



**T.C.  
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**SERİ ÇİFT PİM BAĞLANTISI UYGULANMIŞ VE  
YAPIŞTIRILMIŞ FARKLI METAL PLAKALARDA GERİLME  
ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Emrullah ÖZKAN**

**TEZ DANIŞMANI  
Prof. Dr. Kemal ALDAŞ**

**AKSARAY,2015**





**T.C.  
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**SERİ ÇİFT PİM BAĞLANTISI UYGULANMIŞ VE  
YAPIŞTIRILMIŞ FARKLI METAL PLAKALARDA GERİLME  
ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Emrullah ÖZKAN**

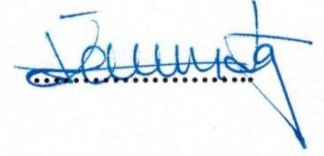
**TEZ DANIŞMANI  
Prof. Dr. Kemal ALDAŞ**

**AKSARAY,2015**

**AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**ONAY BELGESİ**

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 132304301 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, “Emrullah ÖZKAN”, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı –“SERİ ÇİFT PİM BAĞLANTISI UYGULANMIŞ VE YAPIŞTIRILMIŞ FARKLI METAL PLAKALARDA GERİLME ANALİZİ” başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Prof. Dr. Kemal ALDAŞ**  
Aksaray Üniversitesi



**Jüri Üyeleri :**      **Yrd. Doç. Dr. Murat DİLMEÇ**  
Necmettin Erbakan Üniversitesi



**Jüri Üyeleri :**      **Yrd. Doç. Dr. Semih BENLİ**  
Aksaray Üniversitesi



**Teslim Tarihi**      **: 04.12.2015**

**Savunma Tarihi**      **: 31.12.2015**

## **ÖNSÖZ**

Günümüzde teknolojinin ilerlemesiyle birlikte mühendislik uygulamalarında ilerleme ve gelişme kaydedilmektedir. Birleştirme ise mühendislik uygulamalarında karşımıza çıkan en önemli unsurlardan bir tanesidir.

Malzemeler çeşitli birleştirme metotları kullanılarak birleştirilmektedir. Bunlardan başlıcaları civata, pim, perçin, lehim, kaynak ve yapıştırma. Yapıştırma bağlantıları hafiflik sağlaması, maliyet tasarrufu ve farklı malzeme özelliklerine sahip parçaların birleştirilmesinde avantaj sağladığından, mekanik birleştirme yöntemlerinin yanı sıra kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

Bu çalışmada hem mekanik hem de yapıştırma bağlantısı birlikte kullanılmak suretiyle yapıştırmalı ve pimli bir karma bağlantı modeli oluşturulmuştur. Bu sayede her iki birleştirme yönteminin de yalnız olarak kullanıldığında ortaya çıkan olumsuz durumlar azaltılmaya çalışılmış ve birlikte kullanımdaki avantajlarından yararlanılmıştır. Bu çalışma ile farklı metal malzemelerin aynı birleştirme geometrisi ve aynı yükler altında nasıl mukavemet özellikleri sergilediği anlatılmaktadır.

## **DOĞRULUK BEYANI**

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ve bu eserleri her kullanışında alıntı yaparak yararlandığımı belirtir; bunu şerefimle doğrularım.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

## **TEŞEKKÜR**

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. Kemal ALDAŞ'a, bilgi ve yardımlarıyla katkı sağlayan hocam Yrd. Doç. Dr. Semih BENLİ'ye, yine kıymetli bilgilerinden faydalandığım ve yardımlarını esirgemeyen sevgili hocam Doç. Dr. Faruk ŞEN'e(Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi), manevi desteğiyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan değerli eşime ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

|                                                                   | <u>Sayfa</u> |
|-------------------------------------------------------------------|--------------|
| ÖNSÖZ .....                                                       | i            |
| DOĞRULUK BEYANI .....                                             | ii           |
| TEŞEKKÜR .....                                                    | iii          |
| İÇİNDEKİLER .....                                                 | iv           |
| ÖZET .....                                                        | vii          |
| ABSTRACT .....                                                    | viii         |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                             | ix           |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                           | xiii         |
| SİMGELER DİZİNİ .....                                             | xv           |
| 1. GİRİŞ .....                                                    | 1            |
| 1.1. Pim Bağlantıları .....                                       | 1            |
| 1.2. Yapıştırma Bağlantıları .....                                | 3            |
| 1.2.1. Yapıştırma ve yapıştırmanın temel kavramları .....         | 4            |
| 1.2.1.1. Adhezyon .....                                           | 4            |
| 1.2.1.2. Kohezyon .....                                           | 5            |
| 1.2.1.3. Van der Waals bağı .....                                 | 5            |
| 1.2.1.4. Kovalent bağ .....                                       | 5            |
| 1.2.2. Yapıştırma bağlantılarının avantaj ve dezavantajları ..... | 6            |
| 1.2.3. Yapıştırma bağlantı geometrisi .....                       | 7            |
| 1.2.4. Yapıştırıcı çeşitleri .....                                | 8            |
| 1.2.4.1. Kimyasal tipleri açısından yapıştırıcılar .....          | 9            |
| 1.2.4.2. Formları açısından yapıştırıcılar .....                  | 10           |
| 1.3. Karma Bağlantılar .....                                      | 13           |
| 1.4. Sonlu Elemanlar Metodu .....                                 | 14           |
| 2. LİTERATÜR ÖZETİ .....                                          | 16           |
| 2.1. Pim Bağlantıları .....                                       | 16           |
| 2.2. Yapıştırma Bağlantıları .....                                | 18           |
| 2.3. Karma Bağlantılar .....                                      | 23           |

|                                                                                                                  |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>3. MALZEME VE YÖNTEM .....</b>                                                                                | <b>27</b>  |
| 3.1. Problemin Tanımı .....                                                                                      | 27         |
| 3.2. Malzeme ve Özellikleri .....                                                                                | 27         |
| 3.3. Pimler İçin Uygun Delik Mesafesi Tespiti .....                                                              | 30         |
| 3.4. Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması .....                                                               | 30         |
| <b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>                                                                             | <b>36</b>  |
| 4.1. Pim Kullanımında Uygun Delik Mesafesi Tespiti İçin Elde Edilen Bulgular .....                               | 36         |
| 4.2. Çekme Yüğü Uygulanması Sonucu Elde Edilen Bulgular .....                                                    | 38         |
| 4.2.1. Çekme yüğü uygulanması sonucu karma bağlantının tamamı için elde edilen bulgular .....                    | 38         |
| 4.2.2. Çekme yüğü uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakası için elde edilen bulgular .....                        | 46         |
| 4.2.3. Çekme yüğü uygulanması sonucu karma bağlantıda delik bölgeleri için elde edilen bulgular .....            | 58         |
| 4.3. Çekme Yüğü ve Isıl Yüğü Uygulanması Sonucu Elde Edilen Bulgular .....                                       | 61         |
| 4.3.1. Çekme yüğü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu karma bağlantının tamamı için elde edilen bulgular .....    | 61         |
| 4.3.2. Çekme yüğü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu karma bağlantının tamamı için elde edilen bulgular ..... | 68         |
| 4.3.3. Çekme yüğü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakası için elde edilen bulgular .....        | 75         |
| 4.3.4. Çekme yüğü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakası için elde edilen bulgular .....     | 87         |
| 4.3.5. Çekme yüğü ve ısı yük uygulanması sonucu karma bağlantıda delik bölgeleri için elde edilen bulgular ..... | 99         |
| 4.4. Modellerin Delik Bölgelerinin Farklı Yüğü Altındaki Gerilmelerinin Karşılaştırılması .....                  | 105        |
| <b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>                                                                             | <b>120</b> |

|                        |            |
|------------------------|------------|
| <b>KAYNAKLAR .....</b> | <b>122</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>        |            |

## ÖZET

### SERİ ÇİFT PİM BAĞLANTISI UYGULANMIŞ VE YAPIŞTIRILMIŞ FARKLI METAL PLAKALARDA GERİLME ANALİZİ

Bu çalışmada seri çift pim bağlantısı uygulanmış ve epoksi türü bir yapıştırıcı ile yapıştırılmış farklı özelliklere sahip metal plakaların gerilme analizleri incelenmiştir. Analiz, modelleme ve çözüm için ANSYS sonlu elemanlar yazılımı kullanılmıştır. Modelleme üç boyutlu olarak yapılmıştır. Model üzerine çeşitli sınır şartları ve yüklemeler uygulanmıştır. İlk olarak üç boyutlu modele sadece çekme yükü uygulanmıştır, daha sonra çekme yükü ile birlikte farklı sıcaklık yükleri birlikte uygulanmıştır. Elde edilen veriler tüm model için ve delik çevreleri için ayrı ayrı incelenmiştir. Gerilmelerin delik bölgelerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Ayrıca malzemelerin farklı ısı genleşme katsayılarından ötürü modeller arasında gerilme farklılıkları meydana geldiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Pim bağlantısı, yapıştırma bağlantısı, karma bağlantı, gerilme analizi

## **ABSTRACT**

### **STRESS ANALYSIS OF APPLIED SERIES DOUBLE-PIN CONNECTION AND BONDED IN DIFFERENT METAL PLATES**

**In this study, stress analysis of metal plates having various characteristics which glued with epoxy adhesive and applied double series pin were investigated. ANSYS finite element software was used for analysis, modeling and solving operations. Modeling was performed and considered as three dimensions. Various boundary conditions and loads were applied on the model. Following the tensile load applying to model, a different temperature loads were added to the tensile load in analysis. The obtained data were analyzed separately for each model and hole circles. The intensive stress concentration has been found in the hole region. Additionally, coefficients of thermal expansion between the materials, different stresses were occurred.**

**Keywords:** Pin connection, bonding connection, hybrid joint, stress analysis

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

|                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1: Pim kullanım örnekleri .....                                                                                                     | 2  |
| Şekil 1.2: Pim tipleri .....                                                                                                                | 2  |
| Şekil 1.3: Yapışma ek yerindeki kuvvetler .....                                                                                             | 5  |
| Şekil 1.4: Yapıştırma bağlantı geometrileri .....                                                                                           | 8  |
| Şekil 3.1: Karma bağlantı model resmi .....                                                                                                 | 27 |
| Şekil 3.2: Karma bağlantı yarım model resmi .....                                                                                           | 31 |
| Şekil 3.3: ANSYS Solid 95 eleman tipi .....                                                                                                 | 32 |
| Şekil 3.4: ANSYS TARGE 170 ve CONTA 174 eleman tipleri .....                                                                                | 32 |
| Şekil 3.5: Modelin tamamının sonlu elemanlar ağ yapısı .....                                                                                | 33 |
| Şekil 3.6: Pim delikleri çevresi ağ yapısı görünümü .....                                                                                   | 34 |
| Şekil 3.7: Pim bağlantısı çevresi ağ yapısı görünümü .....                                                                                  | 34 |
| Şekil 3.8: Pim bağlantısı kontak yüzey görünüm .....                                                                                        | 35 |
| Şekil 4.1: Çekme yükü uygulanması sonucu karma bağlantının tamamı için maksimum normal gerilmelerin grafiksel gösterimi.....                | 40 |
| Şekil 4.2: Çekme yükü uygulanması sonucu karma bağlantının tamamı için Von Mises gerilmelerinin grafiksel gösterimi.....                    | 41 |
| Şekil 4.3: Çekme yükü uygulanması sonucu karma bağlantının tamamında oluşan x yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_x$ - MPa).....  | 42 |
| Şekil 4.4: Çekme yükü uygulanması sonucu karma bağlantının tamamında oluşan y yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_y$ - MPa).....  | 43 |
| Şekil 4.5: Çekme yükü uygulanması sonucu karma bağlantının tamamında oluşan z yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_z$ - MPa).....  | 44 |
| Şekil 4.6: Çekme yükü uygulanması sonucu karma bağlantının tamamında oluşan Von Mises gerilme dağılımları(MPa).....                         | 45 |
| Şekil 4.7: Çekme yükü uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakası için maksimum normal gerilmelerin grafiksel gösterimi.....                    | 48 |
| Şekil 4.8: Çekme yükü uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakası için maksimum kayma gerilmelerinin grafiksel gösterimi.....                   | 49 |
| Şekil 4.9: Çekme yükü uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakası için Von Mises gerilmelerinin grafiksel gösterimi.....                        | 50 |
| Şekil 4.10: Çekme yükü uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan x yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_x$ - MPa).....     | 51 |
| Şekil 4.11: Çekme yükü uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan y yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_y$ - MPa).....     | 52 |
| Şekil 4.12: Çekme yükü uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan z yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_z$ - MPa).....     | 53 |
| Şekil 4.13: Çekme yükü uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan xy yönündeki kayma gerilmesi dağılımları( $\tau_{xy}$ - MPa).....  | 54 |
| Şekil 4.14: Çekme yükü uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan yz yönündeki kayma gerilmesi dağılımları( $\tau_{yz}$ - MPa) ..... | 55 |
| Şekil 4.15: Çekme yükü uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan xz yönündeki kayma gerilmesi dağılımları( $\tau_{xz}$ - MPa) ..... | 56 |

|                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.16:</b> Çekme yükü uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan Von Mises gerilme dağılımları(MPa) .....                                           | 57 |
| <b>Şekil 4.17:</b> Gerilmelerin tanımlandığı doğrultular .....                                                                                                     | 58 |
| <b>Şekil 4.18:</b> x yönündeki normal gerilmelerin( $\sigma_x$ - MPa) maksimum değerleri .....                                                                     | 60 |
| <b>Şekil 4.19:</b> Von Mises gerilmelerinin(MPa) maksimum değerleri .....                                                                                          | 60 |
| <b>Şekil 4.20:</b> Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu maksimum normal gerilmelerin grafiksel gösterimi .....                                            | 63 |
| <b>Şekil 4.21:</b> Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu Von Mises gerilmelerinin grafiksel gösterimi .....                                                | 63 |
| <b>Şekil 4.22:</b> Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu x yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_x$ - MPa) .....                                   | 64 |
| <b>Şekil 4.23:</b> Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu y yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_y$ - MPa) .....                                   | 65 |
| <b>Şekil 4.24:</b> Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu z yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_z$ - MPa) .....                                   | 66 |
| <b>Şekil 4.25:</b> Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu Von Mises gerilme dağılımları(MPa) .....                                                          | 67 |
| <b>Şekil 4.26:</b> Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu tüm modelde maksimum normal gerilmelerin grafiksel gösterimi .....                             | 70 |
| <b>Şekil 4.27:</b> Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu tüm modelde Von Mises gerilmelerinin grafiksel gösterimi .....                                 | 70 |
| <b>Şekil 4.28:</b> Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu x yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_x$ - MPa) .....                                | 71 |
| <b>Şekil 4.29:</b> Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu y yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_y$ - MPa) .....                                | 72 |
| <b>Şekil 4.30:</b> Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu z yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_z$ - MPa) .....                                | 73 |
| <b>Şekil 4.31:</b> Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu Von Mises gerilme dağılımları(MPa) .....                                                       | 74 |
| <b>Şekil 4.32:</b> Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında maksimum normal gerilmelerin grafiksel gösterimi .....                    | 77 |
| <b>Şekil 4.33:</b> Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında kayma gerilmelerinin grafiksel gösterimi .....                            | 78 |
| <b>Şekil 4.34:</b> Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında Von Mises gerilmelerinin grafiksel gösterimi .....                        | 79 |
| <b>Şekil 4.35:</b> Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan x yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_x$ -MPa) .....     | 80 |
| <b>Şekil 4.36:</b> Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan y yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_y$ -MPa) .....     | 81 |
| <b>Şekil 4.37:</b> Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan z yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_z$ -MPa) .....     | 82 |
| <b>Şekil 4.38:</b> Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan xy yönündeki kayma gerilmesi dağılımları( $\tau_{xy}$ - MPa) ..... | 83 |
| <b>Şekil 4.39:</b> Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan yz yönündeki kayma gerilmesi dağılımları( $\tau_{yz}$ - MPa) ..... | 84 |

|                                                                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 4.40:</b> Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan xz yönündeki kayma gerilmesi dağılımları( $\tau_{xz}$ - MPa) .....     | 85  |
| <b>Şekil 4.41:</b> Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan Von Mises gerilme dağılımları(MPa) .....                               | 86  |
| <b>Şekil 4.42:</b> Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında maksimum normal gerilmelerin grafiksel gösterimi .....                     | 89  |
| <b>Şekil 4.43:</b> Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında kayma gerilmelerinin grafiksel gösterimi .....                             | 90  |
| <b>Şekil 4.44:</b> Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında Von Mises gerilmelerinin grafiksel gösterimi .....                         | 91  |
| <b>Şekil 4.45:</b> Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan x yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_x$ -MPa) ...        | 92  |
| <b>Şekil 4.46:</b> Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan y yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_y$ -MPa) ...        | 93  |
| <b>Şekil 4.47:</b> Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan z yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_z$ -MPa) ...        | 94  |
| <b>Şekil 4.48:</b> Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan xy yönündeki kayma gerilmesi dağılımları ( $\tau_{xy}$ - MPa) ..... | 95  |
| <b>Şekil 4.49:</b> Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan yz yönündeki kayma gerilmesi dağılımları ( $\tau_{yz}$ - MPa) ..... | 96  |
| <b>Şekil 4.50:</b> Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan xz yönündeki kayma gerilmesi dağılımları ( $\tau_{xz}$ - MPa) ..... | 97  |
| <b>Şekil 4.51:</b> Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan Von Mises gerilme dağılımları(MPa) .....                            | 98  |
| <b>Şekil 4.52:</b> Gerilmelerin tanımlandığı doğrultular ve dönme açısı .....                                                                                          | 99  |
| <b>Şekil 4.53:</b> Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucunda x yönündeki normal gerilmelerin( $\sigma_x$ - MPa) maksimum değerleri .....                        | 101 |
| <b>Şekil 4.54:</b> Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucunda Von Mises gerilmelerinin(MPa) maksimum değerleri .....                                             | 102 |
| <b>Şekil 4.55:</b> Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucunda x yönündeki normal gerilmelerin( $\sigma_x$ - MPa) maksimum değerleri .....                     | 104 |
| <b>Şekil 4.56:</b> Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucunda Von Mises gerilmelerinin(MPa) maksimum değerleri .....                                          | 104 |
| <b>Şekil 4.57:</b> Model 1 için A-C boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmeler( $\sigma_x$ - MPa) .....                                                       | 105 |
| <b>Şekil 4.58:</b> Model 1 için A-C boyunca meydana gelen Von Mises gerilmeleri(MPa) .....                                                                             | 106 |
| <b>Şekil 4.59:</b> Model 1 için D-F boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmeler( $\sigma_x$ - MPa) .....                                                       | 106 |
| <b>Şekil 4.60:</b> Model 1 için D-F boyunca meydana gelen Von Mises gerilmeleri(MPa) .....                                                                             | 107 |

|                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 4.61:</b> Model 2 için A-C boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmeler( $\sigma_x$ - MPa) ..... | 108 |
| <b>Şekil 4.62:</b> Model 2 için A-C boyunca meydana gelen Von Mises gerilmeleri(MPa) .....                       | 108 |
| <b>Şekil 4.63:</b> Model 2 için D-F boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmeler( $\sigma_x$ - MPa) ..... | 109 |
| <b>Şekil 4.64:</b> Model 2 için D-F boyunca meydana gelen Von Mises gerilmeleri(MPa) .....                       | 109 |
| <b>Şekil 4.65:</b> Model 3 için A-C boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmeler( $\sigma_x$ - MPa) ..... | 110 |
| <b>Şekil 4.66:</b> Model 3 için A-C boyunca meydana gelen Von Mises gerilmeleri(MPa) .....                       | 111 |
| <b>Şekil 4.67:</b> Model 3 için D-F boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmeler( $\sigma_x$ - MPa) ..... | 111 |
| <b>Şekil 4.68:</b> Model 3 için D-F boyunca meydana gelen Von Mises gerilmeleri(MPa) .....                       | 112 |
| <b>Şekil 4.69:</b> Model 4 için A-C boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmeler( $\sigma_x$ - MPa) ..... | 113 |
| <b>Şekil 4.70:</b> Model 4 için A-C boyunca meydana gelen Von Mises gerilmeleri(MPa) .....                       | 113 |
| <b>Şekil 4.71:</b> Model 4 için D-F boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmeler( $\sigma_x$ - MPa) ..... | 114 |
| <b>Şekil 4.72:</b> Model 4 için D-F boyunca meydana gelen Von Mises gerilmeleri(MPa) .....                       | 114 |
| <b>Şekil 4.73:</b> Model 5 için A-C boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmeler( $\sigma_x$ - MPa) ..... | 115 |
| <b>Şekil 4.74:</b> Model 5 için A-C boyunca meydana gelen Von Mises gerilmeleri(MPa) .....                       | 116 |
| <b>Şekil 4.75:</b> Model 5 için D-F boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmeler( $\sigma_x$ - MPa) ..... | 116 |
| <b>Şekil 4.76:</b> Model 5 için D-F boyunca meydana gelen Von Mises gerilmeleri(MPa) .....                       | 117 |
| <b>Şekil 4.77:</b> Model 6 için A-C boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmeler( $\sigma_x$ - MPa) ..... | 118 |
| <b>Şekil 4.78:</b> Model 6 için A-C boyunca meydana gelen Von Mises gerilmeleri(MPa) .....                       | 118 |
| <b>Şekil 4.79:</b> Model 6 için D-F boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmeler( $\sigma_x$ - MPa) ..... | 119 |
| <b>Şekil 4.80:</b> Model 6 için D-F boyunca meydana gelen Von Mises gerilmeleri(MPa) .....                       | 119 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                                                                                                                      | <u>Sayfa</u> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Çizelge 1.1: Bazı yapıştırıcıların mukavemet değerleri .....                                                                                                                                         | 12           |
| Çizelge 3.1: Kullanılacak malzeme kombinasyonları .....                                                                                                                                              | 28           |
| Çizelge 3.2: Metal plakaların malzeme özellikleri .....                                                                                                                                              | 29           |
| Çizelge 3.3: Yapıştırıcı malzeme özellikleri .....                                                                                                                                                   | 29           |
| Çizelge 3.4: Delik mesafeleri .....                                                                                                                                                                  | 30           |
| Çizelge 3.5: Eleman tipi seçimi için kıyaslama değerleri .....                                                                                                                                       | 31           |
| Çizelge 4.1: Delik mesafesi belirlenmesinde modellerin tamamında oluşan $\sigma_x$ gerilme(MPa) dağılımı değerleri.....                                                                              | 36           |
| Çizelge 4.2: Delik mesafesi belirlenmesinde modellerin tamamında oluşan $\sigma_y$ gerilme(MPa) dağılımı değerleri.....                                                                              | 37           |
| Çizelge 4.3: Delik mesafesi belirlenmesinde modellerin tamamında oluşan $\sigma_z$ gerilme(MPa) dağılımı değerleri.....                                                                              | 37           |
| Çizelge 4.4: Delik mesafesi belirlenmesinde modellerin tamamında oluşan Von Mises gerilme(MPa) dağılımı değerleri.....                                                                               | 38           |
| Çizelge 4.5: Çekme yükü uygulanması sonucu karma bağlantının tamamı için her bir modelde hesaplanan gerilmelerin(MPa) maksimum değerleri.....                                                        | 39           |
| Çizelge 4.6: Çekme yükü uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakası için her bir modelde hesaplanan normal gerilmelerin ve Von Mises gerilmelerinin (MPa) maksimum değerleri.....                        | 46           |
| Çizelge 4.7: Çekme yükü uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakası için her bir modelde hesaplanan kayma gerilmelerinin (MPa) maksimum değerleri.....                                                   | 47           |
| Çizelge 4.8: Delik bölgeleri için her bir modelde hesaplanan gerilmelerin(MPa) maksimum değerleri.....                                                                                               | 58           |
| Çizelge 4.9: Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucunda karma bağlantının tamamı için her bir modelde hesaplanan gerilmelerin(MPa) maksimum değerleri.....                                     | 61           |
| Çizelge 4.10: Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucunda karma bağlantının tamamı için her bir modelde hesaplanan gerilmelerin(MPa) maksimum değerleri.....                                 | 68           |
| Çizelge 4.11: Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucunda yapıştırıcı tabakası için her bir modelde hesaplanan normal gerilmelerin ve Von Mises gerilmelerinin(MPa) maksimum değerleri.....     | 75           |
| Çizelge 4.12: Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakası için her bir modelde hesaplanan kayma gerilmelerinin (MPa) maksimum değerleri .....                                 | 76           |
| Çizelge 4.13: Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucunda yapıştırıcı tabakası için her bir modelde hesaplanan normal gerilmelerin ve Von Mises gerilmelerinin(MPa) maksimum değerleri ..... | 87           |
| Çizelge 4.14: Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakası için her bir modelde hesaplanan kayma gerilmelerinin (MPa) maksimum değerleri .....                              | 88           |

|                                                                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Çizelge 4.15:</b> Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucunda tanımlanan doğrultular için her bir modelde hesaplanan gerilmelerin(MPa) maksimum değerleri.....    | 100 |
| <b>Çizelge 4.16:</b> Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucunda tanımlanan doğrultular için her bir modelde hesaplanan gerilmelerin(MPa) maksimum değerleri..... | 102 |

## SİMGELER DİZİNİ

|                               |                                                                    |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| <b>E</b>                      | Elastisite Modülü (GPa)                                            |
| <b><math>\nu</math></b>       | Poisson Oranı                                                      |
| <b><math>\alpha</math></b>    | Isıl Genleşme Katsayısı ( $\mu\text{m}/\text{m}^{\circ}\text{C}$ ) |
| <b><math>\rho</math></b>      | Yoğunluk ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )                                |
| <b><math>\sigma_x</math></b>  | x eksenî yönündeki normal gerilme                                  |
| <b><math>\sigma_y</math></b>  | y eksenî yönündeki normal gerilme                                  |
| <b><math>\sigma_z</math></b>  | z eksenî yönündeki normal gerilme                                  |
| <b><math>\tau_{xy}</math></b> | xy eksenleri yönündeki kayma gerilmesi                             |
| <b><math>\tau_{yz}</math></b> | yz eksenleri yönündeki kayma gerilmesi                             |
| <b><math>\tau_{xz}</math></b> | xz eksenleri yönündeki kayma gerilmesi                             |
| <b><math>\theta</math></b>    | Dönme açısı                                                        |

## 1. GİRİŞ

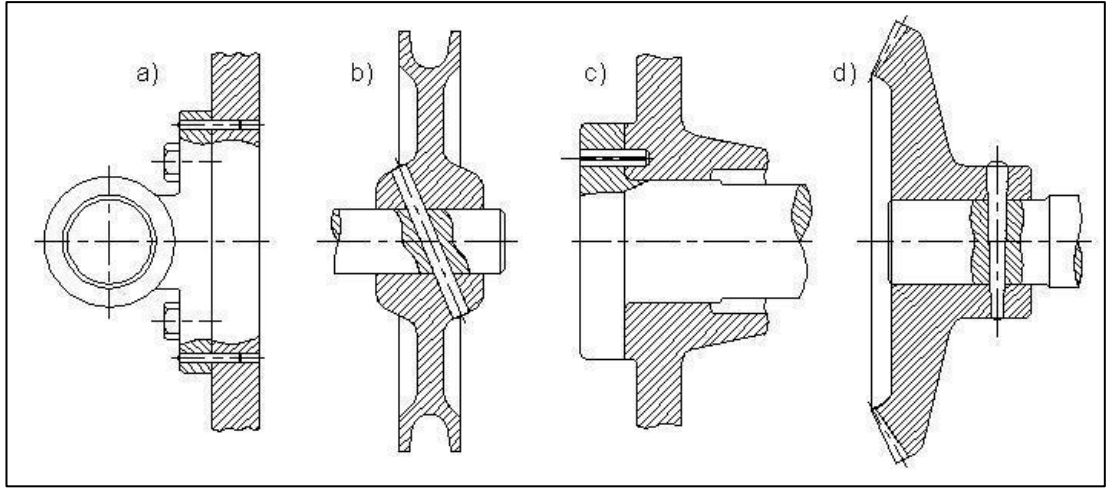
Geçmişten günümüze insanlık daha iyiyi arama ve mevcut olanı geliştirme gayretindedir. Bunun bir sonucu olarak da çoğu alanda bir yenilenme ve gelişim gözlemlendiği söylenebilir. Bu yenilenme ve gelişimin sağlanmasındaki ilk adım tasarımıdır. Son yıllarda hızla değişen ve gelişen tasarımların ortak amacı insan hayatını kolaylaştırmaktır. Bununla birlikte tasarım yapılırken, kullanılacağı alanda verimi artırmak ve maliyeti azaltmak da büyük önem taşımaktadır. Bunun bir sonucu olarak her alanda olduğu gibi birleştirme yöntemleri de ihtiyaçlara cevap vermek adına sürekli bir gelişme ve yenilenme içerisinde.

Birleştirme yöntemleri genel olarak çözülebilen ve çözilemeyen bağlantılar olarak iki başlık altında toplanabilir. Çözülebilen bağlantılara, civata bağlantıları, pim bağlantıları, perno bağlantıları ve kama bağlantıları örnek verilebilir. Çözilemeyen bağlantılar grubunda ise kaynak, perçin, lehim, sıkı geçme ve yapıştırma bağlantıları sayılabilir.

Çalışmamızda kullanılması bakımından pim bağlantıları ve yapıştırma bağlantıları başlıkları detaylı olarak aşağıda anlatılmıştır.

### 1.1. Pim Bağlantıları

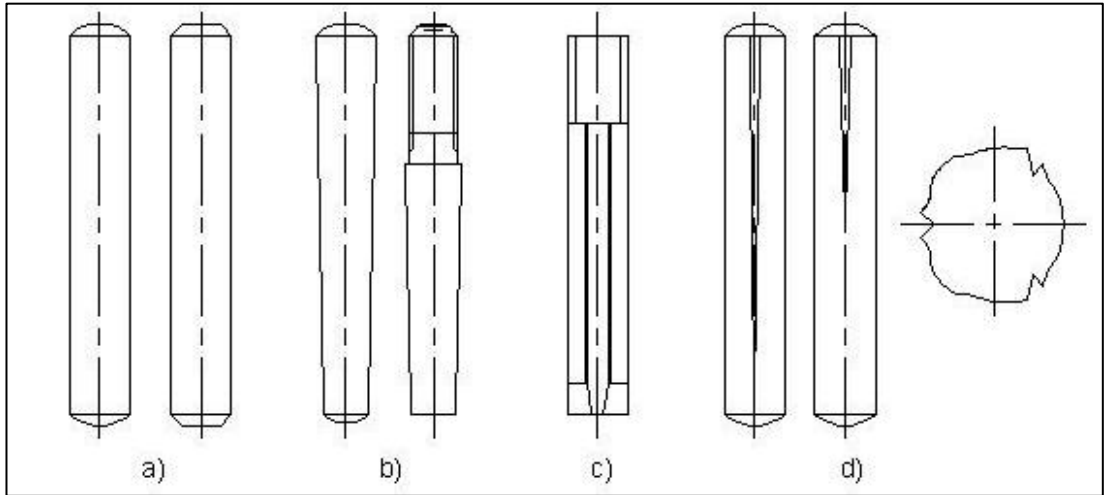
Pimler eskiden beri bilinen ve kullanılan makina elemanlarıdır. Elemanların temas yüzeyi silindir yüzeyleridir ve yük bu silindirin eksenine dik yönde etki eder. Pimler bağlama, merkezleme ve emniyet elemanları olarak kullanılırlar (Akkurt, 2000). Örneğin Şekil 1.1(a)'deki pim merkezleme; Şekil 1.1(b)'deki pim bağlama; Şekil 1.1(c)'deki pim emniyet-gergi; Şekil 1.1(d)'deki pim ise tespit pimi olarak görevini yerine getirmektedir (Babalık, 2009).



**Şekil 1.1.** Pim kullanım örnekleri (Akkurt, 2000).

Pimler şekillerine göre 4 çeşide ayrılabilir:

- 1) Silindirik Pimler (Şekil 1.2-a)
- 2) Konik Pimler (Şekil 1.2-b)
- 3) Elastik Pimler (Şekil 1.2-c)
- 4) Çentikli Pimler (Şekil 1.2-d)



**Şekil 1.2.** Pim tipleri (Akkurt, 2000).

Silindirik pimler, toleranslı olarak monte edilir ve bundan dolayı pim deliklerinin işlenmesinde hassasiyet önem arz etmektedir. Çentikli pimlerde bu hassasiyet istenmez bu nedenle deliklerin işlenmesi kaba olarak yapılabilir. Çentikli pimler kısmen veya tüm uzunluğu boyunca çentikli olabilirler, genellikle kesitin çevresinde 120° aralıklarla 3 çentik bulunur. Elastik pimlerde de hassasiyet aranmadığından işlenmesi kolaydır. Konik pim delikleri beraber delindikten sonra raybalanmalıdır.

Bu nedenle diğer pim çeşitlerine göre maliyeti biraz yüksek olmasına rağmen sökülüp takılır olması ve gevşemeye karşı emniyetli oluşu avantajlarıdır (Akkurt, 2000).

Pimlerin imalatında malzeme olarak genellikle civatalarda kullanılan malzemeler kullanılır. Pratik olarak en çok soğuk çekilmiş St 50 ve St 60 kullanılır. Özel durumlarda bakır, pirinç ve alüminyumdan yapılmış pimler de kullanılabilir (Akkurt, 2000).

## **1.2. Yapıştırma Bağlantıları**

Sistemleri hafif hale getirerek enerji tüketimini azaltan yapıştırma bağlantılarının kullanımı günümüzde giderek yaygınlık kazanmaktadır.

Tarihi M.Ö. 4000 yıllarına kadar uzanan yapıştırıcıların kullanımı günümüzde hızla yayılmaktadır. Endüstride yapıştırıcılar, fiziksel ve kimyasal özelliklerinden faydalanılarak birçok alanda birleştirme elemanı olarak kullanılmaya başlanmıştır (Şekercioğlu, 2001).

Yapıştırıcı, parçaların yüzeylerine uygulandığında parçaları birbirine bağlama özelliğine sahip olan malzeme olarak tanımlanabilir. Yapıştırıcılar farklı şekilde sınıflandırılabilir. Fiziksel hallerine göre sınıflandırmaya, film yapıştırıcılar, tek bileşenli sıvı yapıştırıcılar ve iki bileşenli sıvı yapıştırıcılar; kimyasal formlarına göre sınıflandırmaya, epoksi yapıştırıcılar, siyanoakrilit yapıştırıcılar ve polikloropen yapıştırıcılar; yapışma şartlarına göre sınıflandırmaya, çözücü ile katılaşan yapıştırıcılar, soğuk katılaşan yapıştırıcılar ve erimiş durumda uygulanıp soğuduğunda sertleşen yapıştırıcılar; malzeme özelliklerine göre sınıflandırmaya ise ahşap yapıştırıcılar, kağıt yapıştırıcılar ve metal yapıştırıcılar örnek gösterilebilir (Kinloch, 1987).

Malzemelerin yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmesinin, mekanik bağlantı elemanları ile birleştirmeye kıyasla önemli avantajları bulunmaktadır. Bağlantı elemanı olarak yapıştırıcı kullanılması yük ve gerilimin birleşme yüzeyine yayılmasını sağlayarak statik ve dinamik yüklerin düzgün dağılmasını sağlar. Böylece gerilimin belli noktalarda yoğunlaşması engellenmiş olur. Bu sebeplerden dolayı yapıştırıcı ile birleştirilmiş bir bağlantı, bükülme ve titreşime mekanik yöntemle yapılan bağlantıdan daha dayanıklıdır (Demirgen, 2007).

### 1.2.1. Yapıştırma ve yapıştırmanın temel kavramları

Yapıştırıcı ve yapışma kavramlarını daha iyi anlayabilmek için standartlarda geçen tanımlamalara göz atmak gerekir (Şekercioğlu, 2001). ASTM standardında, konu ile ilgili olan tanımlardan bazıları aşağıda verilmiştir (ASTM, 1993).

**Yapıştırıcı:** Yüzey teması ile malzemeleri bir arada tutabilen madde olarak tanımlanmıştır.

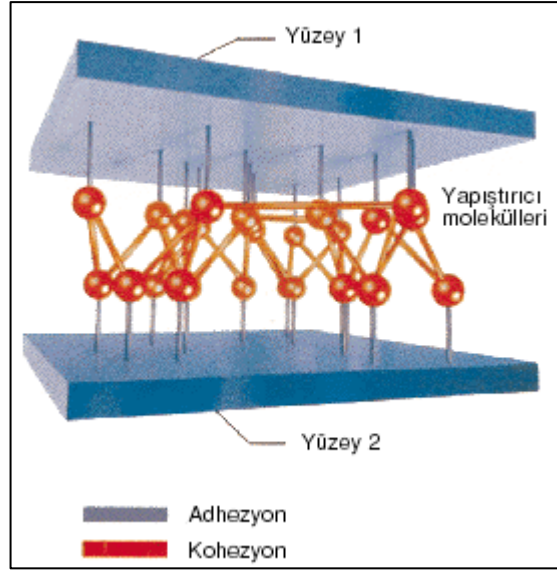
**Yapıştırılacak Malzeme:** Diğer malzemeye yapıştırıcı ile yapıştırılacak olan malzemedir.

**Yapıştırma Bağlantısı:** İki malzemenin yapıştırıcı tabakası ile birleştirilip bir arada tutulması durumudur.

Yapışma olayı ise, yapıştırıcı ile yapıştırılan madde arasında oluşan adhezyon ve yapıştırıcının kendi içinde meydana gelen kohezyon kuvvetleri neticesinde oluşan fiziksel ve kimyasal bir olaydır (Solmaz, 2008).

#### 1.2.1.1. Adhezyon

“Adhezyon” iki maddenin temas yüzeylerindeki yapışma kuvvetidir. Yapışmadaki en önemli etken “Van der Waals kuvvetleri” olarak adlandırılan çekim ve yüzeye tutunma fiziksel kuvvetleridir. Yapıştırıcının işlenmiş yüzeylerdeki gözeneklere tam olarak temas edememesi bu moleküller arası kuvvetleri oldukça zayıflatır. Bundan dolayı yapıştırıcının yüzey gözeneklerine tamamen nüfuz etmesi ve bütün yüzeye yayılması gerekir. Dolayısıyla, yapıştırmanın kuvveti hem yapıştırıcının yüzeye tamamen yayılmasına hem de yüzeyin yapışma özelliklerine bağlıdır. Belirli bir yapıştırıcı yüzey gerilimi için yüzeye yayılma, yapıştırıcı sürülen yüzeyin yüzey gerilimine ve yapıştırıcının viskozitesine bağlıdır. Yüzeyin kirli olması da yayılmayı olumsuz yönde etkiler. Şekil 1.3’de yapıştırma bölgesinde oluşan kuvvetleri göstermektedir. (Loctite, 1998).



**Şekil 1.3.** Yapışma ek yerindeki kuvvetler (Loctite, 1998).

#### **1.2.1.2. Kohezyon**

“Kohezyon” yapıştırıcı molekülleri arasında bulunan ve yapıştırıcıyı bir arada tutan kuvvettir. Yapıştırıcının polimerizasyonu aşamasında meydana gelen bu olay, yapıştırıcıyı meydana getiren kütle bileşenlerinin meydana gelen kimyasal (bağ kuvvetleri) ve fiziksel (Van der Waals kuvvetleri) kuvvetler tarafından bir arada tutulması olayıdır. (Solmaz, 2008).

#### **1.2.1.3. Van der Waals bağı**

Küçük veya büyük bir molekül için ele alındığında, molekülün farklı yüklerine etki eden pozitif ve negatif kutuplar bulunabilir. Bu olay neticesinde her molekülde küçük mıknatıslar ortaya çıkar. Böylece mıknatıslarda olduğu gibi, çeşitli dipoller elektromanyetik kuvvetlerle birbirlerine bağlanmaktadır. Bu arada oluşan bağlara Van der Waals bağı denmektedir. Bu oluşan Van der Waals bağları diğer bağlar kadar kuvvetli değildir (Solmaz, 2008).

#### **1.2.1.4. Kovalent bağ**

Atomlar arasında elektron köprüleri kurularak kenetlenmeleri durumunda oluşan bağlara Kovalent Bağ denir. Burada oluşan kuvvetler, ortak kullanılan elektronların kendi eksenleri etrafında birbirlerine zıt yönde dönmesinden dolayı ortaya çıkan elektromanyetik kuvvetlerdir (Solmaz, 2008).

### **1.2.2. Yapıştırma bağlantılarının avantaj ve dezavantajları**

Yapıştırma bağlantılarının avantaj ve dezavantajları üzerine yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Yapılan bu çalışmalarda yapıştırma bağlantılarının avantaj ve dezavantajları aşağıdaki şekilde ortaya çıkmıştır.

#### ***Avantajları:***

- Düzgün gerilme dağılımı ve daha büyük yük taşıma alanı temin edilmesi,
- Herhangi bir şekilde ince ve kalın malzemelerin birleştirilmesi,
- Benzer veya farklı malzemelerin birleştirilmesi,
- Yorulma ve tekrarlı yük dayanımı,
- Düzgün yüzeyli birleştirme olanağı,
- Değişik ortamlara karşı bağlantıda yalıtım olanağı sağlaması,
- Birçok teknolojiye kolaylıkla uygulanabilir olması,
- Isı ve elektrik iletkenliğine karşı yalıtkan olarak kullanılabilmesi,
- Yüksek darbe ve titreşim sönümlene kabiliyeti,
- Dikkat çekici dayanım/ağırlık oranı,
- Mekanik birleştirme yöntemlerinden daha kolay ve ucuz olması,
- Sıkı geçme bağlantılarında dayanımı yükseltmesi,
- Sert ve yumuşak olan iki ayrı parçanın hasar görmeden birleşmesini sağlaması,
- Sızdırmazlık sağlaması,
- Klasik bağlantı şekillerine göre daha hafif olması,
- Civata, perçin gibi elemanlarca oluşturulan yüzey bozuklukları yapıştırıcı ile birleştirildiği zaman sistemde düzelme elde edilmesi,
- Yapıştırıcı kullanılması ile tüm yapışma alanı boyunca düzenli bir gerilme elde edilmesi,
- Talaşlı imalat maliyetlerinin azalması ve daha kaliteli üretim gerçekleştirilebilmesi (İşcan, 2007).

#### ***Dezavantajları:***

- Parçaların birleştirilmesinin zor olması, yüzey hazırlığı ve temizliği gerektirmesi,
- Yapıştırıcının mekanik özellikleri zaman ve sıcaklığa bağımlı olması,
- Düşük soyulma ve darbe dayanımı,
- Bağlantı ya da yapıştırıcının performansı ile ilgili verilerdeki eksiklikler,
- Yapıştırma bağlantısının ömrünün maruz kaldığı çevresel etkilere bağımlı olması,

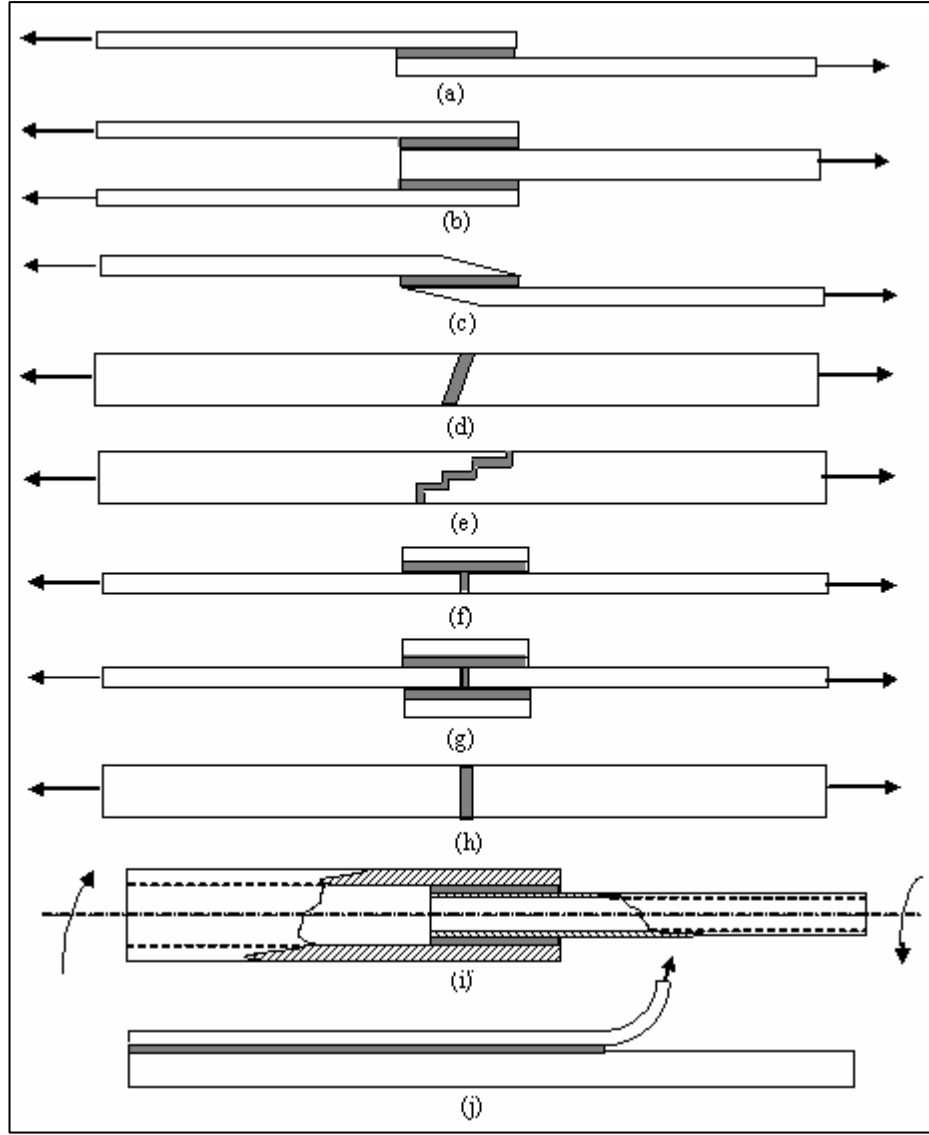
- Metal yapıştırıcıların en önemli dezavantajı sıcaklık etkisidir. Metal yapıştırıcılar belirli bir geçiş sıcaklığına sahiptirler. Bu sıcaklık değerleri üzerinde mukavemet değerlerinin oldukça düşmesi,
- Ortam şartlarını uygun hale getirmek ve uygulama ekipmanlarını temin etmenin maliyeti bir hayli yükseltmesi,
- Yapıştırıcının uygulanan yüzeye tam olarak yayılmamasından kaynaklı mukavemet kayıpları,
- Nemli ve kimyasal ortamların bazı yapıştırıcıların özelliklerini kötü yönde etkilemesi ve mukavemeti düşürmesi (İşcan, 2007).

### **1.2.3. Yapıştırma bağlantı geometrisi**

Yapıştırma bağlantısının istenilen mekanik özellikleri taşıyabilmesi için aşağıdaki şartların sağlanmış olması gerekmektedir. Bunlar;

- Birleştirmenin konstrüksiyon içindeki konumu ve uygun yükleme durumu,
- Yapıştırılacak yüzeylerin uygun yöntemle temizlenmesi,
- Uygun yapıştırıcı türünün seçimi ve uygulanması,
- Yapıştırma bağlantı geometrisinin uygun seçimidir.

Bir yapıştırma bağlantısı çoğu zaman birçok farklı türden gerilmeye maruz kalacaktır. Bu sebeple yapıştırma bağlantısında bağlantının hangi gerilmelere maruz kalacağı önceden hesaplanmalı, bu gerilmelere uygun yapıştırıcı türü ve bağlantı geometrisi tercih edilmelidir. Şekil 1.3 'de bağlantı geometrilerinin en yaygın olanları gösterilmektedir.



**Şekil 1.4.** Yapıştırma bağlantı geometrileri (Adams, 1989).

- |                                     |                                              |
|-------------------------------------|----------------------------------------------|
| a) Tek taraflı bindirme bağlantısı  | f) Tek taraflı takviyeli aln alına bağlantı  |
| b) Çift taraflı bindirme bağlantısı | g) Çift taraflı takviyeli aln alına bağlantı |
| c) Pahlı bindirme bağlantısı        | h) Aln alına bağlantı                        |
| d) Açılı bindirme bağlantısı        | i) Silindirik bindirmeli bağlantı            |
| e) Kademeli bağlantı                | j) Soyulmalı bağlantı                        |

#### 1.2.4. Yapıştırıcı çeşitleri

Yapıştırıcılar özellikleri bakımında iki ana başlık altında toplanmıştır:

- 1) Kimyasal tipleri açısından yapıştırıcılar,
- 2) Formları açısından yapıştırıcılar.

#### **1.2.4.1. Kimyasal tipleri açısından yapıştırıcılar**

Bu yapıştırıcılar 2 gruba ayrılırlar:

- 1) Kimyasal reaksiyon ile sertleşen yapıştırıcılar,
- 2) Fiziksel değişim ile sertleşen yapıştırıcılar.

#### **Kimyasal reaksiyon ile sertleşen yapıştırıcılar**

Günümüzde kullanılan en dayanıklı yapıştırıcılar kimyasal reaksiyon ile sertleşen yapıştırıcılar olup bunlara yapısal yapıştırıcılar da denir. Bu yapıştırıcılar çeşitlerine göre aşağıda sıralanmıştır.

#### ***Epoksiler***

Epoksi reçine ile sertleştiriciden oluşan bu yapıştırıcılardan son derece kuvvetli yapışmalar elde edilir. Çok farklı tipte malzemeleri yapıştırmakta kullanılırlar. Kullanılmadan önce epoksi reçine ve sertleştiricinin karıştırılarak uygulanması gerekir. Tek bileşenli, iki bileşenli ve film olarak üç farklı formdadırlar.

#### ***Anaerobikler***

Hava ile temasın ortadan kalkmasıyla sertleşirler, emniyet ve sızdırmazlık amacı ile kullanılırlar. Akrilik olarak bilinen sentetik reçine esaslıdırlar. Yüksek kesme mukavemetine sahip olan bu yapıştırıcılar 150°C'ye kadar yapıştırılmalarda kullanılırlar.

#### ***Akrilikler***

Yapıştırıcı ve aktivatörden oluşan bu yapıştırıcılar ayrı yüzeylere tatbik edilerek uygulanır. Bazı koşullarda yapıştırıcı ve aktivatör dışarıda karıştırıldıktan sonra yüzeylere tatbik edilir. Yüzeyler birbirine temas ettiğinde kürleşme başlar.

#### ***Siyanoakrilatlar***

Yapıştırılacak olan yüzeylerin üzerindeki ve havadaki nem ile reaksiyona girerek sertleşirler. İyi bir yapışma için yapıştırılacak yüzeylerin temiz olması ve yapıştırıcının ince tabaka halinde sürülmesi gerekmektedir. Çok çabuk kuruyan bu yapıştırıcılar genellikle çabuk kuruması gereken veya küçük parçaların yapıştırılmasında kullanılmaktadır.

#### ***Poliüretanlar***

Genellikle reçine ve katalizör olmak üzere iki bileşen halinde bulunmalarıyla beraber tek bileşen hali de mevcuttur. Tek bileşen olanlar yüzey nemi ile reaksiyona girerek, iki bileşen olanlar katalizör yardımıyla sertleşirler. Yüksek kohezyon dayanımı ve darbelere karşı dayanıklı olan bu yapıştırıcılar aşınmaya karşı da oldukça dayanıklıdır.

### ***Silikonlar***

Silikon yapıştırıcılar sınırlı basınç gerektirmeyen yerlerde kullanılırlar ve geniş bir sıcaklık aralığında çalışabilirler. Zincir yapısı çok esnek olup soyulma mukavemetleri yüksektir. Özellikle sızdırmazlık istenen yerlerde, makina imalatında, baskılı devre kartlarının kaplanması ve sıhhi tesisat işlerinde kullanılmaktadır.

### ***Fenolikler***

Doğal bileşiklerinden elde edilmeyen ilk yapıştırıcı fenoliklerdir. Düşük sıcaklıklarda oldukça serttir ve yüksek sıcaklıklarda ısıtılarak kürleşir. Ahşaplarda ve tabakalı sistemlerde özellikle tercih edilirler, çevresel etkenlere karşı dayanıklıdır (Brandon ve Kaplan, 1997).

### **Fiziksel değişim ile sertleşen yapıştırıcılar**

Yapısal olmayan yapıştırıcılar da denilen bu yapıştırıcılar kimyasal reaksiyon ile sertleşen yapıştırıcılar ile karşılaştırıldıklarında daha dayanıksızdır, ayrıca yapışma dayanımları düşüktür. Yaygın olarak kullanılan çeşitleri aşağıda verilmiştir.

### ***Sıcak eriyikler***

Polimer esastır. Hafif yüklere maruz kalacak şekilde dizayn edilmiş yapıları, hızlıca birleştirmek için kullanılırlar.

### ***Kauçuk yapıştırıcılar***

Eriyik esaslı kauçuk yapıştırıcılar, su ortamının ya da çözülmenin kaybolması ile sertleşirler. Yüke maruz kalan yapışmalar için uygun değildir.

### ***PVA'lar (Polyvinyl Acetates)***

Ağaç ve karton gibi gözenekli malzemelerin yapışması için uygundur. Endüstride oldukça geniş kullanım alanına sahiptirler.

### ***Basınç gerektirmeyen yapıştırıcılar***

Etiket için uygun olan bu tip yapıştırıcılar yüke maruz kalan yapışmalar için tercih edilmemelidir. Sertleşmemelerine rağmen çevre şartları durumlarını değiştirebilir (İşcan, 2007).

### **1.2.4.2. Formları açısından yapıştırıcılar**

Modern yapıştırıcılar kullanılmadan önce film, macun, sıvı ve toz gibi çeşitli formlarda olabilirler. Bunlar;

### ***Macun tipi yapıştırıcılar***

Metal ya da kompozit parçaları birleştirmede kullanılan iki bileşenli ve oda sıcaklığında sertleşen yapıştırıcılardır. Bu yapıştırıcıların yüksek viskoziteye sahip olanları mükemmel yakın yapışma sağlar. Bu yapıştırıcılar 80°C'nin altında

sertleşirler. Yapıştırıcı kalınlığının 0,1-0,2 mm. arasında olması yapışma için yeterlidir. Düşey yüzeylerde veya düşey yapıştırılmalarda kullanılmazlar.

#### ***Film tipi yapıştırıcılar***

Bu yapıştırıcılar metalik ya da kompozit malzemelerin yapıştırılmasında kullanılan epoksi esaslı malzemelerdir. Çok geniş kullanım alanına sahiptirler.

#### ***Düşük viskoziteli yapıştırıcılar***

İki parçalı epoksi reçine esaslı olan bu yapıştırıcılar, oda sıcaklığında ya da yüksek sıcaklıklarda (120-180°C) sertleşirler. Genel kullanım alanları petek yapıları veya sandviç levhaların kenarlarını doldurmak içindir. Kuruma süresi içinde köpürmez ve genişlemezler (Kodakoğlu, 1996).

#### ***Düşük yoğunluklu yapıştırıcılar***

Düşük yoğunluklu yapıştırıcılar, iki bileşenli ve oda sıcaklığında sertleşebilen yapıştırıcılardır. Bu yapıştırıcılar, boşluk yada ayrılma tipi dolgu tamiratında, kompozit kumaş tabakalarının yapıştırılması gibi yerlerde kullanılırlar. Karışma oranı yanlış yapılırsa yapıştırıcının uygulama süresi göreceli olarak düşer.

#### ***Reçineler***

Kompozit parçaların birleştirilmesi ve dolgu amacıyla çok farklı yerlerde kullanılan iki bileşenli düşük viskoziteli epoksi reçineleridir.

#### ***Köpükler***

Kuruma süresi boyunca genişleyen epoksi esaslı yapıştırıcılardır. Bu yapıştırıcılar birleşmelerdeki boşlukları doldurur ve birleşen parçaların tümünü birbirine kuvvetlice yapıştırır. Köpük kalınlığının en az 2 mm. olması istenir.

Bazı yapıştırıcıların oda sıcaklığındaki mukavemet değerleri Çizelge 1.1'de verilmiştir (Şekercioğlu, 2001).

**Çizelge 1.1.** Bazı yapıştırıcıların mukavemet değerleri.

| Yapıştırıcı Türü     | Ürün Adı                     | Statik Kesme Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------------------|----------------------------------------------|
| <b>Anaerobik</b>     | Loctite 638                  | 20-35                                        |
|                      | Loctite 641                  | 7-16                                         |
|                      | Loctite 648                  | 16-30                                        |
|                      | Loxael 83-21                 | 25-35                                        |
|                      | Loxael 83-31                 | 15-25                                        |
|                      | Loxael 83-33                 | 17-22                                        |
|                      | Weicon AN 305-77             | 15-25                                        |
|                      | Weicon AN 302-25             | 3-5                                          |
|                      | Permabond HM160              | 21                                           |
|                      | Permabond HM128              | 10,4                                         |
|                      | Permabond MM115              | 10,4                                         |
| <b>Siyanoakrilat</b> | Loctite 401                  | 12-25                                        |
|                      | Loctite 480                  | 12-25                                        |
|                      | Loxael INSTANT 14            | 20-25                                        |
|                      | Loxael INSTANT 43            | 15-20                                        |
|                      | Permabond 910                | 21                                           |
|                      | Permabond 2010               | 14                                           |
|                      | Permabond 792                | 10,5                                         |
| <b>Epoksi</b>        | Loctite 3609                 | 15-32                                        |
|                      | Permabond E04                | 21                                           |
|                      | Permabond E01                | 4,9                                          |
|                      | Weicon A                     | 21                                           |
|                      | 3M AF-163-2M                 | 39                                           |
|                      | Ciba Redux 203               | 15                                           |
|                      | Ciba Araldit DIY             | 15                                           |
|                      | Dexter Hysol 901 NA/B-1      | 24                                           |
| <b>Akrilik</b>       | Loctite 312                  | 4-11                                         |
|                      | Loctite 330                  | 15-30                                        |
|                      | Permabond F246               | 28                                           |
| <b>Fenolik</b>       | 3M AF 31 Nitril Fenolik      | 15,1                                         |
|                      | Ciba Redux 775 Vinil Fenolik | 37                                           |
| <b>Silikon</b>       | Loxael 28-10                 | 4-6                                          |
|                      | Loxael 58-31                 | 8-13                                         |
|                      | Loctite 5293                 | 0,4                                          |
|                      | Loctite 5699                 | 1,3-2,1                                      |
| <b>Poliüretan</b>    | Loctite 3951                 | 1-3                                          |

Yapıştırıcı ile birleştirme, malzemeler arasındaki sızdırmazlığı sağladığından nemli ve sulu ortamlarda kullanılması idealdir. Ayrıca pürüzlü yüzeylerde kullanımı oldukça kolaydır. Korozyonu önleyerek bağlantı ömrünü uzatır.

Yapıştırma bağlantı şeklinin endüstride yaygınlaşmasının bir diğer nedeni ise, birbirinden farklı maddelerin birleştirilmesine imkan tanınması, gerilme dağılımlarının düzgün olması, bağlantı sonucunda yapıştırılan malzemelerin özelliklerinin değişime uğramaması ve mukavemet değerlerinin istenilen düzeyde elde edilebilmesidir (Çalık, 2008).

Aynı zamanda yapıştırma bağlantıları, bazı mekanik bağlantı yöntemleri ile birlikte kullanılarak daha mukavemetli bağlantılar oluşturulma çabası sürmektedir. Bu karma bağlantıların geliştirilmesi, daha az enerji ve maliyet harcayarak mukavemeti yüksek bağlantılar oluşturmak adına günümüzde birçok çalışma yapılmaktadır.

### **1.3. Karma Bağlantılar**

Mühendislik tasarımlarında kullanılan klasik birleştirme teknikleri, malzeme biliminin göstermiş olduğu gelişim paralelinde yeni bağlantı teknikleri üzerindeki çalışmaları hızlandırmıştır. Bu çalışmalarda kendine özgü özellikleri bulunan bağlantı tipleri bir arada kullanılarak, yalnız kullanıldıklarında ortaya çıkan olumsuzluklar giderilmeye çalışılmıştır.

Bağlantılar içerisinde kaynak-yapıştırma, perçin-yapıştırma, pim-yapıştırma ve civata-yapıştırma bağlantıları birlikte kullanıldığında, dayanımları güçlendirilmiş, korozyona karşı dayanıklı, sızdırmazlığı olan çok fonksiyonlu bağlantılar elde edilmektedir.

Yapıştırılmış bağlantıların nokta kaynağı, imalatı basitleştiren usullerden biridir. Burada yapıştırılan parçaların otoklav veya preslerde sertleştirilmesi işleminden tasarruf sağlanır. Ayrıca nokta kaynağı yöntemi, yapıştırma malzemesinin sertleştirilmesinden önce diğer işlemlerin parçaya kolaylıkla uygulanabilme imkanını verir. Yapıştırma-nokta kaynağı kombinasyonunda bilinen iki yöntem mevcuttur. Birincisinde saclara önce nokta kaynağı yapılır, daha sonra enjektör iğnesine benzeyen özel bir alet yardımı ile düşük viskoziteli yapıştırıcı aralığa püskürtülür ve yapıştırıcı kapiler kuvvet tesiriyle aralığa yayılır; ikinci yöntemde ise, birleştirilecek saclara önce yapıştırıcı sürülerek yapıştırılır ve sonra da nokta kaynağı işlemi yapılır. Dayanıklılık bakımından birinci usul daha avantajlıdır, ikinci usul ise daha basit ve uygulanması kolaydır (Anık,1986).

