyük gerilmeler x-yönünde meydana gelmiştir Şekil 4. Bunun nedeni çekme yükünün x-yönünde uygulanması ve dolayısıyla bağlantının özellikle bu yönde daha fazla zorlanmış olmasıdır. Diğer yandan en küçük gerilmeler y-yönünde meydana gelmiştir Şekil 5. Çünkü bu yönde, sadece simetri şartından dolayı modelde bir zorlama meydana gelmiştir. z-yönünde oluşan gerilmeler (Şekil 6), x-yönünde oluşan gerilmelerden küçük olmakla birlikte, y- yönünde oluşan gerilmelerden daha büyük değerlerdedir. Bunun nedeni ise, özellikle ısıl yüklenme sonrasında, gerek alüminyum levhalar gerekse yapıştırıcı tabakalar her yönde olduğu gibi, z-yönünde de genişleme göstermek istemektedirler. Fakat, yapıştırıcının varlığından dolayı hem alüminyum levhalar hem de yapıştırıcı tabakası bağımsız hareket edememektedir. Bunun nedeni de, alüminyum ve epoksi yapıştırıcının farklı ısıl ve mekanik özellikleridir (Çizelge 1). Özellikle malzemelerin ısıl genişleme katsayılarının farklı olması yüksek gerilmeler oluşmasına neden olmaktadır.