Yapıştırma-nokta kaynağı kombinasyonunda kaynak noktası ve yapıştırıcı film, kuvvet taşınmasını birlikte sürdürürler. Bu teknikle birlikte yapıştırma ve nokta kaynağı işlemlerinin bir arada kullanılması sonucu bazı avantajlar oluşmuştur. Bunlar, yalnız nokta kaynağı ve perçinlemeye nazaran sızdırmazlık, korozyona karşı dayanıklılık ve işlenebilirlik ayrıca bilhassa dinamik yük taşıma kabiliyeti gibi avantajlardır (Anık,1986).

Yapıştırma-nokta kaynağı birleştirmesinin dışında yapıştırma-civata ve yapıştırma-pim karma bağlantıları da kullanılmaktadır. Tüm bu bağlantı kombinasyonlarında genelde levhalar önce yapıştırılıp daha sonra mekanik bağlantı usulleri uygulanmaktadır.

En verimli bağlantı kombinasyonunu bulmak üzere birçok kişi bu alanda çalışmalarına devam etmektedir.

#### **1.4. Sonlu Elemanlar Metodu**

Sonlu elemanlar metodu 1920'li yıllardan itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle beraber 1960'lı yıllardan itibaren geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Sonlu elemanlar metodu; karmaşık olan problemlerin daha basit parçalara indirgenerek her birinin kendi içinde çözümlenmesiyle sonuca ulaşılan bir çözüm şeklidir. (Tın,2006).

Sonlu elemanlar metodunda analiz edilecek bölge çok sayıda basit, küçük, birbirine bağlı elemanlara bölünerek ağ yapısı oluşturulur. Her bir eleman birbirine düğüm noktaları ile bağlanır. Analiz şekline ve incelenen bölgenin geometrisine göre farklı eleman tipleri seçilebilir. Analiz sonucunda elde edilen gerilme, deplasman, sıcaklık vb. bilgiler düğüm noktalarına aittir. Düğüm noktalarındaki bu bilgilerin ortalamaları alınarak elemana ait bilgiler elde edilir (Dursun,2006).

Sonlu elemanlar metodu günümüzde birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu alanların başında mekanik problemler, ısı iletimi, titreşim problemleri, akışkanlar mekaniği ve mühendislik problemlerinin çözümü gelmektedir. Bu yöntem ilk olarak gerilme analizi problemlerinin çözümünde uygulanmıştır.

Sonlu elemanlar metodunun diğer metotlara göre avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Sonlu elemanlar, boyutlarının esnekliği nedeniyle karmaşık şekilli bir cismi temsil edebilir.
- Çok bağıntılı bölgeler (bir veya çok delikli cisimler) veya köşeleri olan bölgeler kolayca incelenebilir.

- Değişik malzeme veya geometrik özellikleri bulunan problemler ek bir zorluk göstermez.
- Sınır şartları kolaylıkla uygulanır.

ANSYS sonlu elemanlar analiz programı 1970’li yıllarda bilgisayarlar üzerinde geliştirilen ve mühendisliğin birçok alanında kullanılan sayısal bir analiz programıdır. Kullanım alanları arasında; mukavemet ve gerilme analizleri, doğal frekans hesapları, deprem hesapları, derin çekme ve metal şekillendirme, elektrik motorlarının manyetik alan hesapları ve metal yorulma hesapları sayılabilir (Adin,2007).

ANSYS analiz programında çözümlerin elde edilmesi sırasıyla,

- Ön işleme (preprocessing)
- İşleme (processor)
- Son işleme (postprocessor)

adımlarının uygulanması ile gerçekleşir.

Biz bu çalışmamızda birleştirme yöntemlerinden, pim bağlantısı ve yapıştırma bağlantısının birlikte uygulandığı bir karma bağlantı çeşidini inceleyeceğiz.

## **2. LİTERATÜR ÖZETİ**

Günümüz birleştirme tekniklerine baktığımızda geçmişten süregelen klasik yöntemler halen kullanılmakla beraber alternatif tasarımlar da üretilmektedir. Klasik bağlantı yöntemlerinin başında, sökülemeyen bağlantılarda kaynak, perçin, lehim ve yapıştırma bağlantıları; sökülebilen bağlantılarda civata, pim, perno ve kama bağlantıları gelmektedir.

Bu bölümde pim bağlantıları, yapıştırma bağlantıları ve karma bağlantılar üzerine yapılmış çalışmaları üç ana başlık altında inceleyeceğiz.

### **2.1. Pim Bağlantıları**

Makina elemanlarının birleştirilmesinde kullanılan civata bağlantıları ve pim bağlantıları çözülebilir bağlantılar grubunun başında gelip, ekonomik olmaları, kolay temin edilebilmeleri ve montaj kolaylıkları sebebiyle geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu sebeplerden dolayı da tercih edilmektedir. Pim bağlantıları alanında, metal malzemelerin kullanımının yanı sıra günümüzde kullanımı yaygınlaşan kompozit malzemeler üzerine de çalışmalar yapılmaktadır.

Chang vd., (1984) bir ya da iki pim ile bağlanmış fiber takviyeli kompozit plakalarda oluşan gerilmeleri yeni bir yöntem kullanarak incelemişlerdir. Bu yöntem iki adımdan oluşmaktadır. Birincisi gerilme dağılımı sonlu elemanlar metodu ile incelenir, ikincisi kaybedilen yük ve hasar şekli Yamada-Sun hasar kriterleri ile tahmin edilir. Çalışmaları sonucunda, yapılan analizler ve deneylerdeki sonuçlar arasında iyi bir uyum olduğu tespit edilmiştir.

Yogeswaren ve Reddy, (1988) karışık sonlu elemanlar düzeni kullanarak pim ile bağlanmış plakalarda dinamik ve statik sürtünme katsayısı değerlendirilmesinde bulunmuşlardır. Statik ve dinamik sürtünme katsayıları bulunmasında deneysel ve sayısal olmak üzere birleşik bir teknik kullanılmıştır. Elastik-plastik analiz tabanlı bir hasar modeli oluşturulmuş ve çalışma sonucunda, mekanik bağlantı noktalarında kesilme ve çekme hasarı meydana geldiği tespit edilmiştir.

Fan ve Qiu, (1993) yaptıkları çalışmada, çoklu olarak bağlanmış lamine kompozit levhaların bağlantılarında yük dağılımı için genel ve etkili bir yöntem geliştirmiştir. Çalışmada dört pim seri olarak bağlanmış, pim delik toleransları ve sürtünme

katsayısının etkileri analitik olarak incelenmiştir. Yapılan incelemelerde birinci ve dördüncü pimlerin sıkı geçme, ikinci ve üçüncü pimlerin ise boşluklu geçme uygulanmak suretiyle bağlandığı belirtilmiştir. Çalışmalarında sunulan yöntemin, bu alandaki problemlerin çözümünde kullanılabilecek genel bir yöntem olabileceği söylenmiştir.

Zhang vd., (2000) çalışmalarında, pim ile bağlanmış lamine kompozit levhalarda pim deliği etrafında sürtünme etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada, gerilme durumu için tamamlayıcı enerji ilkeleri üzerine dayalı analitik bir çözüm geliştirilmiştir. Çalışmalar neticesinde, sürtünme katsayısının pim deliği etrafındaki üç boyutlu gerilmeleri önemli oranda etkilediği belirtilmiş, levhalar arası temas yüzeylerinde yüksek gerilmelerin olduğu söylenmiştir.

Aktaş ve Orhan, (2003) içinde pim bulunan yamuk şekilli bir levhanın çatlak ilerleme yönünü ve gerilme şiddeti faktörlerini sonlu elemanlar yöntemi kullanarak incelemişlerdir. Levhanın delik kenarında değişik açılarda 2 mm. derinliğinde çatlaklar oluşturulmuş, her açı değeri için gerilme şiddeti faktörleri ve ilk çatlak ilerlemeleri açıları belirlenmiştir. Sonuç olarak, yamuk şekilli pim bağlantılarda en kritik çatlak açılarının  $60^\circ$  ve  $90^\circ$  olduğu tespit edilmiştir.

İçten ve Sayman, (2003) pim ile bağlanmış alüminyum-cam elyaf-epoksi sandviç kompozit plakalarda çekme yükü altında oluşan hasar yükü ve hasar modu üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. E/D (kenar mesafesinin delik çapına oranı) ve W/D (plaka genişliğinin delik çapına oranı) 1 ile 5 arasında değiştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda E/D ve W/D oranlarının 4 ve daha büyük olduğu durumlarda tam yatak mukavemetinin oluştuğu tespit edilmiştir.

Pakdil ve Şen, (2007) çalışmalarında cam lifi-epoksi tabakalı kompozit pimli bağlantıların hasar analizini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada bağlantı geometrisinin ve tabaka dizilişlerinin hasar oluşumu üzerine etkileri incelenmiş ve dokuz farklı şekilde tabakalandırılmış kompozit plakalar test edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ışığında, tek pim bağlantılı kompozit plakalarda, yatak mukavemetleri ve hasar tiplerinin, hem geometrik parametrelerden hem de tabaka dizilişlerinden etkilendiği ifade edilmiştir.

Karakuzu vd., (2008) iki seri pim ile bağlanmış dokuma-cam-elyaf kompozit plakalardaki E/D (kenar mesafesinin delik çapına oranı), W/D (plaka genişliğinin delik çapına oranı) ve M/D (delikler arasındaki mesafenin delik çapına oranı) oranlarının oluşan gerilmelere etkilerini analitik ve deneysel olarak incelemişlerdir.

Çalışma sonucunda nihai yükleme kapasitelerinin E/D,W/D,M/D oranlarının artışına bağlı olarak arttığı belirtilmiştir.

Ataş vd., (2009) yaptıkları çalışmada, simetrik iki pim ile yükleme yapılmış olan cam elyaf/polyester kompozit plakalardaki maksimum hasar yükleri ve yataklama dayanım değerleri elde etmişlerdir. Pimlerle yükleme yapılmış tabakalı kompozit plakaların mekanik davranışları, E/D,W/D,M/D oranları farklı değerlerde kullanılarak deneysel olarak bir çalışma yapılmıştır. Çalışma sonucunda, nümerik sonuçların deneysel sonuçlardan daha düşük olduğu bulunmuştur. Bunun da tasarımcıya deney yapmadan FEM sonuçlarını kullanarak güvenli bir pim bağlantısı tasarlama imkanı vereceği belirtilmiştir.

Turan vd., (2010) pim bağlantılı tabakalı kompozit levhalarda fiber takviye açısının değişiminin hasar yükleri ve hasar tipleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Analizlerde tek yönlü karbon fiberlerle takviye edilmiş epoksi reçine matriksli tabakalı kompozit levhalar kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, fiber takviye açısının artışına bağlı olarak hasar yönlerinin de bu doğrultuda gerçekleştiği sayısal ve deneysel sonuçlarla anlaşılmıştır. Tüm takviye açılarında ilk hasar tipi matriks çekme hasarı şeklinde ve levha üzerinde diğer hasar tiplerine oranla daha geniş bir bölgeye yayılmış durumda olacağı ifade edilmiştir.

## **2.2. Yapıştırma Bağlantıları**

Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların analitik analizinin denemeleri, ilk olarak Volkersen tarafından 1938 yılında yapılmıştır. Volkersen, (1938) çalışmasında, malzemelerin mukavemetli olduğunu, çekme yükü uygulandığında deforme olduğunu ve yükler altında eğilmediğini kabul ederek analizlerini gerçekleştirmiştir. Yapıştırıcının ise lineer elastik bir katı olduğunu ve kayma gerilmelerinden etkilenecek deforme olabileceğini kabul etmiştir. Çalışması sonucunda, kayma gerilmelerinin en yüksek değerlerinin yapıştırıcının uç kısımlarında oluştuğunu tespit etmiştir.

Adams ve Peppiat, (1974) çalışmalarında yapıştırıcı ile birleştirilmiş iki metal plakada oluşan gerilmeleri iki boyutlu sonlu elemanlar metodu ile incelemişler ve daha önce yapılmış analizlerle karşılaştırmışlardır. Çalışmaları sonucunda, yapıştırıcı bağlantısı yüzeyi boyunca gerilmelerin görüldüğü, yüksek gerilmelerin yapıştırıcı tabakasının uç kısımlarında oluştuğu gözlenmiştir.

Guess vd., (1977) yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek bindirme bağlantılarının kayma mukavemetlerini tespit etmek amacıyla deneysel ve analitik olarak çalışmalar

yapmışlardır. Çalışmalarında iki farklı yapıştırıcı ve kalınlıkları değişen malzemeler kullanmışlardır. Yapılan analizler sonucunda, malzeme kalınlığı ince kullanılan birleştirmelerde kayma dayanımlarının oldukça düşük, malzeme kalınlığı kalın kullanılan birleştirmelerde ise kayma dayanımlarının iyi değerlerde olduğu görülmüştür.

Ojalvo ve Eidinoff, (1978) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, yapıştırıcı kalınlığının tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarında gerilme dağılımlarına yaptığı etkileri araştırılmıştır. Yapıştırıcı boyunca oluşan kayma gerilmelerinin yapıştırıcı kalınlığı ne kadar ince olursa olsun öngörülebilir olduğu varsayılmış ve kayma gerilmelerinin en yüksek değerlerinin, yapıştırıcının ve yapıştırılan malzeme ara yüzelerinin uç kısımlarında meydana geldiği belirtilmiştir.

Adams, (1989) çalışmasında, Volkersen, Goland ve Reissner gibi yapıştırma birleştirmeleri için aynı tip gelişmiş versiyonları ile birlikte klasik lineer bir çözüm tartışmıştır. Gerçek bağlantılarda lineer olmayan malzeme özelliklerinin incelenmesinin en iyi yolunun sonlu elemanlar teknikleri kullanılması olduğunu iddia etmiştir. Çalışması sonunda kompozit yapıştırıcı kullanılması durumunda dayanıklılığın % 500 oranlarında artırılabilceğini söylemiştir.

Imanaka vd., (1989) yapıştırmalı eklem bağlantılarının yorulma ömrü tahmini üzerine bir çalışma yapmışlardır. İki farklı yapıştırma bağlantı şekli uygulanmıştır. İlk bağlantı tipinde, eklemler yapışkan kaplin ile ikinci bağlantı tipinde ise standart dayanım elde etmek için ince yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Analizler sonlu elemanlar metodu ile yapılmış ve analizler sonucunda yorulma ömrünün tespiti için maksimum normal ve kayma gerilmelerinden yararlanılmıştır.

Kyoguku vd., (1989) iki mil parçasının yapıştırıcı ile birleşmesinden oluşan bağlantıda, statik moment iletimi sırasındaki gerilim ve burulmaları analitik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada, dört farklı malzeme için (karbon çelik, pirinç, bakır ve alüminyum alaşım) inceleme yapılmış, analizlerde ise sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Yapılan analizler ve deneyler neticesinde, aynı malzeme ile birleştirilen bağlantılarda oluşan gerilme dağılımlarının farklı malzeme ile birleştirilen bağlantılarda oluşan gerilme dağılımlarından daha küçük olduğu bulunmuştur.

Pfeiffer ve Shakal, (1998) yapıştırma yüzey alanının ve yapıştırıcı kalınlığının yapıştırma bağlantısındaki güç ve dayanıklılığı nasıl etkilediği ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Analizler iki başlık altında yapılmıştır. İlk örnekte, yapıştırıcı kalınlığı

2 mm., yüzey alanları 35-65-95 mm<sup>2</sup> ; ikinci örnekte ise yapıştırıcı kalınlıkları 0,5-1-2 mm., yüzey alanı 65 mm<sup>2</sup> olarak uygulanmıştır. Analizler sonucunda yapıştırma alanı artırıldığında kesme mukavemetinin azaldığı sonucuna varılmıştır.

George vd., (1998) anaerobik yapıştırıcı ile yapıştırılmış malzemelerin mekanik özelliklerini ve yapıştırıcının sertleşme süresini araştırmışlardır. Çalışmada malzeme olarak alüminyum, bakır ve paslanmaz çelik kullanılmıştır. Bakır malzeme kullanılan örneğin diğer malzeme kullanılan örneklere göre daha dayanıklı olduğu belirlenmiştir. Yapıştırmadaki sertleşme süresi araştırıldığında ise, alüminyum malzemenin sertleşme süresi, bakır ve paslanmaz çelik malzemelerdekinden yüksek bulunmuştur. Ayrıca reaksiyon hızının fazla olması durumunda yapıştırıcının gevrek bir yapı alabileceği belirtilmiştir.

Sawa vd., (2000) iki boyutlu elastisite teorisini kullanarak çekme yüküne maruz kalan farklı yapıştırılan tek taraflı bindirme bağlantısını analiz etmişlerdir. Analizlerde farklı yapıştırılan tek taraflı bindirme bağlantılarının yapıştırıcı kalınlıkları, yapışma uzunluğu, temas yüzeyi gerilmelerine Young modülü oranının etkisi incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, oluşan gerilmelerin yapıştırma yüzeyinin uç kısımlarında toplandığı ve yapıştırıcı kalınlığı azaldıkça gerilmelerin de azaldığı görülmüştür.

Sancaktar ve Simmons, (2000) tek taraflı bindirme bağlantılarında yapıştırılan malzemelerdeki çentik etkisini araştırmışlardır. Çalışmada sonlu elemanlar metodu kullanılarak optimum çentik yeri ve boyutları bulunmuştur. Sonlu elemanlar analiz sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlara göre, çentikli numunelerin çentikli olmayan numunelere oranla % 29 daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir. Sonlu elemanlar analiz sonuçlarına göre ise, en yüksek gerilme değerlerinde % 27 azalma olduğu tespit edilmiştir.

Şekercioğlu, (2001) silindirik yapıştırma bağlantılarının dinamik yükler altındaki davranışlarının deneysel olarak incelenmesi konusunda çalışmıştır. Çalışmasında bağlantının mukavemeti, boşluğun etkisi, sıkı geçmenin etkisi, malzemenin etkisi, yüzey pürüzlülüğünün etkisi ve yükleme durumunun etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda, deneylerde kullanılan geometriye sahip silindirik yapıştırılmalık bağlantılarda optimum mukavemet değerlerini elde edebilmek için, anaerobik yapıştırıcı kullanmanın demir ve bakır esaslı malzemeleri yapıştırmada elverişli olduğu, en küçük yapıştırma boşluğunun kullanılması gerektiği ve sıkı geçme

bağlantılarıyla birlikte kullanıldığında çok yüksek mukavemet değerlerine ulaşılabildiği sonuçlarına varılmıştır.

Apalak ve Güneş, (2002) tek tesirli bindirme bağlantılarında yer değiştirmelerin etkilerini dikkate alarak termal gerilme analizlerini sonlu elemanlar metodu kullanarak incelemişlerdir. Yapılan analizler neticesinde, gerilmelerin yapıştırıcı tabakasının serbest uçları etrafında yoğunlaştığı, malzemelerin ise yapıştırılan yüzeylerinde büyük ısı gerilmeleri olduğu gözlenmiştir.

Goncalves vd., (2002) yapıştırıcı ile birleştirme bağlantılarında yeni bir üç boyutlu sonlu elemanlar modeli oluşturmuşlardır. Bu yeni model ile geometrik ve lineer olmayan malzemeler ile birlikte arayüz elemanları da hesaba katılmıştır. Plastik malzemeler ile yapılan çalışmalarda gerilmelerin kritik noktalarda düşüş sağladığı gözlenmiştir. Çalışmaları sonucunda, bu yeni model ile birlikte yapıştırma bağlantılarının dayanıklılığının önceden belirlenebileceğini açıklamışlardır.

Apalak vd., (2003) silindirik tek tesirli bindirme bağlantısında farklı sıcaklıklar altında termal gerilme analizlerinin sonlu elemanlar yöntemiyle araştırılması konusunda çalışma yapmışlardır. Yapılan analizler sonucunda, yapıştırıcının uç kısmında ciddi gerilmelerin olduğu ve buna bağlı olarak silindirik tek tesirli bindirme bağlantısında deformasyonların meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca bindirme mesafesindeki artışların, yapıştırma tabakasındaki yüksek gerilme değerlerinde düşüş sağladığı belirtilmiştir.

Taib vd., (2006) yaptıkları çalışmada, tek bindirme bağlantısı ve geçmeli bindirme bağlantısının iki farklı yapıştırıcı ile birleştirilmesini sonlu elemanlar analiziyle incelemişlerdir. Yapışan malzemeleri lineer olarak kabul ederken, yapıştırıcıyı ise non-lineer kabul etmişler ve bağlantının non-lineer geometrik deformasyonlarını göz önünde bulundurmuşlardır. Çalışma sonucunda, geçmeli bindirme bağlantısının sonlu elemanlar modeli ile tespit edilen yükler altında farklı deformasyonlar gösterdiği gözlemlenmiştir.

Tın, (2006) farklı malzemelerden oluşan levhaların yapıştırıcılar ile birleştirilmesinde meydana gelen gerilmeleri sonlu elemanlar metodu kullanarak incelemiştir. Analizlerinde farklı levha açılarına sahip, alüminyum, çelik ve bakır malzemeler kullanmıştır. Yapılan analizler sonucunda, en kritik gerilmeler kenar kısımlarda görülmüş ve mukavemetin, levha açısına, levha malzemesine, yapıştırıcı kalınlığına ve elastisite modülüne bağlı olduğu sonucuna varmıştır.

Aydın vd., (2007) yaptıkları çalışmada, esnek ve basınç hassasiyetli bir yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantılarının yük taşıma kapasitelerinin kürleşme boyunca uygulanan basınçla değişimini deneysel olarak incelemiş ve sonuçları sonlu elemanlar analizlerindeki sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, yapıştırıcıların akma kriterlerindeki eksiklikler ve şekil değiştirme oranına bağımlılık gibi diğer parametrelere ilave olarak, yapıştırma bağlantılarının mekanik davranışının doğru bir şekilde simülasyonu için yüksek sıcaklıklarda kürleşme boyunca uygulanan basıncın oluşturduğu termal artık gerilmelerin dikkate alınması gerektiği görülmüştür.

Demirgen, (2007) farklı bindirme uzunlukları kullanarak galvaniz kaplı mikro alaşımlı çelik plakaların yapıştırma performansını deneysel ve sonlu elemanlar metodu kullanarak incelemiştir. Yapıştırma bağlantılarda iki farklı yapıştırıcı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, bindirme uzunluğu arttıkça yapıştırılmış plakaların mukavemetinde artış gözlenmiş ve çekme deneylerinde kopmaların bağlantıların orta bölgelerinde meydana geldiği tespit edilmiştir.

Çalık, (2008) yaptığı çalışmada, birleşmede yapıştırıcı kullanımının avantajlarını ve yapışma ile birleşmenin dezavantajlarını incelemiştir. Çalışmasında, tek tesirli bindirme yapıştırma bağlantısının analitik gerilme analizi ve köşeleri yuvarlatılmış yapıştırıcı bindirme bağlantısında sonlu elemanlar gerilme analizi yapılmıştır. Sonuçlar elde edilen grafiklerle sunulmuştur. Yapılan çalışma sonucunda, kullanılan levha kalınlıklarının, yapıştırıcı kalınlığının, levhaların malzeme özelliklerinin yapıştırmada oluşan gerilmelere etki ettiği tespit edilmiştir.

Solmaz, (2008) farklı bindirme uzunluklarında ve farklı uç açılarında özellikleri birbirinden farklı iki yapıştırıcı kullanarak birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantılarının eksenel çekme yükü altındaki mekanik davranışları üzerine incelemeler yapmıştır. Çalışmada, yapıştırıcıların performansını değerlendirebilmek amacıyla iki farklı bindirme mesafesi denenmiştir. İnceleme, deneysel ve sayısal olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Yapıştırıcılar ve yapıştırılan malzemelerin gerilme ve şekil değiştirme davranışları dikkate alınarak lineer sonlu elemanlar yöntemiyle gerilme analizi yapılmıştır. Deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar ile sonlu elemanlar analizlerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, sonuçlar arasında uyum olduğu tespit edilmiştir.

Şen vd., (2008) çalışmalarında çift örtü kullanılarak yapıştırılmış metal plakalarda ısı gerilme analizleri yapmışlardır. Çalışmalarında analiz için sonlu elemanlar

metodu kullanılmıştır. Bağlantıya ısı yük olarak uniform sıcaklık yükü uygulanmıştır. Çalışma sonucunda yapıştırıcı kalınlığı arttıkça ısı gerilmelerinde düşüş olduğunu saptamışlardır.

Şen vd., (2008) yaptıkları diğer bir çalışmada tek bindirme bağlantısı uygulanmış yapıştırıcı bağlantısında uniform ısı yükler altında yapıştırılan malzeme ve yapıştırıcı bölgesinde meydana gelen ısı gerilmelerin dağılımını sonlu elemanlar yöntemi kullanarak incelemişlerdir. Bağlantıda alt ve üst plakalar alüminyum ve çelik olarak kullanılmıştır. Isı gerilmelerin değerlerinin ve dağılımının kullanılan malzeme özelliklerinden ve artan uniform ısı yüklerden büyük oranda etkilendiğini ortaya koymuşlardır.

Solmaz ve Turgut, (2009) biri diğerine göre daha sünek olan iki farklı yapıştırıcı kullanılarak birleştirilen bağlantılarda serbest uç açısının ve bindirme mesafesinin bağlantı mukavemetini nasıl etkilediğini tespit etmeye çalışmışlardır. Uç açısının etkisini gözlemleyebilmek için altı tane bindirme mesafesi tespit etmişler ve numuneleri tespit edilen bu yapıştırma mesafesinde birleştirilerek incelemişlerdir. Verileri grafikler halinde sunmuş ve ucu açılı olan numunelerin açısız numunelere oranla daha yüksek mukavemete sahip olduğu sonucuna varmışlardır.

Aldaş vd., (2009) değişik uniform ısı yükler uyguladıkları çift bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırılan malzeme ve yapıştırıcı bölgesinde oluşan ısı gerilmelerin dağılımını sonlu elemanlar yöntemi kullanarak incelemişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda termal gerilmelerin yüksek seviyelerde olduğu gözlenmiştir. Düşük gerilme sağlanması için uygun malzeme ve yapıştırıcı seçilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

### **2.3. Karma Bağlantılar**

Chan ve Vedhagiri, (2001) üç boyutlu sonlu elemanlar metodu kullanarak yapıştırıcı ve civata ile birleştirilmiş kompozit plakalardaki gerilmeleri incelemişlerdir. Sonlu elemanlar analizlerinden elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmış ve doğrulanmıştır. Deneysel sonuçlar ve analiz sonuçlarının birbiri arasında uyumlu olduğu görülmüştür. Ayrıca civataların birleşme kenarlarına yakın düzlemsel gerilmeyi azalttığı ifade edilmiştir.

Şen, (2001) lazer kaynak ve yapıştırıcının birlikte kullanıldığı karma bağlantılar üzerine yaptığı çalışmada, ısı analizi ve elasto-plastik gerilme analizi olmak üzere iki aşama uygulamıştır. İlk aşamada, ince metal plakalar epoksi türü bir yapıştırıcı ile yapıştırılmış, lazer nokta kaynağı yapılırken oluşan sıcaklık dağılımı ve delik

şeklinin oluşumu incelenmiştir. İkinci aşamada, lazer nokta kaynağı yapılmış olan bu bindirme bağlantısının elasto-plastik gerilme analizi yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda gerilme ve şekil değiştirme dağılımlarının sıcaklık değerleriyle orantılı olarak arttığı tespit edilmiş ve en yüksek gerilme ve şekil değiştirmenin lazerin etkidiği bölgede olduğu tespit edilmiştir.

Apalak vd., (2003) çalışmalarında, lazer nokta kaynağı kullanılmış ve yapıştırılmış çok katmanlı plakalarda meydana gelen sıcaklık dağılımı ve ısı gerilmeleri incelemişlerdir. Sıcaklık dağılımını yazmış oldukları Fortran programı ile elde etmişlerdir. Isıl gerilme analizini ise ANSYS yazılımını kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Analizi elastik-plastik olarak yapmışlardır. Sonuç olarak karma bağlantı üzerinde oluşan sıcaklık dağılımı ve ısı gerilmelerin dağılımlarının bağlantıyı oluşturan farklı malzemelere göre değişim gösterdiği tespit edilmiştir.

Kelly, (2005) yapıştırıcı ve civatalı bağlantının bir arada kullanıldığı bir karma bağlantıda yük transferi konusunda araştırmalar yapmıştır. Malzeme olarak kompozit malzeme kullanmıştır. Çalışmada, üç boyutlu sonlu elemanlar modeli kullanılarak yük dağılımı, delik teması ve non-lineer malzeme davranışı incelenmiştir. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça civataya gelen yükün arttığı, bindirme mesafesi arttıkça ise civataya gelen yükün azaldığı tespit edilmiştir.

Şen ve Aldaş, (2010) farklı uniform sıcaklıklar altında yapıştırılmış ve pim bağlantısı uygulanmış alüminyum plakalardaki gerilmeleri incelemişlerdir. Bağlantıya sırasıyla 40, 50, 60 ve 70°C uniform sıcaklıklar etki ettirilmiş ve sonlu elemanlar metodu ile analiz edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, uniform sıcaklıktaki artış miktarına bağlı olarak gerilmelerin ve şekil değiştirmelerin önemli oranda arttığı gözlenmiştir.

Şen vd., (2010) yapıştırılmış ve pim bağlantısı uygulanmış iki alüminyum plakanın gerilme değerleri üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada karma bağlantıya çekme yükü ve sıcaklık dağılımı birlikte uygulanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda gerilmelerin pim deliği çevresinde yoğunlaştığı görülmüştür. Ayrıca uygulanan ısı yükün özellikle eksi değerlerde olması ile birlikte, artı değerli sıcaklık yüküne göre çok daha büyük gerilmelerin meydana geldiği görülmüştür.

Aldaş ve Şen, (2011) yaptıkları diğer bir çalışmada ise karma bağlantı uygulanmış farklı metal plakalardaki gerilmeleri incelemişlerdir. Yapıştırma ve pim bağlantısı kullanılarak oluşturulan bu bağlantı tipinde alt levha olarak alüminyum sabit tutulurken, üst levha değişik malzemeler (çelik, bakır, titanyum ve alüminyum) kullanılarak modellenmiştir. Karma bağlantıya çekme yükü ve 40°C uniform sıcaklık

yükü birlikte uygulanmıştır. Sonuç olarak, tüm bağlantı tiplerinde delik çevrelerinde gerilme yığılmaları olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca alüminyum-çelik bağlantı tipinde diğer bağlantılara kıyasla daha yüksek gerilmelerin olduğu gözlenmiştir.

Aldaş vd., (2011) çalışmalarında yapıştırılmış ve pim bağlantısı uygulanmış tek bindirme bağlantısında sıcaklık etkisiyle meydana gelen ısıl gerilmeleri incelemişlerdir. Çözümde sonlu elemanlar metodu ve dolayısıyla ANSYS yazılımından yararlanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, gerilmelerin özellikle pim deliği çevresinde yoğunlaştığı görülmüştür. Bununla birlikte bağlantı yapılan plakaların malzeme özellikleri ve yapıştırıcının malzeme özelliğinden dolayı yüksek gerilmeler meydana geldiği belirtilmiştir.

Şen ve Aldaş, (2011) yaptıkları çalışmada, kompozit bir plakanın farklı metal plakalara yapıştırılması ve pim bağlantısı uygulanması sonucu oluşan karma bağlantıya çekme yükü ve ısıl yük uygulanması sonucunda meydana gelen gerilmeleri incelemiştir. Model sonlu elemanlar yazılımı ile oluşturulmuş ve analiz edilmiştir. Metal plakalar çelik, bakır, alüminyum ve titanyumdur. Yapılan çalışma sonucunda farklı malzeme özelliklerinden dolayı çok yüksek gerilmeler olduğu, gerilmelerin özellikle pim delikleri etrafında olduğu, en yüksek gerilmelerin çelik-kompozit bağlantılarda, en düşük gerilmelerin ise titanyum-kompozit bağlantılarda meydana geldiği tespit edilmiştir.

Palancıoğlu, (2011) yapıştırılmış ve tek pim bağlantısı uygulanmış iki metal plakadaki gerilme analizlerini incelemiştir. Çalışmada sadece yapıştırıcılı, sadece pimli ve karma bağlantı olmak üzere 3 farklı kombinasyon denenmiş ayrıca karma bağlantıya uniform ısıl yük uygulanmıştır. Sonuç olarak, sadece yapıştırıcı olan bağlantıda gerilmelerin yapıştırıcının uç kısımlarında yoğunlaştığı, sadece pimli bağlantıda ve karma bağlantıda gerilmelerin delik çevresinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir.

Köksal, (2013) çalışmasında yapıştırılmış ve çoklu pim bağlantısı yapılmış iki adet metal matrisli kompozit plaka üzerinde çekme yükü ve ısıl yük uygulandığında ortaya çıkan gerilmeleri araştırmıştır. Modele farklı değerlerde çekme yükü ve sıcaklık yükü uygulanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda kompozit malzeme ve yapıştırıcının farklı mekanik ve ısıl özellikleri nedeniyle yüksek değerli gerilmeler olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yüksek gerilmelerin ve gerilme yığılmasının pim delikleri etrafında olduğu ifade edilmiştir.

Şen ve Alyanak, (2014) çalışmalarında karma bağlantı yapılmış kompozit levhalarda ısı yük uygulanması sonucunda meydana gelen gerilmeleri incelemiştir. Karma bağlantı yapıştırma bağlantısı ve paralel pim bağlantısından meydana gelmektedir. Karma bağlantıya sırasıyla 60,70,80,90 ve 100 °C ısı yük uygulanmıştır. Çalışma sonucunda ısı yük arttıkça ısı gerilmelerin de arttığı gözlenmiştir.

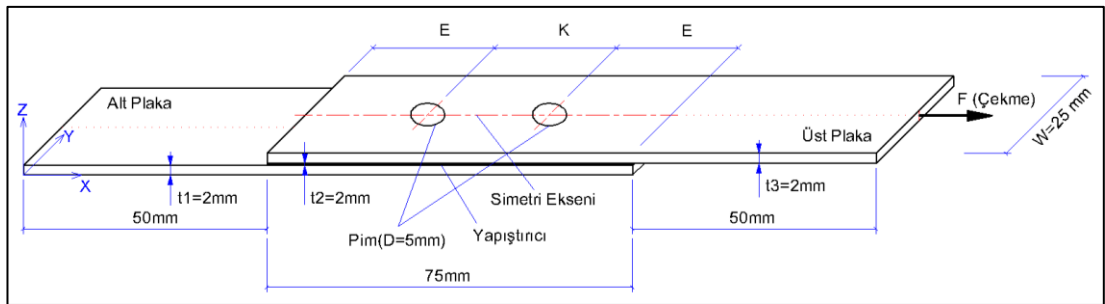
Literatürde pim bağlantısı, yapıştırma bağlantısı ve karma bağlantı üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Pim bağlantısı üzerine yapılan çalışmalarda pim ile bağlanmış metal veya kompozit plakaların gerilme, yük dağılımları, çatlak ilerleme, yataklama ve sürtünme etkileri incelenmiştir. Yapıştırma bağlantılarında yapılan çalışmalarda yapıştırıcı kalınlığı, yapıştırma bağlantı tipi, yapıştırıcıda meydana gelen gerilmeler ve yapıştırıcıların yük taşıma kapasiteleri incelenmiştir. Karma bağlantılarda ise farklı karma bağlantı tipleri uygulanmak suretiyle metal veya kompozit malzemeler için normal gerilmeler, ısı gerilmeler ve sıcaklık dağılımları incelenmiştir. Bu çalışmada seri çift pim bağlantısı ve yapıştırma bağlantısı birlikte kullanılarak farklı metal malzemeler için karma bağlantı modelleri oluşturulmuştur. Bu modellere kontak analiz kullanılarak gerilme analizi uygulanmıştır. Çalışma literatürde bu tip bir çalışma yapılmamış olmasından dolayı literatüre bu alanda katkı sağlayacaktır.

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

#### 3.1. Problemin Tanımı

Bu çalışmada, iki adet plakanın öncelikle epoksi türü bir yapıştırıcı ile yapıştırıldığı ve yapıştırılan bu parçalara seri çift pim bağlantısı uygulandığı varsayılmıştır. Çift pim kullanılarak daha rijit bir bağlantı hedeflenmiş ayrıca tek pimde oluşabilecek delik eksenindeki dönme hareketi engellenmiştir. Böylece, sadece yapıştırma bağlantısı veya sadece pimli bağlantı çalışmalarından farklı olarak yapıştırıcılı ve pimli karma bir bağlantı elde edilmiştir. Bağlantısı yapılan plakalar için farklı malzemeler kullanılarak değişik alternatifler sunulmuştur. Ayrıca delik mesafeleri değiştirilerek en uygun hangi aralıkta pim kullanılacağı tespit edilmiştir. Farklı malzemeler üzerine sırasıyla çekme yükü ve çekme yüküyle birlikte ısı yük uygulanması suretiyle ortaya çıkan gerilmeler incelenmiştir.

Problem tasarımı Şekil 3.1’de görülmektedir. Tasarım ANSYS sonlu elemanlar yazılımı ile modellenerek oluşturulmuş olup çözümleme değişik malzeme özelliklerine göre ayrı ayrı yapılmıştır. Modelleme yapılırken malzeme boyutlandırması yapılan incelemeler sonrasında ve Ataş vd., (2009) çalışmalarında ulaştığı sonuçlar da göz önünde bulundurularak en iyi sonucu veren oran olan  $E/D = W/D = K/D = 5$  olarak alınmıştır.



Şekil 3.1. Karma bağlantı model resmi.

#### 3.2. Malzeme ve Özellikleri

Çalışmada değişik malzemeler kullanılmak suretiyle altı farklı kombinasyon uygulanmıştır. Değişik alternatifler için kullanılan malzeme kombinasyonları Çizelge

3.1’de gösterilmiştir. Malzeme seçimi yapılırken Aldaş ve Şen’in (2011) yaptıkları çalışmadan faydalanılmıştır.

**Çizelge 3.1.** Kullanılacak malzeme kombinasyonları

|                | <i>Alt Plaka</i> | <i>Yapıştırıcı</i> | <i>Üst Plaka</i> | <i>Pim</i> |
|----------------|------------------|--------------------|------------------|------------|
| <i>Model 1</i> | Alüminyum        | Epoksi             | Alüminyum        | Çelik      |
| <i>Model 2</i> | Çelik            | Epoksi             | Çelik            | Çelik      |
| <i>Model 3</i> | Titanyum         | Epoksi             | Titanyum         | Çelik      |
| <i>Model 4</i> | Alüminyum        | Epoksi             | Çelik            | Çelik      |
| <i>Model 5</i> | Çelik            | Epoksi             | Titanyum         | Çelik      |
| <i>Model 6</i> | Titanyum         | Epoksi             | Alüminyum        | Çelik      |

#### Model 1

Modelde alt ve üst plaka olarak alüminyum malzeme kullanılmıştır. Alt ve üst plakaların uzunlukları 125 mm., genişlikleri 25 mm., kalınlıkları 2 mm. olarak, yapıştırıcı kalınlığı 0,5 mm olarak, uygulanacak pim delik çapları ise 5 mm. olarak belirlenmiştir. Model tasarımı yapılırken deneysel çalışmalarda en iyi sonuçları veren  $E/D=W/D= 5$  oranını elde etmek için bu ölçüler kullanılmıştır.

#### Model 2

Modelde alt ve üst plaka olarak çelik malzeme kullanılmıştır. Alt ve üst plakaların uzunlukları 125 mm., genişlikleri 25 mm., kalınlıkları 2 mm. olarak, yapıştırıcı kalınlığı 0,5 mm olarak, uygulanacak pim delik çapları ise 5 mm. olarak belirlenmiştir.

#### Model 3

Modelde alt ve üst plaka olarak titanyum malzeme kullanılmıştır. Alt ve üst plakaların uzunlukları 125 mm., genişlikleri 25 mm., kalınlıkları 2 mm. olarak, yapıştırıcı kalınlığı 0,5 mm olarak, uygulanacak pim delik çapları ise 5 mm. olarak belirlenmiştir.

#### Model 4

Modelde alt plaka olarak alüminyum, üst plaka olarak ise çelik malzeme kullanılmıştır. Alt ve üst plakaların uzunlukları 125 mm., genişlikleri 25 mm., kalınlıkları 2 mm. olarak, yapıştırıcı kalınlığı 0,5 mm olarak, uygulanacak pim delik çapları ise 5 mm. olarak belirlenmiştir.

### Model 5

Modelde alt plaka olarak çelik, üst plaka olarak ise titanyum malzeme kullanılmıştır. Alt ve üst plakaların uzunlukları 125 mm., genişlikleri 25 mm., kalınlıkları 2 mm. olarak, yapıştırıcı kalınlığı 0,5 mm olarak, uygulanacak pim delik çapları ise 5 mm. olarak belirlenmiştir.

### Model 6

Modelde alt plaka olarak titanyum, üst plaka olarak ise alüminyum malzeme kullanılmıştır. Alt ve üst plakaların uzunlukları 125 mm., genişlikleri 25 mm., kalınlıkları 2 mm. olarak, yapıştırıcı kalınlığı 0,5 mm olarak, uygulanacak pim delik çapları ise 5 mm. olarak belirlenmiştir.

Modellerde kullanılan metal malzemelerin özellikleri Çizelge 3.2’de, yapıştırıcının özellikleri ise Çizelge 3.3’te verilmektedir.

**Çizelge 3.2.** Metal plakaların malzeme özellikleri (Callister, 2007).

| <i>Özellik</i>                                                               | <i>Alüminyum</i> | <i>Çelik</i> | <i>Titanyum</i> |
|------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------|-----------------|
| Yoğunluk, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )                                        | 2710             | 7850         | 4480            |
| Elastiklik Modülü, E (GPa)                                                   | 69               | 207          | 110             |
| Poisson oranı, $\nu$                                                         | 0,33             | 0,30         | 0,34            |
| Isıl Genleşme Katsayısı<br>$\alpha$ ( $\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ ) | 23,6             | 11,3         | 9,4             |
| Akma Mukavemeti (MPa)                                                        | 117              | 375          | 760             |
| Kopma Mukavemeti (MPa)                                                       | 124              | 590          | 790             |

**Çizelge 3.3.** Yapıştırıcı malzeme özellikleri (Aldaş ve Şen, 2011).

| <i>Özellik</i>                                                               | <i>Epoksi</i> |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Yoğunluk, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )                                        | 1264          |
| Elastiklik Modülü, E (GPa)                                                   | 3,3           |
| Poisson oranı, $\nu$                                                         | 0,30          |
| Isıl Genleşme Katsayısı<br>$\alpha$ ( $\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ ) | 43,3          |
| Ergime Noktası $T(K)$                                                        | 453           |
| Kaynama Noktası $T(K)$                                                       | 600           |

### 3.3. Pimler İçin Uygun Delik Mesafesi Tespiti

Model üzerinde en uygun delik mesafesi belirlenmesi amacıyla 5 farklı delik mesafesi belirlenmiş ve bu delik mesafelerinde 6 model üzerinde analizler yapılmıştır. Delik mesafeleri Çizelge 3.4’te görülmektedir.

**Çizelge 3.4.** Delik mesafeleri

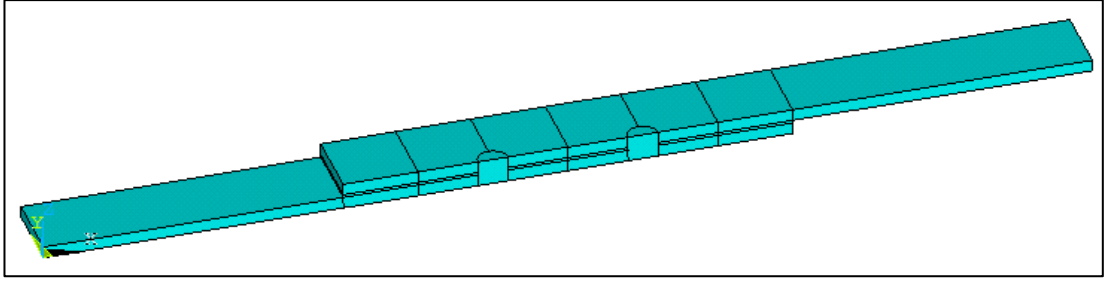
|        | <i>E</i> | <i>K</i> | <i>W</i> | <i>D</i> |
|--------|----------|----------|----------|----------|
| 1. Tip | 30       | 15       | 25       | 5        |
| 2. Tip | 27,5     | 20       | 25       | 5        |
| 3. Tip | 25       | 25       | 25       | 5        |
| 4. Tip | 22,5     | 30       | 25       | 5        |
| 5. Tip | 20       | 35       | 25       | 5        |

Delik mesafesinin belirlenmesi aşamasında modeller üzerine sadece 50 MPa negatif basınç yükü etki ettirilerek kontak analiz yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda en uygun delik mesafesi olarak 3. tip bulunmuş ve 6 model üzerinde bu mesafe kullanılarak diğer analizler yapılmıştır.

### 3.4. Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması

Çalışmada ANSYS 12.0 sonlu elemanlar yazılımı kullanılmıştır. ANSYS sonlu elemanlar yazılımı, tam sonuçlara ulaşılmasını sağlaması, modelleme ve sonuçların değerlendirilmesi esnasında kolaylık sağlaması sebebiyle tercih edilmiştir. Ayrıca daha önce yapılan akademik çalışmalarda birçok kez kullanılmıştır.

Çalışmada öncelikle problemin katı modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan katı model Şekil 3.2’de görülmektedir. Modelleme yapılırken modellenecek problemin y eksenine göre simetrik olması nedeniyle şekillerden de anlaşılabileceği gibi yarım modelleme yapılmış olup simetri sınır şartı  $u_y = 0$  olarak uygulanmıştır. Böylece modelde oluşacak düğüm sayısı ve eleman sayısı azaltılarak çözüm süresinin kısaltılması ve sonuç dosyalarının küçük boyutlu olması sağlanmıştır.



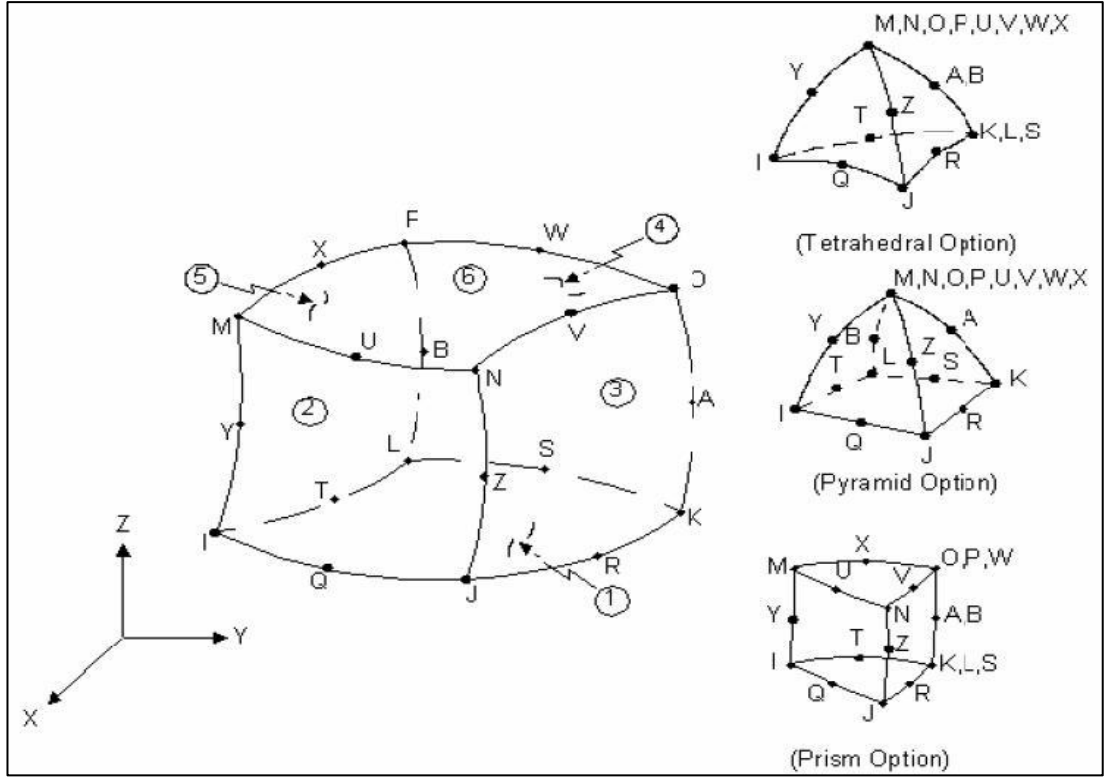
**Şekil 3.2.** Karma bağlantı yarım model resmi

Modelleme işleminin ardından sonlu elemanlar ağ yapısı oluşturulmasına esas teşkil eden eleman tipi seçimi yapılmıştır. Eleman tipi seçimi yapılırken Model 1 için örnek bir analiz yapılarak modellemede en uygun sonucu verecek eleman tipini bulmak amacıyla solid elemanlar arasında kıyaslama yapılmıştır ve en uygun eleman olan Solid 95 seçilmiştir. Kıyaslama tablosu Çizelge 3.5’te gösterilmektedir.

**Çizelge 3.5.** Eleman tipi seçimi için kıyaslama değerleri

|           | <i>Eleman Sayısı</i> | <i>Düğüm Noktası</i> | <i>Gerilme Değeri(MPa)</i> |
|-----------|----------------------|----------------------|----------------------------|
| Solid 185 | 28800                | 33728                | 621,493                    |
| Solid 45  | 28800                | 33728                | 672,472                    |
| Solid 95  | 19370                | 88658                | 675,086                    |

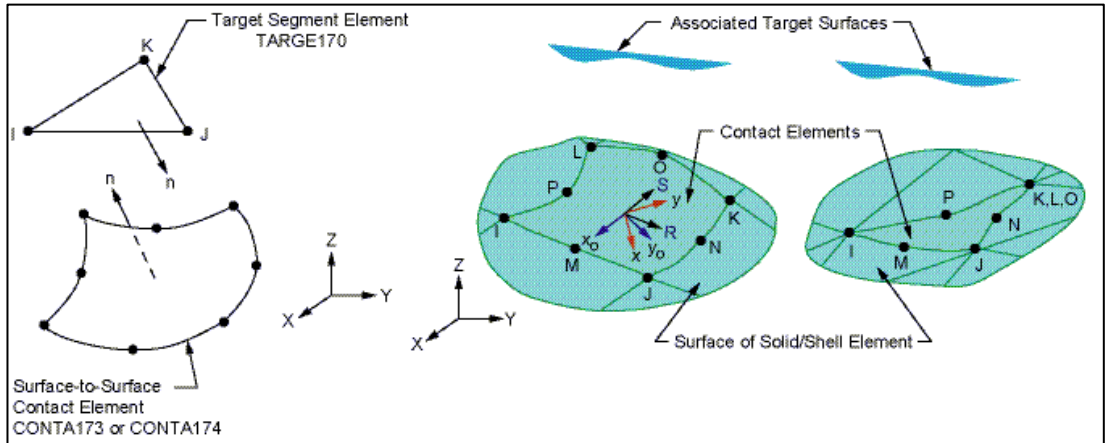
Şekil 3.3’te görülen “Solid 95” elemanı 20 düğüm noktasına sahip olmasının yanı sıra her bir düğüm noktasında x, y, z yönlerinde yer değiştirme serbestlik derecelerine sahiptir. Yüksek dereceli bir eleman olmasından dolayı düzgün olmayan şekillerde az hata payı ile hesap yapılmasına imkan sağlamaktadır. Ayrıca düzgün dörtyüzlü, prizma ve piramit gibi seçeneklerinin de olması eğri yüzeylerde hassasiyeti artırmaktadır (ANSYS 12.0).



**Şekil 3.3.** ANSYS Solid 95 eleman tipi (ANSYS 12.0)

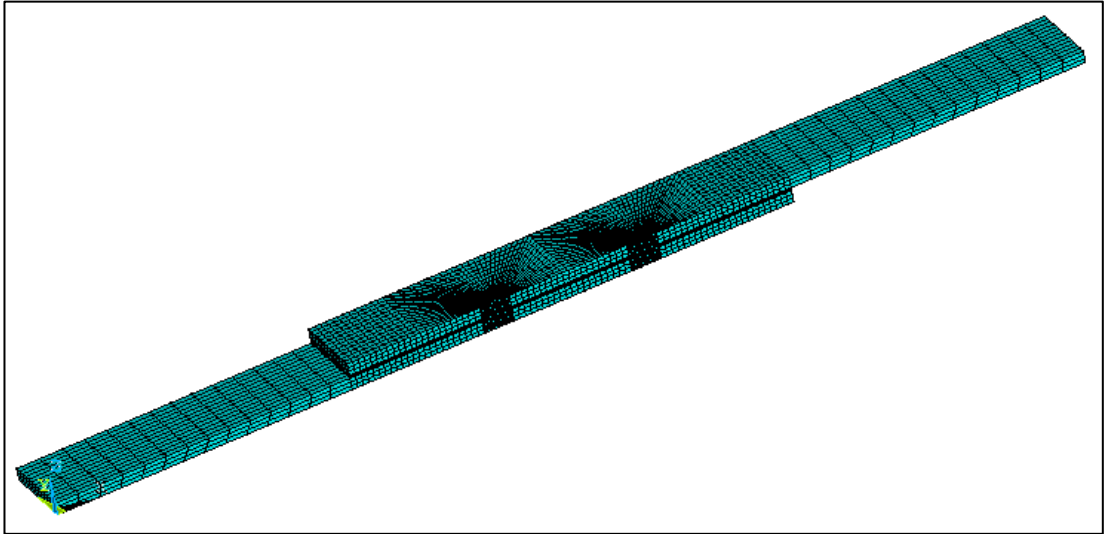
Pim ve delik yüzeyleri üzerinde gerçek problemlerde olduğu gibi sonuç alabilmek için kontak yüzey oluşturulmuştur. Kontak eşler iki eleman tipinden oluşmaktadır. Birincisi “TARGET” elemanı pim yanal yüzeylerinde, diğeri ise “CONTACT” elemanı pim deliğinin yüzeylerinde kullanılır. Kontak yüzey oluşturulması aşamasında eleman tipi olarak pim yanal yüzeylerinde TARGE 170, delik yanal yüzeylerinde ise CONTA 174 eleman tipi kullanılmıştır.

Kontak yüzeyde kullanılan eleman tipleri Şekil 3.4’te görülmektedir.

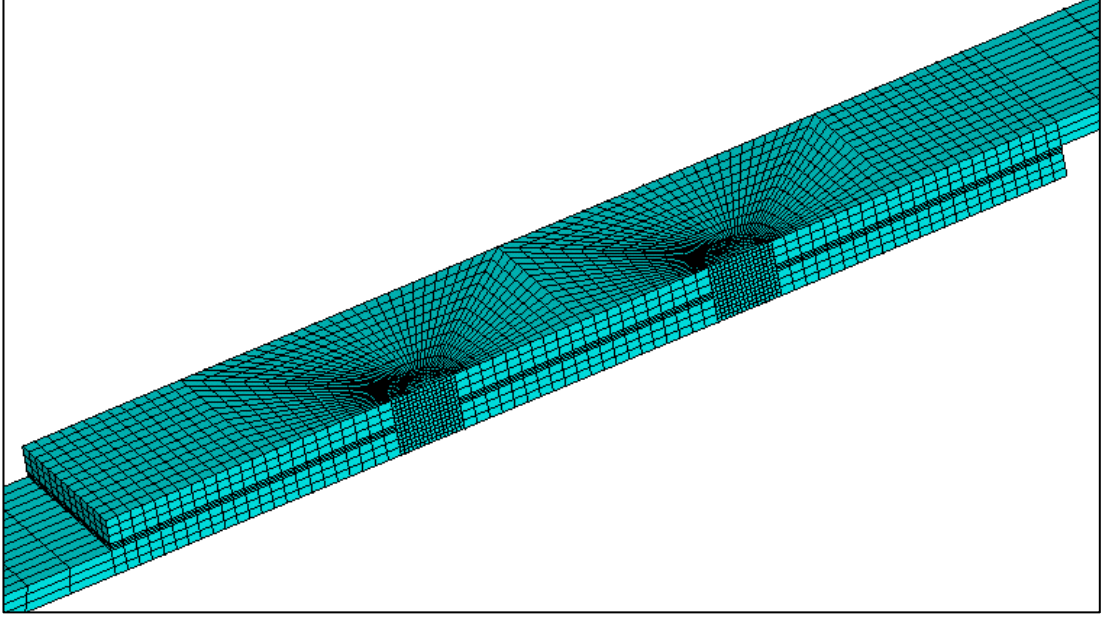


**Şekil 3.4.** ANSYS TARGE 170 ve CONTA 174 eleman tipleri (ANSYS 12.0)

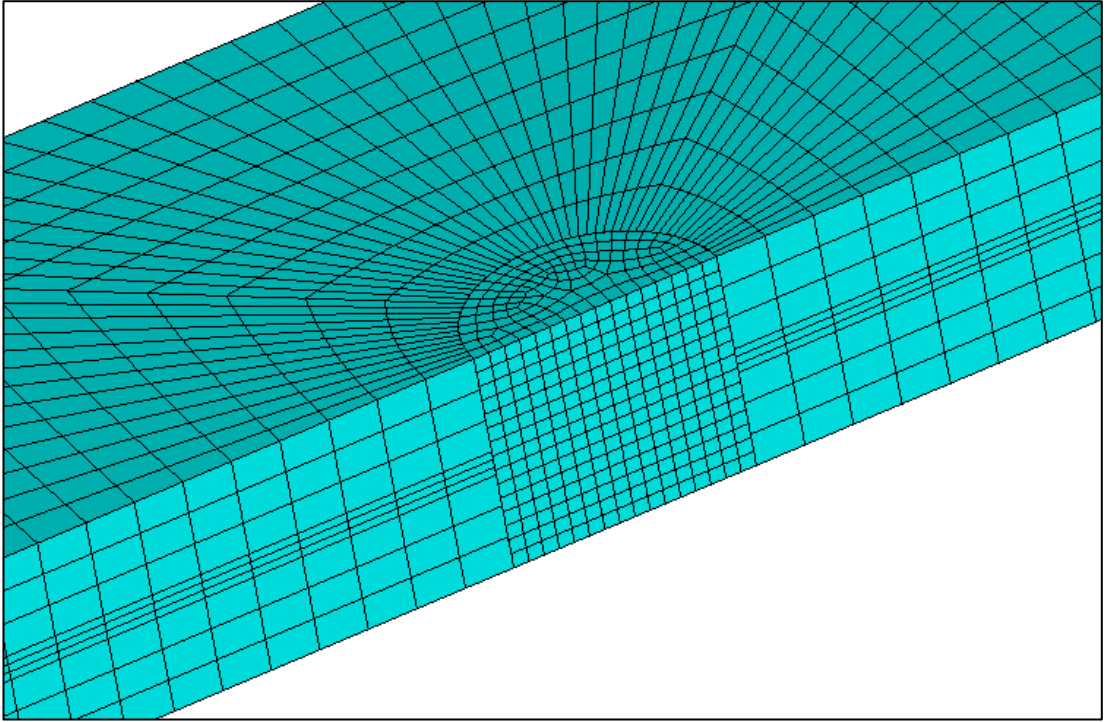
Sonlu elemanlar ağ yapısının oluşturulması sırasında, yapıştırıcı, delik ve pim bölgeleri dahil olmak üzere modelin tamamında düzgün dörtgen elemanlardan oluşan bir ağ yapısı oluşturulmasına özen gösterilmiştir. Bu düzgün elemanların oluşturulabilmesi için öncelikle plakalar ayrı ayrı dörtgen elemanlara bölünmüştür. Bu bölümlerin kendi içinde ağ yapısı oluşturulması suretiyle düzgün bir yapı meydana getirilmiştir. Oluşturulan bu düzgün ağ yapısı, çözümlemelerde doğru ve tutarlı sonuçların elde edilmesi hususunda büyük öneme sahiptir. Özellikle delik ve pim çevrelerinde bu düzgün ağ yapısının oluşturulması oldukça güçtür. Bu çalışmada, delik ve pim çevreleri de dahil olmak üzere bütün modelde düzgün bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Ağ yapısı oluşturulması işlemi sonucunda model üzerinde 19080 eleman ve 81792 düğüm noktası meydana gelmiştir. Oluşturulan ağ yapısı ve detay resimleri Şekil 3.5 ile Şekil 3.7 arasında gösterilmektedir. Şekillerden de anlaşılacağı üzere, yapıştırıcı ve delik çevrelerine yaklaşıldıkça eleman sayısı artmaktadır. Eleman sayısının artmasıyla birlikte bu bölgelerde daha hassas bir çözümleme yapılma imkanı oluşmaktadır.



**Şekil 3.5.** Modelin tamamının sonlu elemanlar ağ yapısı

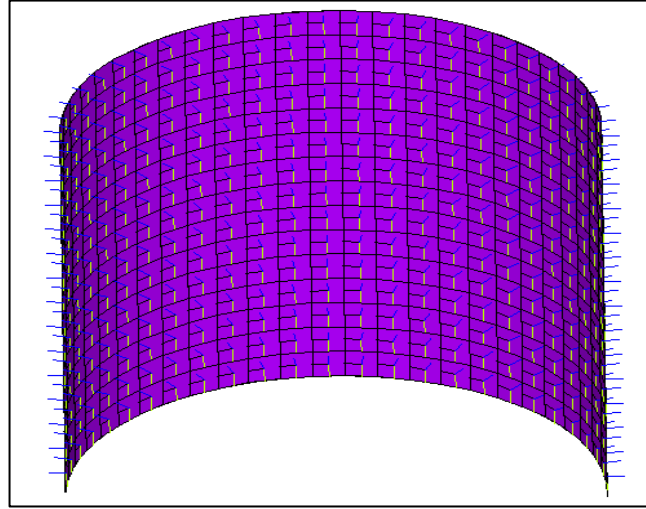


**Şekil 3.6.** Pim delikleri çevresi ağ yapısı görünümü



**Şekil 3.7.** Pim bağlantısı çevresi ağ yapısı görünümü

Kontak analiz oluşturulmuş yüzeylerle ilgili detay görüntüsü Şekil 3.8’de görülmektedir.



**Şekil 3.8.** Pim bağlantısı kontak yüzey görünüm

Sonlu elemanlar ağ yapısının oluşturulmasının ardından modele çeşitli sınır şartları uygulanmıştır. Model ilk olarak alt plakanın serbest ucundan tutularak ankastre hale getirilmiştir. Daha sonra plakaların y eksenini boyunca yüzeyleri sabitlenerek  $u_y$  yönündeki hareket engellenmiş ve pimlerin z eksenini yönündeki hareketleri sınırlandırılmıştır. Daha sonra üst plakanın serbest ucundan 50 MPa değerinde negatif basınç yükü uygulanmıştır. Böylece model bir çekme etkisinde bırakılmıştır. Bu şartlar altında bir çözümleme yapılarak oluşan gerilmeler incelenmiştir. Daha sonra modele negatif basınç yükü ile birlikte 50°C ve - 50°C olmak üzere iki farklı ısı yükü etki ettirilerek hem negatif basınç hem de ısı yükü altında oluşan gerilmeler incelenmiştir. Bu sayede iki farklı yükleme durumunda modeller arasında ne gibi gerilme farklılıkları meydana geldiği ve bu gerilmelerin birbiri arasında kıyaslanması yapılabilecektir. Gerilmeler incelenirken normal gerilmeler, kayma gerilmeleri ve Von Mises gerilmeleri esas alınmıştır. Modellerde sünek malzeme kullanıldığından Von Mises gerilmesi kullanılmıştır.

Özet olarak, farklı özelliklerde metal plakalar altı farklı kombinasyon oluşacak şekilde, yapıştırma ve seri çift pim bağlantısı kullanılarak birleştirilmiştir. Oluşturulan bu karma bağlantıya ilk olarak çekme yükü uygulanmış ve oluşan gerilmeler incelenmiştir. Daha sonra ise çekme yükü ile birlikte ısı yükü uygulanmak suretiyle modelde oluşan gerilmeler incelenmiştir. Böylece model üzerine gerçek bir problemde oluşabilecek yükler etki ettirilmiş ve etkileri incelenmiştir.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, aynı veya farklı malzeme özelliklerine sahip olarak oluşturulmuş olan bu karma bağlantı modellerinde öncelikle delik mesafesi tespitinde ortaya çıkan sonuçlar incelenmiştir. Uygun delik aralık mesafesi tespitinin ardından karma bağlantıda ilk olarak sadece çekme yükü etkisiyle ortaya çıkan gerilme dağılımları, daha sonra ise aynı modellere çekme yükü ile birlikte ısı yükleri uygulanması sonucunda elde edilen gerilme dağılımları incelenmiştir.

##### 4.1. Pim Kullanımında Uygun Delik Mesafesi Tespiti İçin Elde Edilen Bulgular

Model üzerinde en uygun delik mesafesi belirlenmesi amacıyla 5 farklı delik mesafesi belirlenmiştir. Bu delik mesafeleri için 6 model üzerinde yapılan analizler sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1 ile Çizelge 4.4 arasında görülmektedir.

**Çizelge 4.1.** Delik mesafesi belirlenmesinde modellerin tamamında oluşan  $\sigma_x$  gerilme(MPa) dağılımı değerleri

| $\sigma_x$ |       | Model 1   | Model 2 | Model 3   | Model 4   | Model 5 | Model 6   |
|------------|-------|-----------|---------|-----------|-----------|---------|-----------|
| 1. Tip     | Çekme | 209,95    | 204,70  | 199,10    | 208,84    | 197,16  | 197,11    |
|            | Basma | -1.623,00 | -589,76 | -1.049,00 | -688,04   | -577,10 | -1.428,00 |
| 2. Tip     | Çekme | 214,06    | 207,80  | 202,27    | 208,29    | 200,98  | 201,10    |
|            | Basma | -1.563,00 | -615,18 | -1.019,00 | -1.059,00 | -609,38 | -1.439,00 |
| 3. Tip     | Çekme | 213,41    | 207,09  | 201,76    | 206,55    | 201,00  | 200,81    |
|            | Basma | -1.520,00 | -606,37 | -992,44   | -901,23   | -625,88 | -1.442,00 |
| 4. Tip     | Çekme | 216,77    | 212,54  | 207,49    | 211,21    | 207,24  | 207,16    |
|            | Basma | -1.105,00 | -568,36 | -950,66   | -700,76   | -601,08 | -1.439,00 |
| 5. Tip     | Çekme | 211,24    | 207,79  | 203,01    | 205,60    | 202,75  | 202,39    |
|            | Basma | -1.001,00 | -574,57 | -946,37   | -617,03   | -540,39 | -1.461,00 |

**Çizelge 4.2.** Delik mesafesi belirlenmesinde modellerin tamamında oluşan  $\sigma_y$  gerilme(MPa) dağılımı değerleri

| $\sigma_y$    |              | Model 1   | Model 2 | Model 3 | Model 4 | Model 5 | Model 6   |
|---------------|--------------|-----------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| <b>1. Tip</b> | <i>Çekme</i> | 114,02    | 107,90  | 103,18  | 133,35  | 102,25  | 105,93    |
|               | <i>Basma</i> | -1.149,00 | -460,11 | -783,31 | -526,90 | -455,95 | -1.036,00 |
| <b>2. Tip</b> | <i>Çekme</i> | 109,27    | 106,89  | 98,68   | 132,48  | 101,38  | 103,94    |
|               | <i>Basma</i> | -1.143,00 | -471,62 | -780,61 | -823,18 | -470,73 | -1.068,00 |
| <b>3. Tip</b> | <i>Çekme</i> | 108,24    | 105,47  | 97,92   | 131,89  | 103,11  | 104,12    |
|               | <i>Basma</i> | -1.098,00 | -470,72 | -754,62 | -713,25 | -481,69 | -1.060,00 |
| <b>4. Tip</b> | <i>Çekme</i> | 102,16    | 103,55  | 96,91   | 130,31  | 104,27  | 105,27    |
|               | <i>Basma</i> | -845,82   | -438,44 | -720,96 | -572,82 | -459,56 | -1.046,00 |
| <b>5. Tip</b> | <i>Çekme</i> | 100,42    | 102,79  | 95,46   | 132,36  | 103,46  | 104,29    |
|               | <i>Basma</i> | -750,89   | -423,02 | -716,22 | -468,73 | -448,87 | -1.068,00 |

**Çizelge 4.3.** Delik mesafesi belirlenmesinde modellerin tamamında oluşan  $\sigma_z$  gerilme(MPa) dağılımı değerleri

| $\sigma_z$    |              | Model 1   | Model 2 | Model 3 | Model 4 | Model 5 | Model 6   |
|---------------|--------------|-----------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| <b>1. Tip</b> | <i>Çekme</i> | 101,99    | 94,72   | 96,75   | 112,48  | 102,34  | 101,13    |
|               | <i>Basma</i> | -1.132,00 | -455,32 | -815,04 | -522,86 | -461,29 | -1.042,00 |
| <b>2. Tip</b> | <i>Çekme</i> | 101,76    | 95,52   | 96,61   | 113,60  | 104,50  | 102,81    |
|               | <i>Basma</i> | -1.116,00 | -464,40 | -808,54 | -825,76 | -463,92 | -1.060,00 |
| <b>3. Tip</b> | <i>Çekme</i> | 101,73    | 95,75   | 96,61   | 115,76  | 106,47  | 104,15    |
|               | <i>Basma</i> | -1.080,00 | -463,90 | -785,76 | -745,53 | -468,35 | -1.055,00 |
| <b>4. Tip</b> | <i>Çekme</i> | 102,01    | 95,77   | 96,42   | 117,10  | 107,79  | 105,37    |
|               | <i>Basma</i> | -856,93   | -444,37 | -752,50 | -627,17 | -469,25 | -1.049,00 |
| <b>5. Tip</b> | <i>Çekme</i> | 101,95    | 96,09   | 96,42   | 118,35  | 109,07  | 106,54    |
|               | <i>Basma</i> | -797,51   | -442,71 | -758,84 | -533,70 | -472,95 | -1.076,00 |

**Çizelge 4.4.** Delik mesafesi belirlenmesinde modellerin tamamında oluşan Von Mises gerilme(MPa) dağılımı değerleri

| Von Mises     | Model 1  | Model 2 | Model 3 | Model 4  | Model 5 | Model 6  |
|---------------|----------|---------|---------|----------|---------|----------|
| <b>1. Tip</b> | 1.354,00 | 574,37  | 821,64  | 702,73   | 815,06  | 1.654,00 |
| <b>2. Tip</b> | 1.239,00 | 579,62  | 756,41  | 1.181,00 | 823,82  | 1.673,00 |
| <b>3. Tip</b> | 1.129,00 | 571,19  | 682,42  | 637,00   | 823,77  | 1.660,00 |
| <b>4. Tip</b> | 1.112,00 | 551,73  | 630,32  | 697,23   | 829,26  | 1.608,00 |
| <b>5. Tip</b> | 467,87   | 567,86  | 560,23  | 696,50   | 853,87  | 1.664,00 |

Yukarıdaki çizelgelerdeki değerler incelenecek olursa, elde edilen gerilme değerleri içerisinde tutarlı gerilme dağılımlarının 3. tip delik mesafesi için meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca bu alanda daha önce yapılmış olan deneysel çalışmalarda en uygun oran olarak önerilen  $E/D= W/D= 5$  oranı değeri 3. tip bağlantıda yakalanmaktadır(Şen ve Pakdil, 2008) (Şen vd., 2008). Elde edilen bu bulgular ışığında ve daha önceki çalışmalarda yapılan değerlendirmeler de göz önünde bulundurularak en uygun delik aralık mesafesinin 3. tip olduğu tespit edilmiştir. Bu aşamadan sonra yapılan analizlerde 3. tip delik aralık mesafesi kullanılmış ve analiz sonuçları elde edilmiştir.

#### **4.2. Çekme Yüğü Uygulanması Sonucu Elde Edilen Bulgular**

Bu bölümde modellere sadece çekme yüğü uygulanması suretiyle, öncelikle tüm modellerde karma bağlantının tamamı için elde edilen gerilme dağılımları incelenmiştir. Daha sonra yapıştırıcı tabakasında meydana gelen gerilme dağılımları incelenmiş, son olarak ise delik bölgelerinde belirlenen doğrultularda elde edilen gerilme dağılımları incelenmiştir.

##### **4.2.1. Çekme yüğü uygulanması sonucu karma bağlantının tamamı için elde edilen bulgular**

Aşağıdaki çizelgelerde karma bağlantının tamamı için hesaplanan gerilme dağılımları verilmiştir. Çekme yüğü uygulanması sonucunda karma bağlantının tamamı için her bir modelde hesaplanan gerilmelerin maksimum değerleri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

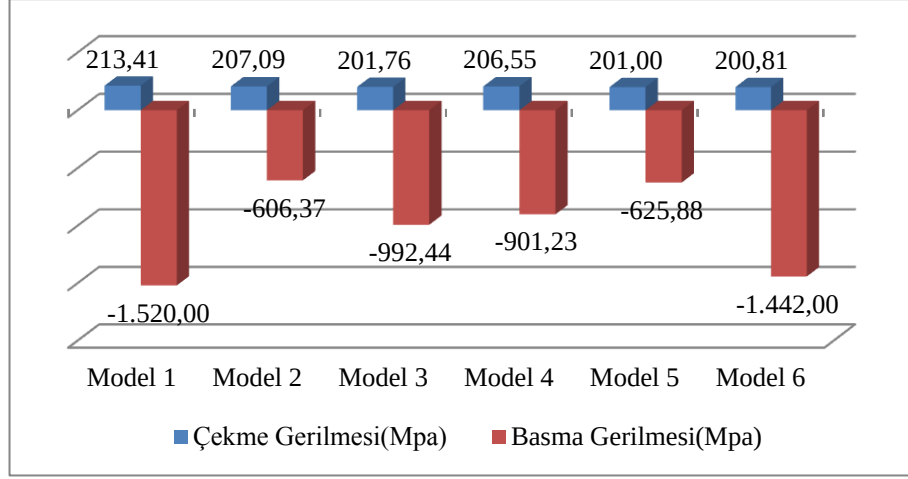
**Çizelge 4.5.** Çekme yükü uygulanması sonucunda karma bağlantının tamamı için her bir modelde hesaplanan gerilmelerin(MPa) maksimum değerleri

|         |       | $\sigma_x$ | $\sigma_y$ | $\sigma_z$ | Von Mises |
|---------|-------|------------|------------|------------|-----------|
| Model 1 | Çekme | 213,41     | 108,24     | 101,73     | 1.129,00  |
|         | Basma | -1.520,00  | -1.098,00  | -1.080,00  |           |
| Model 2 | Çekme | 207,09     | 105,47     | 95,75      | 571,19    |
|         | Basma | -606,37    | -470,72    | -463,90    |           |
| Model 3 | Çekme | 201,76     | 97,92      | 96,61      | 682,42    |
|         | Basma | -992,44    | -754,62    | -785,76    |           |
| Model 4 | Çekme | 206,55     | 131,89     | 115,76     | 637,00    |
|         | Basma | -901,23    | -713,25    | -745,53    |           |
| Model 5 | Çekme | 201,00     | 103,11     | 106,47     | 823,77    |
|         | Basma | -625,88    | -481,69    | -468,35    |           |
| Model 6 | Çekme | 200,81     | 104,12     | 104,15     | 1.660,00  |
|         | Basma | -1.442,00  | -1.060,00  | -1.055,00  |           |

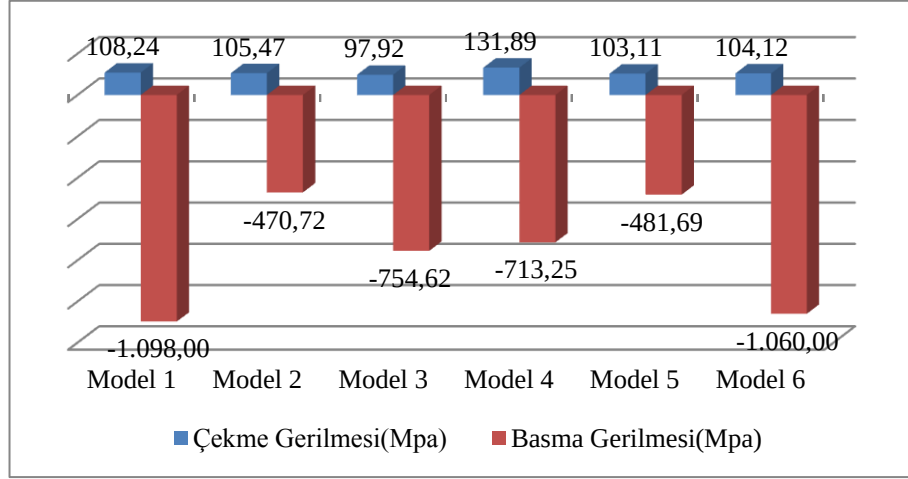
Çizelge 4.5'te görüldüğü gibi bütün modellerde maksimum basma normal gerilmelerinin, maksimum çekme normal gerilmelerinden mutlak değer olarak daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Bununla birlikte x eksenini yönünde oluşan normal gerilmelerin ( $\sigma_x$ ) y ve z eksenlerinde oluşan normal gerilmelere ( $\sigma_y$ -  $\sigma_z$ ) nazaran daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise bağlantıya uygulanan çekme yükünün x eksenini yönünde olmasındandır.

Modeller arasında bir kıyaslama yapılmak istenirse, x eksenini yönünde en yüksek çekme ve basma normal gerilmesinin Model 1'de; y ve z eksenleri yönünde en yüksek çekme normal gerilmesinin Model 4'te, en yüksek basma normal gerilmesinin ise Model 1'de olduğu görülmektedir. Von Mises gerilmelerinde ise en yüksek gerilme değerinin Model 6'da olduğu görülmektedir.

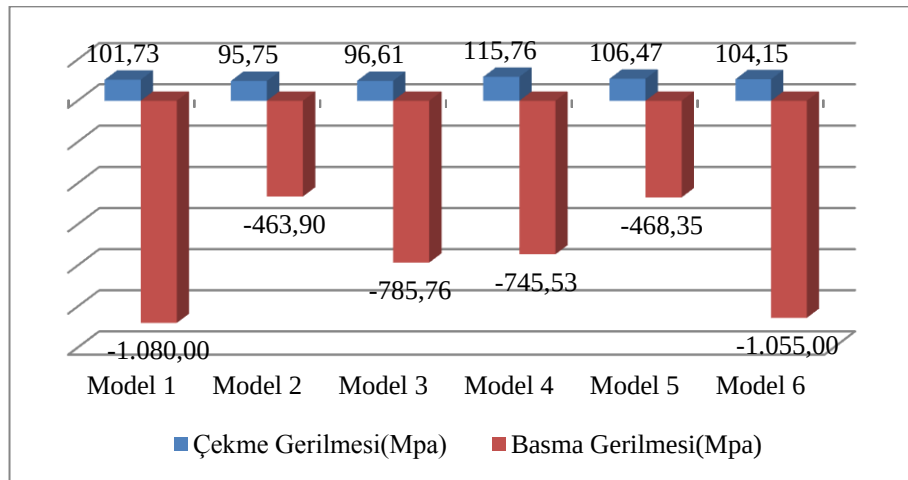
Çekme yükü uygulanması sonucunda karma bağlantının tamamı için elde edilen maksimum normal gerilmelerin grafiksel gösterimi Şekil 4.1'de, Von Mises gerilmelerinin grafiksel gösterimi ise Şekil 4.2'de görülmektedir.



x eksenı yönündeki normal gerilme( $\sigma_x$ )



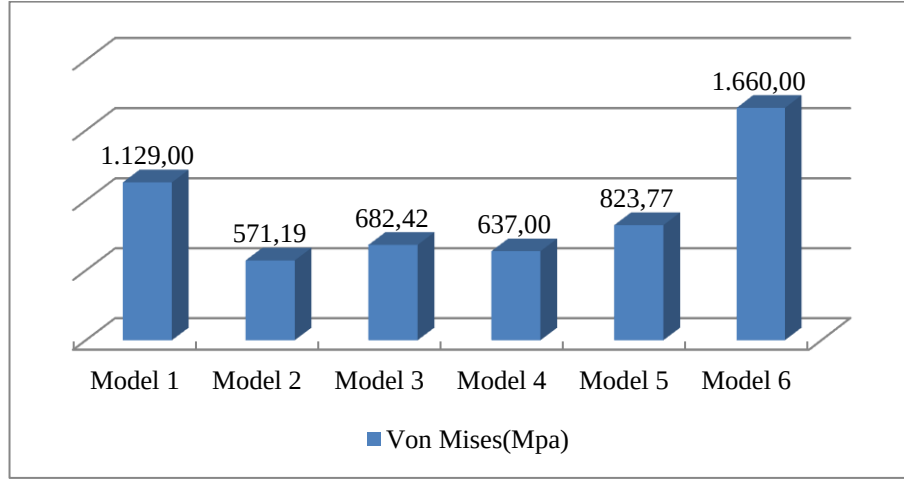
y eksenı yönündeki normal gerilme( $\sigma_y$ )



z eksenı yönündeki normal gerilme( $\sigma_z$ )

**Şekil 4.1.** Çekme yükü uygulanması sonucu karma bağlantının tamamı için maksimum normal gerilmelerin grafiksel gösterimi

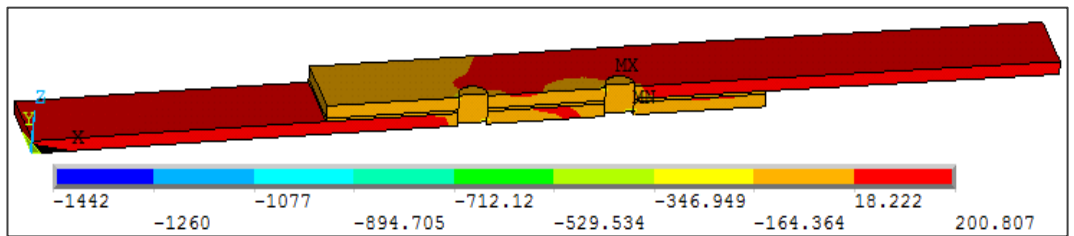
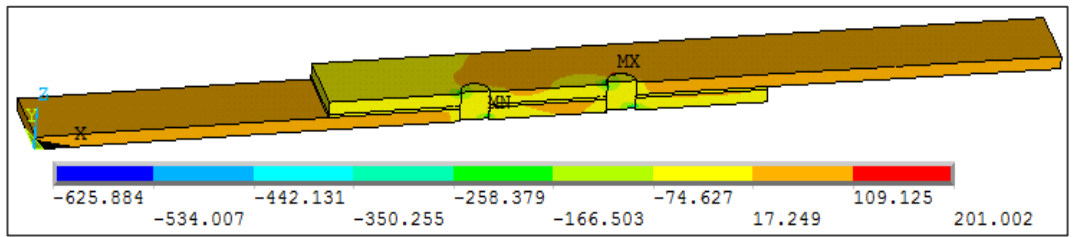
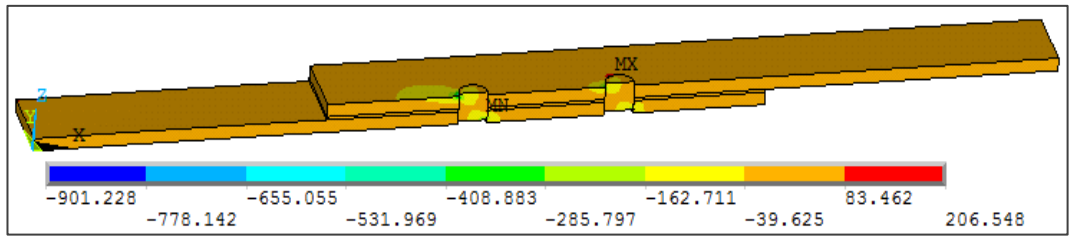
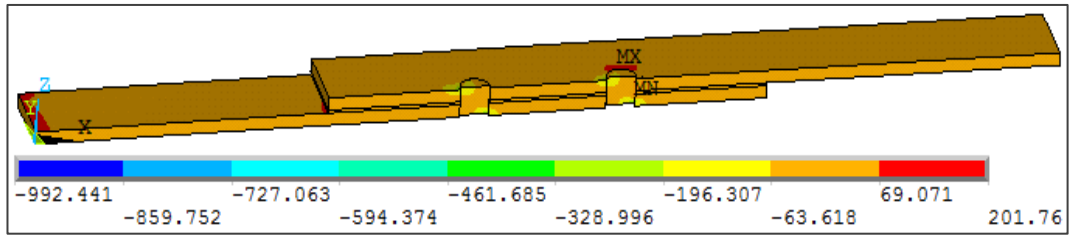
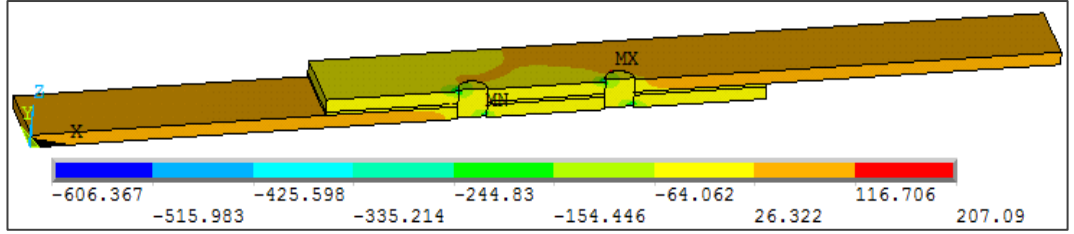
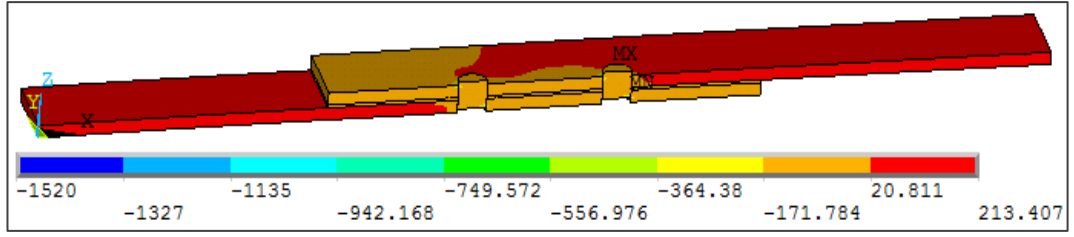
Şekil 4.1 incelenecek olursa, çekme formunda en yüksek gerilmenin x eksen yönünde 213,41 MPa değerinde Model 1’de, basma formunda en yüksek gerilmenin ise x eksen yönünde -1520 MPa değerinde yine Model 1’de olduğu görülmektedir.



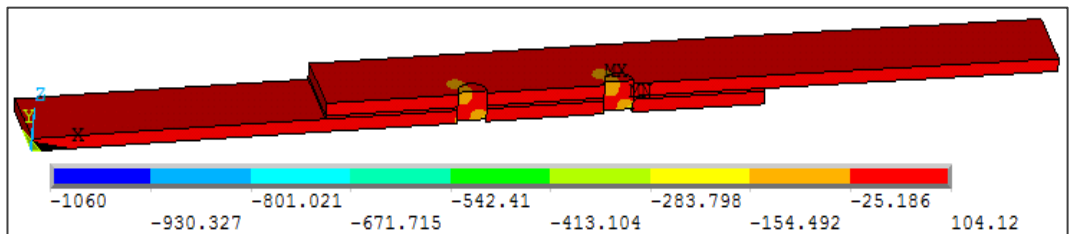
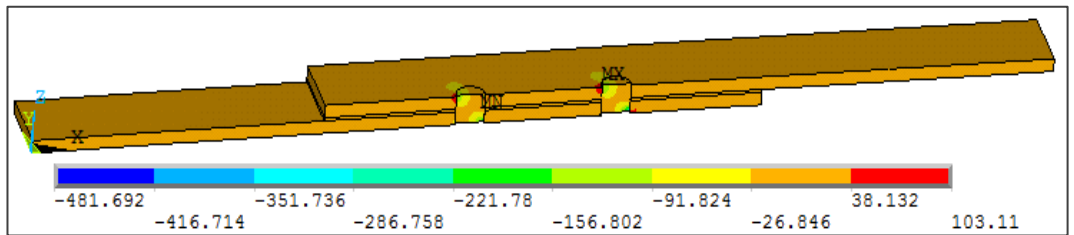
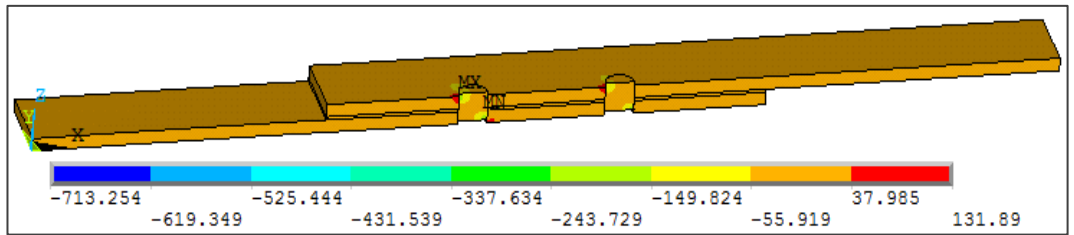
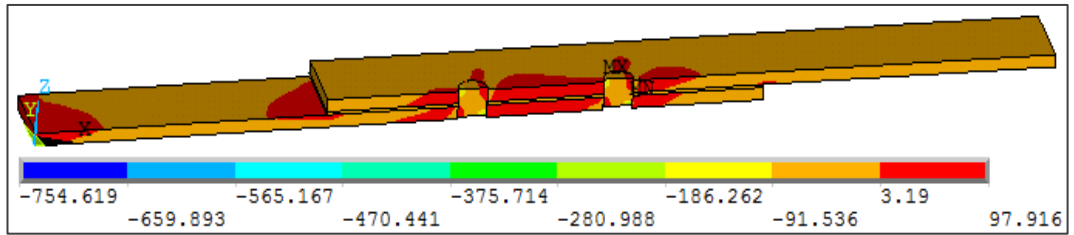
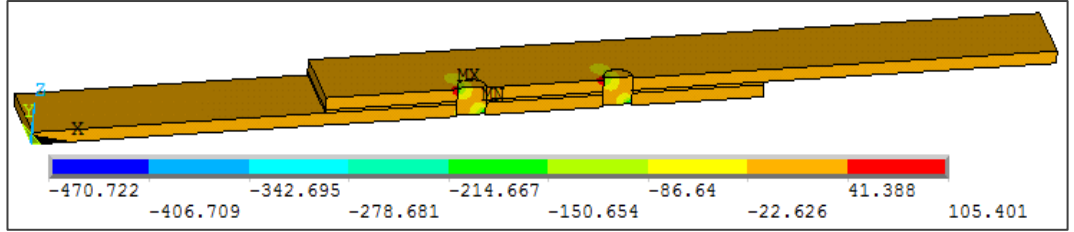
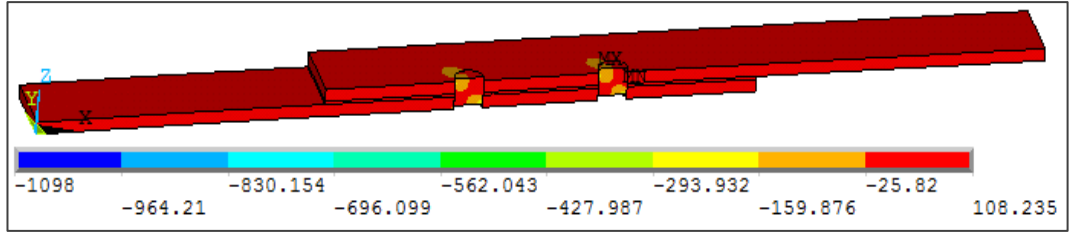
**Şekil 4.2.** Çekme yükü uygulanması sonucu karma bağlantının tamamı için Von Mises gerilmelerinin grafiksel gösterimi

Şekil 4.2’de en yüksek Von Mises gerilmesinin 1660 MPa değerinde Model 6’da olduğu görülmektedir.

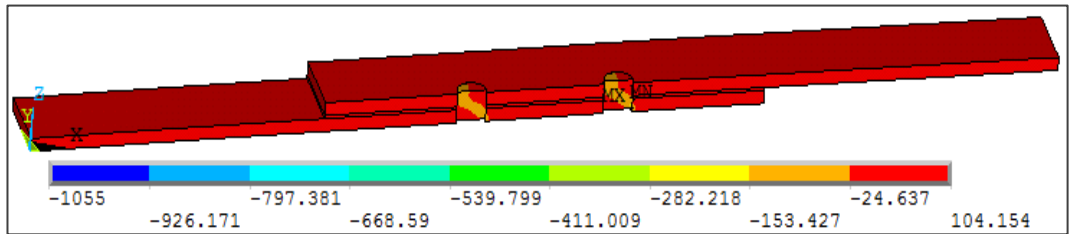
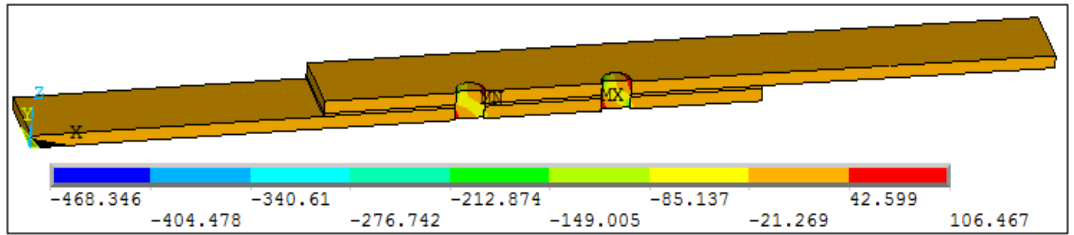
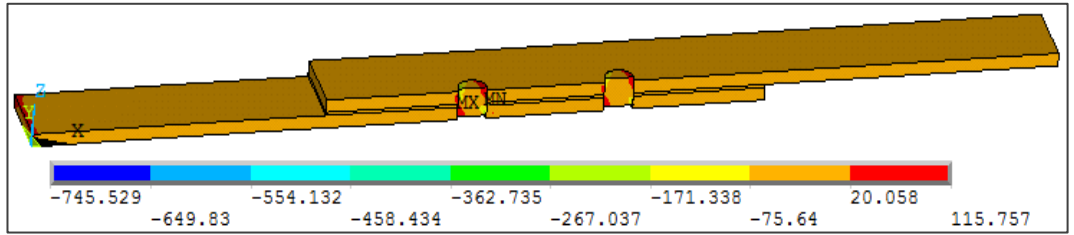
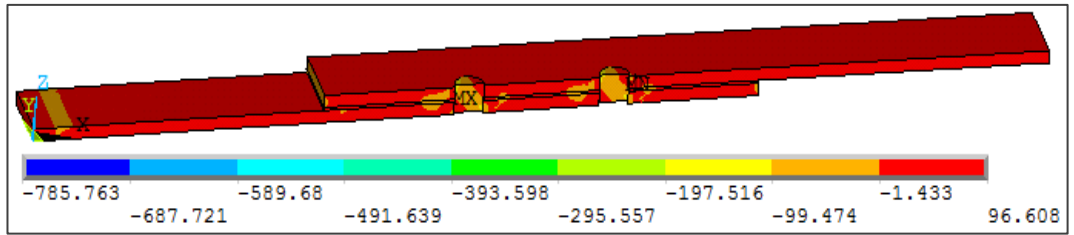
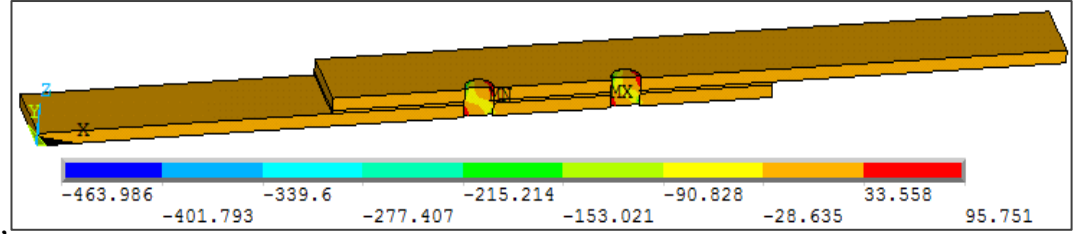
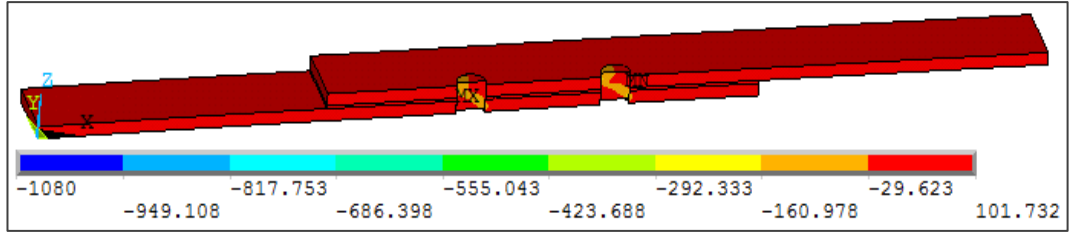
Model üzerinde gerilme dağılımlarını, renkli konturları ve gerilme yığılmalarının hangi bölgelerde olduğunu gösteren model resimleri Şekil 4.3 ile Şekil 4.6 arasında görülmektedir. Gerilme dağılımlarında “+” değerler çekme gerilmesinin maksimum değerlerini, “-“ değerler ise basma gerilmesinin maksimum değerlerini göstermektedir. Şekil 4.3’te x eksen yönündeki normal gerilmeler, Şekil 4.4’te y eksen yönündeki normal gerilmeler, Şekil 4.5’te z eksen yönündeki normal gerilmeler, Şekil 4.6’da ise Von Mises gerilmelerinin model resimleri gösterilmiştir.



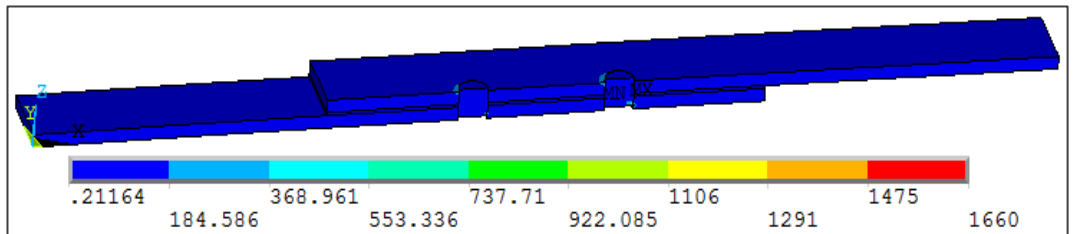
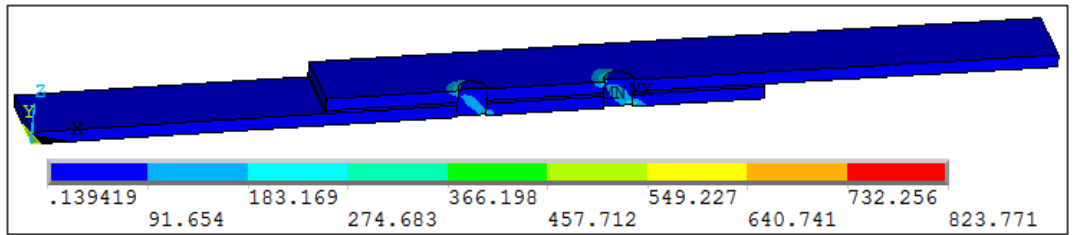
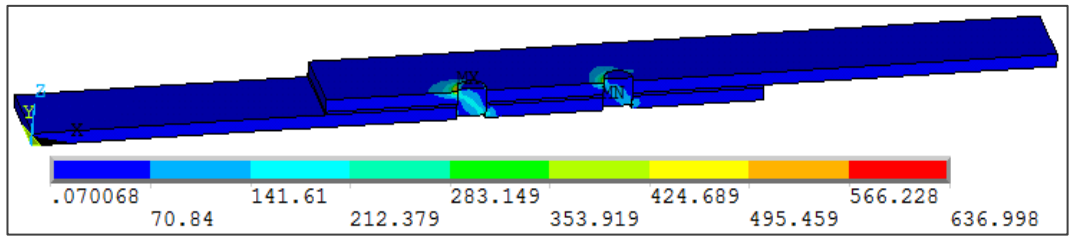
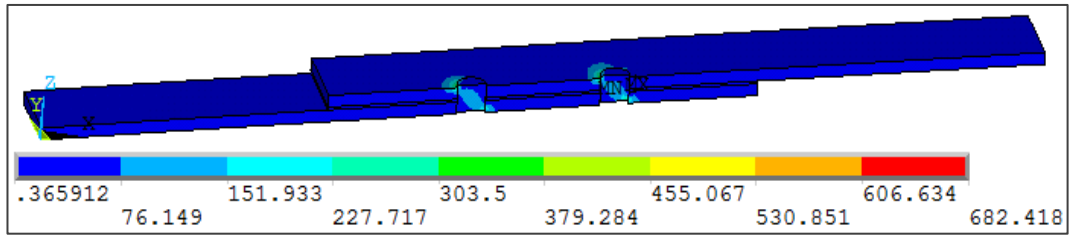
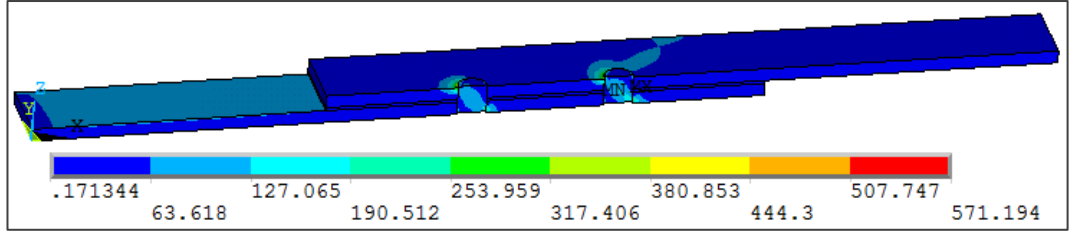
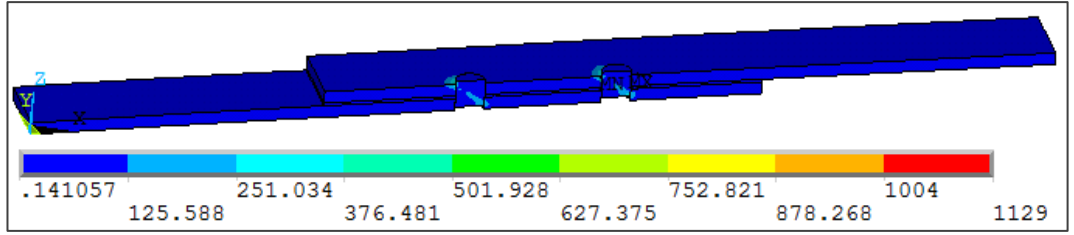
Şekil 4.3. Çekme yükü uygulanması sonucu karma bağlantının tamamında oluşan x yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_x$  - MPa)



Şekil 4.4. Çekme yükü uygulanması sonucu karma bağlantının tamamında oluşan y yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_y$  - MPa)



**Şekil 4.5.** Çekme yükü uygulanması sonucu karma bağlantının tamamında oluşan z yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_z$  - MPa)



Şekil 4.6. Çekme yükü uygulanması sonucu karma bağlantının tamamında oluşan Von Mises gerilme dağılımları(MPa)

Şekiller incelendiğinde bütün modellerde x,y ve z eksenleri yönünde basma gerilmelerinin çekme gerilmelerine oranla daha yüksek değerlerde meydana geldiği görülmektedir. Bununla birlikte delik çevrelerinde gerilme yığılmalarının olduğu gözlenmiştir.

#### 4.2.2. Çekme yükü uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakası için elde edilen bulgular

Aşağıdaki çizelgelerde yapıştırıcı tabakası için hesaplanan gerilme dağılımları görülmektedir. Çizelge 4.6'da çekme yükü uygulanması sonucunda yapıştırıcı tabakasında her bir model için meydana gelen normal gerilmelerin ve Von Mises gerilmelerinin değerleri verilmiştir. Çizelge 4.7'de ise çekme yükü uygulanması sonucunda yapıştırıcı tabakasında her bir model için meydana gelen kayma gerilmelerinin değerleri verilmiştir.

**Çizelge 4.6.** Çekme yükü uygulanması sonucunda yapıştırıcı tabakası için her bir modelde hesaplanan normal gerilmelerin ve Von Mises gerilmelerinin (MPa) maksimum değerleri

|         |       | $\sigma_x$ | $\sigma_y$ | $\sigma_z$ | Von Mises |
|---------|-------|------------|------------|------------|-----------|
| Model 1 | Çekme | 11,21      | 7,76       | 19,71      | 17,97     |
|         | Basma | -1,93      | -2,22      | -5,08      |           |
| Model 2 | Çekme | 4,78       | 4,68       | 8,78       | 8,87      |
|         | Basma | -1,28      | -1,34      | -3,11      |           |
| Model 3 | Çekme | 7,84       | 5,51       | 13,70      | 12,74     |
|         | Basma | -1,67      | -1,83      | -4,21      |           |
| Model 4 | Çekme | 9,50       | 7,14       | 16,04      | 24,88     |
|         | Basma | -3,78      | -3,95      | -9,17      |           |
| Model 5 | Çekme | 8,20       | 7,47       | 13,71      | 11,05     |
|         | Basma | -2,43      | -2,53      | -5,89      |           |
| Model 6 | Çekme | 10,59      | 7,33       | 16,39      | 14,94     |
|         | Basma | -2,67      | -2,90      | -6,73      |           |

Çizelge 4.6 incelenirse, tüm modellerde z eksen yönünde oluşan normal gerilmelerin ( $\sigma_z$ ) x ve y eksen yönünde oluşan normal gerilmelere ( $\sigma_y$ -  $\sigma_x$ ) oranla daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Ayrıca bütün modellerde maksimum çekme gerilmelerinin, maksimum basma gerilmelerinden yüksek olduğu görülmektedir.

Modeller birbiri arasında kıyaslanırsa, x,y ve z eksenleri yönünde en yüksek çekme normal gerilmesinin Model 1'de, en yüksek basma normal gerilmesinin Model 4'te olduğu görülmektedir. Von Mises gerilmelerinde ise en yüksek gerilme değerinin Model 4'te olduğu görülmektedir.

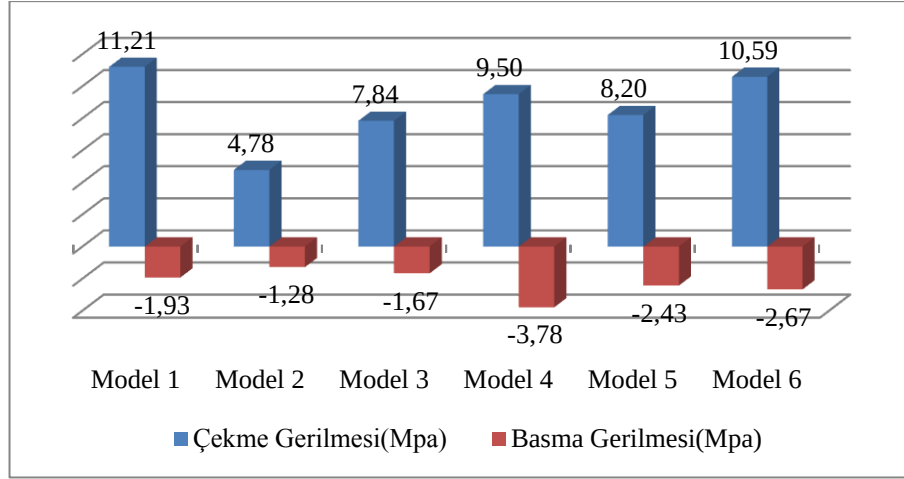
**Çizelge 4.7.** Çekme yükü uygulanması sonucunda yapıştırıcı tabakası için her bir modelde hesaplanan kayma gerilmelerinin (MPa) maksimum değerleri

|         | $\tau_{xy}$ | $\tau_{yz}$ | $\tau_{xz}$ |
|---------|-------------|-------------|-------------|
| Model 1 | 2,76        | 2,60        | 7,72        |
|         | -2,40       | -6,14       | -7,80       |
| Model 2 | 1,16        | 2,36        | 4,31        |
|         | -1,18       | -3,71       | -3,42       |
| Model 3 | 1,88        | 2,80        | 5,89        |
|         | -1,69       | -4,53       | -5,31       |
| Model 4 | 1,96        | 3,31        | 8,03        |
|         | -3,14       | -7,23       | -12,80      |
| Model 5 | 1,60        | 2,96        | 4,12        |
|         | -1,42       | -3,82       | -5,18       |
| Model 6 | 2,49        | 3,23        | 5,71        |
|         | -2,18       | -5,07       | -6,87       |

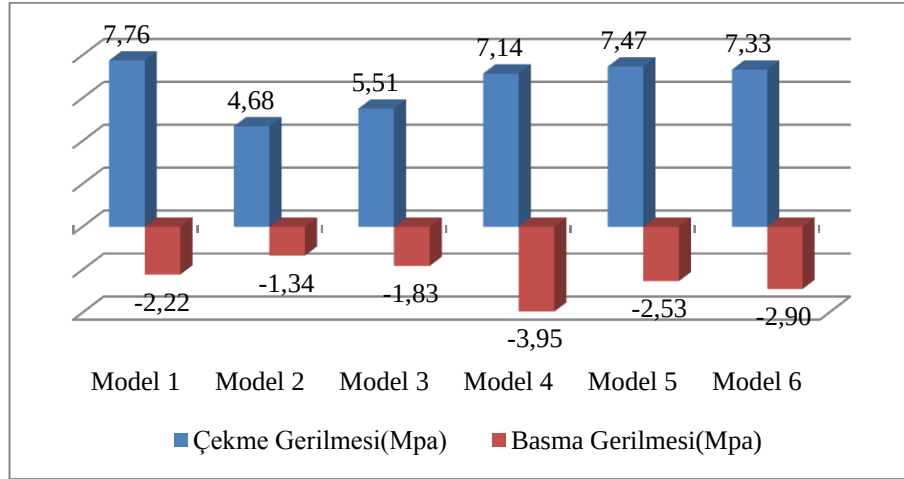
Çizelge 4.7 incelenecek olursa, negatif gerilmelerin pozitif gerilmelere oranla daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. xy eksenleri boyunca en yüksek kayma gerilmesinin pozitif değerde Model 1’de, negatif değerde Model 4’te olduğu görülürken, yz ve xz eksenleri boyunca en yüksek kayma gerilmesinin pozitif ve negatif değerde Model 4’te olduğu görülmektedir.

Modeller birbiri arasında kıyaslanırsa, xy,yz ve xz eksenleri boyunca en yüksek kayma gerilmesinin Model 4’te olduğu görülmektedir.

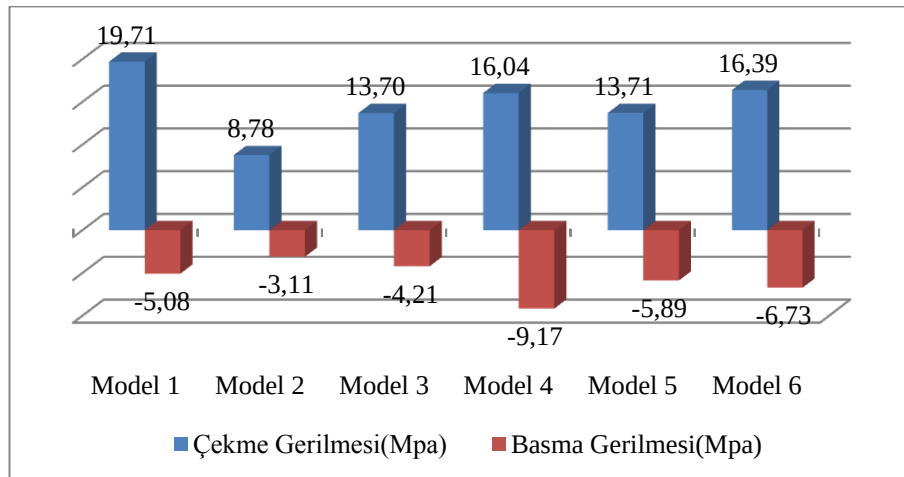
Çekme yükü uygulanması sonucunda yapıştırıcı tabakası için elde edilen maksimum normal gerilmelerin grafiksel gösterimi Şekil 4.7’de, maksimum kayma gerilmelerinin grafiksel gösterimi Şekil 4.8’de ve Von Mises gerilmelerinin grafiksel gösterimi ise Şekil 4.9’da görülmektedir.



x eksenı yönündeki normal gerilme( $\sigma_x$ )



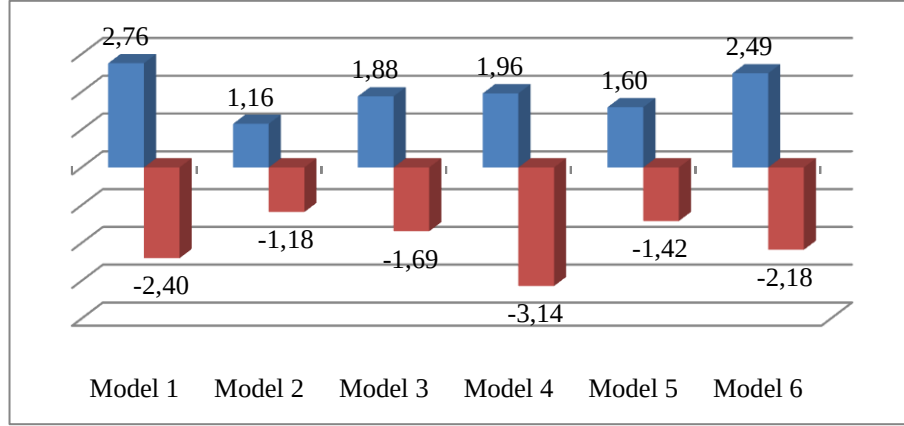
y eksenı yönündeki normal gerilme( $\sigma_y$ )



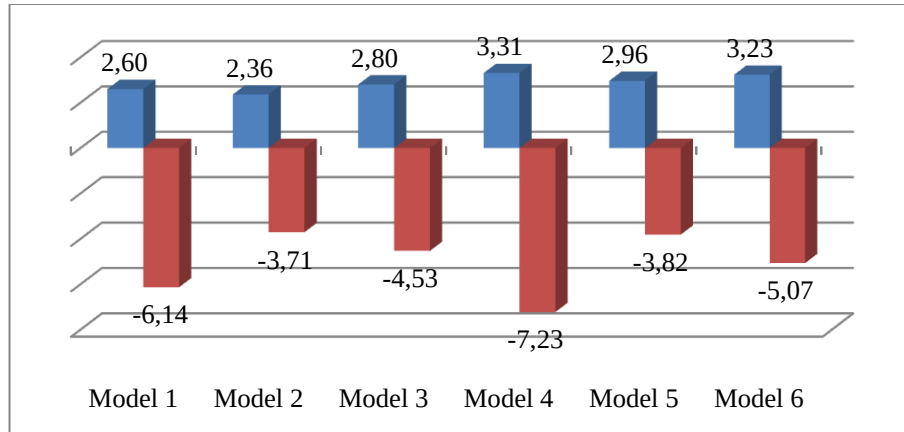
z eksenı yönündeki normal gerilme( $\sigma_z$ )

**Şekil 4.7.** Çekme yükü uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakası için maksimum normal gerilmelerin grafiksel gösterimi

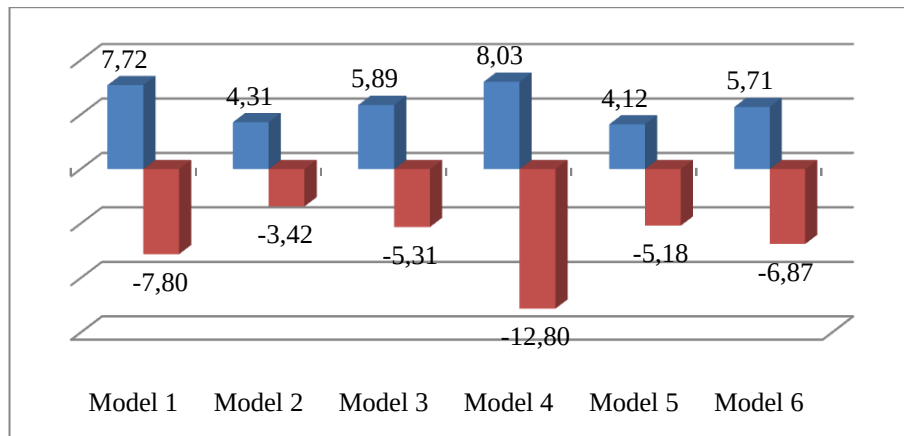
Grafikler incelenecek olursa, x eksenı yönünde en yüksek normal gerilmenin Model 1’de 11,21 MPa değeriinde, y eksenı yönünde en yüksek normal gerilmenin Model 1’de 7,76 MPa değeriinde ve z eksenı yönünde en yüksek normal gerilmenin Model 1’de 19,71 MPa değeriinde olduğu görülmektedir.



xy eksenleri yönündeki kayma gerilmesi( $\tau_{xy}$ )



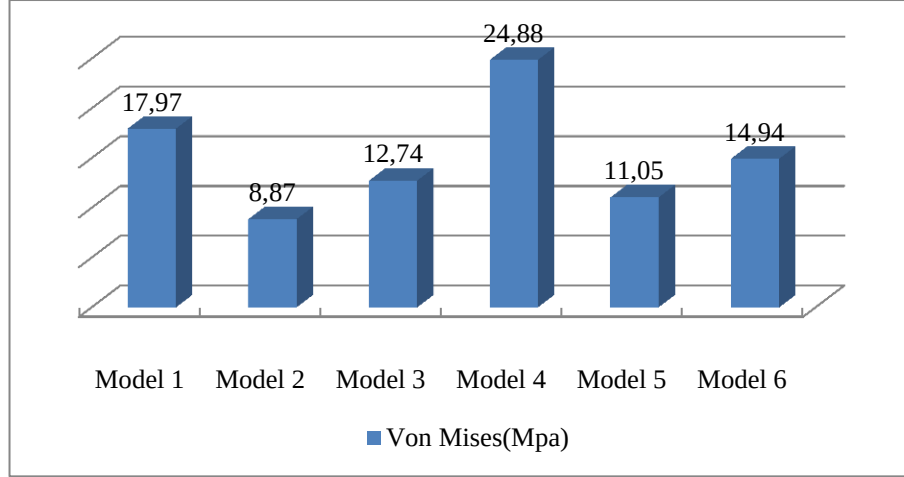
yz eksenleri yönündeki kayma gerilmesi( $\tau_{yz}$ )



xz eksenleri yönündeki kayma gerilmesi( $\tau_{xz}$ )

**Şekil 4.8.** Çekme yükü uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakası için maksimum kayma gerilmelerinin grafiksel gösterimi

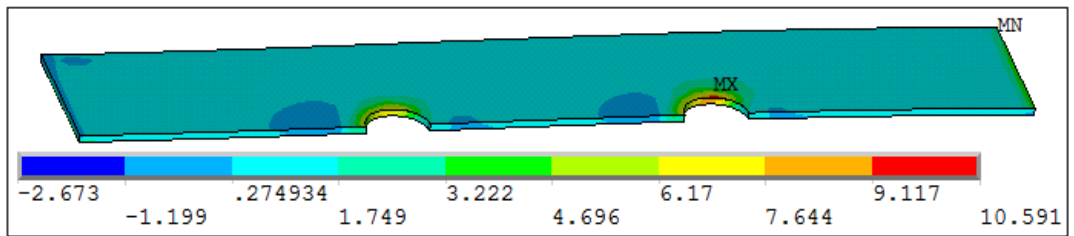
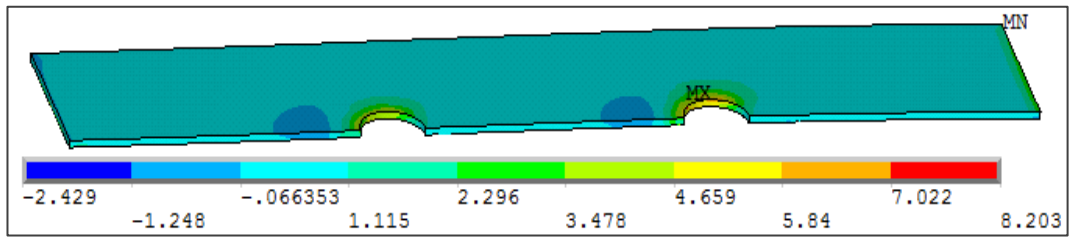
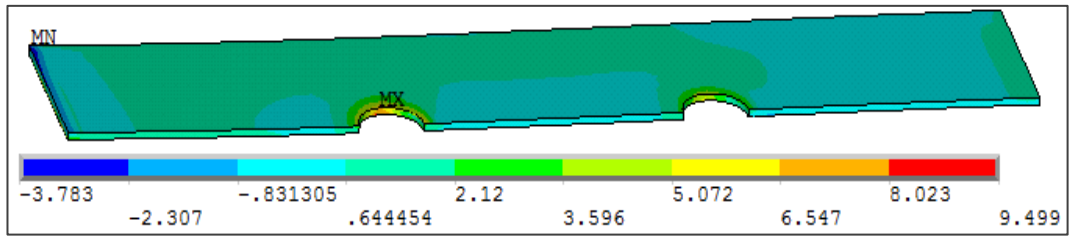
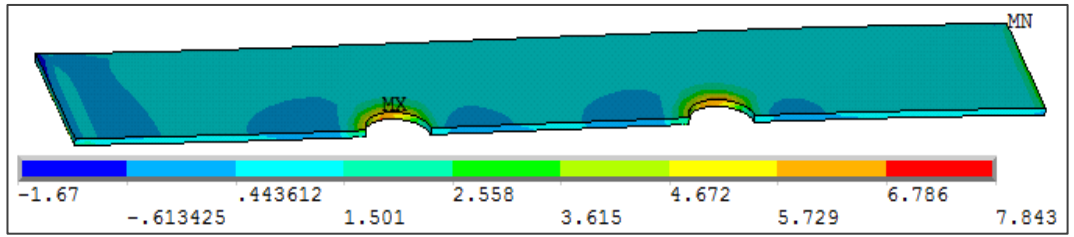
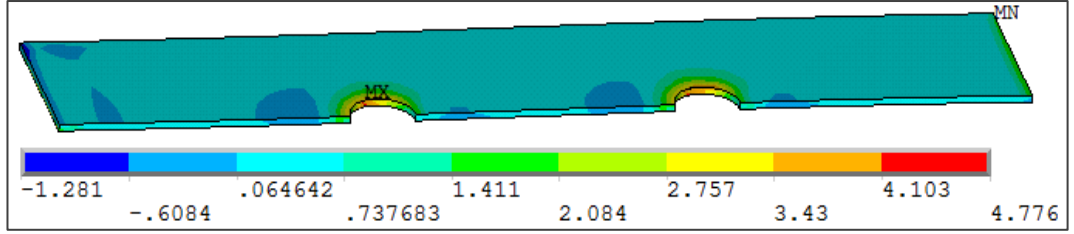
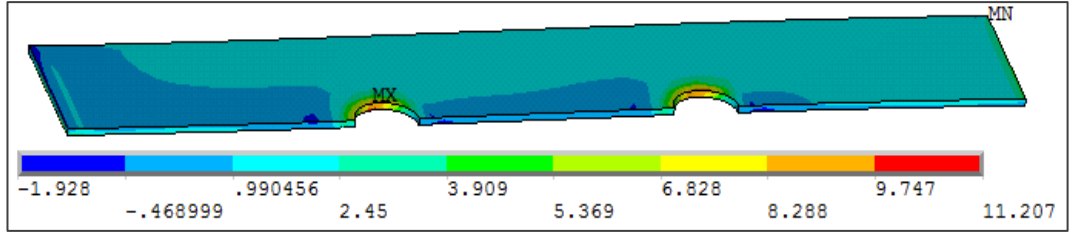
Grafiklere bakılırsa, xy, yz ve xz eksenleri boyunca kayma gerilmelerinde en yüksek gerilmenin negatif değerde ve Model 4’te olduğu görülmektedir. xy yönünde en yüksek gerilmenin -3,14 MPa değerinde, yz yönünde en yüksek gerilmenin -7,23 MPa değerinde ve xz yönünde en yüksek gerilmenin -12,80 MPa değerinde olduğu görülmektedir.