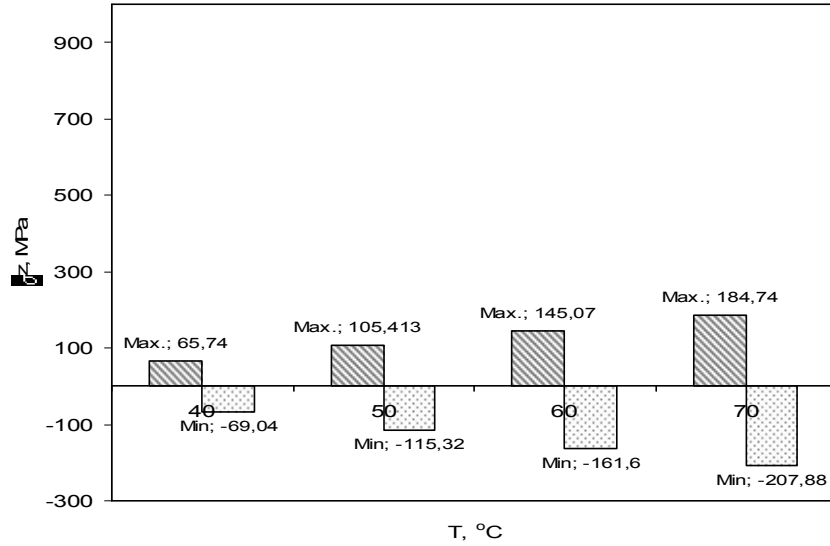


Şekil 5. y-yönünde oluşan maksimum ve minimum gerilmeler

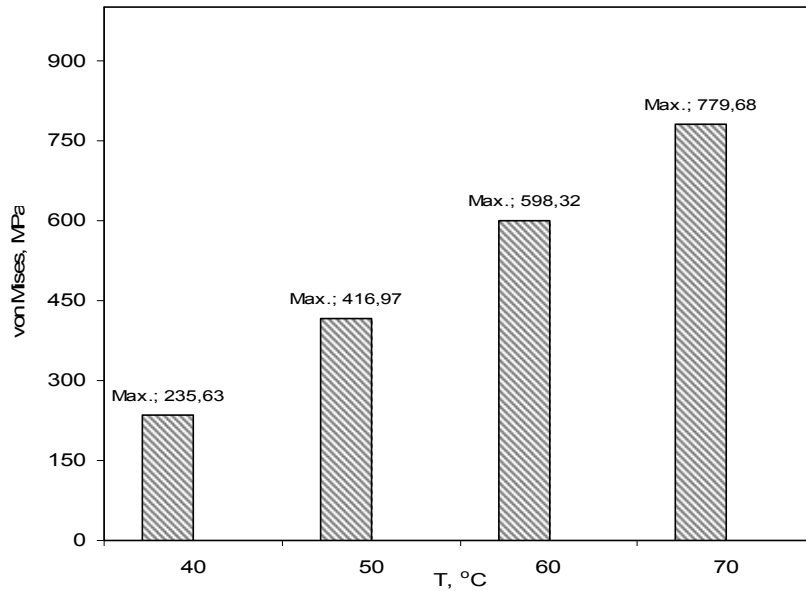
Şekil 4, 5 ve 6'dan görülen önemli sonuçlardan biriside, her yöndeki gerilmelerin üniform sıcaklık miktarındaki artışa bağlı olarak artış göstermesidir. Bir başka şekilde ifade etmek gerekirse, gerilmelerin sıcaklıkla birlikte düzgün bir artış yaptığı görülmektedir. Dolayısıyla en düşük gerilmeler, uygulanan en düşük üniform sıcaklık miktarı olan 40 °C'de meydana gelirken, en yüksek gerilmeler 70 °C'de oluşmaktadır. Her üç şekil dikkate alındığında en yüksek

çekme gerilmesi 872,77 MPa, 70 °C uniform sıcaklık yükü altında ve x-yönünde meydana gelmektedir. En düşük basma gerilmesi ise 65.96 MPa değerinde, 40 °C uniform sıcaklık yükü altında ve y-yönünde meydana gelmektedir. Elde edilen gerilmeler mutlak değerce karşılaştırıldığında, çekme gerilmelerinin basma gerilmelerinden daha yüksek olduğu görülmektedir.

Uygulanan her bir uniform sıcaklık yükü için elde edilen maksimum von Mises gerilmeleri, Şekil 7’de gösterilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi, von Mises gerilmeleri de sıcaklığa göre bir artış göstermektedir. En düşük değere sahip, maksimum von Mises gerilmesi 40 °C uniform sıcaklık yükü altında 235.63 MPa değerinde hesaplanırken, en yüksek değere sahip olan ise 70 °C uniform sıcaklık yükü altında ve 779.68 MPa olarak hesaplanmıştır.