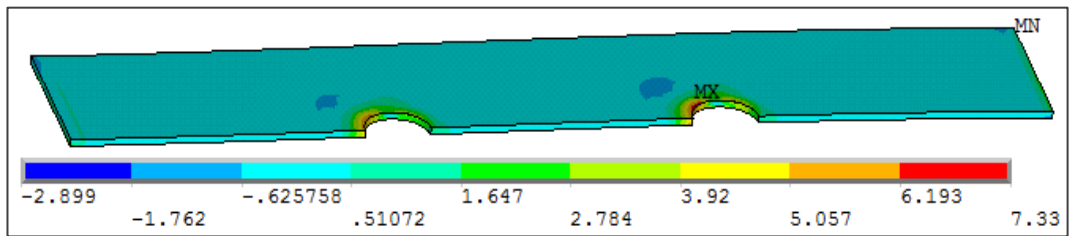
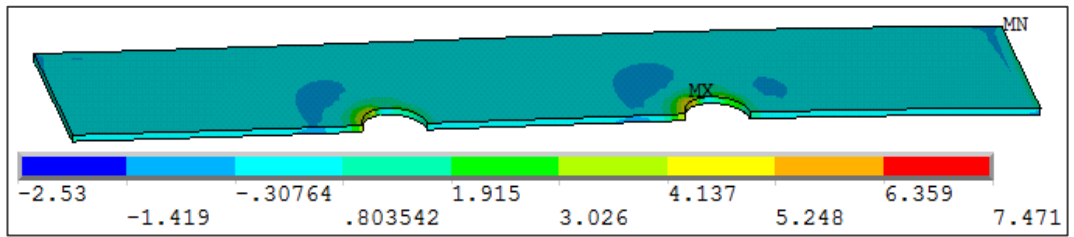
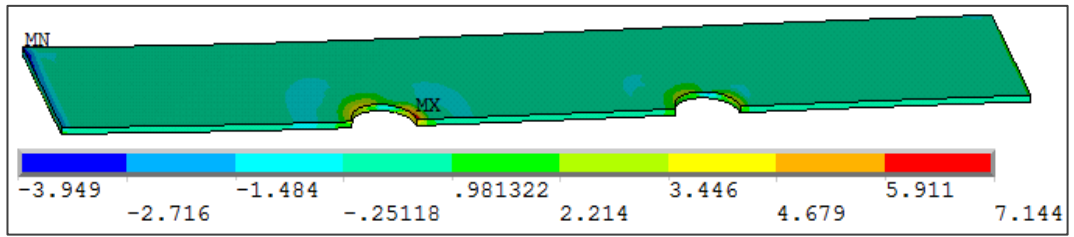
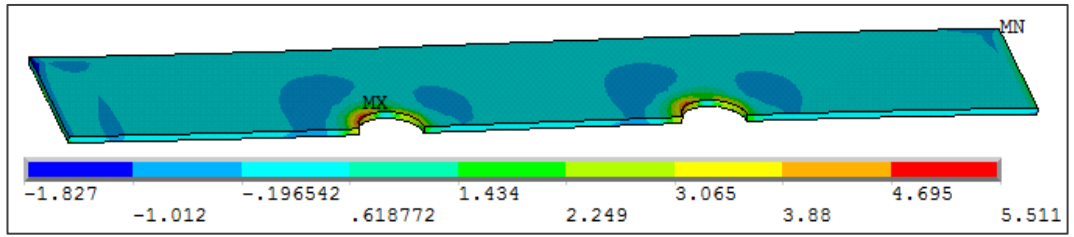
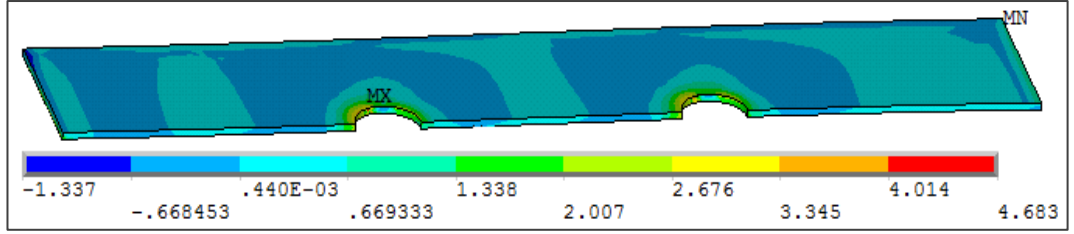
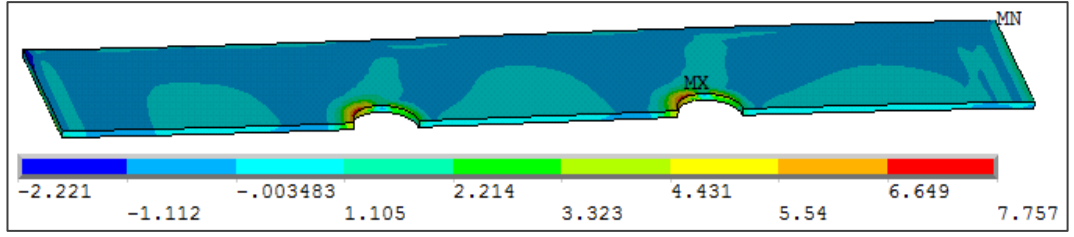
**Şekil 4.9.** Çekme yükü uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakası için Von Mises gerilmelerinin grafiksel gösterimi

Şekil 4.9’da en yüksek Von Mises gerilmesinin Model 4’te ve 24,88 MPa değerinde olduğu görülmektedir.

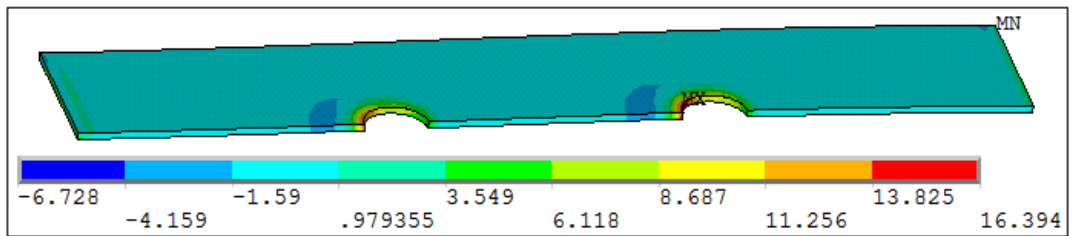
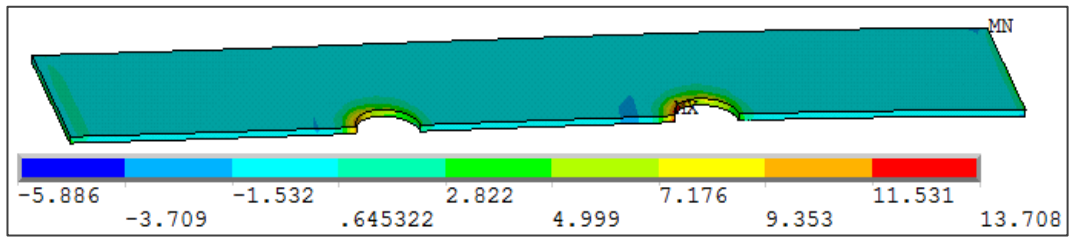
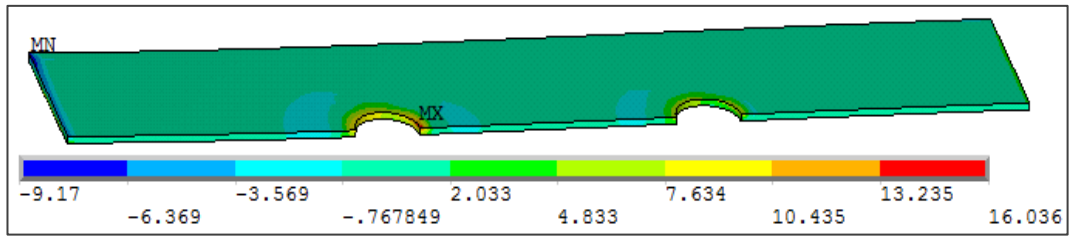
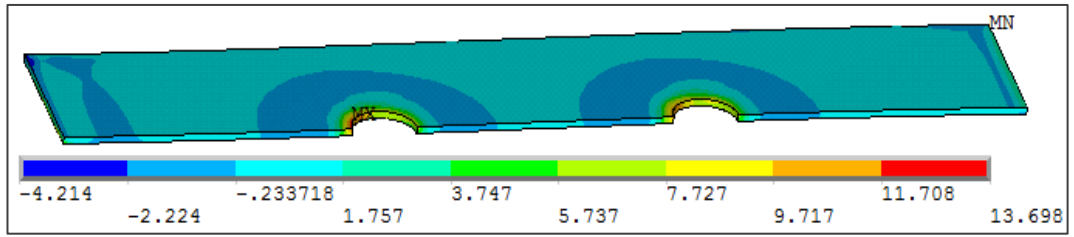
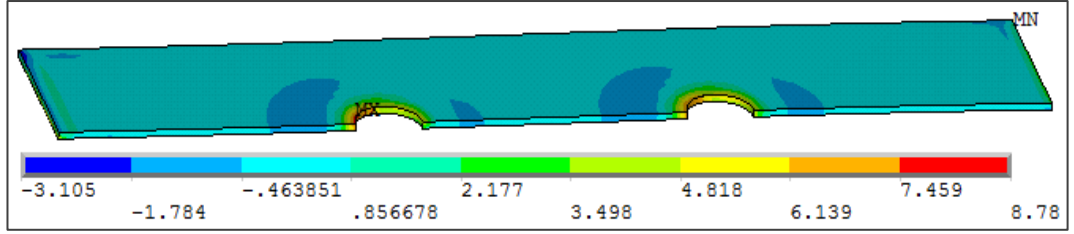
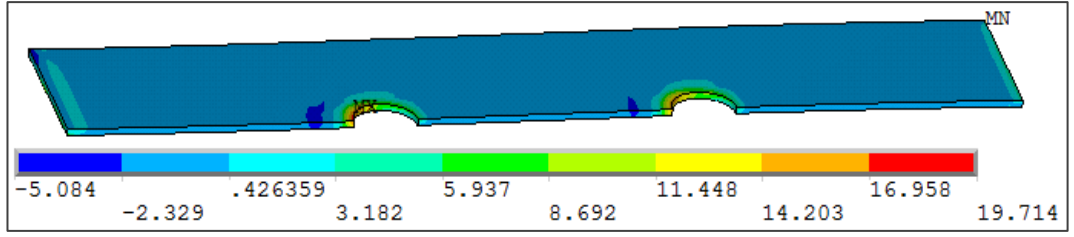
Model üzerinde gerilme dağılımlarını, renkli konturları ve gerilme yığılmalarının hangi bölgelerde olduğunu gösteren model resimleri Şekil 4.10 ile Şekil 4.16 arasında görülmektedir. Şekil 4.10’da x eksen yönündeki normal gerilmeler, Şekil 4.11’de y eksen yönündeki normal gerilmeler, Şekil 4.12’de z eksen yönündeki normal gerilmelerin model resimleri görülmektedir. Şekil 4.13’te xy eksenindeki kayma gerilmeleri, Şekil 4.14’te yz eksenindeki kayma gerilmeleri, Şekil 15’te xz eksenindeki kayma gerilmeleri ve Şekil 4.16’da ise Von Mises gerilmelerinin model resimleri gösterilmiştir.



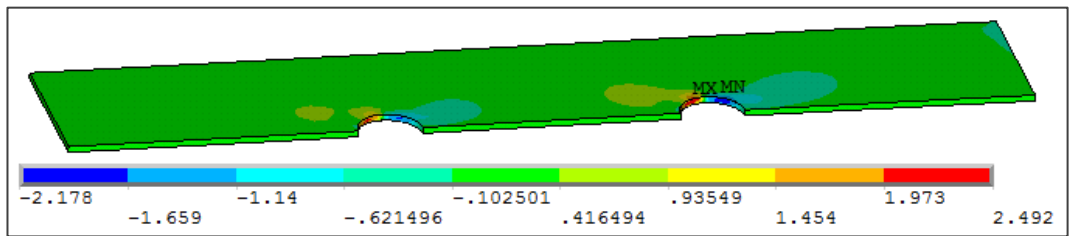
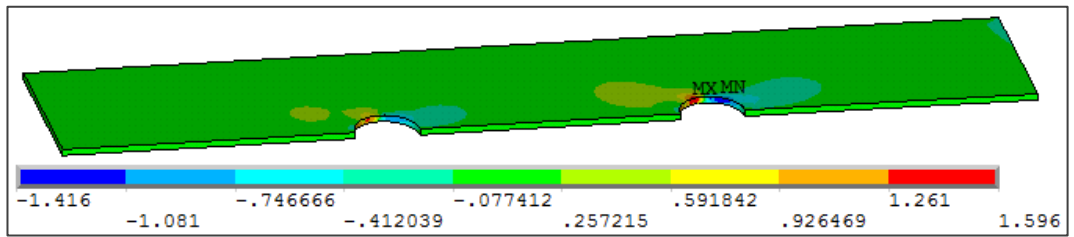
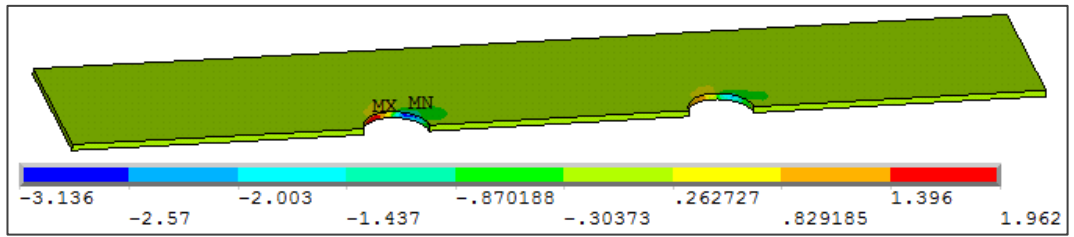
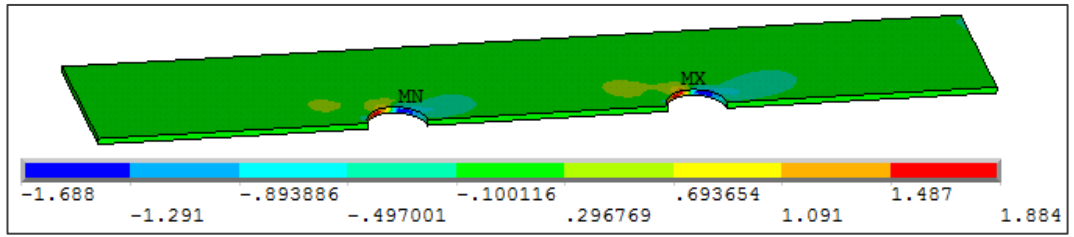
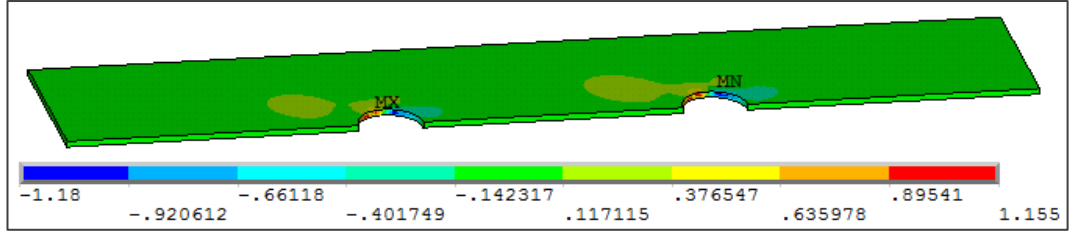
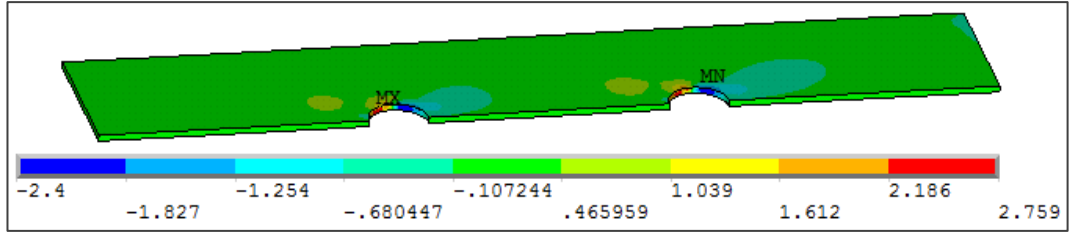
**Şekil 4.10.** Çekme yükü uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan x yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_x$  - MPa)



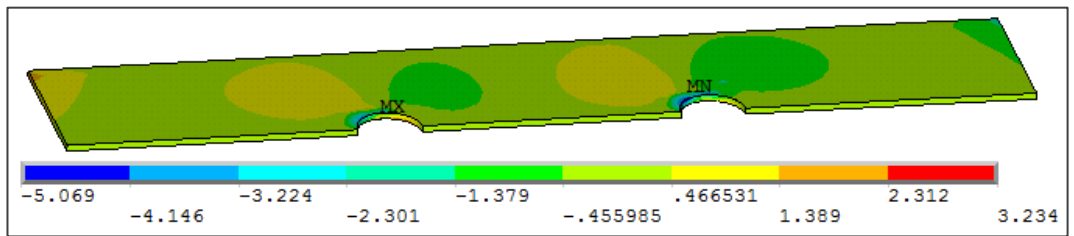
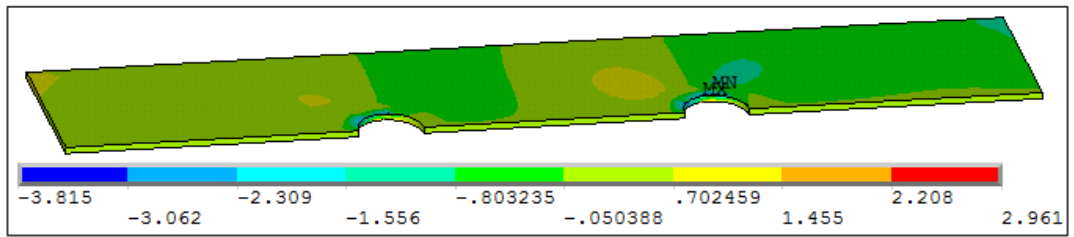
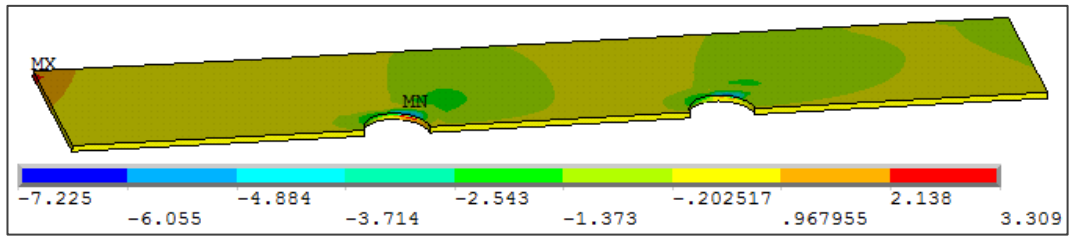
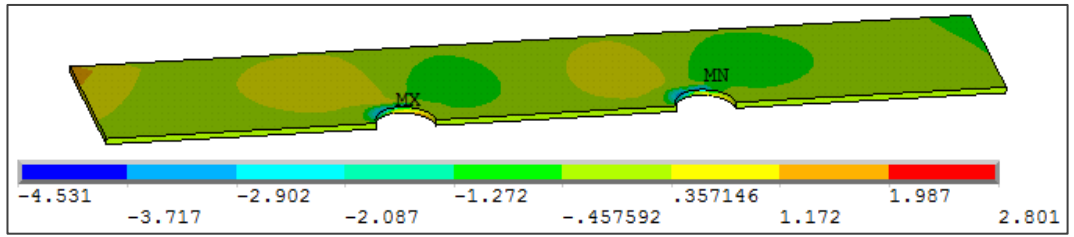
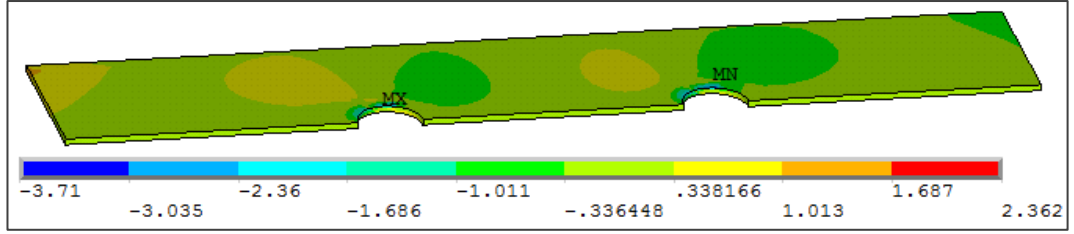
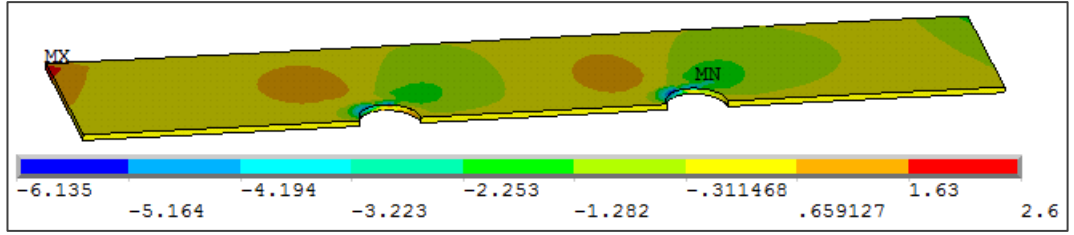
**Şekil 4.11.** Çekme yükü uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan y yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_y$  - MPa)



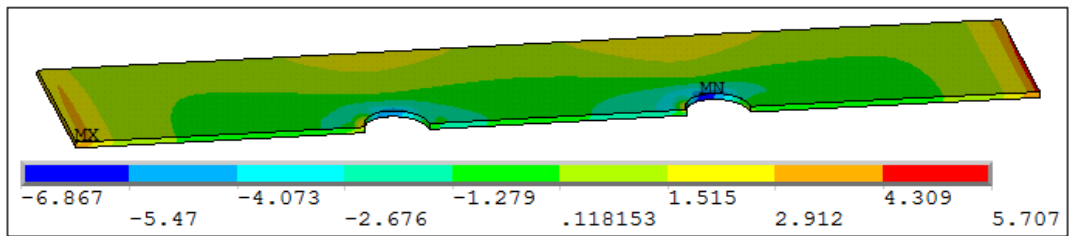
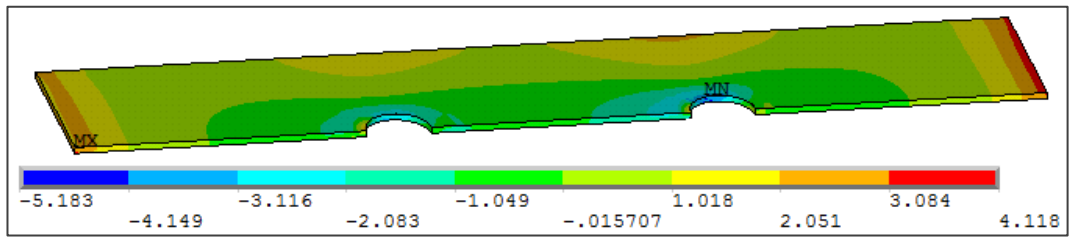
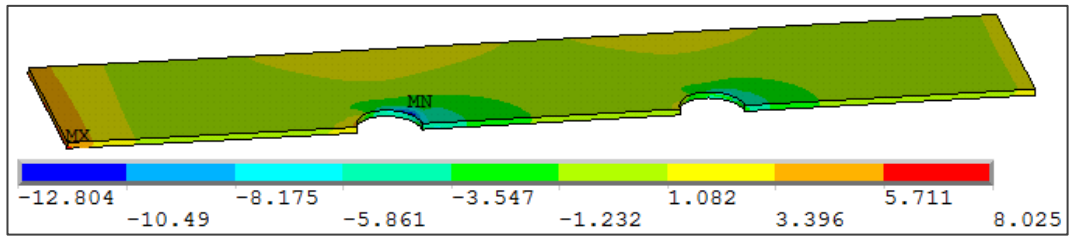
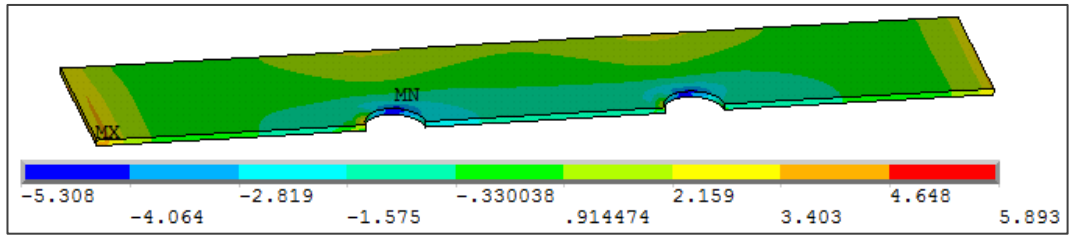
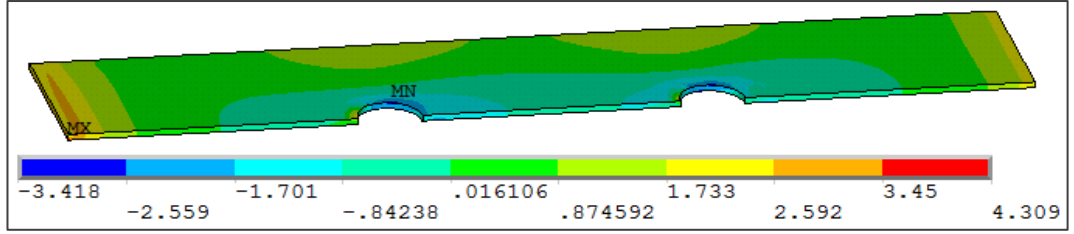
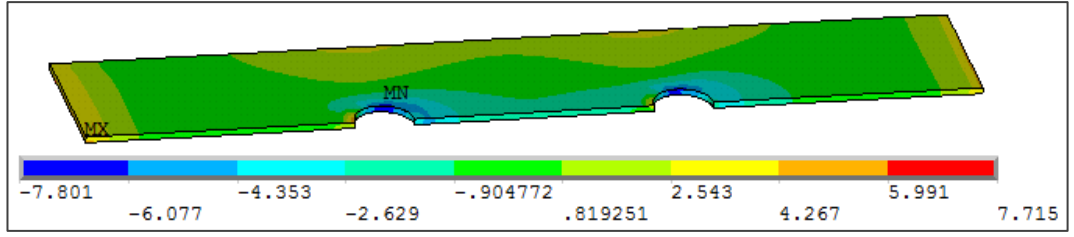
Şekil 4.12. Çekme yükü uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan z yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_z$  - MPa)



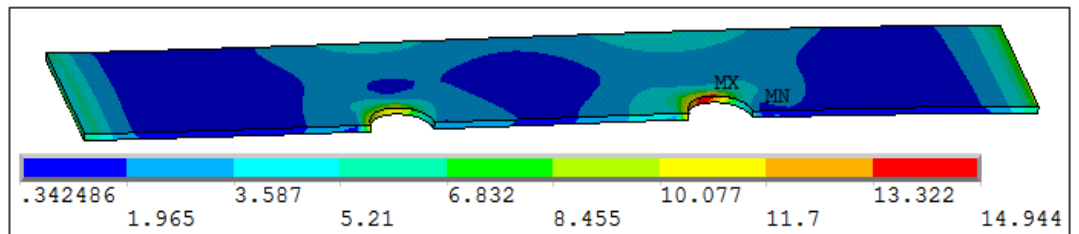
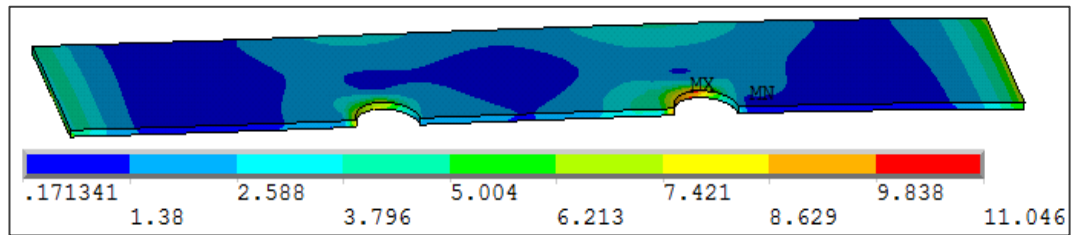
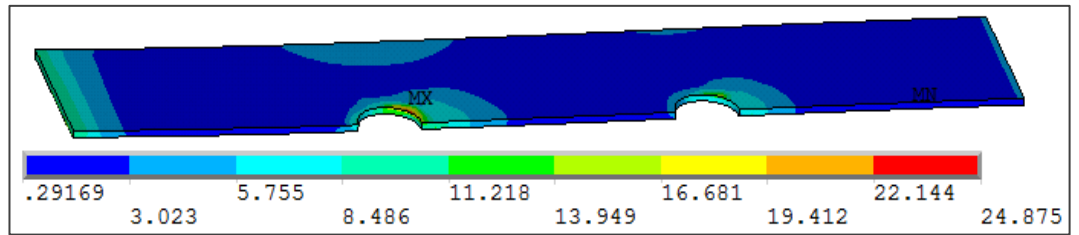
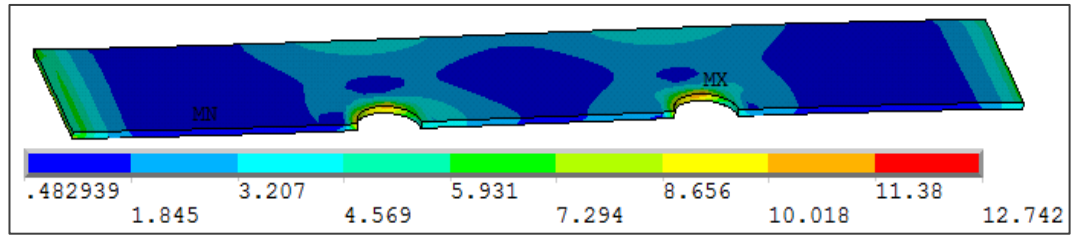
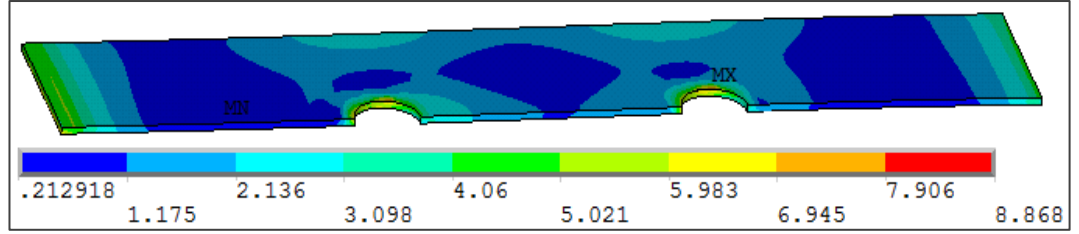
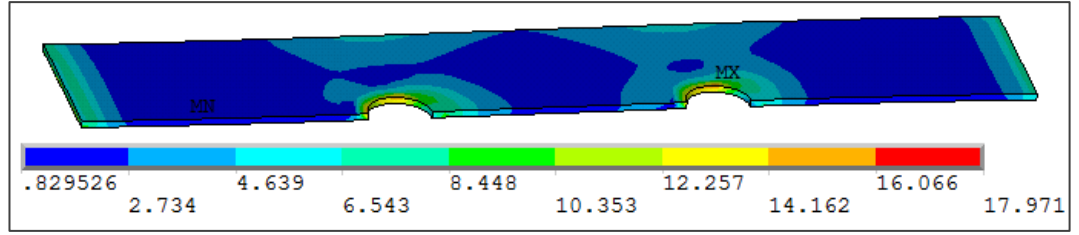
Şekil 4.13. Çekme yükü uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan xy yönündeki kayma gerilmesi dağılımları( $\tau_{xy}$  - MPa)



**Şekil 4.14.** Çekme yükü uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan yz yönündeki kayma gerilmesi dağılımları( $\tau_{yz}$  - MPa)



Şekil 4.15. Çekme yükü uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan xz yönündeki kayma gerilmesi dağılımları( $\tau_{xz}$  - MPa)

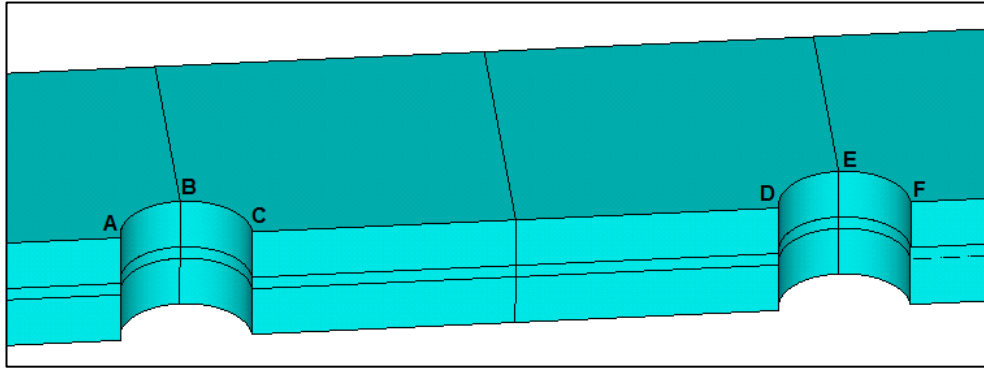


**Şekil 4.16.** Çekme yükü uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan Von Mises gerilme dağılımları(MPa)

Şekiller incelenirse x,y ve z eksenleri yönünde meydana gelen normal gerilmelerde çekme gerilmelerinin basma gerilmelerine oranla daha yüksek değerlerde olduğu ve en yüksek gerilmelerin bütün modellerde Model 4'te meydana geldiği görülmektedir. Kayma gerilme dağılımlarında ise negatif gerilmelerin pozitif gerilmelere oranla daha yüksek değerlerde olduğu ve en yüksek kayma gerilmelerinin bütün modellerde Model 4'te meydana geldiği görülmektedir. Von Mises gerilmelerinde de en yüksek gerilme değerinin Model 4'te olduğu görülmektedir.

#### 4.2.3. Çekme yükü uygulanması sonucu karma bağlantıda delik bölgeleri için elde edilen bulgular

Aşağıda delik bölgeleri için hesaplanan gerilme dağılımları verilmiştir. Gerilmeler Şekil 4.17'de gösterilen A-C ve D-F doğrultuları tanımlanarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.17. Gerilmelerin tanımlandığı doğrultular.

Çekme yükü uygulanması sonucunda delik bölgeleri için her bir modelde hesaplanan gerilmelerin maksimum değerleri Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Delik bölgeleri için her bir modelde hesaplanan gerilmelerin(MPa) maksimum değerleri

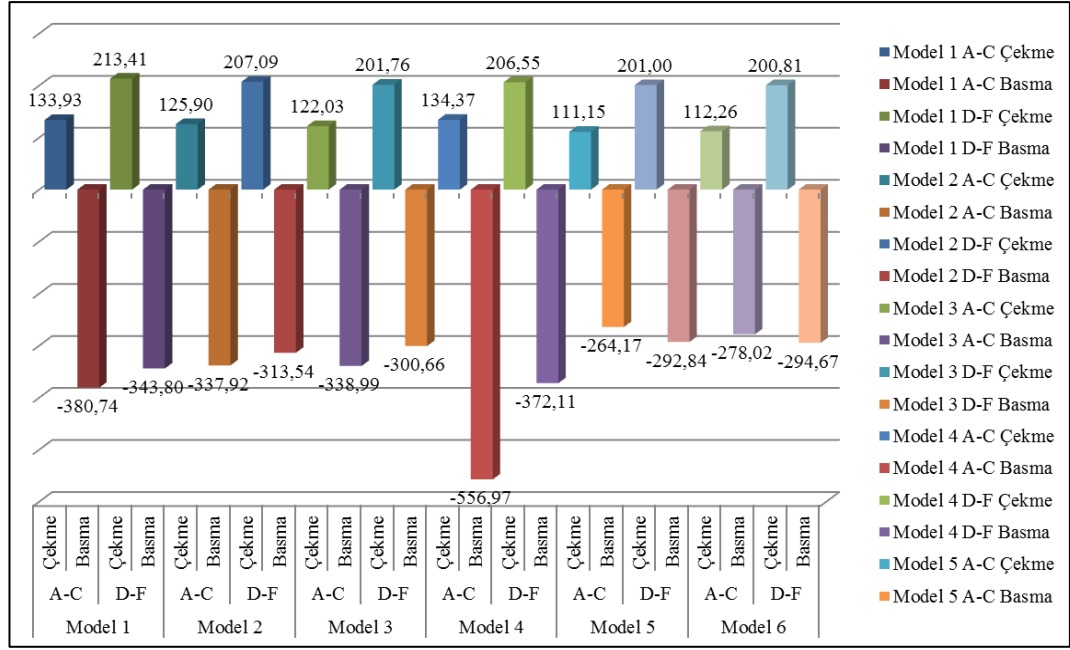
|                |     |       | $\sigma_x$ | Von Mises |
|----------------|-----|-------|------------|-----------|
| <b>Model 1</b> | A-C | Çekme | 133,93     | 443,14    |
|                |     | Basma | -380,74    |           |
|                | D-F | Çekme | 213,41     | 409,88    |
|                |     | Basma | -343,80    |           |
| <b>Model 2</b> | A-C | Çekme | 125,90     | 402,92    |
|                |     | Basma | -337,92    |           |
|                | D-F | Çekme | 207,09     | 377,82    |
|                |     | Basma | -313,54    |           |

**Çizelge 4.8(devam).** Delik bölgeleri için her bir modelde hesaplanan gerilmelerin(MPa) maksimum değerleri

|                |     |       |         |        |
|----------------|-----|-------|---------|--------|
| <b>Model 3</b> | A-C | Çekme | 122,03  | 397,42 |
|                |     | Basma | -338,99 |        |
|                | D-F | Çekme | 201,76  | 360,58 |
|                |     | Basma | -300,66 |        |
| <b>Model 4</b> | A-C | Çekme | 134,37  | 637,00 |
|                |     | Basma | -556,97 |        |
|                | D-F | Çekme | 206,55  | 429,37 |
|                |     | Basma | -372,11 |        |
| <b>Model 5</b> | A-C | Çekme | 111,15  | 315,17 |
|                |     | Basma | -264,17 |        |
|                | D-F | Çekme | 201,00  | 356,82 |
|                |     | Basma | -292,84 |        |
| <b>Model 6</b> | A-C | Çekme | 112,26  | 330,23 |
|                |     | Basma | -278,02 |        |
|                | D-F | Çekme | 200,81  | 359,12 |
|                |     | Basma | -294,67 |        |

Çizelge 4.8’de görüldüğü gibi maksimum basma gerilmelerinin maksimum çekme gerilmelerinden yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Tüm modellerde, A-C boyunca basma gerilmeleri D-F boyunca basma gerilmelerine oranla yüksek değerlerde görülürken, D-F boyunca çekme gerilmeleri A-C boyunca çekme gerilmelerine oranla daha yüksek değerlerde meydana gelmiştir. Aynı zamanda Von Mises gerilmeleri A-C boyunca D-F boyuna oranla daha yüksek değerlerde görülmektedir.

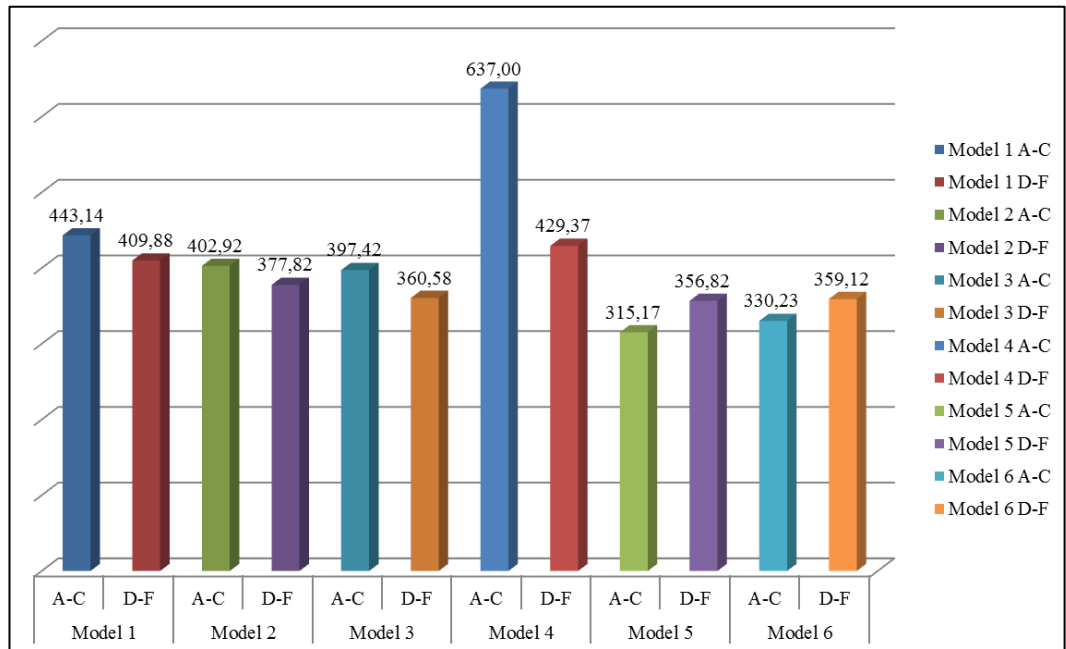
Şekil 4.18’de her bir modelde hesaplanan x yönündeki normal gerilmelerin( $\sigma_x$ ) maksimum değerleri görülmektedir.



**Şekil 4.18.** x yönündeki normal gerilmelerin( $\sigma_x$  - MPa) maksimum değerleri

Grafik incelendiğinde en yüksek gerilmenin Model 4'te ve basma formunda -556,97 MPa değerinde olduğu görülürken, en düşük gerilmenin ise Model 5'te ve çekme formunda 111,15 MPa değerinde olduğu görülmektedir.

Şekil 4.19'da her bir modelde hesaplanan Von Mises gerilmelerinin maksimum değerleri görülmektedir.



**Şekil 4.19.** Von Mises gerilmelerinin(MPa) maksimum değerleri

Grafik incelendiğinde en yüksek gerilmenin Model 4'te ve A-C boyunca 637 MPa değerinde, en düşük gerilmenin ise Model 5'te ve yine A-C boyunca 315,17 MPa değerinde olduğu görülmektedir.

#### 4.3. Çekme Yüğü ve Isıl Yüğü Uygulanması Sonucu Elde Edilen Bulgular

Bu bölümde modellere çekme yüğü ile birlikte ısıl yüğü uygulanması suretiyle modellerde meydana gelen gerilmeler incelenmiştir. Modellere çekme yüğü ile birlikte 50°C ve (-50)°C ısıl yüğü uygulanmış ve ilk olarak tüm modellerde karma bağlantının tamamı için elde edilen gerilme dağılımları incelenmiştir. Daha sonra yapıştırıcı tabakasında oluşan gerilmeler incelenmiştir, son olarak ise bu yükler altında delik bölgelerinde belirlenen doğrultularda elde edilen gerilme dağılımları incelenmiştir.

##### 4.3.1. Çekme yüğü ve 50°C ısıl yüğü uygulanması sonucu karma bağlantının tamamı için elde edilen bulgular

Aşağıdaki çizelgede çekme yüğü ve ısıl yükler uygulanmış modellerde karma bağlantının tamamı için hesaplanan gerilme dağılımları verilmiştir. Çekme yüğü ve 50°C ısıl yüğü uygulanması sonucunda karma bağlantının tamamı için her bir modelde hesaplanan gerilmelerin maksimum değerleri Çizelge 4.9'da verilmiştir.

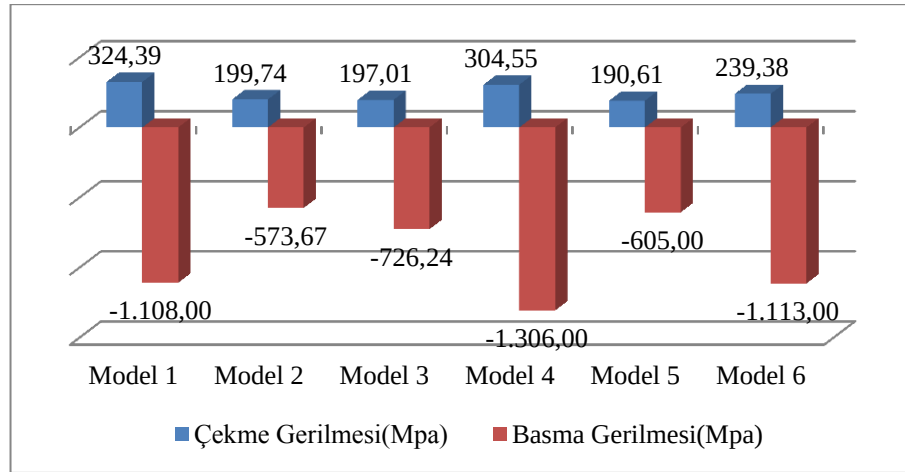
**Çizelge 4.9.** Çekme yüğü ve 50°C ısıl yüğü uygulanması sonucunda karma bağlantının tamamı için her bir modelde hesaplanan gerilmelerin(MPa) maksimum değerleri

|         | 50 °C | $\sigma_x$ | $\sigma_y$ | $\sigma_z$ | Von Mises |
|---------|-------|------------|------------|------------|-----------|
| Model 1 | Çekme | 324,39     | 129,62     | 68,95      | 884,14    |
|         | Basma | -1.108,00  | -810,87    | -880,28    |           |
| Model 2 | Çekme | 199,74     | 113,84     | 33,10      | 474,10    |
|         | Basma | -573,67    | -444,93    | -573,54    |           |
| Model 3 | Çekme | 197,01     | 105,95     | 39,45      | 627,59    |
|         | Basma | -726,24    | -582,71    | -745,24    |           |
| Model 4 | Çekme | 304,55     | 161,25     | 136,96     | 919,56    |
|         | Basma | -1.306,00  | -977,73    | -1.152,00  |           |
| Model 5 | Çekme | 190,61     | 104,78     | 36,17      | 755,36    |
|         | Basma | -605,00    | -472,49    | -583,01    |           |
| Model 6 | Çekme | 239,38     | 148,41     | 56,49      | 712,56    |
|         | Basma | -1.113,00  | -865,01    | -971,84    |           |

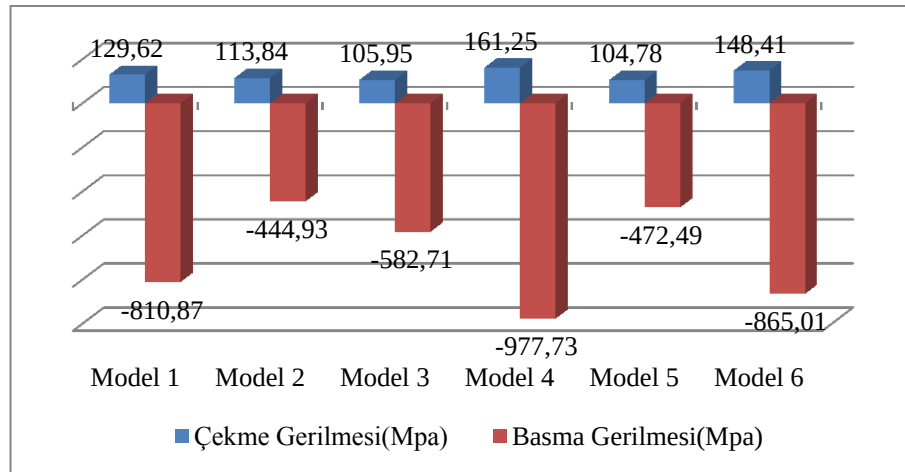
Çizelge 4.9 incelenecek olursa bütün modellerde maksimum basma normal gerilmelerinin, maksimum çekme normal gerilmelerinden mutlak değer olarak daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun yanında x eksen yönünde oluşan normal gerilmelerin ( $\sigma_x$ ) y ve z eksenlerinde oluşan normal gerilmelere ( $\sigma_y$ -  $\sigma_z$ ) nazaran daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise bağlantıya uygulanan çekme yükünün x eksen yönünde olmasıdır.

Modeller arasında bir kıyaslama yapılmak istenirse, x eksen yönünde en yüksek çekme normal gerilmesinin Model 1’de, x eksen yönünde en yüksek basma normal gerilmesinin Model 4’te; y ve z eksen yönünde en yüksek çekme ve en yüksek basma normal gerilmelerinin Model 4’te olduğu görülmektedir. Von Mises gerilmelerinde ise en yüksek gerilme değerinin Model 4’te olduğu görülmektedir.

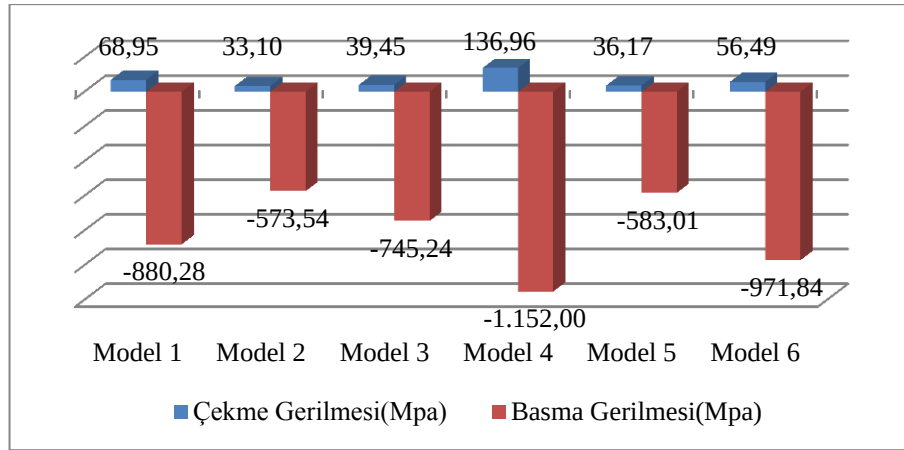
Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucunda karma bağlantının tamamı için elde edilen maksimum normal gerilmelerin grafiksel gösterimi Şekil 4.20’de, Von Mises gerilmelerinin grafiksel gösterimi ise Şekil 4.21’de görülmektedir.



x eksen yönündeki normal gerilme( $\sigma_x$ )



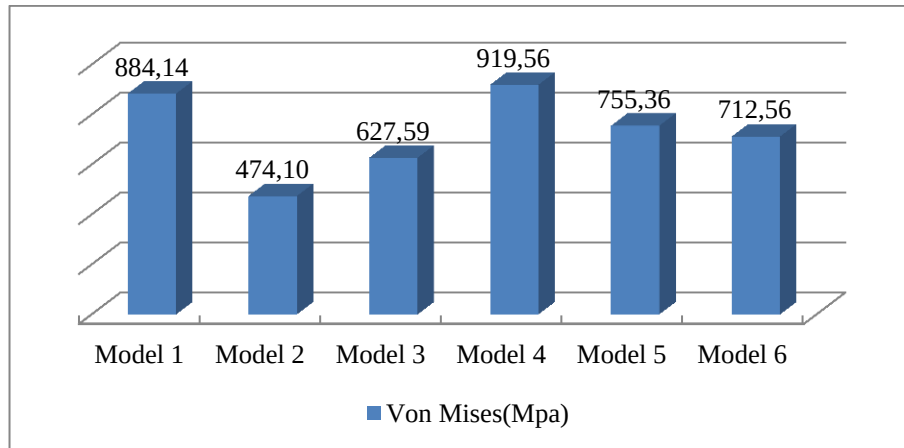
y eksen yönündeki normal gerilme( $\sigma_y$ )



z eksenı yönündeki normal gerilme( $\sigma_z$ )

**Şekil 4.20.** Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu maksimum normal gerilmelerin grafiksel gösterimi

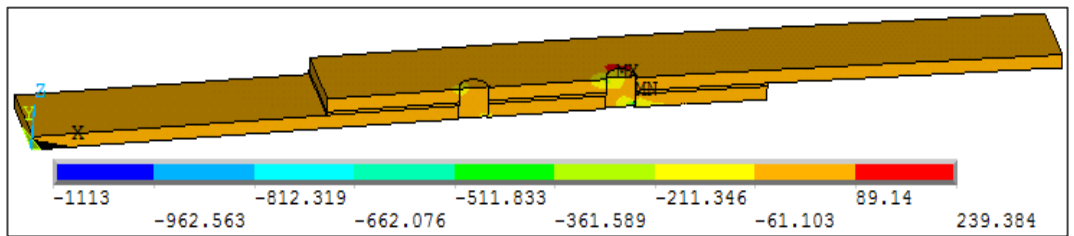
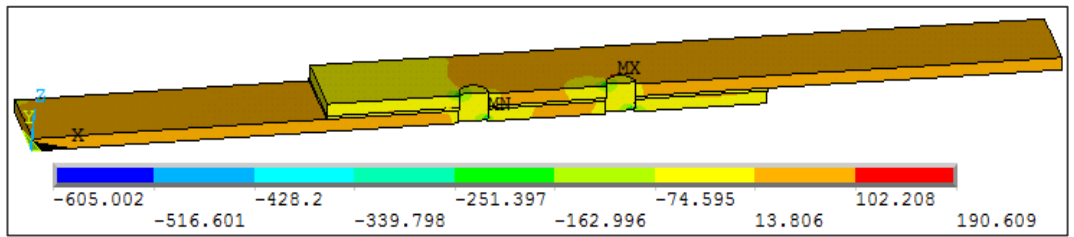
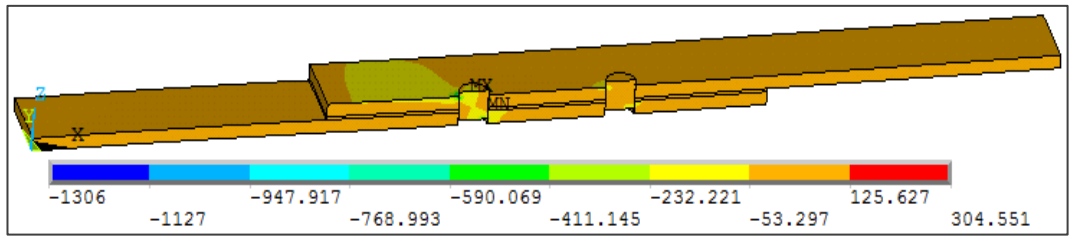
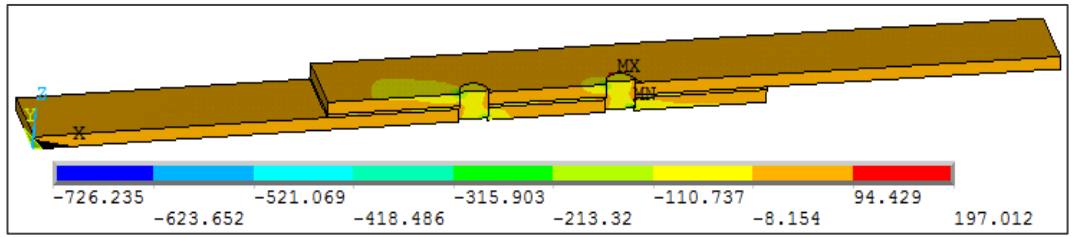
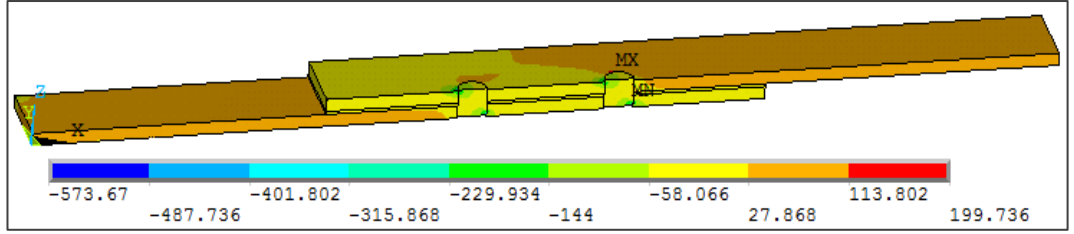
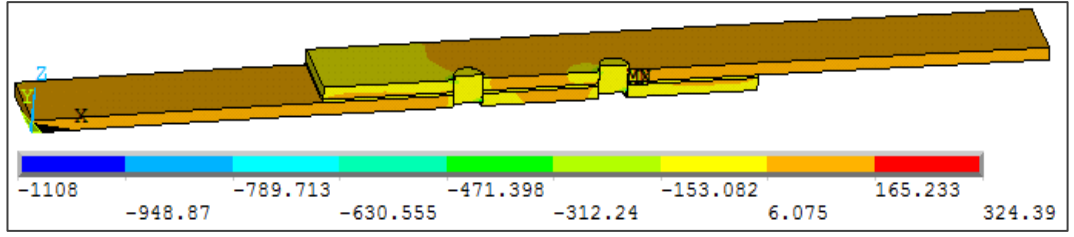
Şekil 4.20’de en yüksek çekme gerilmesinin x eksenı yönünde 324,39 MPa değerinde Model 1’de, en yüksek basma gerilmesinin ise -1306 MPa değerinde Model 4’te olduğu görülmektedir.



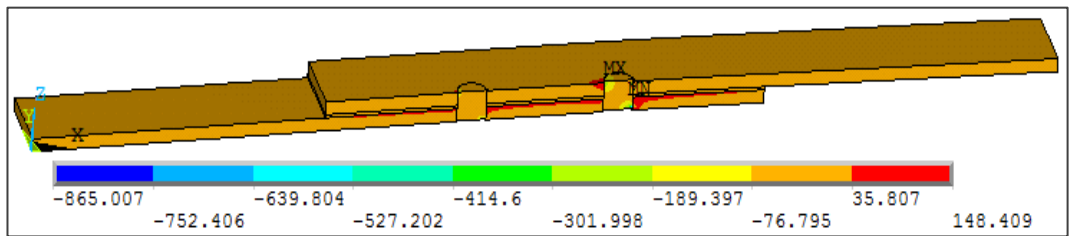
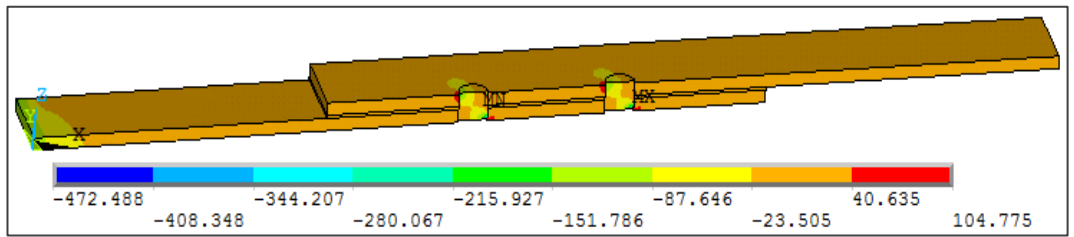
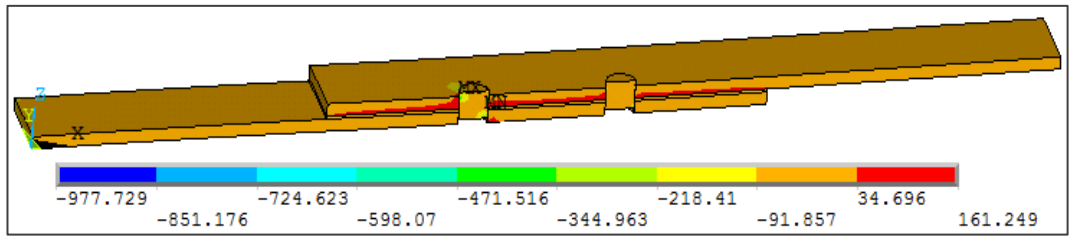
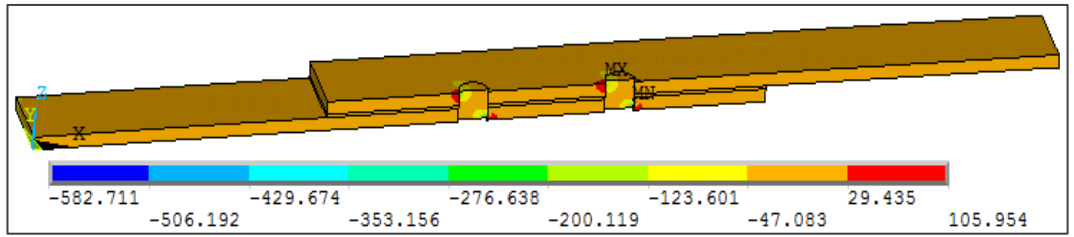
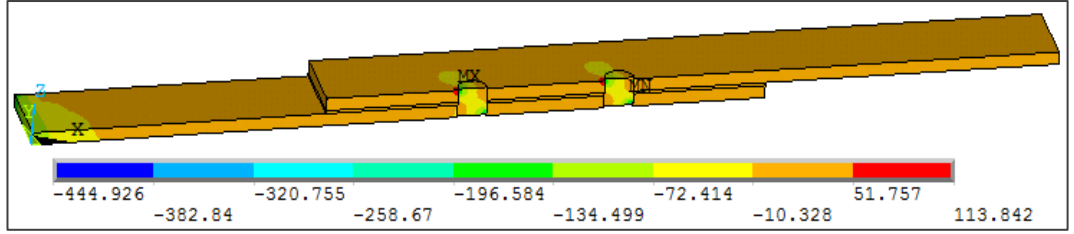
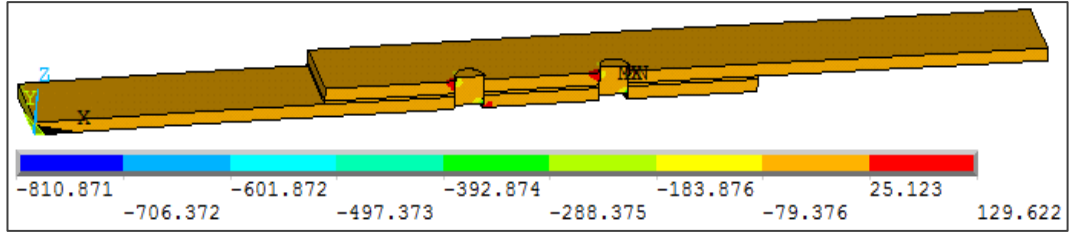
**Şekil 4.21.** Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu Von Mises gerilmelerinin grafiksel gösterimi

Şekil 4.21’e bakılırsa en yüksek gerilmenin 919,56 MPa değerinde Model 4’te olduğu görülmektedir.

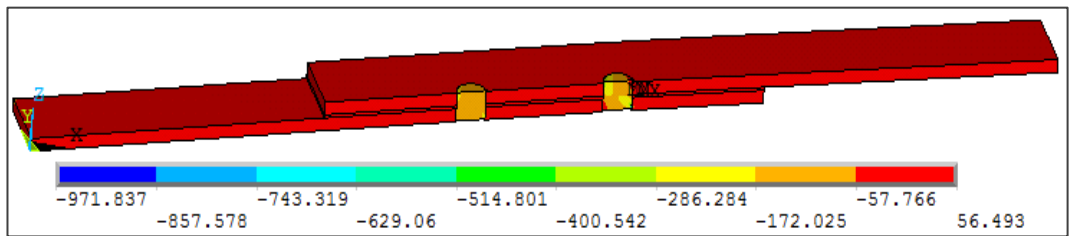
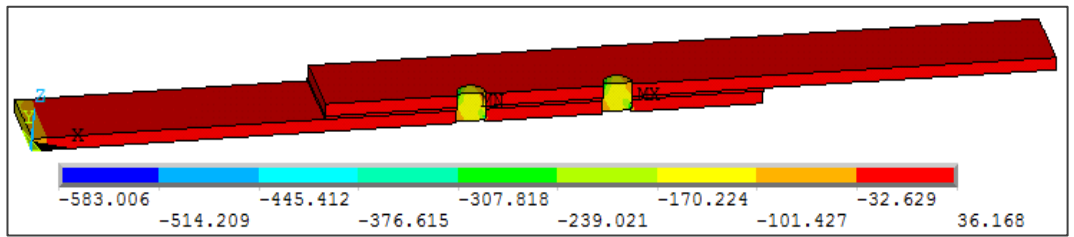
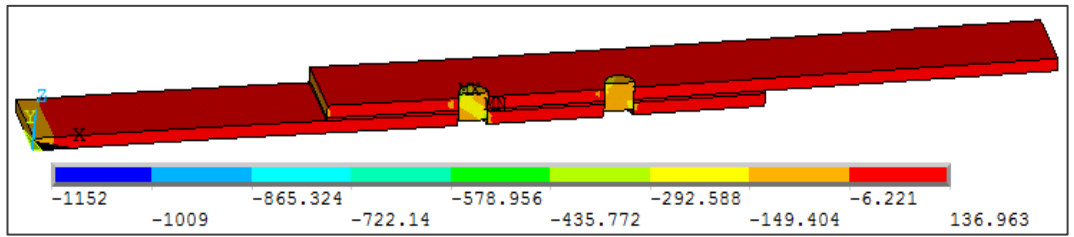
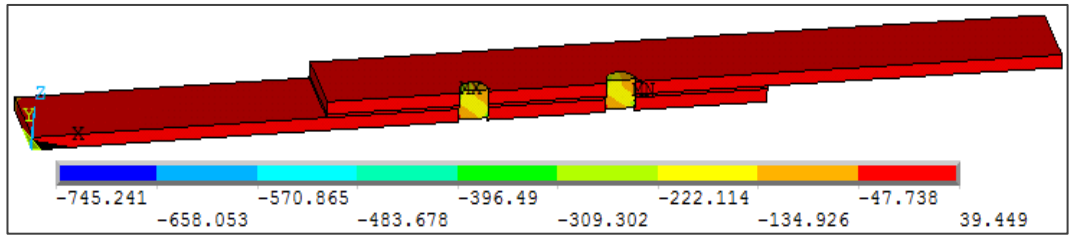
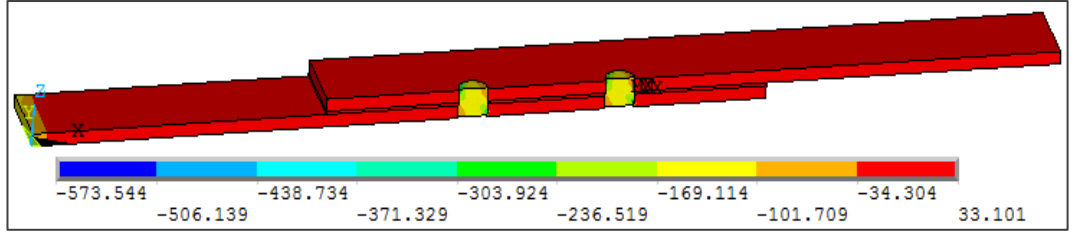
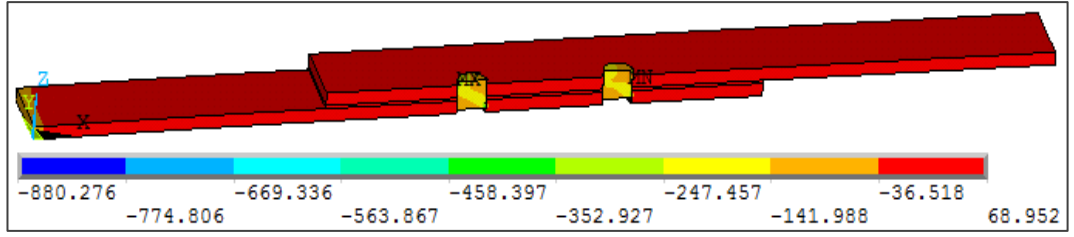
Model üzerinde gerilme dağılımlarını, renkli konturları ve gerilme yığılmalarının hangi bölgelerde olduğunu gösteren model resimleri Şekil 4.22 ile Şekil 4.25 arasında görülmektedir. Şekil 4.22’de x eksenı yönündeki normal gerilmeler, Şekil 4.23’de y eksenı yönündeki normal gerilmeler, Şekil 4.24’te z eksenı yönündeki normal gerilmeler, Şekil 4.25’te ise Von Mises gerilmelerinin model resimleri gösterilmiştir.



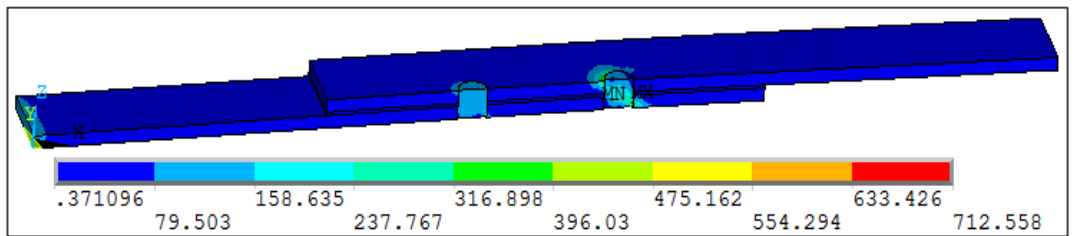
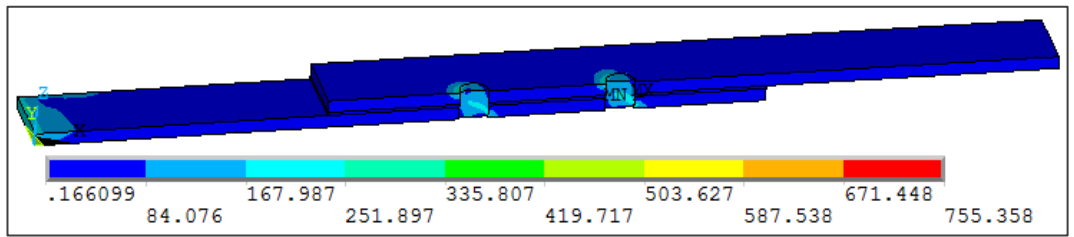
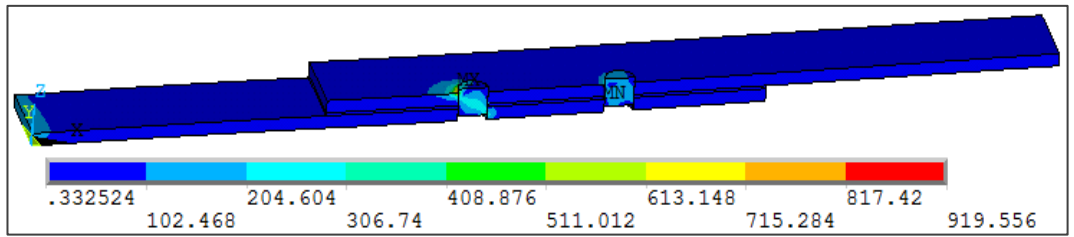
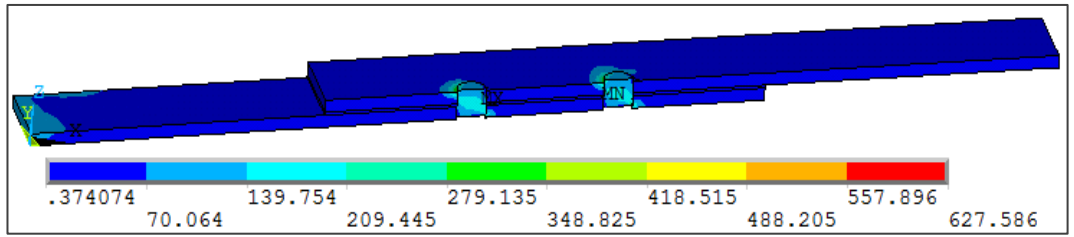
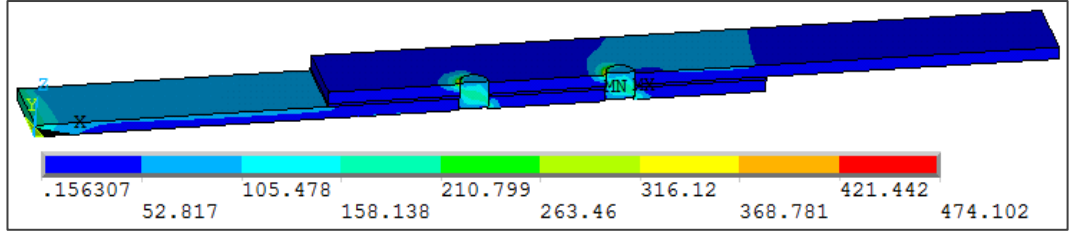
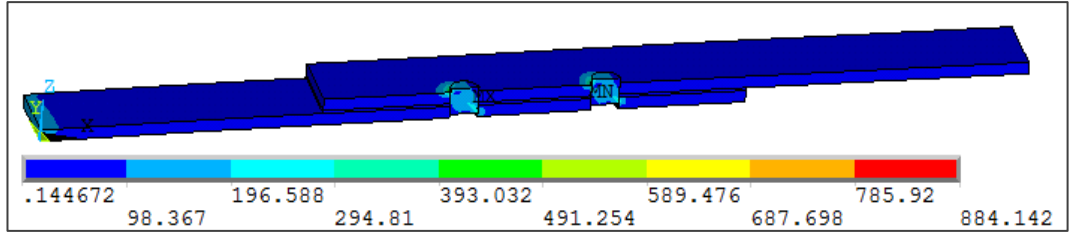
Şekil 4.22. Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu x yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_x$  - MPa)



Şekil 4.23. Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu y yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_y$  - MPa)



Şekil 4.24. Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu z yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_z$  - MPa)



Şekil 4.25. Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu Von Mises gerilme dağılımları(MPa)

Şekiller incelendiğinde modellerde her üç yönde de ağırlıklı olarak basma formunda gerilmelerin oluştuğu görülmektedir. x eksen yönünde en yüksek gerilmenin çekme formunda 324,39 MPa değerinde Model 1’de, basma formunda ise -1306 MPa değerinde Model 4’te oluştuğu görülmektedir. y eksen yönünde en yüksek gerilmenin çekme formunda 161,25 MPa değerinde Model 4’te, basma formunda ise -977,73 MPa değerinde Model 4’te oluştuğu görülmektedir. z eksen yönünde en yüksek gerilmenin çekme formunda 136,96 MPa değerinde Model 4’te, basma formunda ise -1152 MPa değerinde Model 4’te oluştuğu görülmektedir. Von Mises gerilmelerinde ise en yüksek gerilme 919,56 MPa değerinde Model 4’te meydana gelmiştir. Bunun yanında gerilme yığılmalarının tüm modellerde delik çevrelerinde oluştuğu gözlenmektedir.

#### 4.3.2. Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu karma bağlantının tamamı için elde edilen bulgular

Aşağıdaki çizelgede çekme yükü ve ısı yükler uygulanmış modellerde karma bağlantının tamamı için hesaplanan gerilme dağılımları verilmiştir.

Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucunda karma bağlantının tamamı için her bir modelde hesaplanan gerilmelerin maksimum değerleri Çizelge 4.10’da verilmiştir.

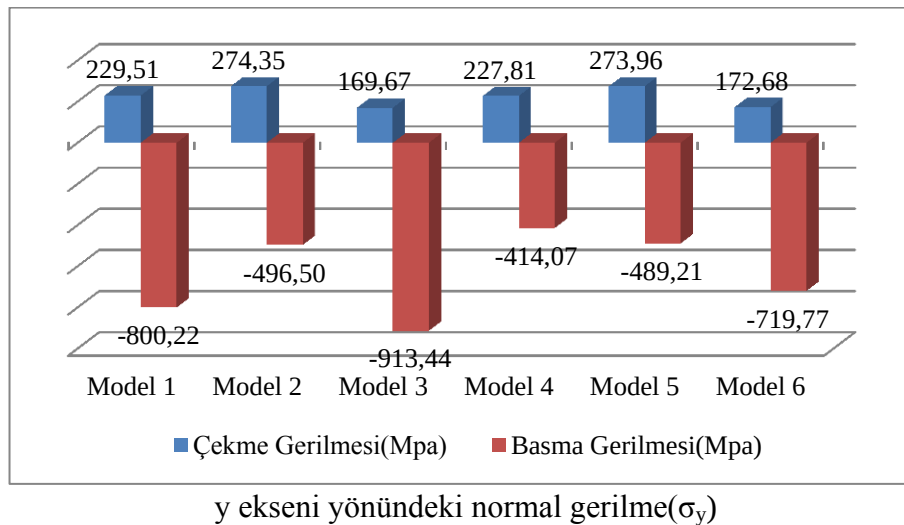
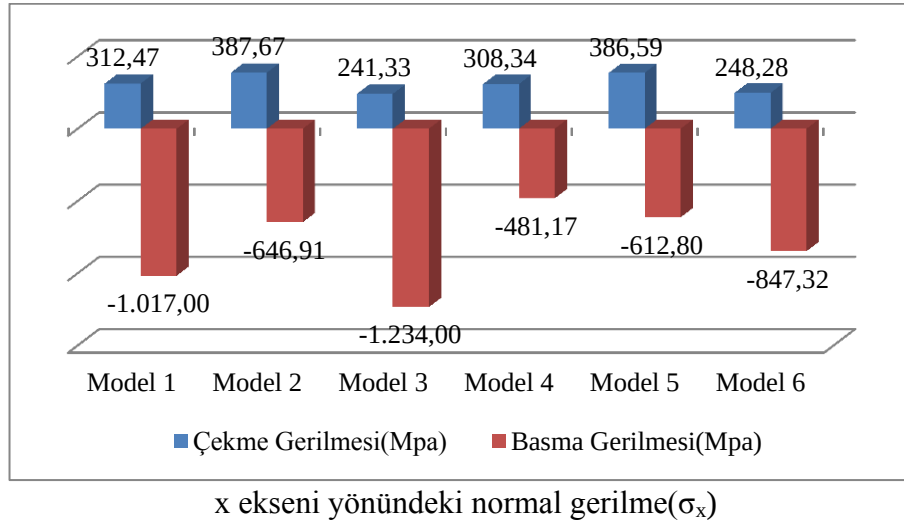
**Çizelge 4.10.** Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucunda karma bağlantının tamamı için her bir modelde hesaplanan gerilmelerin(MPa) maksimum değerleri

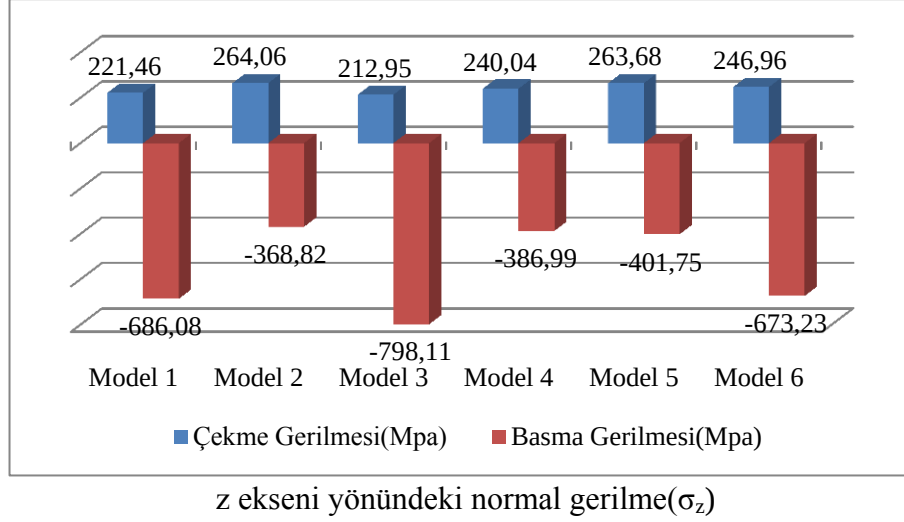
|         | (-50) °C | $\sigma_x$ | $\sigma_y$ | $\sigma_z$ | Von Mises |
|---------|----------|------------|------------|------------|-----------|
| Model 1 | Çekme    | 312,47     | 229,51     | 221,46     | 1.066,00  |
|         | Basma    | -1.017,00  | -800,22    | -686,08    |           |
| Model 2 | Çekme    | 387,67     | 274,35     | 264,06     | 670,48    |
|         | Basma    | -646,91    | -496,50    | -368,82    |           |
| Model 3 | Çekme    | 241,33     | 169,67     | 212,95     | 1.405,00  |
|         | Basma    | -1.234,00  | -913,44    | -798,11    |           |
| Model 4 | Çekme    | 308,34     | 227,81     | 240,04     | 776,38    |
|         | Basma    | -481,17    | -414,07    | -386,99    |           |
| Model 5 | Çekme    | 386,59     | 273,96     | 263,68     | 909,62    |
|         | Basma    | -612,80    | -489,21    | -401,75    |           |
| Model 6 | Çekme    | 248,28     | 172,68     | 246,96     | 685,40    |
|         | Basma    | -847,32    | -719,77    | -673,23    |           |

Çizelge 4.10’da maksimum basma normal gerilmeleri, maksimum çekme normal gerilmelerinden mutlak değer olarak daha yüksek meydana gelmiştir. Ayrıca çekme yükünün x eksen yönünde olmasından dolayı x eksen yönünde oluşan normal gerilmeler ( $\sigma_x$ ) y ve z eksenlerinde oluşan normal gerilmelere ( $\sigma_y$ -  $\sigma_z$ ) oranla yüksek değerlerde çıkmaktadır.

Modeller kıyaslanacak olursa, x, y ve z eksenleri yönünde en yüksek çekme normal gerilmesinin Model 2’de, en yüksek basma normal gerilmesinin ise Model 3’te olduğu görülmektedir. Von Mises gerilmelerinde ise en yüksek gerilme değerinin Model 3’te olduğu görülmektedir.

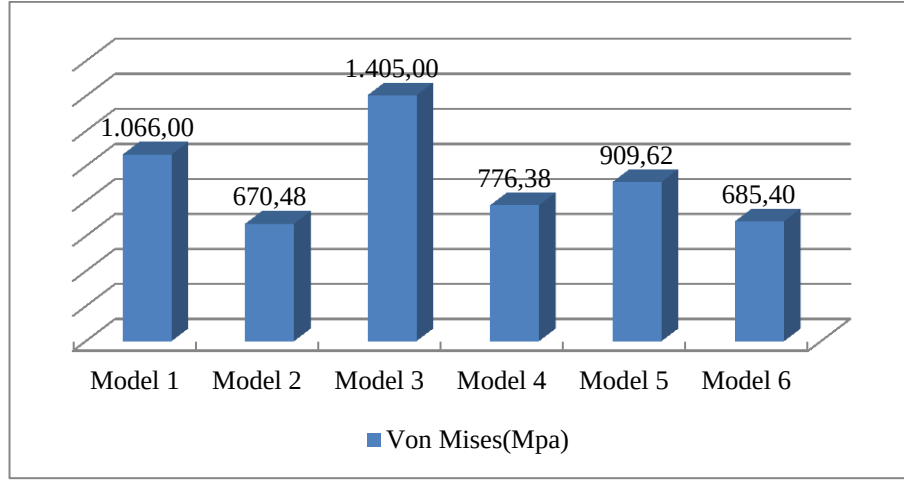
Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucunda karma bağlantının tamamı için elde edilen maksimum normal gerilmelerin grafiksel gösterimi Şekil 4.26’da, Von Mises gerilmelerinin grafiksel gösterimi ise Şekil 4.27’de görülmektedir.





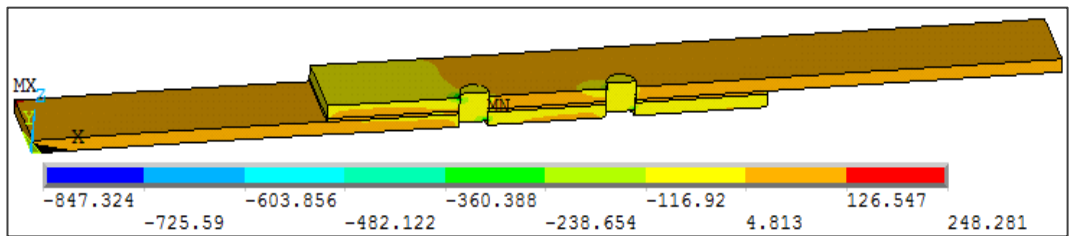
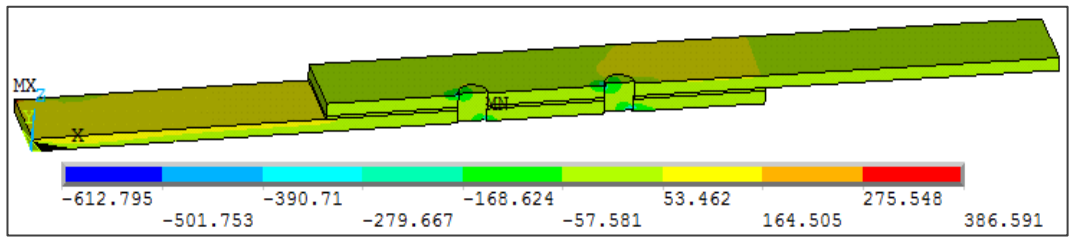
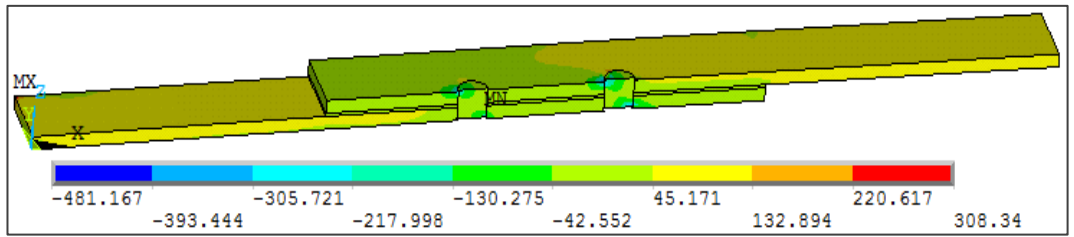
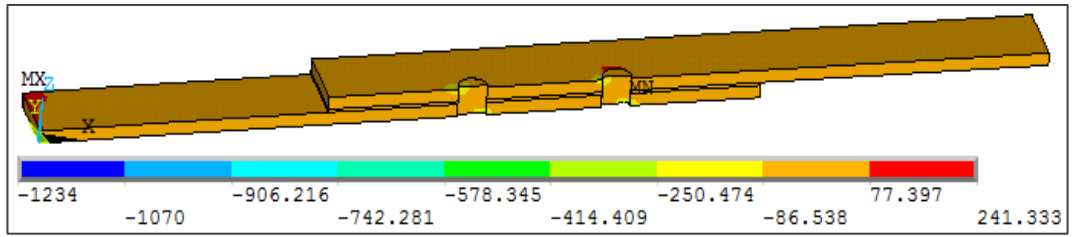
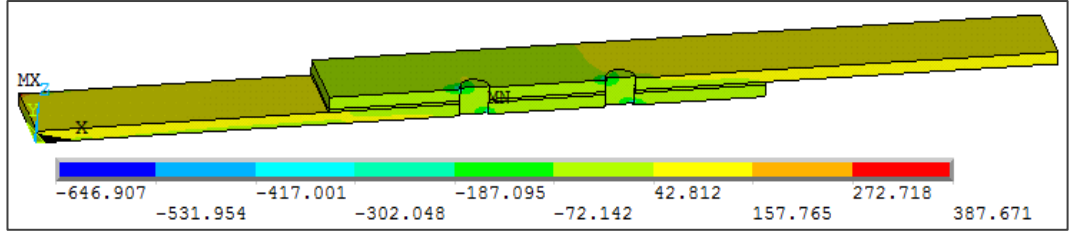
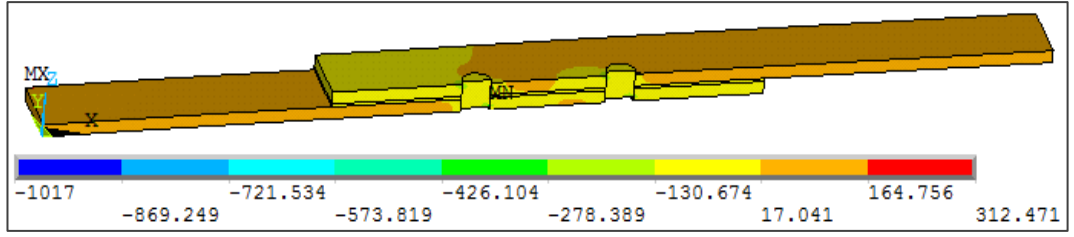
**Şekil 4.26.** Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu tüm modelde maksimum normal gerilmelerin grafiksel gösterimi

Şekil 4.26’da en yüksek çekme gerilmesi x eksenı yönünde 387,67 MPa değerinde Model 2’de, en yüksek basma gerilmesi ise -1234 MPa değerinde yine x eksenı yönünde Model 3’te oluşmuştur.

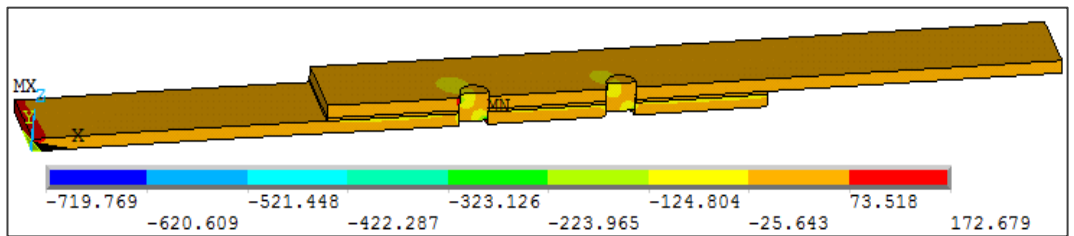
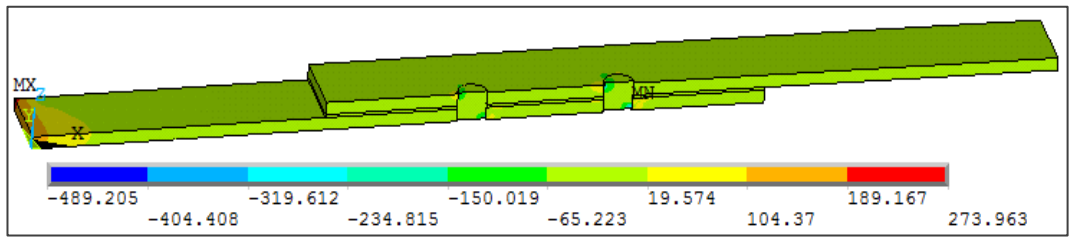
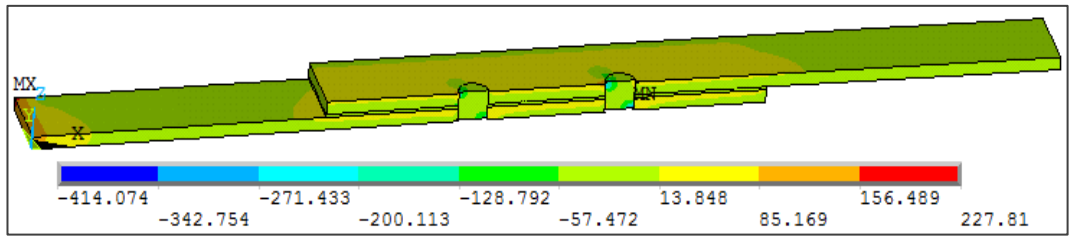
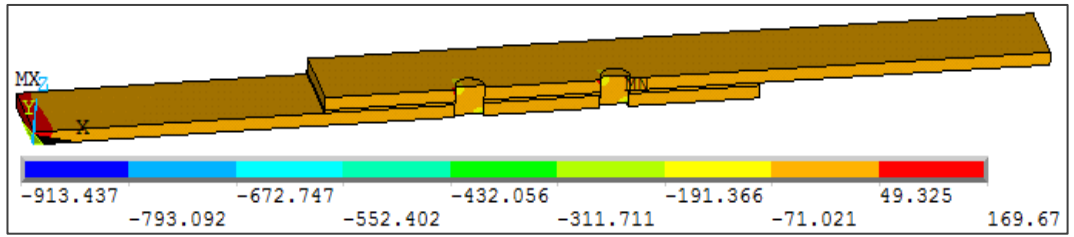
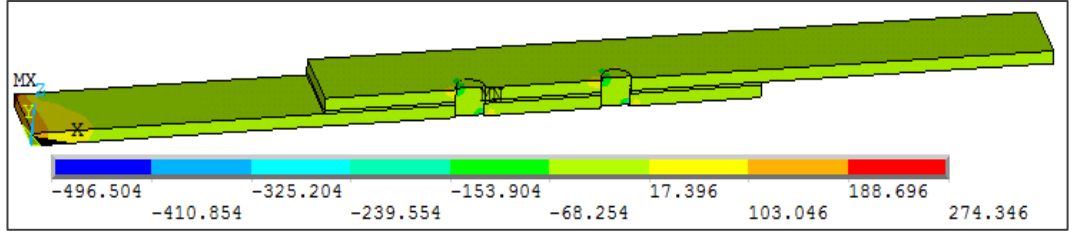
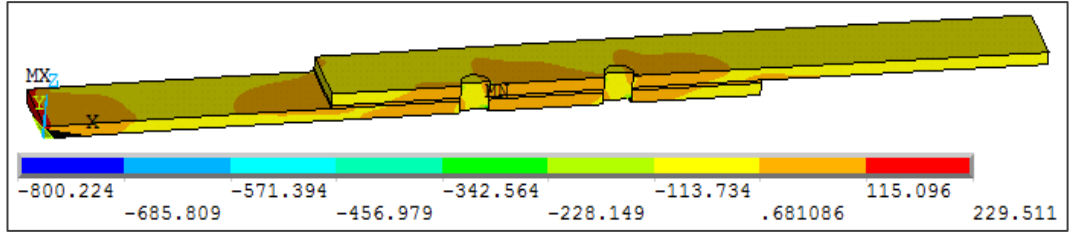


**Şekil 4.27.** Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu tüm modelde Von Mises gerilmelerinin grafiksel gösterimi

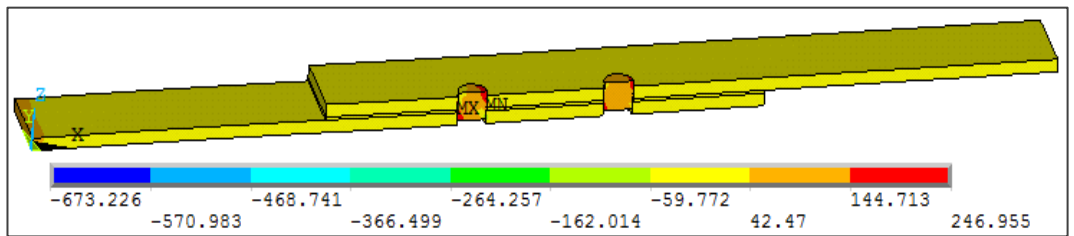
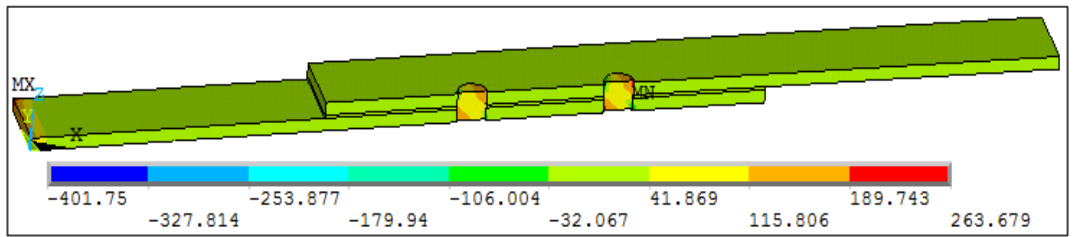
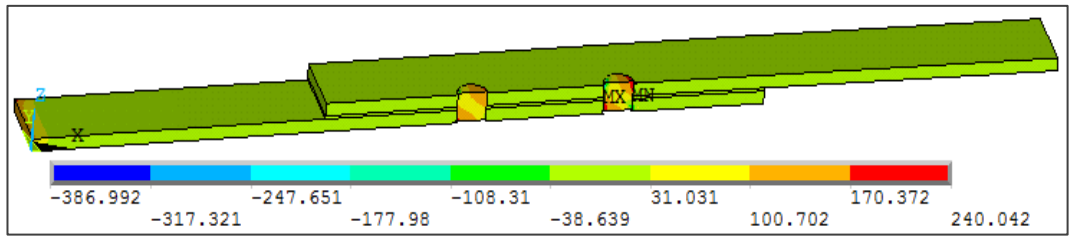
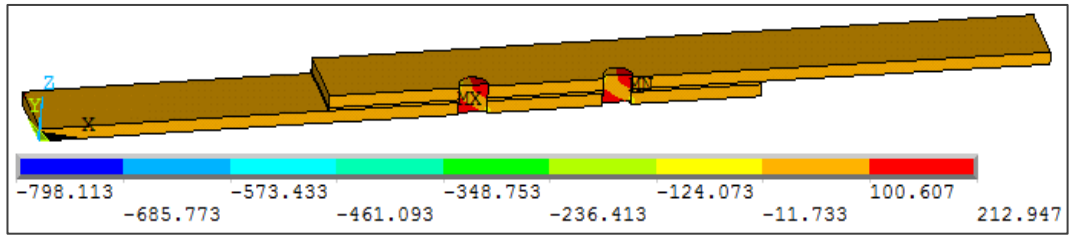
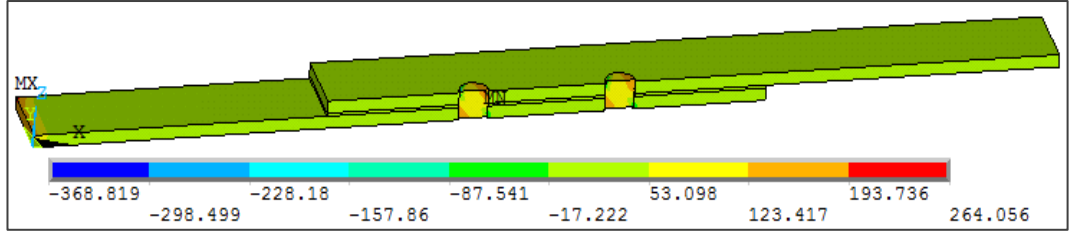
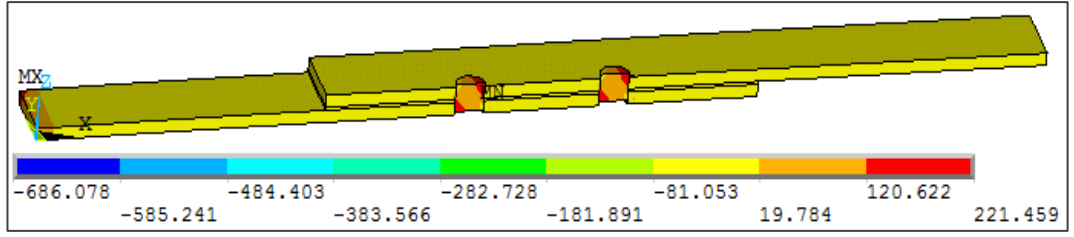
Şekil 4.27’de en yüksek gerilme 1405 MPa değerinde ve Model 3’te oluşmuştur. Model üzerinde gerilme dağılımlarını, renkli konturları ve gerilme yığılmalarının hangi bölgelerde olduğunu gösteren model resimleri Şekil 4.28 ile Şekil 4.31 arasında görülmektedir. Şekil 4.28’de x eksenı yönündeki normal gerilmeler, Şekil 4.29’da y eksenı yönündeki normal gerilmeler, Şekil 4.30’da z eksenı yönündeki normal gerilmeler, Şekil 4.31’de ise Von Mises gerilmelerinin model resimleri gösterilmiştir.



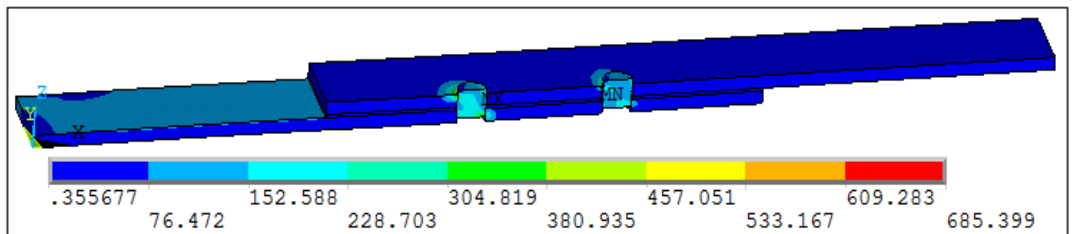
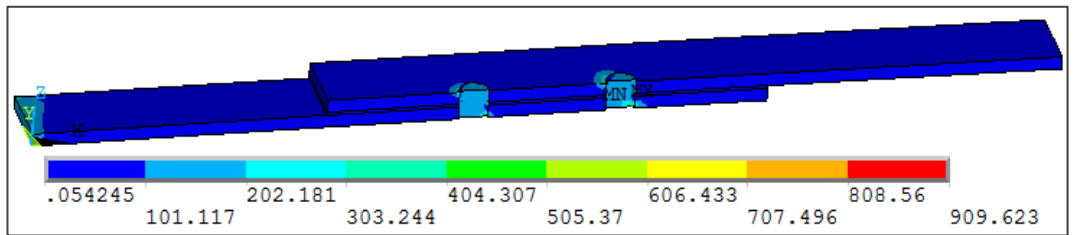
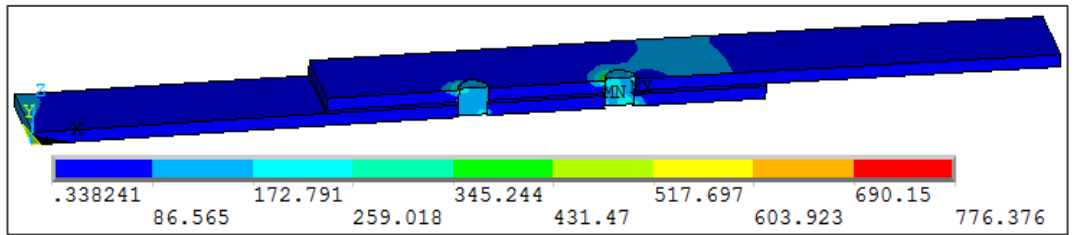
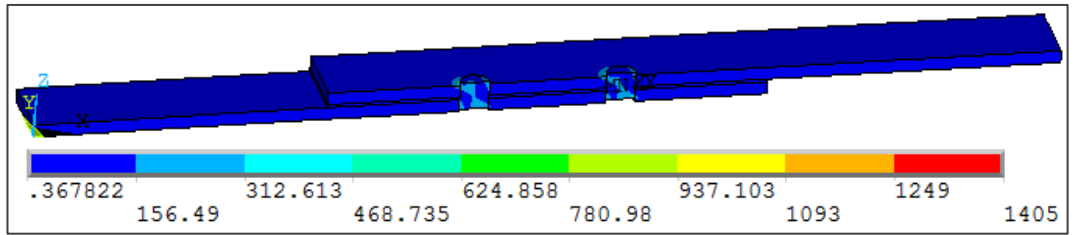
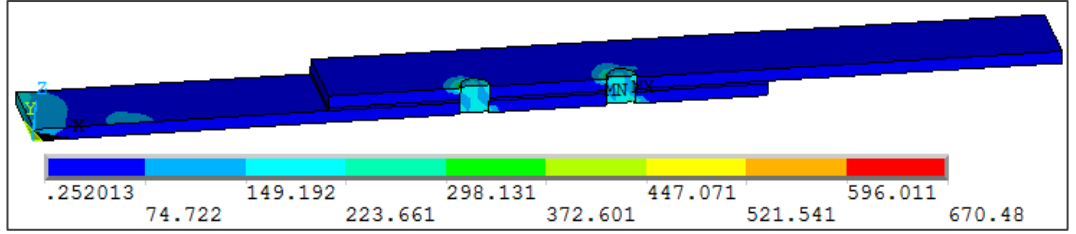
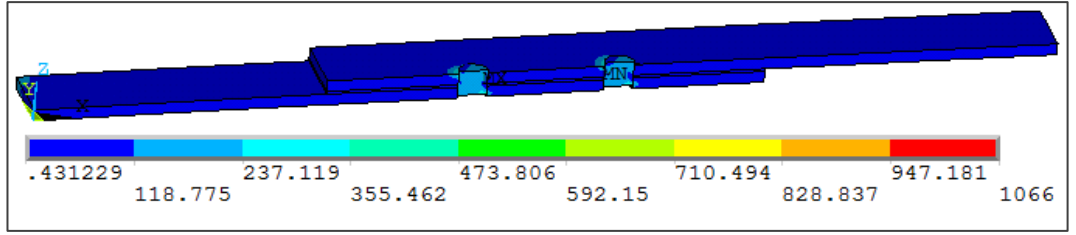
Şekil 4.28. Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu x yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_x$  - MPa)



Şekil 4.29. Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu y yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_y$  - MPa)



Şekil 4.30. Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu z yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_z$  - MPa)



Şekil 4.31. Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu Von Mises gerilme dağılımları(MPa)

Şekillere bakıldığında tüm modellerde her üç yönde de ağırlıklı olarak basma formunda gerilmelerin oluştuğu görülmektedir. x eksen yönünde en yüksek gerilmenin çekme formunda 387,67 MPa değerinde Model 2’de, basma formunda ise -1234 MPa değerinde Model 3’te oluştuğu görülmektedir. y eksen yönünde en yüksek gerilmenin çekme formunda 274,35 MPa değerinde Model 2’de, basma formunda ise -913,44 MPa değerinde Model 3’te oluştuğu görülmektedir. z eksen yönünde en yüksek gerilmenin çekme formunda 264,06 MPa değerinde Model 2’de, basma formunda ise -798,11 MPa değerinde Model 3’te oluştuğu görülmektedir. Von Mises gerilmelerinde ise en yüksek gerilme 1405 MPa değerinde Model 3’te meydana gelmiştir. Bunun yanında gerilme yığılmalarının tüm modellerde delik çevrelerinde oluştuğu gözlenmektedir.

#### 4.3.3. Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakası için elde edilen bulgular

Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12’de çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucunda yapıştırıcı tabakası için her bir modelde hesaplanan gerilmelerin maksimum değerleri verilmiştir.

**Çizelge 4.11.** Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucunda yapıştırıcı tabakası için her bir modelde hesaplanan normal gerilmelerin ve Von Mises gerilmelerinin(MPa) maksimum değerleri

|         | 50 °C | $\sigma_x$ | $\sigma_y$ | $\sigma_z$ | Von Mises |
|---------|-------|------------|------------|------------|-----------|
| Model 1 | Çekme | 7,54       | 5,09       | 22,83      | 21,04     |
|         | Basma | -9,89      | -6,61      | -10,81     |           |
| Model 2 | Çekme | -0,41      | -0,73      | 9,27       | 14,78     |
|         | Basma | -8,22      | -8,39      | -2,20      |           |
| Model 3 | Çekme | -0,32      | -0,54      | 13,97      | 16,43     |
|         | Basma | -8,90      | -9,15      | -3,15      |           |
| Model 4 | Çekme | 5,88       | 2,12       | 15,97      | 34,61     |
|         | Basma | -16,29     | -16,77     | -22,22     |           |
| Model 5 | Çekme | 1,54       | 0,14       | 14,07      | 17,65     |
|         | Basma | -9,12      | -9,31      | -4,39      |           |
| Model 6 | Çekme | 7,60       | 6,35       | 23,87      | 29,37     |
|         | Basma | -15,55     | -16,57     | -20,91     |           |

Çizelge 4.11’e bakılırsa x ve y eksenleri yönünde basma gerilmelerinin çekme gerilmelerine oranla mutlak değer olarak daha yüksek değerlerde olduğu görülürken z eksen yönünde çekme gerilmelerinin basma gerilmelerinden yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. z eksen yönünde meydana gelen gerilmelerin x ve y eksen

yönünde meydana gelen gerilmelerden yüksek değerlerde olduğu açıkça görülmektedir.

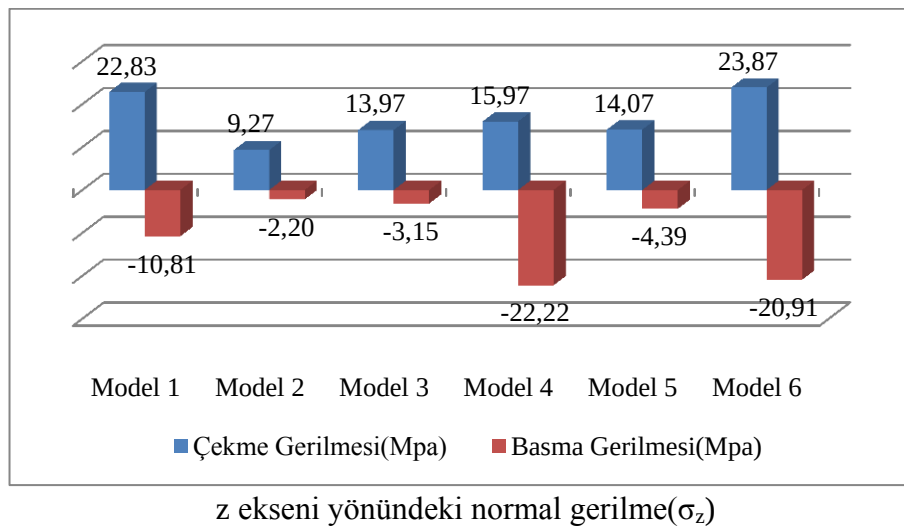
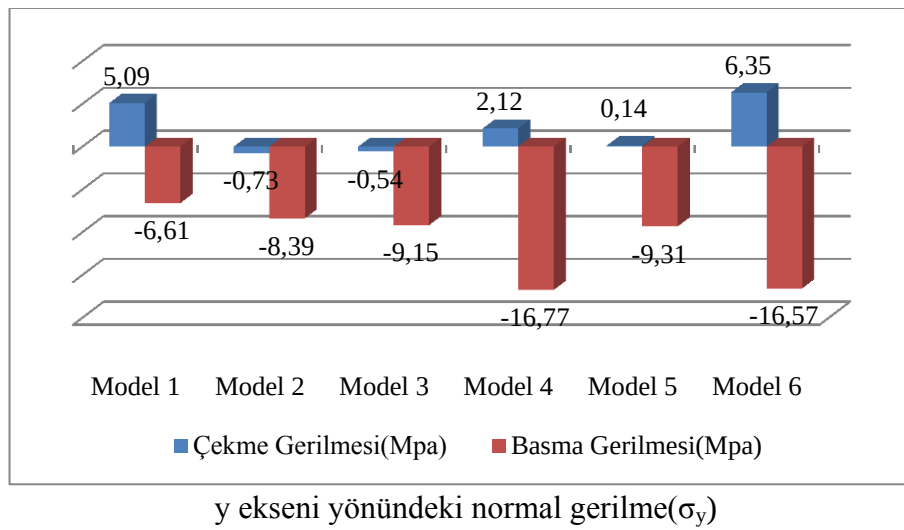
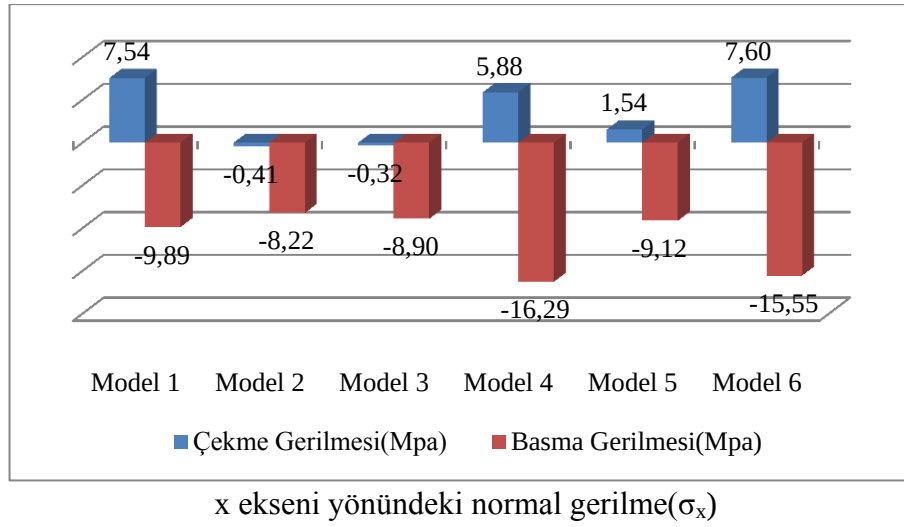
Modeller birbiri arasında kıyaslanırsa, x y ve z eksenleri yönünde en yüksek gerilmelerin Model 4'te olduğu anlaşılmaktadır.

**Çizelge 4.12.** Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucunda yapıştırıcı tabakası için her bir modelde hesaplanan kayma gerilmelerinin(MPa) maksimum değerleri

|         | $\tau_{xy}$ | $\tau_{yz}$ | $\tau_{xz}$ |
|---------|-------------|-------------|-------------|
| Model 1 | 1,98        | 5,35        | 6,63        |
|         | -2,58       | -7,48       | -9,61       |
| Model 2 | 1,47        | 6,33        | 7,60        |
|         | -1,16       | -5,98       | -5,43       |
| Model 3 | 1,81        | 7,08        | 8,38        |
|         | -1,91       | -6,55       | -6,25       |
| Model 4 | 1,73        | 5,02        | 15,88       |
|         | -3,52       | -13,24      | -18,28      |
| Model 5 | 1,85        | 5,30        | 7,98        |
|         | -1,42       | -7,52       | -6,21       |
| Model 6 | 2,59        | 13,80       | 13,50       |
|         | -2,15       | -7,72       | -9,43       |

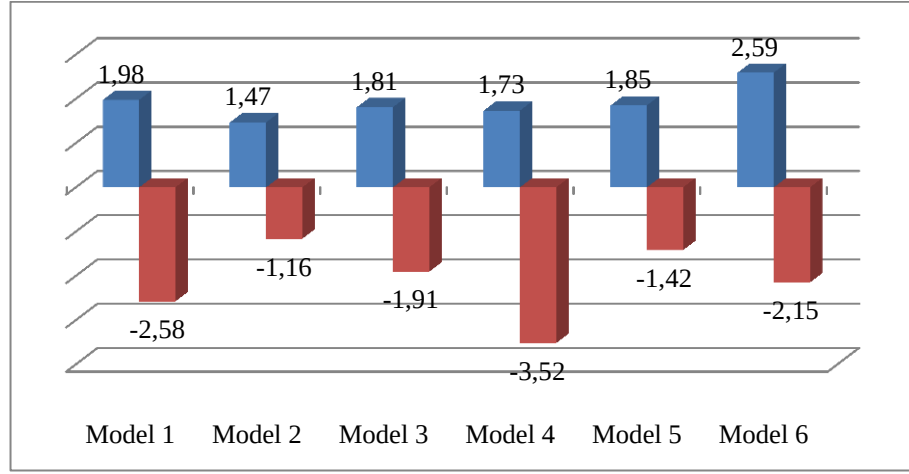
Çizelge 4.12 incelenirse negatif gerilmelerin pozitif gerilmelerden mutlak değer olarak daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. xy ve xz eksenleri boyunca en yüksek kayma gerilmesinin Model 4'te ve negatif değerde olduğu görülürken yz eksenleri boyunca en yüksek kayma gerilmesinin Model 6'da ve pozitif değerde olduğu görülmektedir.

Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında meydana gelen maksimum normal gerilmelerin grafiksel gösterimi Şekil 4.32'de, kayma gerilmelerinin grafiksel gösterimi Şekil 4.33'de ve Von Mises gerilmelerinin grafiksel gösterimi Şekil 4.34'te görülmektedir.

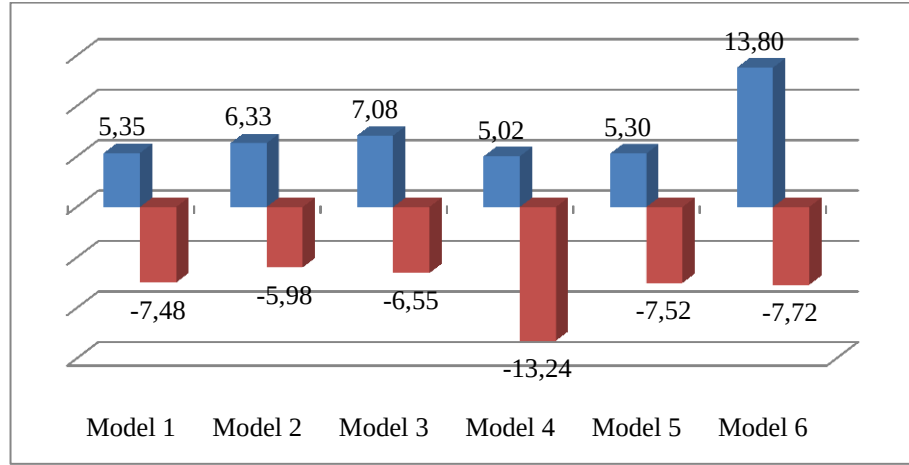


**Şekil 4.32.** Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında maksimum normal gerilmelerin grafiksel gösterimi

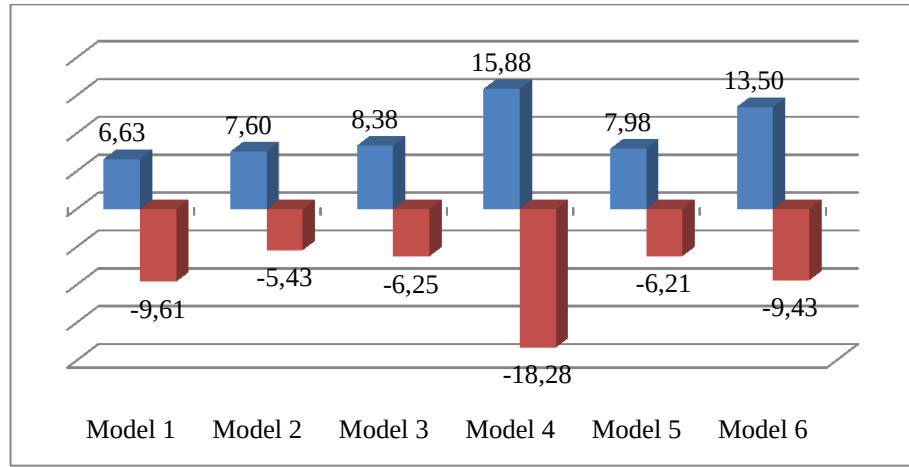
Şekil 4.32’de en yüksek çekme gerilmesi z eksenı yönünde 23,87 MPa değırinde Model 6’da, en yüksek basma gerilmesi ise -22,22 MPa değırinde yine z eksenı yönünde Model 4’te oluşmuştur.



xy eksenı yönündeki kayma gerilmeleri( $\sigma_x$ )



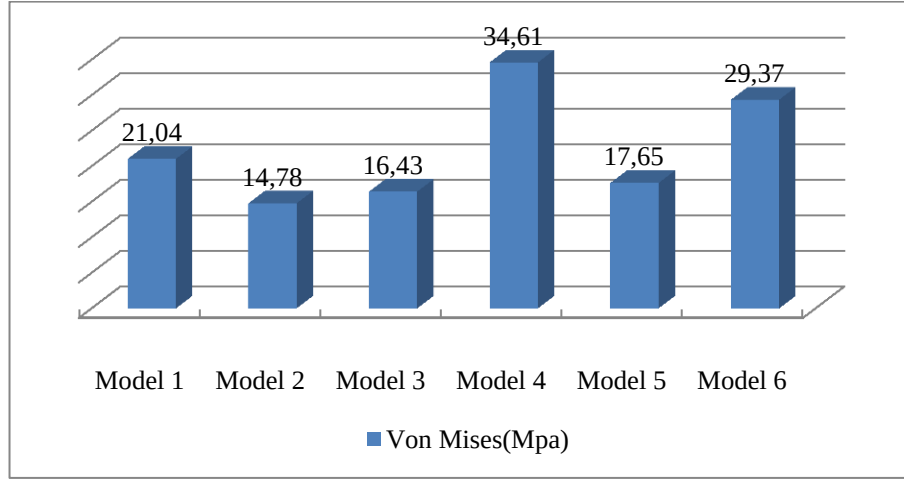
yz eksenı yönündeki kayma gerilmeleri( $\sigma_y$ )



xz eksenı yönündeki kayma gerilmeleri( $\sigma_z$ )

Şekil 4.33. Çekme yükü ve 50°C ısıı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında kayma gerilmelerinin grafiksel gösterimi

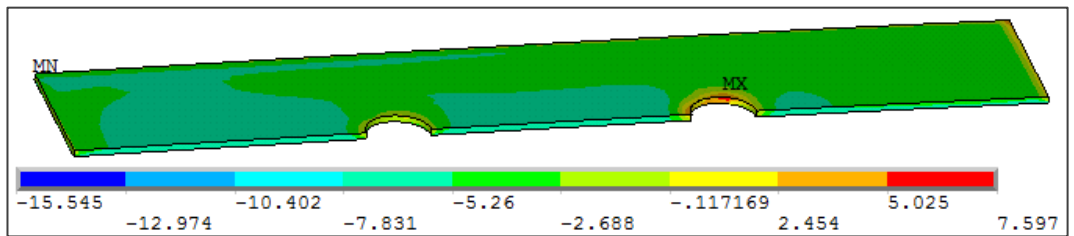
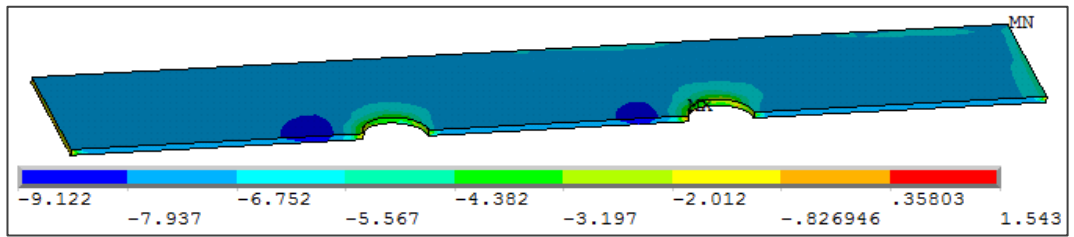
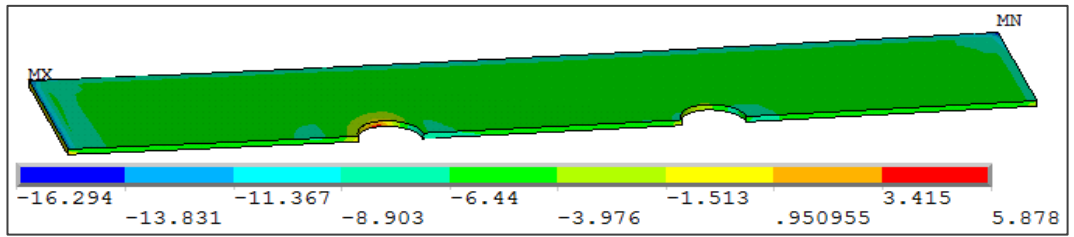
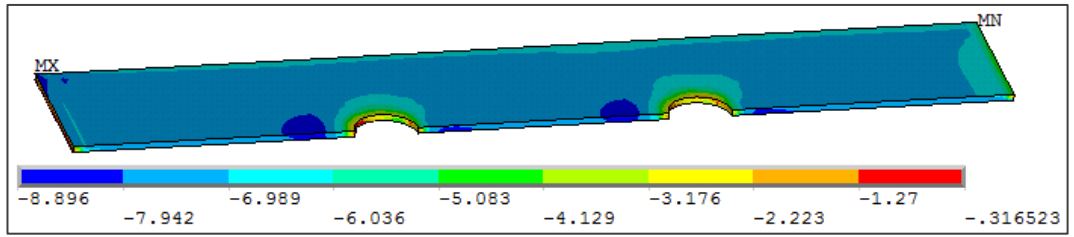
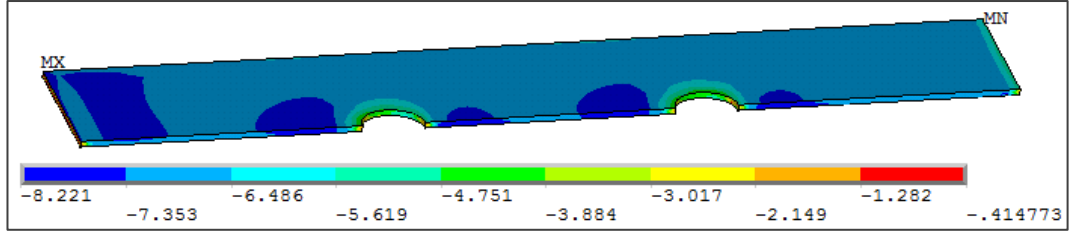
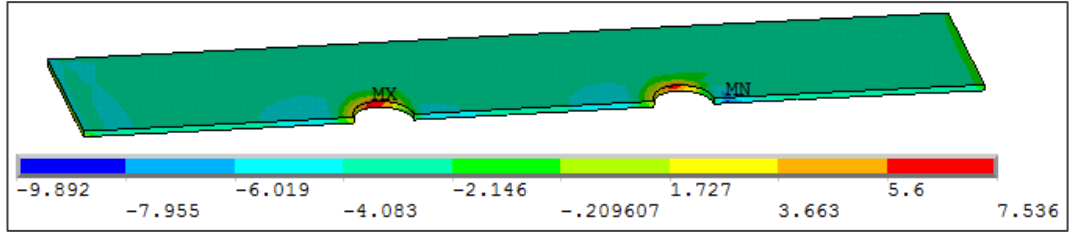
Şekil 4.33'te en yüksek pozitif değerde kayma gerilmesi xz eksenleri yönünde 15,88 MPa değerinde Model 4'te, en yüksek negatif değerde kayma gerilmesi ise -18,28 MPa değerinde yine z eksen yönünde Model 4'te oluşmuştur.