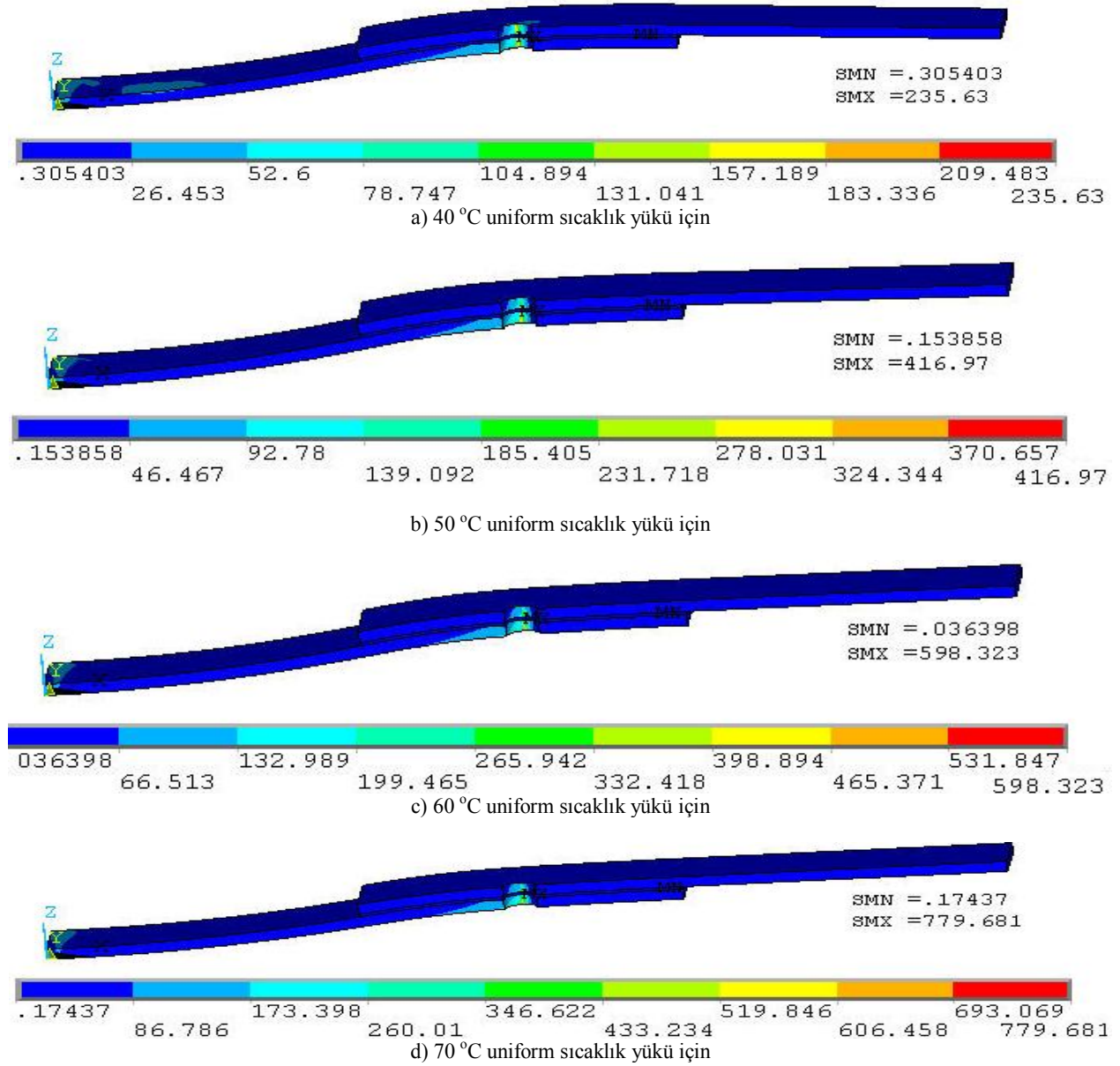
Şekil 6. z-yönünde oluşan maksimum ve minimum gerilmeler



Şekil 7. Maksimum von Mises gerilmeleri

ANSYS sonlu elemanlar yönteminin önemli avantajlarından bir tanesi de analiz sonucunda elde edilen gerilme dağılımlarının model üzerinde rahatlıkla görülebilmesidir. Bu avantaj ile model üzerindeki gerilmelerin hangi kısımlarda bir yığılma gösterdiği ve nerede maksimum değerlerin oluştuğu rahatlıkla görülebilmektedir. Bu nedenle, uygulanan her bir uniform sıcaklık yükü için elde edilen von Mises gerilme dağılımları, Şekil 8’de gösterilmiştir. Bu

şekilden, bağlantıda meydana gelen elastik şekil değişimi de açık bir şekilde görülmektedir. Şekil 7'de açıklandığı şekilde von Mises gerilmelerinin sıcaklığa göre artışı bu şekilden de rahatlıkla görülebilmektedir. Bununla birlikte, en yüksek gerilmelerin pim deliği civarında olduğu ve oluşabilecek hasarın bu bölgeden başlayarak oluşacağı sonucuna varılmaktadır. Şekil 8'den görülebilen önemli sonuçlardan biriside, yapıştırıcı tabakasında meydana gelen gerilmelerin, alüminyum plakalarda meydana gelen gerilmelerden daha küçük değerlerde olduğudur.