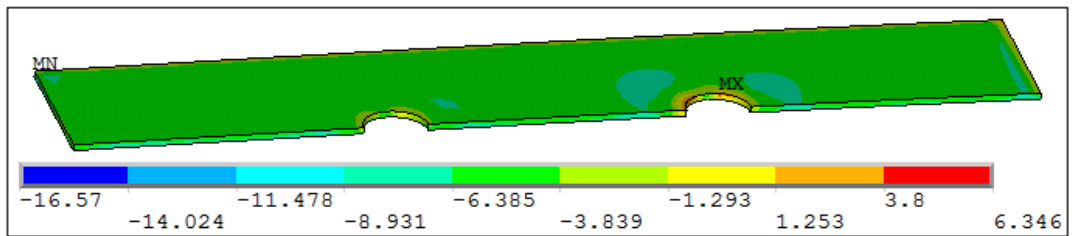
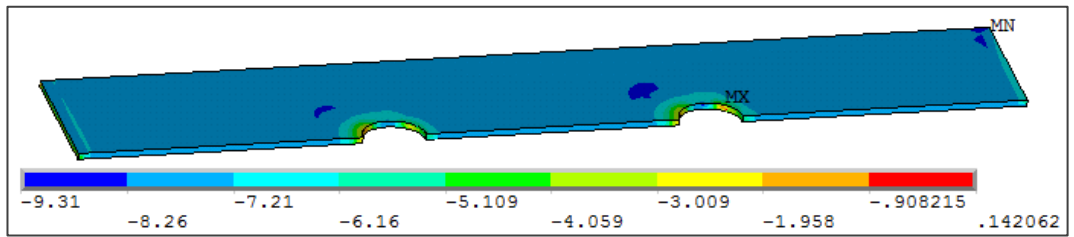
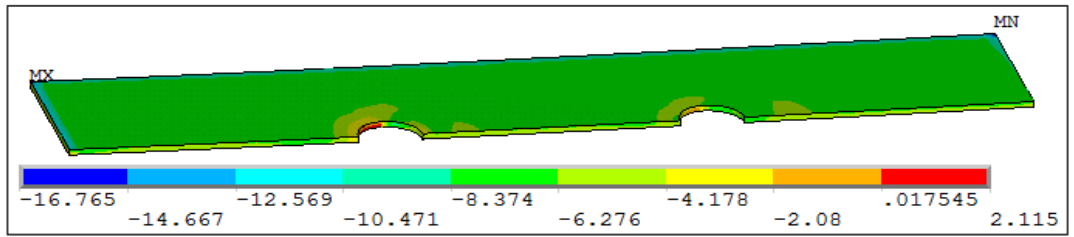
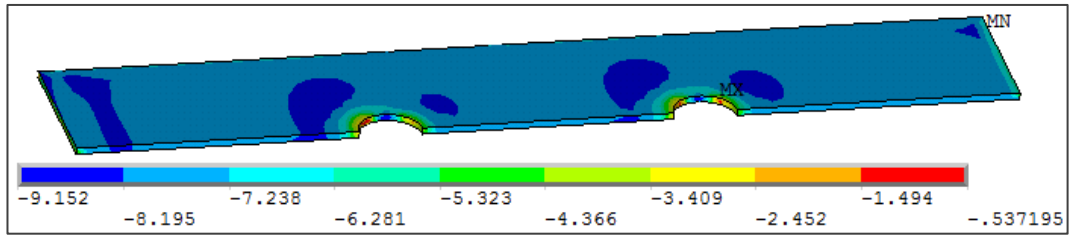
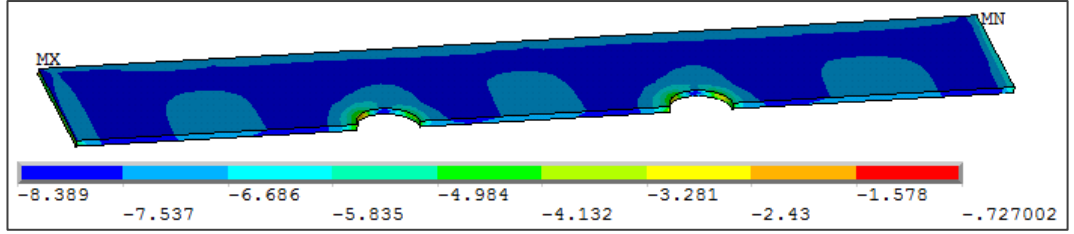
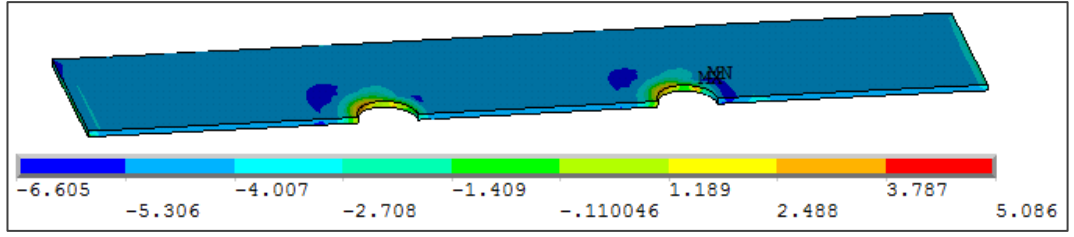
**Şekil 4.34.** Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında Von Mises gerilmelerinin grafiksel gösterimi

Şekil 4.34'te en yüksek gerilme 34,61 MPa değerinde Model 4'te oluşmuştur.

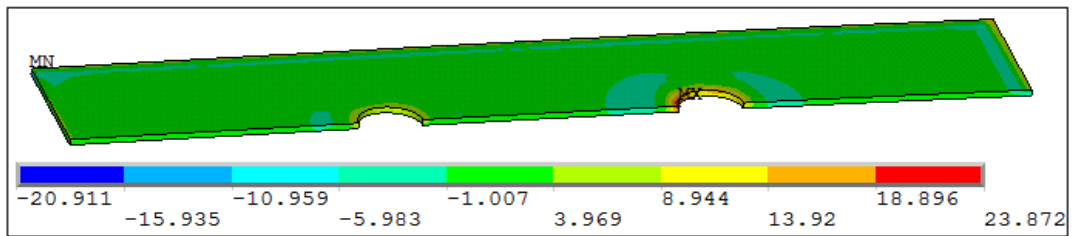
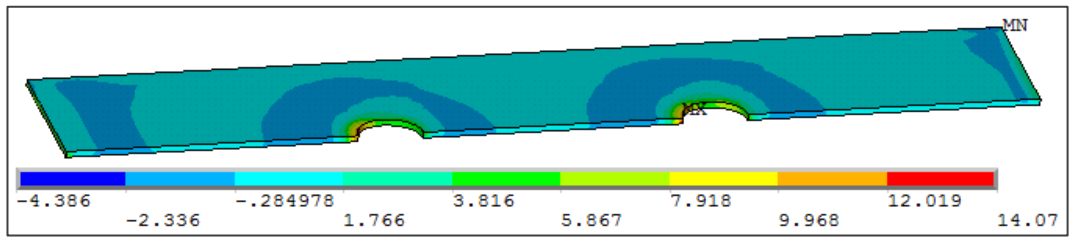
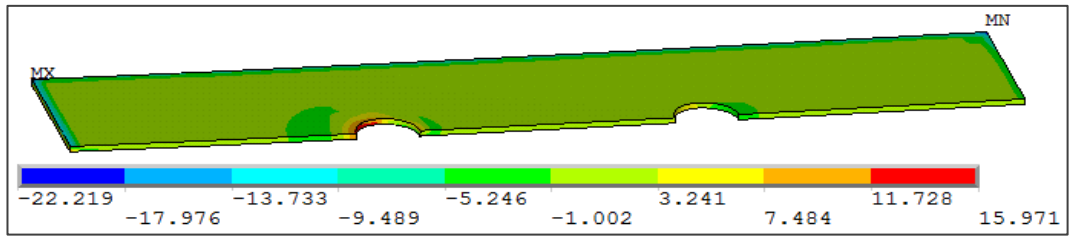
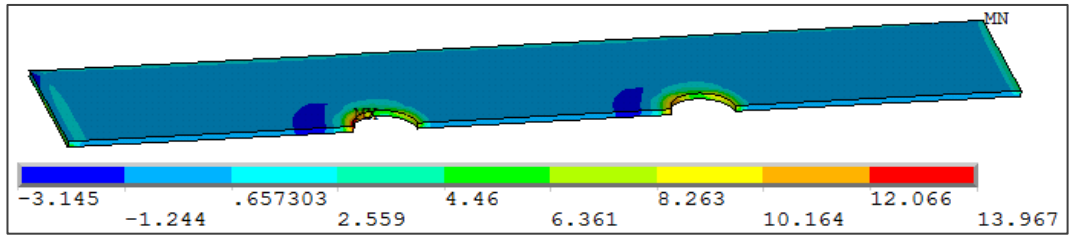
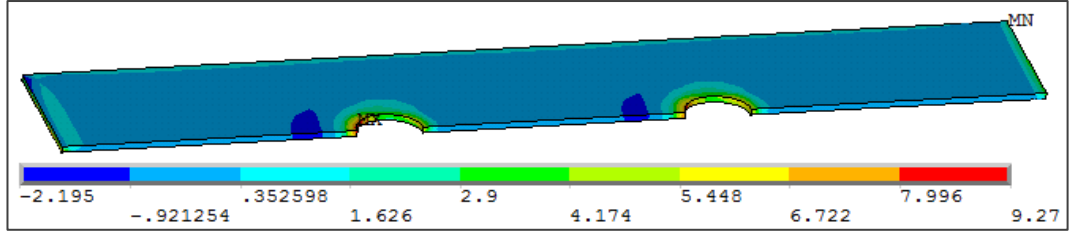
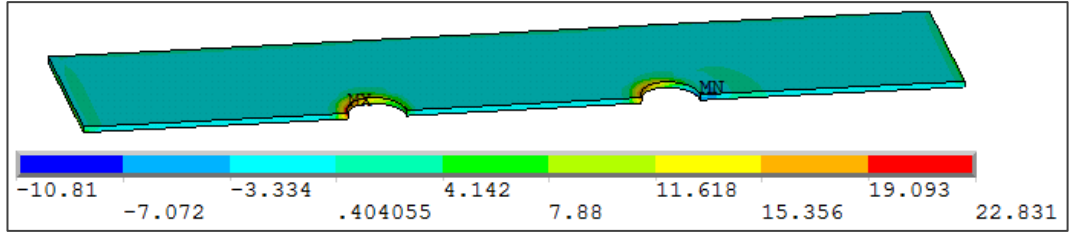
Model üzerinde gerilme dağılımlarını, renkli konturları ve gerilme yığılmalarının hangi bölgelerde olduğunu gösteren model resimleri Şekil 4.35 ile Şekil 4.41 arasında görülmektedir. Şekil 4.35'de x eksen yönündeki normal gerilmeler, Şekil 4.36'da y eksen yönündeki normal gerilmeler, Şekil 4.37'de z eksen yönündeki normal gerilmelerin model resimleri görülmektedir. Şekil 4.38'de xy eksenindeki kayma gerilmeleri, Şekil 4.39'da yz eksenindeki kayma gerilmeleri, Şekil 4.40'da xz eksenindeki kayma gerilmeleri ve Şekil 4.41'de ise Von Mises gerilmelerinin model resimleri gösterilmiştir.



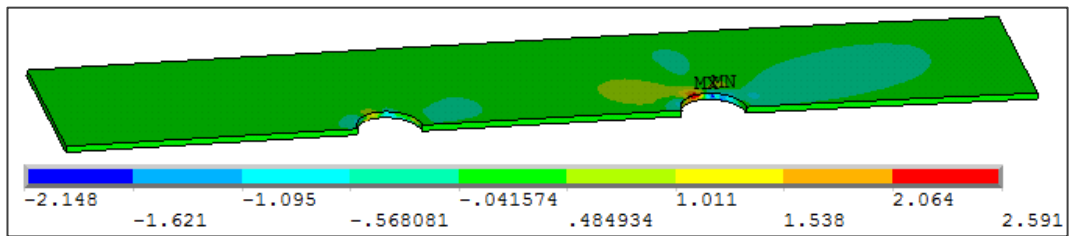
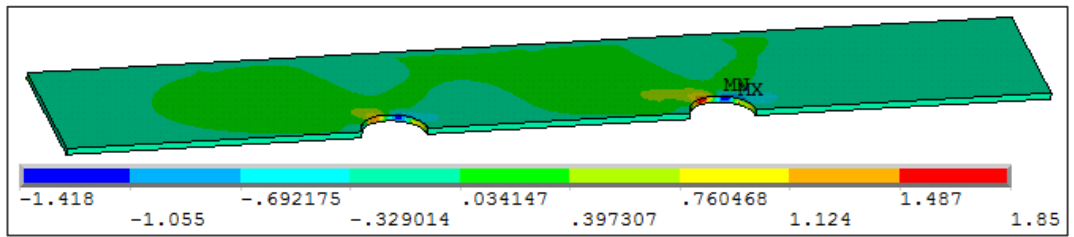
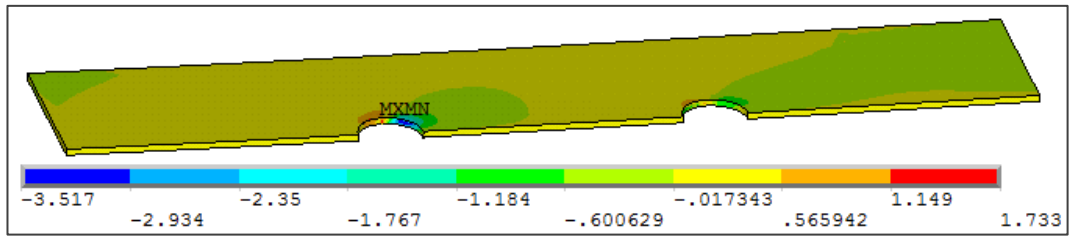
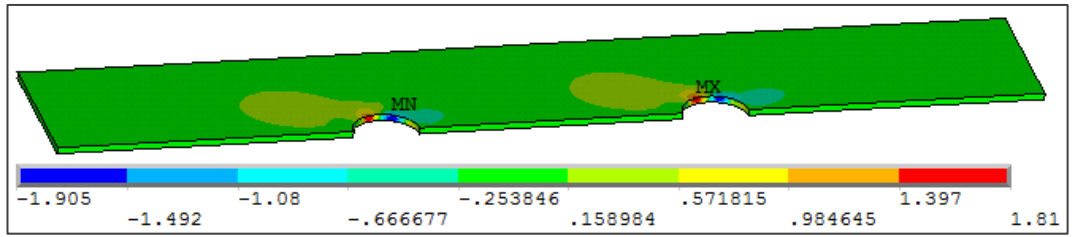
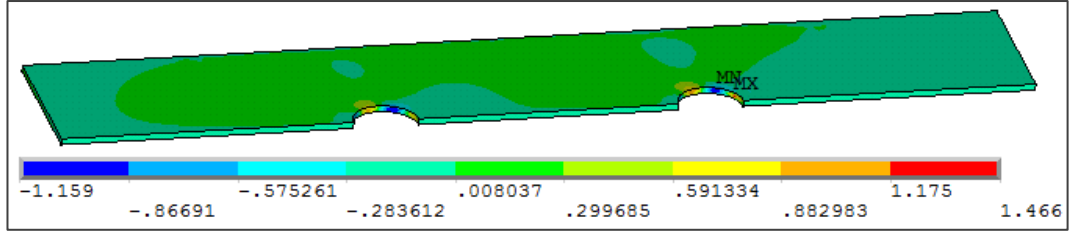
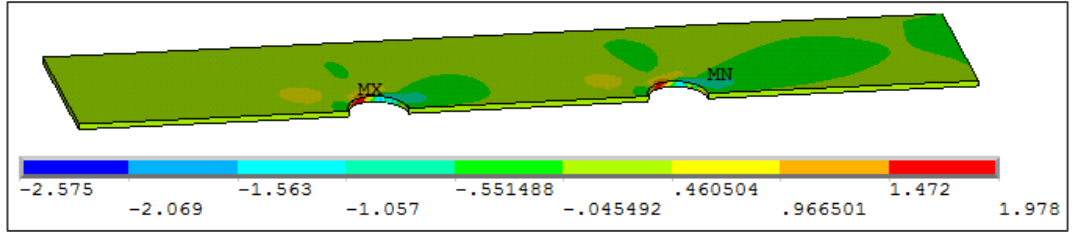
Şekil 4.35. Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan x yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_x$ -MPa)



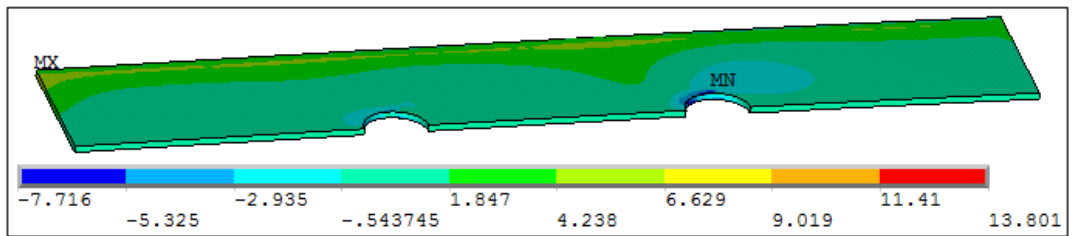
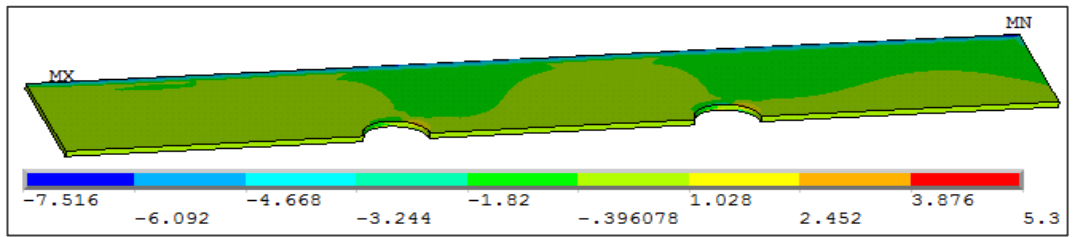
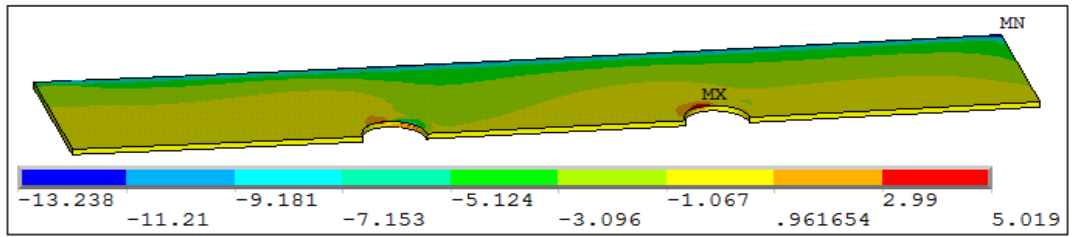
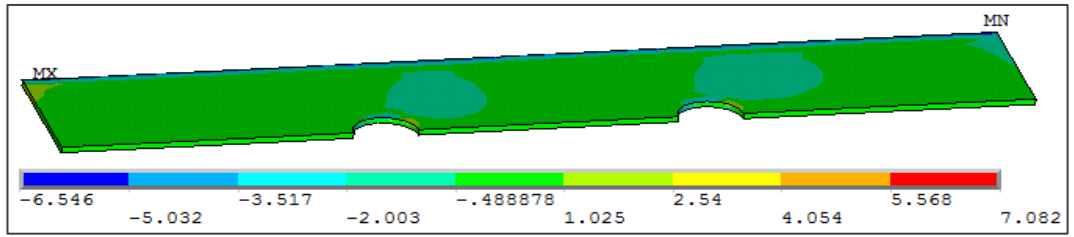
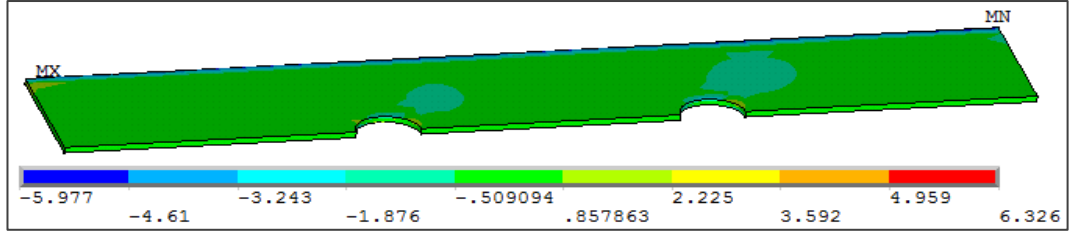
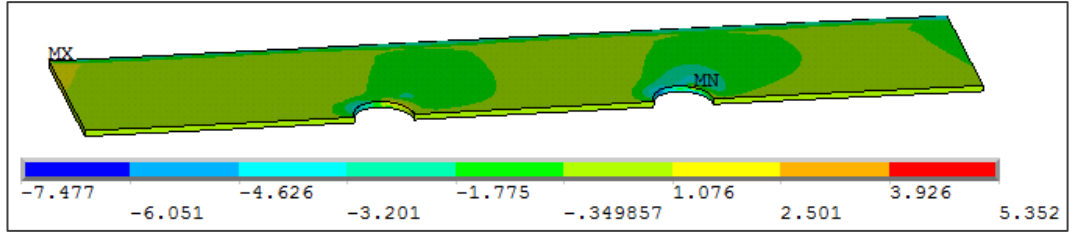
Şekil 4.36. Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan y yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_y$ -MPa)



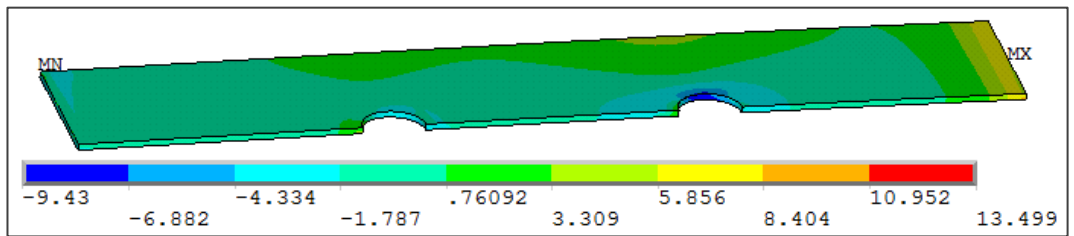
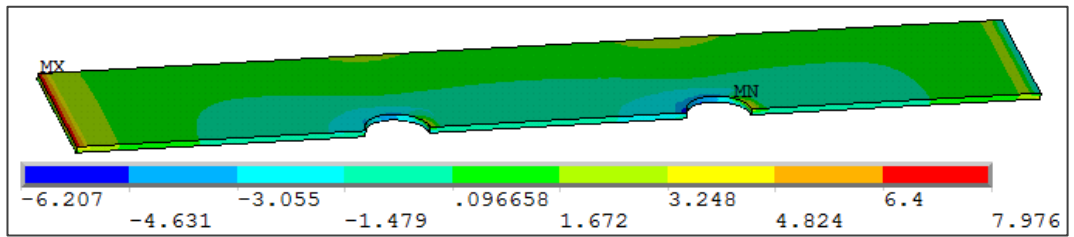
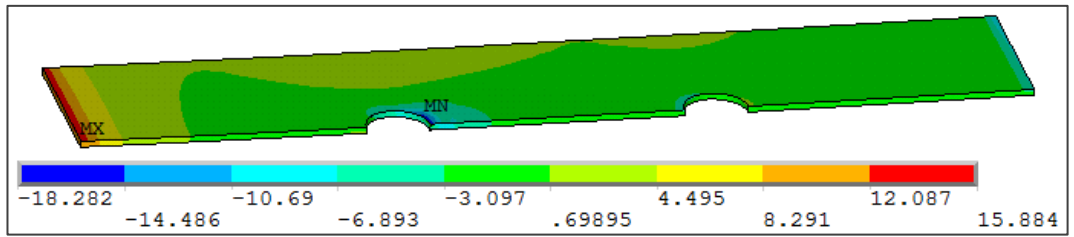
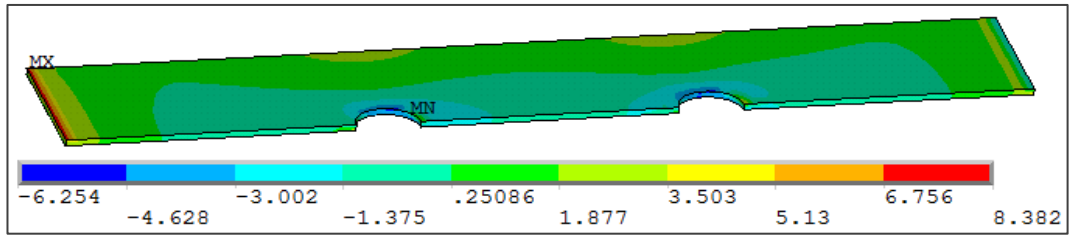
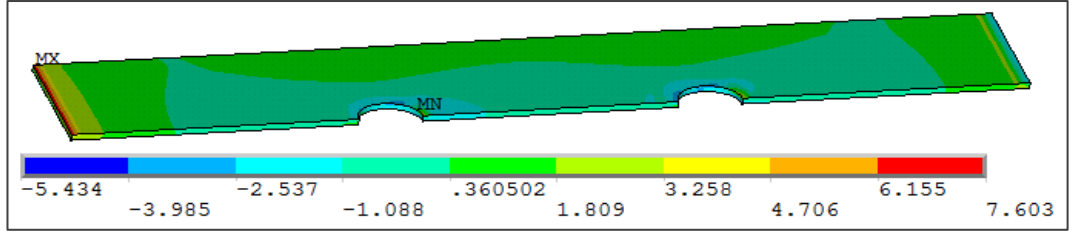
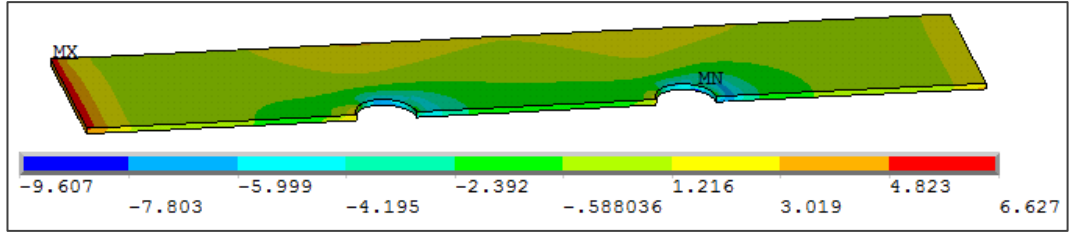
Şekil 4.37. Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan z yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_z$ -MPa)



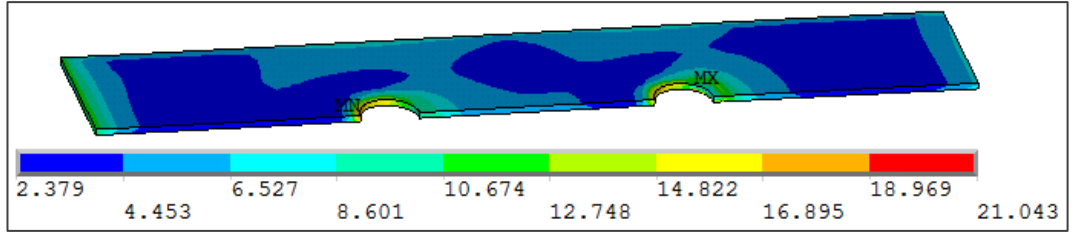
Şekil 4.38. Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan xy yönündeki kayma gerilmesi dağılımları( $\tau_{xy}$  - MPa)



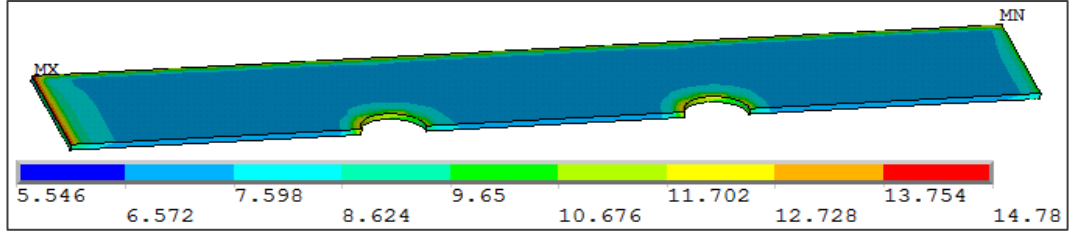
Şekil 4.39. Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan yz yönündeki kayma gerilmesi dağılımları( $\tau_{yz}$  - MPa)



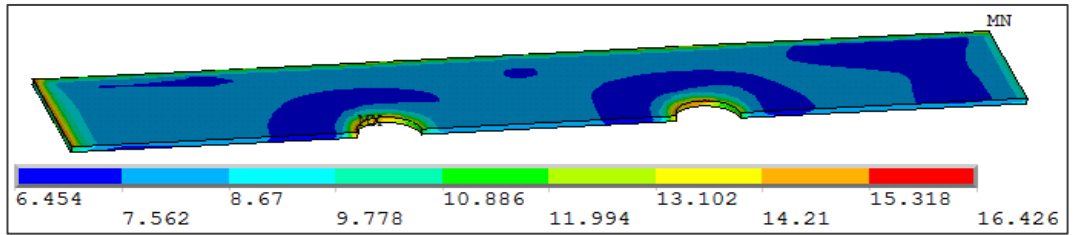
Şekil 4.40. Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan xz yönündeki kayma gerilmesi dağılımları( $\tau_{xz}$  - MPa)



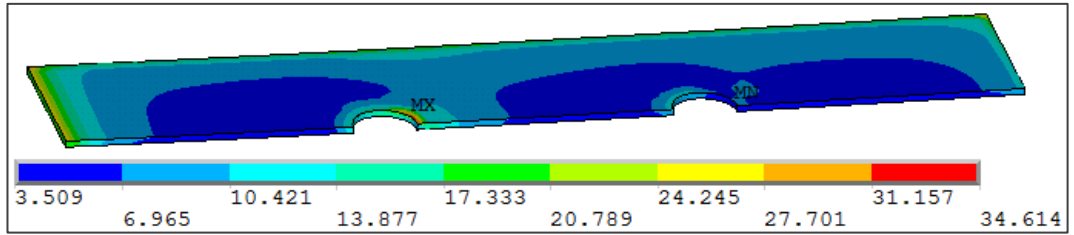
Model 1



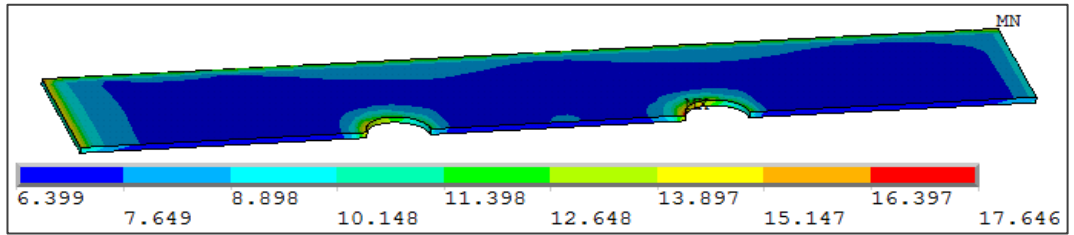
Model 2



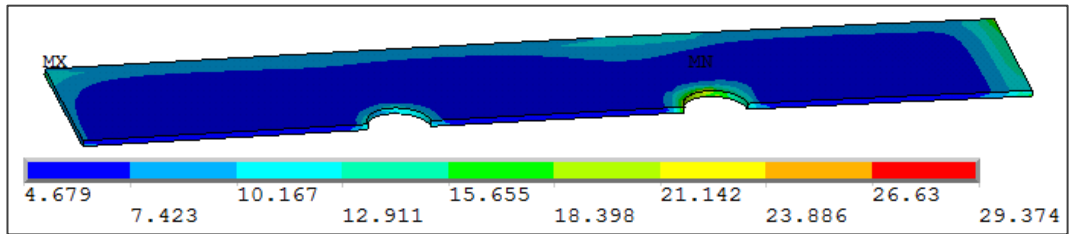
Model 3



Model 4



Model 5



Model 6

Şekil 4.41. Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan Von Mises gerilme dağılımları(MPa)

Şekiller incelenirse x ve y eksenleri yönünde meydana gelen normal gerilmelerde basma gerilmelerinin çekme gerilmelerine oranla daha yüksek değerlerde olduğu, z eksen yönünde ise çekme gerilmelerinin basma gerilmelerinden yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. En yüksek gerilmelerin x ve y eksenleri yönünde basma formunda Model 4'te, z eksen yönünde çekme formunda Model6'da olduğu görülmektedir. Kayma gerilme dağılımlarında ise negatif gerilmelerin pozitif gerilmelere oranla daha yüksek değerlerde olduğu ve en yüksek kayma gerilmelerinin bütün modellerde Model 4'te meydana geldiği görülmektedir. Von Mises gerilmelerinde de en yüksek gerilme değerinin Model 4'te olduğu görülmektedir.

#### 4.3.4. Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakası için elde edilen bulgular

Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14'te çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucunda yapıştırıcı tabakası için her bir modelde hesaplanan gerilmelerin maksimum değerleri verilmiştir.

**Çizelge 4.13.** Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucunda yapıştırıcı tabakası için her bir modelde hesaplanan normal gerilmelerin ve Von Mises gerilmelerinin(MPa) maksimum değerleri

|         | (-50) °C | $\sigma_x$ | $\sigma_y$ | $\sigma_z$ | Von Mises |
|---------|----------|------------|------------|------------|-----------|
| Model 1 | Çekme    | 15,16      | 11,71      | 16,91      | 20,19     |
|         | Basma    | 0,26       | -0,33      | -5,77      |           |
| Model 2 | Çekme    | 12,32      | 10,90      | 8,52       | 17,43     |
|         | Basma    | 0,62       | 0,55       | -5,02      |           |
| Model 3 | Çekme    | 15,89      | 13,13      | 13,18      | 20,61     |
|         | Basma    | 0,61       | 0,46       | -6,08      |           |
| Model 4 | Çekme    | 20,11      | 17,62      | 24,23      | 33,09     |
|         | Basma    | -0,34      | -2,35      | -16,49     |           |
| Model 5 | Çekme    | 15,45      | 13,54      | 13,47      | 18,74     |
|         | Basma    | 0,38       | 0,26       | -7,55      |           |
| Model 6 | Çekme    | 20,29      | 17,41      | 24,97      | 34,78     |
|         | Basma    | -2,09      | -3,70      | -19,75     |           |

Çizelge 4.13 incelenirse, tüm modellerde çekme gerilmelerinin basma gerilmelerinden daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. z eksen yönünde meydana gelen gerilmelerin x ve y eksenleri yönünde meydana gelen gerilmelerden yüksek değerlerde olduğu görülmektedir.

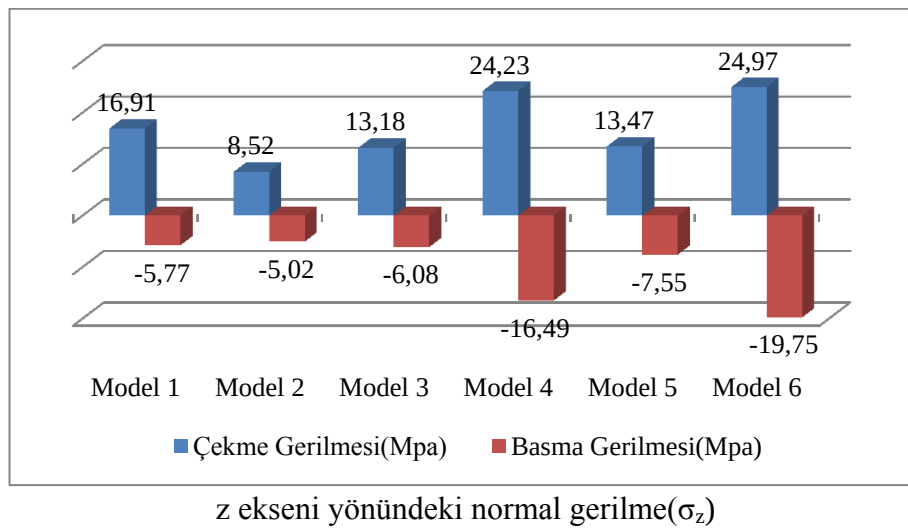
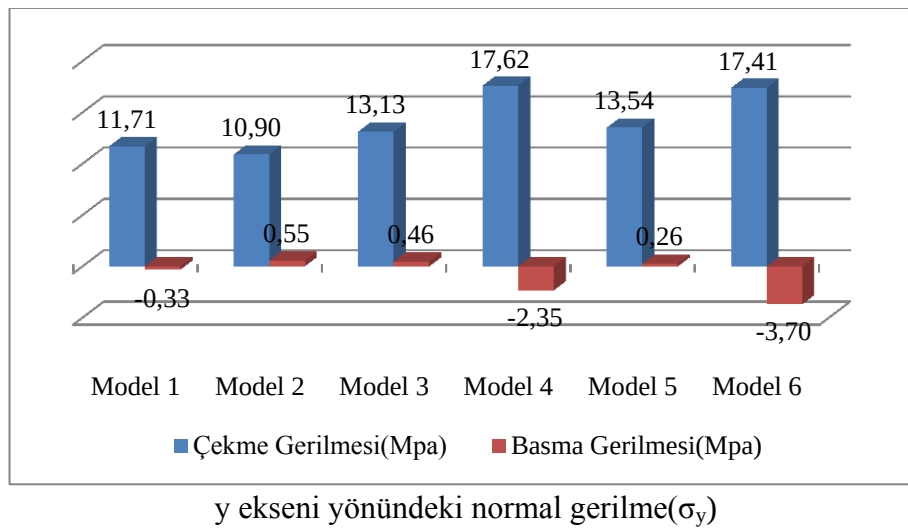
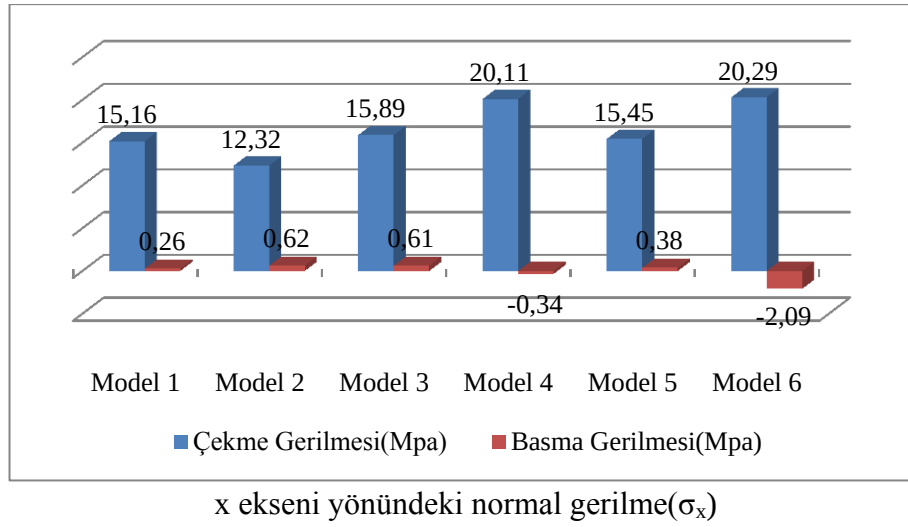
x, y ve z eksenleri yönünde en yüksek gerilmelerin Model 6'da olduğu görülmektedir.

**Çizelge 4.14.** Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakası için her bir modelde hesaplanan kayma gerilmelerinin(MPa) maksimum değerleri

|         | $\tau_{xy}$ | $\tau_{yz}$ | $\tau_{xz}$ |
|---------|-------------|-------------|-------------|
| Model 1 | 3,72        | 4,91        | 10,58       |
|         | -3,74       | -7,34       | -9,03       |
| Model 2 | 2,56        | 6,06        | 9,66        |
|         | -2,45       | -6,95       | -6,67       |
| Model 3 | 3,42        | 6,90        | 11,54       |
|         | -3,21       | -8,64       | -7,36       |
| Model 4 | 4,98        | 12,17       | 14,29       |
|         | -4,37       | -12,86      | -14,36      |
| Model 5 | 3,24        | 6,73        | 10,04       |
|         | -2,96       | -8,03       | -7,98       |
| Model 6 | 4,25        | 8,89        | 17,96       |
|         | -3,55       | -10,58      | -11,00      |

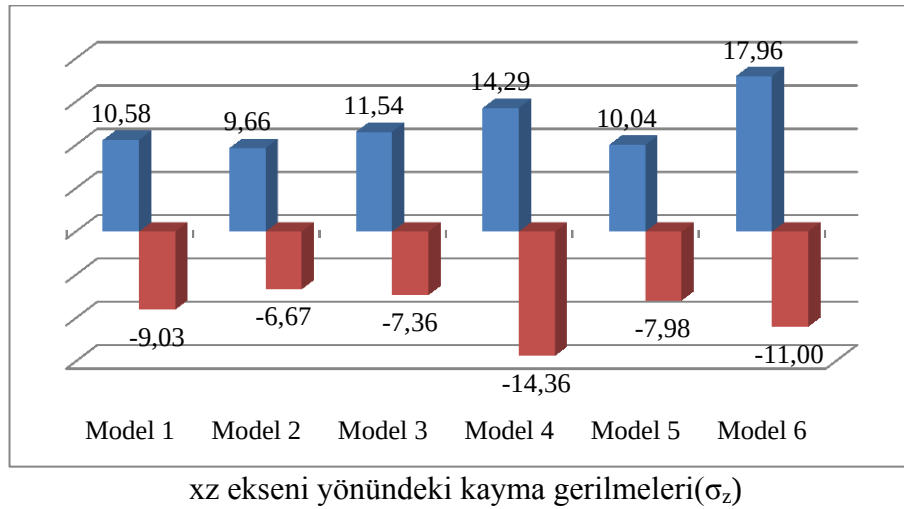
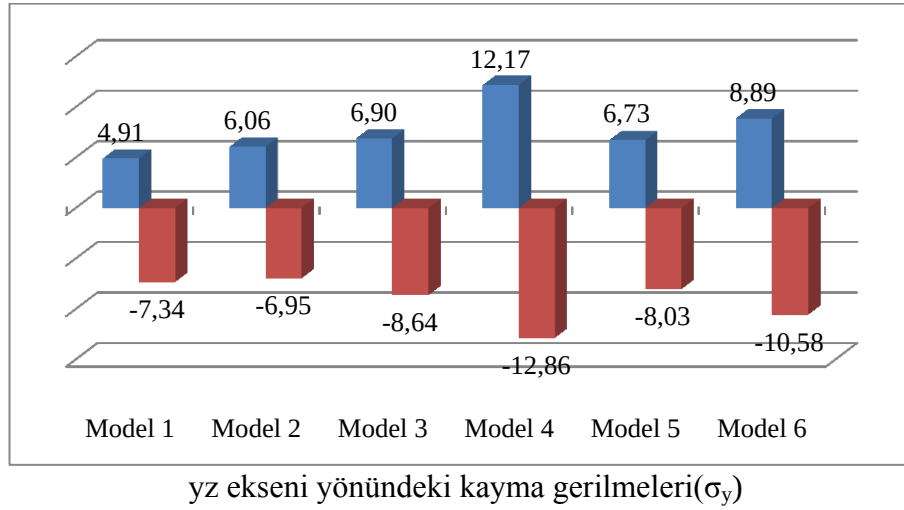
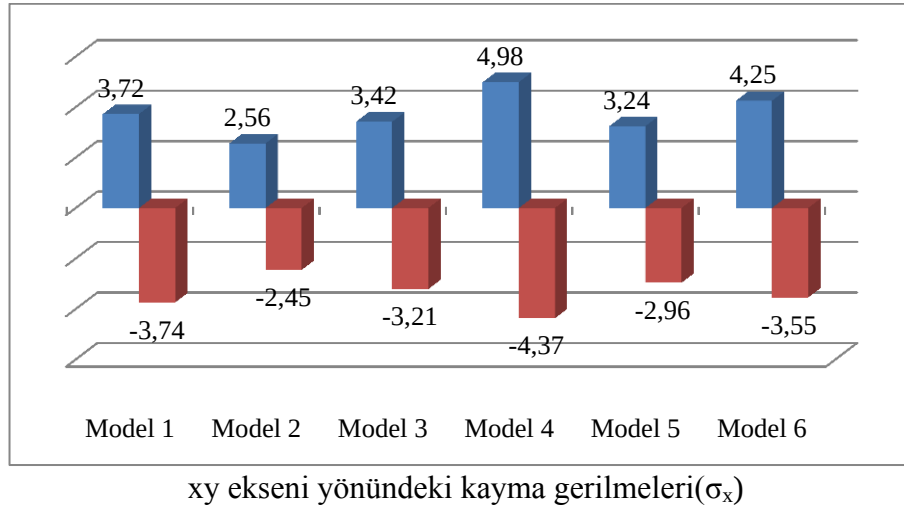
Çizelge 4.14 incelenecek olursa, xy eksenleri boyunca kayma gerilmelerinin pozitif değerlerde yüksek olduğu görülürken yz ve xz eksenleri boyunca negatif değerlerde daha yüksek olduğu görülmektedir. xy, yz ve xz eksenleri boyunca en yüksek kayma gerilmesinin pozitif ve negatif değerlerde Model 4'te olduğu görülmektedir.

Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında meydana gelen maksimum normal gerilmelerin grafiksel gösterimi Şekil 4.42'de, kayma gerilmelerinin grafiksel gösterimi Şekil 4.43'de ve Von Mises gerilmelerinin grafiksel gösterimi Şekil 4.44'te görülmektedir.



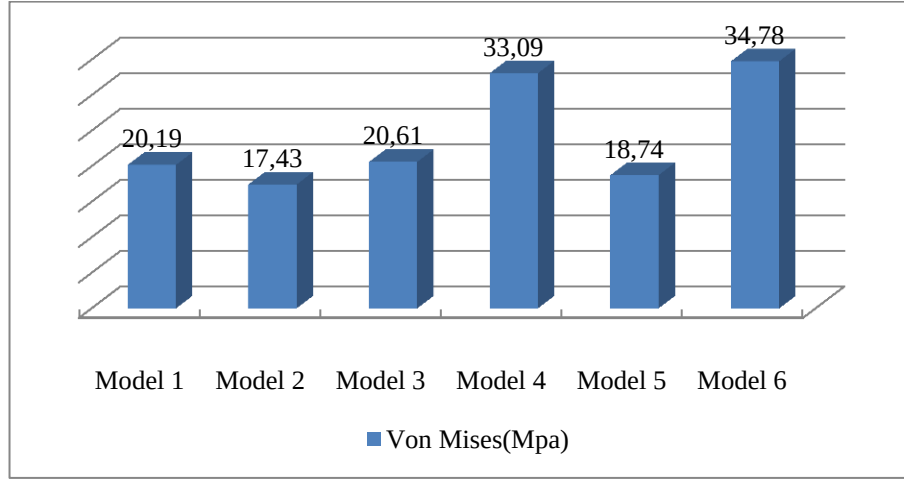
**Şekil 4.42.** Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında maksimum normal gerilmelerin grafiksel gösterimi

Şekil 4.42’de en yüksek çekme gerilmesi 24,97 MPa değerinde, en yüksek basma gerilmesi ise -19,75 MPa değerinde z eksenı yönünde Model 6’da oluşmuştur.



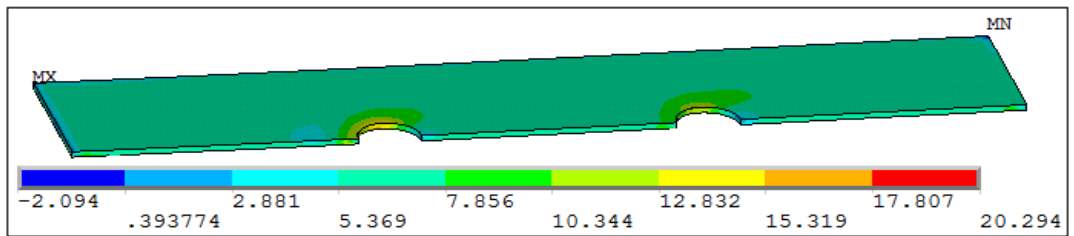
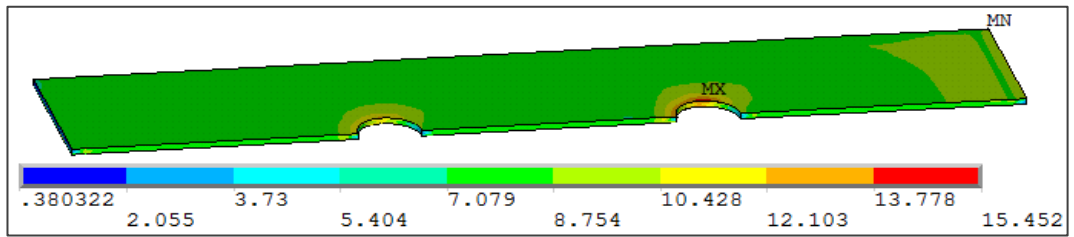
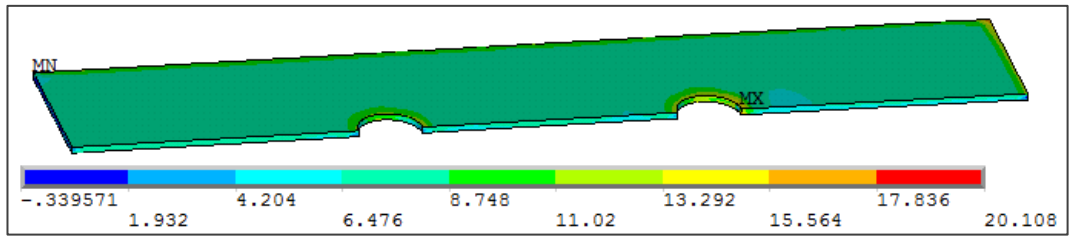
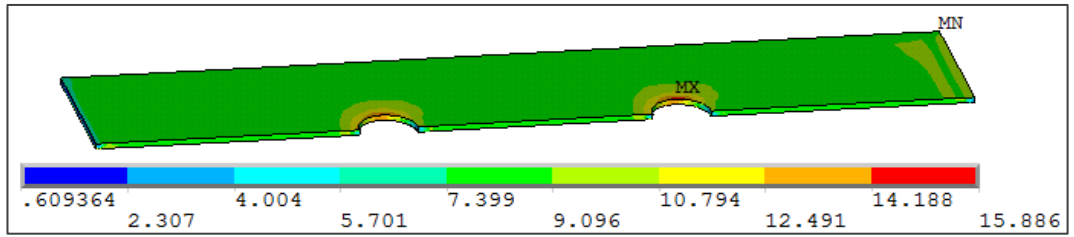
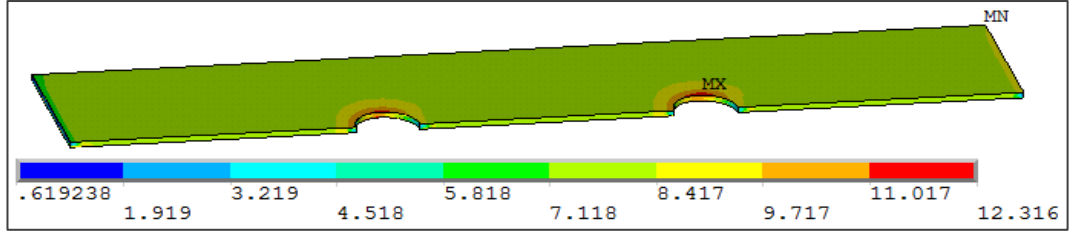
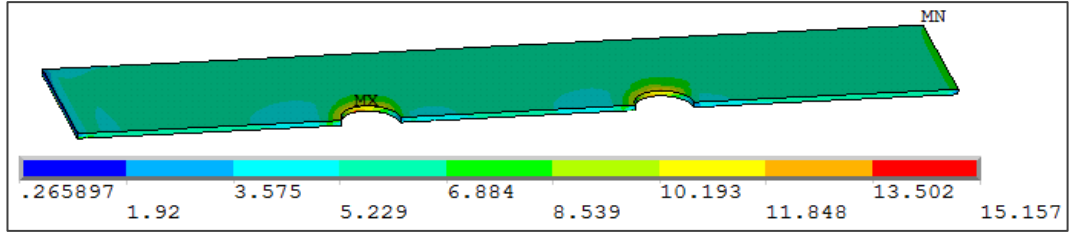
Şekil 4.43. Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında kayma gerilmelerinin grafiksel gösterimi

Şekil 4.43'te en yüksek pozitif değerde kayma gerilmesi xz eksenleri yönünde 17,96 MPa değerinde Model 6'da, en yüksek negatif değerde kayma gerilmesi ise -14,36 MPa değerinde yine xz eksenleri yönünde Model 4'te oluşmuştur.

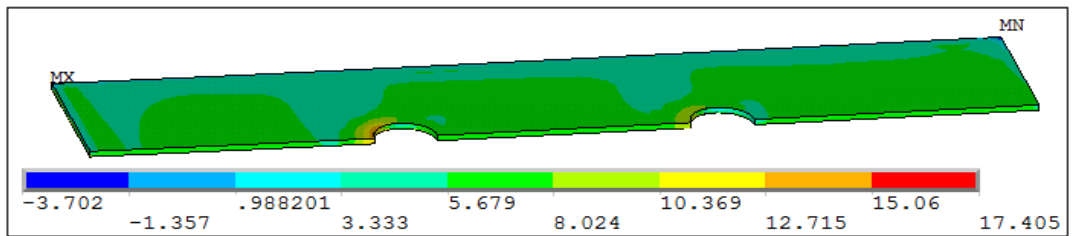
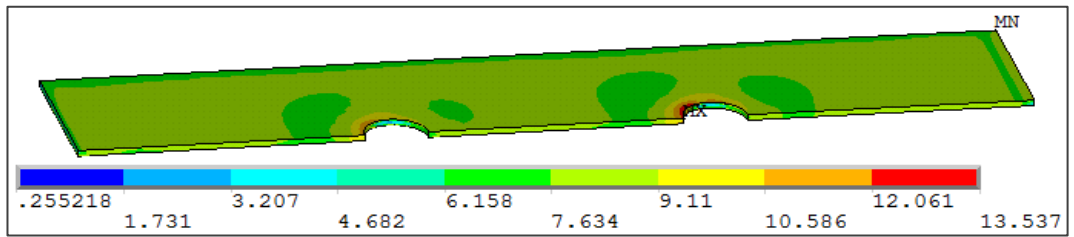
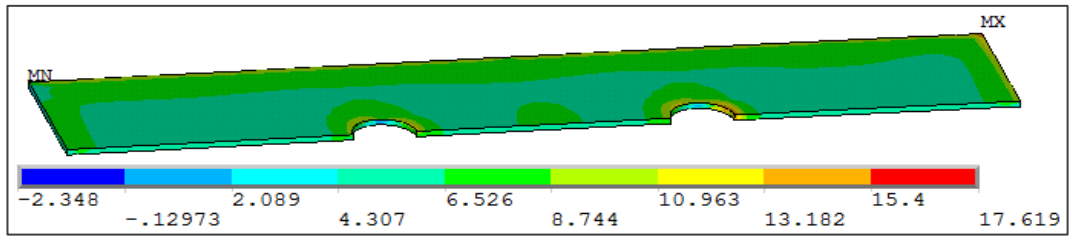
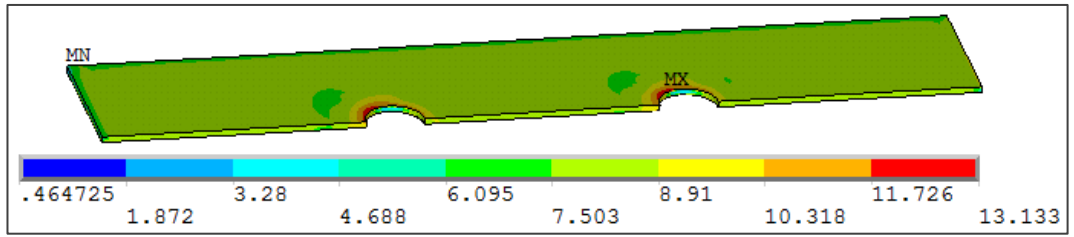
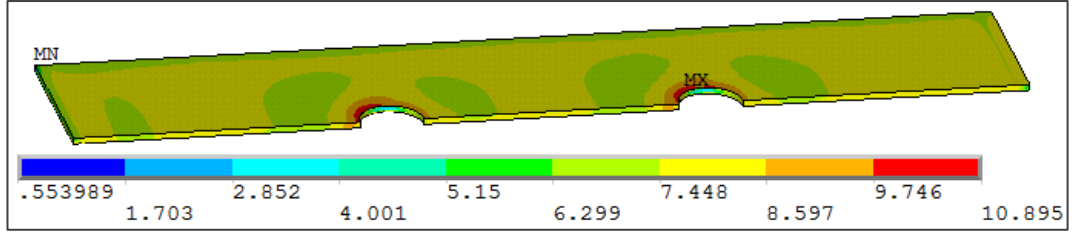
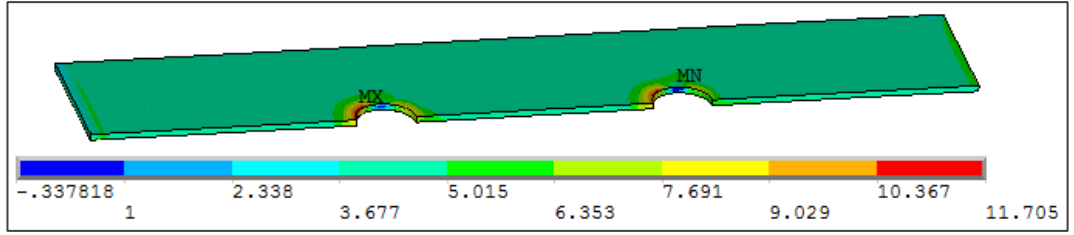


**Şekil 4.44.** Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında Von Mises gerilmelerinin grafiksel gösterimi

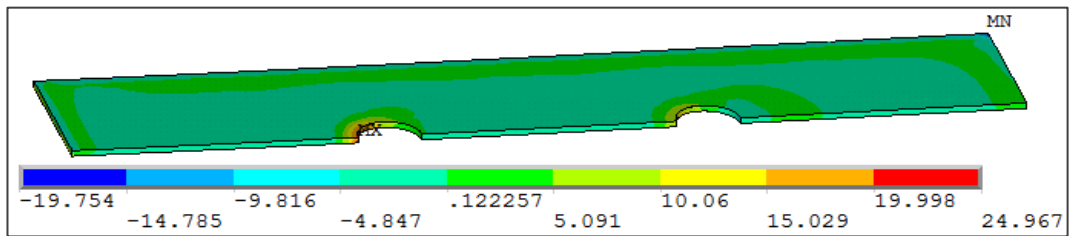
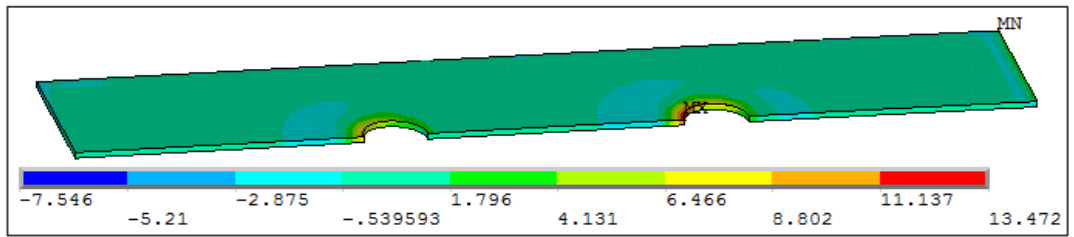
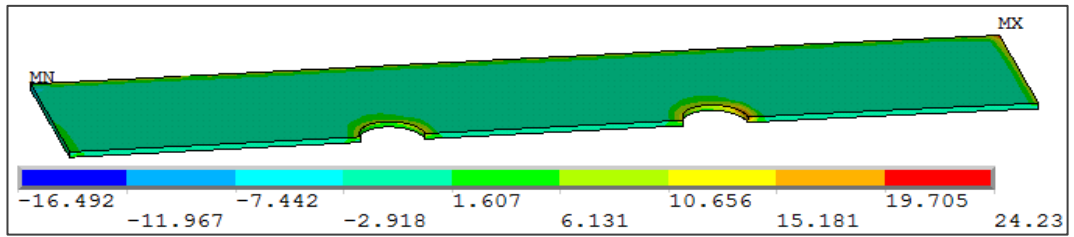
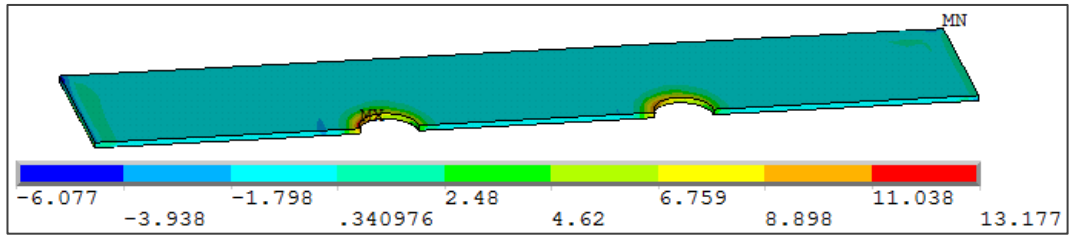
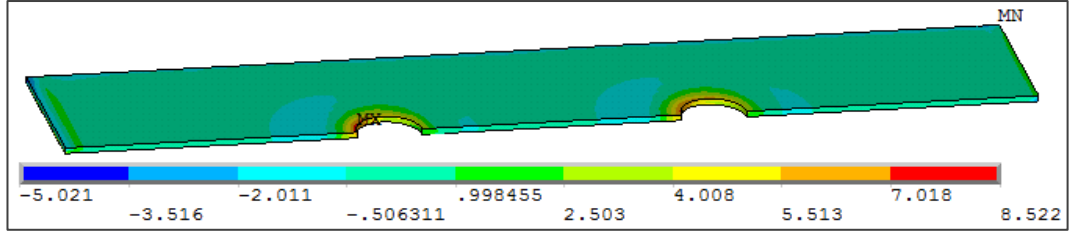
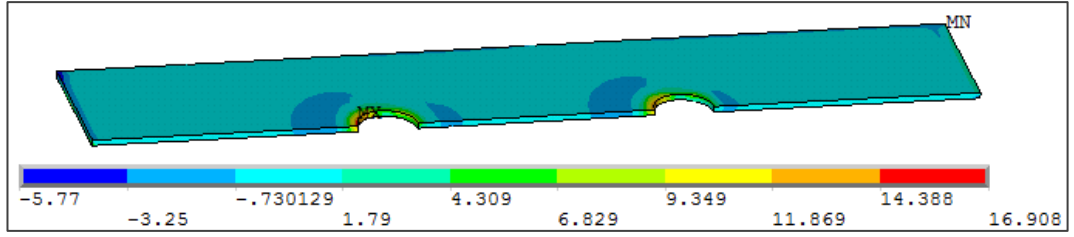
Şekil 4.44'te en yüksek gerilme 34,78 MPa değerinde Model 6'da oluşmuştur. Model üzerinde gerilme dağılımlarını, renkli konturları ve gerilme yığılmalarının hangi bölgelerde olduğunu gösteren model resimleri Şekil 4.45 ile Şekil 4.51 arasında görülmektedir. Şekil 4.45'de x eksen yönündeki normal gerilmeler, Şekil 4.46'da y eksen yönündeki normal gerilmeler, Şekil 4.47'de z eksen yönündeki normal gerilmelerin model resimleri görülmektedir. Şekil 4.48'de xy eksenindeki kayma gerilmeleri, Şekil 4.49'da yz eksenindeki kayma gerilmeleri, Şekil 4.50'da xz eksenindeki kayma gerilmeleri ve Şekil 4.51'de ise Von Mises gerilmelerinin model resimleri gösterilmiştir.



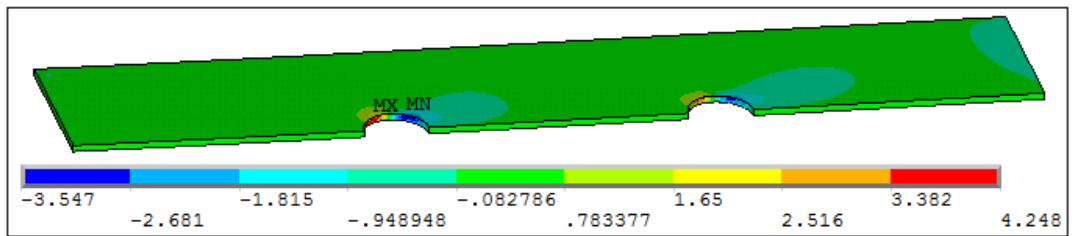
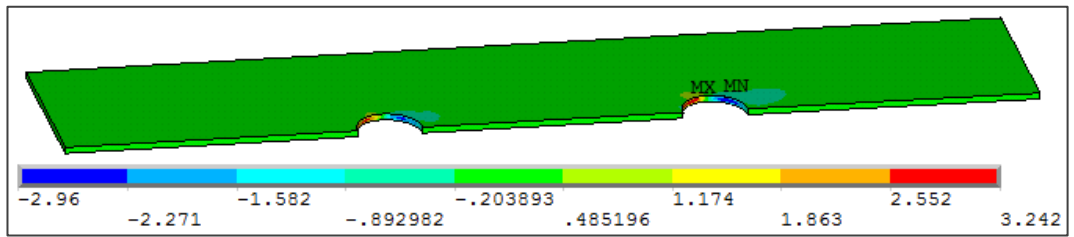
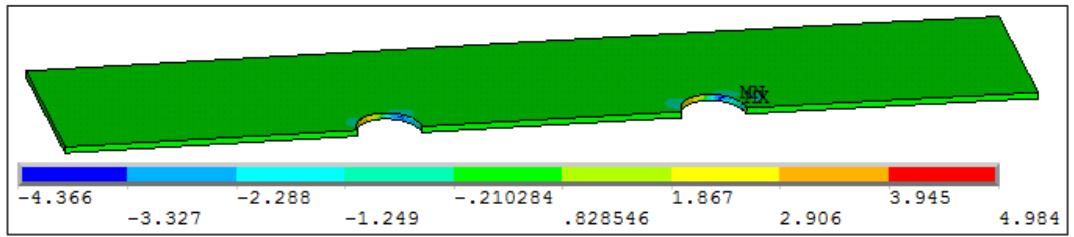
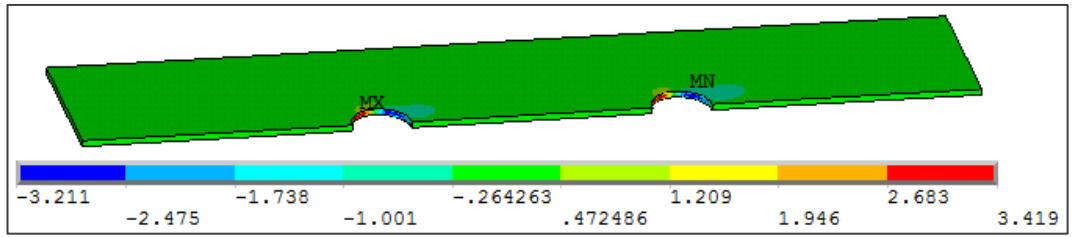
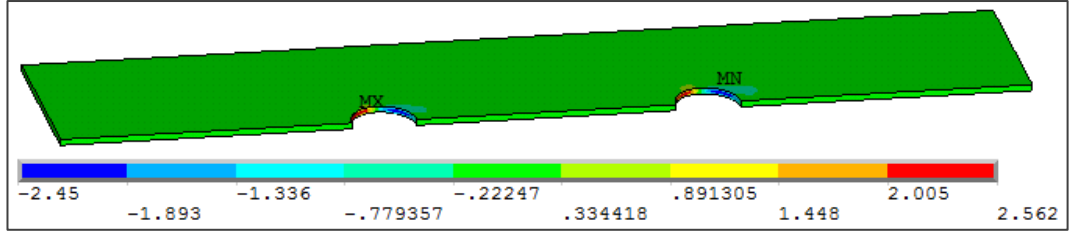
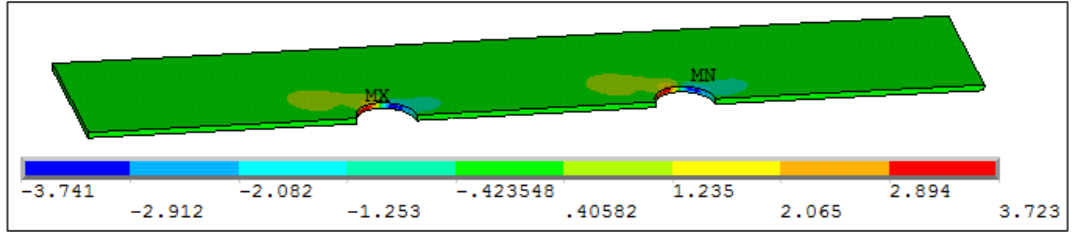
Şekil 4.45. Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan x yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_x$ -MPa)



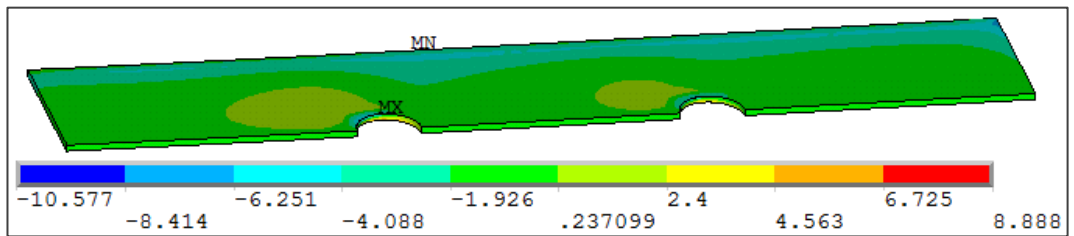
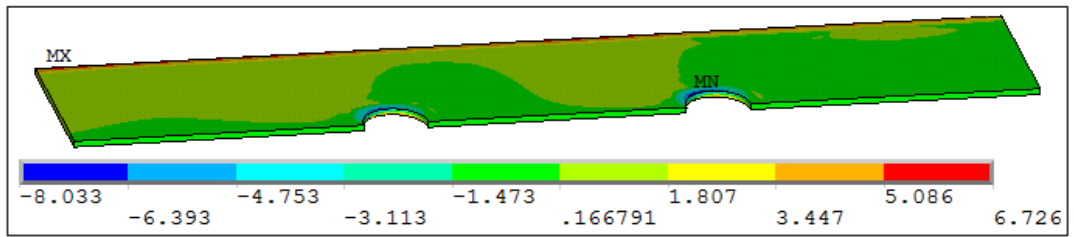
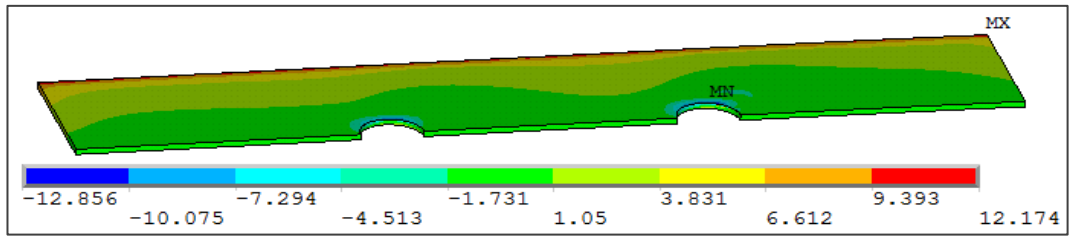
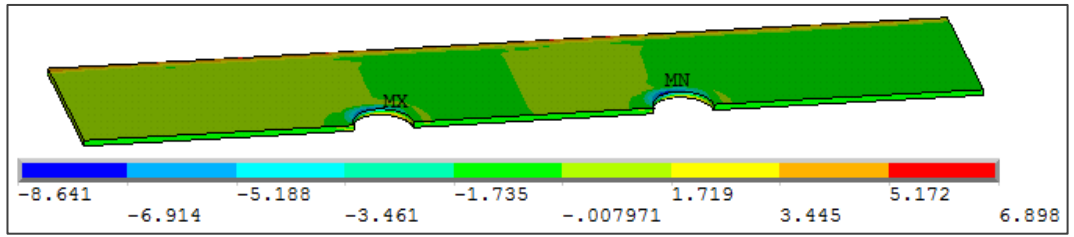
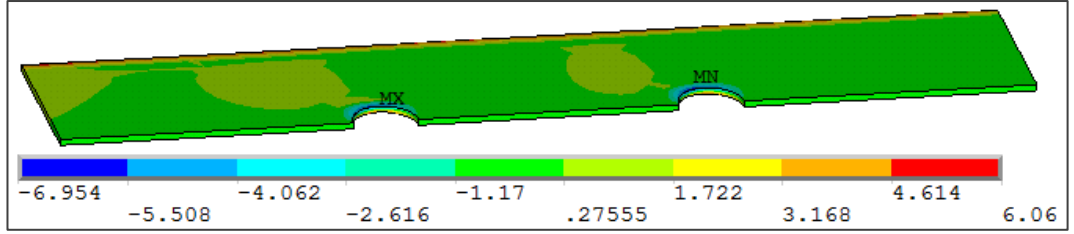
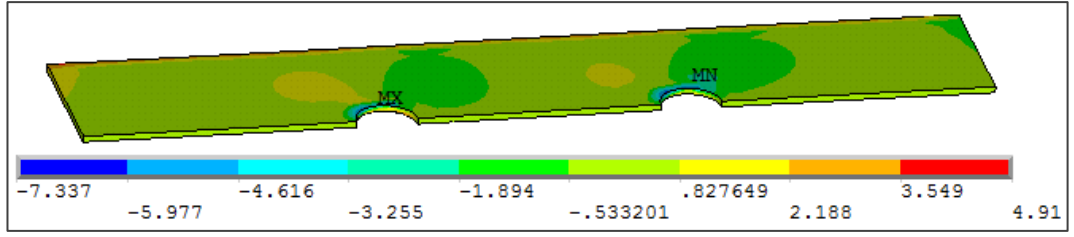
Şekil 4.46. Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan y yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_y$ -MPa)



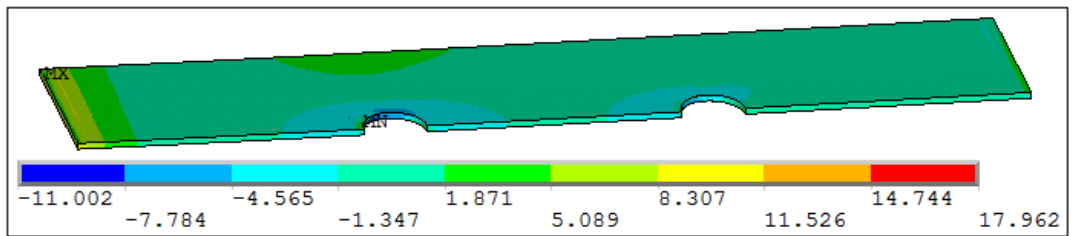
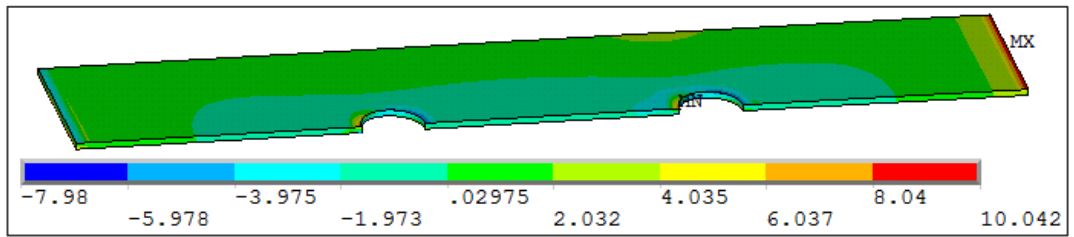
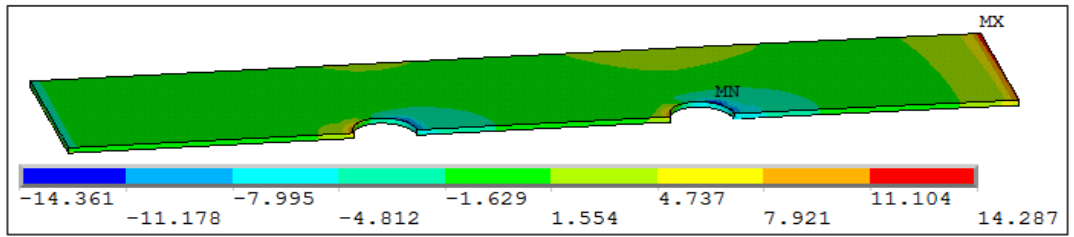
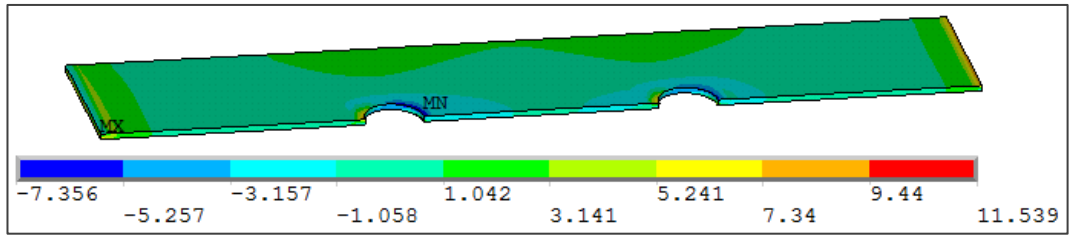
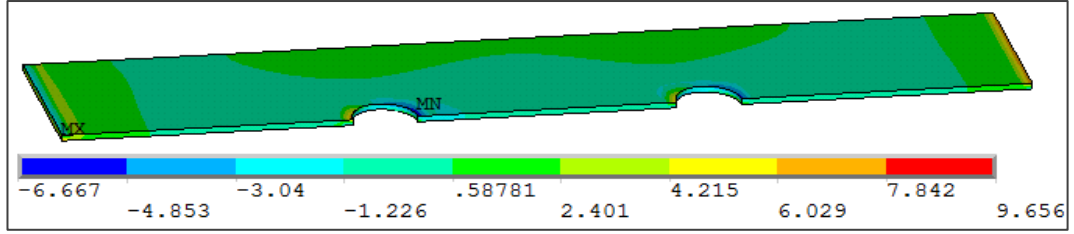
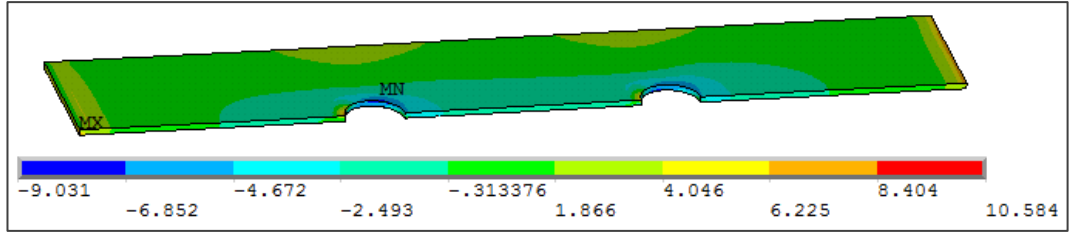
Şekil 4.47. Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan z yönündeki normal gerilme dağılımları( $\sigma_z$ -MPa)



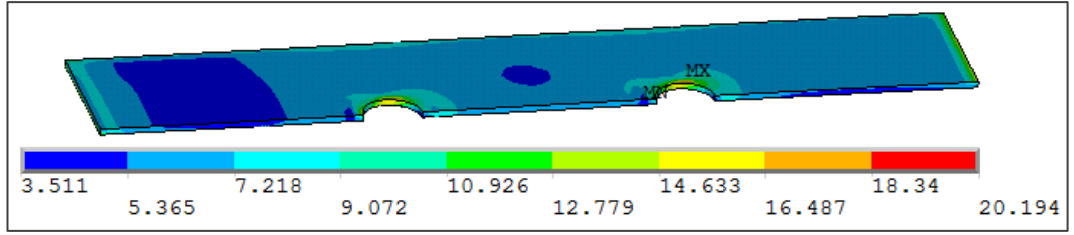
Şekil 4.48. Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan xy yönündeki kayma gerilmesi dağılımları( $\tau_{xy}$  - MPa)



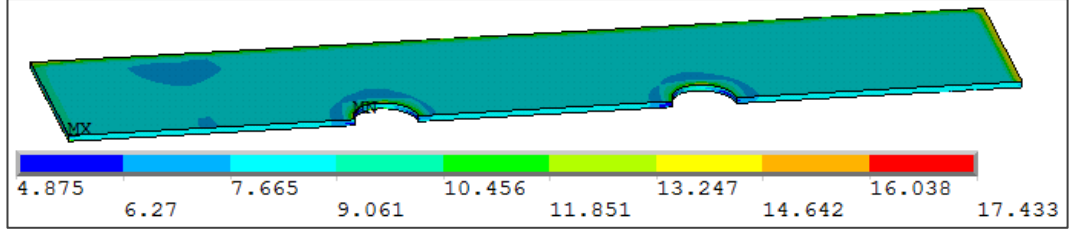
Şekil 4.49. Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan yz yönündeki kayma gerilmesi dağılımları( $\tau_{yz}$  - MPa)



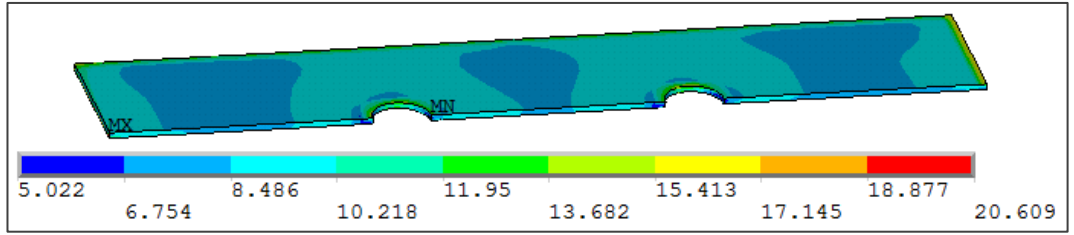
**Şekil 4.50.** Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan xz yönündeki kayma gerilmesi dağılımları( $\tau_{xz}$  - MPa)



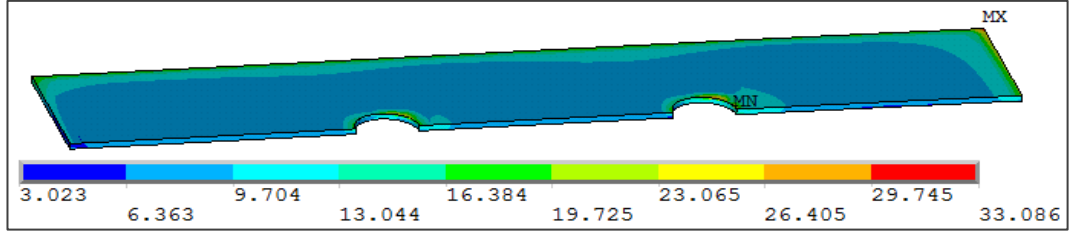
Model 1



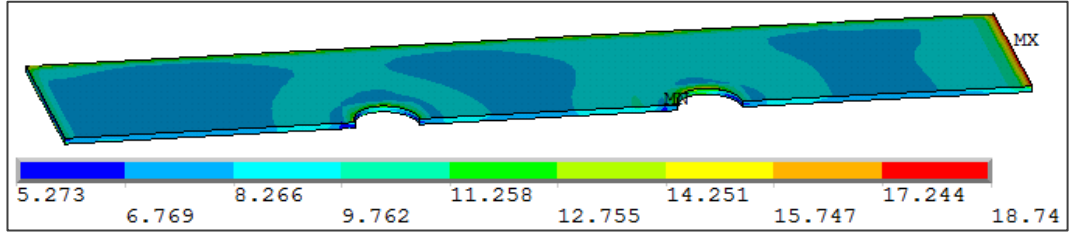
Model 2



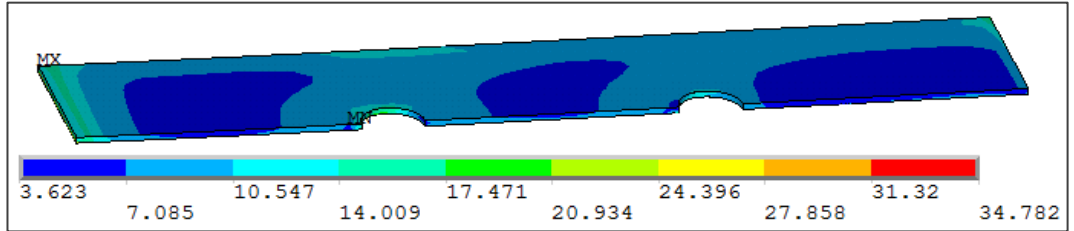
Model 3



Model 4



Model 5



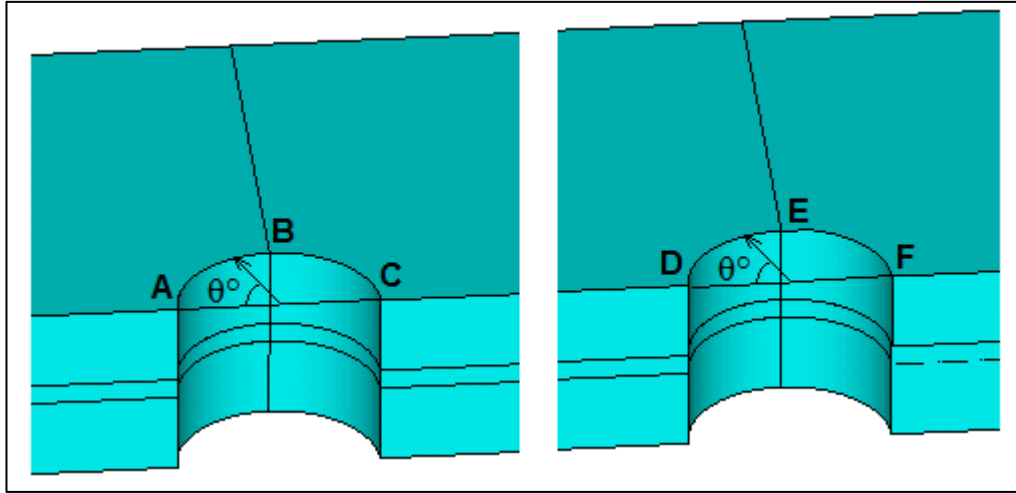
Model 6

Şekil 4.51. Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan Von Mises gerilme dağılımları(MPa)

Şekiller incelendiğinde x,y ve z eksenleri yönünde meydana gelen normal gerilmelerde çekme gerilmelerinin basma gerilmelerine oranla daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. En yüksek gerilmelerin x ve z eksenleri yönünde çekme formunda Model 6’da, y eksen yönünde çekme formunda Model 4’te olduğu görülmektedir. Kayma gerilme dağılımlarında ise xy ve xz eksenleri yönünde pozitif gerilmelerin negatif gerilmelere oranla daha yüksek değerlerde olduğu, yz eksenleri yönünde ise negatif gerilmelerin pozitif gerilmelere oranla daha yüksek değerlerde olduğu ve en yüksek kayma gerilmelerinin bütün modellerde Model 4’te meydana geldiği görülmektedir. Von Mises gerilmelerinde de en yüksek gerilme değerinin Model 6’da olduğu görülmektedir.

#### 4.3.5. Çekme Yüğü ve Isıl Yük Uygulanması Sonucu Karma Bağlantıda Delik Bölgeleri İçin Elde Edilen Bulgular

Aşağıda delik bölgeleri için hesaplanan gerilme dağılımları verilmiştir. Gerilmeler Şekil 4.52’de gösterilen A-C ve D-F doğrultuları tanımlanarak hesaplanmıştır. Bu doğrultular boyunca dönme açısı A ve D noktalarında  $\theta = 0^\circ$ , B ve E noktalarında  $\theta = 90^\circ$ , C ve F noktalarında  $\theta = 180^\circ$  olacak şekilde tanımlanmıştır. A-C boyunca ve D-F boyunca toplam 209 düğüm noktasında meydana gelen gerilmeler esas alınarak grafikler oluşturulmuştur.



Şekil 4.52. Gerilmelerin tanımlandığı doğrultular ve dönme açısı.

Aşağıdaki çizelgelerde çekme yükü ve farklı ısı yükleri uygulanmış modellerde, karma bağlantıda delik bölgelerinde tanımlanan doğrultular için hesaplanan gerilme dağılımları verilmiştir. Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucunda

tanımlanan doğrultular için her bir modelde hesaplanan gerilmelerin maksimum değerleri Çizelge 4.15'te, çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucunda tanımlanan doğrultular için her bir modelde hesaplanan gerilmelerin maksimum değerleri Çizelge 4.16'da verilmiştir.

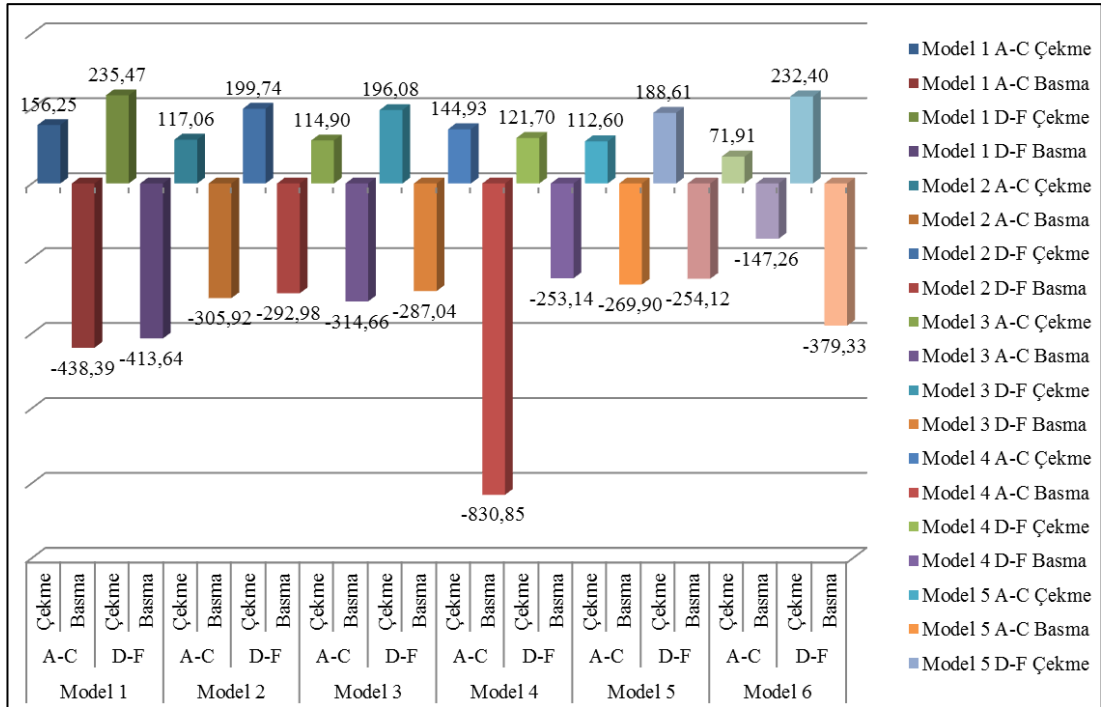
**Çizelge 4.15.** Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucunda tanımlanan doğrultular için her bir modelde hesaplanan gerilmelerin(MPa) maksimum değerleri

|                |     |       | $\sigma_x$ | Von Mises |
|----------------|-----|-------|------------|-----------|
| <b>Model 1</b> | A-C | Çekme | 156,25     | 501,40    |
|                |     | Basma | -438,39    |           |
|                | D-F | Çekme | 235,47     | 475,66    |
|                |     | Basma | -413,64    |           |
| <b>Model 2</b> | A-C | Çekme | 117,06     | 377,11    |
|                |     | Basma | -305,92    |           |
|                | D-F | Çekme | 199,74     | 363,46    |
|                |     | Basma | -292,98    |           |
| <b>Model 3</b> | A-C | Çekme | 114,90     | 379,39    |
|                |     | Basma | -314,66    |           |
|                | D-F | Çekme | 196,08     | 353,47    |
|                |     | Basma | -287,04    |           |
| <b>Model 4</b> | A-C | Çekme | 144,93     | 919,56    |
|                |     | Basma | -830,85    |           |
|                | D-F | Çekme | 121,70     | 268,07    |
|                |     | Basma | -253,14    |           |
| <b>Model 5</b> | A-C | Çekme | 112,60     | 328,70    |
|                |     | Basma | -269,90    |           |
|                | D-F | Çekme | 188,61     | 316,19    |
|                |     | Basma | -254,12    |           |
| <b>Model 6</b> | A-C | Çekme | 71,91      | 183,30    |
|                |     | Basma | -147,26    |           |
|                | D-F | Çekme | 232,40     | 472,59    |
|                |     | Basma | -379,33    |           |

Çizelge 4.15 incelenirse tüm modellerde maksimum basma gerilmelerinin maksimum çekme gerilmelerinden yüksek değerlerde olduğu açıkça görülmektedir. Tüm modellerde, A-C boyunca basma gerilmeleri D-F boyunca basma gerilmelerine oranla yüksek değerlerde görülürken, Model 4 dışında tüm modellerde D-F boyunca çekme gerilmeleri A-C boyunca çekme gerilmelerine oranla daha yüksek değerlerde meydana gelmiştir. Bu durumun sebebi, yükün ilk olarak D-F boyunca olan deliğe

gelmesidir. Bu sebepten dolayı D-F boyunca meydana gelen gerilmeler A-C boyunca meydana gelen gerilmelerden yüksek değerlerde meydana gelmektedir. Von Mises gerilmeleri Model 1, Model 2, Model 3, Model 4 ve Model 5'te A-C boyunca D-F boyuna oranla daha yüksek değerlerde görülürken Model 6'da D-F boyunca değerlerin A-C boyunca olan değerlerden yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi, Model 6'da kullanılan malzeme özelliklerinin birbirinden farklı olması ve farklı ısı yük etkisiyle farklı davranışlar göstermeleridir.

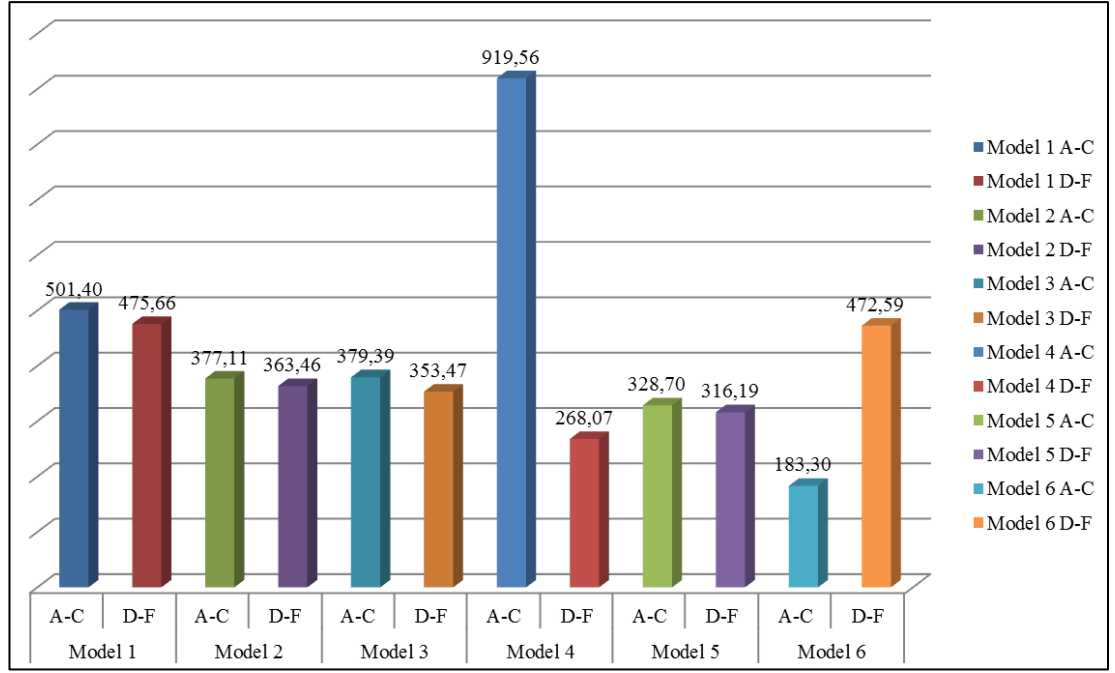
Şekil 4.53'te çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucunda tanımlanan doğrultular için her bir modelde hesaplanan x yönündeki normal gerilmelerin( $\sigma_x$ ) maksimum değerleri görülmektedir.



**Şekil 4.53.** Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucunda x yönündeki normal gerilmelerin( $\sigma_x$  - MPa) maksimum değerleri

Grafik incelendiğinde en yüksek gerilmenin Model 4'te A-C boyunca ve basma formunda olduğu görülürken, en düşük gerilmenin ise Model 6'da A-C boyunca ve çekme formunda olduğu görülmektedir.

Şekil 4.54'te çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucunda tanımlanan doğrultular için hesaplanan Von Mises gerilmelerinin maksimum değerleri görülmektedir.



**Şekil 4.54.** Çekme yükü ve 50°C ısı yük uygulanması sonucunda Von Mises gerilmelerinin(MPa) maksimum değerleri

Grafik incelendiğinde en yüksek gerilmenin Model 4'te ve A-C boyunca, en düşük gerilmenin ise Model 6'da ve yine A-C boyunca olduğu görülmektedir.

**Çizelge 4.16.** Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucunda tanımlanan doğrultular için her bir modelde hesaplanan gerilmelerin(MPa) maksimum değerleri

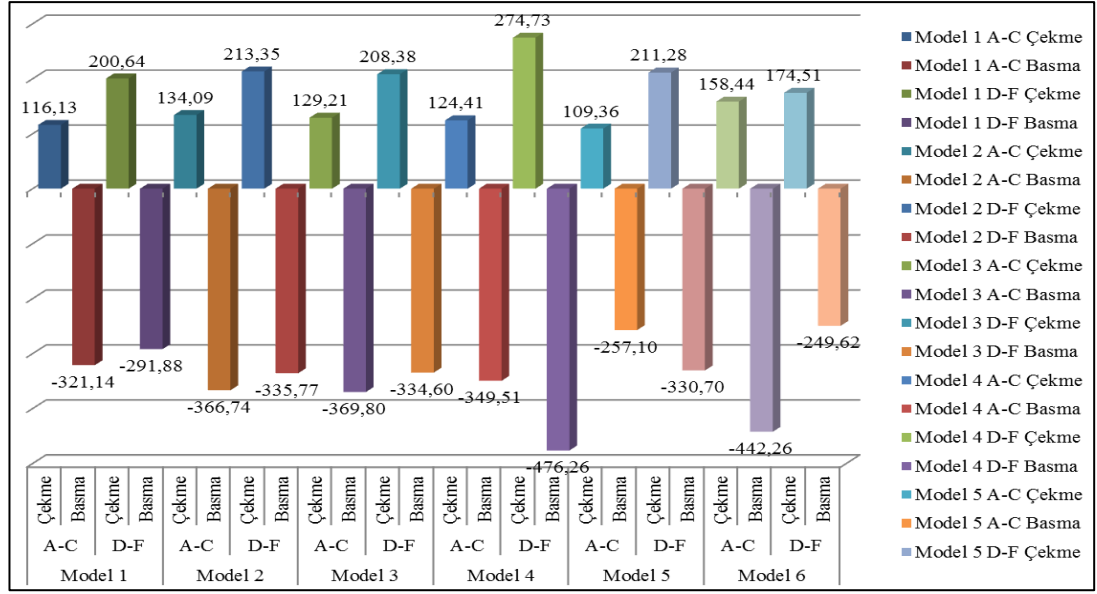
|                |     |       | $\sigma_x$ | Von Mises |
|----------------|-----|-------|------------|-----------|
| <b>Model 1</b> | A-C | Çekme | 116,13     | 387,30    |
|                |     | Basma | -321,14    |           |
|                | D-F | Çekme | 200,64     | 361,26    |
|                |     | Basma | -291,88    |           |
| <b>Model 2</b> | A-C | Çekme | 134,09     | 426,67    |
|                |     | Basma | -366,74    |           |
|                | D-F | Çekme | 213,35     | 395,01    |
|                |     | Basma | -335,77    |           |
| <b>Model 3</b> | A-C | Çekme | 129,21     | 422,86    |
|                |     | Basma | -369,80    |           |
|                | D-F | Çekme | 208,38     | 389,65    |
|                |     | Basma | -334,60    |           |
| <b>Model 4</b> | A-C | Çekme | 124,41     | 434,64    |
|                |     | Basma | -349,51    |           |
|                | D-F | Çekme | 274,73     | 598,47    |
|                |     | Basma | -476,26    |           |

**Çizelge 4.16(devam).** Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucunda tanımlanan doğrultular için her bir modelde hesaplanan gerilmelerin(MPa) maksimum değerleri

|                |     |       |         |        |
|----------------|-----|-------|---------|--------|
| <b>Model 5</b> | A-C | Çekme | 109,36  | 300,70 |
|                |     | Basma | -257,10 |        |
|                | D-F | Çekme | 211,28  | 396,81 |
|                |     | Basma | -330,70 |        |
| <b>Model 6</b> | A-C | Çekme | 158,44  | 517,31 |
|                |     | Basma | -442,26 |        |
|                | D-F | Çekme | 174,51  | 288,97 |
|                |     | Basma | -249,62 |        |

Çizelge 4.16 incelenirse tüm modellerde maksimum basma gerilmelerinin maksimum çekme gerilmelerinden yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Model 4 dışında tüm modellerde, A-C boyunca basma gerilmeleri D-F boyunca basma gerilmelerine oranla yüksek değerlerde görülmektedir. Ayrıca tüm modellerde D-F boyunca çekme gerilmeleri A-C boyunca çekme gerilmelerine oranla daha yüksek değerlerde meydana gelmiştir. Von Mises gerilmeleri Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 6'da A-C boyunca D-F boyuna oranla daha yüksek değerlerde görülürken, Model 4 ve Model 5'te D-F boyunca A-C boyunca olan değerlerden yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, malzemelerin farklı ısı genleşme katsayılarına sahip olmalarından kaynaklanmaktadır.

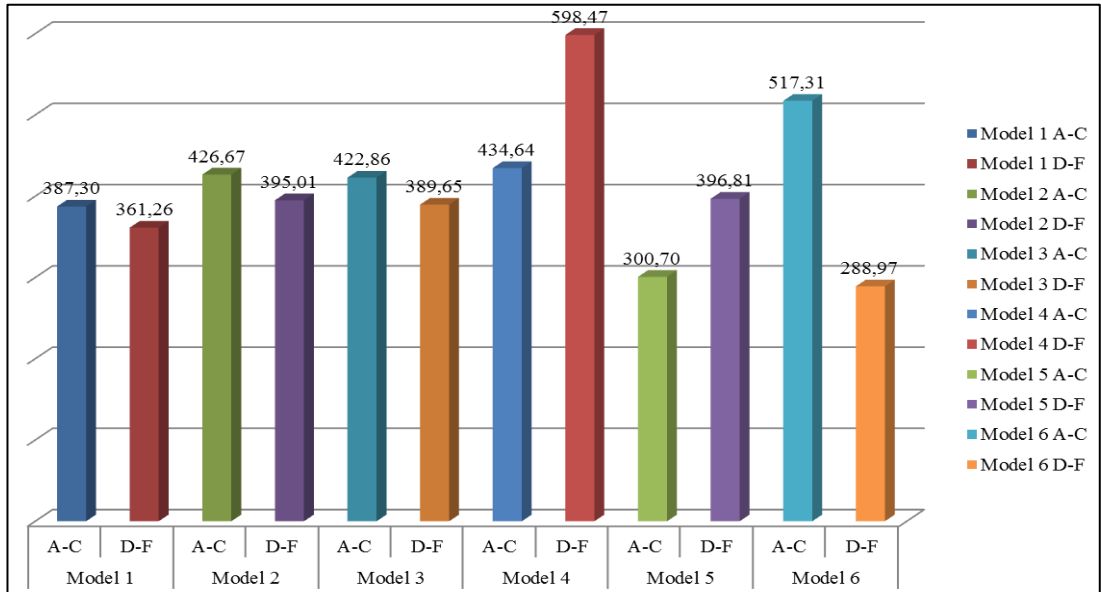
Şekil 4.55'te çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucunda tanımlanan doğrultular için her bir modelde hesaplanan x yönündeki normal gerilmelerin( $\sigma_x$ ) maksimum değerleri görülmektedir.



**Şekil 4.55.** Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucunda x yönündeki normal gerilmelerin( $\sigma_x$  - MPa) maksimum değerleri

Grafik incelenecek olursa en yüksek gerilmenin Model 4'te D-F boyunca ve basma formunda olduğu görülürken, en düşük gerilmenin ise Model 5'te A-C boyunca ve çekme formunda olduğu görülmektedir.

Şekil 4.56'da çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucunda tanımlanan doğrultular için hesaplanan Von Mises gerilmelerinin maksimum değerleri görülmektedir.



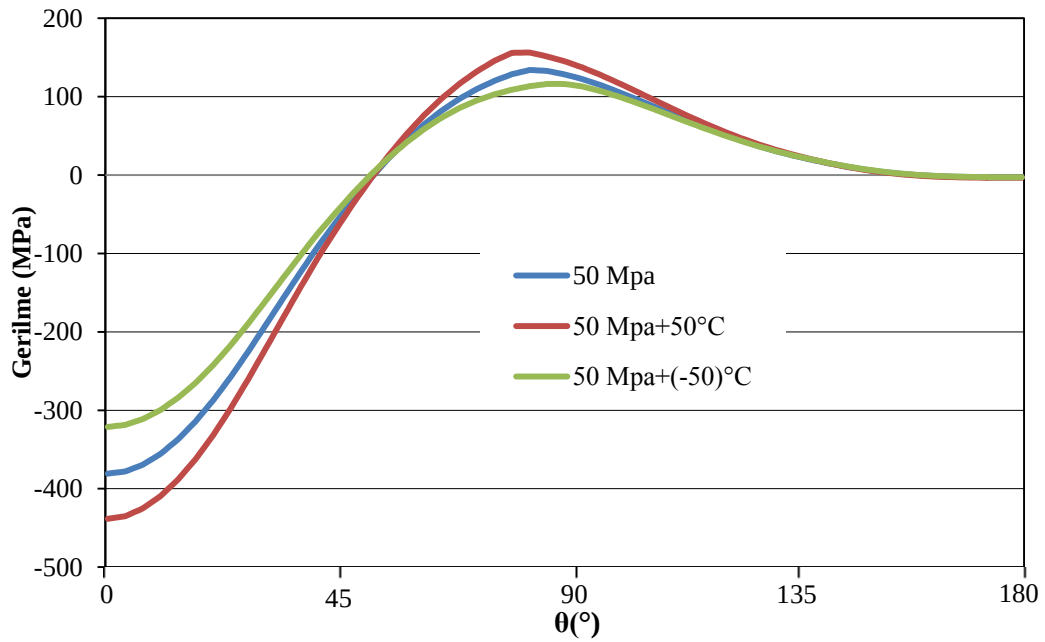
**Şekil 4.56.** Çekme yükü ve (-50)°C ısı yük uygulanması sonucunda Von Mises gerilmelerinin(MPa) maksimum değerleri

Grafik incelendiğinde en yüksek gerilmenin Model 4'te ve D-F boyunca, en düşük gerilmenin ise Model 6'da ve A-C boyunca olduğu görülmektedir.

#### 4.4. Modellerin Delik Bölgelerinin Farklı Yükler Altındaki Gerilmelerinin Karşılaştırılması

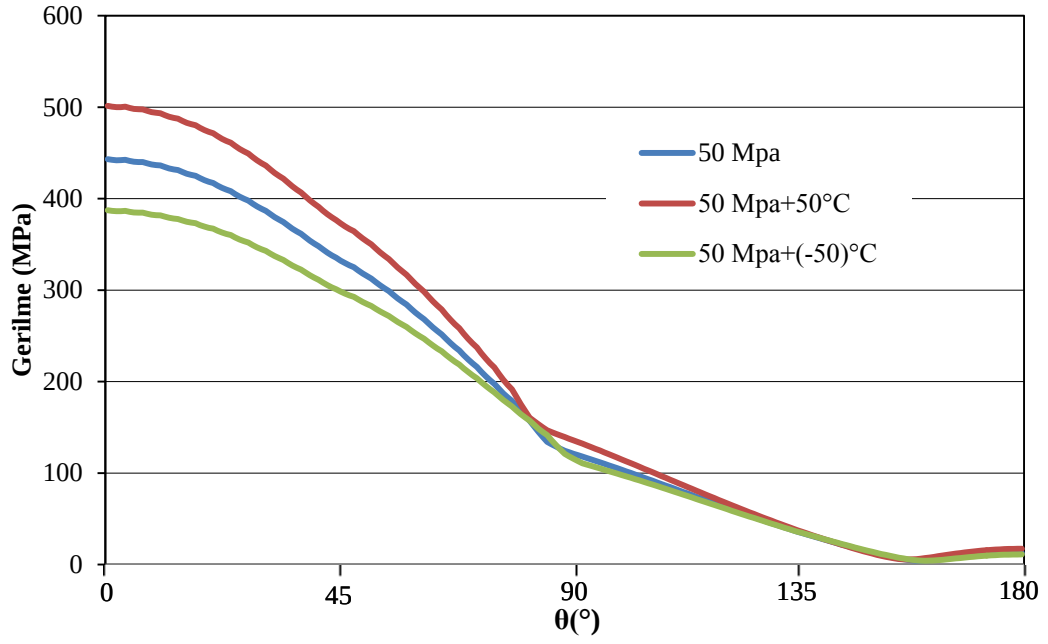
Bu kısımda tüm modellerin delik bölgelerinde tanımlanan A-C ve D-F boyunca meydana gelen gerilmeler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada yükleme olarak, sadece çekme yükü, çekme yükü ile birlikte 50°C ısı yük ve çekme yükü ile birlikte (-50)°C ısı yük kullanılmıştır.

Model 1 için, A-C boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmelerin( $\sigma_x$ ) karşılaştırması Şekil 4.57'de, Von Mises gerilmelerinin karşılaştırması ise Şekil 4.58'deki grafikte görülmektedir. D-F boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmelerin( $\sigma_x$ ) karşılaştırması Şekil 4.59'da, Von Mises gerilmelerinin karşılaştırması ise Şekil 4.30'daki grafikte görülmektedir.



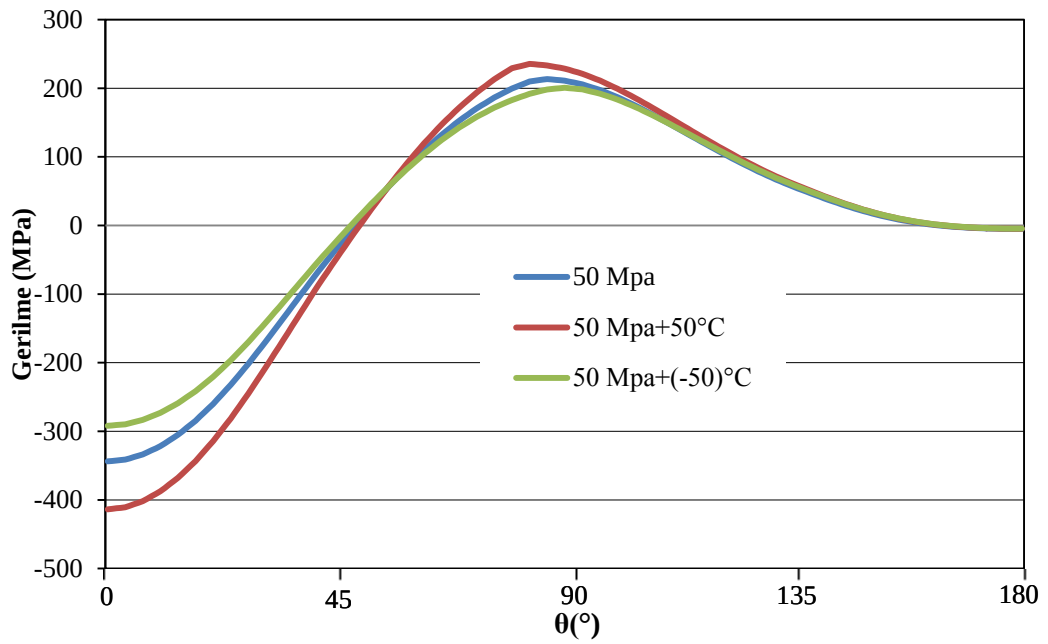
**Şekil 4.57.** Model 1 için A-C boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmeler( $\sigma_x$  - MPa)

Grafikte en yüksek gerilmenin çekme yükü ile birlikte 50°C ısı yük uygulanması sonucu, çekme formunda 156,25 MPa ve basma formunda -438,39 MPa değerlerinde olduğu görülmektedir.



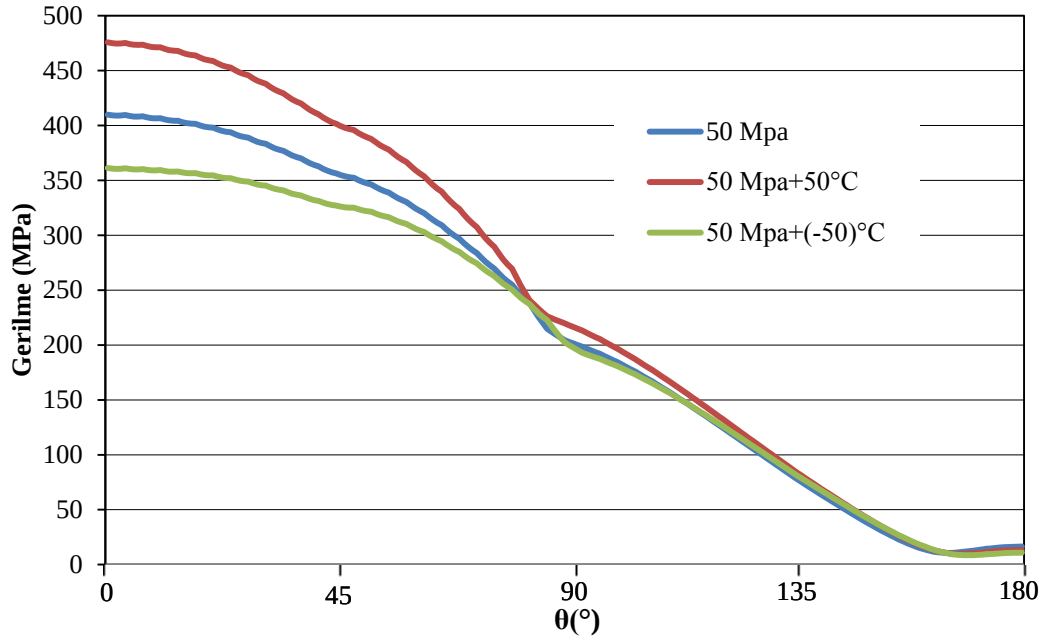
**Şekil 4.58.** Model 1 için A-C boyunca meydana gelen Von Mises gerilmeleri(MPa)

Grafikte en yüksek gerilmenin çekme yükü ile birlikte 50°C ısı yük uygulanması sonucu 501,40 MPa değerinde oluştuğu görülmektedir.



**Şekil 4.59.** Model 1 için D-F boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmeler( $\sigma_x$  - MPa)

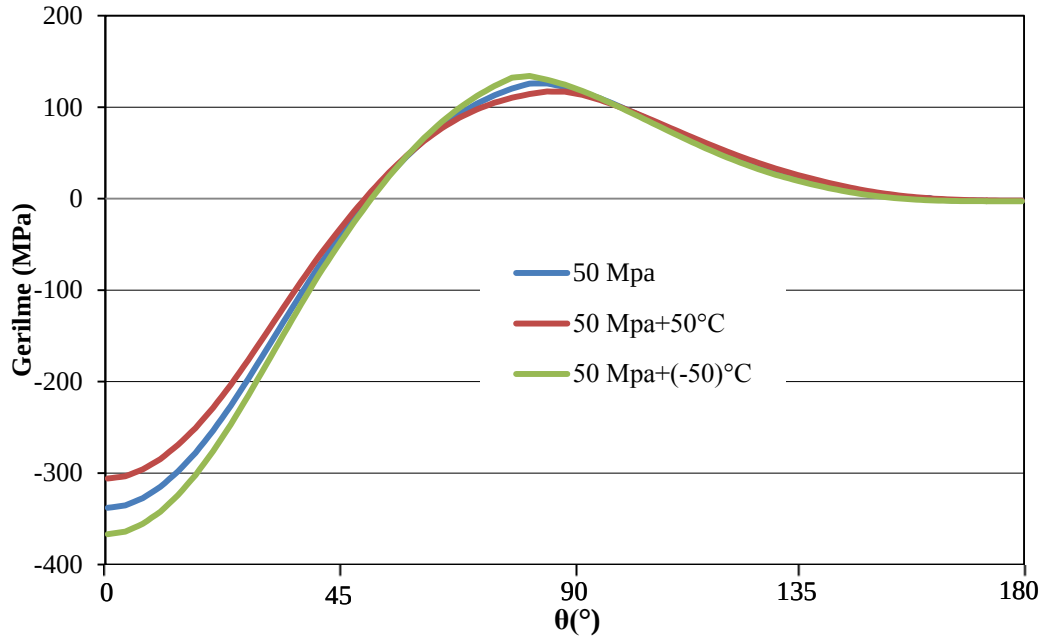
Grafikte en yüksek gerilmenin çekme yükü ile birlikte 50°C ısı yük uygulanması sonucu, çekme formunda 235,47 MPa ve basma formunda -413,64 MPa değerlerinde oluştuğu görülmektedir.



**Şekil 4.60.** Model 1 için D-F boyunca meydana gelen Von Mises gerilmeleri(MPa)

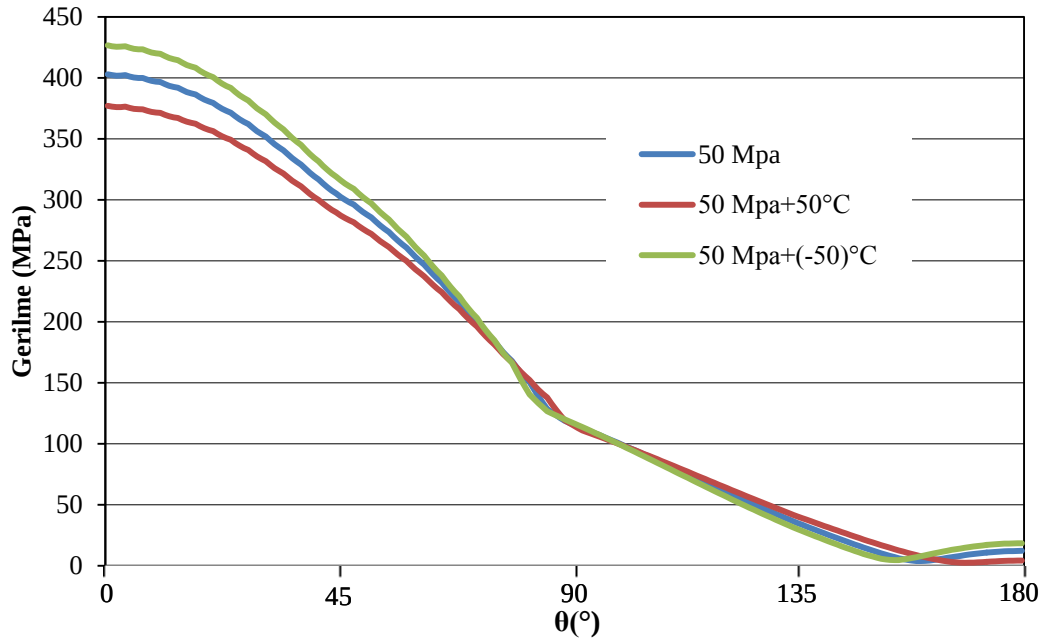
Grafikte en yüksek gerilmenin çekme yükü ile birlikte 50°C ısı yük uygulanması sonucu 475,66 MPa değerinde oluştuğu görülmektedir.