Şekil 8. Yarım model üzerinde von Mises gerilme dağılımları

4.Sonuçlar

Bu çalışmada, modellenen ve yapıştırıcı bağlantısı ile pim bağlantısından oluşan, karma bir bağlantının üç boyutlu sonlu elemanlar gerilme analizinde bazı önemli sonuçlar elde edilmiştir. İlk olarak, hem uniform sıcaklık hem de çekme yükü etkisindeki bağlantıda oluşan en yüksek gerilmeler çekme yönünde meydana gelmiştir. Uygulanan uniform sıcaklık miktarındaki artışa bağlı olarak, her yöndeki gerilmelerde ve von Mises gerilmelerinde önemli artışlar gözlenmiştir. Karma bağlantı yapılan alüminyum plakaların ve kullanılan epoksi türü yapıştırıcının, farklı ısıl ve mekanik özellikleri nedeniyle bağlantı üzerinde farklı formlarda ve yüksek değerlerde gerilmeler meydana gelmiştir. Özellikle, malzemelerin farklı ısıl genleşme katsayıları nedeniyle, uniform sıcaklık artışlarında daha büyük

gerilmeler oluşmasına neden olmuştur. Bir diğer önemli husus, gerilmelerin pim deliği civarında yoğunlaştığı ve gerilme yığılmalarının meydana geldiğidir. Dolayısıyla bağlantıda oluşabilecek muhtemel bir hasar öncelikle delik çevresinde meydana gelecektir.

Kaynaklar

- [1] F. Şen, “Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Bindirme Bağlantısının Lazer Nokta Kaynağı Esnasında Meydana Gelen Sıcaklık Dağılımı ve Isıl Gerilmelerin İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*. Niğde Üniversitesi. Niğde, (2001).
- [2] H. Palancıoğlu, F. Şen, K. Aldaş, “Yapıştırma Bağlantıları ve Uygulama Usulleri”, *MakineTek Dergisi*, Bileşim Yayıncılık, İstanbul, Ocak sayısı, 1: 38–42, (2008).
- [3] A. Derewonko, J. Godzimirski, K. Kosiuczenko, T. Niezgoda, and A. Kiczko, “Strength assessment of adhesive-bonded joints”, *Computational Materials Science*, 43: 157–164, (2008).
- [4] M.K. Apalak, R. Gunes, “On non-linear thermal stresses in an adhesively bonded single lap joint”, *Computers and Structures*, 80: 85–98, (2002).
- [5] Silva, L.F.M., Adams, R.D. “Joint strength predictions for adhesive joints to be used over a wide temperature range”, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 27: 362-379, (2007).
- [6] J. Mackerle, “Finite element analysis and simulation of adhesive bonding, soldering and brazing: A bibliography (1976–1996)”, *Modeling and Simulation in Materials Science and Engineering*, 5: 159–185, (1997).
- [7] M.K. Apalak, K. Aldaş and F. Şen, “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).
- [8] F. Şen, “An investigation of thermal elasto-plastic stress analysis of laminated thermoplastic composites with a circular hole under uniform temperature loading”, *Science and Engineering of Composite Materials*, 13, 213–224, (2006).
- [9] F. Şen, “Elastic-Plastic Thermal Stresses in a Composite Disc with Multiple Holes”, *Advanced Composite Letters*, 16/3, 95–103, (2007).
- [10] F. Şen, M. Pakdil, O. Sayman and S. Benli, “Experimental failure analysis of mechanically fastened joints with clearance in composite laminates under preload”, *Materials & Design*, 29, 1159–1169, (2008).
- [11] M. Pakdil, F. Şen, “An experimental study of glass-epoxy laminated composite pin-joints” *Technological Researches*, 3, 13–19, (2007).
- [12] F. Şen, K. Aldaş, H. Palancıoğlu, “Çift örtü kullanılarak yapıştırılmış metal levhalarda ısıl gerilme analizi”, *Fırat Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 20, 649–659, (2008).
- [13] ANSYS, Release 10.0 Documentation, Swanson Analysis System Inc., Houston, PA, USA.