Model 2 için, A-C boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmelerin( $\sigma_x$ ) karşılaştırması Şekil 4.31’de, Von Mises gerilmelerinin karşılaştırması ise Şekil 4.32’deki grafikte görülmektedir. D-F boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmelerin( $\sigma_x$ ) karşılaştırması Şekil 4.33’te, Von Mises gerilmelerinin karşılaştırması ise Şekil 4.34’teki grafikte görülmektedir.



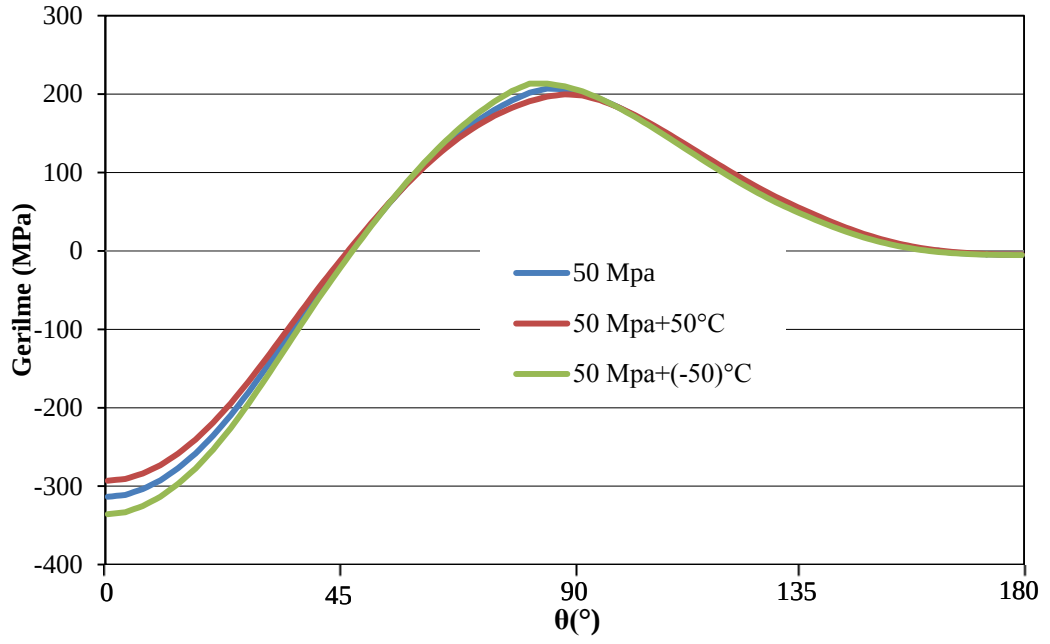
**Şekil 4.61.** Model 2 için A-C boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmeler( $\sigma_x$  - MPa)

Grafikte en yüksek gerilmenin çekme yükü ile birlikte (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu, çekme formunda 134,09 MPa ve basma formunda -366,74 MPa değerlerinde oluştuğu görülmektedir.



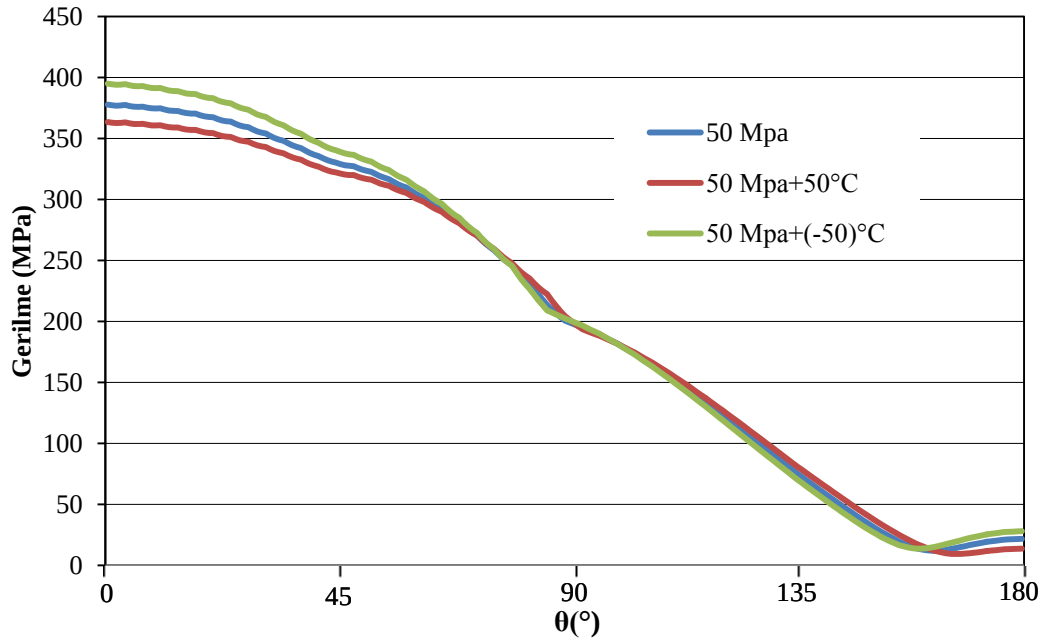
**Şekil 4.62.** Model 2 için A-C boyunca meydana gelen Von Mises gerilmeleri(MPa)

Grafikte en yüksek gerilmenin çekme yükü ile birlikte (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu 426,67 MPa değerinde oluştuğu görülmektedir.



**Şekil 4.63.** Model 2 için D-F boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmeler( $\sigma_x$  - MPa)

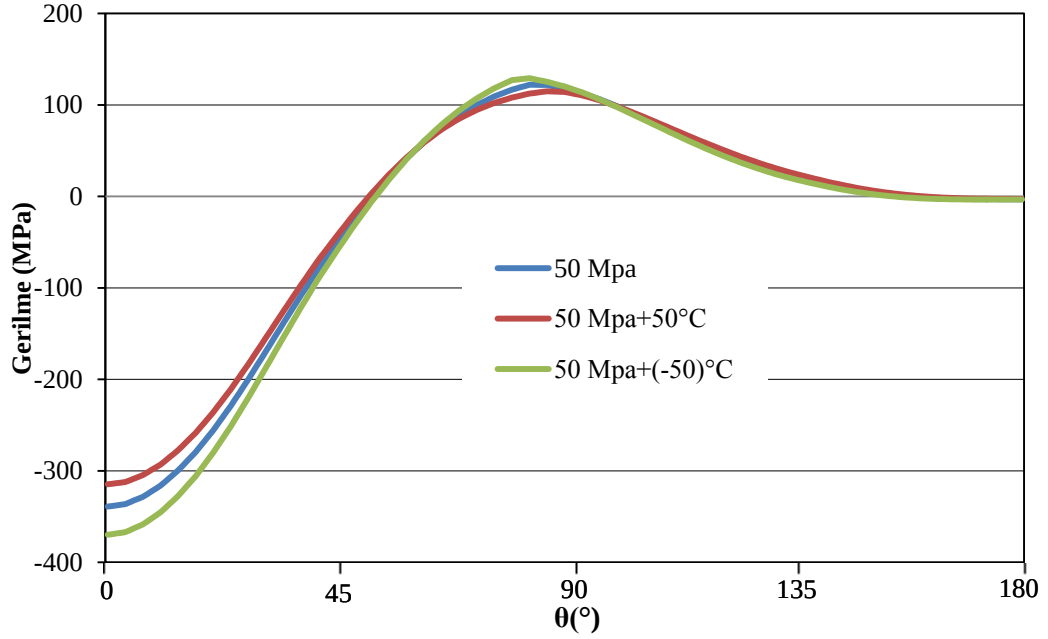
Grafikte en yüksek gerilmenin çekme yükü ile birlikte (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu, çekme formunda 213,35 MPa ve basma formunda -335,77 MPa değerlerinde oluştuğu görülmektedir.



**Şekil 4.64.** Model 2 için D-F boyunca meydana gelen Von Mises gerilmeleri(MPa)

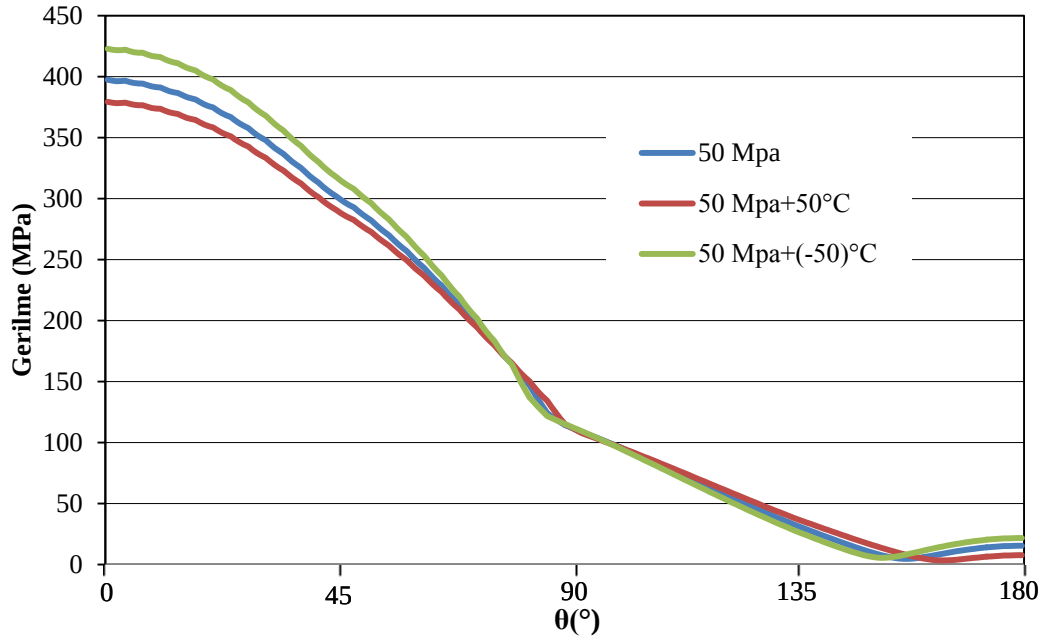
Grafikte en yüksek gerilmenin çekme yükü ile birlikte (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu 395,01 MPa değerinde oluştuğu görülmektedir.

Model 3 için, A-C boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmelerin( $\sigma_x$ ) karşılaştırması Şekil 4.65'te, Von Mises gerilmelerinin karşılaştırması ise Şekil 4.66'daki grafikte görülmektedir. D-F boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmelerin( $\sigma_x$ ) karşılaştırması Şekil 4.67'de, Von Mises gerilmelerinin karşılaştırması ise Şekil 4.38'deki grafikte görülmektedir.



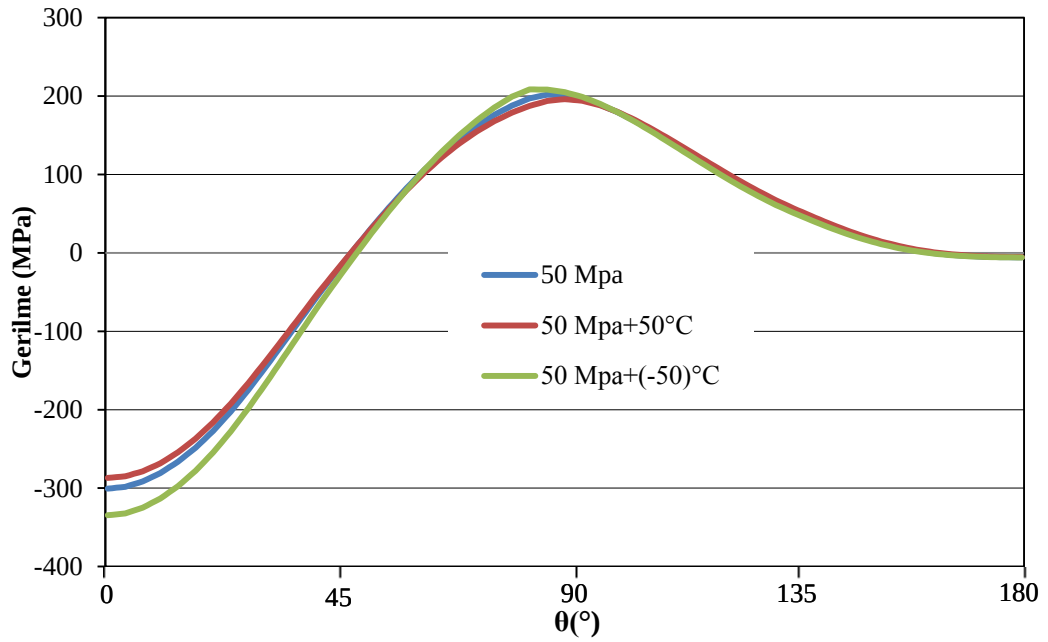
**Şekil 4.65.** Model 3 için A-C boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmeler( $\sigma_x$  - MPa)

Grafikte en yüksek gerilmenin çekme yükü ile birlikte (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu, çekme formunda 129,21 MPa ve basma formunda -369,80 MPa değerlerinde oluştuğu görülmektedir.



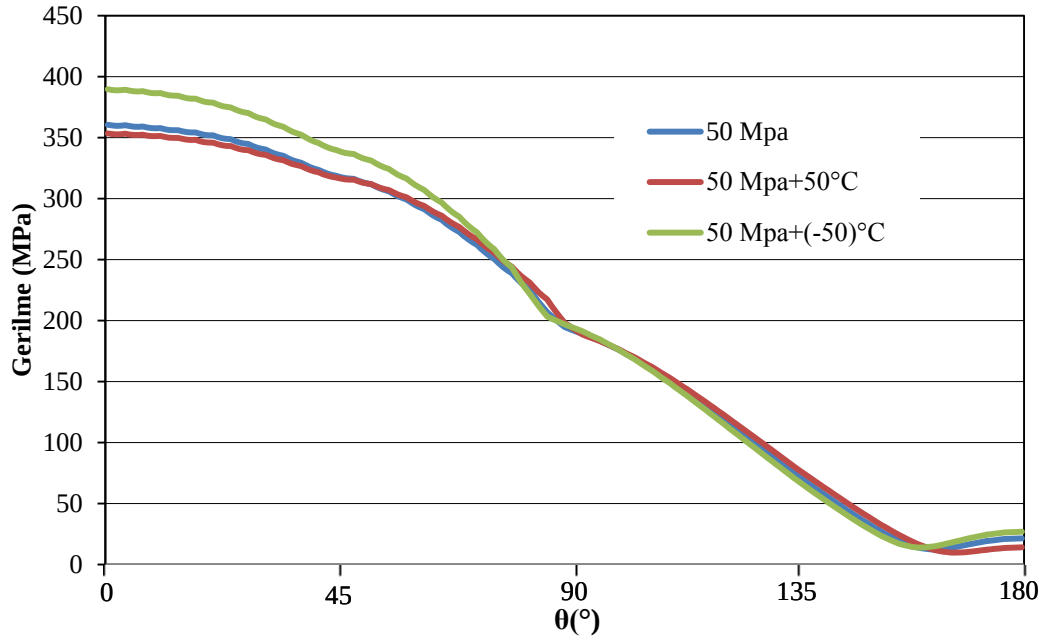
**Şekil 4.66.** Model 3 için A-C boyunca meydana gelen Von Mises gerilmeleri(MPa)

Grafikte en yüksek gerilmenin çekme yükü ile birlikte (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu 422,86 MPa değerinde oluştuğu görülmektedir.



**Şekil 4.67.** Model 3 için D-F boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmeler( $\sigma_x$  - MPa)

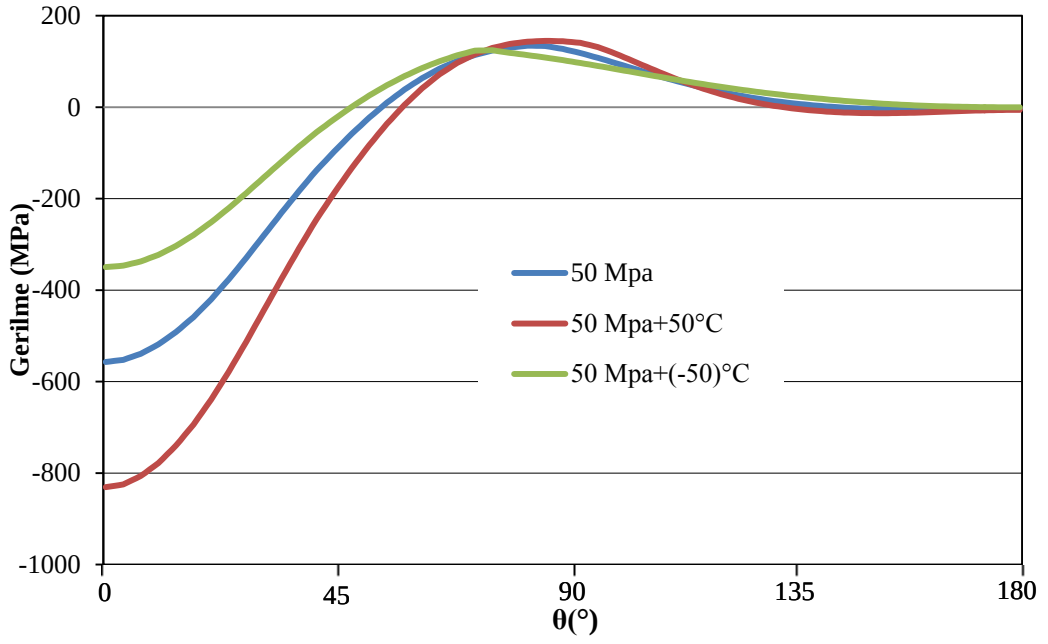
Grafikte en yüksek gerilmenin çekme yükü ile birlikte (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu, çekme formunda 208,38 MPa ve basma formunda -334,60 MPa değerlerinde oluştuğu görülmektedir.



**Şekil 4.68.** Model 3 için D-F boyunca meydana gelen Von Mises gerilmeleri(MPa)

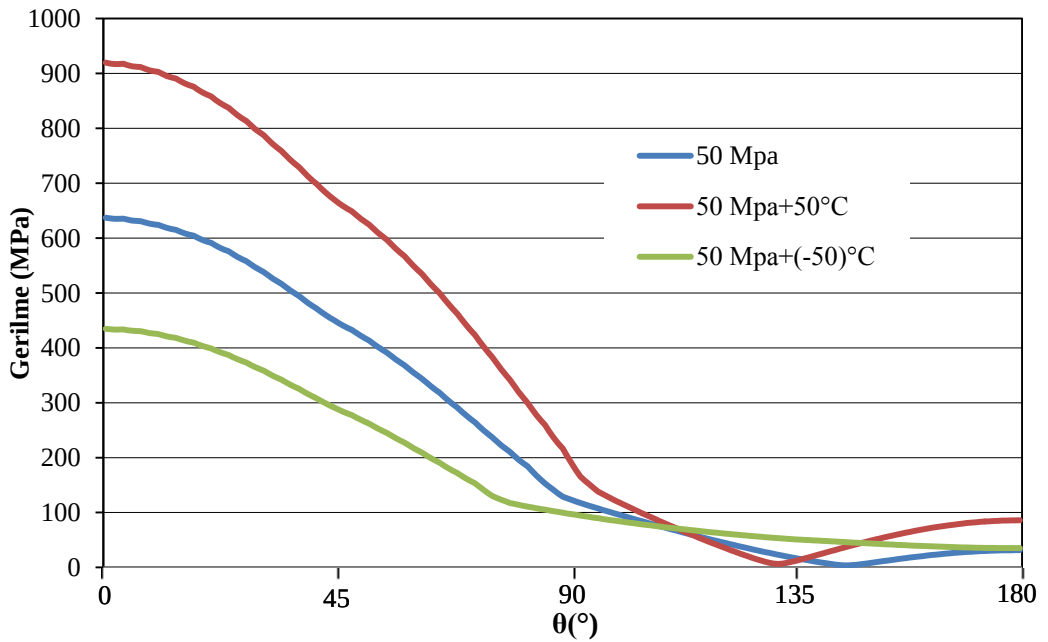
Grafikte en yüksek gerilmenin çekme yükü ile birlikte (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu 389,65 MPa değerinde oluştuğu görülmektedir.

Model 4 için, A-C boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmelerin( $\sigma_x$ ) karşılaştırması Şekil 4.69'da, Von Mises gerilmelerinin karşılaştırması ise Şekil 4.70'teki grafikte görülmektedir. D-F boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmelerin( $\sigma_x$ ) karşılaştırması Şekil 4.71'de, Von Mises gerilmelerinin karşılaştırması ise Şekil 4.42'deki grafikte görülmektedir.



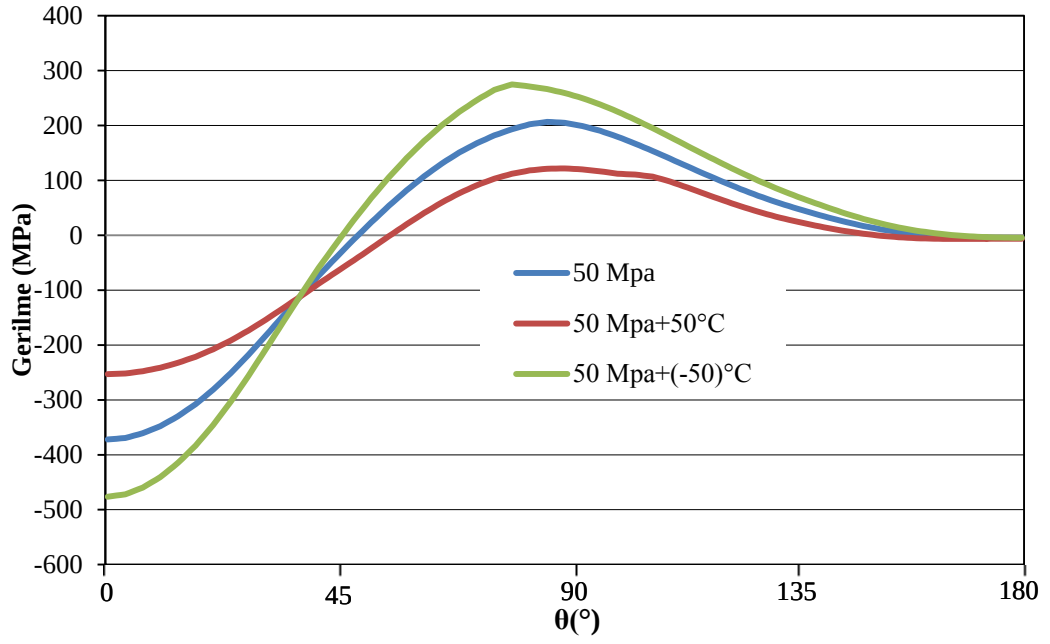
**Şekil 4.69.** Model 4 için A-C boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmeler( $\sigma_x$  - MPa)

Grafikte en yüksek gerilmenin çekme yükü ile birlikte 50°C ısı yük uygulanması sonucu, çekme formunda 144,93 MPa ve basma formunda -830,85 MPa değerlerinde olduğu görülmektedir.



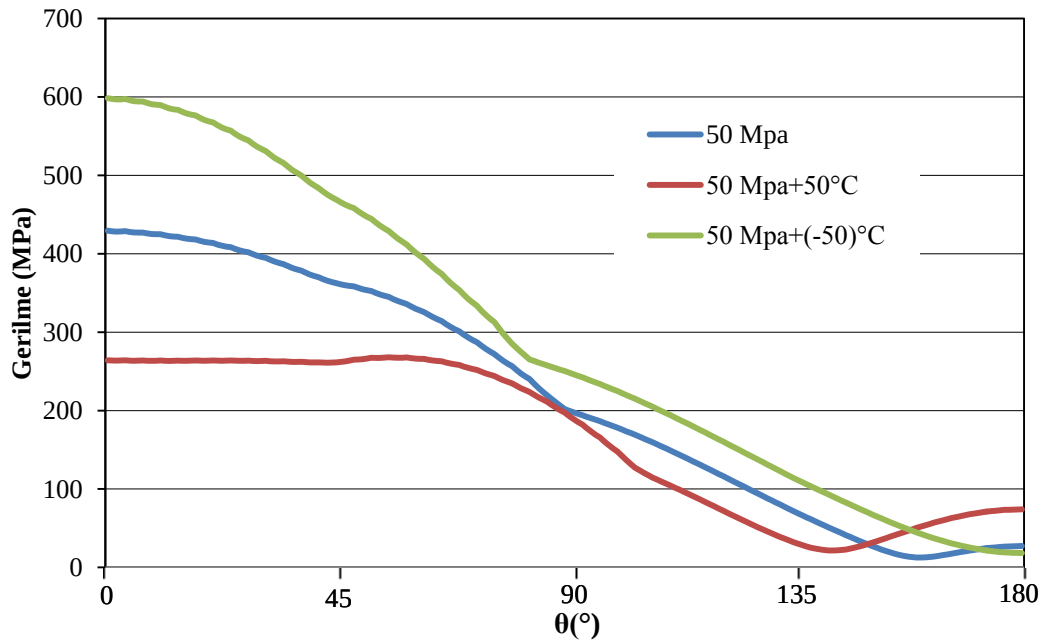
**Şekil 4.70.** Model 4 için A-C boyunca meydana gelen Von Mises gerilmeleri(MPa)

Grafikte en yüksek gerilmenin çekme yükü ile birlikte 50°C ısı yük uygulanması sonucu 919,56 MPa değerinde olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.71.** Model 4 için D-F boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmeler( $\sigma_x$  - MPa)

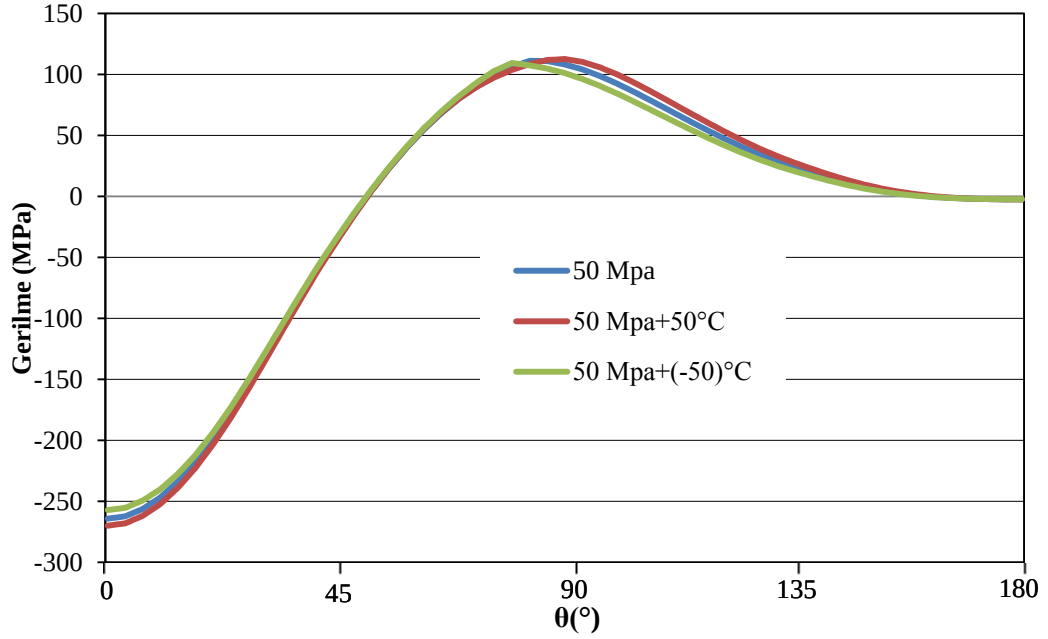
Grafikte en yüksek gerilmenin çekme yükü ile birlikte (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu, çekme formunda 274,73 MPa ve basma formunda -476,26 MPa değerlerinde olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.72.** Model 4 için D-F boyunca meydana gelen Von Mises gerilmeleri(MPa)

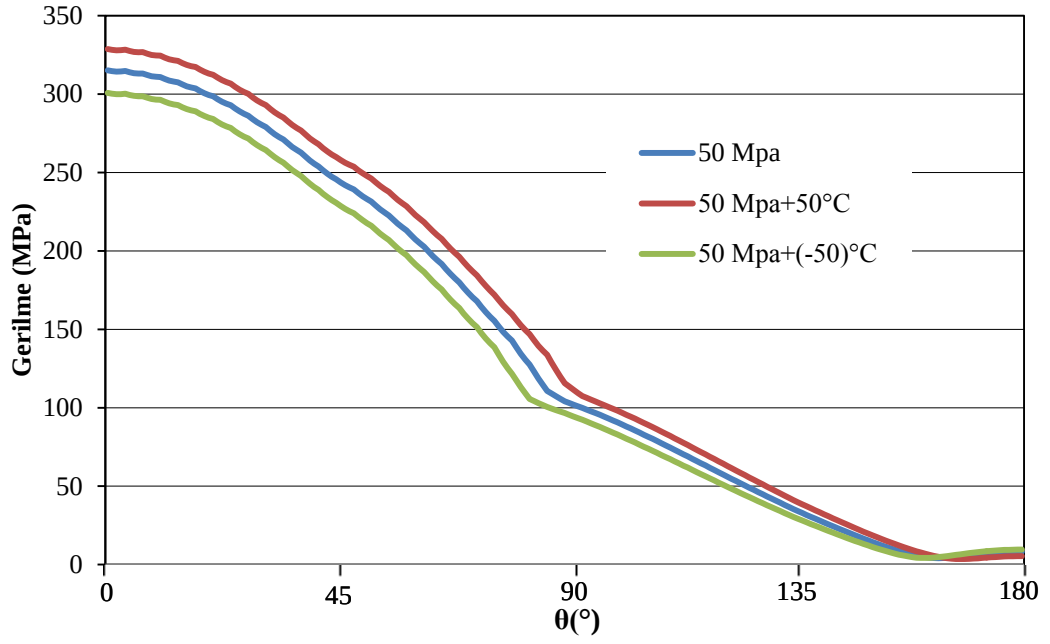
Grafikte en yüksek gerilmenin çekme yükü ile birlikte (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu 598,47 MPa değerinde olduğu görülmektedir.

Model 5 için, A-C boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmelerin( $\sigma_x$ ) karşılaştırması Şekil 4.73'te, Von Mises gerilmelerinin karşılaştırması ise Şekil 4.74'teki grafikte görülmektedir. D-F boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmelerin( $\sigma_x$ ) karşılaştırması Şekil 4.75'te, Von Mises gerilmelerinin karşılaştırması ise Şekil 4.46'daki grafikte görülmektedir.



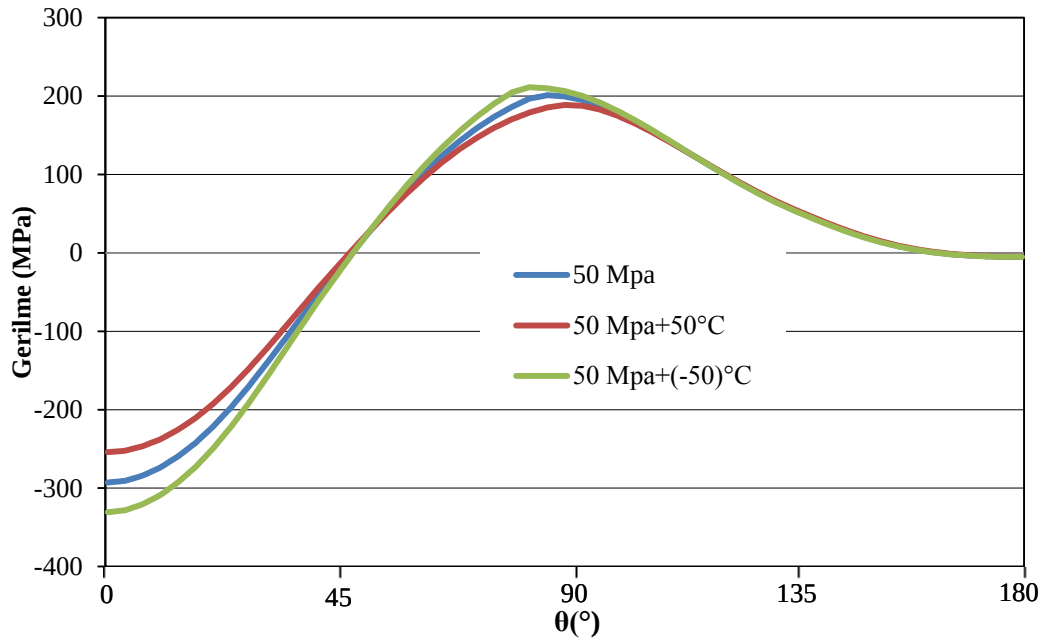
**Şekil 4.73.** Model 5 için A-C boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmeler( $\sigma_x$  - MPa)

Grafikte en yüksek gerilmenin çekme yükü ile birlikte 50°C ısı yük uygulanması sonucu, çekme formunda 112,60 MPa ve basma formunda -269,90 MPa değerlerinde olduğu görülmektedir.



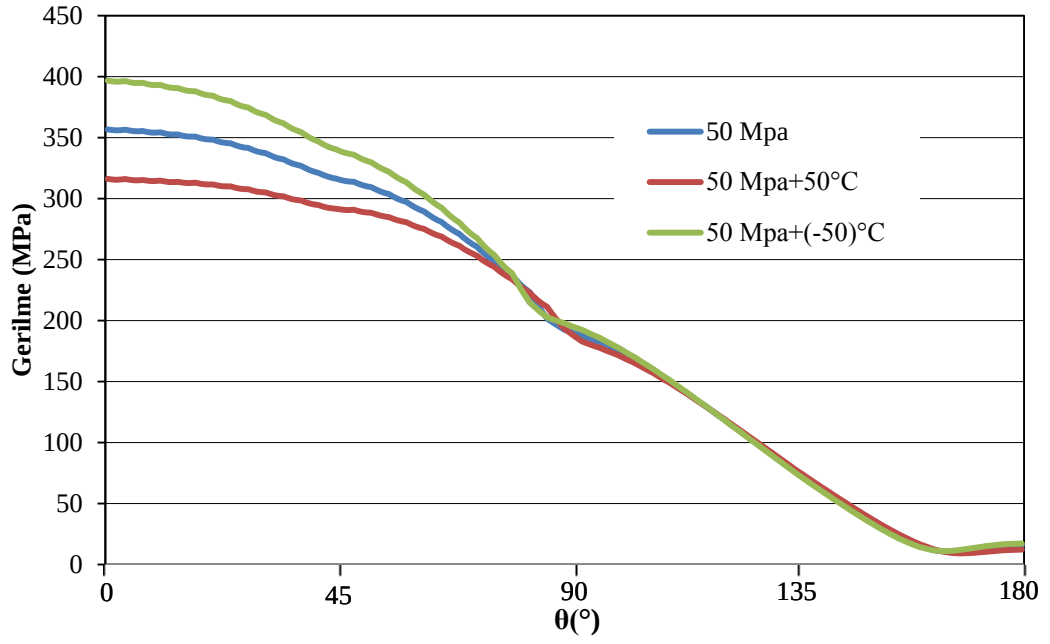
**Şekil 4.74.** Model 5 için A-C boyunca meydana gelen Von Mises gerilmeleri(MPa)

Grafikte en yüksek gerilmenin çekme yükü ile birlikte 50°C ısı yük uygulanması sonucu 328,70 MPa değerinde oluştuğu görülmektedir.



**Şekil 4.75.** Model 5 için D-F boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmeler( $\sigma_x$  - MPa)

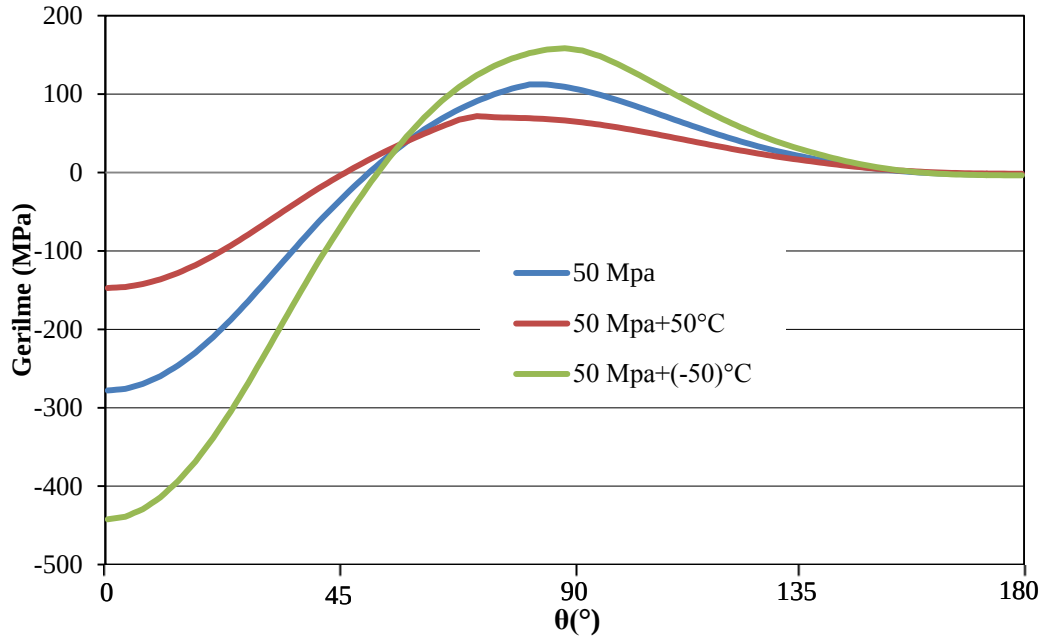
Grafikte en yüksek gerilmenin çekme yükü ile birlikte (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu, çekme formunda 211,28 MPa ve basma formunda -330,70 MPa değerlerinde oluştuğu görülmektedir.



**Şekil 4.76.** Model 5 için D-F boyunca meydana gelen Von Mises gerilmeleri(MPa)

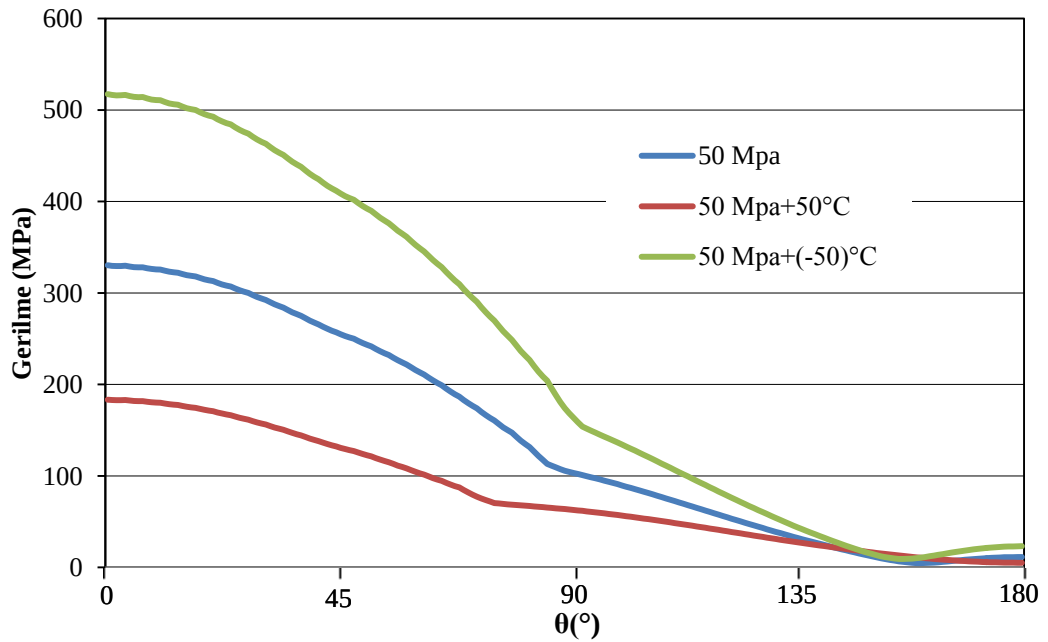
Grafikte en yüksek gerilmenin çekme yükü ile birlikte (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu 396,81 MPa değerinde oluştuğu görülmektedir.

Model 6 için, A-C boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmelerin( $\sigma_x$ ) karşılaştırması Şekil 4.77’de, Von Mises gerilmelerinin karşılaştırması ise Şekil 4.78’deki grafikte görülmektedir. D-F boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmelerin( $\sigma_x$ ) karşılaştırması Şekil 4.79’da, Von Mises gerilmelerinin karşılaştırması ise Şekil 4.50’deki grafikte görülmektedir.



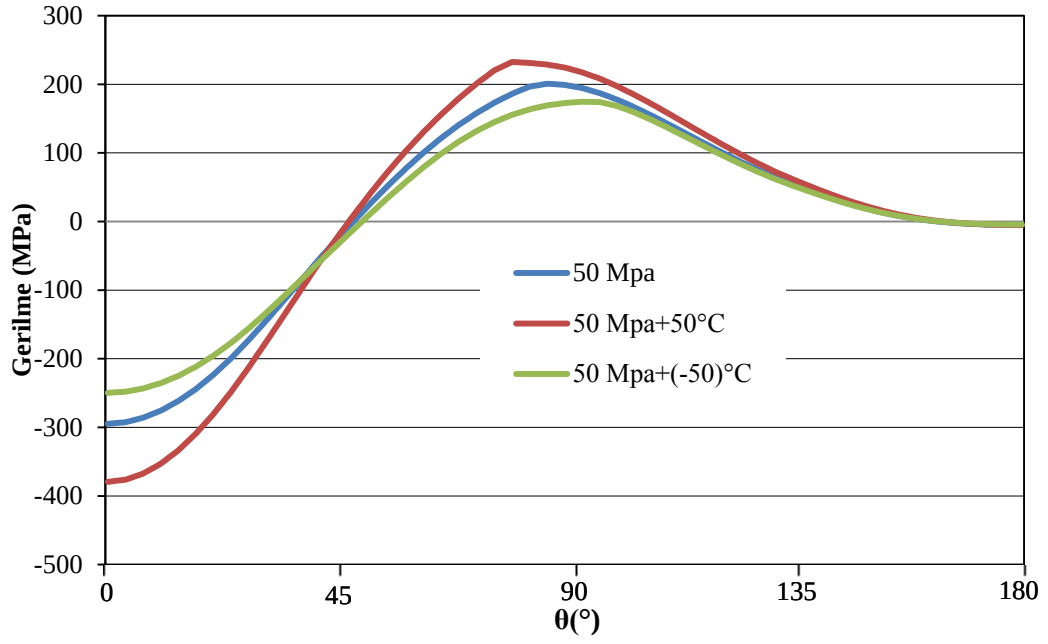
**Şekil 4.77.** Model 6 için A-C boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmeler( $\sigma_x$  - MPa)

Grafikte en yüksek gerilmenin çekme yükü ile birlikte (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu, çekme formunda 158,44 MPa ve basma formunda -442,26 MPa değerlerinde olduğu görülmektedir.



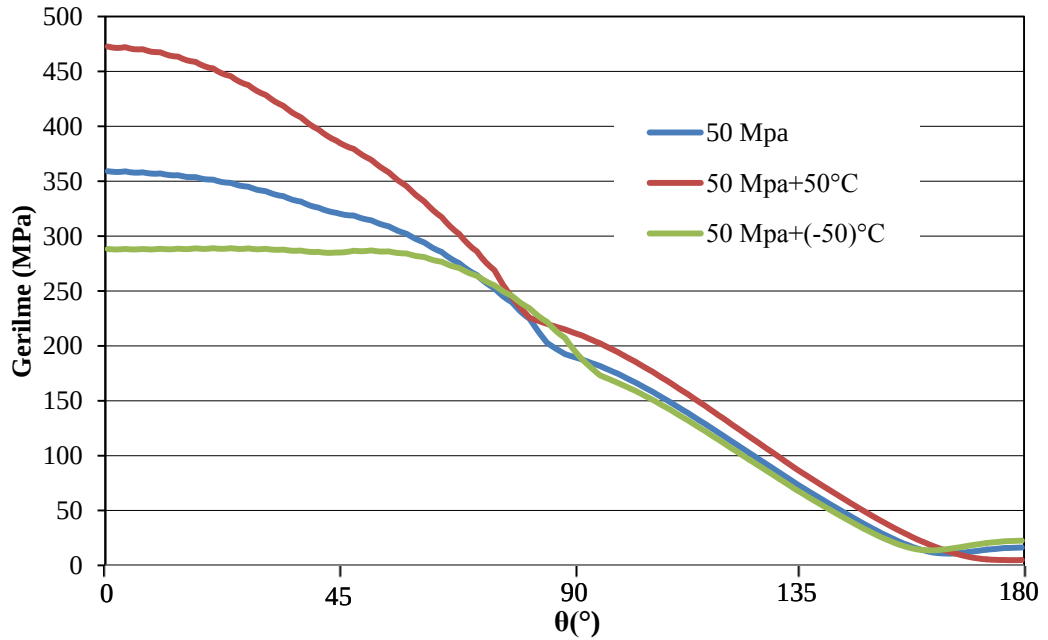
**Şekil 4.78.** Model 6 için A-C boyunca meydana gelen Von Mises gerilmeleri(MPa)

Grafikte en yüksek gerilmenin çekme yükü ile birlikte (-50)°C ısı yük uygulanması sonucu 517,31 MPa değerinde olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.79.** Model 6 için D-F boyunca meydana gelen x yönündeki normal gerilmeler( $\sigma_x$  - MPa)

Grafikte en yüksek gerilmenin çekme yükü ile birlikte 50°C ısı yük uygulanması sonucu, çekme formunda 232,40 MPa ve basma formunda -379,33 MPa değerlerinde olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.80.** Model 6 için D-F boyunca meydana gelen Von Mises gerilmeleri(MPa)

Grafikte en yüksek gerilmenin çekme yükü ile birlikte 50°C ısı yük uygulanması sonucu 472,59 MPa değerinde olduğu görülmektedir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılmış ve aynı zamanda seri çift pim ile karma bağlantı yapılmış aynı veya farklı cinsten metal plakalardan oluşan altı farklı modelde meydana gelen gerilme değerleri ve dağılımları incelenmiştir. Çalışmada karma bağlantı üç boyutlu olarak modellenmiş ve kontak analiz yapılmıştır. Oluşturulan bu modele öncelikle sadece çekme yükü uygulanmış ve meydana gelen gerilmeler incelenmiştir. Daha sonra modele çekme yükü ile birlikte farklı değerlerde sıcaklık yükü uygulanmış ve meydana gelen gerilmeler incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Modellere sadece çekme yükü uygulanması sonucunda hesaplanan gerilme değerlerinin, çekme yükü ile birlikte ısı yük uygulandığında genel olarak arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca ısı yük uygulanmasıyla birlikte basma gerilmelerinde genel olarak bir azalış olduğu gözlenmiştir. Bu durumun sebebi malzemelerin farklı ısı genleşme katsayılarına sahip olmalarıdır.

Modellerde x eksen yönündeki meydana gelen çekme ve basma gerilmelerinin y ve z eksenleri yönünde meydana gelen çekme ve basma gerilmelerinden yüksek değerlerde olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi ise çekme kuvvetinin x eksen yönünde uygulanmış olmasıdır.

Modellerde basma gerilmelerinin çekme gerilmelerinden daha yüksek değerlerde olduğu ve x eksen yönünde en yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür. Bununla birlikte bağlantının pime temas ettiği bölgede yüksek değerlerde basma gerilmeleri meydana gelmiştir. Daha önceki pimle ilgili yapılan çalışmalarda da buna benzer şekilde bu yaslanma bölgelerinde yüksek değerli gerilmeler meydana geldiği görülmektedir. Dolayısıyla bu bölgelerde de bağlantıda yatak hasarı meydana gelebileceği anlaşılmaktadır.

Modellere çekme yükü ile birlikte (-50)°C ısı yük uygulanması sonucunda x, y ve z eksenleri yönünde gerilmelerde belirgin bir artış meydana gelmiştir. Çekme yükü ile birlikte 50°C ısı yük uygulanması sonucunda ise x ve y eksenleri yönünde gerilmelerde genel olarak bir artma görülürken z eksen yönünde meydana gelen gerilmelerde azalma görülmüştür.

Modellerde çekme yükü ile birlikte uygulanan farklı ısı yükleri sonucunda, en yüksek gerilme x, y ve z eksenleri yönünde (-50)°C ısı yükü altında Model 2’de meydana gelmiştir. En düşük gerilme ise x, y ve z eksenleri yönünde 50°C ısı yükü altında Model 5’te meydana gelmiştir.

Delik bölgelerine bakılacak olursa, çekme yüküne ilaveten 50°C ısı yükü uygulanması sonucunda Model 1, Model 4 ve Model 5’te x eksen yönündeki gerilmelerde bir artış meydana gelirken Model 2, Model 3 ve Model 6’da meydana gelen gerilmelerde azalma oluşmuştur. Çekme yüküne ilaveten (-50)°C ısı yükü uygulanması sonucunda ise Model 2, Model 3 ve Model 6’da x eksen yönündeki gerilmelerde bir artış meydana gelirken Model 1, Model 4 ve Model 5’te meydana gelen gerilmelerde azalma oluşmuştur.

Yapıştırıcı üzerindeki kayma gerilmelerinin, sadece çekme yükü uygulanması durumunda ve çekme yükü ile birlikte ısı yükleri uygulanması durumlarında xz eksenleri yönünde en yüksek değerlere ulaştığı gözlenmiştir. Çekme yükü ve ısı yükleri etkisinde yapıştırıcı xz eksenleri yönünde kopmaya zorlanacaktır.

Genel bir değerlendirme yapılacak olursa, kullanılan metal malzemelerin ve yapıştırıcının farklı fiziksel özellikleri sebebiyle modellerde farklı değerlerde gerilmeler meydana gelmiştir. Bağlantıya uygulanan çekme yükünün x eksen yönünde olması dolayısıyla bu yöndeki gerilmelerde yüksek değerler oluşmasına sebep olmuştur. Gerilmeler özellikle pim delikleri çevresinde meydana gelmiş ve bu bölgelerde yüksek değerlerde basma gerilmeleri oluşmuştur. Bu sebeple bu bölgelerde olası hasar oluşması muhtemel görülmektedir.

Elde edilen gerilmeler incelendiğinde ve Von Mises gerilmeleri emniyet gerilmeleri ile oranlandığında, modeller arasında sadece çekme yükü uygulanması ve çekme yükü ile birlikte 50°C ısı yükü uygulanması durumlarında en elverişli model olarak Model 3 görülmüştür. Çekme yükü ile birlikte (-50)°C ısı yükü uygulanması durumunda ise en elverişli model olarak Model 2 belirlenmiştir.

Bu çalışma nümerik olarak yapılmıştır. Bu alanda farklı metal malzemeler veya kompozit malzemeler kullanılarak daha farklı nümerik çalışmalar yapılabilir. Ayrıca bu alanda deneysel olarak sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Yapılacak deneysel çalışmalar alandaki eksikliği giderecektir.

## KAYNAKLAR

Adams, R.D., ve Peppiatt, N.A., 1974. Stress analysis of adhesive-bonded lap joints, journal of strain analysis for engineering design, SAGE Publication, London, 9, 185-196.

Adams, R.D., 1989. Strength predictions for lap joints, especially with composite adherends, a review, Journal of Adhesion, 30, 219-242.

Adin, H., 2007. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş ters Z tipi kompozit malzeme bağlantılarının mekanik analizi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Akkurt, M., 2000. Makine elemanları 1-2, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Aktaş, A., ve Orhan, S., 2003. Pimli bağlantılarda çatlak ilerleme yönünün sonlu elemanlar metodu ile bulunması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 16, 4, 751-757.

Aldaş K., Palancıoğlu H., ve Şen F., 2009. Thermal stress in adhesively bonded double lap joints by FEM, Electronic Journal of Machine Technologies, 6, 4, 55-64.

Aldaş K., Şen F., ve Palancıoğlu H., 2011. Stress analysis of adhesively bonded and pinned single lap joints using three dimensional finite element models, Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 41, 2, 3-20.

Aldaş, K., ve Şen, F., 2011. Karma bağlantı uygulanmış farklı metal plakalarda meydana gelen gerilmelerin incelenmesi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 8, 2, 1-12.

Anık, S., 1986. Yapıştırma ve nokta kaynağının kombinasyonu, Mühendis ve Makine, 27, 316, 24-30.

ANSYS, Release 12.0 Documentation, 2005. Swanson Analysis System Inc., Houston, PA, USA.

Apalak, M.K., ve Güneş, R., 2002. On non-linear thermal stresses in an adhesively bonded single lap joint, Computers and Structures, 80, 85-98.

Apalak, M.K., Aldaş, K., ve Şen, F., 2003. Thermal non-linear stress analysis in an adhesively bonded and laser-spot welded single lap joint during laser-metal interaction, Journal of Materials Processing Technology, 142, 1-19.

Apalak, M.K., Güneş, R., ve Fidancı, L., 2003. Geometrically non-linear thermal stress analysis of an adhesively bonded tubular single lap joint, *Finite Elements in Analysis and Design*, 39, 155-174.

ASTM D 907, 1993. Standard terminology of adhesives, *Annual Book of ASTM Standards*, California, USA.

Ataş, A., Şen, F., ve Arslan, N., 2009. Paralel çift pim delikli polyester kompozit plakaların statik yük altında mekanik davranışlarının incelenmesi, *CBÜ Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, 2, 12, 83-96.

Aydın, M. D., Temiz, Ş., ve Özel, A., 2007. Yapıştırma bağlantılarının dayanımı üzerine kürleşme basıncının etkisi, 8. Uluslar Arası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı, İstanbul, 470-479.

Babalık, F.C., 2009. Makine elemanları ve konstrüksiyon örnekleri, Dora Yayıncılık, İstanbul.

Brandon, D. ve Kaplan, W.D., 1997. *Joining processes*, John Wiley and Sons, Chichester, England.

Callister, W.D., 2007. *Materials science and engineering: an introduction-7th edition*, John Wiley and Sons, New York, USA.

Chan, W.S., ve Vedhagiri, S., 2001. Analysis of composites bolted-bonded joints used in repairing, *Journal of Composite Materials*, 35, 12, 1045-1061.

Chang, F.K., Scott, R.A., Springer, G.S., 1994. Failure of Composite Laminates Containing Pin Loaded Holes-Method of Solution, *Journal of Composite Materials*, 18, 255-289.

Çalık, A., 2008. Yapıştırıcılar ve köşeleri yuvarlatılmış basamaklı bindirme yapıştırıcı bağlantılarda gerilme analizi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.

Demirgen, T., 2007. Metal yapıştırma bağlantı performansının bilgisayar destekli modelleme ile incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Dursun, T., 2006. Civata bağlantılı tabakalı kompozit levhalarda hasar analizi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Fan W.X., ve Qiu, C.T., 1993. Load distribution of multi-fastener laminated composite joints, *International Journal of Solids and Structures*, 30, 21, 3013-3023.

George, B., Touyeras, F., Grohens, Y., ve Vebrel, J., 1998. Analysis of curing mode and mechanical properties of an anaerobic adhesive, *European Polymer Journal*, 34, 399-404.

Goncalves, J.P.M., De Moura, M.F.S.F., ve De Castro, P.M.S.T., 2002. A three-dimensional finite element model for stress analysis of adhesive joints, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 22, 357-365.

Guess, T.R., Allred, R.E. ve Gerstle, F.P., 1977. Comparison of lap shear test specimens, *Journal of Testing and Evaluation*, 5, 2, 84-93.

Imanaka, M., Fukuchi, Y., Kishimoto, W., Okita, K., Nakayama, H. ve Nagai, H., 1989. Fatigue life estimation of adhesive bonded shaft joints, *International Journal of Fracture*, 41, 223-234.

İçten, B.M., ve Sayman, O., 2003. Failure analysis of pin-loaded aluminum-glass-epoxy sandwich composite plates, *Composites Science and Technology*, 63, 5, 727-737.

İşcan, B., 2007. Yapıştırıcı malzeme ile birleştirilmiş Z tipi bağlantıların mekanik analizi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Karakuzu, R., Çalışkan, C.R., Aktaş, M., ve İçten, B.M., 2008. Failure behavior of laminated composite plates with two serial pin-loaded holes, *Composite Structures*, 82, 2, 225-234.

Kelly G., 2005. Load transfer in hybrid (bonded/bolted) composite single-lap joints, *Composite Structures*, 69, 35-43.

Kinloch, A.J., 1987. Adhesion and adhesives science and technology, Chapman&Hall, London, United Kingdom.

Kodakoğlu, L., 1996. Yapıştırıcıların genel özellikleri ve çekme gerilmesine maruz yapışma birleşmesinin analitik ve nümerik olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Köksal, H., 2013. Yapıştırıcılı ve çok pimli kompozit plakaların analizi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.

Kyoguku, H., Sugibayashi, T., ve Ikegami, K., 1989. Strength evaluation of adhesive shaft joints, *JSME International Journal*, 32, 3.

Loctite Corporation, 1998. Worldwide design handbook second edition, Erasmusdruck GmbH Mainz, Germany.

Ojalvo, I.U. ve Eidinoff, H.L., 1978. Bond thickness effect upon stresses in single lap adhesive joints, *AIAA Journal*, 16, 8, 204-211.

Pakdil, M., ve Şen, F., 2007. Pim bağlantılı cam lifi-epoksi tabakalı kompozitler için deneysel bir çalışma, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3, 13-20.

Palancıoğlu, H., 2011. Yapıştırılmış ve pim bağlantısı uygulanmış metal levhalardaki gerilmelerin analizi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.

Pfeiffer, P., ve Shakal, M., 1998. Effect of bonded metal substrate area and its thickness on the strength and durability of adhesively bonded joints, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 12, 3, 339-348.

Sancaktar, E., ve Simmons, S.R., 2000. Optimization of adhesively bonded single lap joints by adherent notching, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 14, 1363-1404.

Sawa, T., Liu, J., Nakano, K., ve Tanaka, J., 2000. A two dimensional stress analysis of single lap adhesive joints of dissimilar adherents subjected to tensile loads, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 14, 43-66.

Solmaz, M.Y., 2008. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların mekanik analiz ve tasarımları, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Solmaz M.Y., ve Turgut A., 2009. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş basit bindirme bağlantılarında serbest uç açısı ve bindirme mesafesinin bağlantı mukavemeti üzerine etkisinin deneysel olarak araştırılması, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21, 2, 173-182.

Şekercioğlu, T., 2001. Yapıştırma bağlantılarının dinamik yükler altındaki davranışlarının incelenmesi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

Şen, F., 2001. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bindirme bağlantısının lazer nokta kaynağı esnasında meydana gelen sıcaklık dağılımı ve ısıl gerilmelerin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.

Şen, F., ve Pakdil, M., 2008. The effect of stacking sequences on failure behavior of pinned composite plates, *Politeknik Dergisi*, 11, 2, 147-151.

Şen, F., Aldaş, K., ve Palancıoğlu H., 2008. Çift örtü kullanılarak yapıştırılmış metal levhaların ısıl gerilme analizi, *Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, 20, 4, 649-659.

Şen, F., Aldaş, K., ve Palancıoğlu H., 2008. Thermal stress analysis of adhesively bonded single lap joints using FEM, *Electronic Journal of Machine Technologies*, 2, 31-40.

Şen, F., ve Aldaş, K., 2010. Sıcaklık değişiminin yapıştırılmalı ve pimli alüminyum plakalardaki gerilmeler üzerine etkisi, *TUBAV Bilim Dergisi*, 3, 4, 323-329.

Şen, F., Aldaş, K., ve Palancıoğlu H., 2010. Yapıştırma ve pim bağlantısı yapılmış alüminyum plakaların analizi, *Makine Tek Dergisi*, 12, 206-212.

Şen, F., ve Aldaş, K., 2011. Effects of Using Different Metal Materials on Stresses in Metal-Composite Hybrid Joints, *Çankaya University Journal of Science and Engineering*, 8,1, 1-13.

Şen, F., ve Alyanak, İ., 2014. Paralel çift pimli ve yapıştırıcıli karma bağlantılı kompozit levhaların ısı gerilme analizi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 5, 2, 119-127.

Taib, A.A., Boukhili, R., Achion, S., ve Boukehili, A., 2006. Bonded joints with composite adherends. Part II. Finite element analysis of joggle lap joints, International Journal of Adhesion and Adhesives, 26, 237- 248.

Tın, S., 2006. Tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarının tasarım ve analizi, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.

Turan, K., Kaman, M.O., ve Gür, M., 2010. Pim bağlantılı tabakalı kompozit levhalarda fiber takviye açısının hasar tipine etkisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16, 2, 213-220.

Volkersen, O., 1938. Die Nietkraft verteilung in zugbeanspruchten Nietverbindungen mit konstanten Laschenquerschnitten, Luftfahrtforschung, 15, 41-47.

Yogeswaren, E.K. ve J.N. Reddy, 1988. A Study of Contact Stresses In Pin-Loaded Orthotropic Plates, Computers & Structures, 30, 5, 1067-1077.

Zhang, C., Ganesan, R., ve Suong V.H., 2000. Effects of Friction on Three-Dimensional Contact Stresses in Pin-Loaded Laminated Composites, Journal of Composite Materials, 34, 16, 1382-1415.

## **ÖZGEÇMİŞ**

**Adı ve Soyadı** : Emrullah ÖZKAN  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 1980  
**E-Posta Adresi** : eozkan@aksaray.edu.tr

### **EĞİTİM BİLGİLERİ(Kurum ve Yıl)**

**Lisans** : Gazi Üniversitesi, 2005  
**Yüksek Lisans** :  
**Doktora** :

### **MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ**

### **TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER**