



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

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**YAPIŞTIRILMIŞ VE PARALEL ÇİFT PİM
UYGULANMIŞ KOMPOZİT PLAKALARIN ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İrfan ALYANAK

DANIŞMAN

Doç. Dr. Faruk ŞEN

AKSARAY, 2013



T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YAPIŞTIRILMIŞ VE PARALEL ÇİFT PİM
UYGULANMIŞ KOMPOZİT PLAKALARIN ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İrfan ALYANAK

DANIŞMAN

Doç. Dr. Faruk ŞEN

AKSARAY, 2013

T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ KABUL ve ONAY BELGESİ

İrfan ALYANAK'ın YAPIŞTIRILMIŞ VE PARALEL ÇİFT PİM UYGULANMIŞ KOMPOZİT PLAKALARIN ANALİZİ başlıklı lisansüstü tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Doç. Dr. Faruk ŞEN (Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi)
Üye : Doç. Dr. Mustafa KAYA (Aksaray Üniversitesi)
Üye : Yrd. Doç. Dr. Semih BENLİ (Aksaray Üniversitesi)

Tezin Savunulduğu Tarih: 23.08.2013

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu' nun tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Selçuk REİS
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Endüstride yapıştırıcıların kullanılması yeni olmakla birlikte, meydana gelen fiziksel ve kimyasal gelişmelerle gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Günümüzde değişik endüstri kuruluşlarında yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Yapıştırıcı olarak kullanılan ilk malzemenin M.Ö. 4000 tarihli yıllara kadar dayanmaktadır.

Mekanik birleştirmeler ve yapıştırma bağlantıları, malzemelerin birleştirilmelerinde eskiden beri sıkça kullanılan yöntemlerden biridir. Günümüzde hibrid (karma) olarak bilinen hem mekanik hem de yapıştırma bağlantıları kombine olarak kullanılmaktadır. Karma bağlantı teknikleri halen günümüzde tamir ve hasarın yayılmasını önleyici olarak da kullanılmaktadır.

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'na Yüksek Lisans Tezi olarak sunulan “Yapıştırılmış ve Paralel Çift Pim Uygulanmış Kompozit Plakaların Analizi” konulu çalışma ile sızdırmaz ve korozyon tehlikesi olmayan, mukavemet özellikleri iyileştirilmiş bağlantıların elde edilmesi amaçlanmaktadır. Çalışma Giriş, Kaynak Özetleri, Malzeme ve Yöntem, Bulgular ve Sonuçlar olmak üzere beş bölümden oluşmaktadır.

TEŞEKKÜR

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'na yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmanın hazırlanmasında danışmanlığımı yaparak beni yönlendiren ve sınırsız yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. Faruk ŞEN' e sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarım sırasında yanımda olan ve hiçbir zaman manevi desteğini esirgemeyen eşim Kader ALYANAK ve bugünlere gelmemde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kompozit Malzemeler.....	2
1.1.1. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması.....	3
1.1.1.1. Elyaf takviyeli kompozit malzemeler.....	4
1.1.1.2. Parçacık takviyeli kompozit malzemeler.....	5
1.1.1.3. Tabakalı kompozit malzemeler.....	6
1.1.1.4. Karma (hibrid) kompozit malzemeler.....	6
1.1.2. Kompozit malzemelerin kullanım alanları.....	6
1.1.2.1. Havacılık sanayi.....	7
1.1.2.2. Denizcilik sanayi.....	7
1.1.2.3. Otomotiv endüstrisi.....	7
1.1.2.4. Spor araçları.....	7
1.1.2.5. Korozyona dayanıklı ürünler.....	8
1.1.2.6. Sağlık.....	8
1.1.2.7. Ulaşım.....	8
1.1.2.8. Müzik aletleri.....	8
1.1.2.9. İnşaat sektörü.....	8
1.1.3. Kompozit malzemelerin özellikleri.....	9
1.1.3.1. Kompozit malzemelerin avantajları.....	9
1.1.3.2. Kompozit malzemelerin dezavantajları.....	10
1.2. Yapıştırma Bağlantıları.....	11
1.2.1. Yapıştırıcılar.....	14
1.2.2. Yapıştırıcı çeşitleri.....	14
1.2.2.1. Kimyasal durumlarına göre yapıştırıcılar.....	15

1.2.2.2. Fiziksel durumuna göre yapıştırıcılar.....	16
1.3. Pim Bağlantıları.....	17
1.4. Karma Bağlantılar.....	17
1.5. Sonlu Elemanlar Metodu.....	18
1.5.1. Sonlu elemanlar analizi.....	19
1.5.2. Sonlu elemanlar metodunun uygulanışı.....	19
1.5.3. Cismin sonlu elemanlara bölünmesi.....	20
1.5.4. Sonlu eleman tipleri.....	20
1.5.4.1. Tek boyutlu elemanlar.....	20
1.5.4.2. İki boyutlu elemanlar.....	20
1.5.4.3. Üç boyutlu elemanlar.....	20
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	21
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	32
3.1. Giriş.....	32
3.2. Karma Bağlantının Tanımlanması.....	32
3.3. Tasarımda Kullanılan Malzemelerin Özellikleri.....	33
3.4. Sonlu Elemanlar Modeli.....	34
4. BULGULAR.....	41
4.1. Giriş.....	41
4.2. Sadece Çekme Yüğü Etkisiyle Elde Edilen Bulgular.....	41
4.3. Sadece Sıcaklık Yüğü Etkisiyle Elde Edilen Bulgular.....	62
4.4. Çekme Yüğü ve Sıcaklık Yüğü'nün Birlikte Uygulanmasıyla Elde Edilen Bulgular.....	83
5. SONUÇLAR.....	108
KAYNAKLAR.....	113
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YAPIŞTIRILMIŞ VE PARALEL ÇİFT PİM UYGULANMIŞ KOMPOZİT PLAKALARIN ANALİZİ

İrfan ALYANAK

T.C.

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Faruk ŞEN

Mekanik birleştirmeler, yapıştırma bağlantıları ve bunların beraber kullanılmaları ile oluşturulan karma bağlantılar, özellikle son zamanlarda endüstriyel malzemelerin birleştirilmelerinde kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, pim bağlantılı, yapıştırma bağlantılı ve hem pim hem de yapıştırma kompozit plakaların gerilme analizinin yapılmasıdır. Bu farklı bağlantılar önce sadece çekme yükü etkisinde analiz edilmiş olup daha sonra çekme yükü ile birlikte ısı yükü beraber uygulanarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz için sonlu elemanlar metodu (FEM) kullanılmıştır. Bu amaçla, hem modelleme hem de analiz sürecinde ANSYS 14.0 sonlu elemanlar yazılımından yararlanılmıştır.

2013, 118 Sayfa

Anahtar kelimeler; Yapıştırma Bağlantı, Pim Bağlantısı, Karma Bağlantı, Isıl Gerilme, FEM, ANSYS.

ABSTRACT

Master of Science Thesis

ANALYSIS OF ADHESIVELY BONDED AND TWO PARALLEL PINNED COMPOSITE PLATES

İrfan ALYANAK

T.R.

Aksaray University Graduate School of Natural and
Applied Sciences Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Faruk ŞEN

Mechanical joints, bonding connections and the hybrid joints generated by their use, are especially used in joining of industrial materials, recently. The aim of this study, to perform stress analysis of composite plates that have pinned connection, adhesive connection and the pinned as well as adhesive bonding connection. These various connections were analyzed just tensile load at first, then the tensile load and the thermal load were applied together to have been completed the analysis. In order to do the analysis, Finite Element Method (FEM) was used. Therefore, ANSYS 14.0 type Finite Element Software was used in both modelling and analysing process.

2013, 118 Pages

Keywords: Adhesive Joints, Pinned Joints, Hybrid Joints, Thermal Stress, FEM, ANSYS.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1.	Kompozit malzemelerin sınıflandırılması..... 4
Şekil 1.2.	Uygulamada kullanılan genel yapıştırıcı uygulama usulleri..... 13
Şekil 3.1.	Yapıştırıcılı ve paralel çift pim uygulanmış karma bağlantının şematik görünümü..... 33
Şekil 3.2.	Karma bağlantının üç boyutlu yarım modeli..... 35
Şekil 3.3.	Üç boyutlu karma bağlantıya sınır şartlarının Uygulanması..... 36
Şekil 3.4.	SOLID 185 eleman tipi (ANSYS 14.0)..... 37
Şekil 3.5.	Karma bağlantının sonlu elemanlar ağ yapısı 38
Şekil 3.6.	Karma bağlantıdaki her bir kompozit plakanın sonlu elemanlar ağ yapısı..... 39
Şekil 3.7.	Karma bağlantıdaki yapıştırıcı tabakasının sonlu elemanlar ağ yapısı..... 40
Şekil 4.1.	Farklı değerlerde çekme yükü altında meydana gelen gerilmeler (σ_x , σ_y , σ_z) 44
Şekil 4.2.	Farklı çekme yükleri altında x-yönünde hesaplanan normal gerilmeler (σ_x) 47
Şekil 4.3.	Farklı çekme yükleri altında y-yönünde hesaplanan normal gerilmeler (σ_y) 49
Şekil 4.4.	Farklı çekme yükleri altında z-z yönünde hesaplanan normal gerilmeler (σ_z) 52
Şekil 4.5.	Farklı değerlerde çekme yükü altında meydana gelen kayma Gerilmeleri..... 54
Şekil 4.6.	Farklı çekme yükleri altında hesaplanan kayma gerilmeleri (τ_{xy})..... 57
Şekil 4.7.	Farklı çekme yükleri altında hesaplanan kayma gerilmeleri (τ_{yz})..... 59
Şekil 4.8.	Farklı çekme yükleri altında hesaplanan kayma gerilmeleri (τ_{xz}) 62
Şekil 4.9.	Uniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler (σ_x , σ_y , σ_z)..... 65

Şekil 4.10.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile x- yönünde hesaplanan normal gerilmeler.....	68
Şekil 4.11.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile y- yönünde hesaplanan normal gerilmeler.....	70
Şekil 4.12.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile z- yönünde hesaplanan normal gerilmeler.....	73
Şekil 4.13.	Uniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan ısıl kayma Gerilmeleri.....	75
Şekil 4.14.	Farklı çekme yükleri altında hesaplanan ısıl kayma gerilmeleri (τ_{xy}).....	78
Şekil 4.15.	Farklı çekme yükleri altında hesaplanan ısıl kayma gerilmeleri (τ_{yz})	80
Şekil 4.16.	Farklı çekme yükleri altında hesaplanan ısıl kayma gerilmeleri (τ_{xz}).....	83
Şekil 4.17.	Farklı çekme yükleri ve sıcaklıklar altında x-yönündeki normal gerilme değerleri.....	86
Şekil 4.18.	Farklı çekme yükleri ve sıcaklıklar altında y-yönünde normal gerilme değerleri.....	87
Şekil 4.19.	Farklı çekme yükleri ve sıcaklıklar altında z-yönünde normal gerilme değerleri.....	88
Şekil 4.20.	100 N çekme yükü altında 60 °C ve 100 °C sıcaklıklarda x-yönünde hesaplanan normal gerilmeler.....	90
Şekil 4.21.	500 N çekme yükü altında 60 °C ve 100 °C sıcaklıklarda x-yönünde hesaplanan normal gerilmeler.....	91
Şekil 4.22.	100 N çekme yükü altında 60 °C ve 100 °C sıcaklıklarda y-yönünde hesaplanan normal gerilmeler.....	92
Şekil 4.23.	500 N çekme yükü altında 60 °C ve 100 °C sıcaklıklarda y-yönünde hesaplanan normal gerilmeler.....	93
Şekil 4.24.	100 N çekme yükü altında 60 °C ve 100 °C sıcaklıklarda z-yönünde hesaplanan normal gerilmeler.....	94
Şekil 4.25.	500 N çekme yükü altında 60 °C ve 100 °C sıcaklıklarda z-yönünde hesaplanan normal gerilmeler	95
Şekil 4.26.	Farklı çekme yükleri ve sıcaklıklar altında xy-yönündeki kayma gerilme değerleri	98

Şekil 4.27.	Farklı çekme yükleri ve sıcaklıklar altında yz-yönünde kayma gerilme değerleri	99
Şekil 4.28.	Farklı çekme yükleri ve sıcaklıklar altında xz-yönünde kayma gerilme değerleri	100
Şekil 4.29.	100 N çekme yükü altında 60 °C ve 100 °C sıcaklıklarda xy-yönünde hesaplanan kayma gerilmeleri.....	102
Şekil 4.30.	500 N çekme yükü altında 60 °C ve 100 °C sıcaklıklarda xy-yönünde hesaplanan kayma gerilmeleri.....	103
Şekil 4.31.	100 N çekme yükü altında 60 °C ve 100 °C sıcaklıklarda yz-yönünde hesaplanan kayma gerilmeleri.....	104
Şekil 4.32.	500 N çekme yükü altında 60 °C ve 100 °C sıcaklıklarda yz-yönünde hesaplanan kayma gerilmeleri.....	105
Şekil 4.33.	100 N çekme yükü altında 60 °C ve 100 °C sıcaklıklarda xz-yönünde hesaplanan kayma gerilmeleri.....	106
Şekil 4.34.	500 N çekme yükü altında 60 °C ve 100 °C sıcaklıklarda xz-yönünde hesaplanan kayma gerilmeleri.....	107
Şekil 5.1.	Farklı yönlerdeki bulunan maksimum çekme formundaki Gerilmeler.....	111
Şekil 5.2.	Farklı yönlerdeki bulunan maksimum basma formundaki Gerilmeler.....	112

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1. Kompozit malzemenin mekanik özellikleri.....	33
Çizelge 3.2. Epoksi yapıştırıcının mekanik özellikleri.....	34
Çizelge 4.1. Farklı değerlerde çekme yükü uygulanmış ve bu çekme yüklerinin tesiriyle meydana gelen normal gerilmeler (σ_x , σ_y , σ_z).....	42
Çizelge 4.2. Farklı çekme yükleri için elde edilen kayma gerilmeleri.....	53
Çizelge 4.3. Uniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler (σ_x , σ_y , σ_z).....	63
Çizelge 4.4. Uniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan ısı kayma Gerilmeleri.....	74
Çizelge 4.5. Farklı çekme yükü ve sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler (σ_x , σ_y , σ_z).....	84
Çizelge 4.6. Farklı çekme yükü ve sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan kayma gerilmeleri.....	96
Çizelge 5.1. Sadece çekme yükü, sadece sıcaklık ve her iki yükleme koşulundaki maksimum gerilmelerin tespit edildiği çekme ve sıcaklık değerleri.....	111

SİMGELER DİZİNİ

E	Elastisite Modülü (GPa)
ν	Poisson oranı
α	Isıl genleşme katsayısı (1/°C)
σ_x	x doğrultusundaki normal gerilme
σ_y	y doğrultusundaki normal gerilme
σ_z	z doğrultusundaki normal gerilme
τ_{xy}	xy düzlemindeki kayma gerilmesi
τ_{yz}	yz düzlemindeki kayma gerilmesi
τ_{xz}	xz düzlemindeki kayma gerilmesi

BÖLÜM 1

1. GİRİŞ

Endüstride yapıştırıcıların kullanılması yeni olmakla birlikte, meydana gelen fiziksel ve kimyasal gelişmeler sonucunda gün geçtikçe önemi artmaktadır. Günümüzde çeşitli endüstri kuruluşlarında yapıştırıcılar tercih edilmektedir. Endüstride yapıştırıcıların kullanımında hızlı artış, doğal ürünlerde sınırlama tanımayan ve metalleri diğer metal olmayan gözeneksiz malzemelere bağlayabilen sentetik reçinelerin gelişmesinden kaynaklanmaktadır. II. Dünya Savaşı esnasında uçaklarda yapısal metallerin bağlanması epoksi reçinelerin ve fenoliklerin kullanılmasıyla kendine önemli bir yer edinmiştir. Bu yer edinme sayesinde, gün geçtikçe dayanım ve uzama kabiliyeti artarak yorulma dayanımları da iyileştirilmiştir (Şekercioğlu, 2001).

Günümüzde metaller gibi klasik malzemelerin birçok özelliği gelişen teknolojinin ihtiyaçları için yeterli olmayınca, daha üstün özelliklere sahip kompozit malzemelerin üretimine başlanmasıyla bu konuda hızlı bir gelişme sürecine girilmiştir. Kompozit malzemelerin yüksek mukavemet/ağırlık ve rijitlik/ağırlık oranları geleneksel metal malzemelerin yerine daha hafif yapıların geliştirilmesine kolaylık sağlamıştır. Oldukça dinamik bir yapıya sahip ve sürekli değişim içinde olan kompozit malzemeler maliyetlerinin düşürülmesi, verimliliğinin artırılmasıyla taşımacılık, inşaat malzemeleri, havacılık, uzay ve savunma sanayi gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. (Madenci vd. 1997).

Mekanik birleştirmeler ve yapıştırma bağlantıları, malzemelerin birleştirilmelerinde eskiden beri sıklıkla kullanılan yöntemlerdendir. Günümüzde hibrid (karma) diye tabir edilen hem mekanik hem de yapıştırma bağlantıları kombine olarak kullanılmaktadır. Karma bağlantı teknikleri halen günümüzde tamir ve hasarın yayılmasını engelleme amaçlı olarak da kullanılmaktadır (Kelly, 2004).

Metalik parçaların birleştirilmesi için kullanılan ana yöntemler olan mekanik ve yapıştırımlı bağlama yöntemleridir. Mekanik bağlantılarda yapıları meydana getiren bileşenler arasındaki yük transferi birleştirme elemanları nedeniyle oluşan sürtünme sayesinde gerçekleşmektedir (Baker, 1997).

1.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler, iki ya da daha fazla sayıdaki, aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemedeki toplamak amacıyla makro ölçüde birleştirilmesiyle oluşan malzemeler olarak adlandırılırlar. Kompozit malzemenin beklenen değişik fiziksel, mekaniksel veya kimyasal özellikler, bu özelliklere sahip bileşenler tarafından sağlanmaktadır. Makro ölçüde heterojen karakterli bir yapıya sahip olan kompozit malzemelerin içyapıları incelendiğinde yapı bileşenlerinin seçilip ayırt edilmesi mümkündür. Yapı bileşenlerinin farklı karakteristik özellikleri kompozit malzemenin yapısında bütünleşir. Bu nedenle kompozitin sahip olduğu özelliklerin tümünü tek bir yapı bileşeninde görmek mümkün değildir (Şahin, 2000).

Kompozit ürünlerin günümüzde mühendisler ve tasarımcılar tarafından yaygın olarak kabul görmesindeki en önemli etken, sunduğu değişik performans avantajlarıdır. Kompozitlerin sağlayacağı bu avantajların iyi bir şekilde anlaşılması tasarımcı ve mühendislerin işlerini daha kolay hale getirmektedir. Mühendislik malzemeleri arasında yüksek mukavemet değerleri sağlayan kompozitler, çekme, eğilme, darbe ve basınç dayanımı gibi mekanik değerlerin sağlanmasına yönelik tasarlanabilmektedir. Geleneksel malzemelerin aksine kompozitler, bir uygulamadaki özel tasarım beklentilerine uygun mukavemet değerlerini sağlayabilmektedir. Birim alan ağırlığında hem takviyesiz plastiklere hem de metallere göre daha yüksek mukavemet değerleri sunmaktadır. Yapıya sağladığı yüksek mukavemet/hafiflik özelliği etkin bir şekilde kullanılmasındaki en önemli nedenlerden biridir (URL-1.).

Kompozit malzemeler bir tasarımcının aklına gelebilecek her türlü karmaşık, basit, geniş, küçük yapısal, estetik, dekoratif ya da fonksiyonel şekle sokulabilir. Elektrik yalıtım özellikleri, birçok parçanın üretimi konusunda açık bir tercih nedenidir. Ayrıca uygulama gereği, uygun modifiye edicilerin ve katkı malzemelerinin kullanılması durumunda kompozit ürüne elektriksel iletkenlik niteliği katmak da mümkündür (URL-1.).

Kompozit malzemeler paslanmaz ve aşınmazlar. Çeşitli kimyasal ve ısı ortamlarına dayanımı sağlamak amacıyla geliştirilmişlerdir. Uygun tasarlandığında kompozit

ürünlerin en az bakımla, uzun süreli hizmet ömrüne sahip olmaları sağlanabilir. Kompozit üretimi için seçilen araç ve gereçlerin maliyeti, çelik, alüminyum ve metal alaşımlı malzemeler gibi geleneksel malzemelere göre daha ucuzdur. Ayrıca, sınırsız kalıplama boyutları, çok sayıda üretim tekniği, diğer malzemelerle uyuşma özelliği, takviye amacı ile köpük kullanımı, kendinden renklendirilme olanağı, isteğe bağlı olarak, ışık geçirgen özellikte üretilbilme olanağı gibi avantajları da sahiptir (Kayrak, 1999).

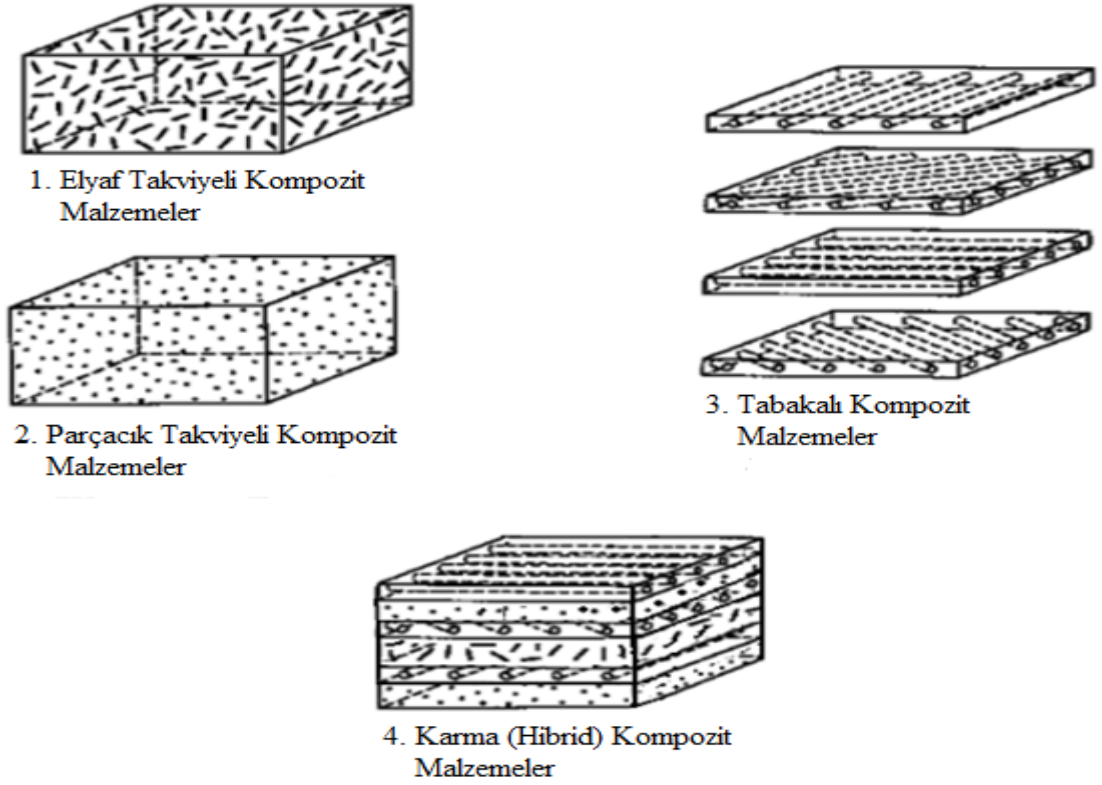
Kompozit malzemelerin mantığı gereği, bileşenin olumsuz özellikleri mevcutsa bu özellik mevcut kompozit malzemeye de yansır. Dolayısıyla böyle kompozit malzemelerin, organik çözücülerin bol miktarda bulunduğu ortamda kullanılmaması gerekir. Kompozit malzemelerde şu tür dezavantajlar görülmektedir (Şahin, 2000).

1. Kompozit malzemelerdeki hava zerrecikleri, malzemenin yorulma özelliklerini olumsuz etkiler.
2. Kompozit malzemeler, değişik doğrultularda, değişik özellikler gösterirler.
3. Çekme, basma, kesme operasyonları uygulanan aynı kompozit numunelerin liflerinde açılma meydana geldiğinden, bu tür malzemelerde hassas imalattan söz edilemez.
4. İyi tanımlanmamış tasarım parametreleri varsa, bundan dolayı ham malzeme açısından en yüksek imalat verimliliğine ulaşamaz.

1.1.1. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Kompozit malzemeleri yapılarını oluşturan malzemeler ve yapı bileşenlerinin şekillerine göre iki şekilde sınıflandırmak mümkündür. Matriks malzemesinin türüne göre plastik kompozitler, metalik kompozitler, seramik kompozitler vb. gibi bir gruplandırma yapılabildiği gibi Şekil 1.1.'de gösterildiği gibi yapı bileşenlerinin şekillerine göre de sınıflandırma yapılabilir (Jones 1975; 1999):

1. Elyaf takviyeli kompozit malzemeler,
2. Parçacık takviyeli kompozit malzemeler,
3. Tabakalı kompozit malzemeler,
4. Karma (Hibrid) kompozit malzemeler



Şekil 1.1. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması (Koruvatan, 2008)

1.1.1.1. Elyaf takviyeli kompozit malzemeler

Elyaf takviyeli kompozitler, birçok özellikte artış sağlayan, yüksek etkinliği olan liflerin ilavesiyle elde edilirler. Mühendislikte kullanılan malzemelerin pek çoğu elyaf şeklinde üretildiklerinden mukavemet ve rijitlikleri kütle halindeki değerlerinden çok daha yüksek düzeyde olabilmektedir. Örneğin karbon elyafların çekme mukavemeti kütle halindeki grafitten 50 kat, rijitliği 3 kat daha yüksektir (Kayrak, 1999).

Takviye elemanları yapı içerisinde kesintisiz uzayan sürekli elyaflar veya uzun elyafların kesilmesiyle elde edilen süreksiz elyaf şeklinde olabilir. Elyaf takviyeli kompozitlerin mühendislik performansını etkileyen en önemli faktörler, elyafların şekli, uzunluğu, yönlenmesi, matriksin mekanik özellikleri ve elyaf-matriks ara yüzey özellikleridir (URL-1.).

Elyafların matriks içerisindeki yerleşimi kompozit yapının mukavemetini etkileyen önemli bir unsurdur. Uzun elyafların matriks içerisinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile elyaf doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, elyaflara dik

doğrultuda oldukça düşük mukavemet elde edilir. İki yönlü olarak yerleştirilen elyaflarla her iki yönde de eşit mukavemet sağlanırken, matriks içerisinde homojen dağılmış kısa elyaflarla izotrop bir yapı oluşturmak mümkündür (URL-1.; Kayrak, 1999).

Elyafların mukavemeti kompozit yapının mukavemeti açısından çok önemlidir. Ayrıca elyafların uzunluk/çap oranları arttıkça matriks tarafından elyaflara iletilen yük miktarı artmaktadır. Elyaf yapının hatasız olması da mukavemet açısından önemlidir. Kompozit yapının mukavemetinde önemli olan bir diğer unsur ise elyaf-matriks arasındaki bağın yapısıdır. Matriks yapıda boşluklar söz konusu ise elyaflarla temas azalacaktır. Nem absorpsiyonu da elyaf ile matriks arasındaki bağı bozan olumsuz bir özelliktir (Kayrak, 1999).

Elyaflar dairesel olduğu gibi nadiren dikdörtgen, hegzagonal, poligonal ve içi boş dairesel kesitli olabilir. Bu kesitlerin bazı artı özellikleri olmakla birlikte (yüksek mukavemet gibi) dairesel kesitler maliyeti ve kullanım kolaylığı ile üstünlük sağlar. Sürekli elyaflarla çalışmak genelde daha kolaydır ve tasarım serbestliği süreksizlere göre çok daha sınırlıdır. Sürekli elyaflar süreksizlerden daha iyi yönlendirme göstermelerine karşılık, süreksiz elyafların kullanılması daha pratik sonuçlar vermektedir (URL-1.).

1.1.1.2. Parçacık takviyeli kompozit malzemeler

Parçacık takviyeli kompozitler, bir veya iki boyutlu makroskobik parçacıkların veya sıfır boyutlu olarak kabul edilen çok küçük mikroskobik parçacıkların matriks fazı ile oluşturdukları malzemelerdir. Rijitlik ve mukavemette artış sağlayan küçük granül dolgu maddesi ilavesiyle şekillendirilerek üretilirler. Parçacık takviyeli kompozitleri elyaf kompozitlerden ayırt eden karakteristik özellikleri, parçacıkların matriks içinde tamamen rastgele dağılması ve bu nedenle malzemenin izotropik özellik göstermesidir. Parçacık takviyeli kompozitlerin maliyeti düşüktür ve rijitliği de oldukça iyidir (URL-1.; Kayrak, 1999).

1.1.1.3. Tabakalı kompozit malzemeler

Tabakalı kompozitler, farklı özelliklere sahip en az iki tabakanın birleşiminden oluşur. Çok değişik kombinasyonlarda tabakalanmış kompozitlerin üretimleri mümkündür. Metaller üzerine uygulanan metalik, organik veya seramik kaplamalar, cam-plastik-cam tabakalardan oluşan kompozitler, kâğıt üzerine kaplanmış plastik kompozitler, farklı elyaf yönlenmesine sahip tek tabakaların birleştirilmesiyle elde edilen yapılar bu tür kompozitlere örnek olarak gösterilebilir. Korozyon direnci zayıf metaller üzerine daha yüksek dirençli metallerin veya plastiklerin veya plastiklerin kaplanmasıyla korozyon direncinin, yumuşak metallerin sert malzemelerle birleştirilmesiyle sertlik ve aşınma direncinin, farklı elyaf yönlenmesine sahip tek tabakaların birleştirilmesiyle de çok yönlü yük taşıma özelliğinin geliştirilmesi mümkündür (Kayrak, 1999).

Ayrıca, uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanı olan sandviç yapılar da tabakalı kompozit malzemelere örnek olarak verilebilir. Sandviç yapılar, yük taşımayarak sadece izolasyon özelliğine sahip olan düşük yoğunluklu bir çekirdek malzemenin alt ve üst yüzeylerine mukavemetli levhaların yapıştırılması ile elde edilirler (URL-1.).

1.1.1.4. Karma (hibrid) kompozit malzemeler

Aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla elyaf çeşidinin bulunması mümkün olabilir. Bu tip kompozitlere karma (hibrid) kompozitler denir. Örneğin, kevlar ucuz ve tok bir elyafıdır ancak basma mukavemeti düşüktür. Grafit ise düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma mukavemeti olan bir elyafıdır. Bu iki elyafın kompozit yapıda bir arada bulunması ile elde edilen hibrid kompozitin tokluğu grafit kompozitten daha iyi, aynı zamanda maliyeti daha düşük ve basma mukavemeti de kevlar elyafı kompozitten daha yüksek olmaktadır (URL-1.; Kayrak, 1999).

1.1.2. Kompozit malzemelerin kullanım alanları

Kompozit malzemeler artık gittikçe artan oranlarda ve yeni sektörlerde kullanılmaya başlanmıştır. Uzun zaman uçak sanayisindeki ihtiyaçların yönlendirdiği kompozit malzeme gelişimleri son dönemde yeni birçok sektörde birçok farklı amaç için kullanılmaktadır (Kayrak, 1999).

1.1.2.1. Havacılık sanayi

Havacılıkta son yıllarda yapılan temel bir atılım metal malzeme yerine kompozit malzeme kullanımı konusudur. Uçak yapısı için malzeme seçiminde önemli bir kriter olan mekanik özelliğin yoğunluğa oranı ile ifade edilen, özgül mekanik özellik değerleri karşılaştırıldığında bor/epoksi ve karbon/epoksi kompozitlerin konvensiyonel malzemelerden önemli farklarla üstün oldukları görülmektedir (URL-1.; Kayrak, 1999).

1.1.2.2. Denizcilik sanayi

Kompozit malzemeler, korozyon direncinin iyi olması, hafifliği, yakıt tasarrufu sağlaması, daha hızlı hareket olanağı sağlaması ve daha konforlu olmasından dolayı deniz endüstrisi uygulamalarında çok çeşitli uygulama alanlarına sahiptir. Kompozit malzemeler, gemi, yat, yolcu feribotları, deniz botları, can simidi vb. ürünlerin üretiminde kullanılırlar. Deniz endüstrisinde kullanılan kompozit malzemeler genellikle cam takviyeli plastik kompozitlerdir (Mazumdar, 2002).

1.1.2.3. Otomotiv endüstrisi

Otomotiv endüstrisinde kullanılan kompozit malzemeler, diğer malzemelere göre daha hafif olmakla birlikte mukavemetleri iyidir. Kompozit malzemelerin hafifliğinden dolayı taşıt araçlarında yakıt tasarrufu sağlar. Kompozit malzemeyle tasarlanan bir araç gideceği yolu diğer malzemelerle tasarlanan araçlara göre daha az yakıt harcar. Otomotiv endüstrisi 2000 yılında kompozit malzemelere 318 milyon sterlin para harcamıştır. Çünkü otomobil pazarı çok pahalıdır, karbon fiber takviyeli kompozit malzemeler yüksek maliyetlerinden dolayı kabul edilmezler. Otomotiv endüstrisi cam fiberlerden ana takviye malzemesi olarak yararlanır (Mazumdar, 2002).

1.1.2.4. Spor araçları

Kompozitler kano, sörf ve yatlar için çok önemli olan malzeme yoğunluğu ve darbe dayanımı konusunda üstün özelliklere sahiptirler. Dağ bisikletleri en iyi katılık/ağırlık oranı ve en düşük ağırlık özellikleri kazanmak için karbon elyafı ile üretilmektedir. Korozyona dayanım, şok emme ve sağlamlık gibi üstün özellikler kazandırmaktadır.

Ayrıca golf sopası, tenis raketi gibi spor ürünleri de ağırlığı düşürmek için karbon elyafı takviyeli kompozit malzemelerden üretilmektedirler (Arıcasoy, 2006).

1.1.2.5. Korozyona dayanıklı ürünler

Su tankı; CTP, Mangal Olukları; CTP, Yeraltı Boruları, Marketlerde Dondurulmuş Gıda Reyonu Kaplaması; CTP, Rasathane Kubbesi; CTP, Çit; CTP, İlan Panoları; CTP (Arıcasoy, 2006).

1.1.2.6. Sağlık

Tekerlekli sandalye; Cam veya Karbon Elyaf takviyeli Polyester, Tıbbi Tetkik Cihazları Dış Muhafazaları (Arıcasoy, 2006).

1.1.2.7. Ulaşım

Traktör Kaporta, Kabin, Oturma Birimi; SMC, Toplu Taşıma Araçları Oturma Birimi; SMC, Konteynır Tabanı; GMT, Otobüs Havalandırma Kanalları, Port Bagaj Parçaları, Gösterge Paneli; CTP, Açık Alan Servis (Golf Arabası) araçları kaporta, tavan; CTP, Teleferik; CTP (Maçka teleferiği), Tren (Arıcasoy, 2006).

1.1.2.8. Müzik aletleri

London College of Furniture ve diğer bazı yerlerde ileri kompozit malzemelerle müzikal enstrümanların yapılması üzerine çalışmalar bulunmaktadır. İleri kompozit malzemelerle yapılan yaylı sazlarda boyun kısmının tellerin gerilmesinden dolayı deforme olması karşılaşılan temel sorunlardandır. Keman; Karbon Fiber+Epoksi, Gitar; Karbon lamine tabakalar arası polimer köpük, Akustik Gitar; Grafit-Epoksi, Çello; Karbon + Epoksi (Arıcasoy, 2006).

1.1.2.9. İnşaat sektörü

Cephe korumaları, tatil evleri, köprüler, büfeler, otobüs durakları, soğuk ava depoları, inşaat kalıpları birer kompozit malzeme uygulamalarıdır. Tasarım esnek ve kolay

olmakta, nakliye ve montajda büyük avantajlar sağlamaktadır. İzolasyon problemi çözülmekte ve bakım giderleri azalmaktadır (URL-1.).

1.1.3. Kompozit malzemelerin özellikleri

Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

1.1.3.1. Kompozit malzemelerin avantajları

Kompozit malzemelerin birçok özelliğinin metallerinkine göre çok farklılık göstermesi, metal malzemelere göre önem kazanmalarını sağlamıştır. Kompozitlerin özgül ağırlıklarının düşük oluşu hafif konstrüksiyonlarda kullanımda büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bunun yanında, fiber takviyeli kompozit malzemelerin korozyona dayanımları, ısı, ses ve elektrik izolasyonu sağlamaları da ilgili kullanım alanları için bir üstünlük sağlamaktadır. Aşağıda bu malzemelerin avantajlı olan ve olmayan yanları kısaca ele alınmıştır. Kompozit malzemelerin dezavantajlı yanlarını ortadan kaldırmaya yönelik teorik çalışmalar yapılmakta olup, bu çalışmaların olumlu sonuçlanması halinde kompozit malzemeler metalik malzemelerin yerini alabilecektir (URL-1.).

Yüksek Mukavemet: Kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemeti birçok metalik malzemeye göre çok daha yüksektir. Ayrıca kalıplama özelliklerinden dolayı kompozitlere istenen yönde ve bölgede gerekli mukavemet verilebilir. Böylece malzemedan tasarruf yapılarak, daha hafif ve ucuz ürünler elde edilir.

Kolay Şekillendirebilme: Büyük ve kompleks parçalar tek işlemle bir parça halinde kaplanabilir. Bu da malzeme ve işçilikten kazanç sağlar.

Elektriksel Özellikler: Uygun malzemelerin seçilmesiyle çok üstün elektriksel özelliklere sahip kompozit ürünler elde edilebilir. Bugün büyük enerji nakil hatlarında kompozitler iyi bir iletken ve gerektiğinde de başka bir yapıda, iyi bir yalıtkan malzemesi olarak kullanılabilirler.

Korozyona ve Kimyasal Etkilere Karşı Mukavemet: Kompozitler, hava etkilerinden, korozyondan ve çoğu kimyasal etkilere zarar görmezler. Bu özellikleri nedeniyle kompozit malzemeler kimyevi madde tankları, boru ve aspiratörler, tekne ve diğer deniz araçları yapımında güvenle kullanılmaktadır. Özellikle korozyona karşı mukavemetli olması, endüstride birçok alanda avantaj sağlamaktadır.

Isıya ve Ateşe Dayanıklılığı: Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşabilen kompozitlerin ısıya dayanıklılık özelliği, yüksek ısı altında kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bazı özel katkı maddeleri ile kompozitlerin ısıya dayanımı artırılabilir.

Kalıcı Renklendirme: Kompozit malzemeye, kalıplama esnasında reçineye ilave edilen pigmentler sayesinde istenen renk verilebilir. Bu işlem ek bir masraf ve işçilik gerektirmez.

Titreşim Sönümlendirme: Kompozit malzemelerde süneklik nedeniyle doğal bir titreşim sönümlendirme ve şok yutabilme özelliği vardır. Çatlak yürümesi olayı da böylece minimize edilmiştir (URL-1.).

1.1.3.2. Kompozit malzemelerin dezavantajları

Yukarıda belirtilen olumlu yanların dışında kompozit malzemelerin uygun olmayan yanları da şu şekilde sıralanabilir:

- Kompozit malzemelerin üretimi zor ve maliyetleri yüksektir.
- Kompozit malzemelerin sıcaklık direnci matris malzemelerine bağlıdır. Genelde matris malzemeler polimerlerdir ve bu malzemelerin sıcaklık dirençleri sınırlıdır.
- Kompozit malzemelerin kimyasal dirençleri matrislere bağlıdır. Ve bu matris malzemeler polimerlerdir. Bazı polimerlerin kimyasal dirençleri düşüktür.
- Kompozit malzemeler nem emerler. Bu da onların boyutsal istikrarını etkiler.
- Kompozitler geri dönüşümü olmayan malzemelerdir.
- Aynı kompozit malzeme için farklı mukavemet değerleri çıkabilir.

Görüldüğü gibi kompozit malzemeler, bazı dezavantajlarına rağmen çelik ve alüminyuma göre birçok avantaja sahiptir. Bu özellikleri ile kompozitler otomobil

gövde ve tamponlarından deniz teknelerine, bina cephe ve panolarından komple banyo ünitelerine, ev eşyalarından tarım araçlarına kadar birçok sanayi kolunda problemleri çözümleyecek bir malzemedir (Yıldızhan, 2008).

1.2. Yapıştırma Bağlantıları

Yapıştırıcı ASTM tarafından, “yüzey teması ile malzemeleri bir arada tutabilen madde” olarak tanımlanmıştır (ASTM D1002, 1983). Yapıştırıcının bir başka tanımı ise, “yüzeylere uygulandığında onları bir arada tutabilen ve ayrılmayı önleyen polimerik malzeme”dir (Adams ve Wake, 1984).

Yapışma ise yapıştırıcı ile malzeme arasındaki çekiciliğe denir (Kinloch, 1987). Metaller mükemmel mekanik ve dayanım özelliklerinden dolayı en fazla tercih edilen malzemelerdir. Hâlbuki metallerin tasarımı büyük oranda korozyondan dolayı sınırlanır. Korozyon, metallerin çevresel faktörler etkisinde bozulması olarak tanımlanabilir (Mercer, 1990). 1945 yılında uçaklar için yapıştırırmalı bağlantı tekniği önemli bir birleştirme metodu olmuştur ve o zamandan itibaren bu yöntemin kullanımının arttığı görülmüştür.

Yapıştırıcı bağlantıların avantajları şunlardır (Edward, 1999; Kaya, 2005; Kayacan, 1988) ;

- Düzgün gerilme dağılımı olur.
- Yapılması kolaydır.
- Kaynak bağlantısındaki gibi yapısal değişim olmaz.
- Uygun olmayan kaynak izleri yoktur.
- Hemen hemen her malzeme birleştirilebilir.
- Sızdırmazlık sağlar.
- Benzer veya farklı özellikteki metaller birleştirilebilir.
- Korozyon sürtünmesi nedeniyle aşınma ortadan kalkar.
- Pim, cıvata, perçin, kelepçe vs. gereksiz hale gelir. Bu nedenle parça adedi azalır.
- İşçiliği az, maliyeti düşüktür.
- En az diğer bağlantılarda olduğu kadar mukavemetlidir.

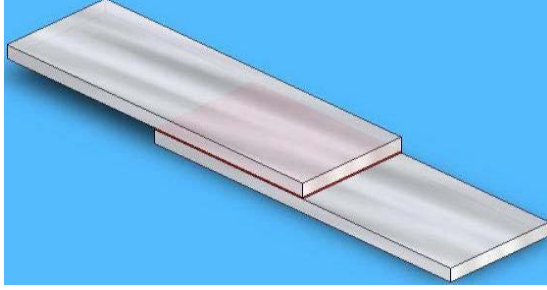
- Perçin veya kaynakta olduğu gibi bağlantının görünümünde istenmeyen görüntüler olmaz. Bu nedenle tasarımcılara ürün görünümünün iyileştirilmesi için birçok olanak sağlar.
- Bağlantı zamanla, vida bağlantısında olduğu gibi, gevşeme olayına maruz kalmaz.
- Bağlantı için, malzeme delinmek zorunda kalmaz ve bu nedenle korozyon ihtimali de azalır.
- İnce metaller rahatlıkla birleştirilebilir.
- Bağlantıdaki boşluklar doldurulur.
- Yorulma dayanımı yüksektir.
- Farklı metaller arasında korozyonu önler.
- Elektriksel yalıtım.
- Bağlama elemanı üretiminde yüksek enerji girişine gerek yoktur.
- Sönümleyici özelliğinden titreşimleri absorbe eder.

Yapıştırıcı bağlantıların dezavantajları ise şöyle sıralanabilir (Edward, 1999; Kaya, 2005) ;

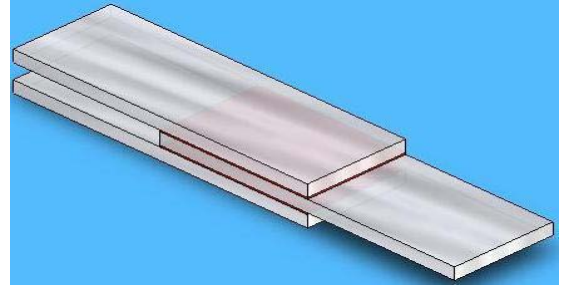
- Bağlantının sağlıklı yapılabilmesi için tecrübeli kişilere ihtiyaç vardır.
- Oldukça uzun bakımlar gerektirir.
- Yüksek ısıya karşı dayanımı düşüktür.
- Yüzey temizliği hassasiyet gerektirir.
- Bağlantı durumuna göre uygun bağlantı olabilmesi için gerekli süre uzun olabilir.
- Bazı durumlarda uygun bağlantı için basınç ve ısı kullanılması gerekebilir.
- Tamir edilme güçlükleri yaşanabilir.
- Bağlantı ara birimleri veya aparatları gerekebilir.
- Bağlantının tahribatsız muayenesi zordur.
- Bağlantı yapılırken uygun çevre şartları gereklidir.
- Düşük sıcaklıklarda bazı ürünlerde kolay kırılabilirlik görülebilir.
- Bükülebilir ürünlerde sürünme dayanımı düşüktür.
- Zehirleyici ve alev alma problemlerini içermektedir.

Şekil 1.2.'de günümüz mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmakta olan bazı tipik yapıştırma bağlantı usulleri gösterilmektedir (Şen, 2001, Engin, 1997, Adams,

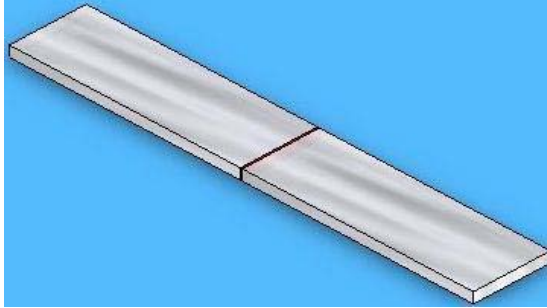
1986, Palancıoğlu vd., 2008). Uygulamalarda, oluşturulan herhangi bir bağlantı verilen yük grubunu taşıyacak şekilde tasarlanmalıdır. Yapıştırma uygulanan malzemelerin çoğu çekme ile yüklenmektedir. Yapıştırıcı tabakası üzerindeki ardışık yükleme, bağlantı geometrisinin bir fonksiyonudur.



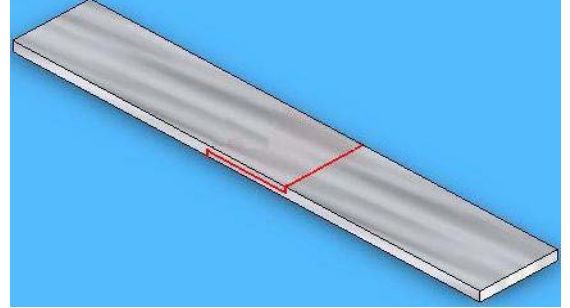
a. Tek bindirmeli bağlantı



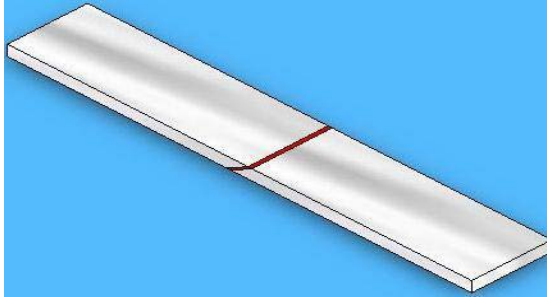
b. Çift bindirmeli bağlantı



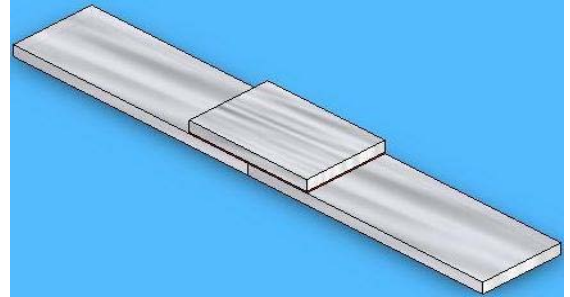
c. Alın birleştirme



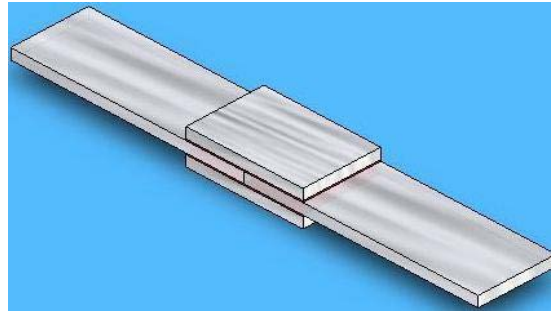
d. Kademeli birleştirme



e. Eğik birleştirme



f. Örtülü alın birleştirme



g. Çift örtülü alın birleştirme

Şekil 1.2. Uygulamada kullanılan genel yapıştırıcı uygulama usulleri

(Şen, 2001, Engin, 1997, Adams, 1986, Palancıoğlu vd., 2008)

1.2.1. Yapıştırıcılar

Aynı veya farklı özelliklere sahip malzemelerin en az iki tanesini birbirine adhezyon kuvvetleri aracılığı ile güçlü bir şekilde bağlayacak ve bu bağlantıyı aynı mukavemet değerini kaybetmeden uzun süre koruyacak yapıya sahip olan bağlantı elemanına yapıştırıcı denir (Çalık, 2008).

Malzemelerin yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmesi, mekanik bağlantı elemanları kullanılmasına kıyasla önemli avantajlar sağlar. Yapıştırıcı yük ve gerilimi tüm birleşim yüzeyine yayarak statik ve dinamik yüklerin düzgün dağılmasını sağlar, gerilimin belli noktalarda yoğunlaşmasını engeller. Dolayısıyla yapıştırıcı ile gerçekleştirilmiş bir bağlantı, bükülme ve titreşime, mekanik yöntemle (örneğin perçin) yapılan bir bağlantıdan daha dayanıklıdır (Loctite, 2005).

Birbirine yapıştırılacak yüzeylerin temiz olması, yapışma işleminden beklenen sonuçlar açısından çok önem arz eder. Yapıştırıcı aynı zamanda birleşim yerinin sızdırmazlığını da sağlar, böylece mekanik yöntemlerle birleştirilmiş parçalarda görülebilen korozyonu engeller. Yapıştırıcı, düzgün olmayan yüzeylerin birleştirilmesini de kolaylaştırır çünkü parça boyutlarında veya şeklinde çok az (veya hiç) değişiklikle daha hafif birleşimler elde edilebilir (Çalık, 2008).

Yapıştırıcı kullanımına karar vermeden önce dikkate alınması gereken bazı ilave faktörler vardır. Örneğin; yapıştırıcı, yapıştırılacak malzemelere uygun olmalı, imalat yöntemiyle uyumlu, hesaplanan çalışma yüklerine ve çalışma ortamına dayanmalıdır. Ayrıca, yüzey hazırlığı, uygulama yöntemi, kürleşme sistemi ve bunların süre ve maliyetleri de dikkate alınmalıdır (Loctite, 1988).

1.2.2. Yapıştırıcı çeşitleri

Yapıştırıcılar; sıvı, katı, macun, bant gibi birçok fiziksel şekilde olabilir. Yapısal ve yapısal olmayan yapıştırma işlemi olarak iki temel yapıştırıcı ile birleştirme tipi vardır. Yapısal yapıştırma tasarım sınırları içinde yapının sürekliliğini kaybetmeden yük taşıyabilen yapıştırıcı ile birleştirme sistemidir. Yapısal yapıştırıcılar, yük taşıyabilen

yapıştırıcılardır. Birleştirilecek elemanlara dayanım katarlar. Bu yapıştırıcılar uzay, sanayi, otomotiv endüstrisi, gemicilik vb. birçok alanda kullanılmaktadır (Özenç, 2007).

Ancak kullanıldıkları yere göre yapıştırıcıları sınıflandırmak yanıltıcı olabilir. Çünkü bazı yapıştırıcılar birden fazla yerde kullanılmaktadır. Örneğin bazı tekstil yapıştırıcıları ağaç islerinde de kullanılmaktadır. Yine metal yapıştırıcılar seramik ve kâğıtların birleştirilmesinde de kullanılabilir. Bu nedenle bu şekilde bir sınıflandırma yanlış olmamakla beraber, yapıştırıcıları sınıflandırmak yerine yapıştırıcıları kullanım yeri olarak tarif etmek daha doğru olur (Kaya, 2004).

Burada özellikle en çok kullanılan yapısal yapıştırıcılar, ana elemanın kimyasal durumuna ve fiziksel durumuna göre şöyle sınıflandırılabilir;

1.2.2.1. Kimyasal durumlarına göre yapıştırıcılar

Epoksiler: Bunlarda bağlama sistemleri, reçine ve mayalanma yapıcı katı maddeleri ihtiva eder. Bir bileşenli epoksiler, yüksek oluşum sıcaklığı gerektirirken, iki-bileşenliler, genellikle oda sıcaklığında oluşurlar. Epoksi ile yüksek mukavemetli yapışmalar elde edilebilir. Çok farklı tipte malzeme birleşmelerinde kullanılabilir (Çalık, 2008).

Siyanoakrilikler: Bu yapıştırıcı, yapısında akriliklerle beraber siyano grubunu da bulundurur. Dikkatsiz dokunulduğunda parmakları da hemen yapıştırdığı için piyasada süper yapıştırıcı da denir. Bu yapıştırıcılar, metal, plastik ve lastik yapıştırmada kullanılmaktadır. Fakat çok iyi yüzey temizliği gerektirir ve iyi bir bağlantı için, yapıştırıcı çok ince sürülmelidir. Yüzey son derece düz olmalı ve hiç boşluk kalmamalıdır. Yapıştırıcının kürleşmesi nem ile reaksiyona girilerek sağlanır. Siyanoakriliklerin maliyeti yüksek olmasına rağmen soyulma mukavemetleri düşüktür (Palancıoğlu, 2011).

Akrilikler: Bunların çoğu, birleştirilecek yüzeylere ilk olarak birincil katalizör sistemler için uygulanır. Sonra yapıştırıcı uygulandığı zaman anaerobik gibi davranır ve oda sıcaklığında kuvvetli bir termoset oluşturur (Isıtıldığında daha fazla). Oldukça hızlı

sertleşirler. Yüksek mukavemet sağlar. Yapışma yüzeylerinin birine reçine, diğerine katalizör tatbik edilerek yapışma gerçekleştirilir (Çalık, 2008).

Anerobikler: En kolay uygulanabilen yapısal yapıştırıcılardan biridir. Yapışma işlemini oksijensizlik ya da havasızlık tetiklediğinden, vaktinden önce işlem gerçekleşmez. Bu yapıştırıcılar akrilik polyester reçine esaslıdır. Yüksek kohesiv dayanım oluşturmalarına rağmen düşük yapıştırıcı dayanımına sahiptirler. Çapta 0,25 mm boşluklara kadar kullanılmaktadır (Özenç, 2007).

Fenolikler: Fenolikler, doğal bileşiklerden elde edilmeyen ilk yapıştırıcıdır. Molekül iskeleti, benzen halkalarının birleştirilmesi ile elde edilmiştir. -60°C gibi düşük sıcaklıklarda oldukça gevrek ve yüksek sıcaklıklarda ısıtılarak kürleşir. Pahalı olup çevresel faktörlere dirençlidir. Ahşap ve tabakalı yapılarda ilk tercih edilen yapıştırıcıdır (Brandon ve Kaplan, 1997).

Poliüretan: Poliüretanlar tek bileşen halinde de satılmasına karşın, çoğunlukla reçine ve katalizör olmak üzere iki bileşen halinde satılmaktadır. Epoksi reçinelerle karşılaştırıldığında çalışma ömrü çok daha sınırlı olup nemli ortamlara karşı daha hassastır. Oda sıcaklığında veya ısıtılarak kürleştirilebilir. Kürleşme esnasında boyut değişiminden kaynaklanan artık gerilmeler pek oluşmaz. Poliüretan yapıştırıcılar, genellikle düşük sıcaklıklarda, epoksi reçinelerden daha iyi mukavemet ve tokluğa sahiptirler. İyi katılık ve elastik özellikler gösterir (Palancıoğlu, 2011).

Silikonlar: Silikon yapıştırıcılar sınırlı koheziv dayanıma sahiptirler. Fakat -60 °C'den 370 °C'ye kadar olağanüstü bir sıcaklık aralığında çalışma şartlarına sahiptir. Zincir yapısı çok esnek olup iyi soyulma mukavemeti gösterir. Metal, cam, lastik ve plastiklerin yapıştırılmasında ve mikro elektronik endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla beraber kısmen pahalıdır (Palancıoğlu, 2011).

1.2.2.2. Fiziksel durumuna göre yapıştırıcılar

Kauçuk yapıştırıcılar: Yüke maruz kalan yapışmalar için uygun değildir. Su ortamının ya da çözülmenin kaybolması ile sertleşir (Çalık, 2008).

Sıcak eriyikler: Sıcak eriyikler polimer esastır. Hafif yüklere maruz kalacak şekilde tasarlanmış yapıları, hızlıca birleştirmek için kullanılırlar (Palancıoğlu, 2011).

PVA'lar (Polyvinyl Acetates): Ağaç ve karton gibi gözenekli malzemelerin yapışması için uygundur. Endüstride oldukça geniş kullanım alanına sahiptirler (Solmaz, 2008).

Çeşitli amaçlar için kullanılan yapıştırıcıların esasını genel olarak ‘‘suni reçineler’’ teşkil eder. Bunların içinde kimyasal bakımdan fenol, epoksi, akril reçineleri, doymamış poliester reçineleri en fazla kullanılanlardır (Gediktaş, 1972).

1.3. Pim Bağlantıları

Pimler, çok eskiden beri bilinen ve kullanılan makine elemanlarıdır. Elemanların temas yüzeyi silindir yüzeyi olup genelde yk bu silindirin eksenine dik yönde etki eder (Babalık, 2009). Pimler, makine parçalarının birbirleri ile çözülebilen bağlantılar yapmasını sağlamaktadır. Pimler, hafif zorlamalı bağlantılarda bağlama elemanı, merkezleme elemanı veya emniyet elemanı olarak kullanılırlar (Can, 2006).

Pimlerle akıldıkları delik arasında toleransta çok az bir boşluk vardır. Hatta bazı hallerde geçiş toleransı uygulanır, küçük bir çekiçle akılırlar ve yuvalarına n gerilmeli olarak yerleştirilirler (Babalık, 2009).

1.4. Karma Bağlantılar

Günümüz malzeme biliminin hızla gelişimi yeni ve çeşitli bağlantı şekilleri ve geometrileri üzerinde yapılan çalışmaların yoğunlaşmasına sebep olmuştur. Çünkü bu bağlantıların minimum hasar meydana getirecek şekilde tasarımı oldukça önemlidir. Özellikle kaynak, perçin ve civata ile yapıştırma kombine edildiğinde, sızdırmaz ve korozyon tehlikesi olmayan, mukavemet özellikleri iyileştirilmiş bağlantılar elde edilmektedir (şen ve Aldaş, 2012).

Yapıştırma-nokta kaynağında iki teknolojinin mevcut olduğu bilinmektedir. Bunlardan birincisinde sacları önce nokta kaynağı yapılır. Daha sonra düşük viskoziteli yapıştırıcı enjektör iğnesine benzeyen özel bir alet ile aralığa püskürtülür ve yapıştırıcı kapiler

kuvvet tesiriyle aralığa yayılır. ikinci usulde ise birleştirilecek saclara önce yapıştırıcı sürülerek yapıştırılır ve sonra da nokta kaynağı uygulanır (Anık, 1986).

Kombine edilmiş yapıştırma ve nokta kaynağı usulü, üretim tekniği ve konstrüksiyon bakımından önemli avantajlara sahiptir. Nokta kaynağına nazaran dayanım bakımından daha iyidir. Bu özellikle dinamik yüklerde daha belirgindir. Korozyon davranışı ve sağlamlığı daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu usulün verimli olduğu yerler, bilhassa hafif konstrüksiyonlar (uçak ve roket imalı), demiryolu ve karayolu taşıtlarının imalidir. Bunların dışında iyi bir mukavemet, korozyona karşı dayanıklılık ve sessiz çalışma istenen özel alanlarda da bu yöntem uygulanabilir (Şen, 2001).

1.5. Sonlu Elemanlar Metodu

Sonlu elemanlar metodu, nümerik çözümleme yöntemi olup, özellikle katı mekaniği, akışkanlar mekaniği, ısı transferi ve titreşim içeren mühendislik problemlerinin bilgisayar yardımıyla çözümünde kullanılan çok gelişmiş sayısal bir metottur. Sonlu elemanlar metoduyla modeller sonsuz sayıda elemanlara bölünür. Bu elemanlar belli noktalardan birbirleriyle bağlanır, buna düğüm denir. Katı modellerde her bir elemandaki yer değiştirmeler doğrudan düğüm noktalarındaki yer değiştirmelerle düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler ise elemanların gerilmeleriyle ilişkilidir (Pençe, 2007).

Sonlu elemanlar metodu, bu düğümlerdeki yer değiştirmeleri çözmeye çalışır. Böylece gerilme yaklaşık olarak uygulanan yüke eşit bulunur. Bu düğüm noktaları mutlaka belli noktalardan hareketsiz bir şekilde sabitlenmelidir. Bilinmeyen sayısının az ya da çok olmasına göre seçilen fonksiyon lineer veya yüksek mertebeden olabilir. Sürekli ortamın alt bölgeleri de aynı karakteristik özelliği gösteren bölgeler olduğundan, bu bölgelere ait alan denklem takımları birleştirildiğinde bütün sistemi ifade eden lineer denklem takımı elde edilir. Denklem takımının çözümü ile sürekli ortamdaki alan değişkenleri sayısal olarak elde edilebilir (Pençe, 2007).

Sonlu elemanlar metodu ve bilgisayarların sanayiye girmesiyle, günümüze kadar ancak pahalı deneysel yöntemlerle incelenebilen birçok makine elemanının mukavemet

analizini kısa bir sürede yapıp, optimum dizaynı gerçekleştirmeyi mümkün kılabilir (Pençe, 2007).

1.5.1. Sonlu elemanlar analizi

Sonlu eleman metodu başlangıçta izotropik malzemeler için geliştirilmiştir ve herhangi bir sonlu eleman paket programının kütüphanesinde böyle malzemeler için elemanlar bulunmaktadır. Kompozit yapıların birçoğu plaka ve kabuk sonlu elemanların kullanımıyla modellenir ve bu elemanlar tabakalı kompozitlere göre düzenlenir. Sonlu elemanlar metodu, elemanların seçimi ve eleman sıklığına son derece bağlı yaklaşık ve doğru çözümler sunabilir. Elemanlara ayırma, gerilme değişim oranının en büyük olduğu yerlerde en sık olmalıdır. Birim eleman boyunun küçülmesi, daha hassas çözüm yapmamızı sağlarken, denklem sayısını arttırdığı için işlem süresini uzatır (Şen, 2007).

Sonlu elemanlar metodunda analiz edilen yapı belirli sayıda elemanlara bölünerek ağ oluşturulur. Her bir eleman birbirine düğüm noktaları ile bağlanır. Analiz şekline ve incelenen yapının 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 metodunun esnekliği sayesinde çok yönlü karmaşık yapılarda diğer problemlerdeki sonuç ilişkisinden daha etkin olarak kullanılır. Sonuçları diğer analitik veya deneysel metotlarla daha iyi karşılaştırılabilir. Sonlu elemanlar metodu ve bilgisayarların sanayiye girmesiyle, günümüze kadar ancak pahalı deneysel yöntemlerle incelenebilen birçok makine elemanının mukavemet analizi kısa bir sürede yapılarak, optimum tasarımı gerçekleştirmek mümkün olmaktadır (Pençe, 2007).

1.5.2. Sonlu elemanlar metodunun uygulanışı

Sonlu elemanlar metodunun temel prensibi öncelikle bir elemana ait sistemin özelliklerini içeren denklemlerin çıkartılıp daha sonra tüm sistemi temsil edecek şekilde eleman denklemlerini birleştirerek sisteme ait lineer denklem takımının elde edilmesidir.

1.5.3. Cismin sonlu elemanlara bölünmesi

Sonlu eleman probleminin çözümünde ilk adım eleman tipinin belirlenmesi ve çözüm bölgesinin elemanlara ayrılmasıdır. Çözüm bölgesinin geometrik yapısı belirlenerek bu geometrik yapıya en uygun elemanlar seçilmelidir. Seçilen elemanların çözüm bölgesini temsil etmeleri oranında elde edilecek neticeler gerçek çözüme yaklaşmış olacaktır (Şencan, 2011).

1.5.4. Sonlu eleman tipleri

Sonlu elemanlar metodunda kullanılan elemanlar boyutlarına göre dört kısma ayrılabilir (Şencan, 2011).

1.5.4.1. Tek boyutlu elemanlar

Bu elemanlar tek boyutlu olarak ifade edilebilen problemlerin çözümünde kullanılır (Şencan, 2011).

1.5.4.2. İki boyutlu elemanlar

İki boyutlu problemlerin çözümünde kullanılırlar. Bu grubun temel elemanı üç düğümlü üçgen elemandır. Üçgen elemanın altı, dokuz ve daha fazla düğüm ihtiva eden çeşitleri de vardır. Düğüm sayısı seçilecek interpolasyon fonksiyonunun derecesine göre belirlenir. İki üçgen elemanın birleşmesiyle meydana gelen dörtgen eleman problemin geometrisine uyum sağladığı ölçüde kullanışlılığı olan bir elemandır. Dört veya daha fazla düğümlü olabilir (Şencan, 2011).

1.5.4.3. Üç boyutlu elemanlar

Bu grupta en temel eleman üçgen piramittir. Bunun dışında dikdörtgenler prizması ve daha genel olarak altı yüzlü elemanlar üç boyutlu problemlerin çözümünde kullanılan eleman tipleridir (Şencan, 2011).

BÖLÜM II

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yapıştırma bağlantıları, iki parçanın yapıştırma görevini yapan ve genellikle sentetik esaslı bir yapıştırıcı desteğiyle çözülemeyecek şekilde birleştirilmesi ile oluşan çözülemeyen bağlantı çeşididir (Shields vd., 1975).

Yapıştırıcı ASTM tarafından yüzey teması ile malzemeleri bir arada tutabilen malzeme olarak tanımlanmıştır (ASTM D907-74 1974). Yapıştırıcı ile birleştirme son yıllarda birçok uygulamada perçin, kaynak ve mekanik bağlama gibi alışılmış metotları tamamlayıcı nitelikte olabileceğini ya da onların yerine kullanılabileceğini göstermiş olan malzeme birleştirme tekniğidir. Yapıştırıcılar, cıvata bağlantılarının ve mil göbek bağlantılarının emniyete alınması, rulmanlı yatakların montaj işlemlerinde, akış borularının sızdırmazlık işlemlerinde, motor bloğu-kapak sızdırmazlıklarının sağlanmasında, sıvı conta olarak döküm parçalarının yapıştırılmasında, boşlukların doldurulmasında ve çeşitli tamirat işlemlerinde büyük oranda kullanılmaktadır (Shields vd., 1975).

Kaynak, perçin, lehim ve benzeri diğer bağlantı şekillerinde olduğu gibi ergime sonucu kristal yapıda değişikliğe sebebiyet vermediği, gerilme yığılmaları meydana getirmedeği ve yapışmanın genellikle birleştirilen parçaların ergime sıcaklıklarının da çok altında yapılabilmesinden dolayı yapıştırıcılar, kendilerine uygun bir gelişme alanı bulmuştur (Çalık, 2008).

Yapıştırıcıların endüstride yaygınlaşmasının bir diğer temel sebebi ise, birbirinden farklı olan malzemelerin birleştirilmesi, düzgün gerilme dağılımlarının olması, diğer bağlantılarda olduğu gibi zamanla gevşeme olmaması, yapısal özelliklerinin değişime uğramaması ve istenilen mukavemet değerlerinin elde edilebilmesidir (Çalık, 2008).

Yapıştırma bağlantılar; son yıllarda dayanıklı bazı yapıştırma malzemelerinin geliştirilmesi, yapısal yapıştırıcılardaki buluşlar ve yapıştırma bağlantılarının mukavemetindeki önemli gelişmelerle beraber otomobil, yarı iletkenler ve uzay teknolojisinde daha çok kullanılır duruma gelmiştir (Nakano ve Sawa, 1992).

Günümüzde, yapıştırıcı ile gerçekleştirilen bindirme bağlantılarının klasik bağlantı elemanları (somun, cıvata, perçin vb.) yerine tercih edildiği bilinmekte ve kullanılmaktadır. Bunun başlıca sebepleri ise, yapıştırıcı bölgesi boyunca gerilmenin düzenli dağılımı, yapıştırıcı bölgesinde yük transferinin başarılı bir şekilde sağlanması, yorulmaya karşı mükemmel direnç, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, yüksek sönüm kabiliyetinden dolayı geliştirilmiş hasar toleransı ve korozyona karşı dirençtir. Diğer taraftan, birbirinden farklı veya aynı elemanların birleştirilmesinde yapıştırıcı kullanılabilir. Bu özelliği ile uçak, otomotiv, uzay, kompozit malzemeler, makina parçaları, mikroelektronik ve inşaat sanayi gibi birçok endüstri alanında kullanılmaktadır (He, 2004; Kaya, 2004).

Yapıştırma bağlantıları maliyetlerinin düşük olması, kaynak, perçin ve diğer bağlantı şekillerinde olduğu gibi ergime sonucu kristal yapıda değişikliğe neden olmaması, gerilme yığılmaları oluşturmaması, ergime sıcaklıkları altında birleşme işleminin oluşması ve ayrıca daha düzgün ve temiz yüzeyler elde edilebilmesi açısından diğer bağlantı türlerine göre avantajlıdır. Ancak bu teknik, bağlantı dayanımının işletme şartlarına bağımlılığı, ayrılma gerilmelerine dayanıksız olması ve bunları önlemek için özel konstrüksiyonlar gerektirmektedir. 200 °C üzerindeki dayanım değerlerinde azalmalar göstermesi bu bağlantının tercih edilmesini olumsuz yönde etkilemektedir (Gediktaş, 1995).

Malzemelerin yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmesi, mekanik bağlantı elemanları kullanılmasına göre önemli avantajlar oluşturur. Yapıştırıcı yük ve gerilimi tüm birleşim yüzeyine yayarak statik ve dinamik yüklerin düzgün dağılmasını sağlar, gerilimin belli noktalarda yoğunlaşmasını engeller. Dolayısıyla yapıştırıcı ile gerçekleştirilmiş bir bağlantı, bükülme ve titreşime, mekanik yöntemle (örneğin perçin) yapılan bir bağlantıdan daha dayanıklı olur (Loctite, 1998).

Tasarımcılar, yapıştırıcıları kompleks sistemleri tasarlamak ve üretmek için tercih etmektedirler. Birleştirmede optimum performansı sağlayabilmek için, yapıştırıcı ve yapışan malzemeler arasındaki ilişki, bağlantının şekli ve boyutları, üretimi ve kalite kontrol işlemi iyi belirlenmelidir. Bu faktörler; yeni bir üretimin tasarım aşamasında dikkate alınması gereken en önemlileridir. Yapıştırıcıların mekanik birleştirmeler yerine direkt olarak kullanılması durumunda, daha çok dikkat edilmelidir (Yazıcı, 2007).

Genel olarak yapıştırıcı birleştirmeli baēlantıların mukavemeti; birleşen parçaların büyüklüēine, kalınlıēına, geometrisine, elastik modülüne, yapıştırıcının kayma modülüne, yapışma uzunluēuna, yapışma yüzeylerinin ön işlemlerine, yapışma işlemine ve yapıştırıcı birleştirmeli baēlantının maruz kalacaēı Őartlara baēlıdır (Solmaz, 2008).

İyi bir yapışma için yapıştırıcı kalınlıēının 0.05 mm - 0.15 mm arasında olması beklenirken yapışma uzunluēu problemin durumuna göre deēiřiklik gösterebilir. Birbirine yapıştırılacak yüzeylerin temiz olması, yapışma işleminden beklenen sonuçlar açısından çok önemlidir. Yapıştırıcı aynı zamanda birleşim yerinin sızdırmazlıēını da saēlar, böylece mekanik yöntemlerle birleştirilmiş parçalarda görülebilen korozyonu önler. Yapıştırıcı, düzgün olmayan yüzeylerin birleştirilmesini de kolaylaştırır çünkü parça boyutlarında veya şeklinde çok az (veya hiç) deēiřiklikle daha hafif birleşimler elde edilebilir (Çalık, 2008).

Yapıştırıcı kullanımına karar vermeden önce dikkate alınması gereken bazı ilave faktörler bulunmaktadır. Örneēin; yapıştırıcı, yapıştırılacak malzemelere uygun olmalı, imalat yöntemiyle uyuşmalı, hesaplanan çalışma yüklerine ve çalışma ortamına dayanmalıdır. Ayrıca, yüzey hazırlıēı, uygulama yöntemi, kürleşme sistemi ve bunların süre ve maliyetleri de dikkate alınmalıdır (Çalık, 2008).

Yapışan malzeme ile yapıştırıcı ara yüzeyindeki süreksiz yapı ve ortamın geometrisinin karmaşıklıēı, yapıştırıcı ile birleştirilmiş baēlantıların analizini zorlaştırır. Bu nedenle yapıştırıcı ile birleştirilmiş baēlantılar birçok bilim insanı ve araştırmacının bu alana yönelmesine sebep olmuştur. Dolayısıyla bu alanda yapılan teorik ve deneysel çalışmalar oldukça fazladır. Yapıştırıcıların metal yüzeylerine yapışma ve hasar mekanizmaları üzerine yaygın çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalardaki temel amaç, baēlantılar tarafından taşınan yükün şiddetinin tespit edilmesidir (Adin, 2007).

Yapıştırıcı birleştirmeli baēlantıların analitik analizinin ilk çalışmaları Volkersen (1938) tarafından yapılmıştır. Volkersen çalışmasında, tek bindirme baēlantısında yapıştırıcı tabakasındaki kayma gerilmesi daēılımını, yapıştırılan iki malzemenin çok direngen olduēunu ve çekme yükü altında deforme olduēunu, yüklemeden dolayı eēilmediēini kabul ederek açıklamıştır.

Goland ve Reissner (1944), yapıştırıcı tabakasındaki bindirme uzunluğuna paralel kayma gerilmesi ile kayma gerilmesi düzlemine dik olan normal gerilmeyi yırtılma gerilmeleri olarak isimlendirmişlerdir. Bu çalışma, yapıştırıcı bağlı bindirme bağlantılara ait çok sayıda çalışmaya referans olmuştur. Birleştirilen levhaların genişliği kalınlıklarına göre çok fazla olduğundan problem düzlem zorlanma problemi olarak incelenmiştir. Çalışmada birleştirilen levhaların her ikisi de izotropik lineer elastik malzeme olarak düşünülmüştür ve bağlantı çekme kuvvetine maruzdur.

Demarkless (1955) ve Sazhin (1964), Golan ve Reissner'in teorisini ve Volkersen teorisini kullanarak benzer çalışmalar yapmışlar, Segerlind (1968) ise bir çift bindirme bağlantısında kayma gerilmelerinde bağlantı boyunun etkisini tespit ederek optimum bir bağlantı tasarımının bulunduğunu ortaya koymuştur.

Standen (1963) tarafından yapılan çalışmada tek bindirme yapıştırma bağlantılarda gerilme analizi ele alınmıştır. Bu çalışmada problem iki parçaya ayrılmıştır: a) Bağlantı kenarlarında yüklerin belirlenmesi, b) Uygulanan yükler dolayısıyla oluşan gerilmelerin belirlenmesi. Çözümler iki sınırlama altında yapılmıştır: Yapıştırıcı tabakasının kalınlığı bağlantının esnekliğine etkisi ihmal edilebilecek kadar incedir. İkincisi, bağlantı esnekliği esas itibarıyla yapıştırıcı tabakasından kaynaklanmaktadır. Her iki durumda, yapıştırıcı tabakasındaki kayma gerilmesi ile yapıştırıcı tabakasında bağlantı düzlemine dik doğrultudaki normal gerilme için ifadeler elde edilmiştir.

Goland ve Reissner'in teorisindeki temel sınırlamalar Benson (1969) tarafından gösterilmiştir. Benson, teorisin eğilme moment faktörünün türetilmesinde bindirme bölgesinin dönmesine izin verdiğini ancak bu dönme olayının olmadığını kabul ederek bağlantıdaki iç gerilmeleri türettiğini ve bunun düşük yükler için mümkün olmadığını göstermiştir. Benson'un çözümü bu bakımdan yapıştırıcı kayma ve çekme gerilmelerini tamamen doğru olarak vermektedir.

Wah (1973), anizotropik malzemelerin yapıştırıcı ile bağlandığı bir bindirme bağlantısındaki gerilme dağılımını, bağlantıyı düzlem şekil değiştirme hali kabulü yapılabilecek kadar geniş alarak analiz etmiş ve yapıştırılan malzemelerdeki eğilme momentlerinin yapıştırıcı tabakasının bulunmadığı uç bölgelerinde en yüksek değere ulaştığını göstermiştir.

Hart-Smith (1973) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Goland ve Reissner'in teorisi biraz daha geliştirilmiş ve Carpenter (1980), yapıştırıcı kalınlığı boyunca gerilme değişimlerini araştırmak için yapıştırıcılarda iki boyutlu gerilme durumunu göz önüne aldıkları çalışmalarında kalınlık boyunca kayma gerilmesinin lineer değişken, soyulma gerilmesinin ise sabit olduğunu ortaya koyarak Goland ve Reissner'in teorisini geliştirmişlerdir. Oplinger (1994), ise bindirme kısmının yüksek yer değiştirmelerine izin vererek bu teoriyi daha da geliştirmiştir.

Chang ve Muki (1974) de yapıştırıcı kullanılan bir bindirme bağlantısının modellenmesinde çekme yükünün statik olarak iletilmesi ile Muki ve Stenberg'in çalışmasını göz önüne alarak çalışmış ve yapıştırıcı tabakasında meydana gelen normal gerilmeler ve kayma gerilmeleri ile yapıştırıcı tabakasının uçlarındaki gerilme yoğunluğu faktörleri için nümerik sonuçlar sunmuştur. Ayrıca yapıştırıcı hattının uçlarında yapıştırılan malzemelerin geometrisinin etkilerinin çok önemli olduğunu göstermiştir.

Adams ve Peppiatt (1977), eksenel ve burulma yüklerine maruz yapıştırıcı bağlı tübüler bindirme bağlantılarında doğan gerilmeleri, eksenel simetrik quadratik izoparametrik sonlu elemanlar kullanarak analiz etmiştir. Adams ve Peppiatt bu çalışmasında ayrıca burulma yüklemesi için kapalı şekilde ve sonlu eleman çözümleri yapmış, bu çözümlerden elde edilen sayısal sonuçları birbiriyle karşılaştırmışlardır.

Guess ve diğ. (1977), iki farklı yapıştırıcı ve farklı kalınlıklarda yapıştırılan malzeme kullanarak ürettikleri yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantılarının kayma dayanımları üzerinde analitik ve deneysel olarak çalışmışlardır. İnce numuneler üzerinde yaptıkları analizlerde kayma dayanımlarının çok düşük ve bu tipteki numunelerin hasarlarında soyulma gerilmesinin rolünün büyük olduğunu göstermişlerdir.

Renton ve Vinton (1977), yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantılarda daha gerçekçi sonuçların alınabilmesi için kayma ve normal gerilmeleri dikkate alarak modellenmesi gerektiğini açıklayarak, bu konudaki ilk çalışmayı yapmışlardır.

Ojalvo ve Idinoff (1978), yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek bindirme bağlantılarındaki gerilme dağılımında yapıştırıcı kalınlığının etkisini araştırmışlardır. Kayma gerilmesi denklemlerinde bazı katsayıları düzenleyerek yapıştırıcıda oluğa soyulma gerilmesi için diferansiyel denklemde ve sınır şartlarında tamamen yeni terimler bulmuşlardır. Yapıştırıcı kalınlığı ne kadar az olursa olsun, yapıştırıcı kalınlığı boyunca kayma gerilmesi dağılımının tahmin edilebildiğini belirtmişlerdir.

Sawyer ve Cooper (1981), uygulanan düzlem içi kuvvetin tesir hattı ve yapıştırıcı hattı arasındaki açığı azaltabilecek şekilde önceden şekillendirilmesinin yapıştırılan malzemelerin tek bindirme bağlantısındaki yük iletimine katkısını incelemişlerdir. Yük uygulanınca yapıştırılan malzeme deforme olduğu için eğilme momentinin meydana gelmesi ve momentin uygulanan kuvvete bağımlı olması sebebiyle de problemin geometrik olarak lineer olmayan bir özelliğe sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

Kline (1982), yapıştırıcı ile birleştirmede gerilme dağılımı üzerine yapıştırıcı kalınlığının etkisini incelemiştir. Kalınlık boyunca gerilmelerin değişimini lineer kabul ederek, kalınlık etkisini de içeren yapıştırıcı tabakasındaki değişken bağlantı parametrelerinin etkisini araştırmıştır.

Zienkiewicz ve Taylor (1991), Aivazzadeh ve arkadaşlarının analizini biraz geliştirmişlerdir. Çok sık eleman ağları ile sadece yer değiştirme elemanı iyi sonuçlar verirken, tam karışık elemanın biraz düzensiz sonuçlar verdiğini, ama ara yüzey elemanının çok daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Sonuçlar, yapıştırıcının lineer olmayan özelliklerini modelleyebilen lineer olmayan sonlu eleman metodu ve sonlu farklar metodu gibi nümerik teknikler kullanılarak bulunmuşlardır.

Kaya (1991), sonlu elemanlar yöntemi kullanarak çekme kuvveti altında tek ve çift yapıştırıcı ile birleştirilmiş bindirmelerde gerilme analizini araştırmıştır. Çalışmasında, gerilme dağılımı üzerine farklı parametrelerin etkilerini bulmak için ilk olarak yapıştırıcı kalınlığı dikkate alınmış, ikinci olarak ise benzer ve farklı yapışan malzemeler için yapıştırıcı kalınlığı dikkate alınmamıştır. Model statik olarak ele alınmış ve daha sonra çalıştığı dinamik çalışmaların temelini oluşturmuştur.

Shi ve Cheng (1993) eksenel yüke maruz, yapıştırılanların farklı malzeme ve kalınlıklara sahip olduğu yapıştırma silindirik bağlantıyı incelemişlerdir. Minimum komplementer enerji prensibi kullanılarak kapalı çözüm yapılmıştır. Elde edilen çözüm bütün sınır şartlarını, yapıştırıcı ve yapıştırılanları ayıran yüzeylerde süreklilik şartlarını sağlamakla beraber bir yaklaşık çözümdür.

Kinloch (1997) tarafından hazırlanan “Mühendislikte Yapıştırıcılar” adlı yayında, yapıştırıcıların kullanımlarındaki gelişmeler, otomotiv ve uçak sanayisinde kompozit malzeme yapımında kullanılmaları üzerinde durulmuştur. Yapıştırıcıların kullanılma nedenleri ve kullanımını kısıtlayan faktörler belirtilmiş, konstrüktif olarak dikkat edilmesi gereken kurallar üzerinde durulmuş adhezyon, kohezyon ve curing (sertleşme) olayları açıklanmaya çalışılmıştır. Çevresel faktörlerin yapıştırma bağlantısının nihai ömrü üzerindeki etkilerinin önemi açıklanmıştır.

Pfeiffer ve Shakal (1998), bağlantı mukavemeti üzerine yapıştırıcı alanının etkisini araştırmak için yapılan deneysel bir çalışmada yapıştırma alanının artmasıyla bağlantının kesme mukavemetinin önemli ölçüde azaldığı belirlenmiş bu ise küçük alanlarda oluşan deformasyon direncinin büyük alanlarda oluşan deformasyon dirençlerinden daha çok olmasına bağlanmıştır.

Kompozitlerin yapıştırma bağlantıları üzerine Mazumdar ve Mallick (1998) tarafından 1998 yılında gerçekleştirilen deneysel bir çalışmada, epoksi yapıştırıcı ile birleştirilen iki kompozit malzemenin statik kopma yükü ve yorulma dayanımları araştırılmış ve kopma yükünün yapıştırıcı kalınlığı kadar bindirme uzunluğuna da bağlı olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Pandey ve arkadaşları (1999) tarafından, viskoplastisite göz önüne alınarak gerçekleştirilen yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların non-lineer analizinde, yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların mukavemeti üzerine yapıştırma boyu, yapıştırılan malzemenin açılı durumları ve yapıştırıcı kalınlığı dikkate alınmıştır. Yapıştırma uzunluğunun artmasıyla bağlantıda oluşan maksimum kayma ve soyulma gerilmelerinin azaldığı görülmüştür.

Şen (2001), lazer kaynak ve yapıştırıcının birlikte kullanıldığı karma bağlantılar üzerine yaptığı çalışma, ısı analizi ve elasto-plastik gerilme analizi olmak üzere iki aşamadan oluşmuştur. İlk aşamada, epiksin türü bir yapıştırıcı kullanılarak yapıştırılmış çok ince metal plakaların, lazer nokta kaynağı esnasında meydana gelen sıcaklık dağılımı ve delik şeklinin oluşumu incelenmiştir. İkinci aşamada, lazer nokta kaynağı yapılmış olan bu bindirme bağlantısının elasto-plastik gerilme analizi yapılmıştır.

Şekercioğlu (2001) yaptığı çalışmada, silindirik yapıştırma bağlantılarının dinamik yükler altındaki davranışlarının incelenmesi konusunda çalışmıştır. Çalışma sonucunda, yapıştırma boşluğunun artışıyla bağlantı mukavemetinde önemli azalmaların, yapıştırma boşluğunun azalmasıyla bağlantı mukavemetinde önemli ölçüde artışların meydana geldiği gözlenmiştir.

Goncalves ve arkadaşları (2002), yapıştırıcı birleştirmeli bağlantıların gerilme analizi için 3-boyutlu bir sonlu elemanlar modeli geliştirmişlerdir. Geometrik ve malzeme non-lineerliğinin yanı sıra yapıştırıcı tabaka kalınlığı boyunca gerilme değişimini de dikkate almışlardır. Çalışmalarında, plastik deformasyondan dolayı malzeme non-lineerliğinin kritik bölgede gerilme yoğunlaşmasında bir azalışa sebep olduğunu bulmuşlardır.

Yang vd. (2003), değişken kayma yüküne maruz kalan yapıştırıcı yüzeylerin kapalı şekilde gerilme analizi incelenmiş ve sonlu eleman metodu kullanılarak çözüm yapılmıştır.

Apalak ve arkadaşları (2003), silindirik tek tesirli bindirme bağlantısı üzerinde sonlu elemanlar yöntemiyle yaptıkları diğer bir çalışmada, yapıştırıcı tabakasının serbest uçlarında ciddi gerilme yığılmaları ve bunun sonucu olarak silindirik tek tesirli bindirme bağlantısında önemli ölçüde deformasyonların meydana geldiğini göstermişler. Aynı zamanda bindirme uzunluğundaki artışın, yapıştırıcı tabakasının en yüksek gerilme değerlerinde düşüşe neden olduğunu belirtmişlerdir.

Ceylan (2005) yaptığı çalışmada, değişik yüklemelere maruz, fiber takviyeli kompozit malzemelerin çeşitli (civata bağlantılı, yapıştırma bağlantılı ve hem civatalı hem de yapıştırılmalı) bindirme bağlantılarındaki gerilme durumlarının, yapıştırıcı cinsi ve

kalınlığı değiştirilerek ayrı ayrı sonlu elemanlar metodu kullanarak nümerik çözümler oluşturmuştur.

Colombi ve Poggi (2006), yapıştırıcı ile takviye edilmiş cıvata bağlantılarında oluğa zararın ortadan kalkması hedeflenmiş ve bunu kesinleştirmek amacı ile sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Etkili olan kuvvetlerin hangi bölgeleri etkilediği sonlu elemanlar metodu kullanılarak incelenmiştir. Karşılaştırılan iki tür yapıştırıcıdan, birinin gevrek diğlerinin ise daha kararlı bir yapı sergilediği görülmüştür.

Taib ve arkadaşları (2006), sırasıyla basit bindirme bağlantısı ve ucu çökertilmiş bindirme bağlantısı için iki farklı yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantı konfügrasyonlarının sonlu elemanlar analizini çalışmışlardır. Gerçekleştirdikleri deneysel analizler sonucunda yapıştırıcı tabakayı non-lineer olarak kabul ederken yapışan malzemelerin davranışının ise lineer elastik olduğunu kabul etmişlerdir. Sonuç olarak sonlu elemanlar modeli ile doğru tespit edilen yüklerin altında ucu çökertilmiş bağlantılarda ayırt edici deformasyonlar gözlenmiştir.

Silva ve Adams (2007), karma bir yapıştırıcı bağlantısını incelemişlerdir. Deneyler titanyum/titanyum ve titanyum/kompozit çift bindirme bağlantıları için yapılmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda; benzer olmayan levhaların yapıştırıcı ile birleştirilmesinde iki yapıştırıcının karışımından oluşan yapıştırıcının performansının, yüksek sıcaklıkta kullanılan bir yapıştırıcının tek başına kullanılmasından daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmıştır.

Demirgen (2007) yaptığı çalışmasında, 15 mm, 20 mm, 30 mm ve 40 mm farklı bindirme uzunluklarında galvaniz kaplı mikro alaşımlı çelik plakaların yapıştırma performansını deneysel ve sonlu elemanlar metodu kullanmak suretiyle nümerik olarak incelemiştir. Bindirme uzunluğu arttıkça yapıştırılmış plakaların mukavemetinde artış gözlemiştir.

Çalık (2008) tarafından yapılan çalışmada, birleşmede yapıştırıcı kullanımının avantajları, yapışma ile birleşmenin dezavantajları incelenmiştir. Bu çalışmada yapıştırmada oluğa gerilmeye; yapıştırılan levha kalınlıklarının, yapıştırıcı kalınlığının, yapıştırıcı ve yapıştırılan levhaların elastik modüllerinin etkidiği görülmüştür.

Solmaz (2008) yaptığı çalışmada, farklı bindirme uzunluklarında ve farklı uç açılarında biri yüksek diğeri düşük dayanımlı iki yapıştırıcı kullanarak birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantılarının eksenel çekme yükü altındaki mekanik davranışları incelemiştir.

Şen ve arkadaşları (2008-a), yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek bindirme bağlantılarının ısı gerilme analizini yapmışlardır. Bağlantıya, üniform sıcaklık uygulanmasından kaynaklanan ısı gerilme dağılımlarını hesaplamak için sonlu elemanlar metodu (FEM) kullanılmıştır. Isıl gerilme dağılımları, alüminyum ve çelik gibi farklı ince metal levhalar için analiz edilmiştir.

Şen ve arkadaşları (2008-b), yaptıkları çalışmada çift örtü kullanılarak yapıştırılmış metal levhalarda ısı gerilme analizlerini sonlu elemanlar metodunu kullanarak araştırmışlardır. Yapılan çalışmada ısı gerilme dağılımlarının ve değerlerinin yapıştırıcı kalınlığının değişimi ile önemli ölçüde değiştiği sonucuna varmışlardır.

Campilho ve diğerleri (2009), üç boyutlu Carbon-epoxy kompozitlerin tek ve çift takviyeli yapıştırma bağlantılarının gerilme davranışlarını deneysel ve nümerik olarak çalışmışlardır. Deneysel olarak yapılan çalışmada, farklı bindirme uzunlukları ve kapak kalınlıklarının hasar modu, rijitlik ve hasar yüküne etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmada, en iyi sonuçlar 15 mm bindirme uzunluğundaki çift takviyeli kapaklar üzerinde oluşmuştur.

Şen ve arkadaşları (2010), çift örtü kullanarak yapıştırılmış metal levhalarda meydana gelen ısı gerilmelerin araştırıldığı çalışmada sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda ya pim bağlantısı ya da yapıştırıcı bağlantısı ve değişik geometrilerin ve yükleme şartlarının araştırıldığı görülmektedir. Bu çalışmada, pim bağlantısı ve yapıştırıcı bağlantısı birleştirilerek, karma bir bağlantı elde edilmiştir. Bu karma bağlantı üzerine hem çekme yükü hem de üniform sıcaklık yükü uygulanmıştır. Çekme yükü sabit tutularak, farklı üniform sıcaklıklar uygulanmış ve sıcaklık değişiminin gerilmeler üzerine etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

Şen ve Aldaş (2010), yaptıkları çalışmada sıcaklık değişiminin yapıştırıcı ve pimli alüminyum plakalardaki gerilmeler üzerine etkisi sonlu elemanlar metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışmada, karma bağlantı uygulanmış, sadece alüminyum malzemeden üretilmiş ince plakaların farklı uniform sıcaklıklar altındaki ısı gerilmeleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada, kompozit ve alüminyum plaka ile oluşturulan karma bağlantı yapılmıştır. Pimli ve yapıştırıcıli bağlantıdan karma bağlantı oluşturulmuştur. Bağlantıya hem çekme yükü hem de ısı yükü aynı anda uygulanmıştır. Çalışmanın amacı, artan sıcaklık değişiminin, karma bağlantıda meydana gelen gerilmeler üzerindeki etkisinin araştırılmasıdır.

Çitil (2010) tarafından yapılan çalışmada, özellikle uçak ve otomotiv sektöründe gerek parçaların birleştirilmesinde ve gerekse hasara uğramış parçaların tamirinde kullanılan çift takviyeli yapıştırma bağlantısının gerilme analizi sonlu eleman modeli kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlarda yapıştırılan malzemenin alın altına yapıştırılmasının, parça ve kapak kalınlığının ve bindirme uzunluğunun hasar yükü ve gerilme dağılımı üzerine önemli etkileri olduğu görülmüştür.

Ayrıca literatürde diğer yapıştırma bağlantı tiplerine ait birçok çalışma yapılmıştır. Tek bindirme yapıştırma bağlantıları analitik (Rosettos ve Zang, 1993, Yüceoğlu ve Updike, 1980, Chang ve Muki, 1994) sonlu eleman (Roy ve Reddy, 1988, Wooley ve Carver, 1971, Chang, 1990, Apalak ve Güneş, 2002, Tın, 2006, Şen ve arkadaşları, 2008) ve deneysel (Clark ve Megregor, 1993, Post ve Han ve Gerstle, 1994, Mazumdar ve Mallick, 1998, Pfeiffer ve Shikal, 1998) gerilme analizleri yapılmıştır. Çift bindirme yapıştırma bağlantılar üzerine çok sayıda analitik (Yüceoğlu ve Updike, 1980, Jen ve Hsu, 1991, Aivazzadeh ve arkadaşları, 1987, Solmaz ve Turgut, 2009, Aldaş ve arkadaşları, 2009) ve sonlu eleman (Chang, 1990) çalışmaları, alın bağlantılar üzerine analitik ve sonlu eleman analizleri (Chen ve Cheng, 1990) basamaklı bindirme bağlantılar üzerine de analitik sonlu eleman ve deneysel gerilme analizi çalışmaları (Erdogan ve Ratwani, 1971, Mori ve Sugibayashi, 1992) burulma etkisinde silindirik yapıştırma bağlantılar üzerine de analitik ve sonlu eleman çalışmaları yapılmıştır (Ceylan, 2005; Adin, 2007; Özenç, 2007; Palancıoğlu, 2011).

BÖLÜM III

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Giriş

Kaynak özetleri bölümünden (Bölüm 2) görüldüğü üzere, pim ve yapıştırıcı bağlantıları ile ilgili çeşitli çalışmalar yapıldığı anlaşılmaktadır. Son zamanlarda ise bu iki bağlantı tipinin her birinin sahip olduğu dezavantajları ortadan kaldırmak ve aynı zamanda bu iki bağlantı türünün avantajlarından birlikte yararlanmak amacıyla karma bağlantıları üzerinde çalışmaların başladığı görülmektedir.

3.2. Karma Bağlantının Tanımlanması

Bu çalışmada kompozit iki plakanın yapıştırıldığı ve paralel çift pim bağlantısı ile birleştirildiği bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan karma bağlantı Şekil 3.1.'de şematik olarak gösterilmiştir. Bu şekilden görüldüğü üzere, kompozit plakalar arasında bir yapıştırıcı tabakası mevcuttur. Ayrıca iki adet paralel pim kullanılmak suretiyle karma bağlantının oluşturulması sağlanmıştır.

Şekil 3.1.'de şematik olarak gösterilen karma bağlantının boyutları şu şekilde tanımlanabilir;

Alt ve üst kompozit plakaların uzunlukları; $l_{alt} = l_{üst} = 120 \text{ mm}$

Alt ve üst kompozit plakaların genişlikleri; $w_{alt} = w_{üst} = 30 \text{ mm}$

Pim çapları; $D_1 = D_2 = 5 \text{ mm}$

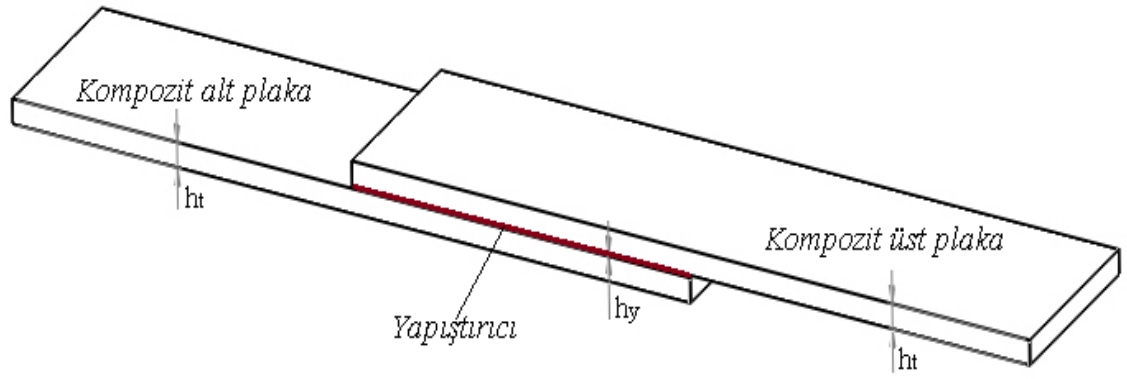
Yapıştırıcı plaka uzunluğu; $l_y = 60 \text{ mm}$

Üst plaka serbest ucunun paralel pimlerin merkezine uzaklığı; $E = 30 \text{ mm}$

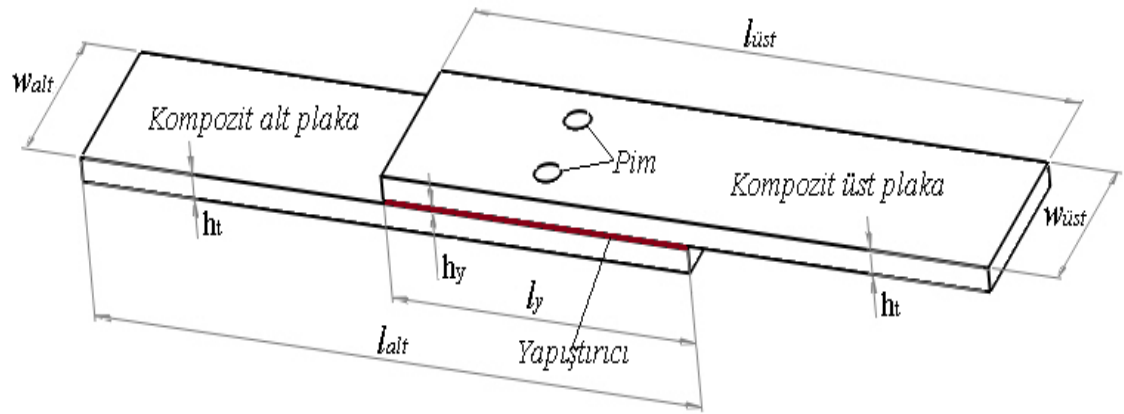
Paralel pimlerin merkezleri arasındaki mesafe; $K = 15 \text{ mm}$

Yapıştırıcı tabakasının kalınlığı; $h_y = 0,2 \text{ mm}$

Kompozit plakaların her birinin kalınlığı; $h_{alt} = h_{üst} = h_t = 4 \text{ mm}$



a. Sadece yapıştırıcı bağlantısının şematik görünümü



b. Yapıştırıcı ve pimli bağlantının şematik görünümü

Şekil 3.1. Yapıştırıcılı ve paralel çift pim uygulanmış karma bağlantının şematik görünümü

3.3. Tasarımda Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Tasarımda, alt ve üst levha olarak mekanik özellikleri Çizelge 3.1.'de verilen kompozit malzeme kullanılmıştır (Sayman, 2003). Bu kompozit malzemenin üretimi ve mekanik özelliklerinin deneysel olarak ölçülmesi, Sayman (2003) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bahsedilen çalışmaya göre, kompozit malzeme alüminyum metal matrise sahiptir ve çelik tellerle takviye edilmiştir.

Çizelge 3.1. Kompozit malzemenin mekanik özellikleri (Sayman, 2003)

E_1 (MPa)	E_2 (MPa)	G_{12} (MPa)	ν_{12}	α_1 ($1/^\circ\text{C}$)	α_2 ($1/^\circ\text{C}$)
85000	74000	30000	0,29	$18.5 \cdot 10^{-6}$	21.10^{-6}

Yapıştırıcı olarak epoksi türü bir yapıştırıcı kullanıldığı varsayılmıştır. Epoksi yapıştırıcının mekanik özellikleri Tablo 3.2.'de verilmiştir (Apalak vd., 2003).

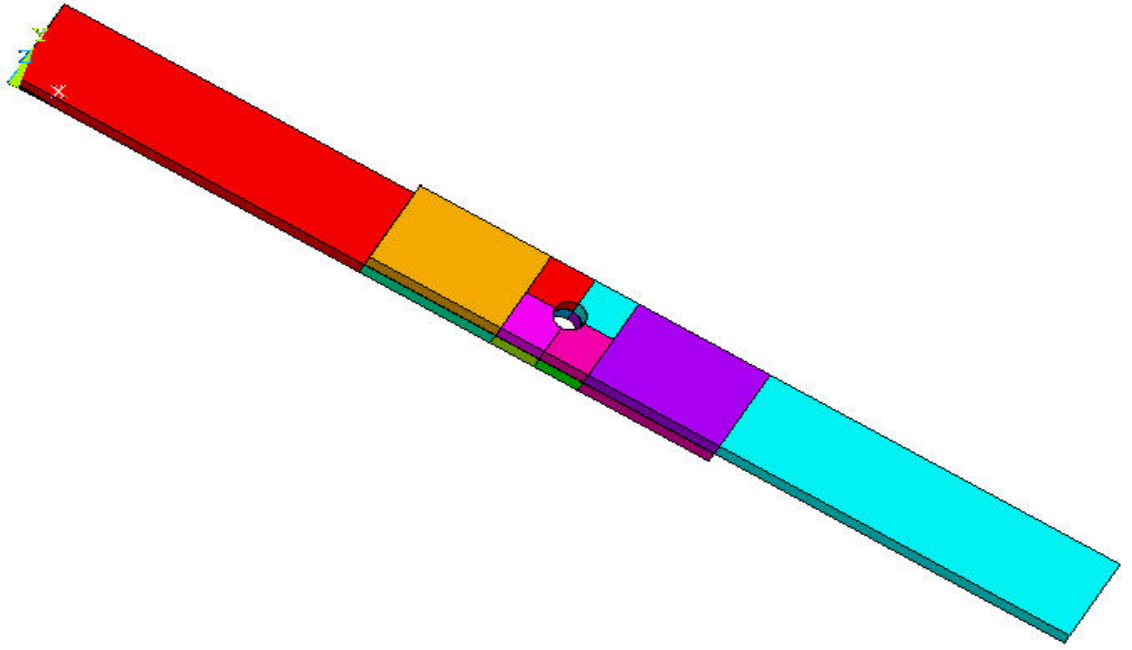
Çizelge 3.2. Epoksi Yapıştırıcının mekanik özellikleri (Apalak vd., 2003)

	E(MPa)	N	$\alpha_1(1/^\circ\text{C})$	$\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}$
Epoksi	3300	0.30	43.3	1264

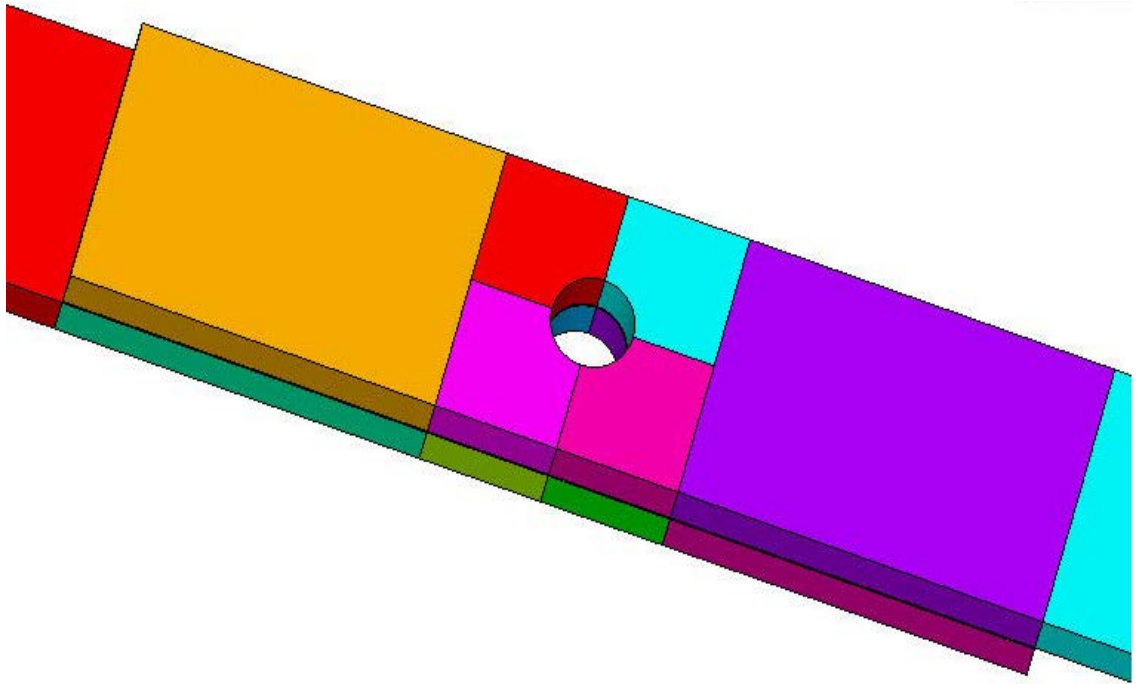
3.4. Sonlu Elemanlar Modeli

Karma bağlantının modellenmesi ve analizinde son yıllarda birçok farklı alanda ve çok değişik problemlerin çözümünde yaygın bir şekilde tercih edilen ANSYS sonlu elemanlar yazılımından yararlanılmıştır (ANSYS 14.0). Bilindiği üzere, ANSYS yazılımı sonlu elemanlar metodunu kullanarak çözüm gerçekleştirmektedir. ANSYS yazılımı, sahip olduğu ara yüzler ile modelleme sürecinde ve çözüm aşamasında ve ayrıca elde edilen bulguların farklı şekillerde sunulmasına imkân vermesiyle tasarımcılar için oldukça iyi bir çalışma olanağı sunmaktadır.

Çalışmada ilk adım olarak, yapıştırılmış ve paralel çift pim uygulanmış karma bağlantının üç boyutlu katı modeli oluşturulmuştur. Karma bağlantının y-eksenine göre simetrik olmasından dolayı Şekil 3.2.'de görüldüğü şekilde simetri ekseninden ayrılmış olarak yarım model elde edilmiştir. Bu nedenle simetri sınır artı olarak $u_y=0$ sınır şartı bağlantının ilgili yüzey alanına uygulanmıştır. Bundaki temel amaç, model üzerindeki eleman ve düğüm noktası sayısının önemli oranda azaltılması ve bunun neticesinde de çözüm süresinin kısılması ve daha küçük boyutlu olarak çözüm dosyalarının oluşturulmasıdır.



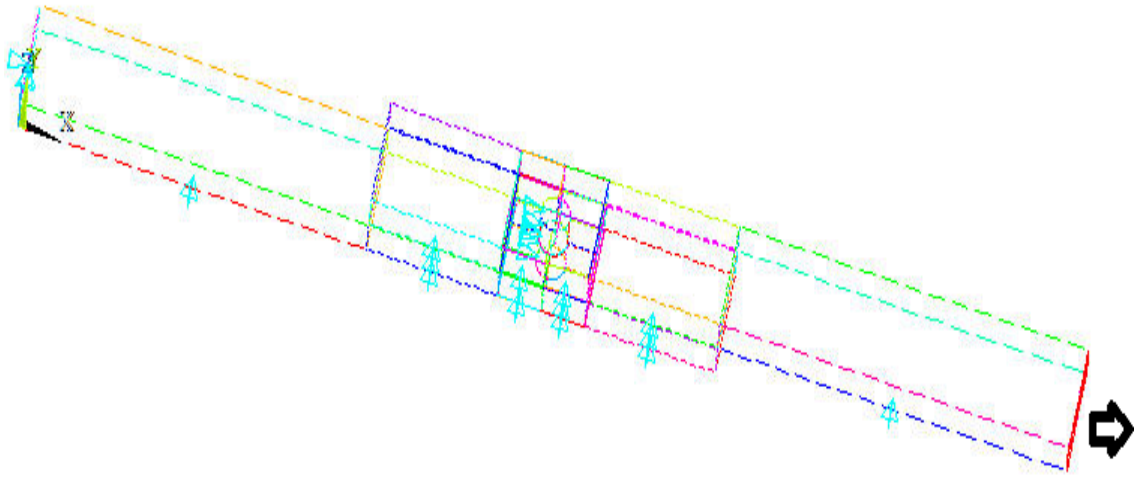
a) Üç boyutlu katı model



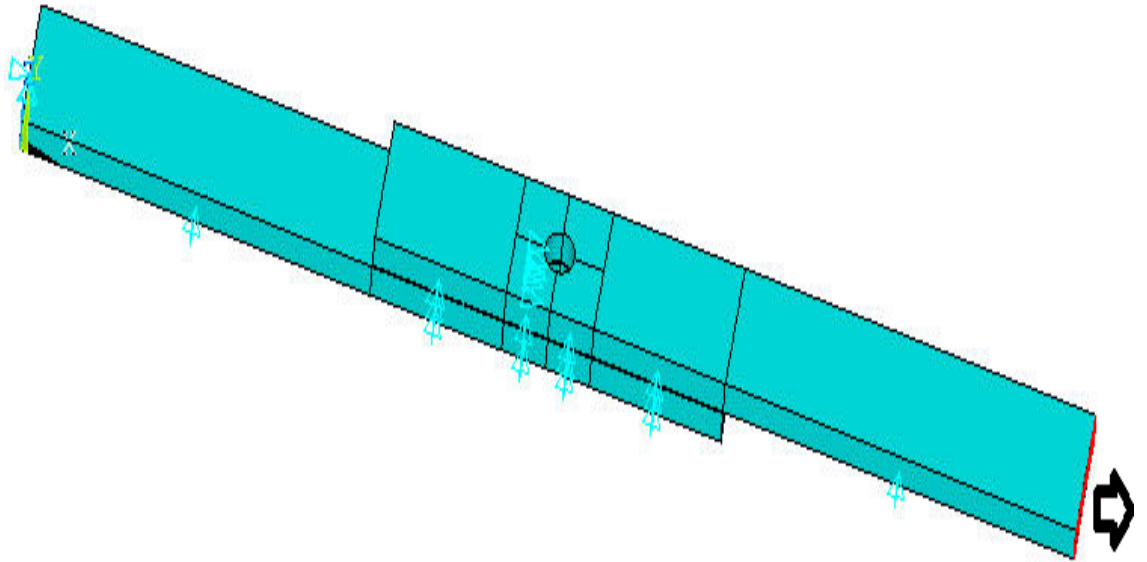
b) Pim deliği çevresinin yakınlaştırılmış görüntüsü

Şekil 3.2. Karma bağlantının üç boyutlu yarım modeli

Üç boyutlu katı modelin oluşturulmasından sonra, oluşturulan katı model üzerine uygun sınır şartları uygulanmıştır. Sınır şartlarının uygulanmış olduğu modelin resmi Şekil 3.3.'te gösterilmiştir.



a) Çizgisel gösterim



b) Katı model olarak gösterim

Şekil 3.3. Üç boyutlu karma bağlantıya sınır şartlarının uygulanması

Şekil 3.3. incelendiğinde alt plakanın serbest ucunun ankastre hale getirildiği görülmektedir. Paralel çift pim bağlantısı nedeniyle ve $\frac{1}{2}$ model oluşturulmuş olmasından dolayı, simetri sınır şartı simetri eksenini boyunca tüm yüzeylere uygulanmaktadır ($U_y=0$). Çekme işlemi uygulandığında pim deliğine pimin temas ettiği yüzeyde pim sınır şartı uygulanmaktadır ($U_x=0$).

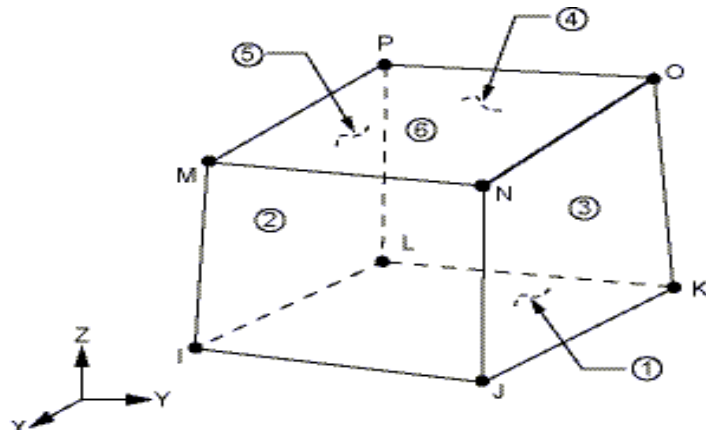
Bir sonraki bölümde daha detaylı verilecek olan ve karma bağlantı üzerinde gerilmelerin oluşmasına neden olan üç farklı yükleme durumu ise kısaca şöyledir. İlk

olarak karma bağlantıya sadece farklı değerlerde çekme yükü etki ettirilmiş ve oluşan gerilmelerin değerleri ile dağılımları elde edilmiştir.

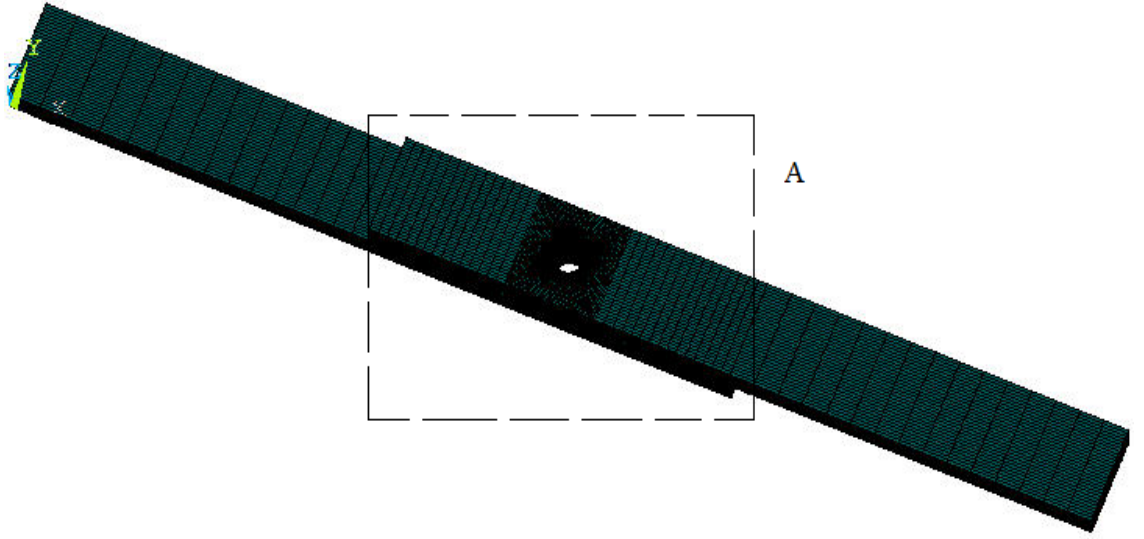
İkinci olarak karma bağlantıya herhangi bir çekme yükü olmadan sadece farklı değerlerde uniform sıcaklıklar uygulanmış ve uygulanan uniform sıcaklıklar tesiri nedeniyle meydana gelen ısı gerilmelerin değerleri ve dağılımları elde edilmiştir.

Üçüncü olarak karma bağlantıya hem uniform sıcaklık hem de çekme yükü tesir ettirilmiş ve bu çift yükleme etkisiyle meydana gelen gerilmeler ile dağılımları elde edilmiştir. Üçüncü aşamada, ilk iki aşamada uygulanan çekme ve ısı yüklerin hepsi ikili gruplar halinde uygulanmıştır. Üçüncü aşamanın önemli bir özelliği de daha önceki birçok çalışmada sadece çekme veya sadece ısı yük gibi tek yükleme ile sonuçların elde edildiği bir çalışma yerine iki farklı yüklemenin aynı anda yapıldığı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Bunun avantajı, gerçek birçok problemde bağlantılar genellikle aynı anda hem çekme hem de ısı olmak üzere farklı yükler etkisinde kalmaktadır. Dolayısıyla, bu aşamada uygulanan yükleme şartları gerçek problemlere daha uygun hale getirilmiştir.

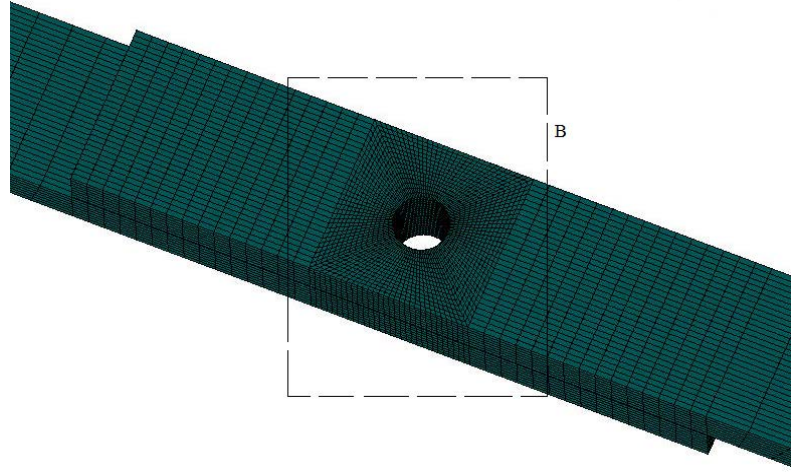
Sonlu elemanlarla çözüm yönteminde en önemli aşamalardan birisi sonlu elemanlar ağ yapısının oluşturulmasıdır. Uygun bir sonlu elemanlar ağ yapısının oluşturulabilmesinin ilk şartı da uygun eleman tipinin seçilmesidir. Bu çalışmada eleman tipi olarak Şekil 3.4.'te görülen SOLID 185 eleman tipi kullanılmıştır (ANSYS 14.0). Bu eleman tipi üç boyutlu modellerde sonlu elemanlar ağ yapısının oluşturulabilmesine imkân sağlayan bir eleman tipidir.



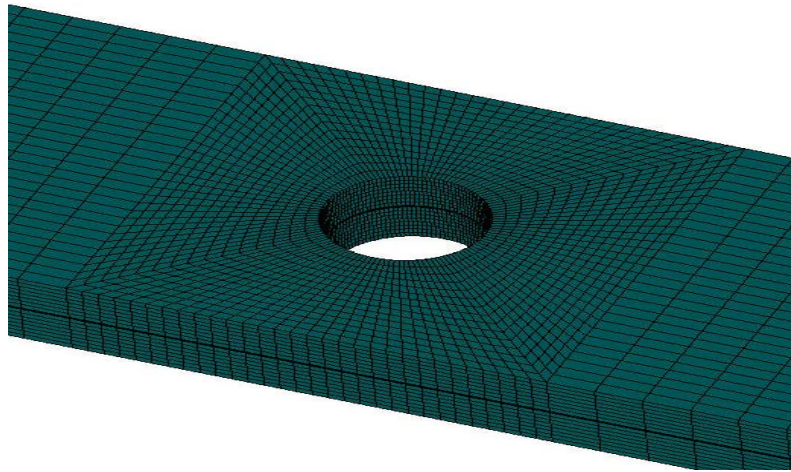
Şekil 3.4. SOLID 185 eleman tipi (ANSYS 14.0)



a) Tüm model

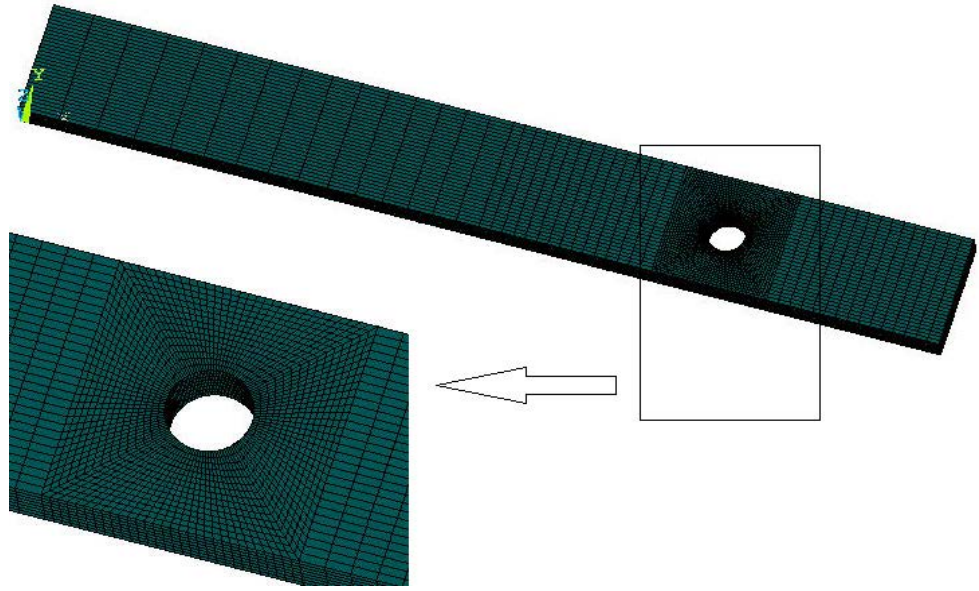


b) Detay A

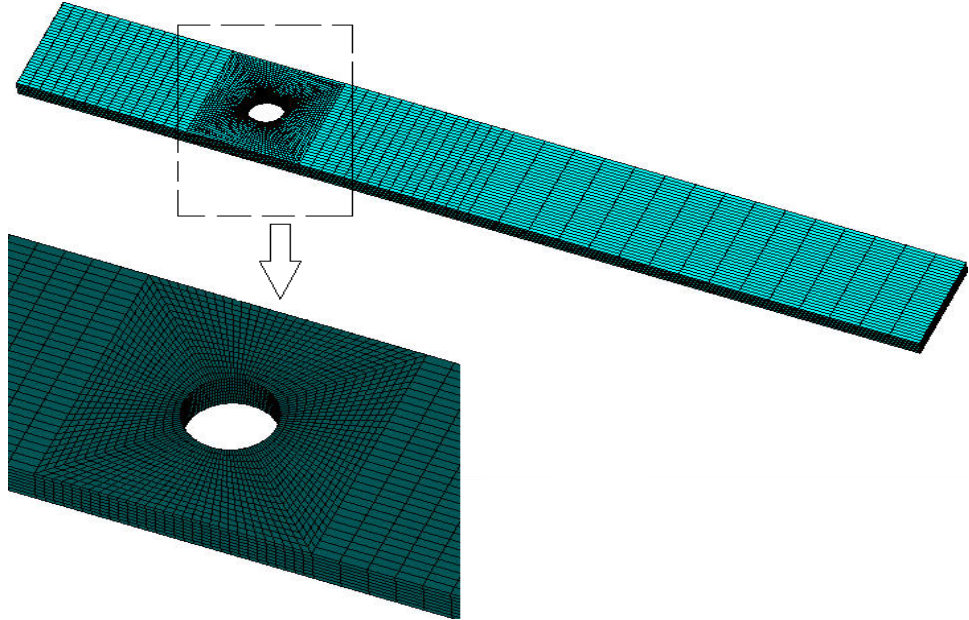


c) Detay B

Şekil 3.5. Karma bağlantının sonlu elemanlar ağ yapısı



a) Alt kompozit plaka

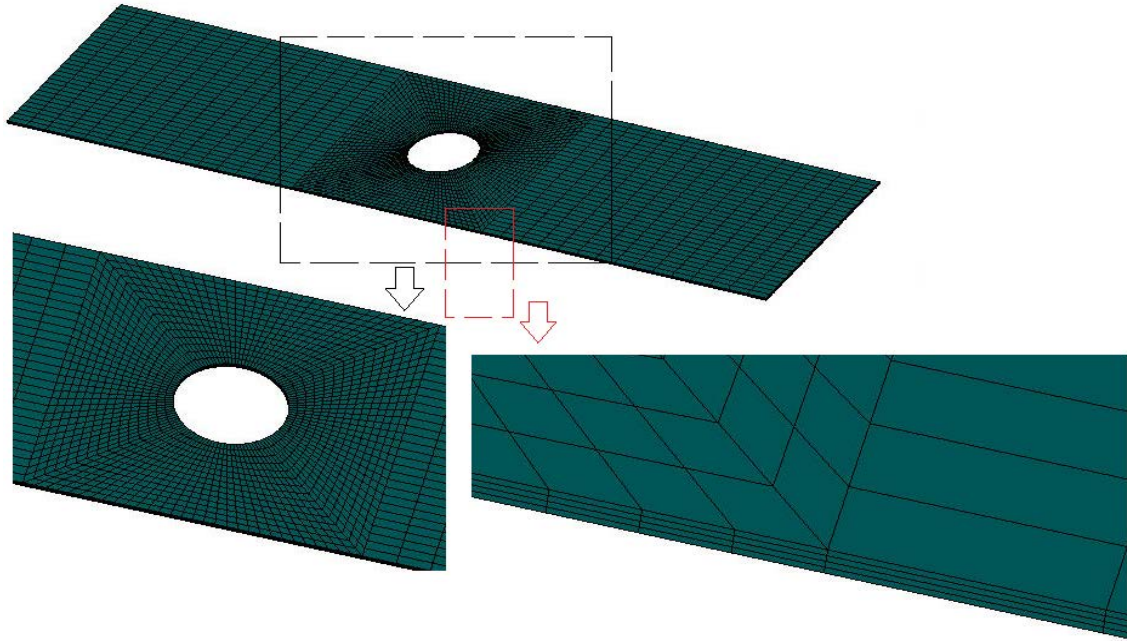


b) Üst kompozit plaka

Şekil 3.6. Karma bağlantıdaki her bir kompozit plakanın sonlu elemanlar ağ yapısı

Uygun eleman tipinin seçiminden sonra üç boyutlu karma bağlantı modeli üzerinde sonlu elemanlar ağ yapısı oluşturulmuştur. Modelin sonlu elemanlara bölünmüş hali Şekil 3.5.'te gösterilmiştir. Bu şekilde ağ yapısının daha iyi görülebilmesi için özellikle yapıştırıcı bağlantısı ve pim bağlantısının olduğu bölgeler Detay A ve Detay B şeklinde büyütülmüş olarak verilmiştir. Karma bağlantıdaki her bir kompozit plakanın sonlu elemanlar ağ yapısı detay görüntüleri ile birlikte Şekil 3.6.'da gösterilmiştir. Son olarak

karma bağlantıdaki yapıştırıcı tabakasının sonlu elemanlar ağ yapısı ve detay görüntüleri Şekil 3.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Karma bağlantıdaki yapıştırıcı tabakasının sonlu elemanlar ağ yapısı

Şekil 3.5. 3.6. ve 3.7.'den de anlaşılacağı üzere kompozit plakalar ve yapıştırıcı tabakalarının her biri için düzgün dörtgen elemanlardan meydana gelen bir sonlu eleman ağ yapısı oluşturulmuştur. Bu oldukça önemlidir, çünkü sonlu elemanlarla çözüm yönteminde düzgün bir sonlu eleman ağ yapısı elde edilmesi, elde edilecek sonuçların da daha doğru bir şekilde elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Fakat eğer model üzerinde herhangi bir amaçla bir delik oluşturulmak zorunda kalınıyorsa ki bu çalışmada oluşturulan modelde pim deliği mevcuttur, düzgün bir dağılım sağlayan sonlu eleman ağ yapısı oluşturulmasını güçleştirmektedir. Buna rağmen oluşturulan modelde yapıştırıcı tabakası ve pim deliği modellenmiş olmasına rağmen, arzulanan dörtgen elemanlardan meydana getirilmiş ve oldukça düzgün sonlu eleman ağ yapısı, delik çevresi de dahil olmak üzere, karma bağlantının tamamında başarılı bir şekilde meydana getirilmiştir.

Sonlu elemanlara bölme işlemi sonucunda, üç boyutlu ve $\frac{1}{2}$ karma bağlantı modeli üzerinde 10800 eleman ve 14250 düğüm noktası oluşturulmuştur.

BÖLÜM IV

4. BULGULAR

4.1. Giriş

Bir önceki bölümde (Bölüm 3) anlatıldığı üzere, bu çalışmada modelleme ve analizler ANSYS yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla, çözümler için sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır.

Bu çalışma, üç aşamada tamamlanmıştır. İlk aşama olarak, epoksi türü bir yapıştırıcı ile yapıştırılmış ve paralel çift pim bağlantısı uygulanmış karma bağlantıya, sadece çekme yükü etki ettirilmiş ve bağlantıda bu çekme yükü etkisi altında meydana gelen gerilmeler ve dağılımları elde edilmiştir. İkinci aşamada, karma bağlantıya sadece uniform sıcaklık yükü etki ettirilmiş ve uygulanan sadece sıcaklık yükü etkisi altında meydana gelen ısı gerilmeler ve dağılımları elde edilmiştir. Üçüncü aşamada ise karma bağlantıya, hem çekme yükü hem sıcaklık yükü aynı anda etki ettirilmiş ve dolayısıyla bu çift yükleme etkisindeki karma bağlantıda meydana gelen gerilmeler ve dağılımları elde edilmiştir.

4.2. Sadece Çekme Yükü Etkisiyle Elde Edilen Bulgular

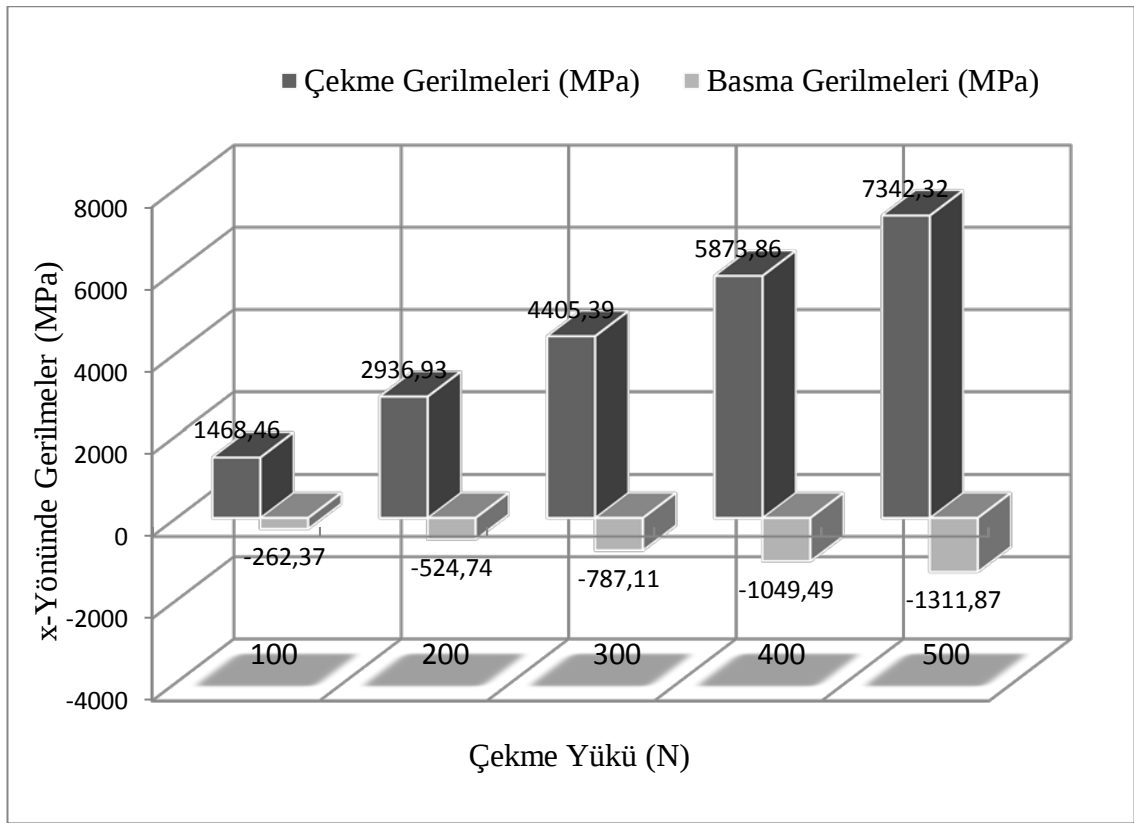
Bu bölümde, ilk aşamada elde edilen bulgular verilmiş ve değerlendirilmiştir. Yukarıda belirtildiği gibi, analizlerin ilk aşamasında yapıştırılmış ve paralel çift pim bağlantısı uygulanmış karma bağlantıya, x-yönünde sadece çekme yükü etki ettirilmiştir. Üç boyutlu karma bağlantıya uygulanan çekme yükü değerleri sırasıyla 100, 200, 300, 400 ve 500 N'dur.

Uygulanan her bir çekme yükü için yapıştırılmış ve paralel çift pim bağlantısı uygulanmış karma bağlantıda elde edilen normal gerilmeler Çizelge 4.1.'de listelenmiştir.

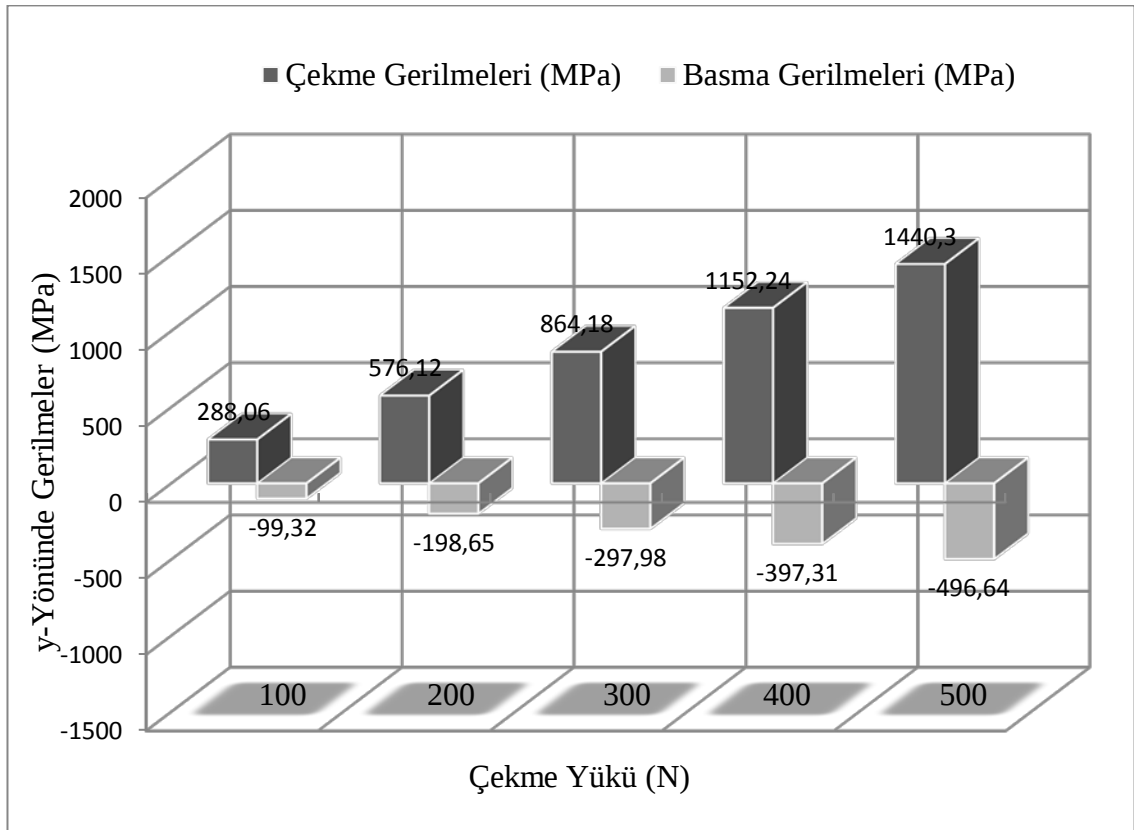
Çizelge 4.1. Farklı değerlerde çekme yükü uygulanmış ve bu çekme yüklerinin tesiriyle meydana gelen normal gerilmeler (σ_x , σ_y , σ_z)

Çekme Yüğü (N)	Gerilme Formu	Normal gerilmeler (MPa)		
		σ_x	σ_y	σ_z
100	Çekme	1468,46	288,06	135,08
	Basma	-262,37	-99,32	-71,75
200	Çekme	2936,93	576,12	270,16
	Basma	-524,74	-198,65	-143,51
300	Çekme	4405,39	864,18	405,25
	Basma	-787,11	-297,98	-215,27
400	Çekme	5873,86	1152,24	540,33
	Basma	-1049,49	-397,31	-287,03
500	Çekme	7342,32	1440,30	675,42
	Basma	-1311,87	-496,64	-358,79

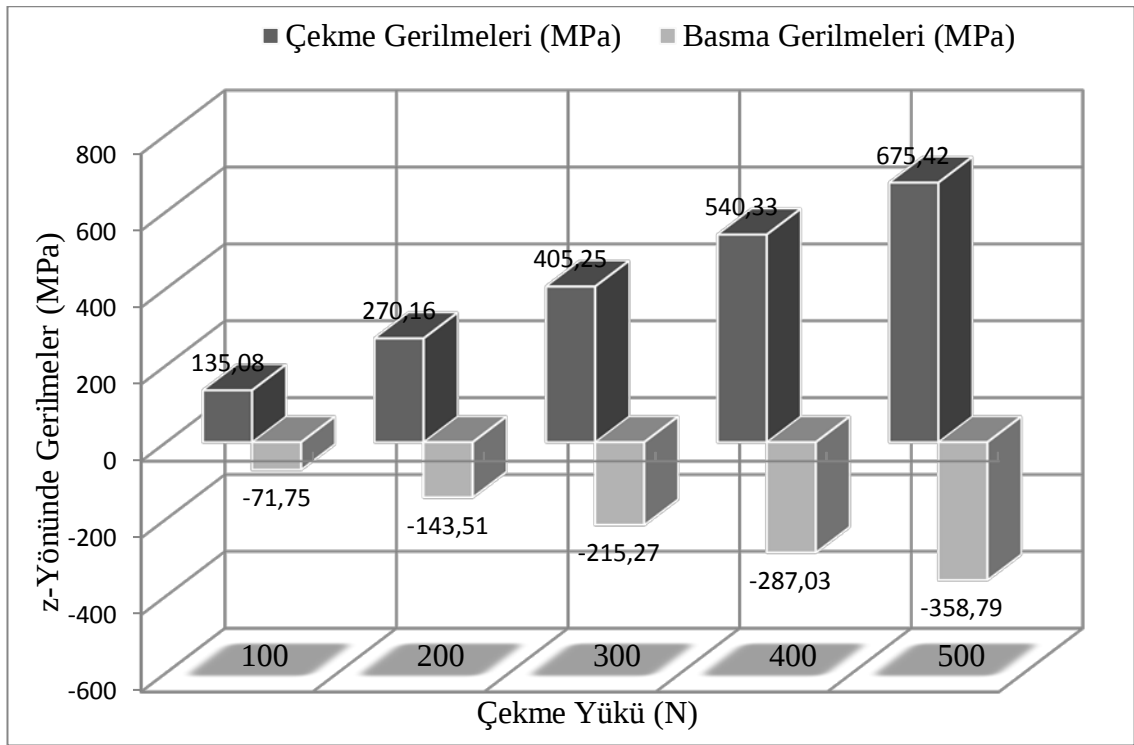
Uygulanan çekme yüklerine bağı olarak hesaplanan normal gerilmeler; x-yönündeki (σ_x), y-yönündeki (σ_y) ve z-yönünde (σ_z) olmak üzere Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Çizelge 4.1.'de listelenen normal gerilme değerlerinin, bu şekilde grafiksel gösterimi neticesinde, çekme yükü artışına bağı olarak, normal gerilmelerde meydana gelen artış açıkça görülebilmektedir. Ayrıca, x-yönünde hesaplanan çekme ve basma gerilmelerinin y ve z-yönlerinde hesaplanan gerilmelerden çok daha büyük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, karma bağlantıya uygulanan çekme yükünün x-yönünde etki etmesidir. Çizelge 4.1.'de görüldüğü üzere en yüksek gerilmeler 500 N çekme yükü uygulandığında elde edilmiştir. En yüksek değerli çekme gerilmesinin değeri 7342.32 MPa ve mutlak değer olarak en yüksek basma gerilmesi değeri ise -1311.87 MPa ve x-yönü için bulunmuştur. Ayrıca en düşük çekme ve basma gerilmeleri z-yönünde ve 100 N'luk çekme yükü altında sırası ile 135.08 MPa ve -71.75 MPa olarak hesaplanmıştır.



a) x-yönündeki normal gerilme (σ_x)



b) y-yöndeki normal gerilme (σ_y)



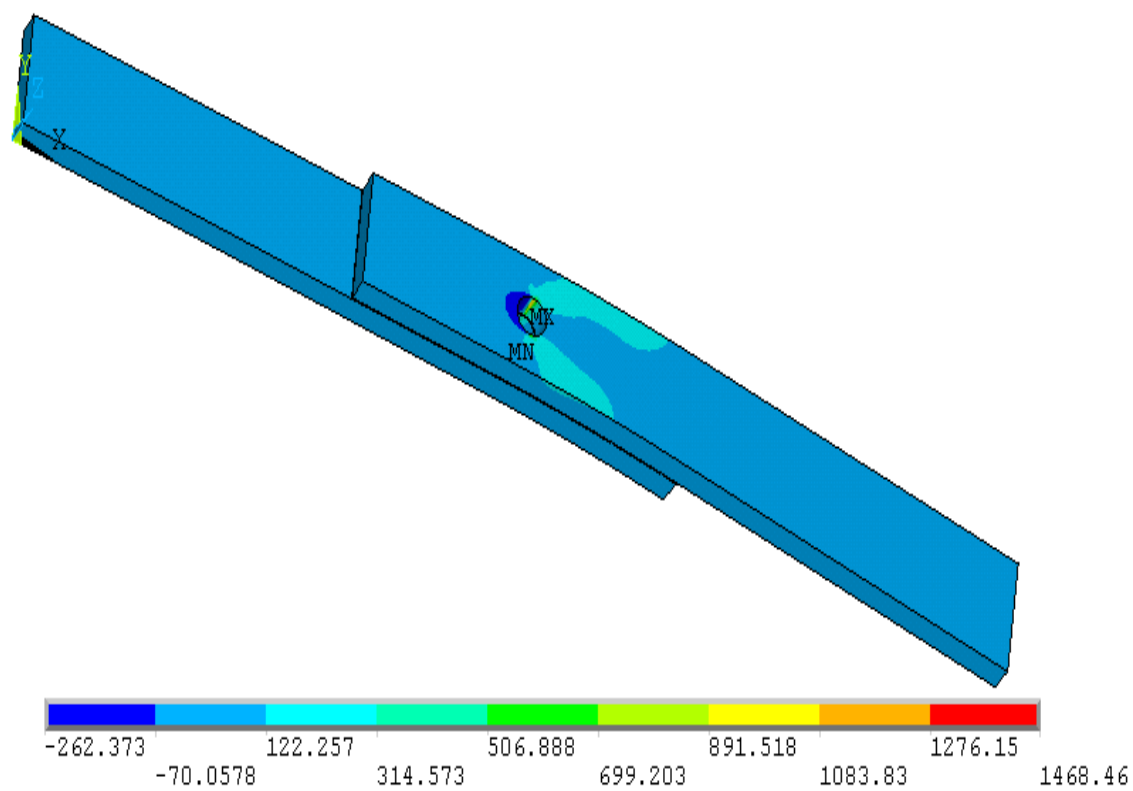
c) z-yönündeki normal gerilme (σ_z)

Şekil 4.1. Farklı değerlerde çekme yükü altında meydana gelen gerilmeler (σ_x , σ_y , σ_z)

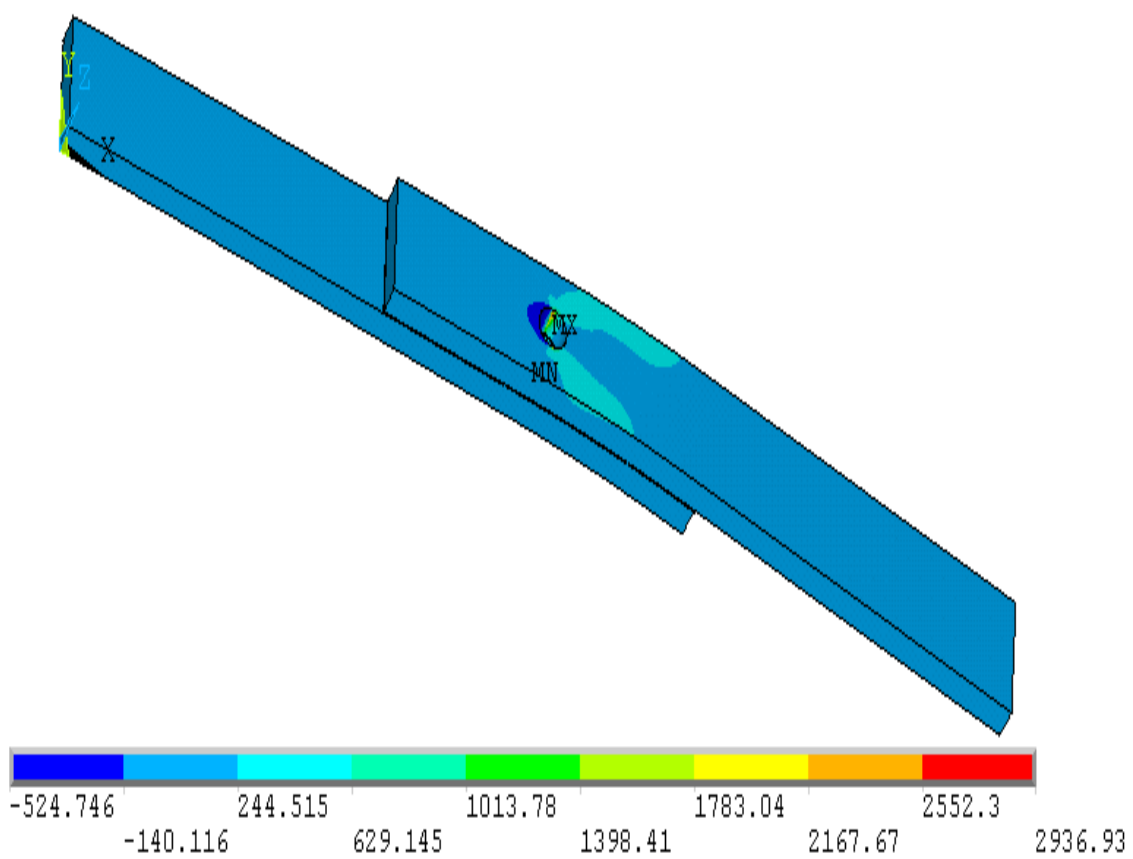
ANSYS sonlu elemanlar yazılımının önemli avantajlarından biri de yapılan analizler sonucunda elde edilen gerilme dağılımlarının oluşturulan model üzerinde eş gerilme eğrileri veya konturları ile gösterilebilmesidir. Böylece, model üzerinde gerilme yığılmalarının olduğu bölgeler kolay bir şekilde belirlenebilmektedir.

Her bir analiz için renkli kontur ile farklı çekme yükleri uygulandığında elde edilen normal gerilme dağılımları sırasıyla x, y ve z-yönleri için Şekil 4.2., Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.'te gösterilmiştir.

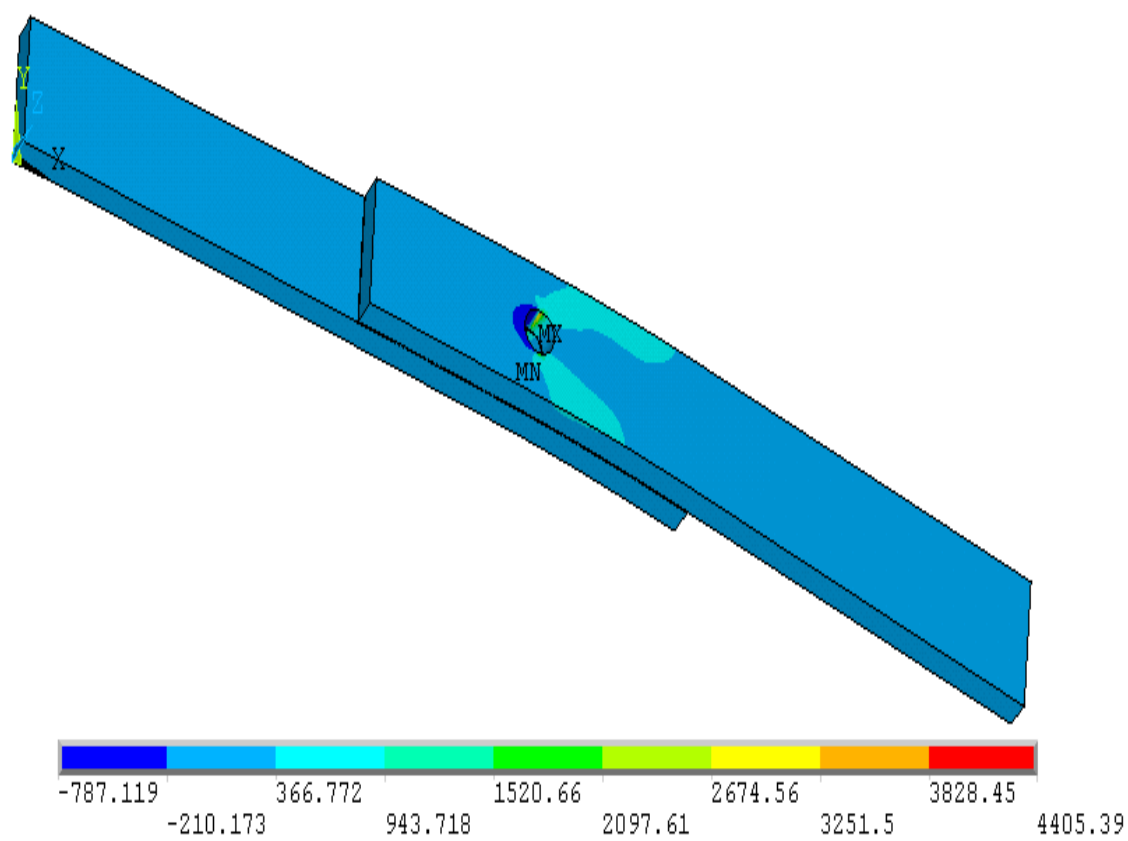
Şekiller incelendiğinde, her üç yönde de model yüzeyinde genel olarak basma gerilmeleri olduğu gözlenmiştir. Ayrıca x ve y-yönlerinde model üzerindeki deliklerin çevrelerinde yüksek değerlerde çekme gerilmelerinin de olduğu görülmektedir. Şekillerde çekme gerilmeleri birim alan olarak minimum düzeyde olmalarına rağmen çekme ve basma gerilmelerinin mutlak değer büyüklükleri karşılaştırıldığında çekme gerilme değerleri Çizelge 4.1.'de de görüldüğü üzere daha yüksektir.



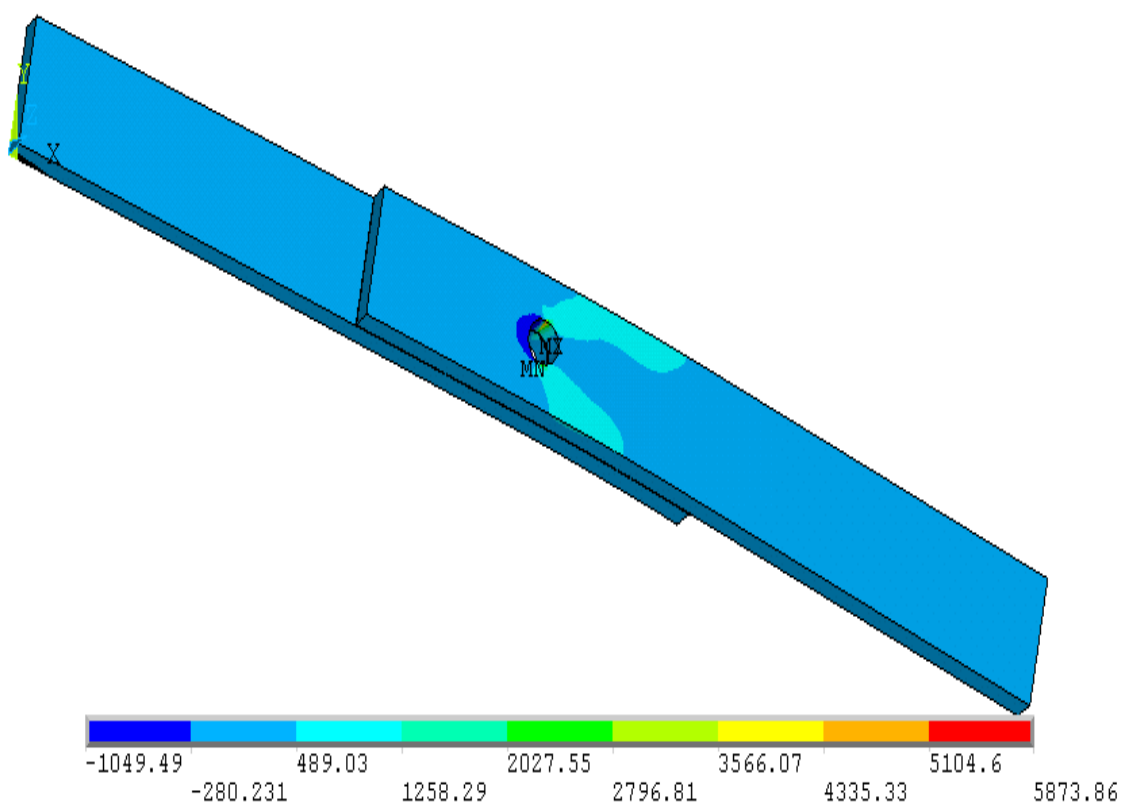
a) 100 N



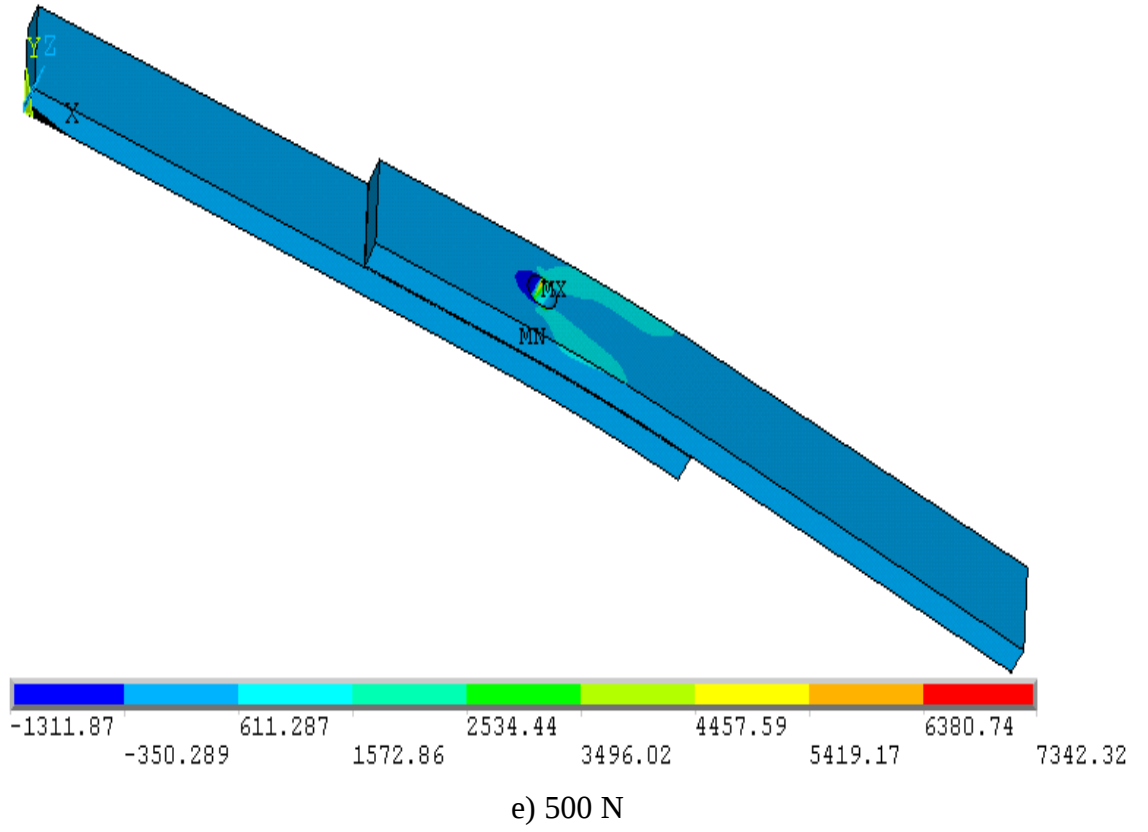
b) 200 N



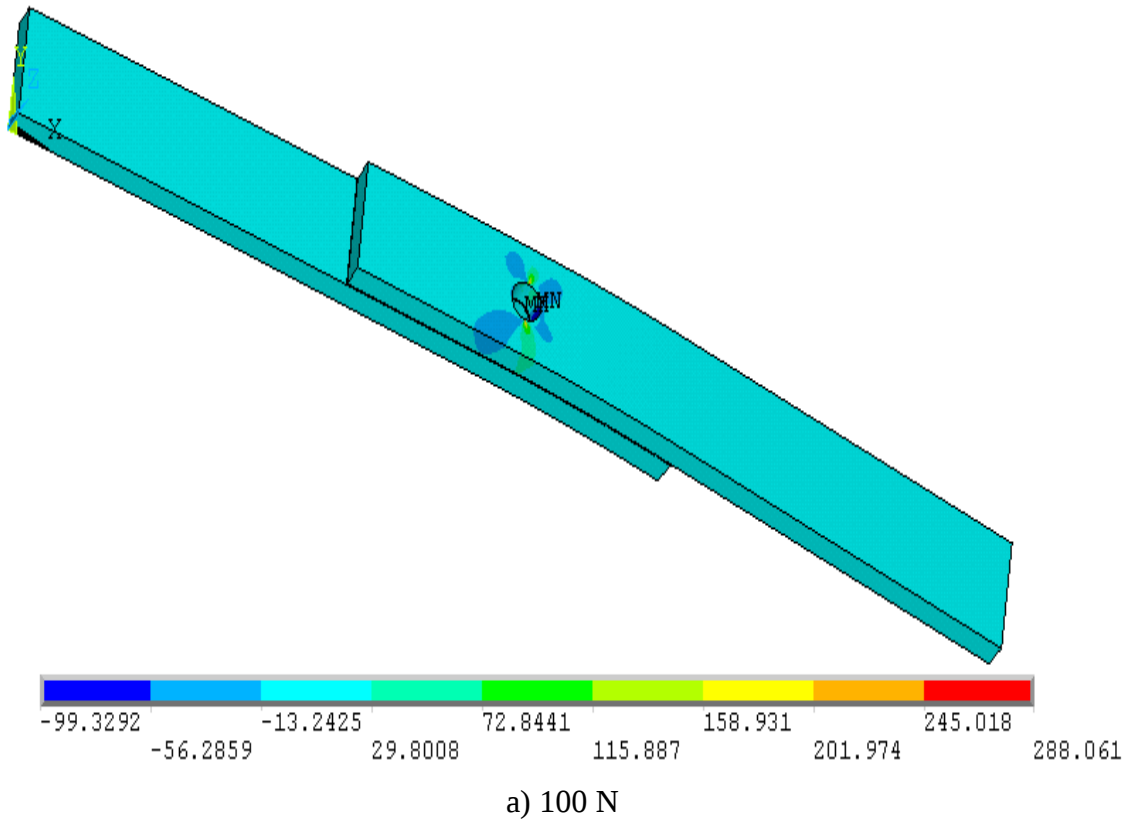
c) 300 N

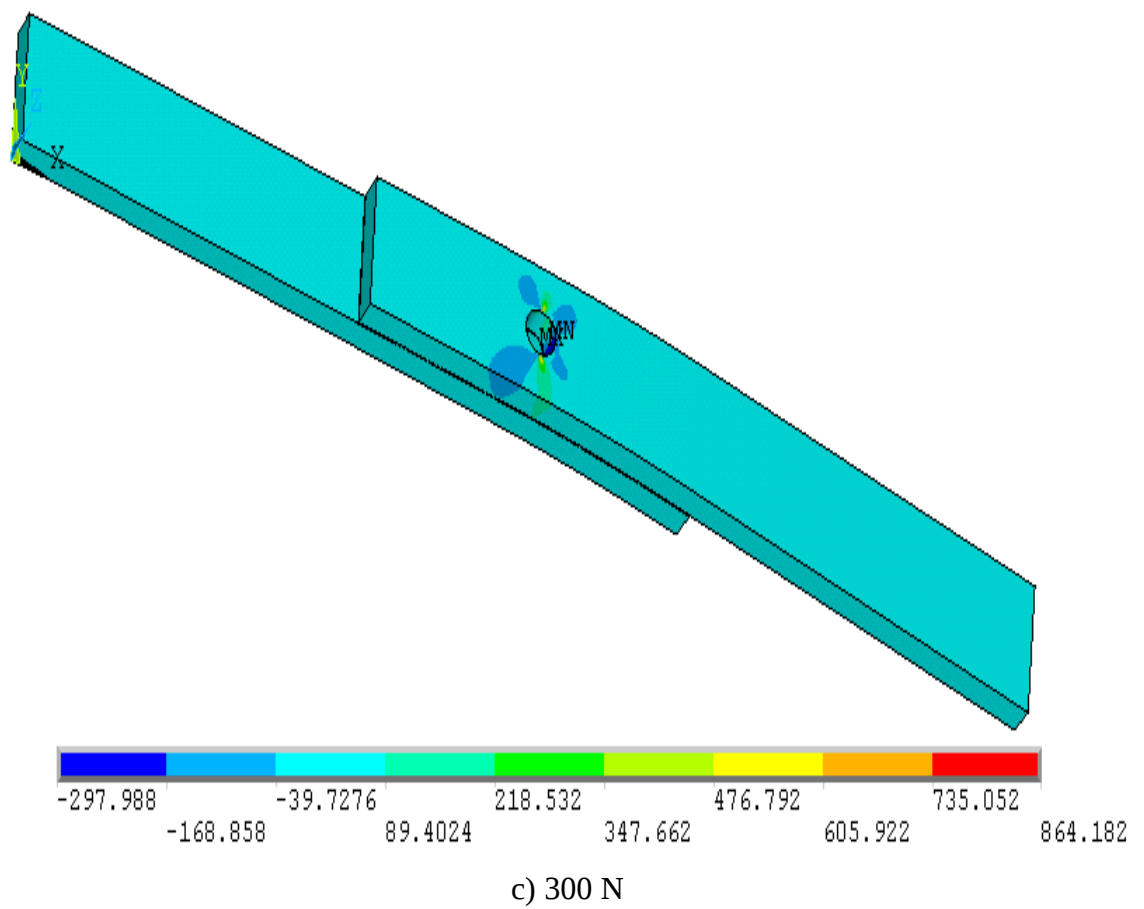
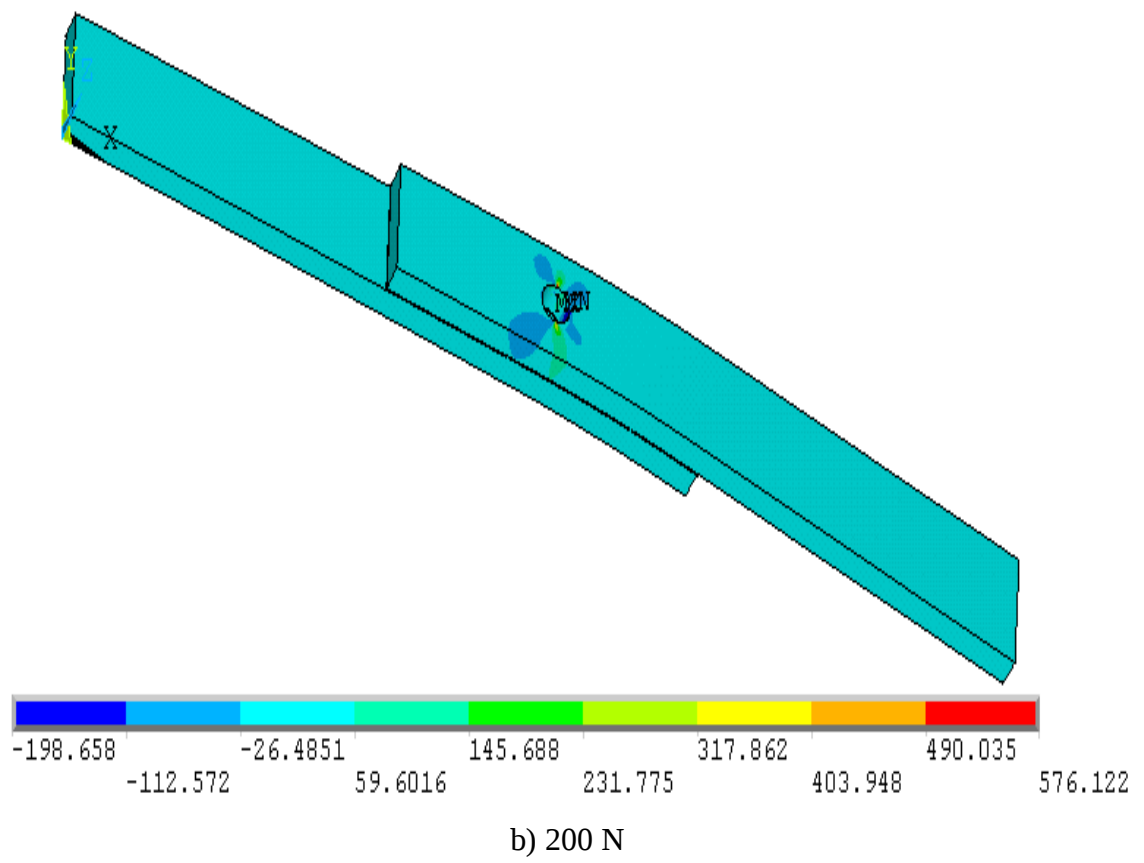


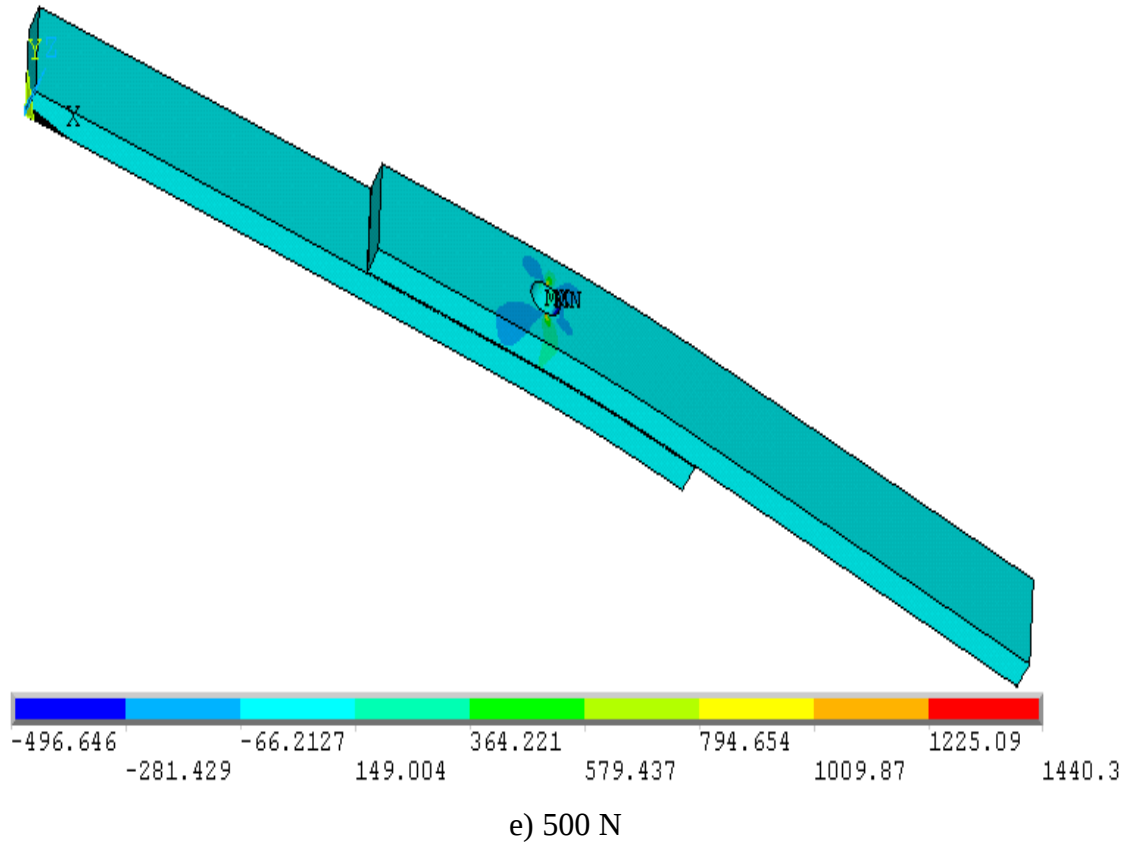
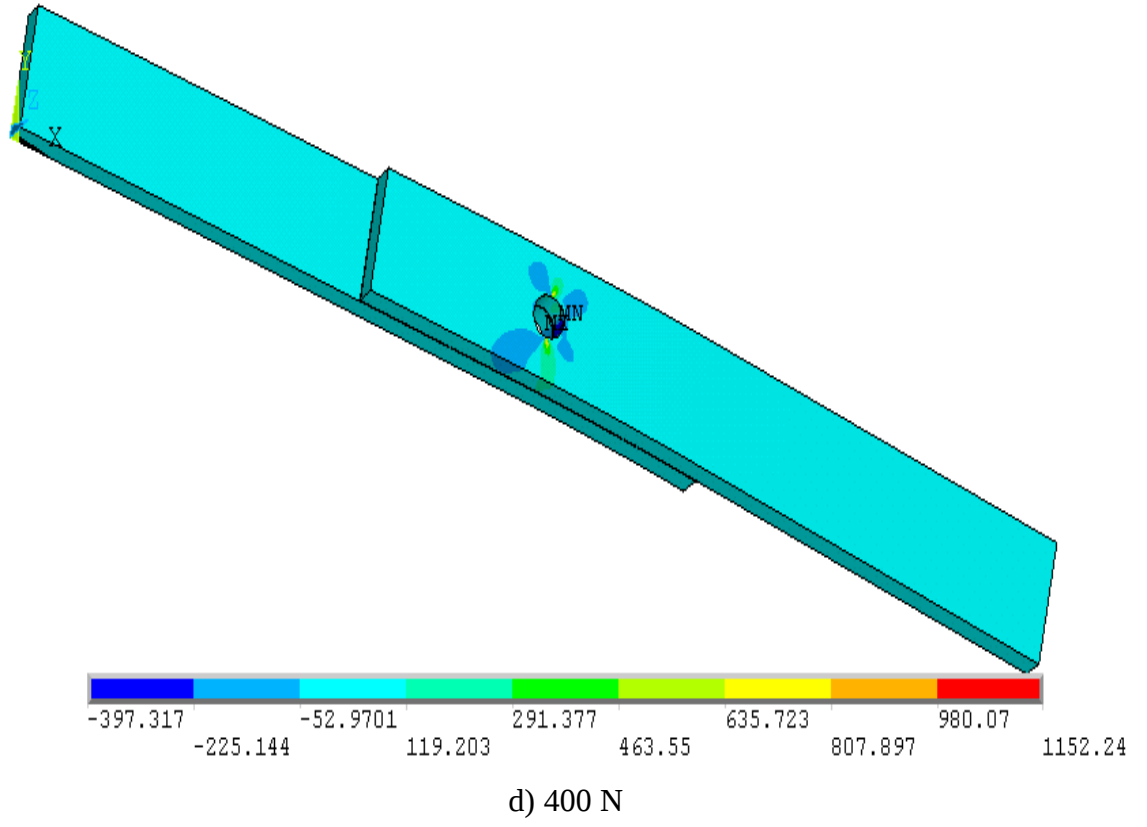
d) 400 N



Şekil 4.2. Farklı çekme yükleri altında x-yönünde hesaplanan normal gerilmeler (σ_x) (MPa)

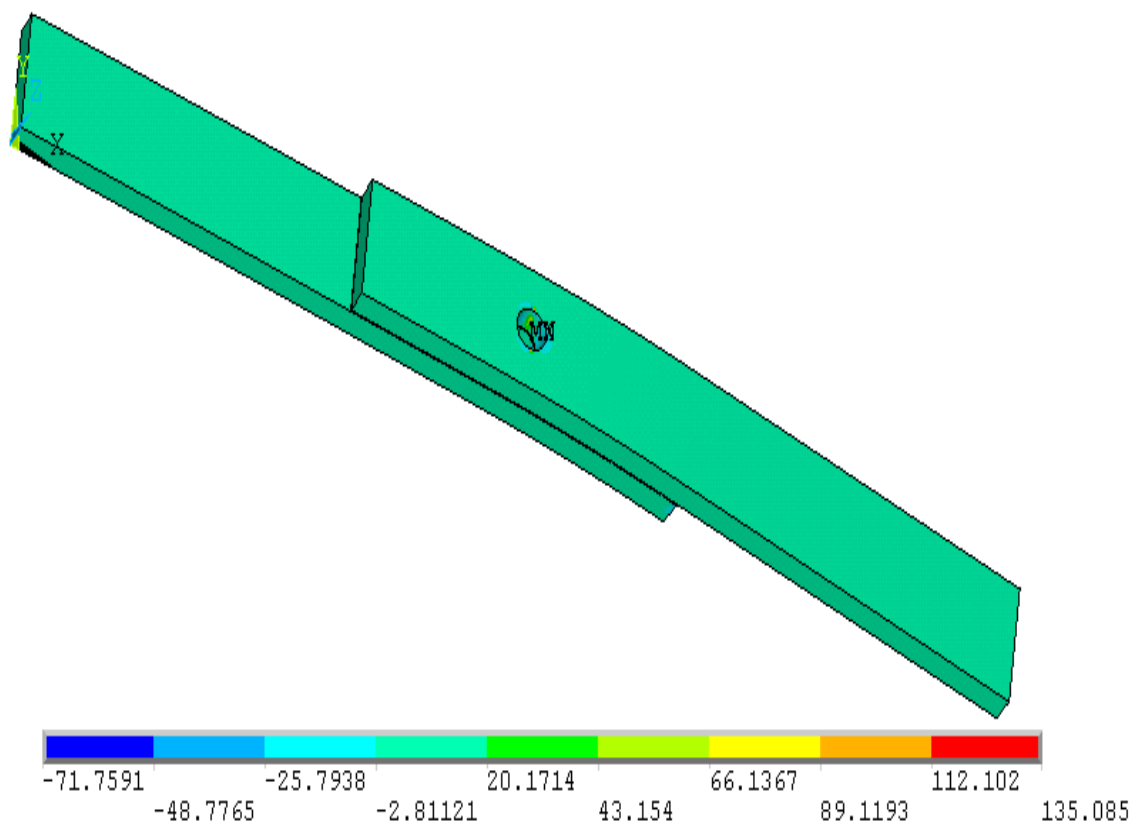




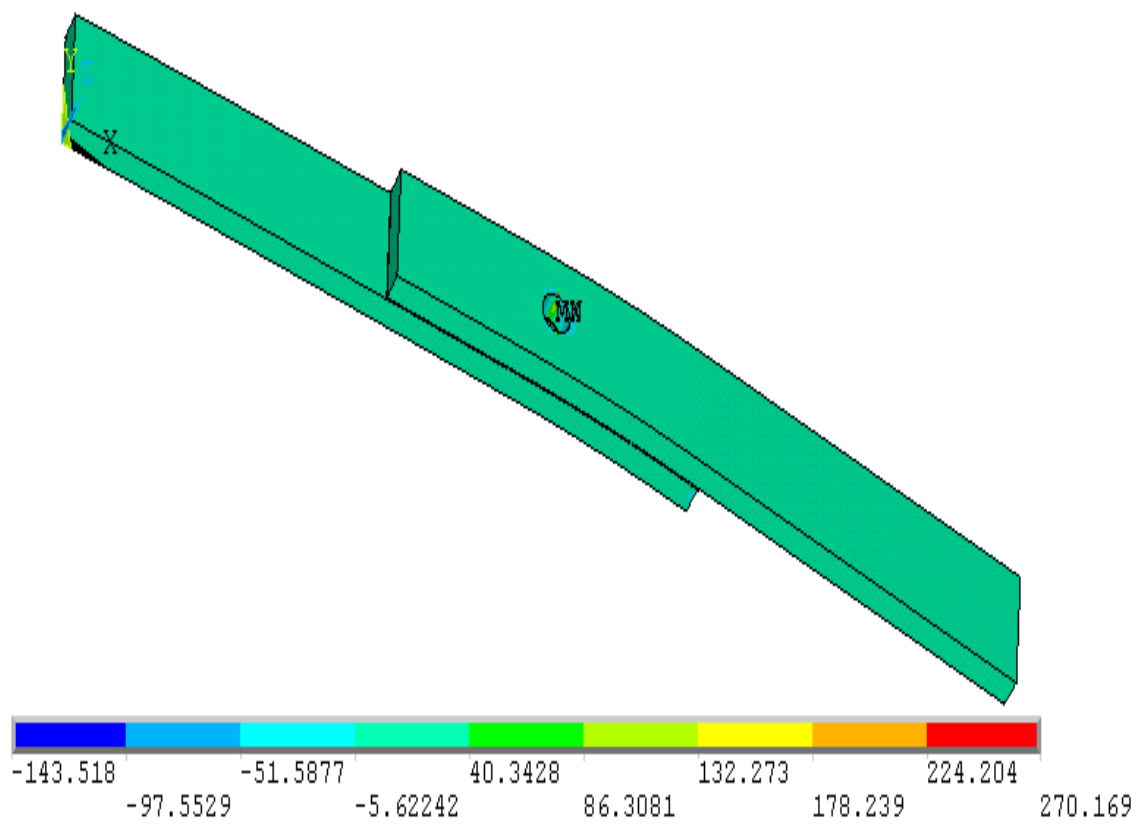


Şekil 4.3. Farklı çekme yükleri altında y-yönünde hesaplanan normal gerilmeler (σ_y)

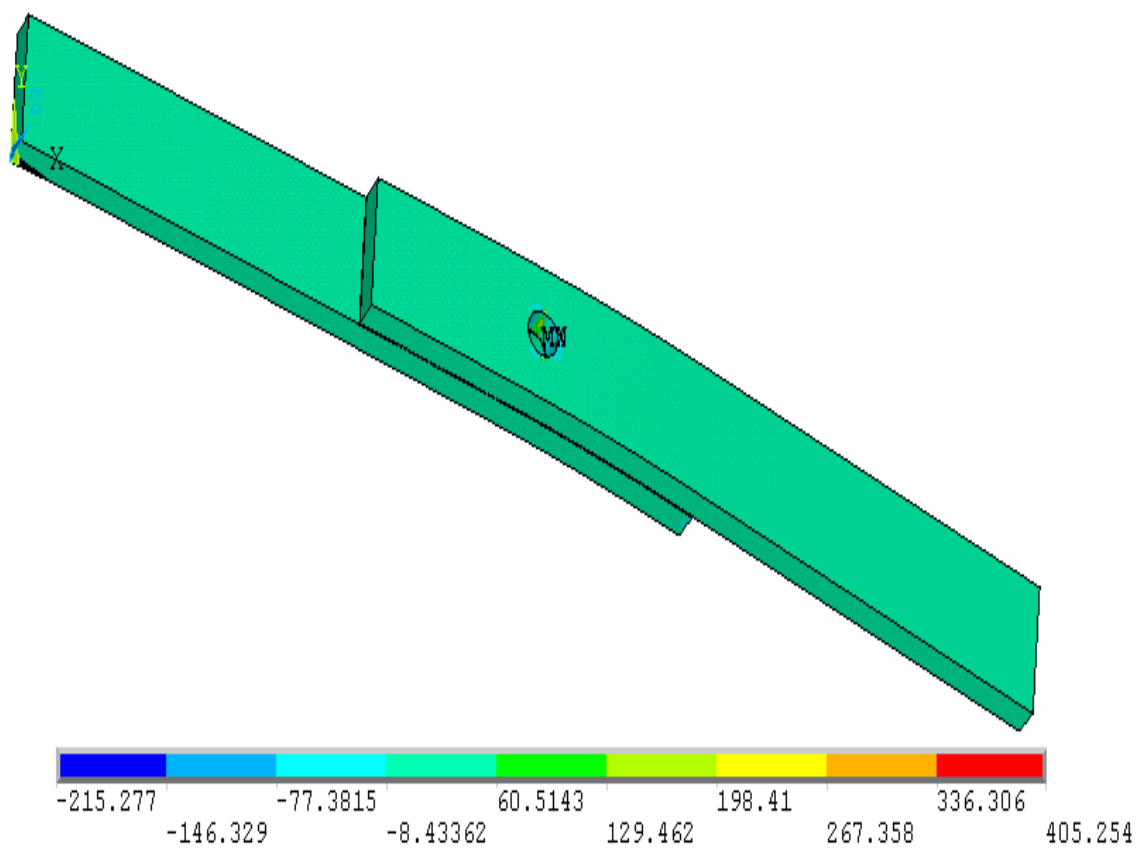
(MPa)



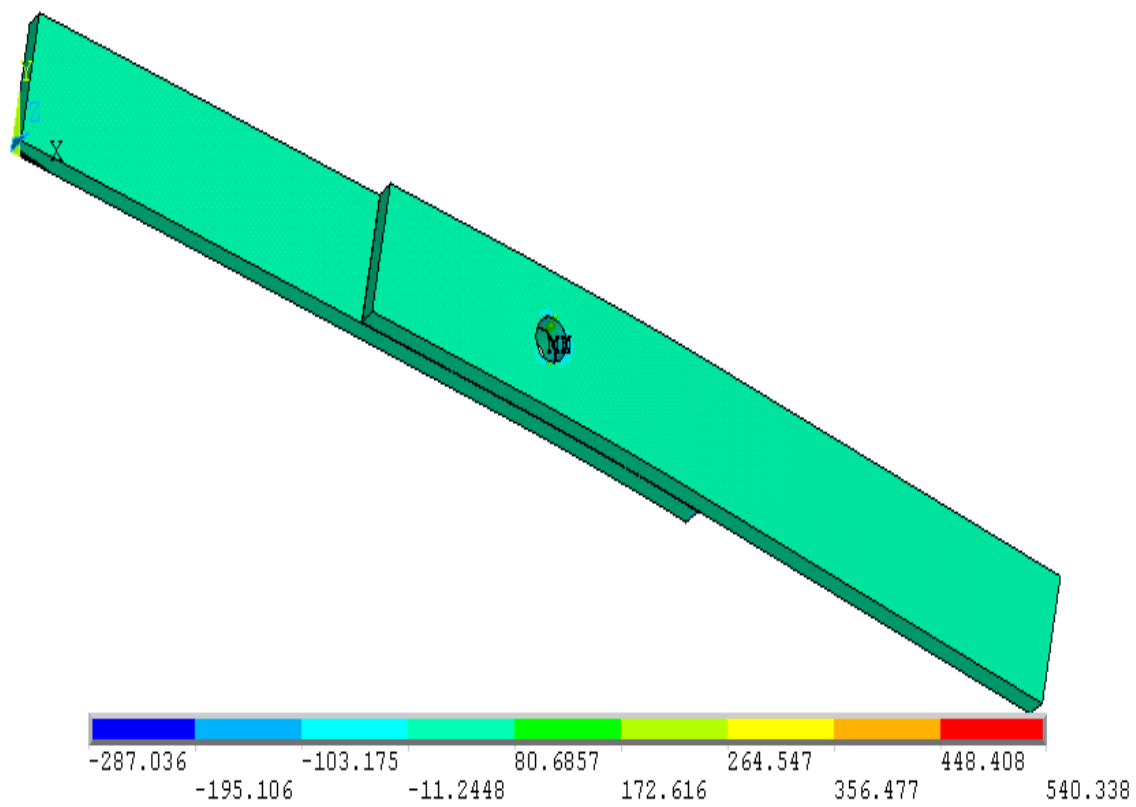
a) 100 N



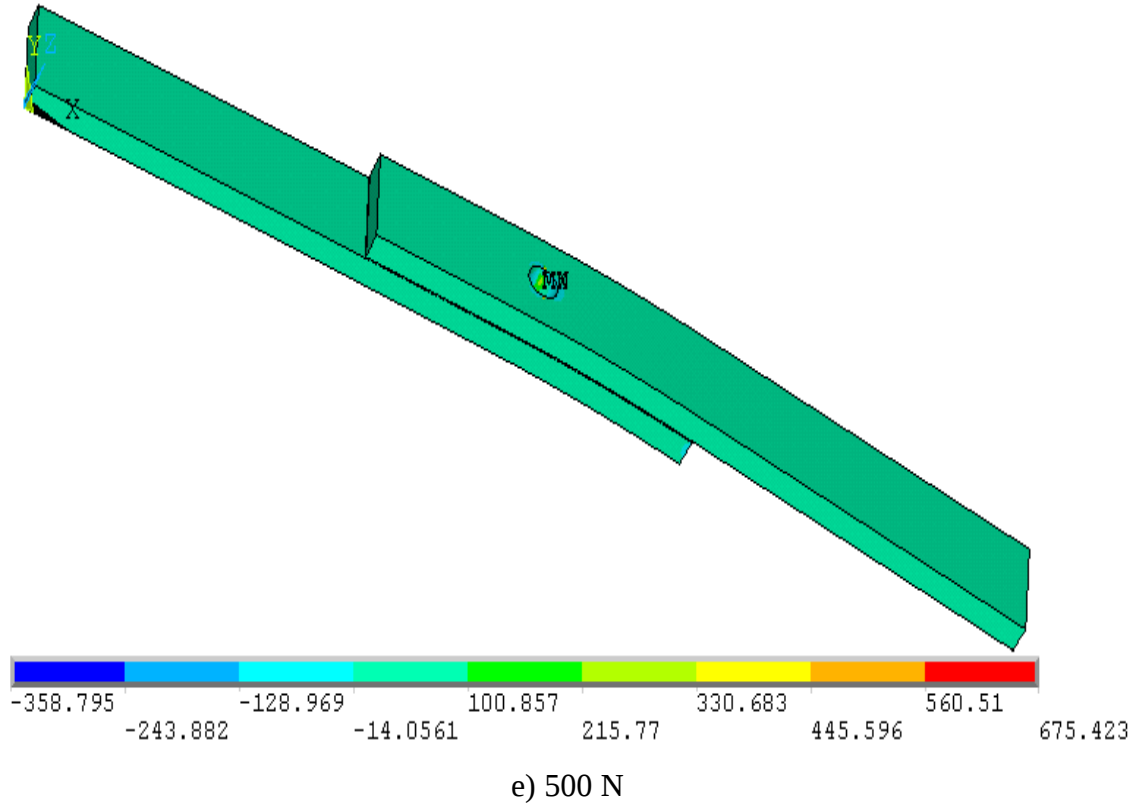
b) 200 N



c) 300 N



d) 400 N



Şekil 4.4. Farklı çekme yükleri altında z-yönünde hesaplanan normal gerilmeler (σ_z) (MPa)

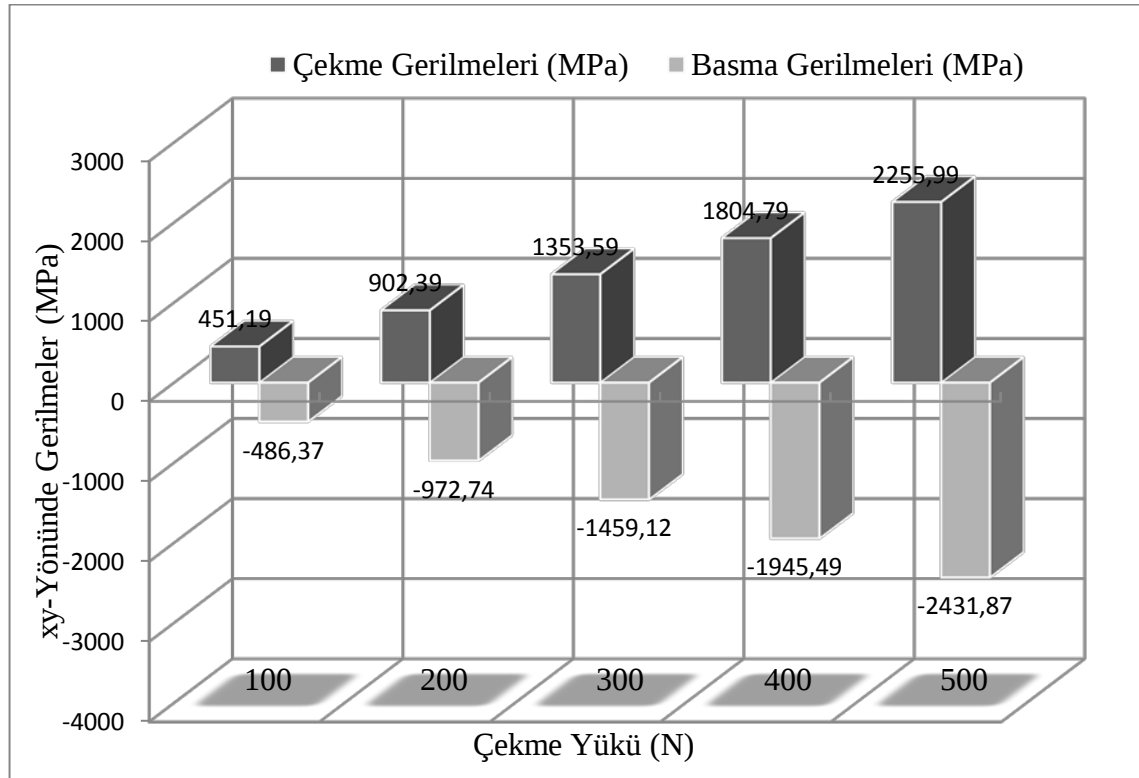
Normal gerilmelerde olduğu gibi, farklı çekme yükleri uygulandığında elde edilen kayma gerilmeleri τ_{xy} , τ_{yz} , ve τ_{xz} 'in üç boyutlu model üzerindeki maksimum değerleri Çizelge 4.2.'de ve üç boyutlu model üzerindeki dağılımları sırasıyla, Şekil 4.6., Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2.'de listelenen maksimum kayma gerilme değerlerinin, Şekil 4.5.'teki gibi grafiksel gösterimi neticesinde, çekme yükü artışına bağlı olarak, kayma gerilmelerinde meydana gelen artış açıkça görülebilmektedir. xy-yönünde hesaplanan çekme ve basma kayma gerilme değerlerinin yz ve xz-yönlerindeki gerilmelerden çok daha büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca yz-yönündeki kayma basma gerilme değerlerindeki düşük olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 4.2.'de görüldüğü üzere en yüksek gerilmeler 500 N çekme yükü uygulandığında elde edilmiştir. En yüksek değerli kayma çekme gerilmesinin değeri 2255.99 MPa ve en yüksek basma gerilmesi değeri ise -2431.87 MPa bulunmuştur. Ayrıca en düşük kayma çekme ve basma gerilmelerinin 100 N luk çekme yükü altında meydana geldiği gözlenmiştir. En düşük kayma çekme gerilmesi xz-

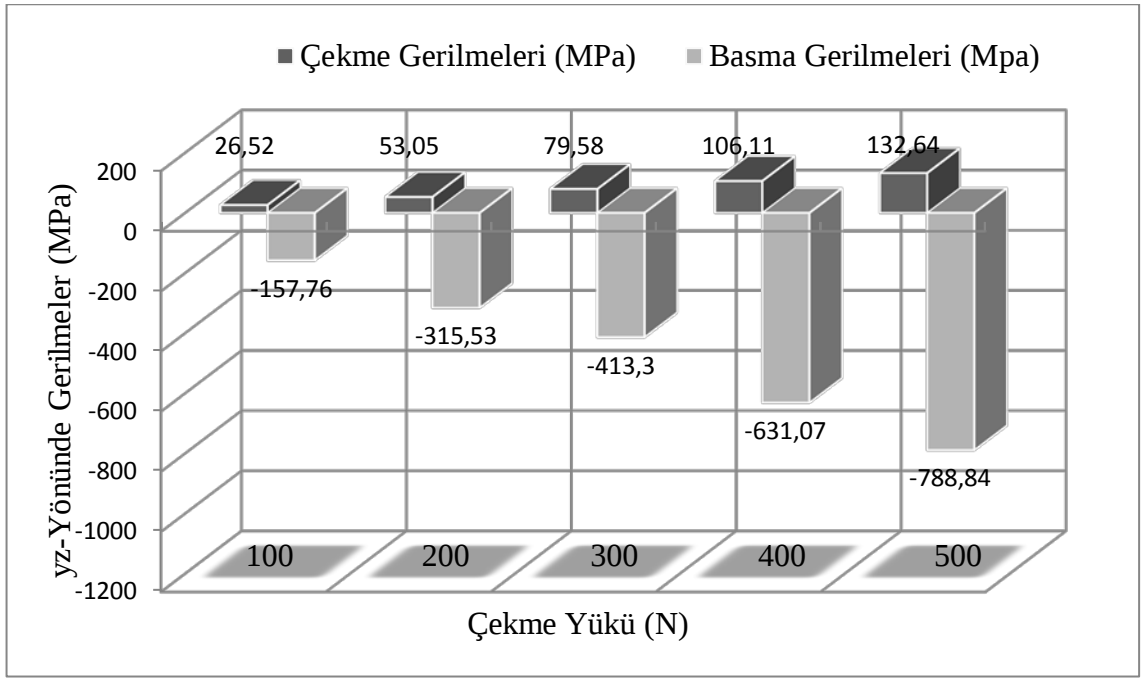
yönünde 22.32 MPa ve en düşük basma gerilmesi xz-yönünde -23.23 MPa olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2. Farklı çekme yükleri için elde edilen kayma gerilmeleri (τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{xz})

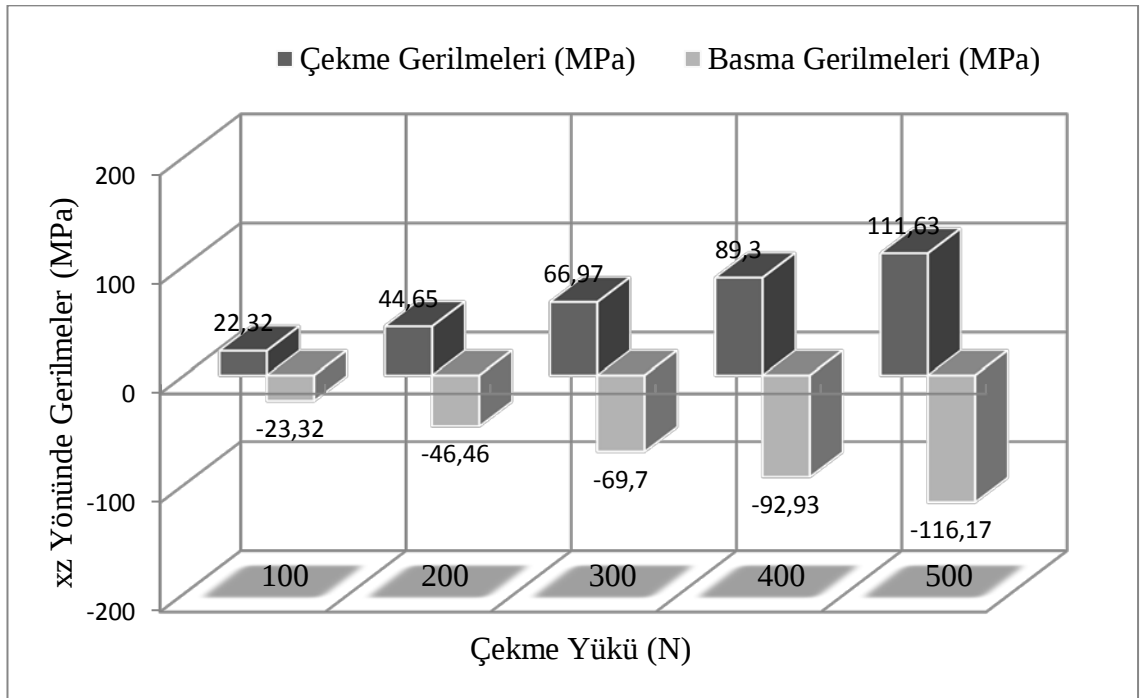
Çekme Yüğü (N)	Gerilme Formu	Kayma gerilmeleri (MPa)		
		τ_{xy}	τ_{yz}	τ_{xz}
100	Çekme	451,19	26,52	22,32
	Basma	-486,37	-157,76	-23,23
200	Çekme	902,39	53,05	44,65
	Basma	-972,74	-315,53	-46,46
300	Çekme	1353,59	79,58	66,97
	Basma	-1459,12	-473,30	-69,70
400	Çekme	1804,79	106,11	89,30
	Basma	-1945,49	-631,07	-92,93
500	Çekme	2255,99	132,64	111,63
	Basma	-2431,87	-788,84	-116,17



a) τ_{xy} kayma gerilmesi



b) τ_{yz} kayma gerilmesi

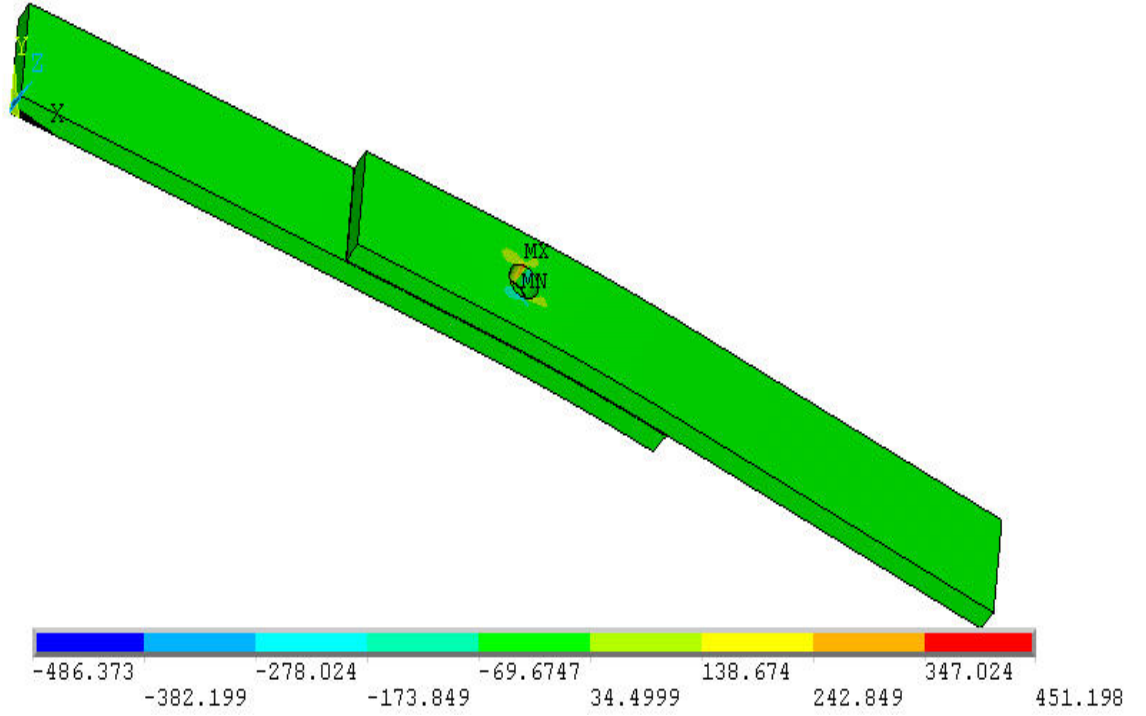


c) τ_{xz} kayma gerilmesi

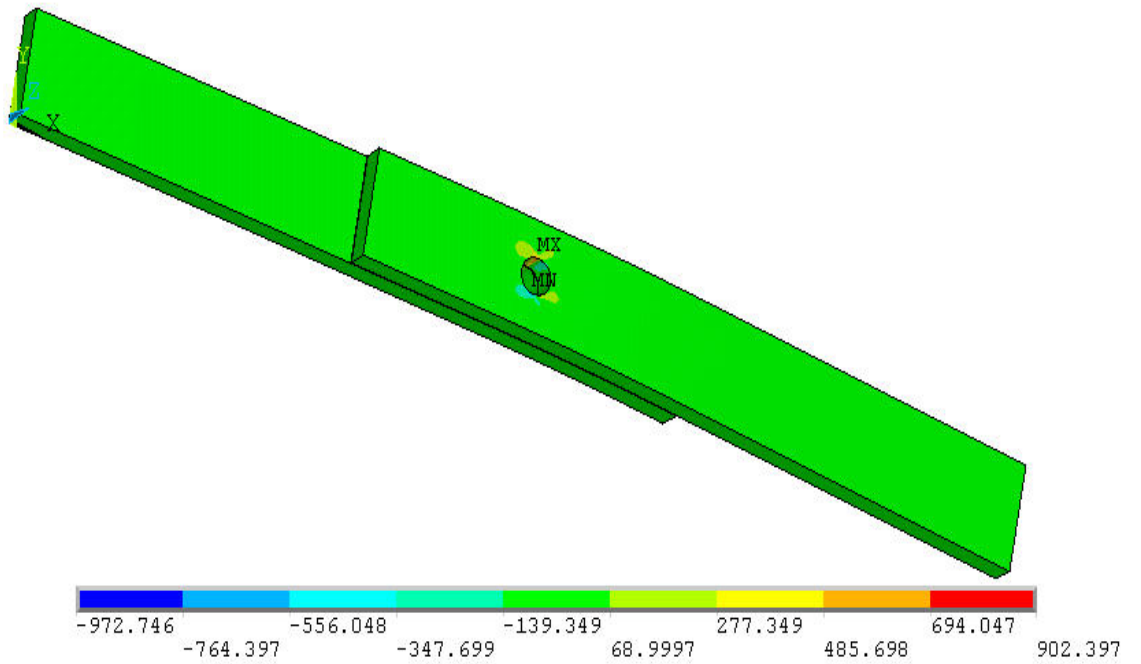
Şekil 4.5. Farklı değerlerde çekme yükü altında meydana gelen kayma gerilmeleri

Her bir analiz için renkli kontur ile farklı çekme yükleri uygulandığında elde edilen kayma gerilme dağılımları sırasıyla xy, yz ve xz-yönleri için Şekil 4.6., 4.7. ve 4.8.' de gösterilmiştir. Modeller genel olarak incelendiğinde xy-yönünde yüzeyde basma

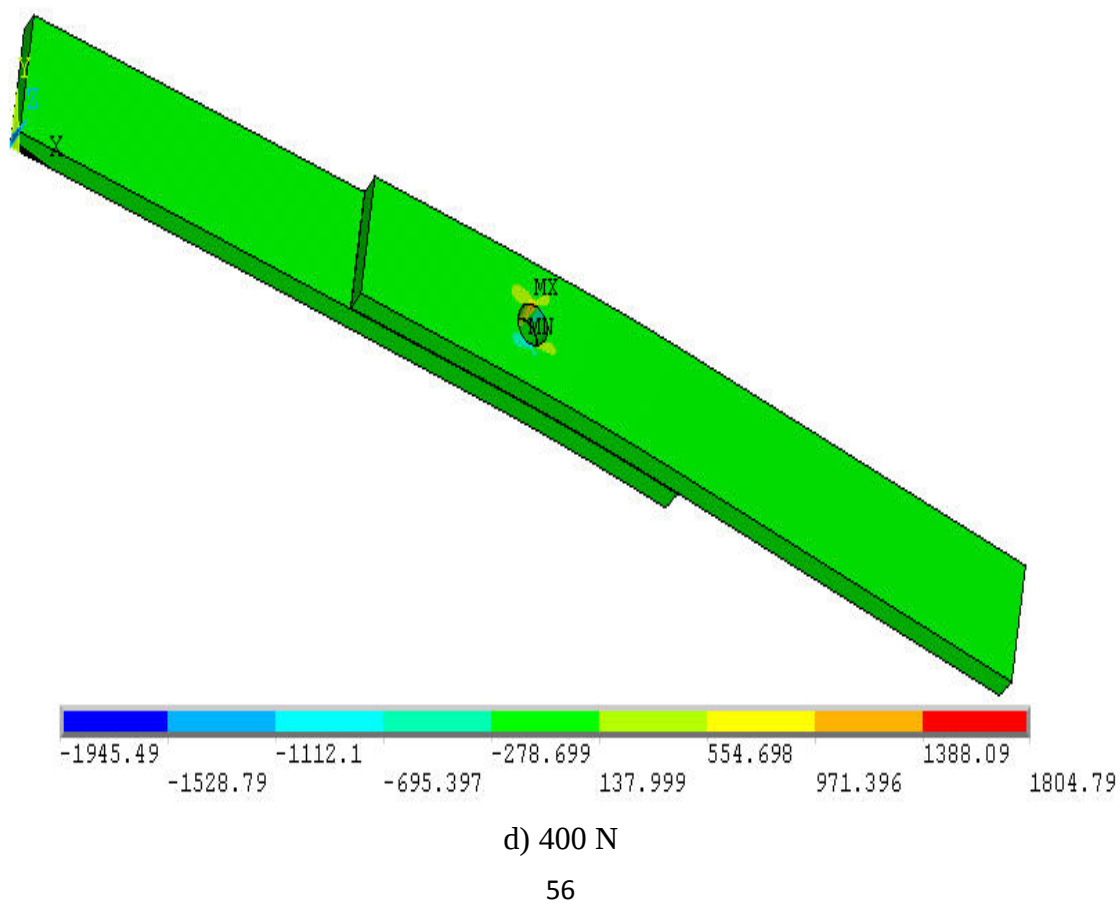
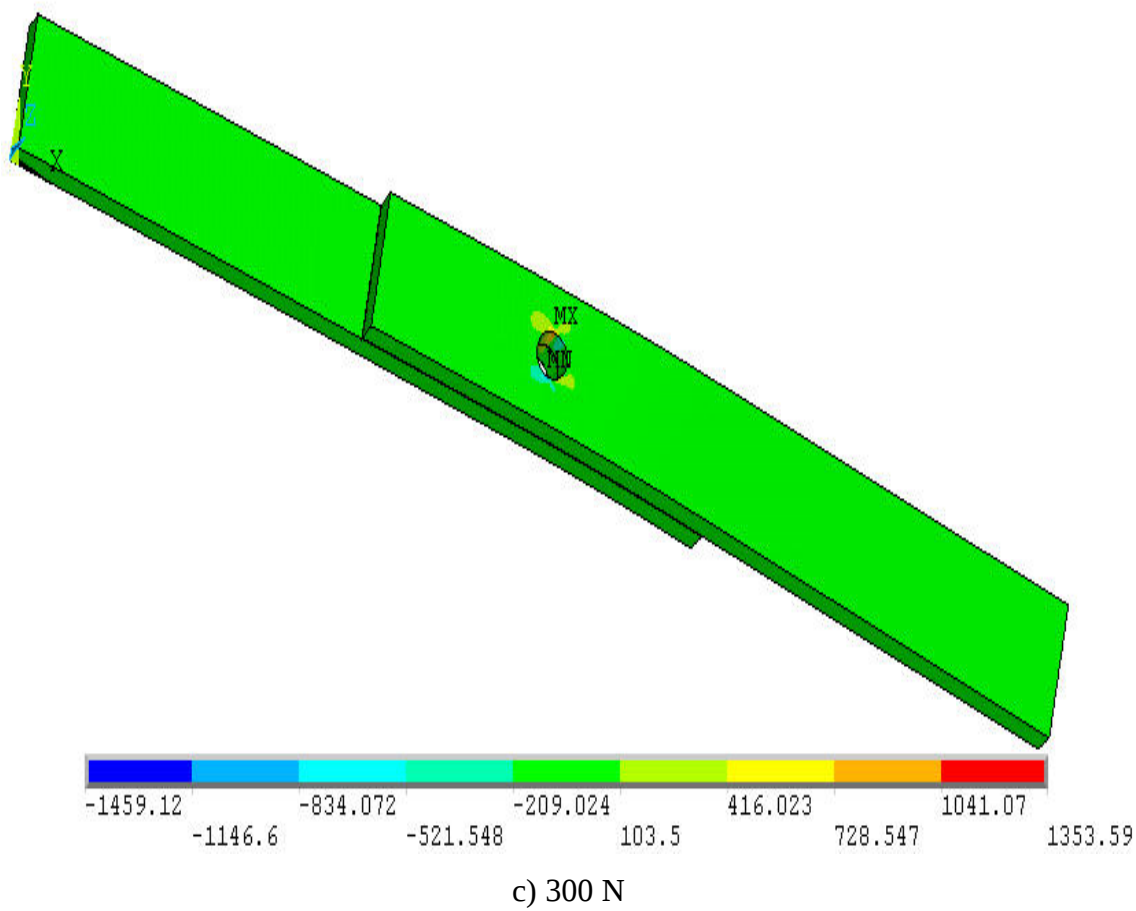
gerilmesi ve delik etraflarında çekme gerilmesi; yz-yönünde yüzeyde mutlak değeri düşük basma gerilmesi ve delik çevresinde çekme gerilmesi; ve son olarak da xz-yönünde yüzeyde çekme gerilmesi ve delik çevrelerinde basma gerilmeleri gözlemlenmiştir.

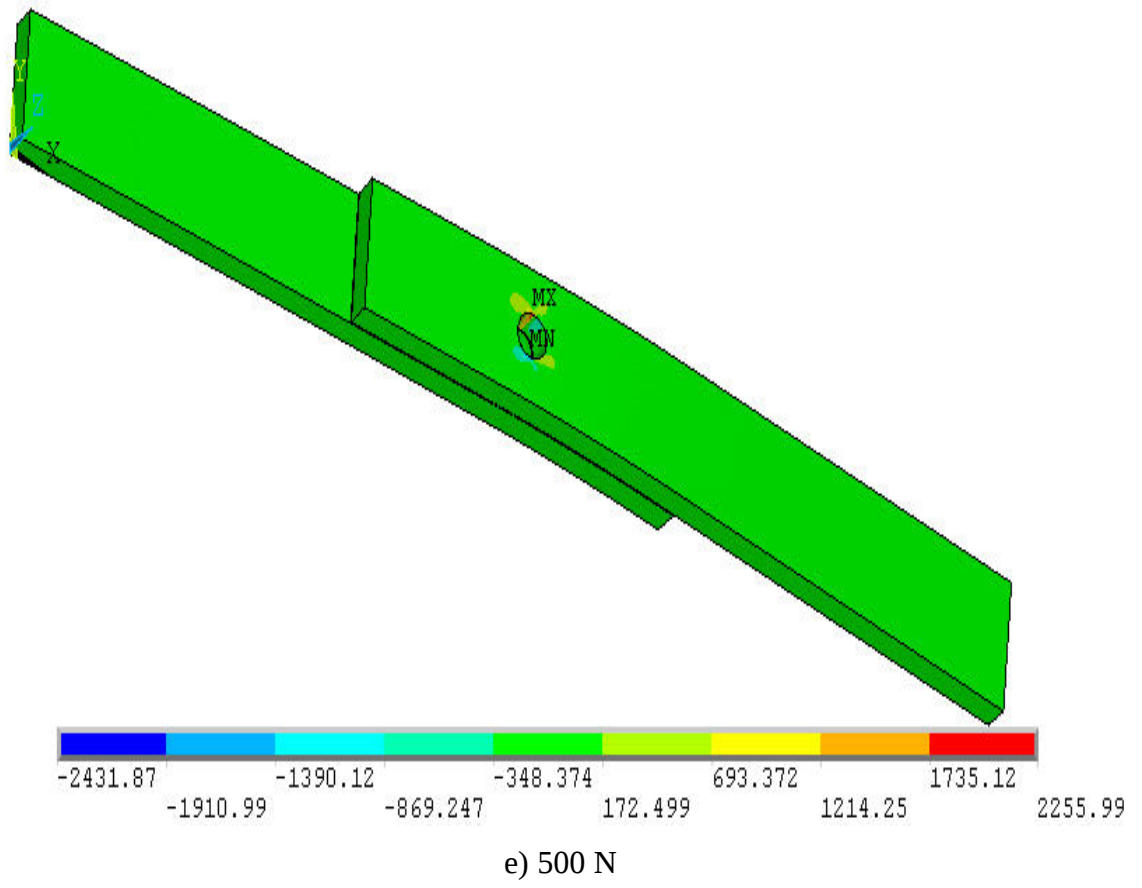


a) 100 N

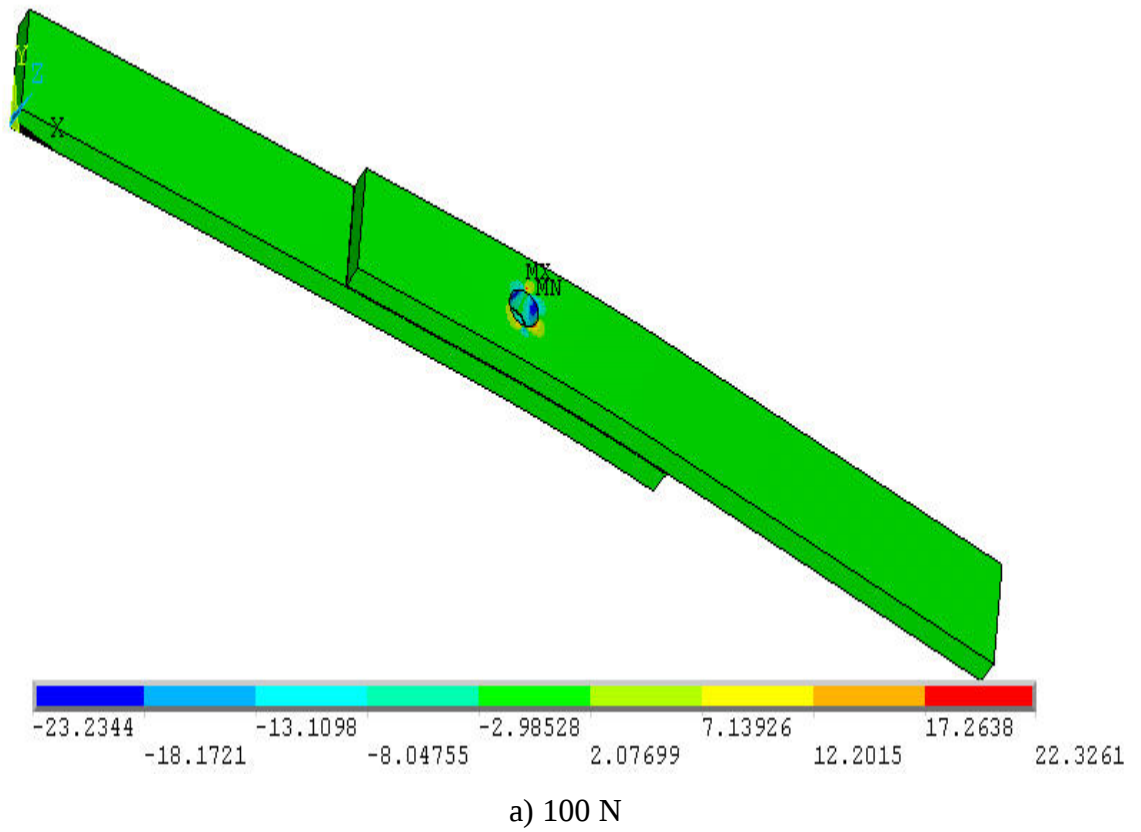


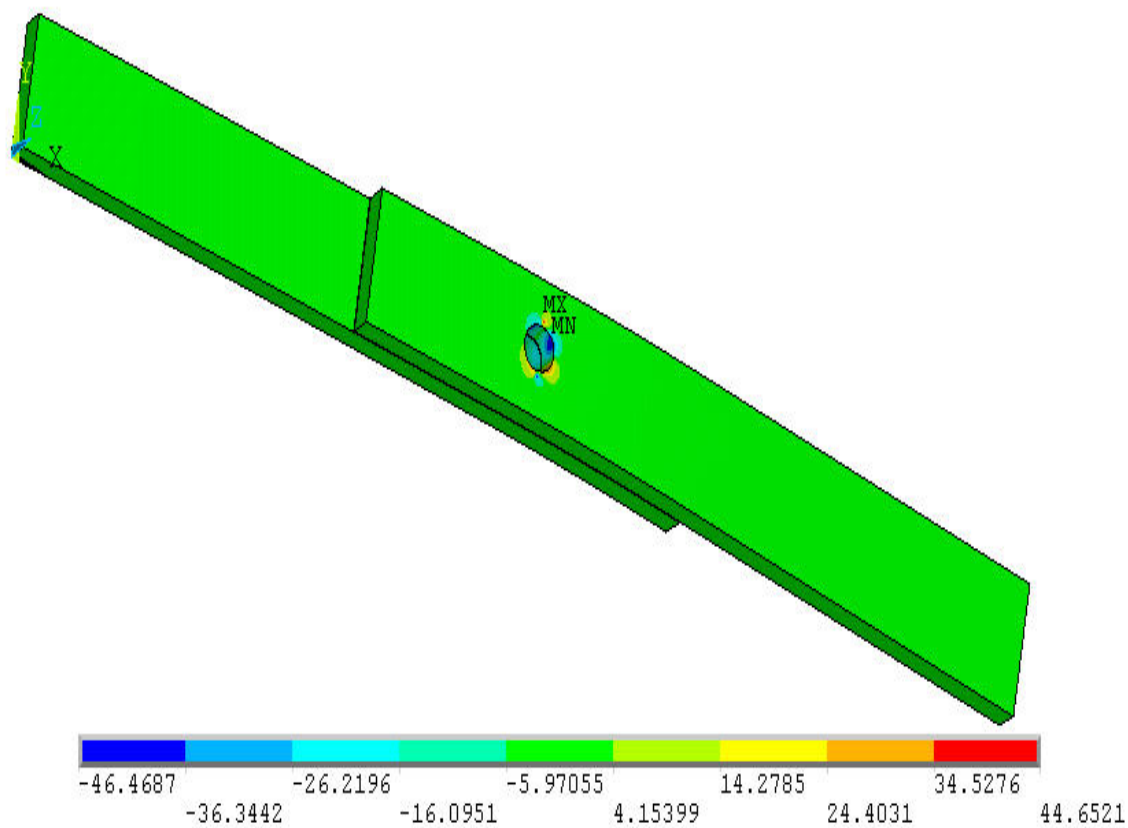
b) 200 N



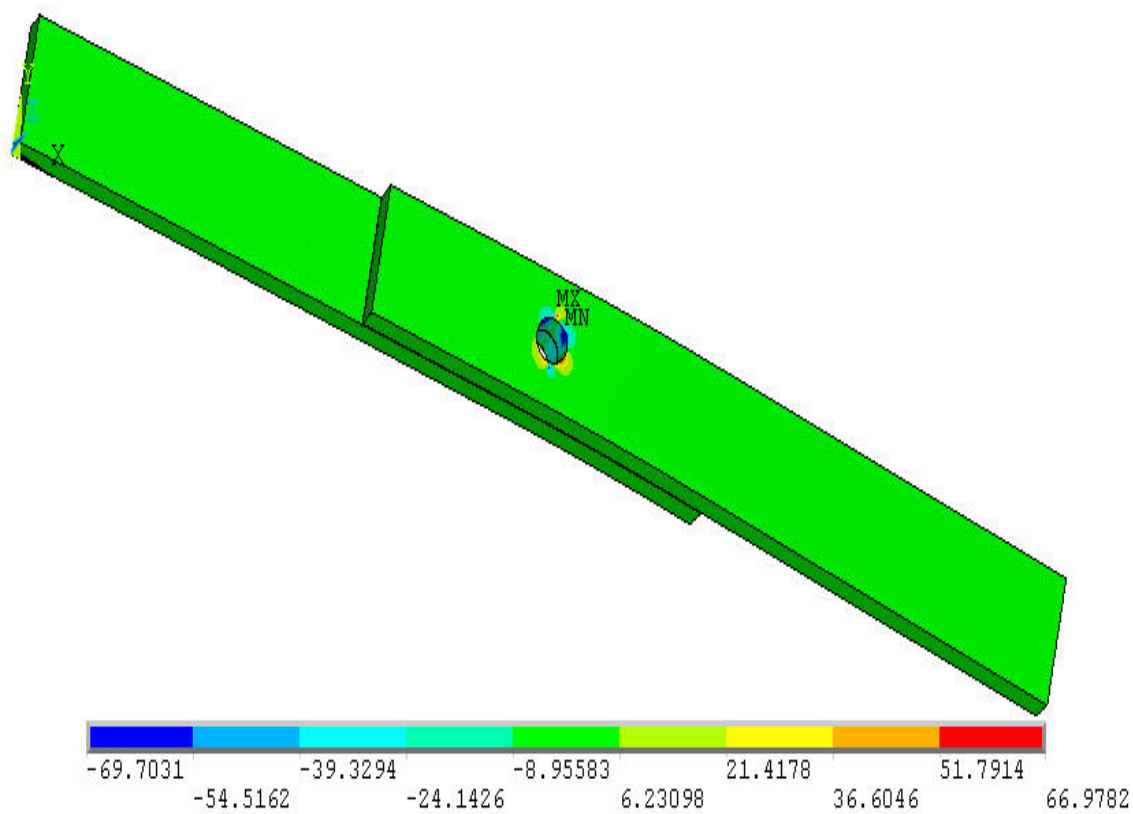


Şekil 4.6. Farklı çekme yükleri altında hesaplanan kayma gerilmeleri (τ_{xy}) (MPa)

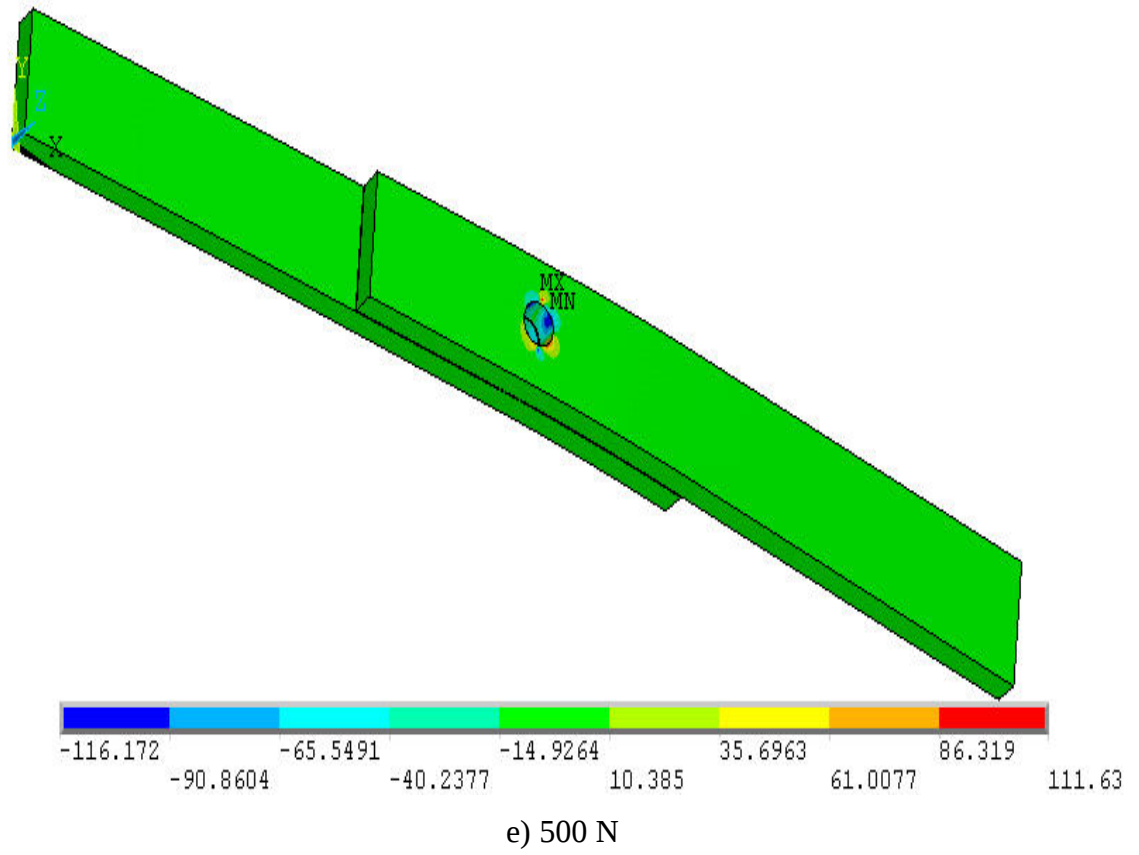
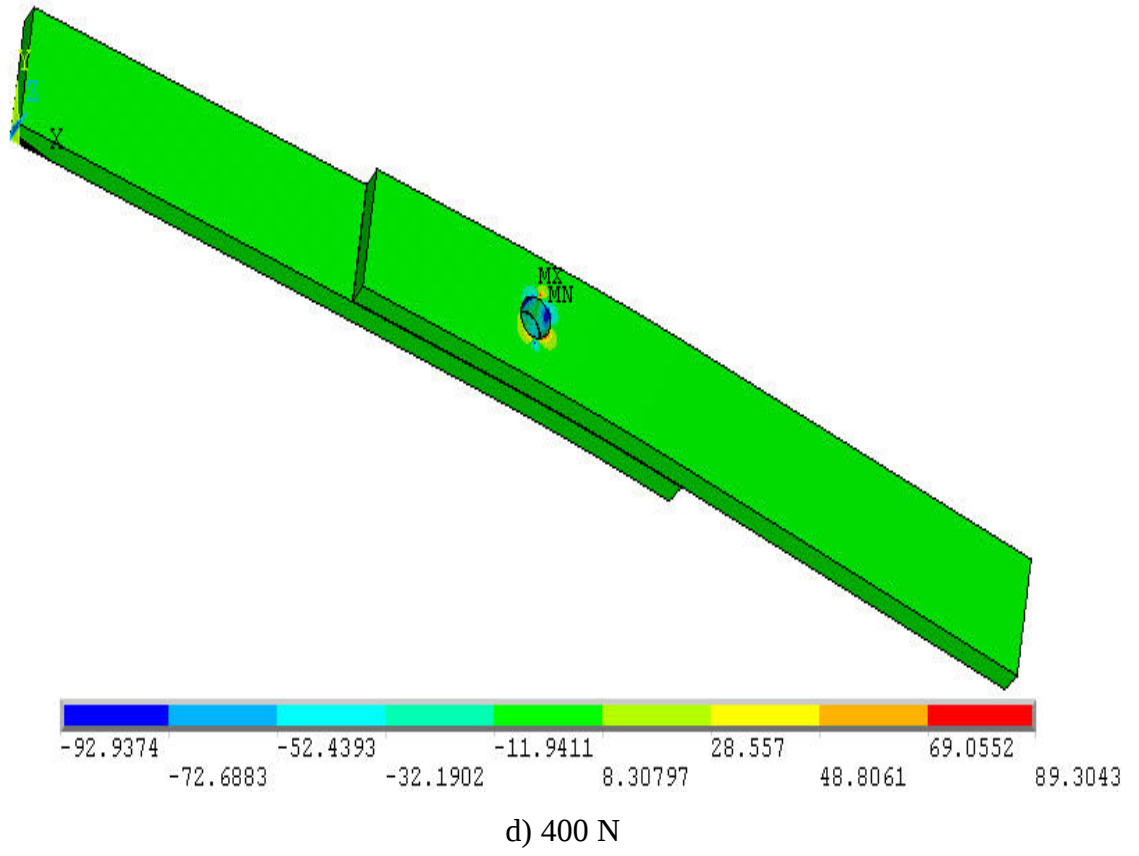




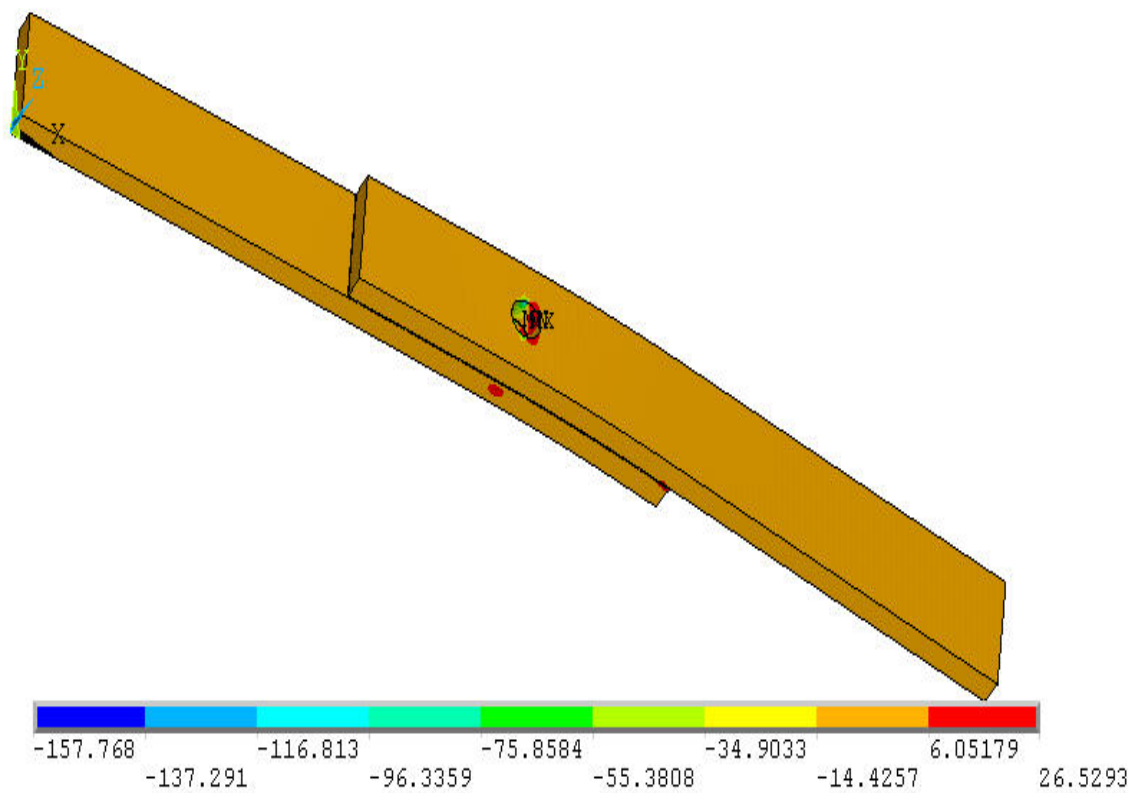
b) 200 N



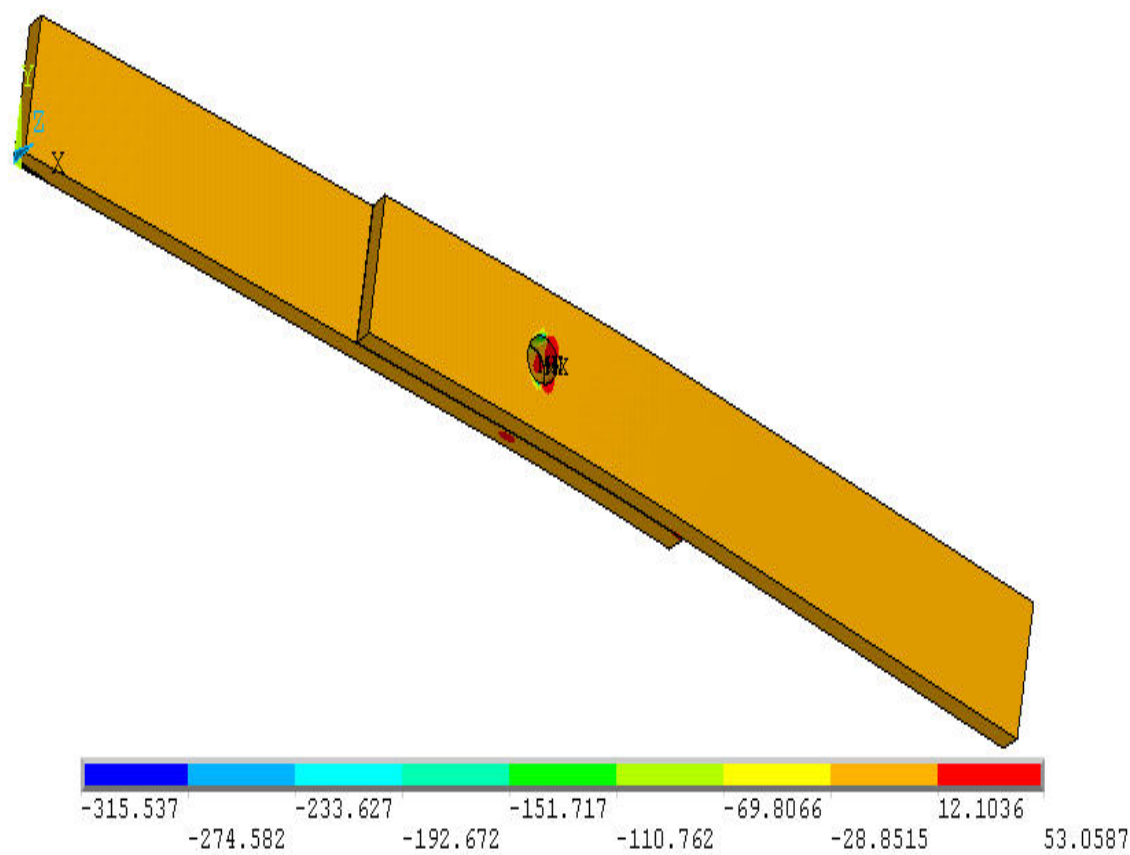
c) 300 N



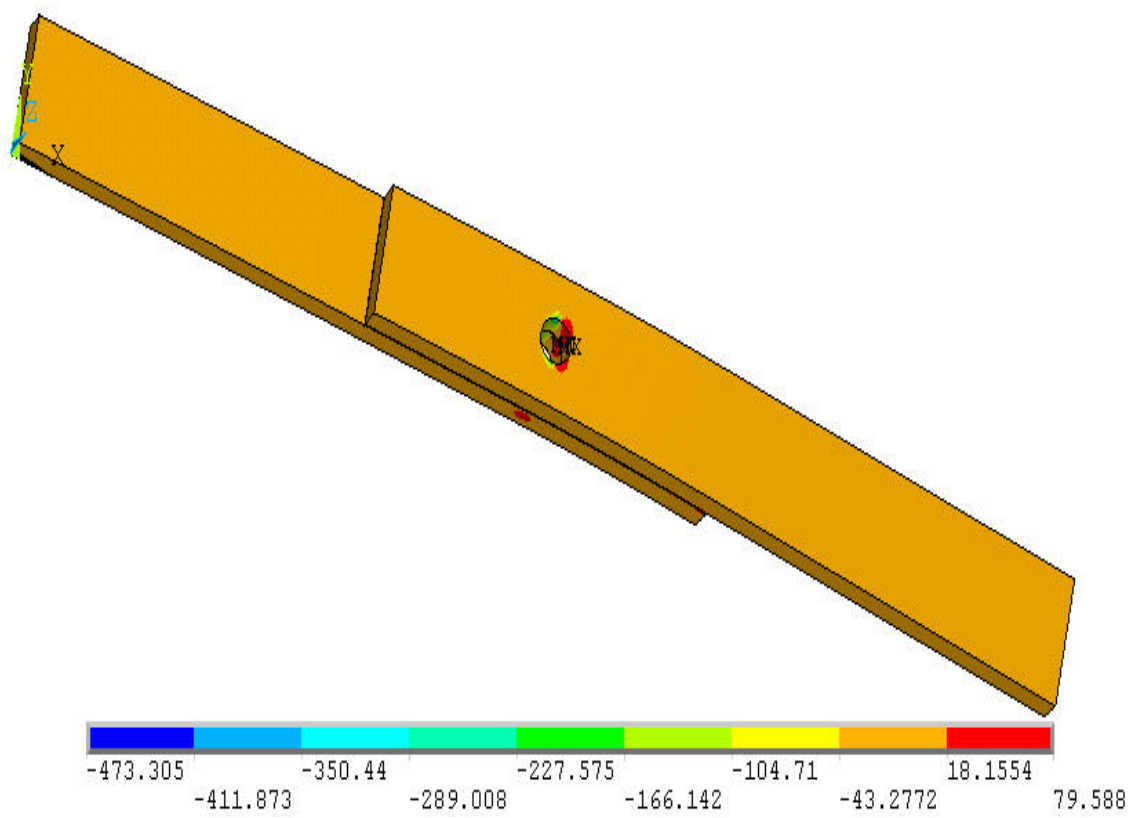
Şekil 4.7. Farklı çekme yükleri altında hesaplanan kayma gerilmeleri (τ_{yz}) (MPa)



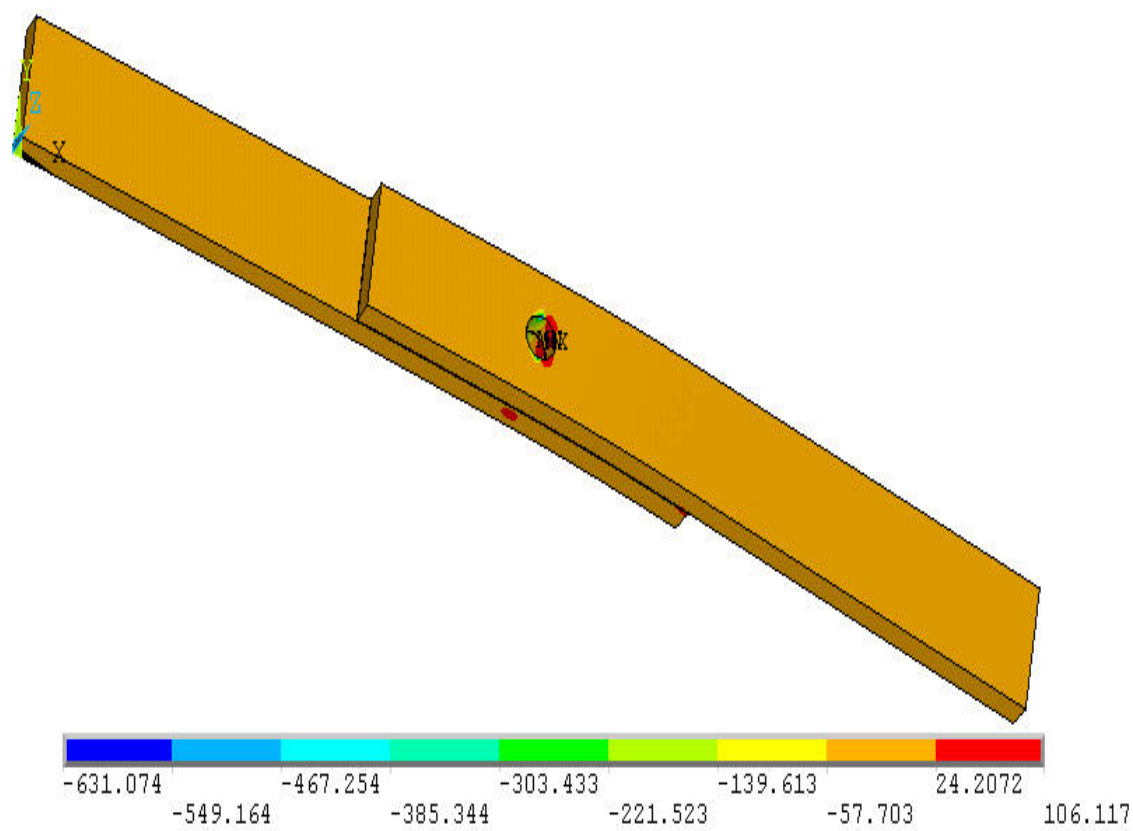
a) 100 N



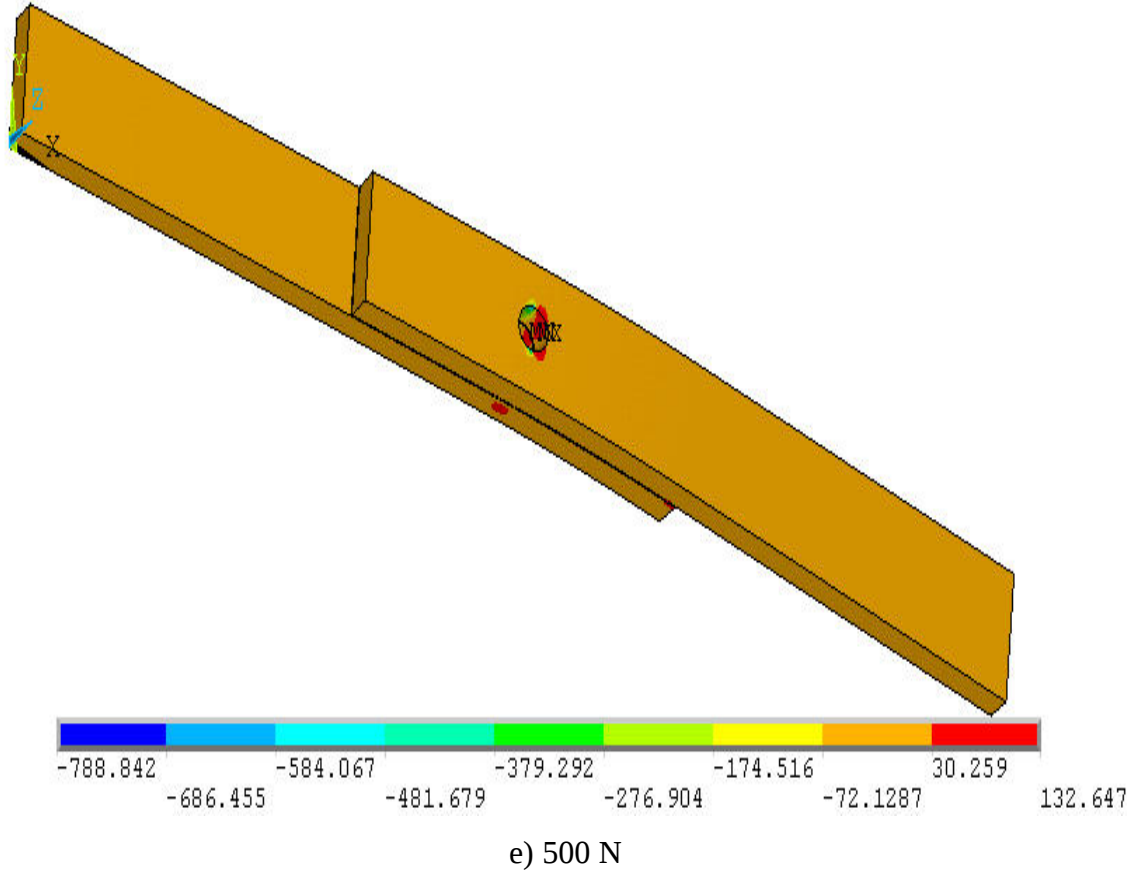
b) 200 N



c) 300 N



d) 400 N



Şekil 4.8. Farklı çekme yükleri altında hesaplanan kayma gerilmeleri (τ_{xz}) (MPa)

4.3. Sadece Sıcaklık Yüğü Etkisiyle Elde Edilen Bulgular

Çalışmanın ikinci aşamasında, karma bağlantıya herhangi bir çekme yükü uygulanmadan, sadece farklı değerlerde uniform sıcaklıklar uygulanmış ve uygulanan bu uniform sıcaklıkların etkisiyle oluşan ısı normal gerilmelerin maksimum değerleri Çizelge 4.3.'te listelenmiştir. Uygulanan uniform sıcaklık değerleri sırasıyla 60, 70, 80, 90 ve 100 °C'dir.

Üç boyutlu modelin üzerindeki gerilmeler incelendiğinde, ısı gerilmelerin basma ve çekme şeklinde değişiklikler gösterdiği gözlenmiştir. Bu nedenle, bu çizelgede analizlerden elde edilen değerler listelenirken, gerilme ve şekil değiştirme bileşenlerinin, çekme ve basma şeklinde verilmesi uygun görülmüştür. Çizelgede eksili değerler gerilmenin basma şeklinde meydana geldiğini ifade etmektedir.

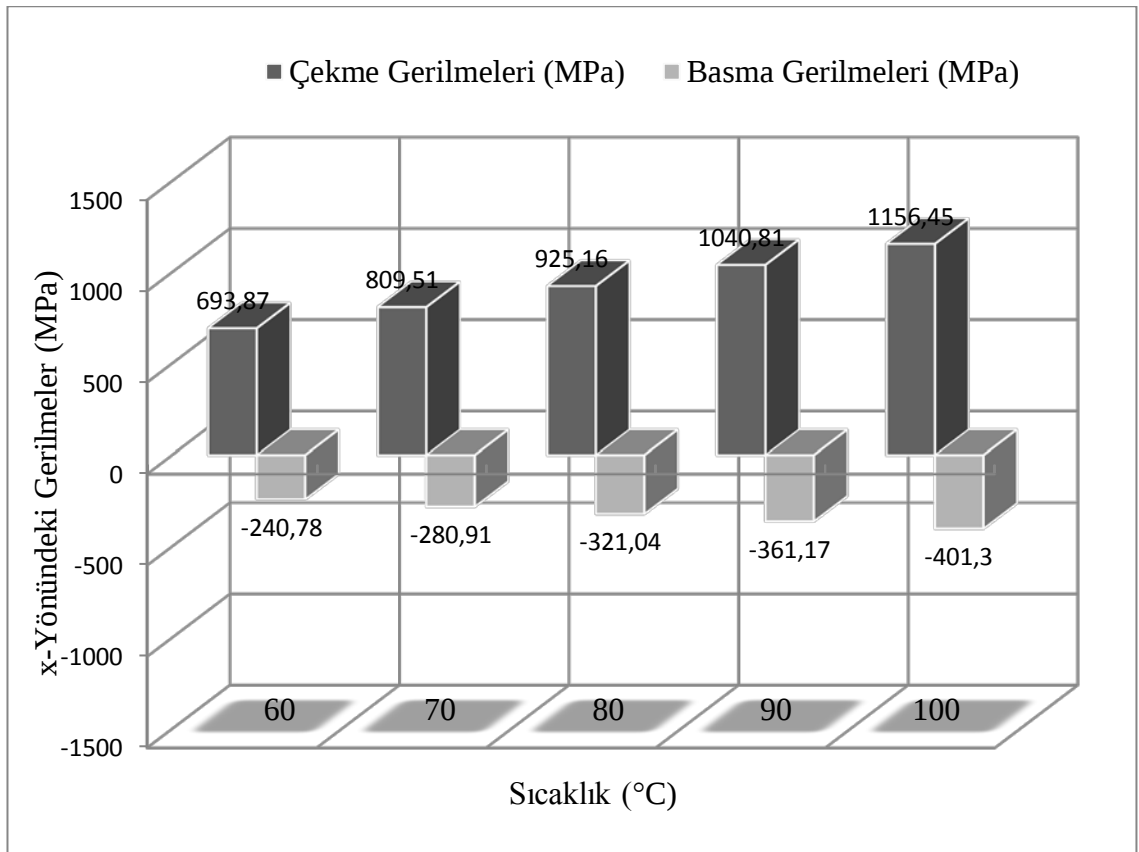
Bu çizelgeden görüldüğü gibi ısı normal gerilmelerin mutlak değer olarak değerleri, uniform sıcaklık artışına bağlı olarak artmaktadır. Dolayısıyla, modellenen üç boyutlu

karma bağlantı için en düşük normal gerilmeler uygulanan 60 °C uniform sıcaklık yükü için elde edilirken, en yüksek değerli normal gerilmeler 100 °C uniform sıcaklık etkisinde iken hesaplanmıştır. Sonuç olarak, 100 °C üniform sıcaklık yükü için çekme ve basma şeklindeki en yüksek ısı normal gerilme değerleri sırasıyla 1156,45 MPa ve -401,30 MPa olarak hesaplanmıştır. Ayrıca en düşük normal çekme ve basma gerilmeleri 60 °C’de z-yönünde 73,03 MPa ve -88,32 MPa olarak bulunmuştur.

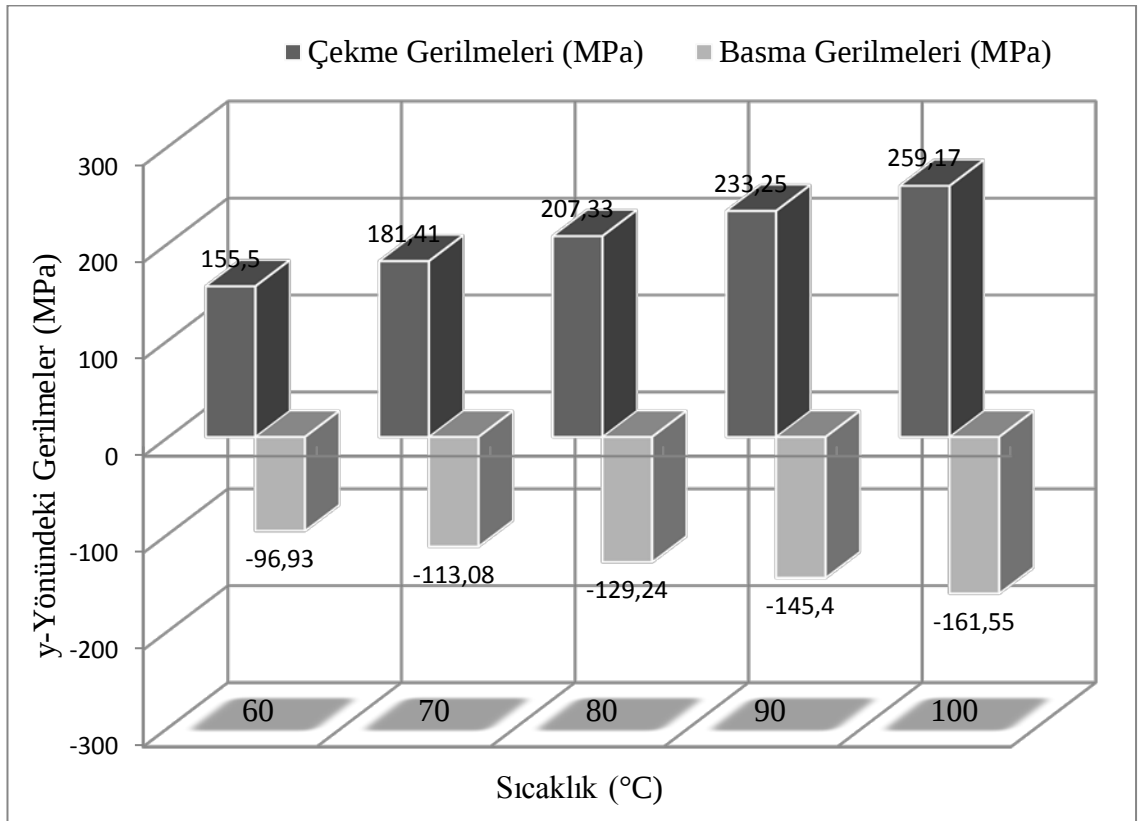
Çizelge 4.3. Uniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler (σ_x , σ_y , σ_z)

Sıcaklık (°C)	Gerilme Formu	Normal gerilmeler (MPa)		
		σ_x	σ_y	σ_z
60	Çekme	693,87	155,50	73,03
	Basma	-240,78	-96,93	-88,32
70	Çekme	809,51	181,41	87,54
	Basma	-280,91	-113,08	-103,05
80	Çekme	925,16	207,33	100,05
	Basma	-321,04	-129,24	-117,77
90	Çekme	1040,81	233,25	112,56
	Basma	-361,17	-145,4	-132,49
100	Çekme	1156,45	259,17	125,06
	Basma	-401,30	-161,55	-147,21

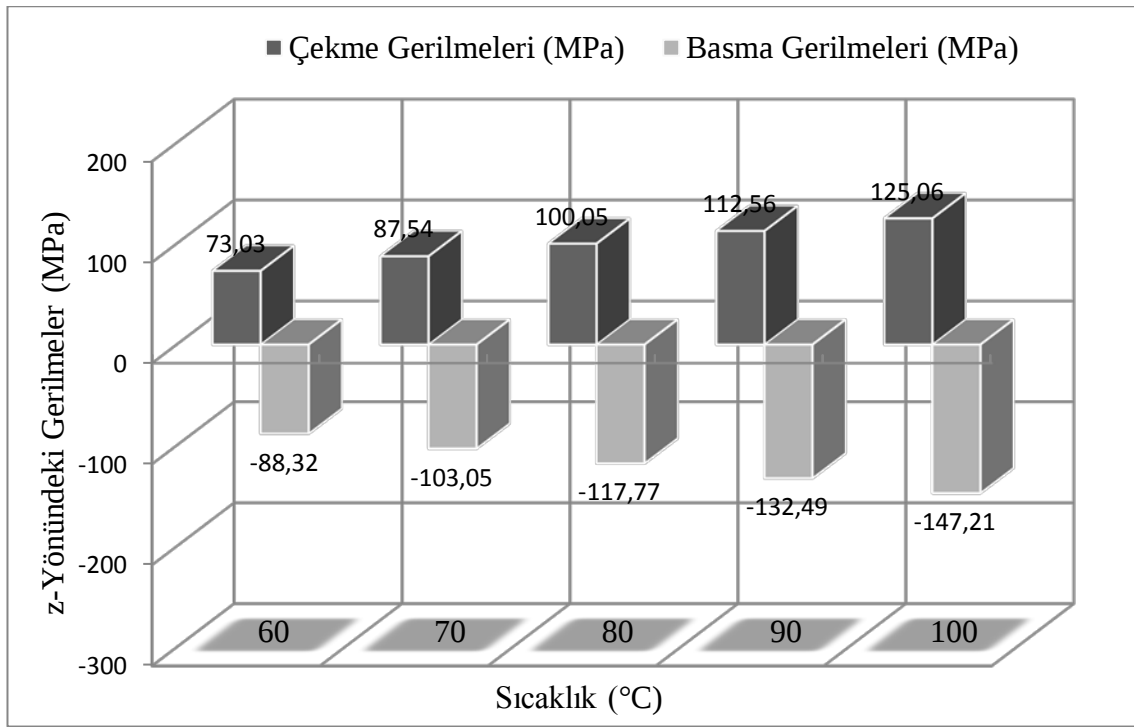
Uygulanan uniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan maksimum normal gerilmeler; x-yönündeki (σ_x), y-yönündeki (σ_y) ve z-yönünde (σ_z) olmak üzere Şekil 6.9.’da gösterilmiştir. Çizelge 4.3.’te listelenen normal gerilme değerlerinin, bu şekilde grafiksel gösterimi neticesinde, uniform sıcaklık yükündeki artışa bağlı olarak, ısı gerilmelerde meydana gelen artış açıkça görülebilmektedir. Bu şekillerden görüldüğü üzere en büyük değerli normal gerilmeler x-yönünde meydana gelmiştir. Ayrıca, z-yönünde hesaplanan normal gerilmelerin değerlerinin, x ve y-yönlerinde hesaplanan normal gerilme değerlerinden küçük değerlerde olduğu görülmektedir.



a) x-yönündeki normal gerilme (σ_x)



b) y-yönündeki normal gerilme (σ_y)



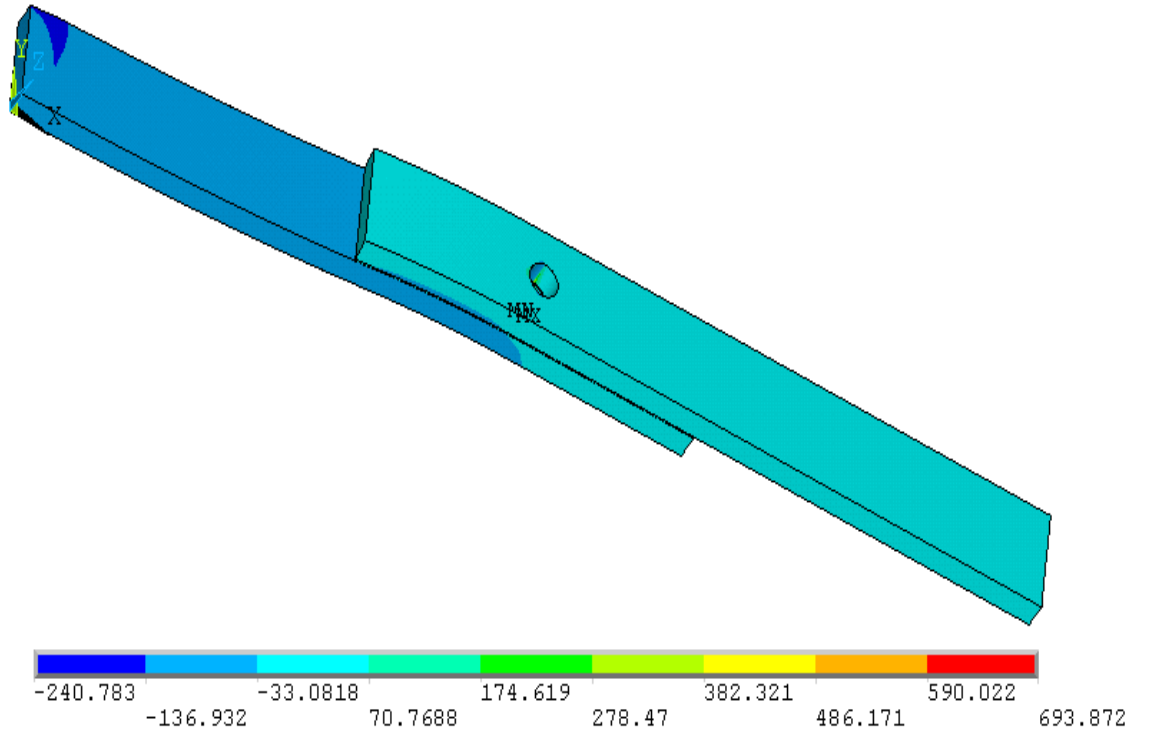
c) z-yönündeki normal gerilme (σ_z)

Şekil 4.9. Uniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler (σ_x , σ_y , σ_z)

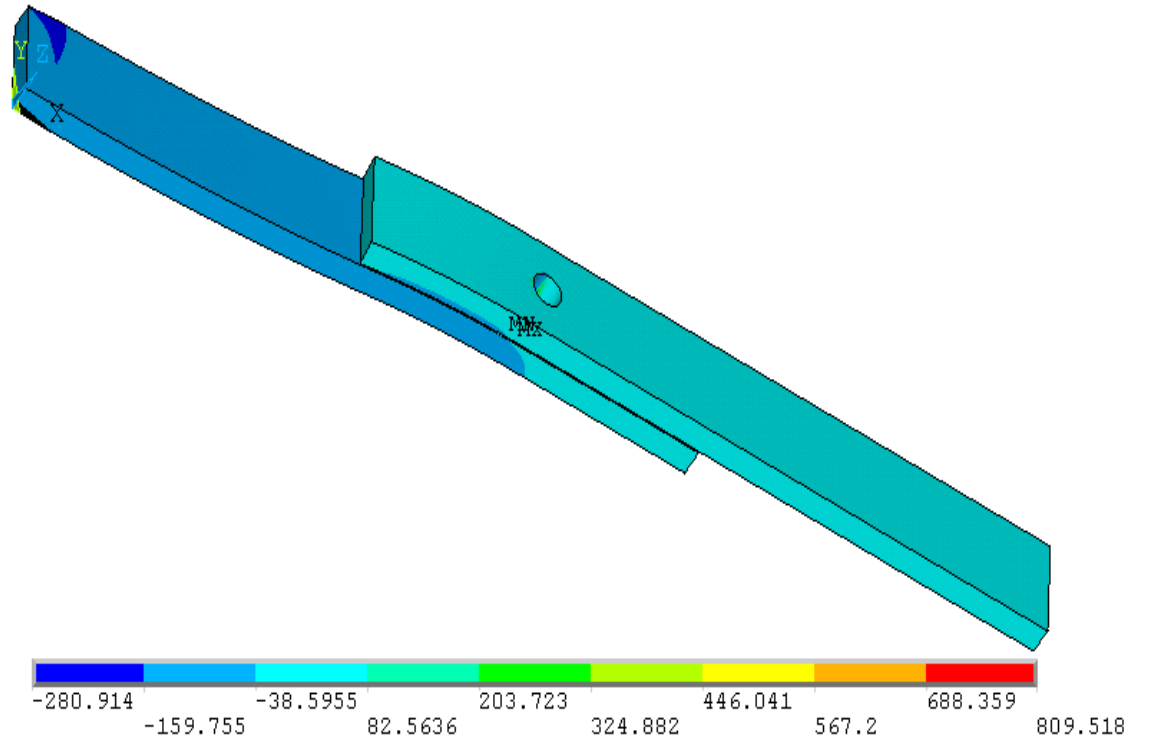
Uygulanan uniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler; x-yönündeki (σ_x), y-yönündeki (σ_y) ve z-yönünde (σ_z) olmak üzere Şekil 4.10., Şekil 4.11. ve Şekil 4.12.'de sırası ile gösterilmiştir. Çizelge 4.3.'te listelenen normal gerilme değerlerinin, bu şekilde grafiksel gösterimi neticesinde, uniform sıcaklık ve çekme yükündeki artışa bağlı olarak, meydana gelen çekme gerilmelerindeki artış açıkça görülebilmektedir. Bu şekillerden görüldüğü üzere en büyük gerilmeler x-yönünde meydana gelmiştir. Bunun sebebi çekme yükünün x-yönünde uygulanması ve bağlantının özellikle bu yönde daha fazla zorlanmış olmasıdır. Ayrıca, z-yönünde hesaplanan gerilmelerin değerlerinin, x ve y-yönlerinde hesaplanan gerilme değerlerinden küçük olduğu görülmektedir.

Şekil 4.10., Şekil 4.11. ve Şekil 4.12.' de uygulanan uniform sıcaklıklar neticesinde görüldüğü üzere deliklerin içlerinde x-yönündeki çekme ve basma gerilmelerinin en yüksek değerlerde olduğu ve sıcaklık yükselişine bağlı olarak çekme ve basma gerilmelerinin yüzeyde ve delik içlerinde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca her üç yönde de yüzeyde çekme ve basma gerilmelerinin sıcaklık artışına bağlı olarak yükseldiği, x-yönündeki artışın y ve z'ye göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Üç

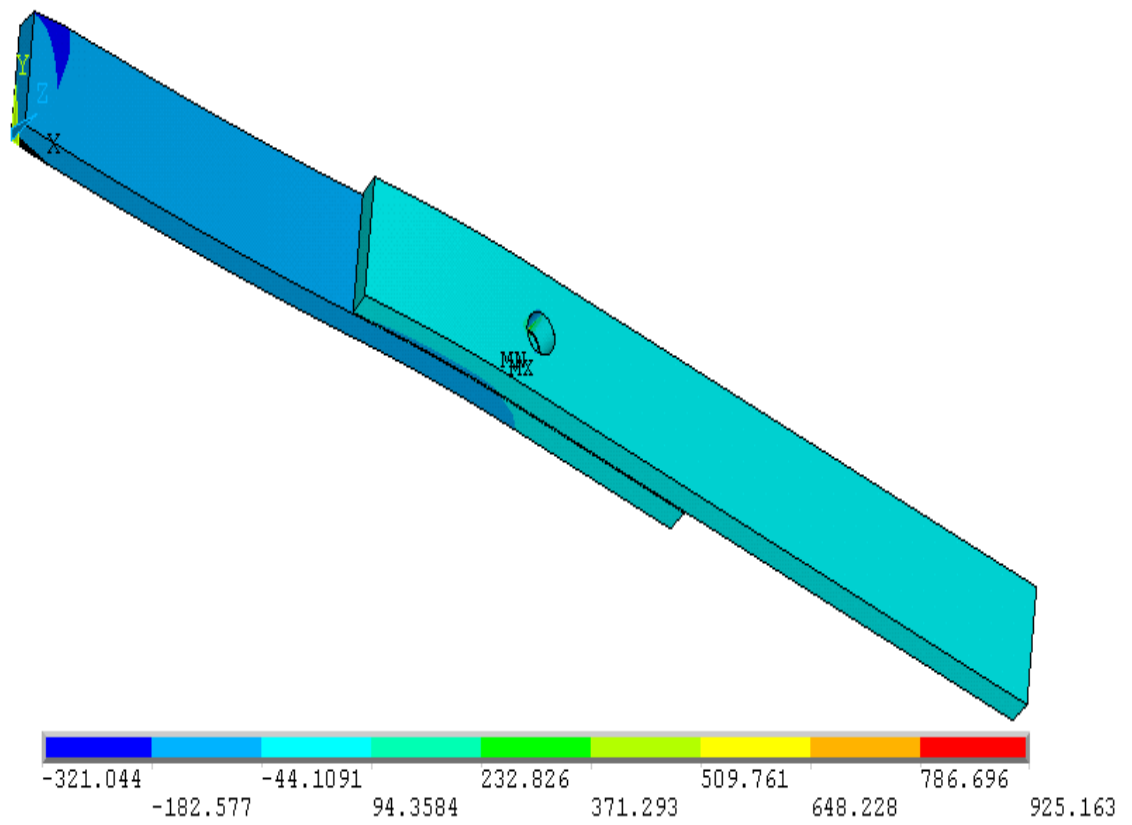
şekli karşılaştırmak gerekirse, plaka uçlarında ve yüzeyde y ve z-yönlerinde x-yönüne göre renk değişimi daha fazla olmaktadır.



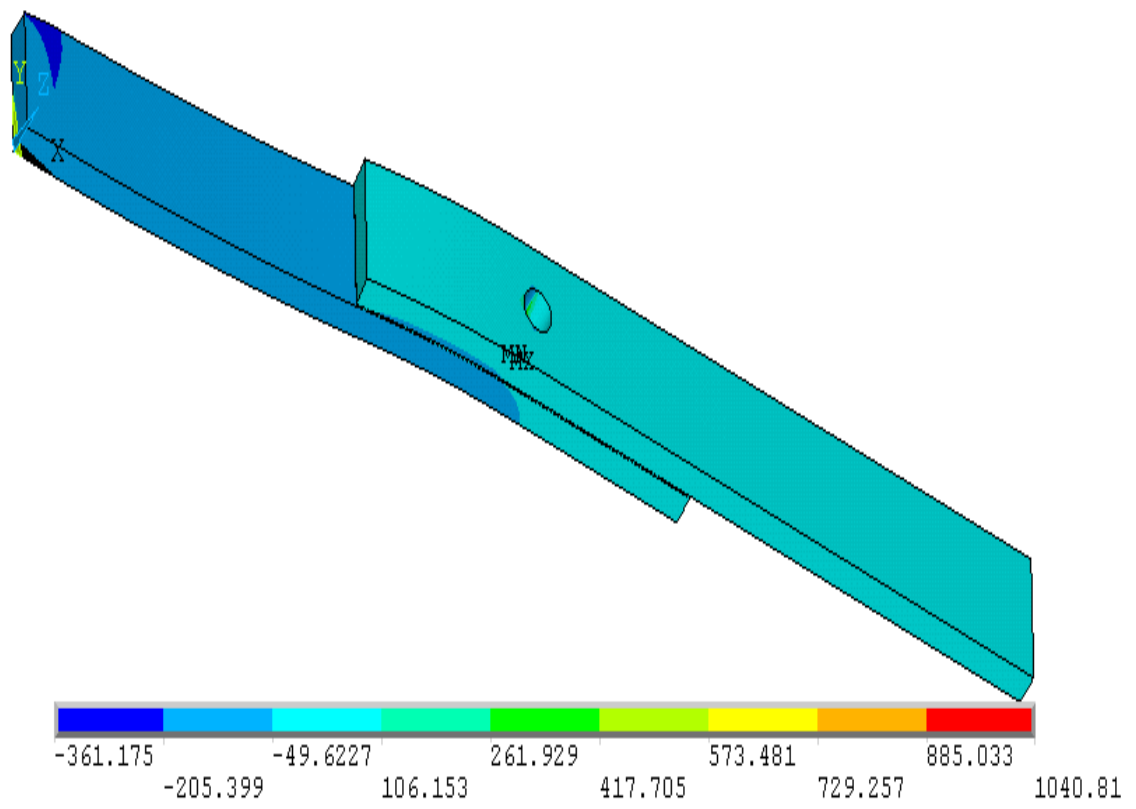
a) 60 °C



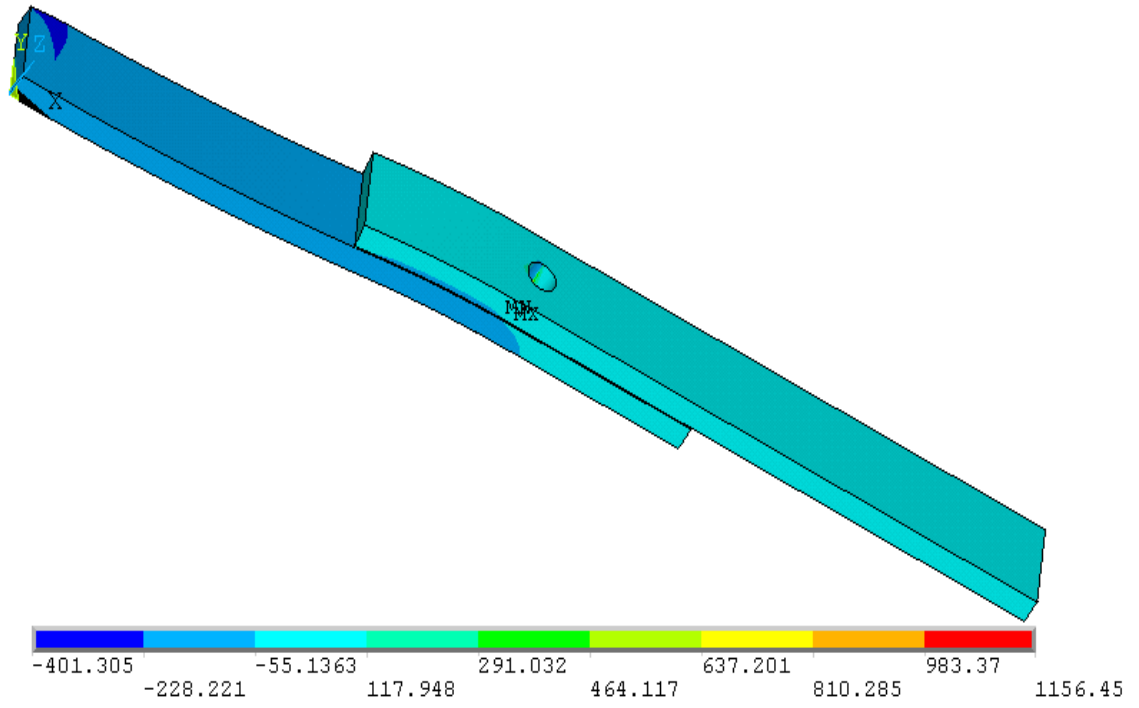
b) 70 °C



c) 80 °C

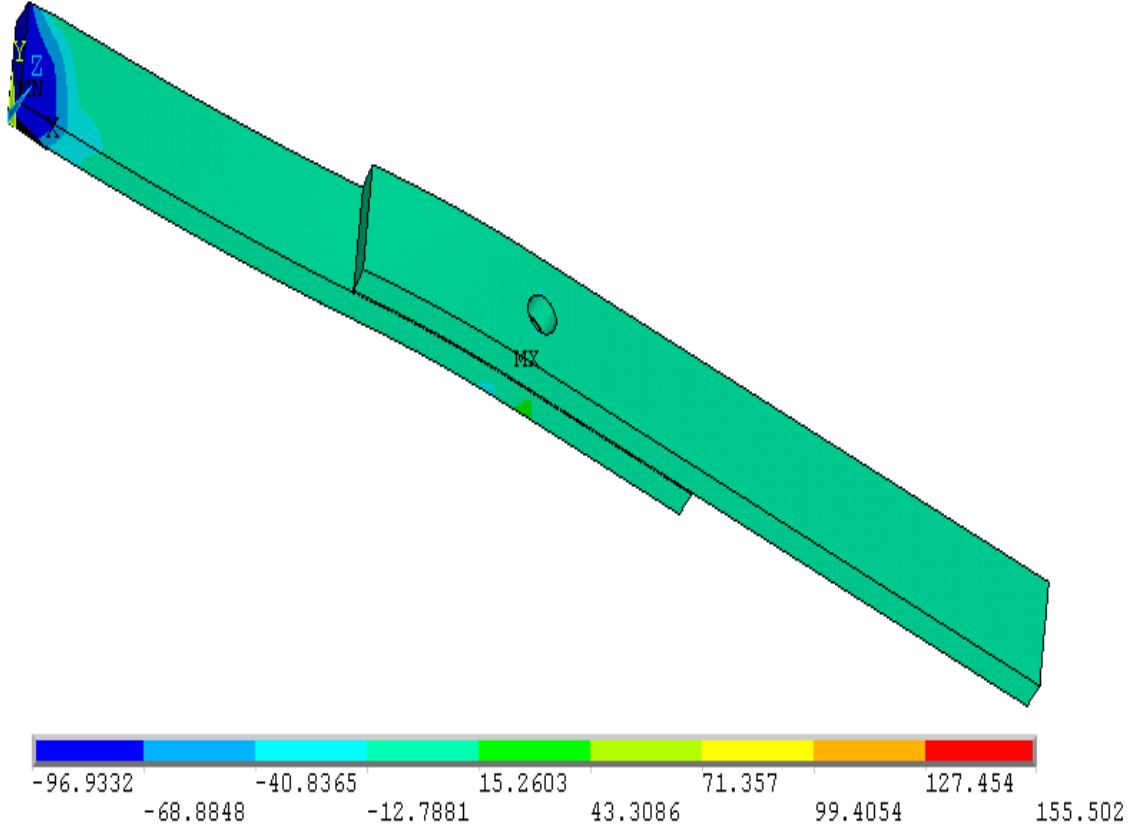


d) 90 °C

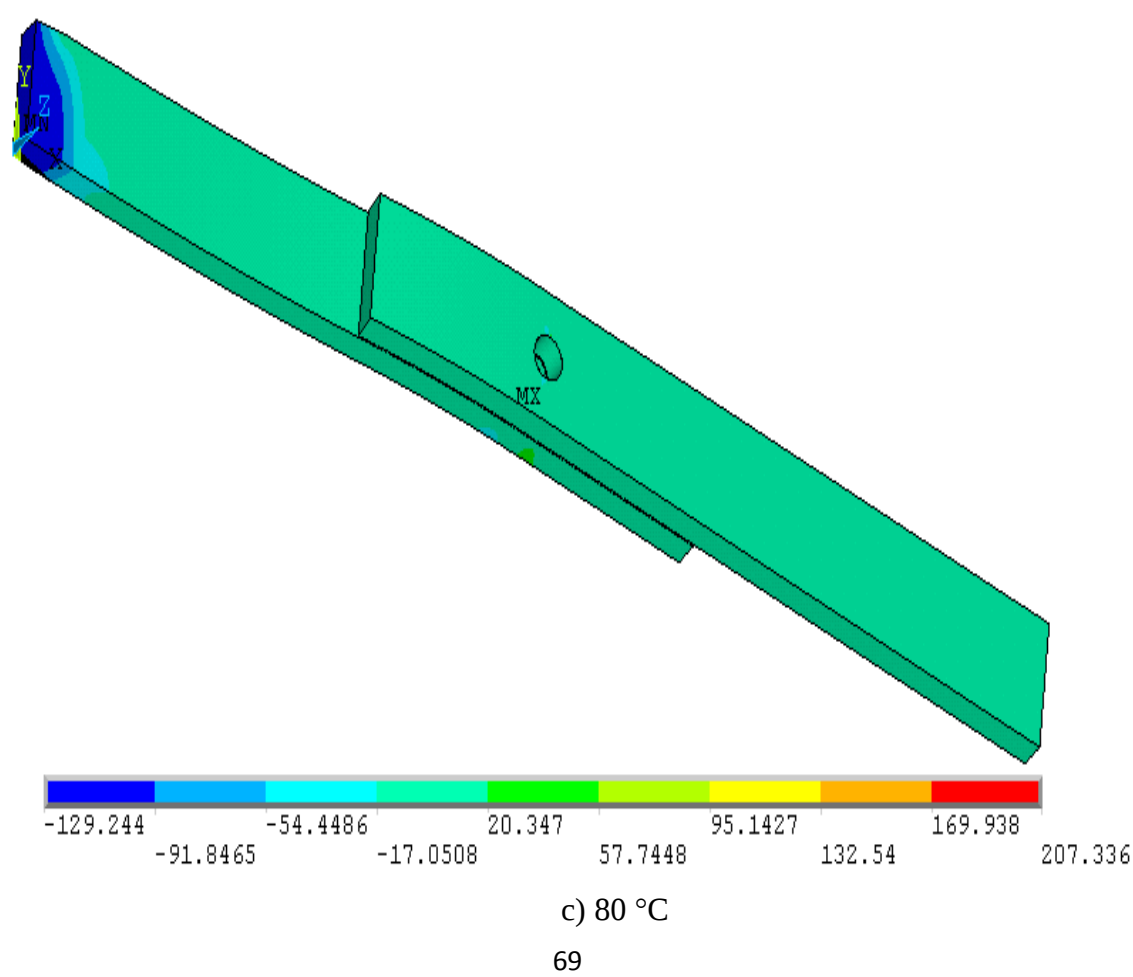
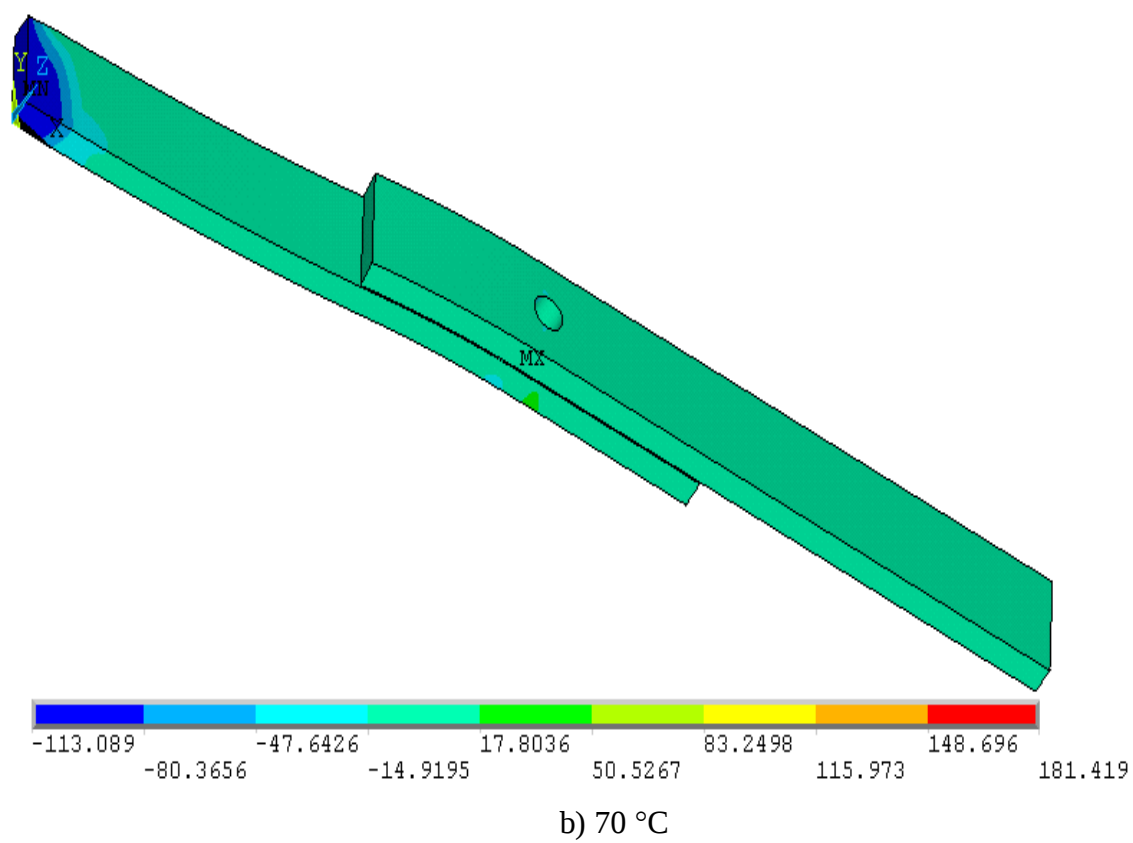


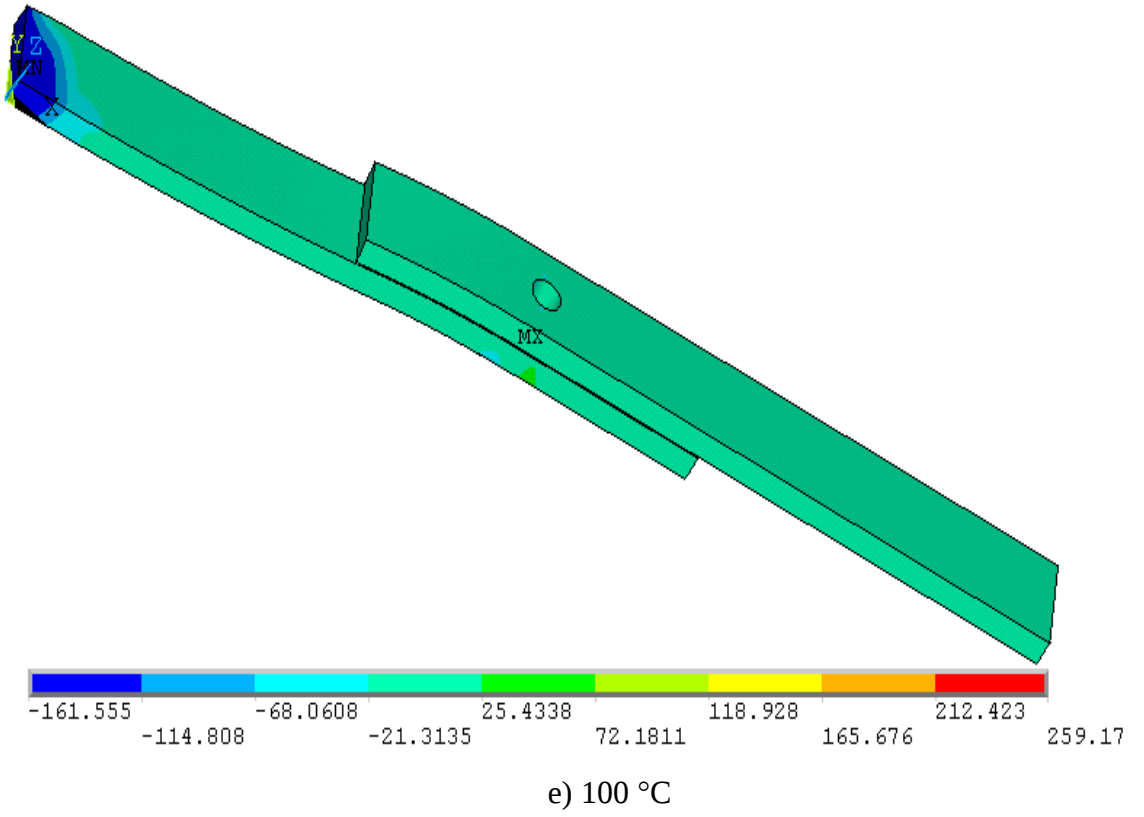
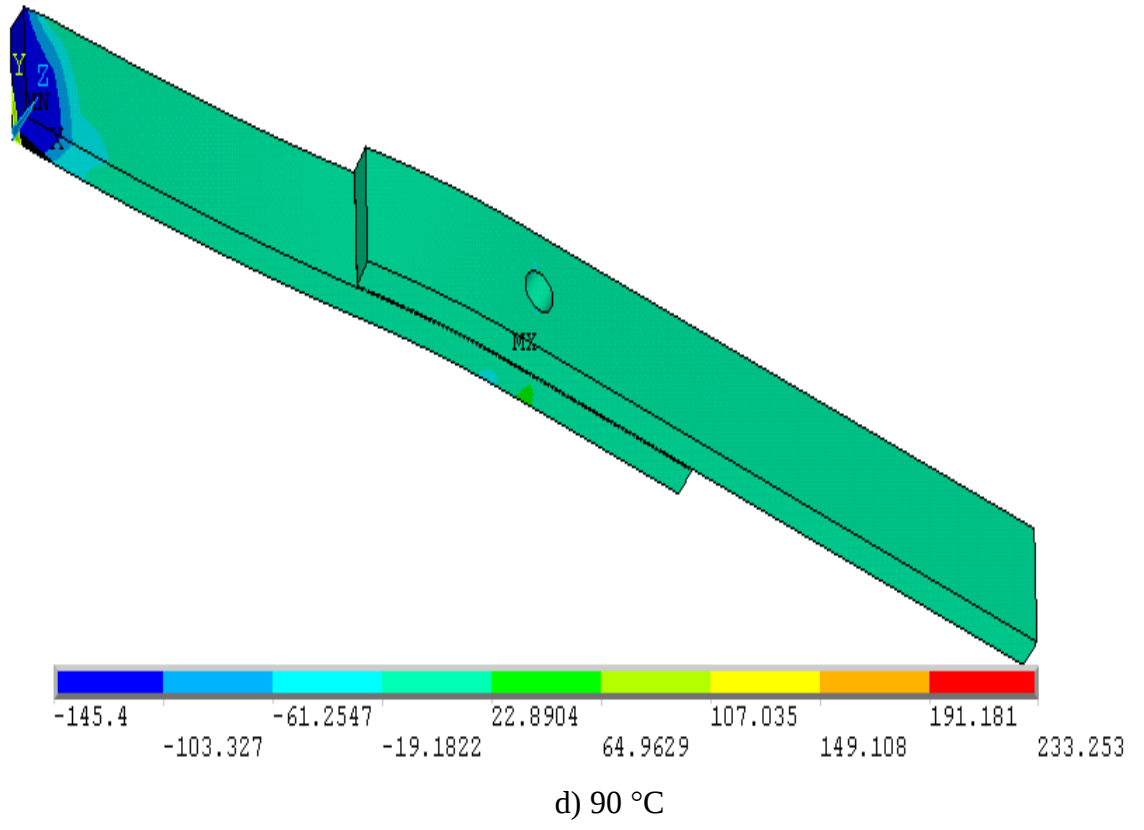
e) 100 °C

Şekil 4.10. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile x-yönünde hesaplanan normal gerilmeler (MPa)

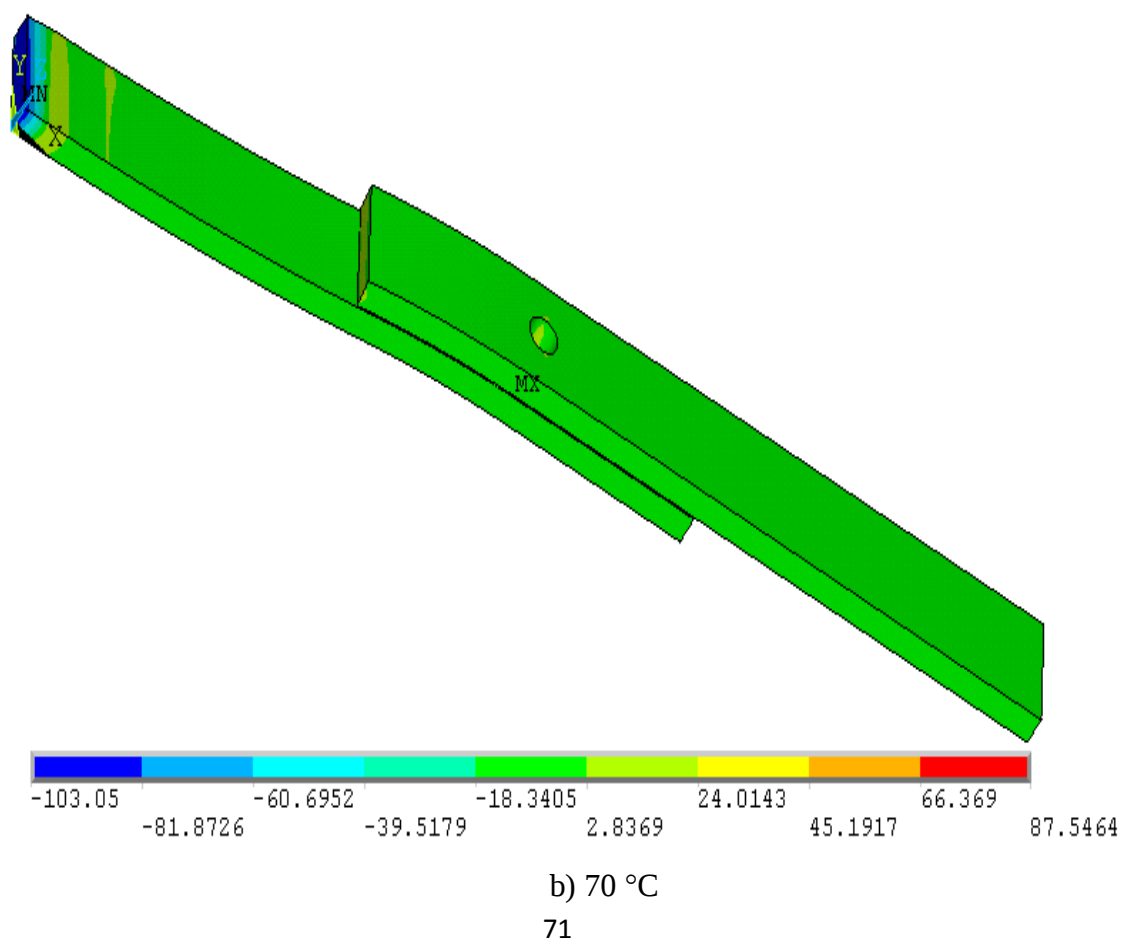
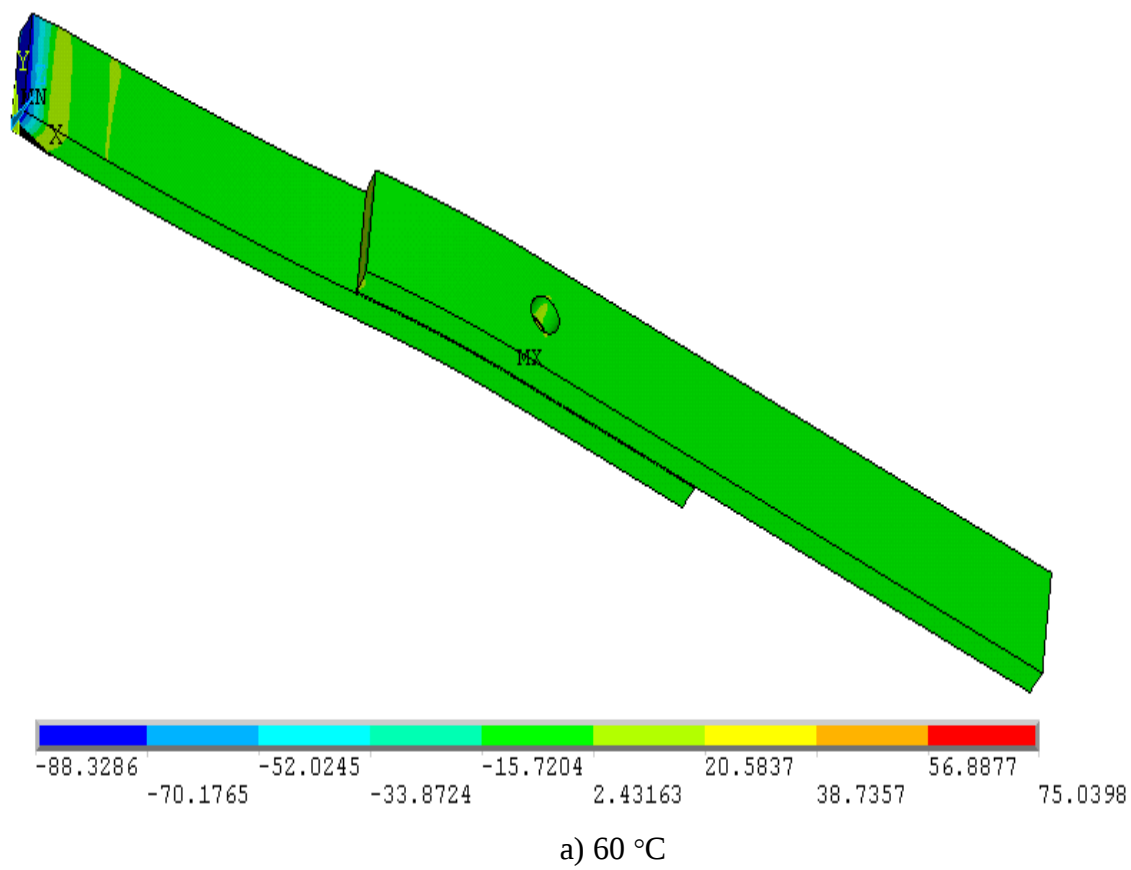


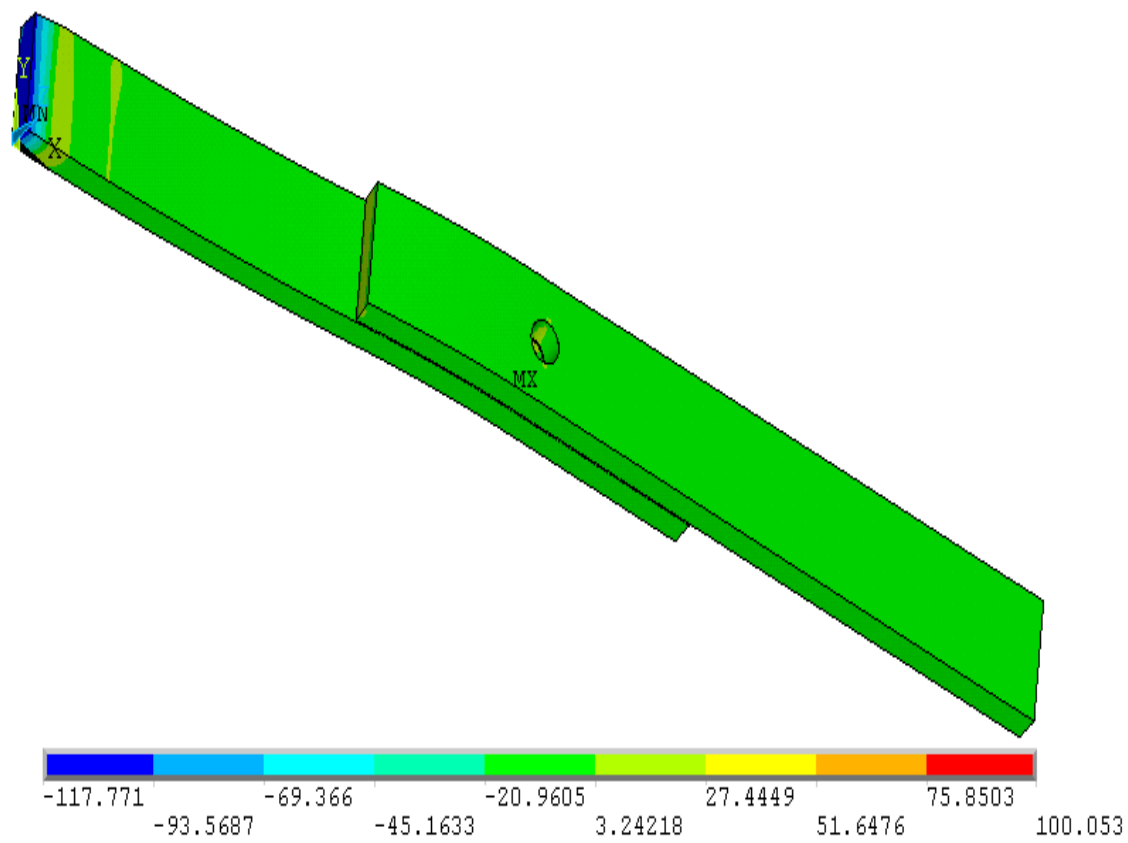
a) 60 °C



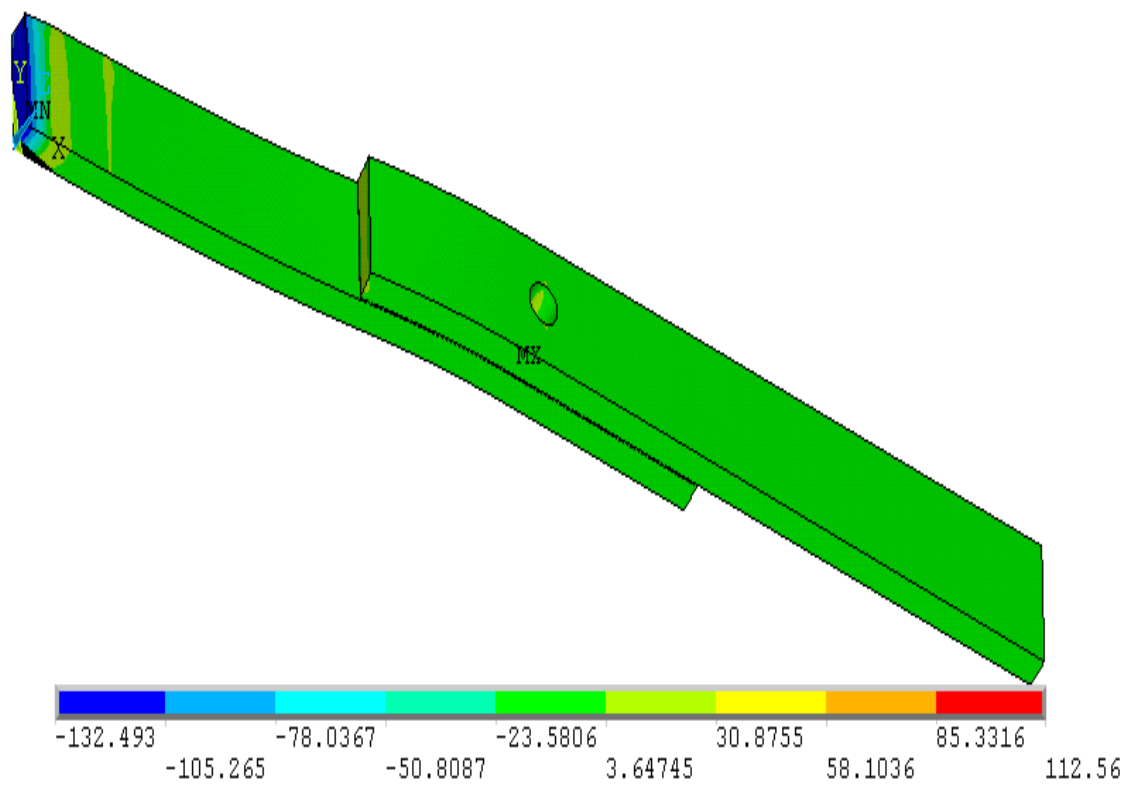


Şekil 4.11. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile y-yönünde hesaplanan normal gerilmeler (MPa)

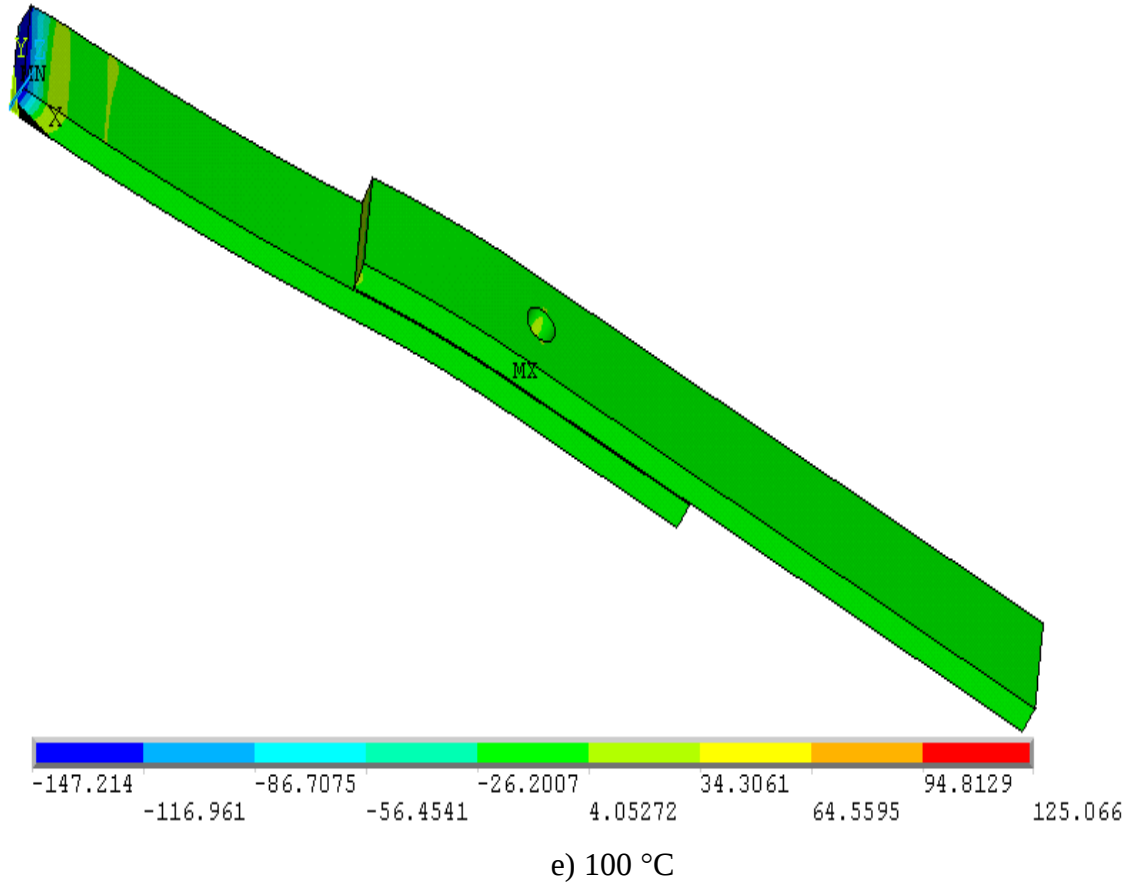




c) 80 °C



d) 90 °C



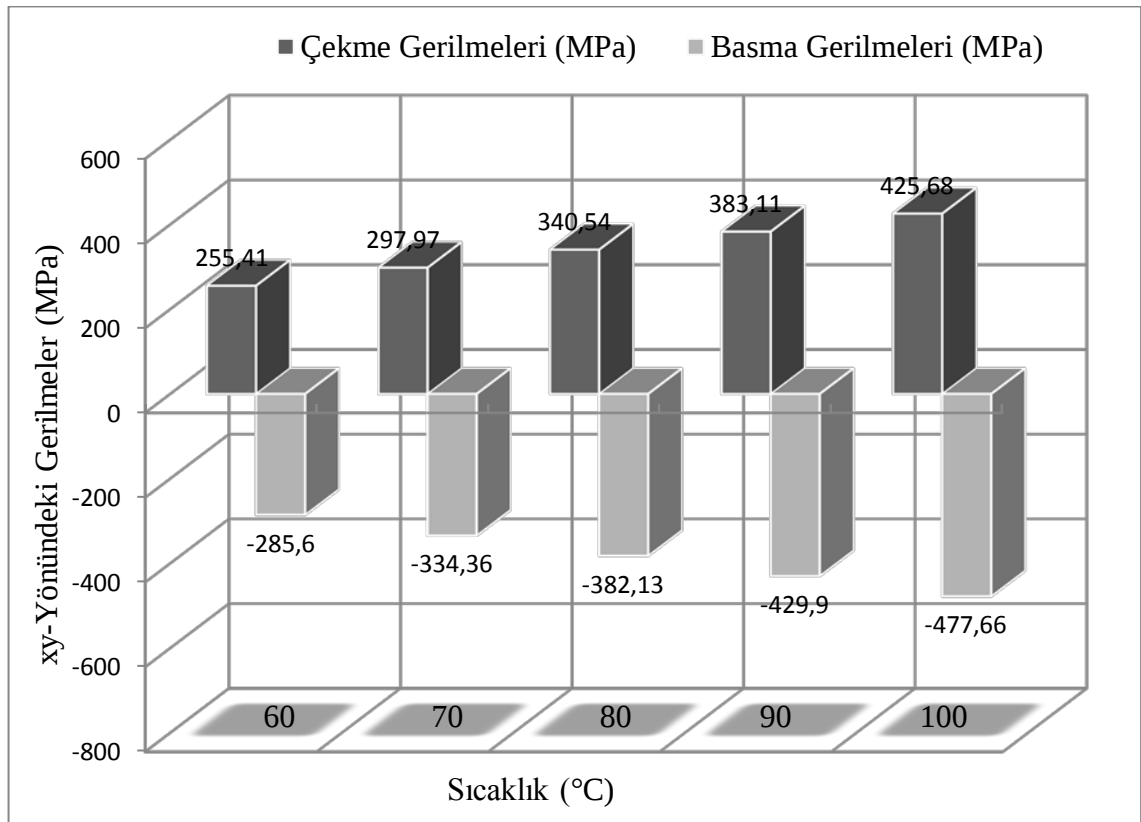
Şekil 4.12. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile z-yönünde hesaplanan normal gerilmeler (MPa)

Normal gerilmelerde olduğu gibi, uygulanan farklı sıcaklık miktarlarına bağlı olarak hesaplanan ısıl kayma gerilmeleri τ_{xy} , τ_{yz} , ve τ_{xz} 'in üç boyutlu model üzerindeki maksimum değerleri Çizelge 4.4.'te gösterilmiştir.

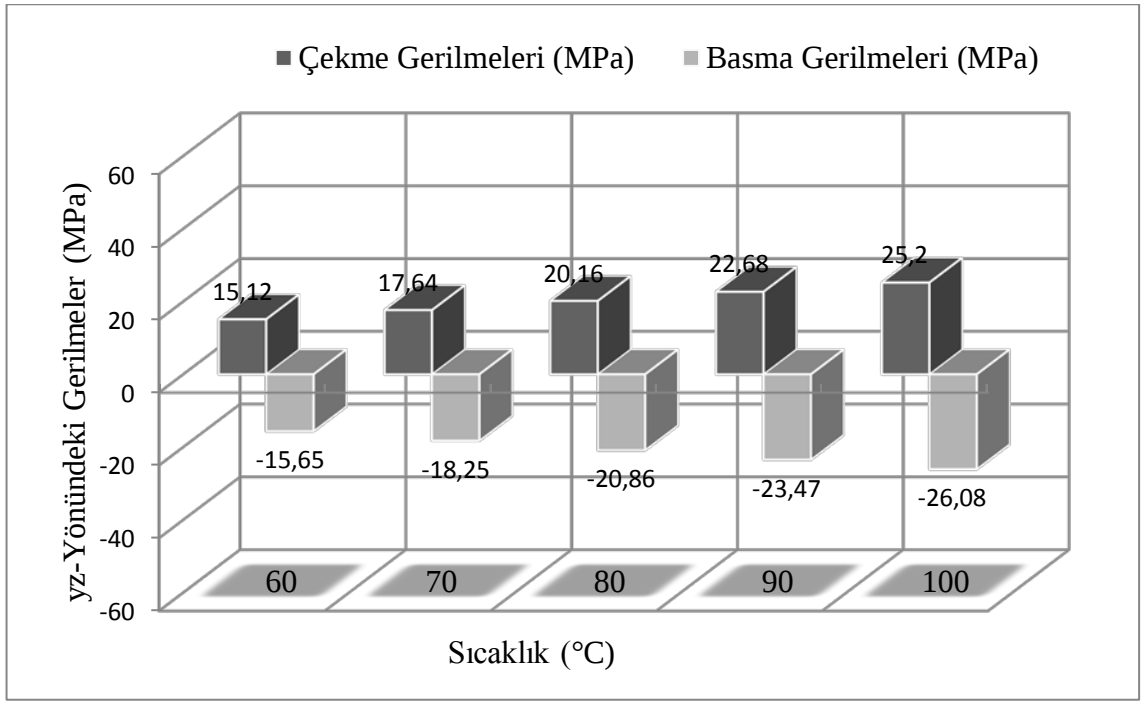
Çizelge 4.4.'te listelenen ısıl kayma gerilme değerlerinin, Şekil 4.13.'te grafiksel gösterimi neticesinde, sıcaklık artışına bağlı olarak, ısıl kayma gerilmelerde meydana gelen artış açıkça görülebilmektedir. En yüksek değerli ısıl kayma gerilmelerinin xy-yönünde 425.68 MPa çekme gerilme değeri ve -477.66 MPa basma gerilme değeri olarak hesaplanmıştır. Ayrıca en düşük çekme ve basma gerilme değerleri yz-yönünde sırasıyla 15.12 MPa ve -15.65 MPa olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.4. Uniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan ısıl kayma gerilmeleri (τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{xz})

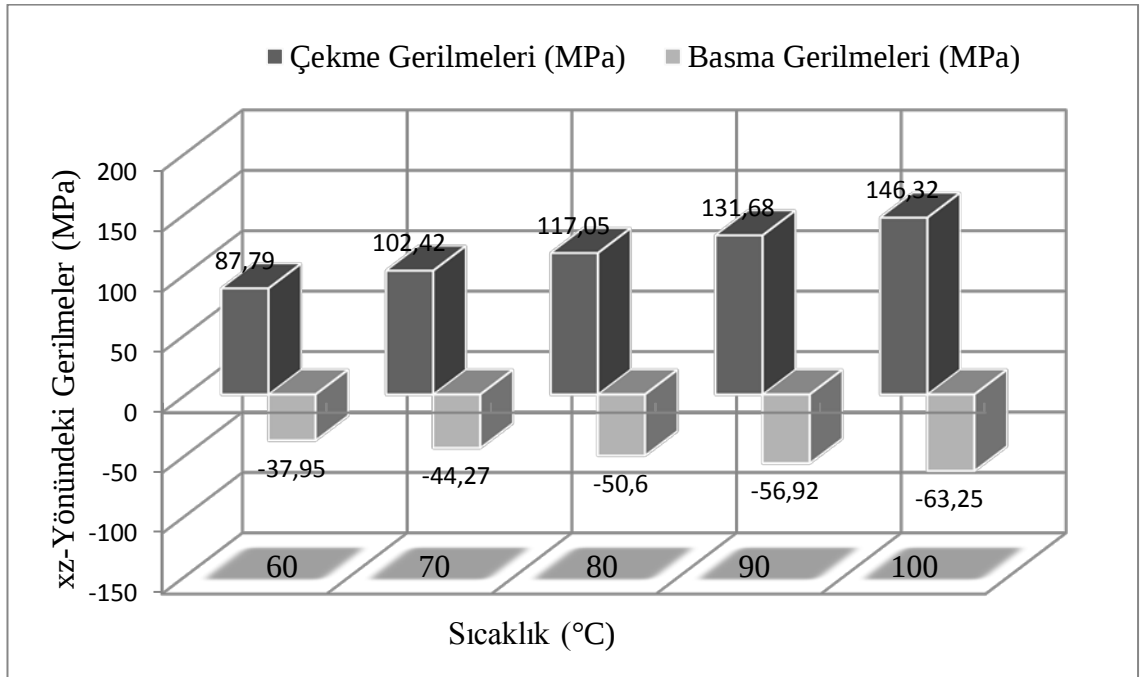
Sıcaklık (°C)	Gerilme Formu	Isıl Kayma gerilmeleri (MPa)		
		τ_{xy}	τ_{yz}	τ_{xz}
60	Çekme	255,41	15,12	87,79
	Basma	-286,6	-15,65	-37,95
70	Çekme	297,97	17,64	102,42
	Basma	-334,36	-18,25	-44,27
80	Çekme	340,54	20,16	117,05
	Basma	-382,13	-20,86	-50,60
90	Çekme	383,11	22,68	131,68
	Basma	-429,9	-23,47	-56,92
100	Çekme	425,68	25,20	146,32
	Basma	-477,66	-26,08	-63,25



a) τ_{xy} ısıl kayma gerilmesi



b) τ_{yz} ısıl kayma gerilmesi

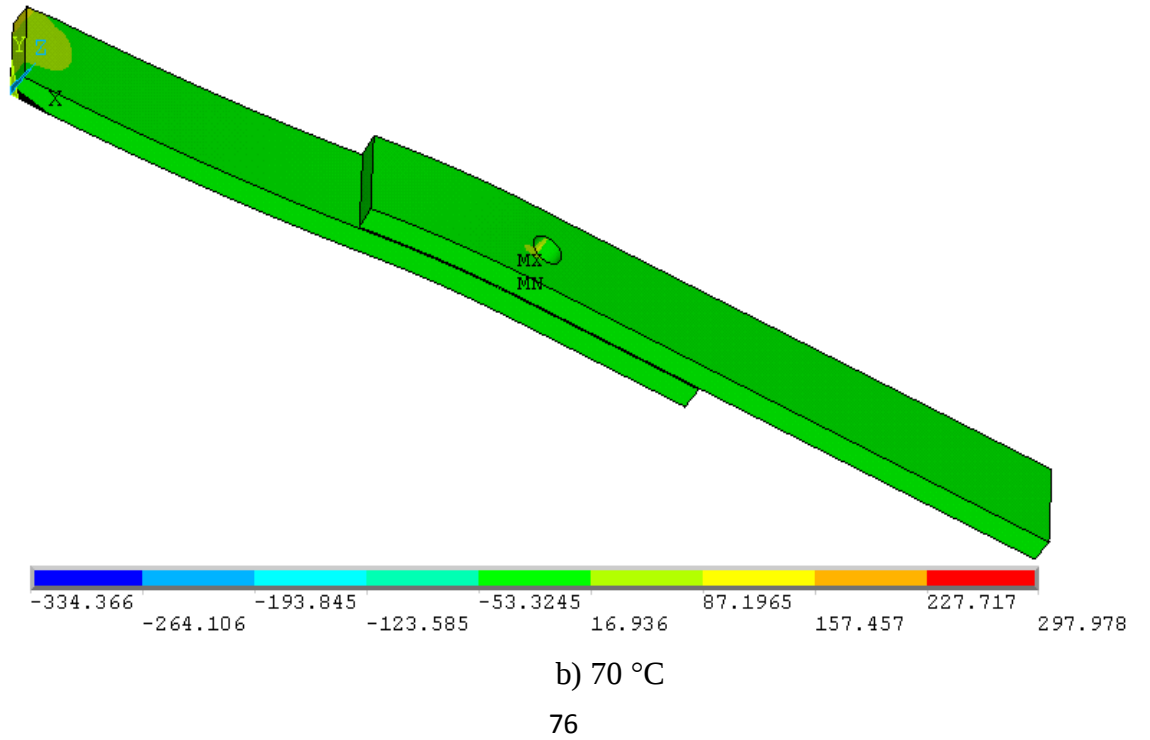
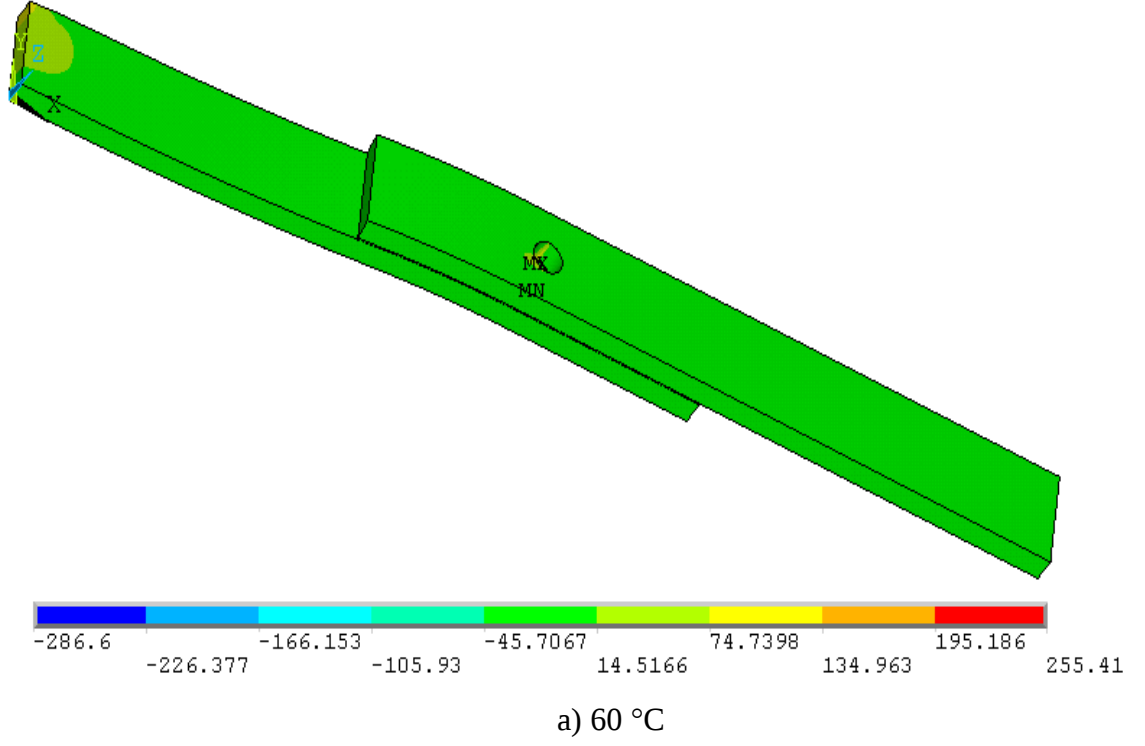


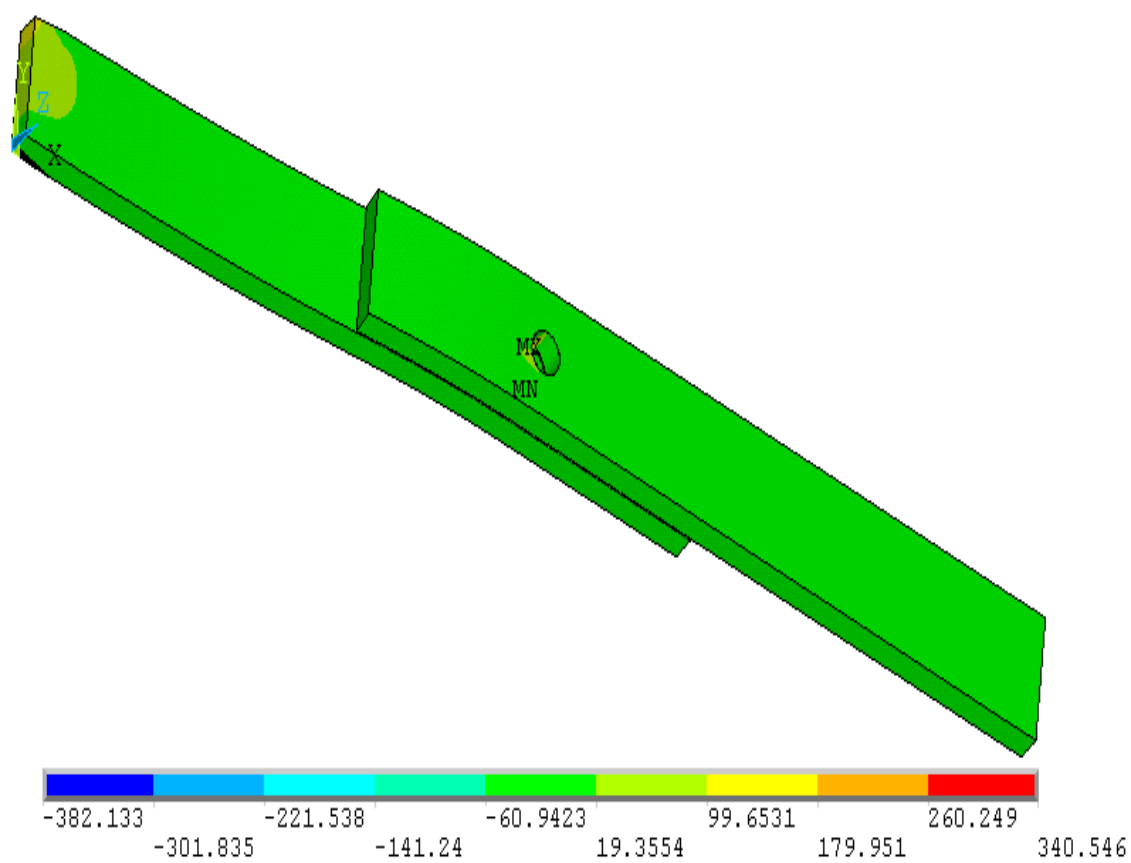
c) τ_{xz} ısıl kayma gerilmesi

Şekil 4.13. Uniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan ısıl kayma gerilmeleri

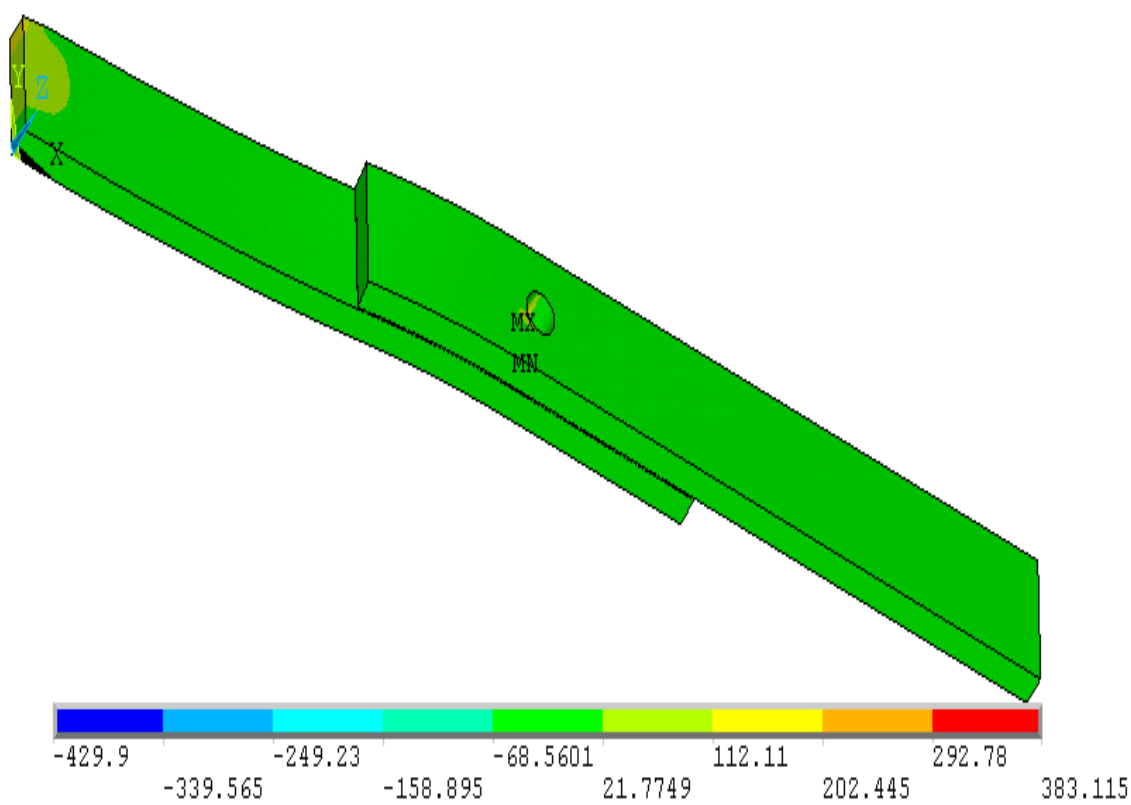
Farklı uniform sıcaklıklar uygulandığında yapılan her bir analiz için üç boyutlu karma bağlantı modeli üzerinde renkli kontur ile elde edilen ısıl kayma gerilme dağılımları sırasıyla xy, yz ve xz-yönleri için Şekil 4.14., 4.15. ve 4.16.' da gösterilmiştir. Bu

şekillerden görüldüğü gibi en yüksek değerli gerilmeler paralel pim deliği çevresinde oluşmuştur. Bir başka şekilde ifade etmek gerekirse, pim delikleri çevresinde gerilme yığılmaları meydana geldiği ve karma bağlantıda oluşabilecek bir hasarın öncelikle paralel deliklerin çevrelerinden başlayabileceği söylenebilir.

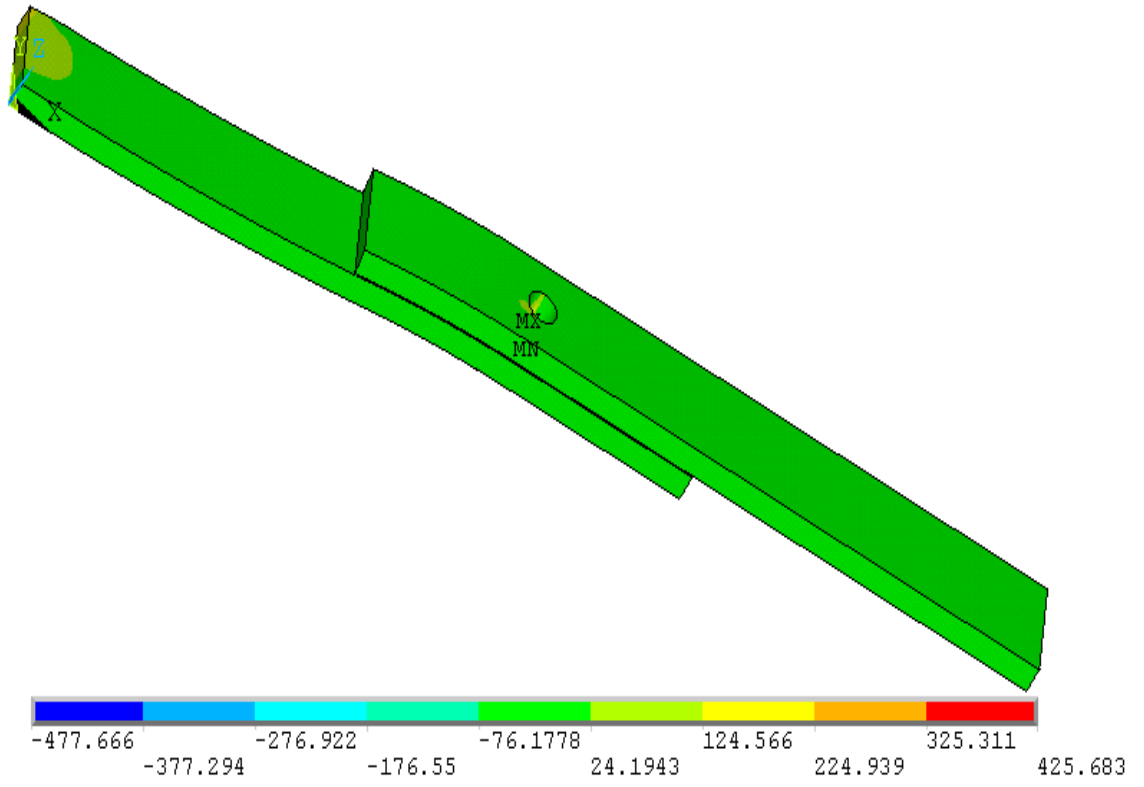




c) 80 °C

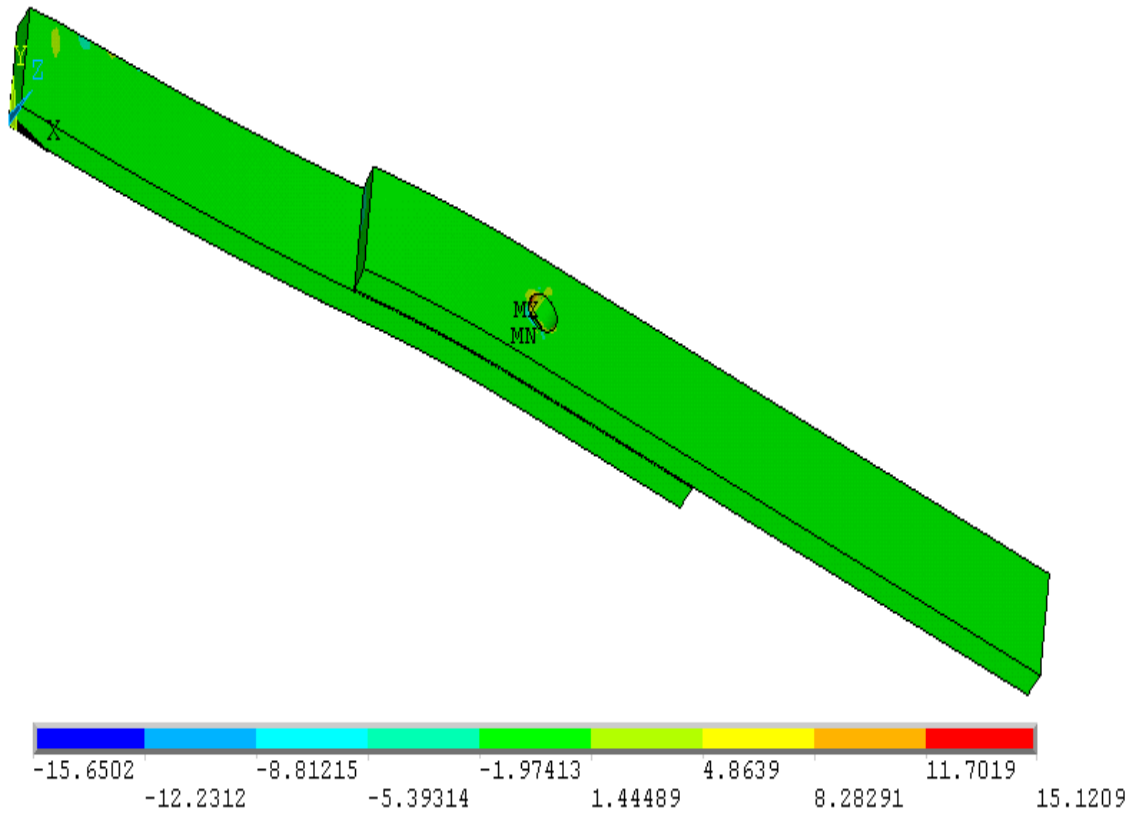


d) 90 °C

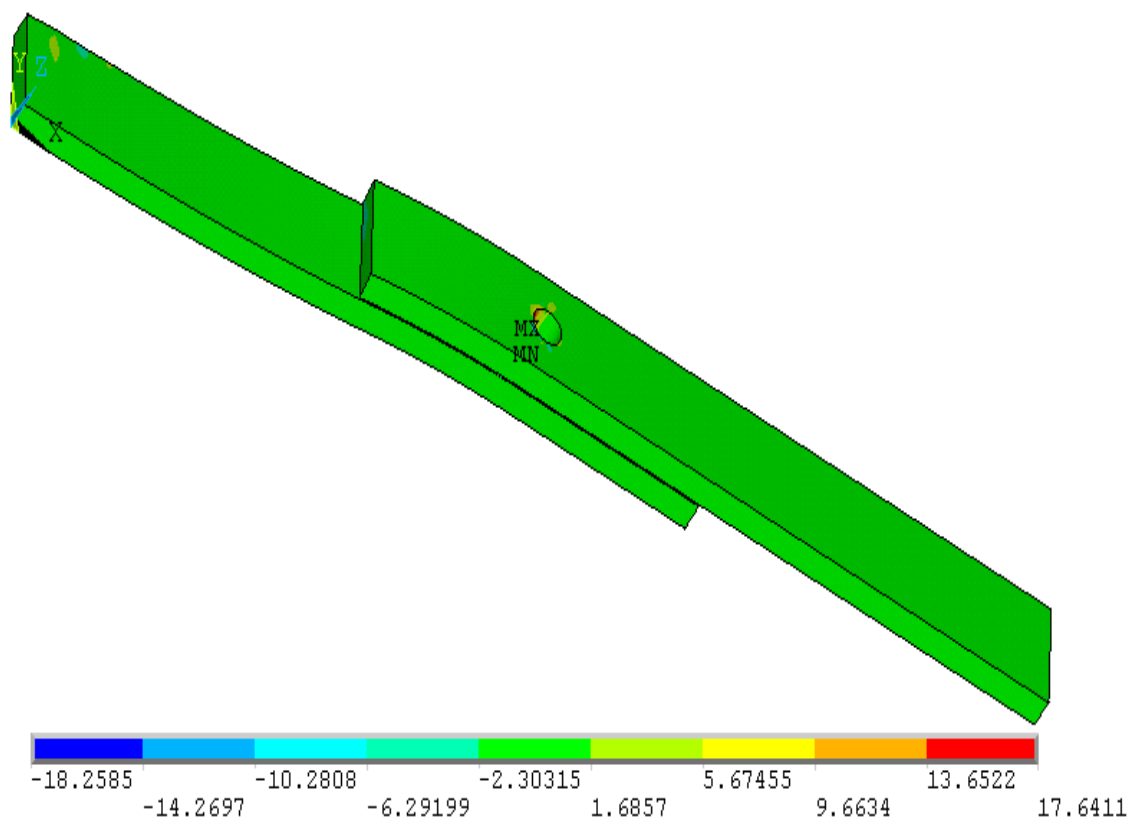


e) 100 °C

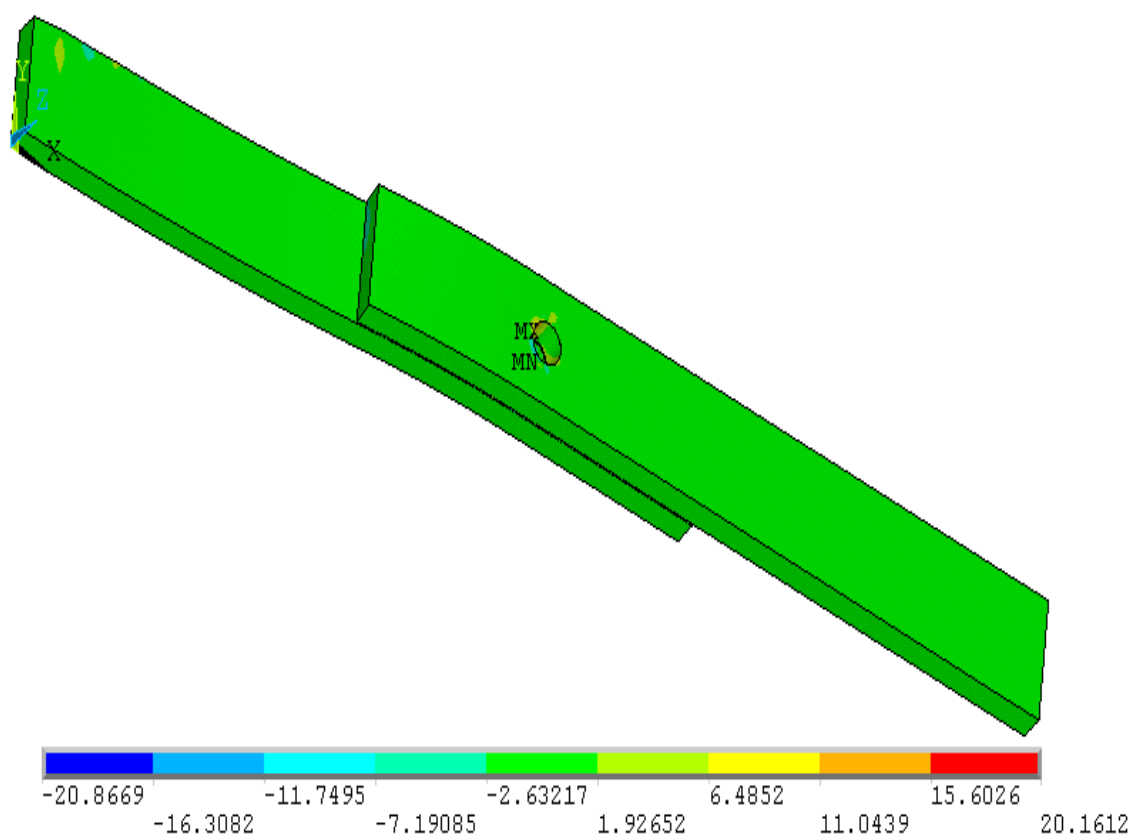
Şekil 4.14. Farklı çekme yükleri altında hesaplanan ısıl kayma gerilmeleri (τ_{xy}) (MPa)



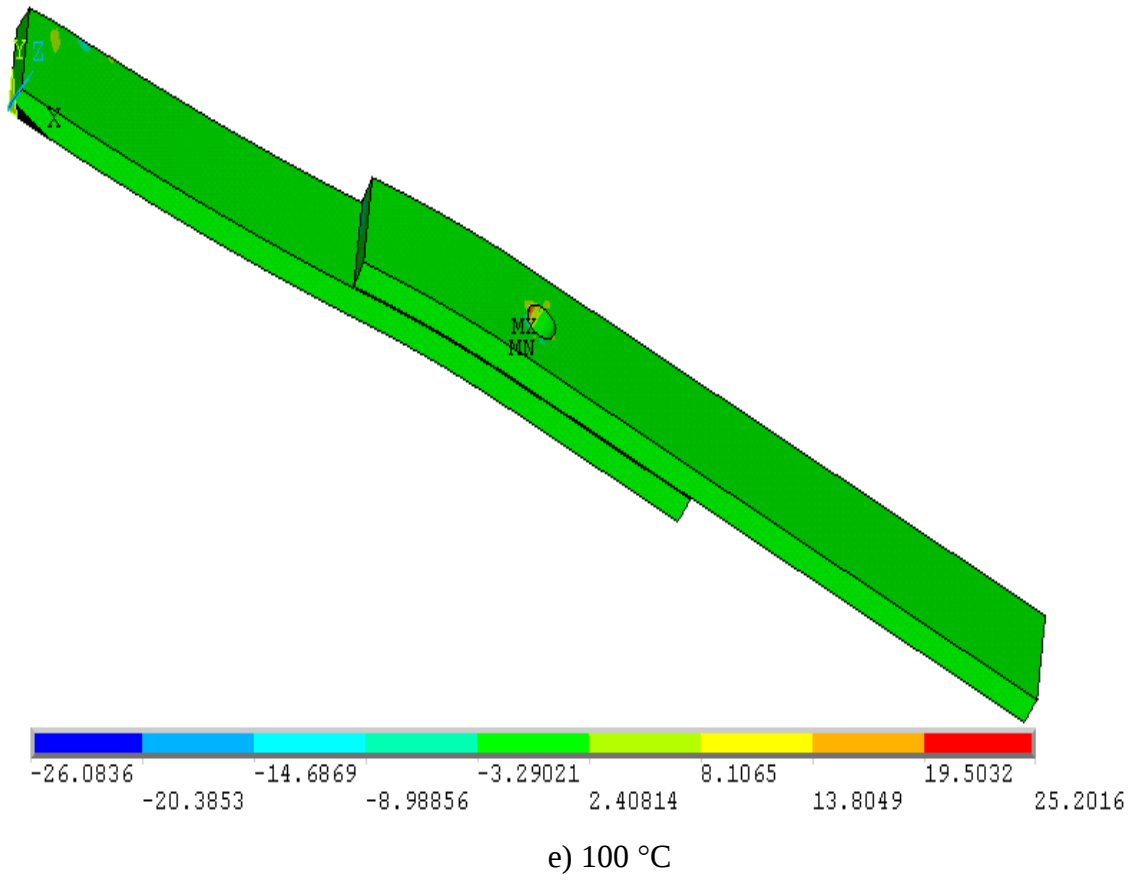
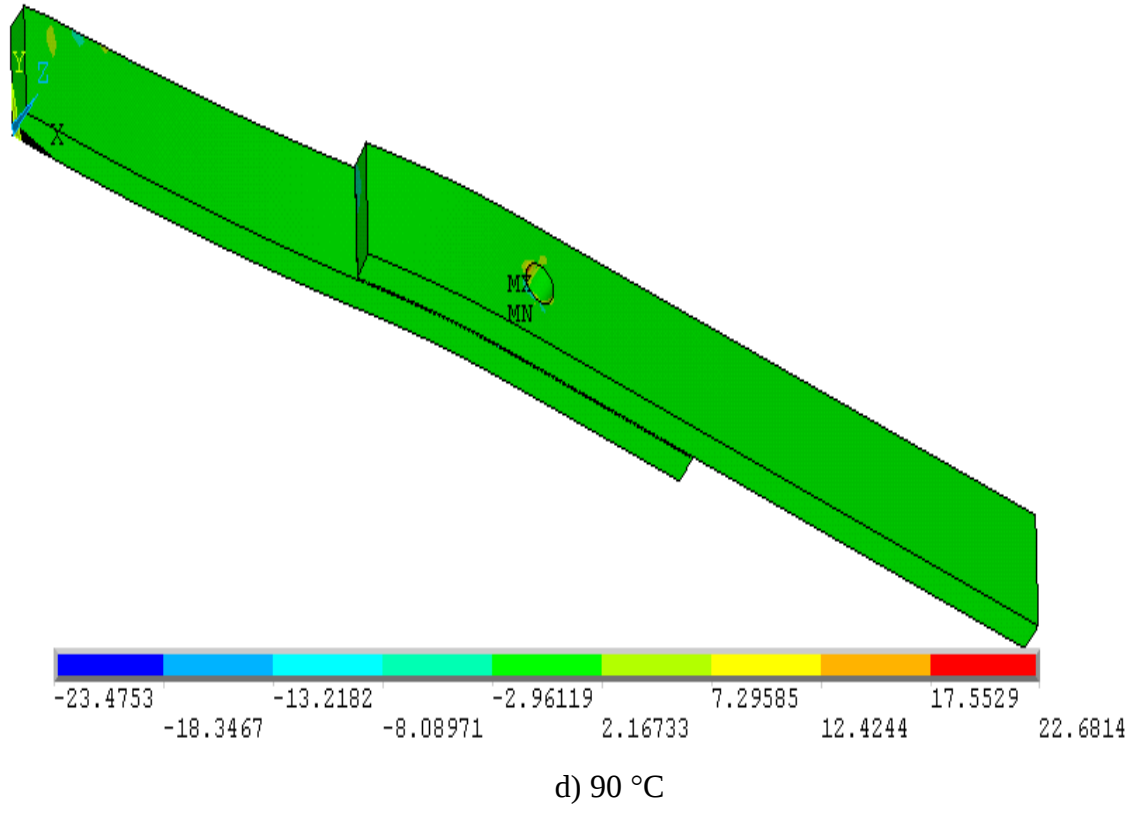
a) 60 °C



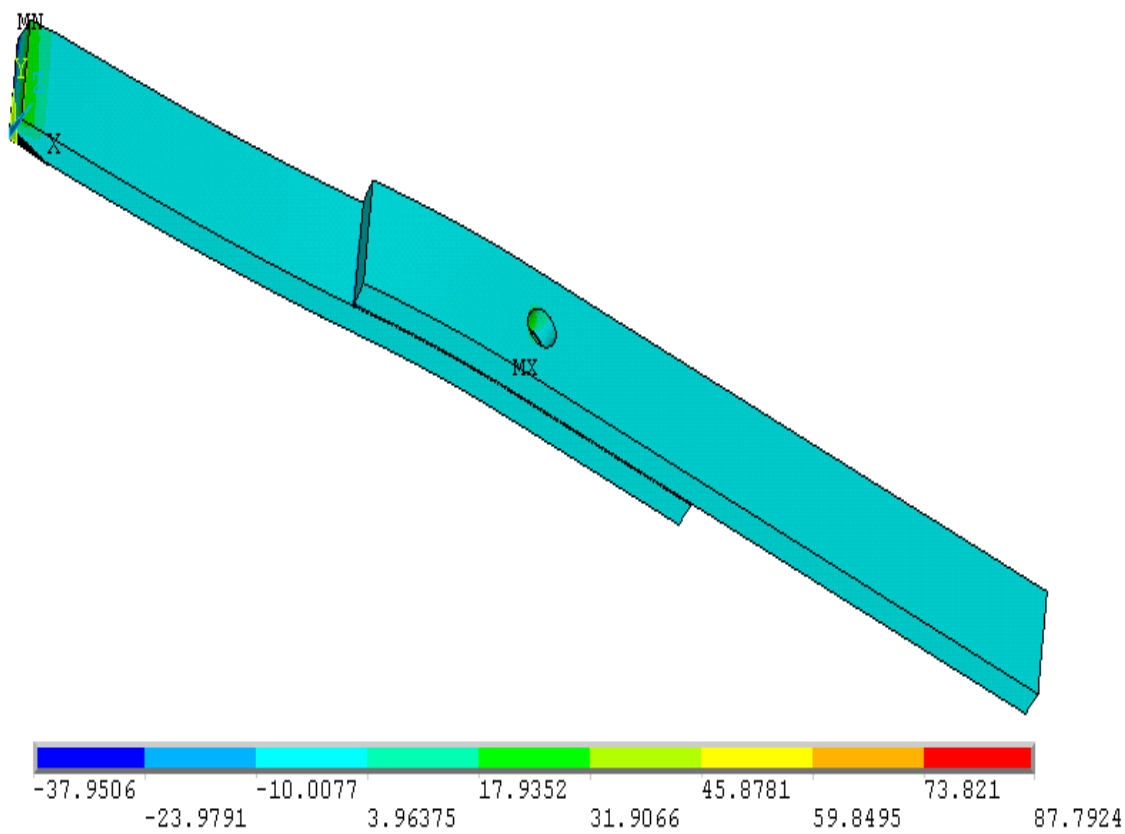
b) 70 °C



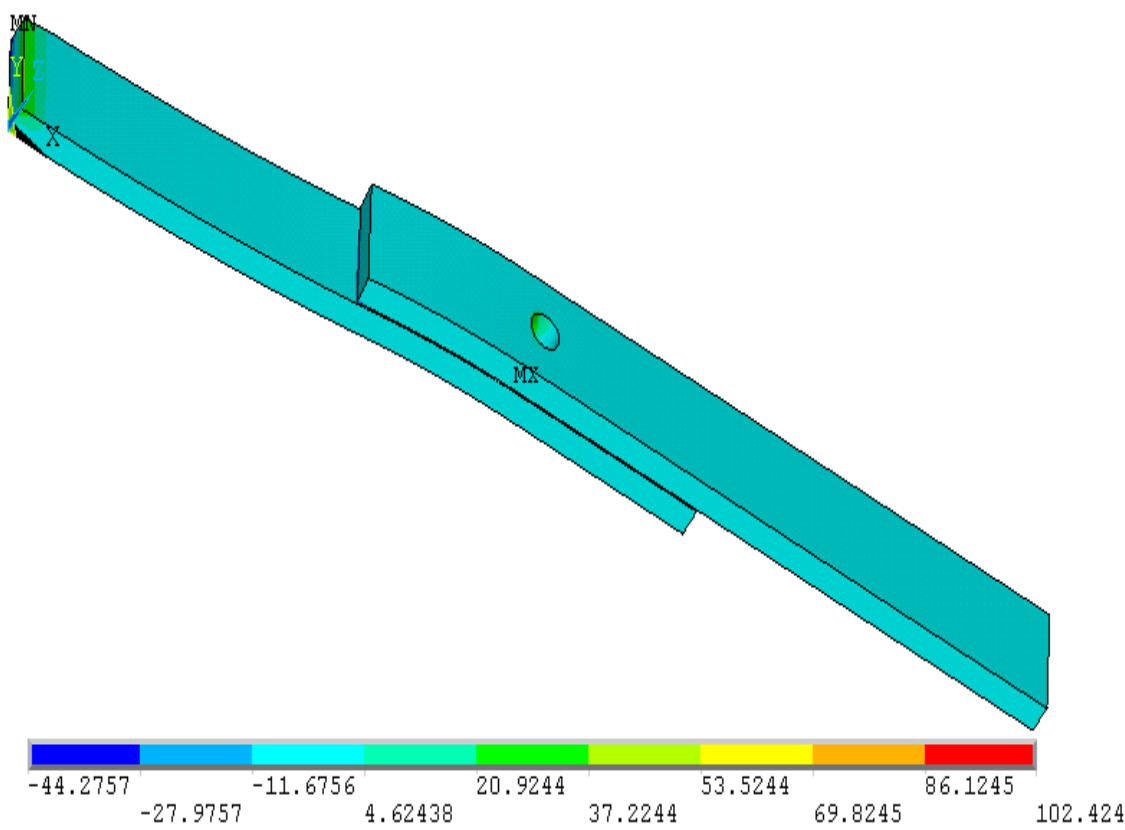
c) 80 °C



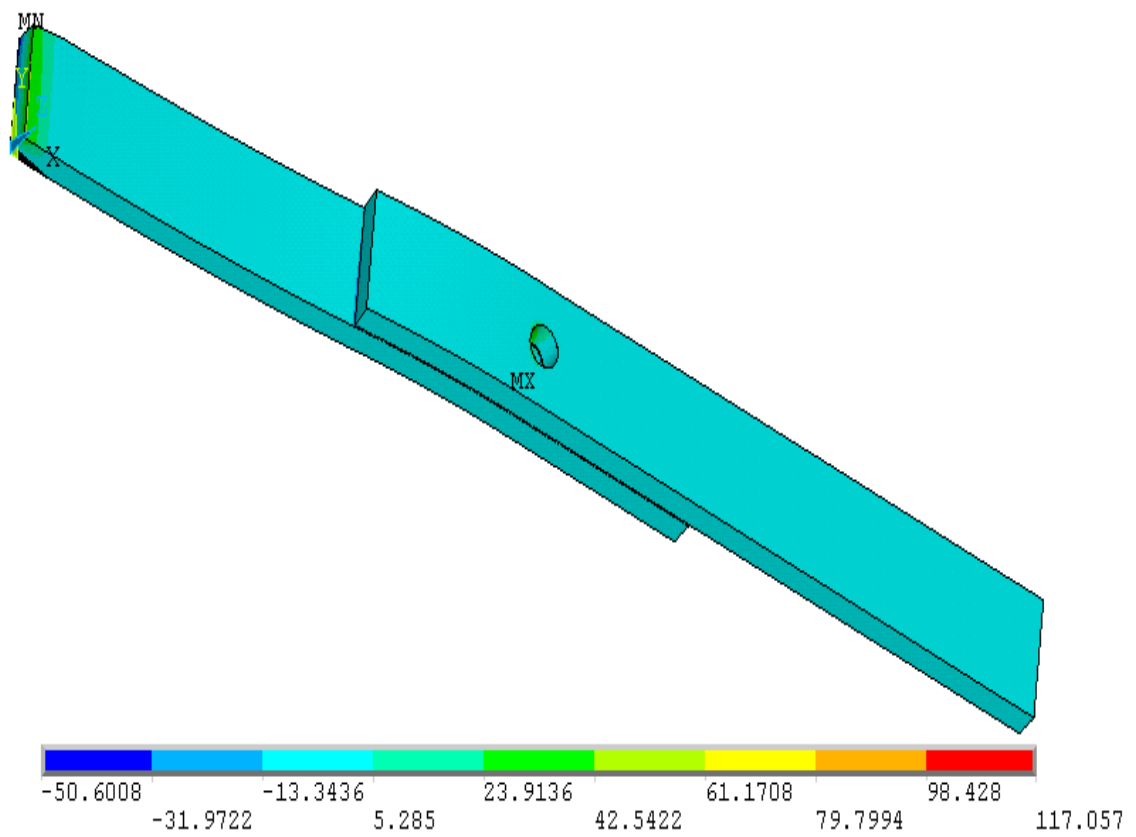
Şekil 4.15. Farklı çekme yükleri altında hesaplanan ısıl kayma gerilmeleri (τ_{yz}) (MPa)



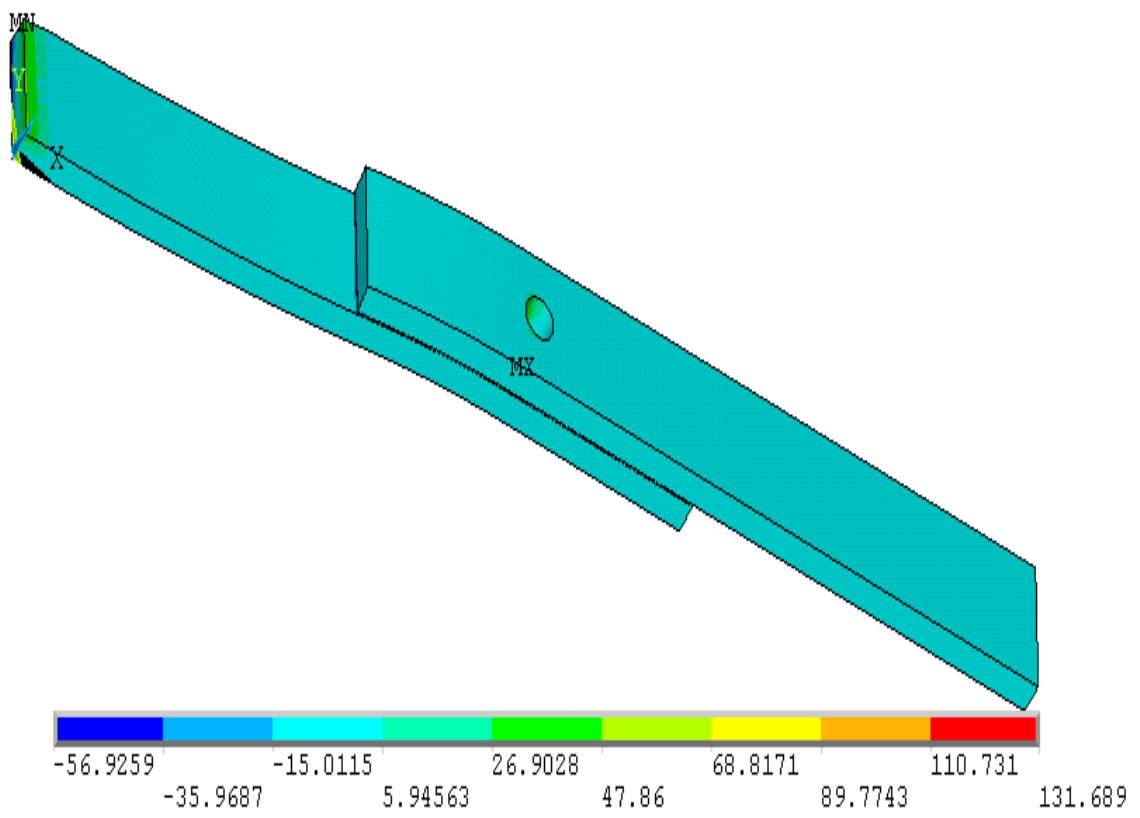
a) 60 °C



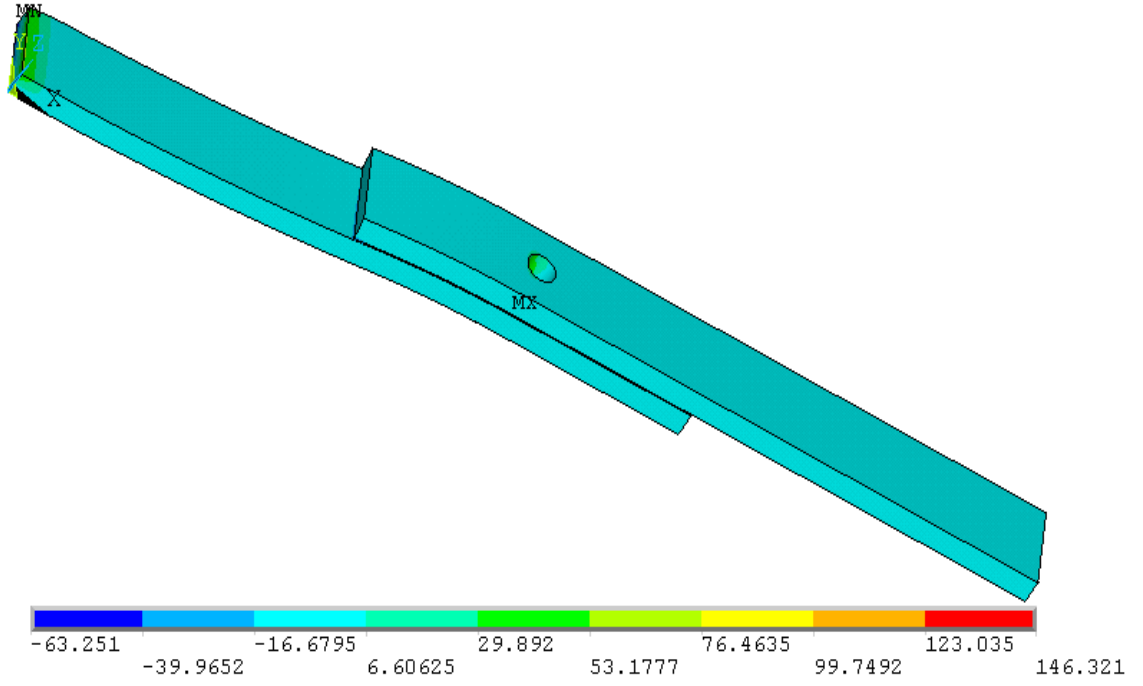
b) 70 °C



c) 80 °C



d) 90 °C



e) 100 °C

Şekil 4.16. Farklı çekme yükleri altında hesaplanan ısıl kayma gerilmeleri (τ_{xz}) (MPa)

4.4. Çekme Yüğü ve Sıcaklık Yüğü'nün Birlikte Uygulanmasıyla Elde Edilen Bulgular

Çalışmanın üçüncü ve son aşamasında, paralel iki pim delikli ve yapıştırılmış karma bağlantıya, hem çekme yükü hem uniform sıcaklık yükü aynı anda etki ettirilmiş ve dolayısıyla bu çift yükleme etkisindeki üç boyutlu karma bağlantıda meydana gelen gerilmeler ve dağılımları elde edilmiştir.

Çizelge 4.5.'te, uniform sıcaklıklara bağlı olarak farklı çekme yükü uygulanan karma bağlantıda hesaplanan maksimum normal gerilmeler listelenmiştir. Bu çizelgeden görüldüğü gibi her bir çekme yükü ve her bir uniform sıcaklık yükü birlikte uygulanmak suretiyle analizler gerçekleştirilmiştir.

Kompozit alt ve üst plakalarda oluşan gerilmelerde, basma ve çekme olarak değişiklikler gözlenmiştir. Bu nedenle, çizelgede analizlerden alınan değerler listelenirken, gerilme ve şekil değiştirme bileşenlerinin, çekme ve basma şeklinde verilmesi uygun görülmüştür.

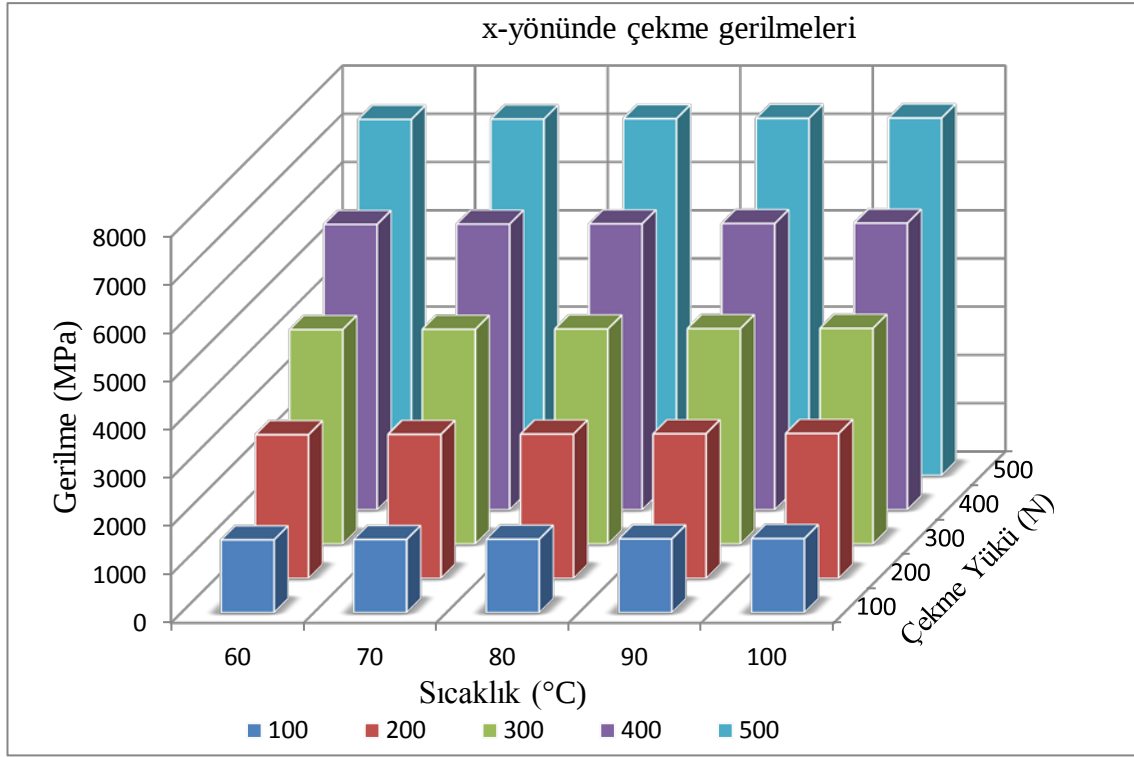
Çizelge 4.5. Farklı çekme yükü ve sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler (σ_x , σ_y , σ_z)

Çekme Yükü (N)	Sıcaklık (C°)	Gerilme Formu	Normal gerilmeler (MPa)		
			σ_x	σ_y	σ_z
100	60	Basma	-258.57	-111.4	-87.79
		Çekme	1508.7	302.13	146.28
	70	Basma	-268.08	-113.41	-102.51
		Çekme	1515.4	304.48	148.15
	80	Basma	-284.67	-128.70	-117.23
		Çekme	1522.11	306.82	150.01
	90	Basma	-324.24	-144.86	-131.95
		Çekme	1528.82	309.17	151.88
	100	Basma	-363.82	-161.01	-146.67
		Çekme	1536.68	311.51	153.75
200	60	Basma	-463.16	-210.73	-139.04
		Çekme	2977.16	590.19	281.37
	70	Basma	-470.91	-212.74	-138.29
		Çekme	2983.87	592.54	283.23
	80	Basma	-479.11	-214.75	-137.55
		Çekme	2990.57	594.88	285.10
	90	Basma	-488.62	-216.76	-136.80
		Çekme	2997.28	597.23	286.97
	100	Basma	-498.13	-218.77	-146.13
		Çekme	3003.99	599.57	288.83
300	60	Basma	-631.49	-310.05	-210.80
		Çekme	4445.63	878.25	416.45
	70	Basma	-679.24	-312.07	-210.05
		Çekme	4452.33	880.60	418.32
	80	Basma	-686.99	-314.08	-209.31
		Çekme	4459.04	882.94	420.18
	90	Basma	-694.74	-316.09	-208.56
		Çekme	4465.74	885.29	422.05
	100	Basma	-702.49	-318.10	-207.81
		Çekme	4472.45	887.64	423.92

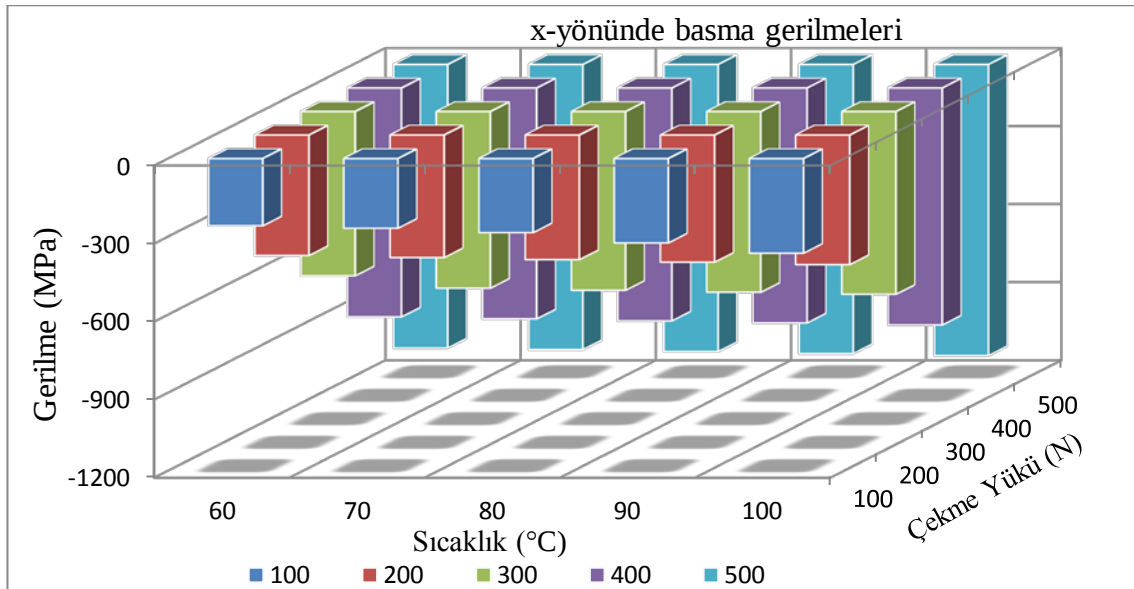
Çekme Yükü (N)	Sıcaklık (C°)	Gerilme Formu	Normal gerilmeler (MPa)		
			σ_x	σ_y	σ_z
400	60	Basma	-879.81	-409.38	-282.56
		Çekme	5914.09	1166.32	551.53
	70	Basma	-887.56	-411.4	-281.81
		Çekme	5920.8	1168.66	553.40
	80	Basma	-895.32	-413.41	-281.06
		Çekme	5927.5	1171.01	555.27
	90	Basma	-903.07	-415.42	-280.32
		Çekme	5934.21	1173.35	557.13
	100	Basma	-910.82	-417.43	-279.57
		Çekme	5940.91	1175.7	559.006
500	60	Basma	-1090,11	-508,71	-354,32
		Çekme	7382,55	1454,38	686,62
	70	Basma	-1096,02	-510,72	-353,57
		Çekme	7389,26	1456,72	688,49
	80	Basma	-1103,64	-512,74	-352,82
		Çekme	7395,97	1459,07	690,35
	90	Basma	-1111,4	-514,75	-352,08
		Çekme	7402,67	1461,42	692,22
	100	Basma	-1119,15	-516,765	-351,33
		Çekme	7409,38	1463,76	694,09

Bu çizelgeden görüldüğü gibi çekme şeklinde ısı gerilmelerinin değerleri, uniform sıcaklık artışına bağlı olarak artmaktadır. Dolayısıyla, modellenen kompozit için en düşük çekme gerilmeleri uygulanan 60 °C uniform sıcaklık yükü için elde edilirken, en yüksek değerli çekme gerilmeleri ise 100 °C uniform sıcaklık etkisinde iken hesaplanmıştır. Çizelgeden de görüleceği üzere en yüksek çekme gerilmesi 500 N çekme yükü altında 100 °C sıcaklıkta x-yönünde 7409,38 MPa olarak bulunmuştur ve en düşük çekme gerilmesi 100 N çekme yükünde 60 °C sıcaklık altında z-yönünde 146.28 MPa olarak hesaplanmıştır. Ayrıca basma şeklindeki ısı gerilmelerinin mutlak değerleri incelendiğinde her bir çekme yükü için sıcaklık artışına bağlı olarak basma gerilmelerinin yükseldiği ancak çekme yükü artışına bağlı olarak x-yönünde 500 N çekme yüküne kadar bir artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Diğer yönlerde çekme yükü artışına bağlı olarak basma gerilmesi mutlak değerleri yükselmiştir. Mutlak değer

olarak en yüksek basma gerilmesi 500 N çekme yükü altında 100 °C sıcaklıkta x-yönünde -1119,15 MPa ve en düşük basma gerilmesi 100 N çekme yükü altında 60 °C sıcaklıkta z-yönünde -87.79 MPa olarak hesaplanmıştır.

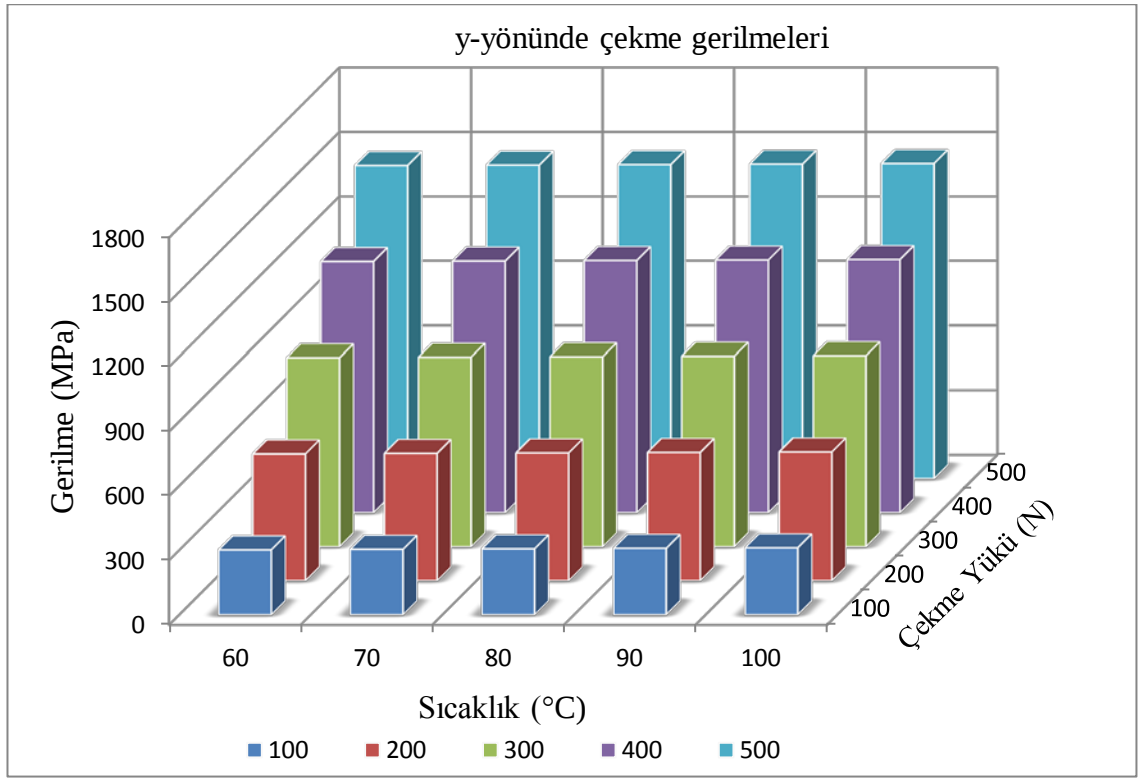


a) x-yönündeki çekme gerilmeleri (σ_x)

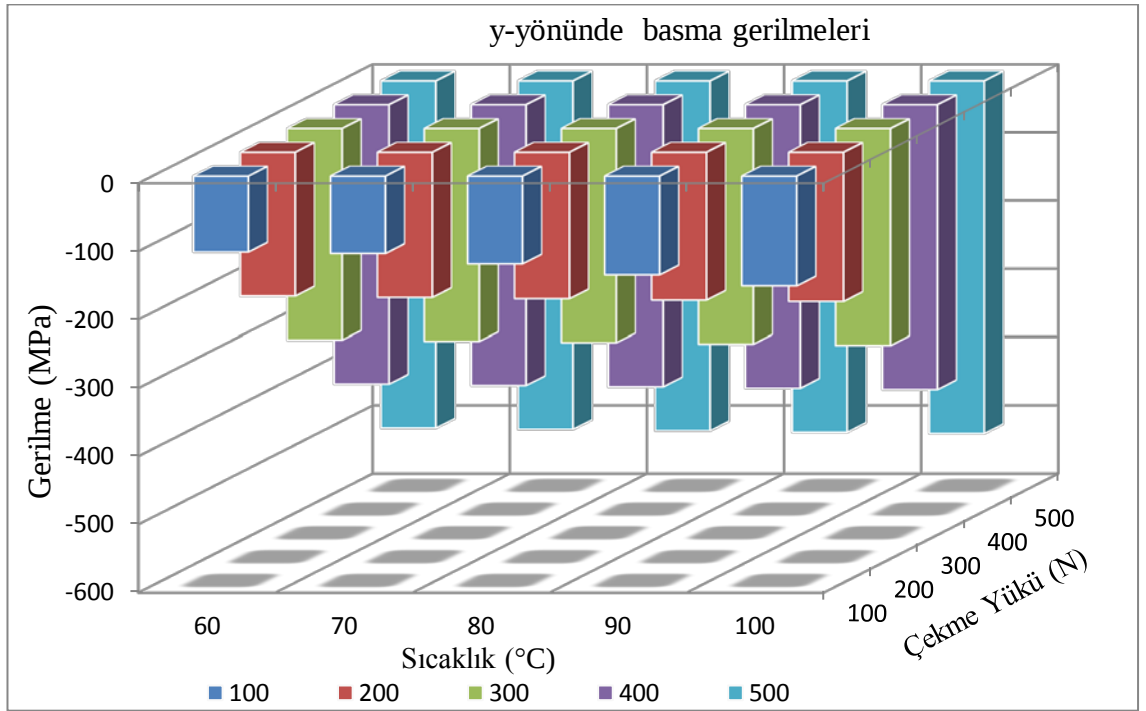


b) x-yönündeki basma gerilmeleri (σ_x)

Şekil 4.17. Farklı çekme yükleri ve sıcaklıklar altında x-yönündeki normal gerilme değerleri

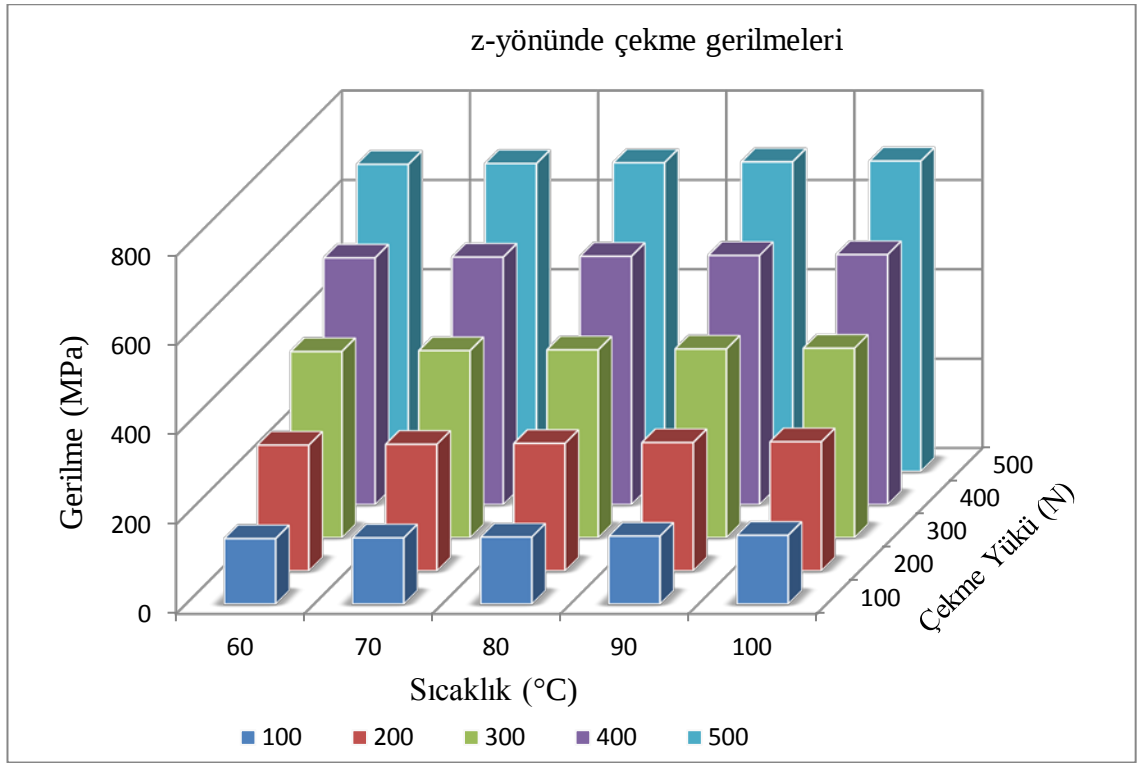


a) y-yönündeki çekme gerilmeleri (σ_y)

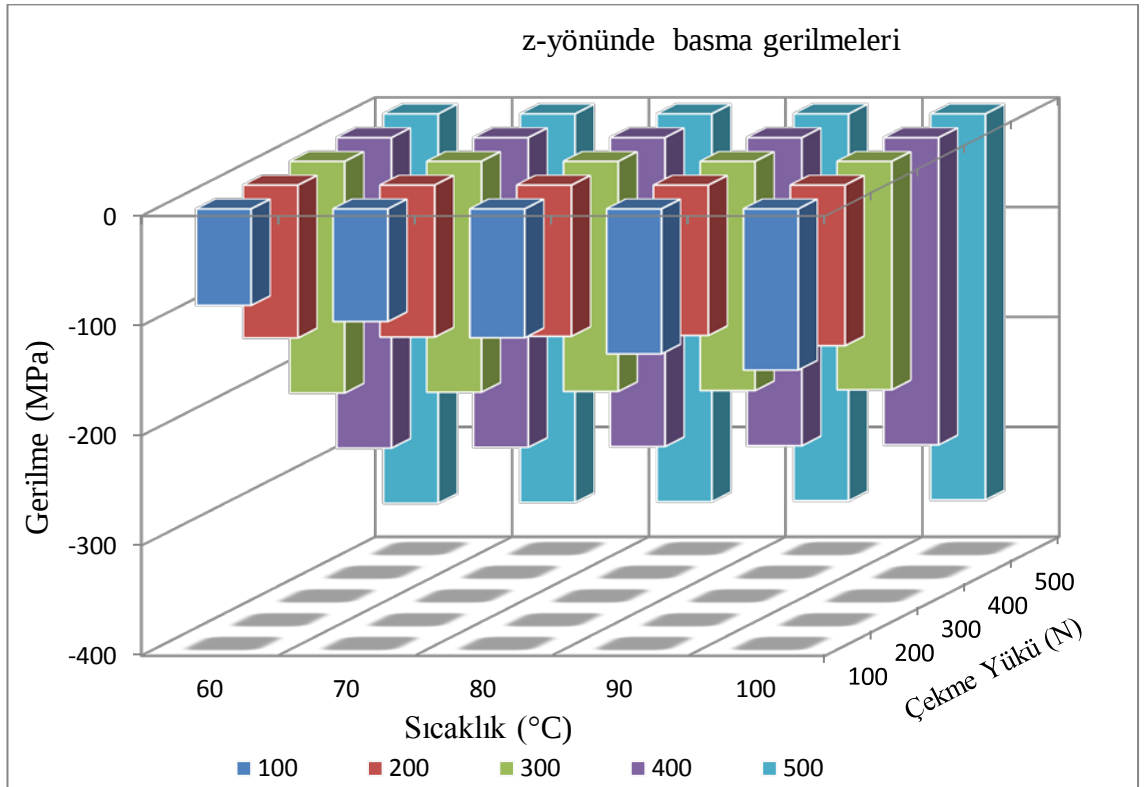


b) y-yönündeki basma gerilmeleri (σ_y)

Şekil 4.18. Farklı çekme yükleri ve sıcaklıklar altında y-yönünde normal gerilme değerleri



a) z-yönündeki çekme gerilmeleri (σ_z)



b) z-yönündeki basma gerilmeleri (σ_z)

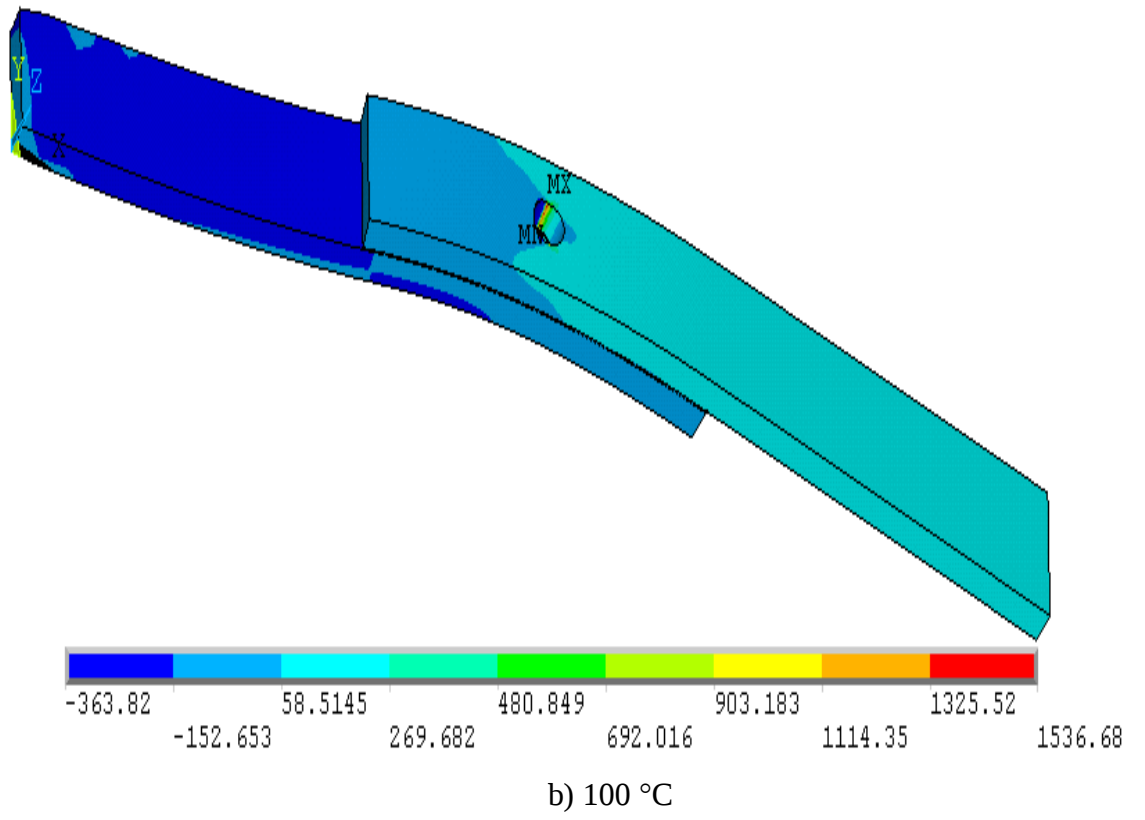
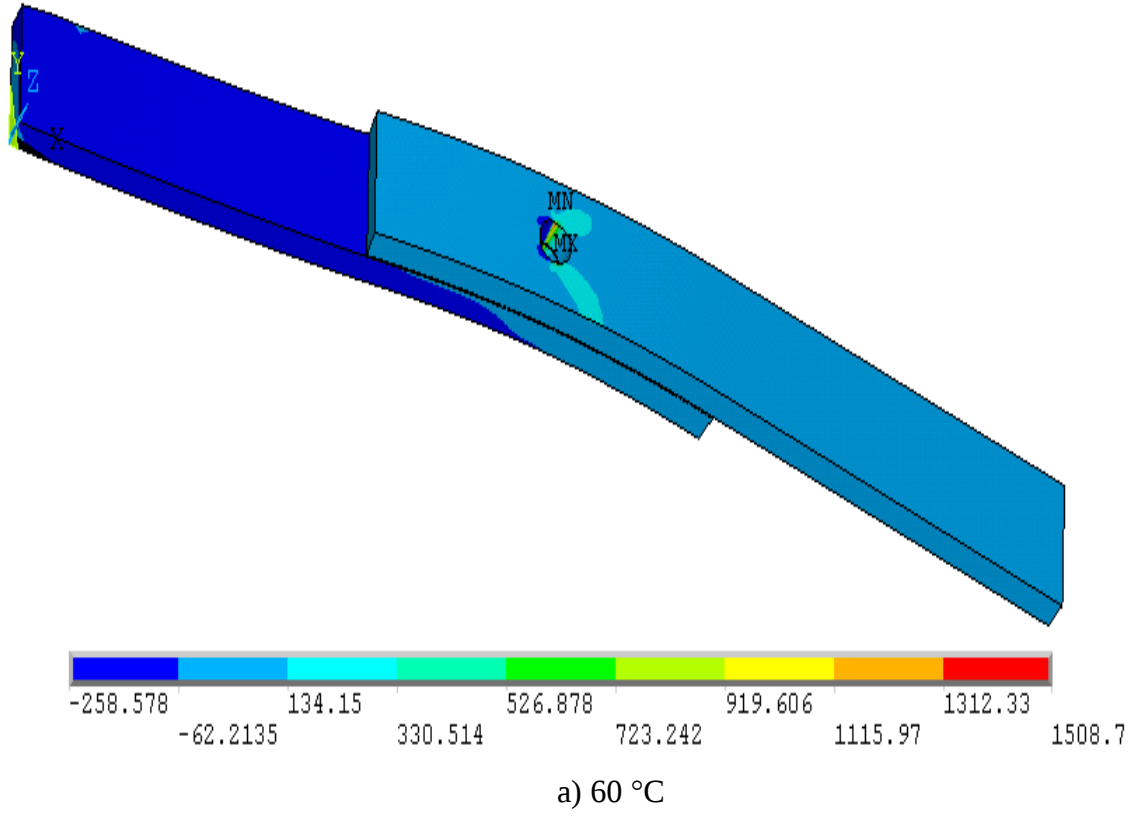
Şekil 4.19. Farklı çekme yükleri ve sıcaklıklar altında z-yönünde normal gerilme değerleri

Uygulanan uniform sıcaklıklara bağı olarak hesaplanan normal gerilmeler; x-yönündeki (σ_x), y-yönündeki (σ_y) ve z-yönünde (σ_z) olmak üzere Şekil 4.17., Şekil 4.18. ve Şekil 4.19.'da sırası ile gösterilmiştir. Çizelge 4.5.'te listelenen normal gerilme değerlerinin, bu şekilde grafiksel gösterimi neticesinde, uniform sıcaklık ve çekme yükündeki artışa bağı olarak, meydana gelen çekme gerilmelerindeki artış açıkça görülebilmektedir. Bu şekillerden görüldüğü üzere en büyük gerilmeler x-yönünde meydana gelmiştir. Bunun sebebi çekme yükünün x-yönünde uygulanması ve dolayısıyla bağlantının özellikle bu yönde daha çok zorlanmış olmasıdır. Ayrıca, z-yönünde hesaplanan gerilmelerin değerlerinin, x ve y-yönlerinde hesaplanan gerilme değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir.

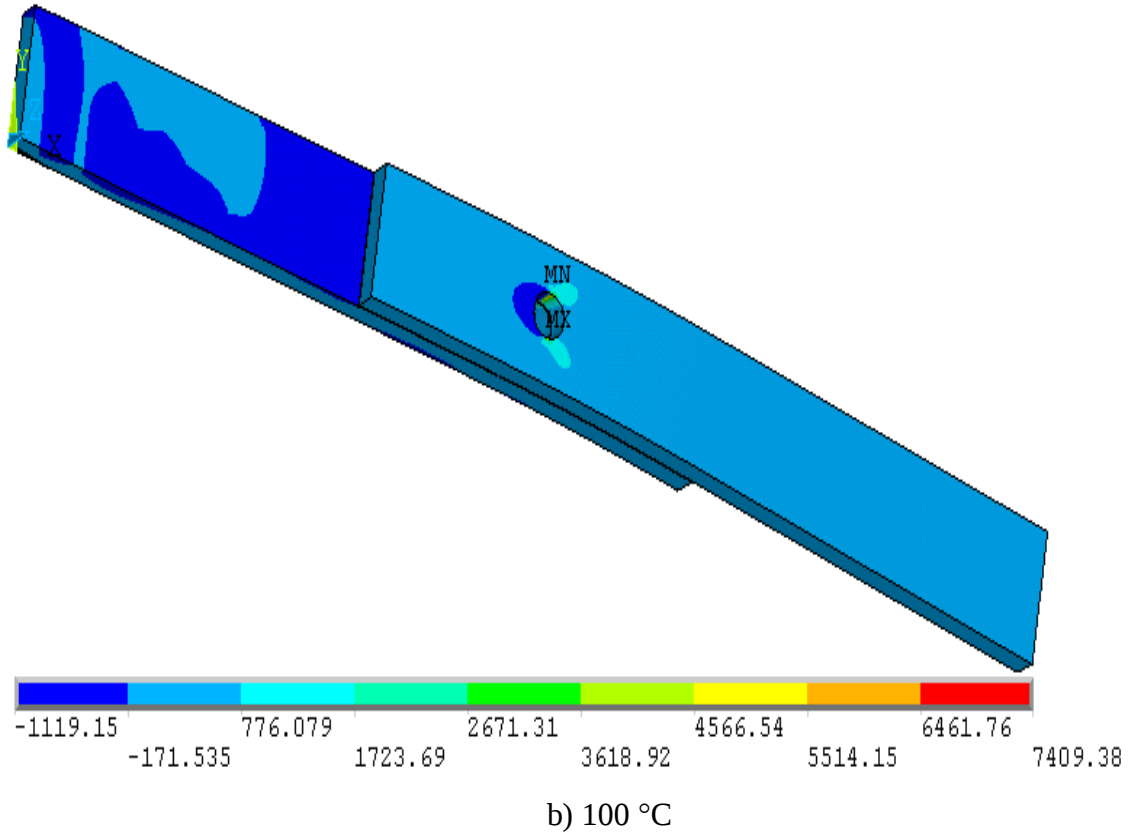
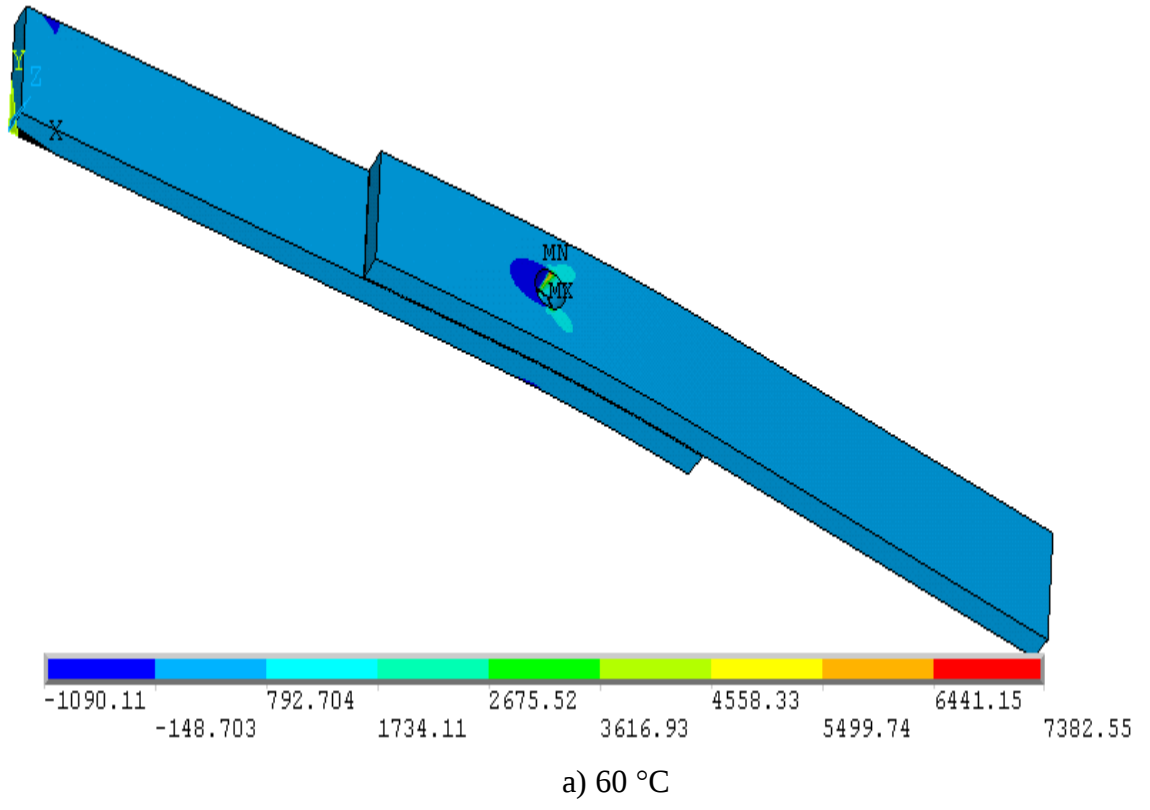
Şekil 4.20. ve Şekil 4.21.' de görüldüğü üzere deliklerin içlerinde x-yönündeki çekme ve basma gerilmelerinin en yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Ayrıca sıcaklık yükselişine bağı olarak çekme ve basma gerilmelerinin yüzeyde ve delik içlerinde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Çekme yükünün artışına bağı olarak ise çekme ve basma gerilmelerinin model yüzeyinde daha yüksek olduğu ancak 100 °C sıcaklıktaki mutlak değerinin bölgesel olarak 500 N çekme yükü altında 100 N'a göre daha düşük olduğu görülmüştür.

Şekil 4.22. ve Şekil 4.23. karşılaştırıldığında; y-yönündeki çekme ve basma gerilmelerinin sıcaklık ve çekme yükü artışına bağı olarak arttığı görülmektedir. Özellikle 100 N çekme yükü altında alt plaka uç kısmında (serbest uç) basma gerilmelerinin diğer yüzeylere göre daha yüksek olduğu ayrıca sıcaklık artışına bağı olarak çekme ve basma gerilmelerinin her ikisinde yükseldiği tespit edilmiştir. Çekme yükü artışına bağı olarak ise her iki gerilme form değerlerinin yükseldiği ve yüzeyde genel olarak basma gerilmesi deliklerde ise hem basma hemde çekme gerilmelerinin meydana geldiği görülmektedir.

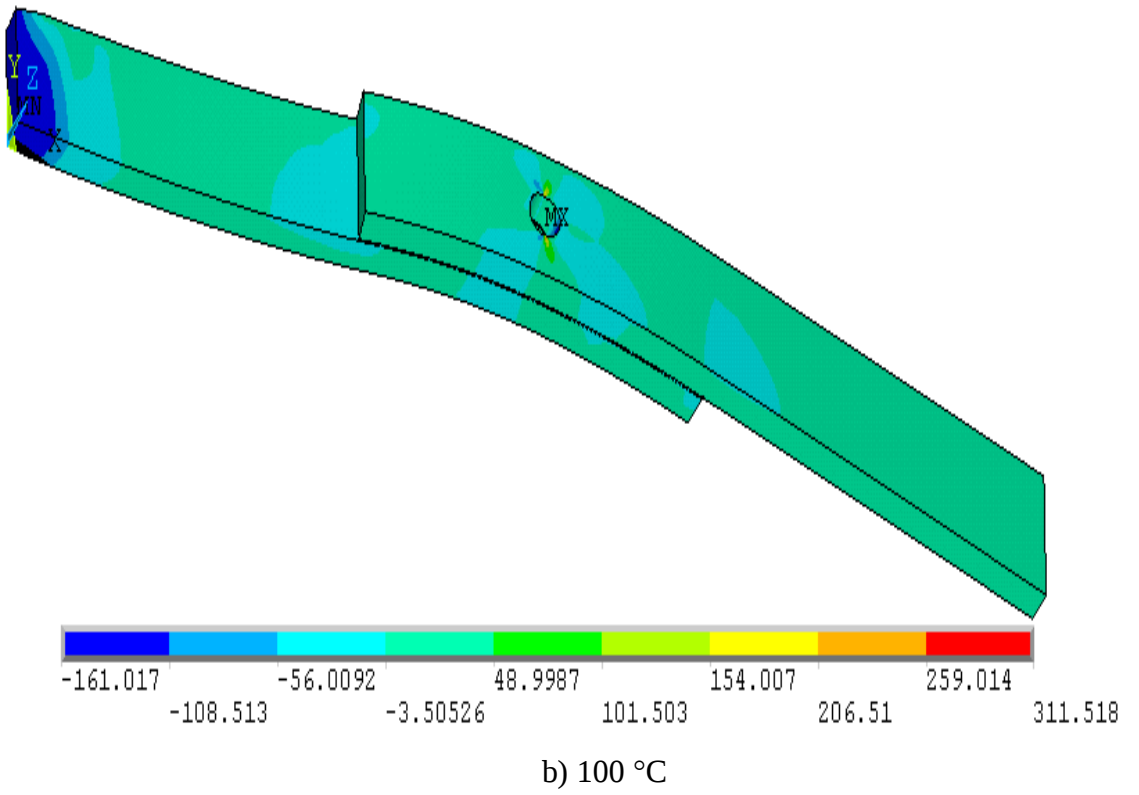
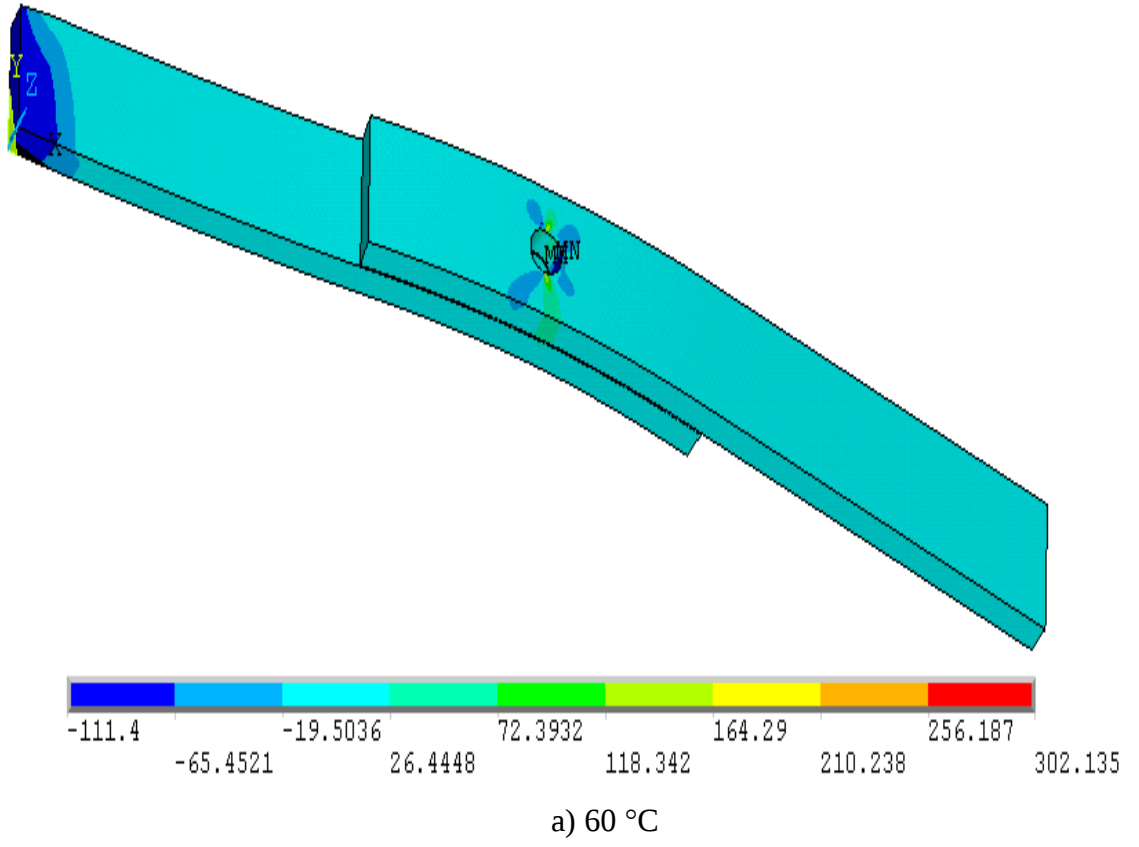
Şekil 4.24. ve Şekil 4.25. te ise z-yönündeki çekme ve basma gerilmelerinin sıcaklık ve çekme yükü artışına bağı olarak yükseldiği görülmektedir. Her iki şekilde görüldüğü üzere genelde çekme gerilmeleri delik çevrelerinde oluşmaktadır.



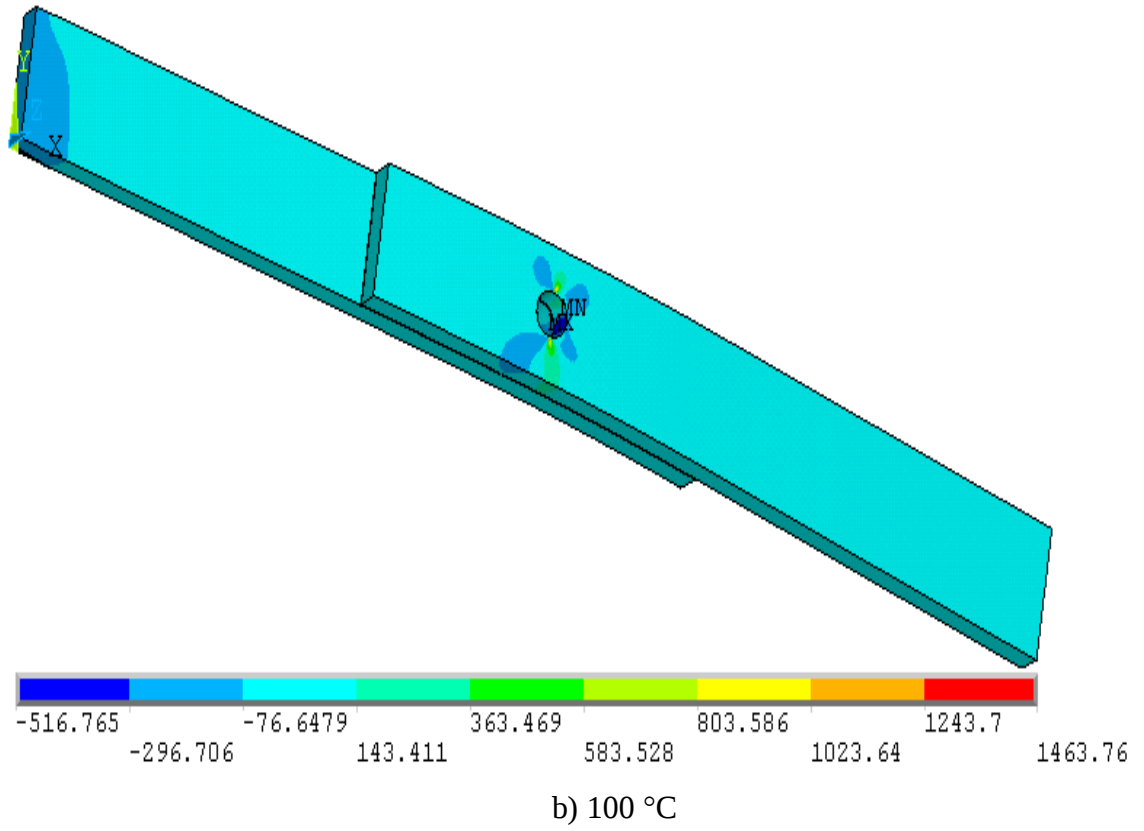
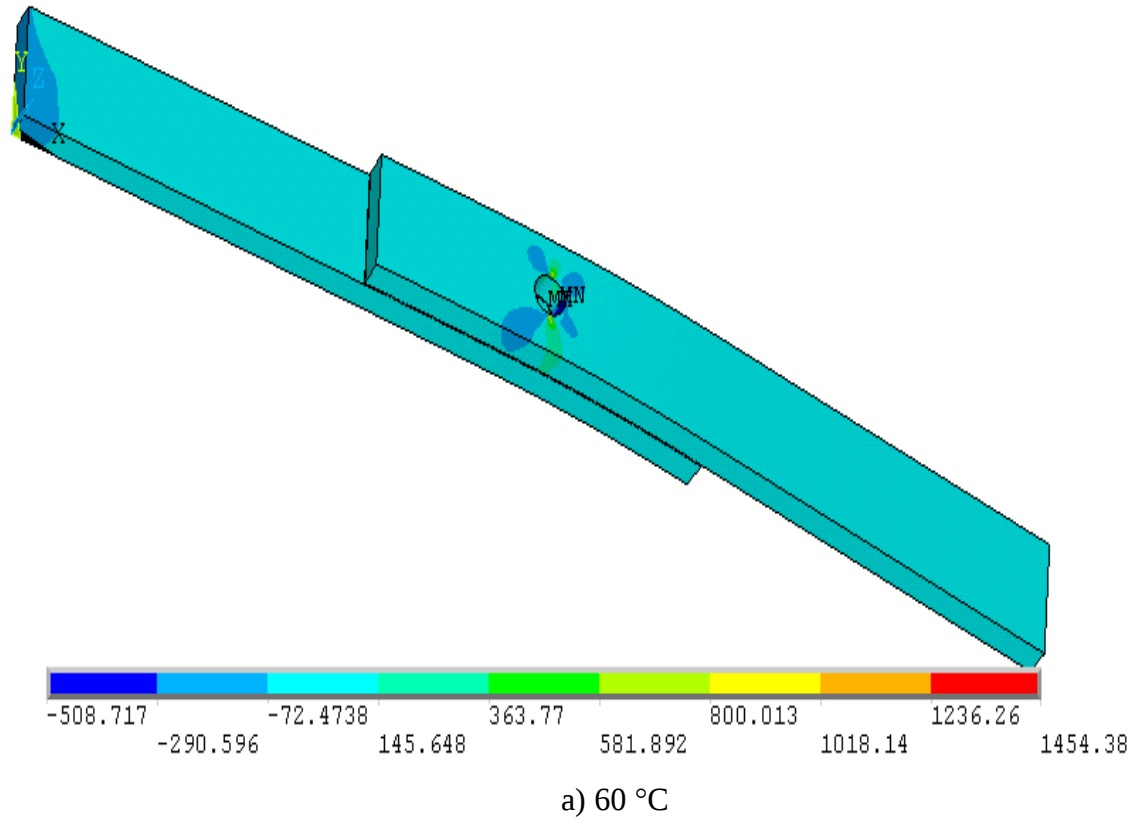
Şekil 4.20. 100 N çekme yükü altında 60 °C ve 100 °C sıcaklıklarda x-yönünde hesaplanan normal gerilmeler (MPa)



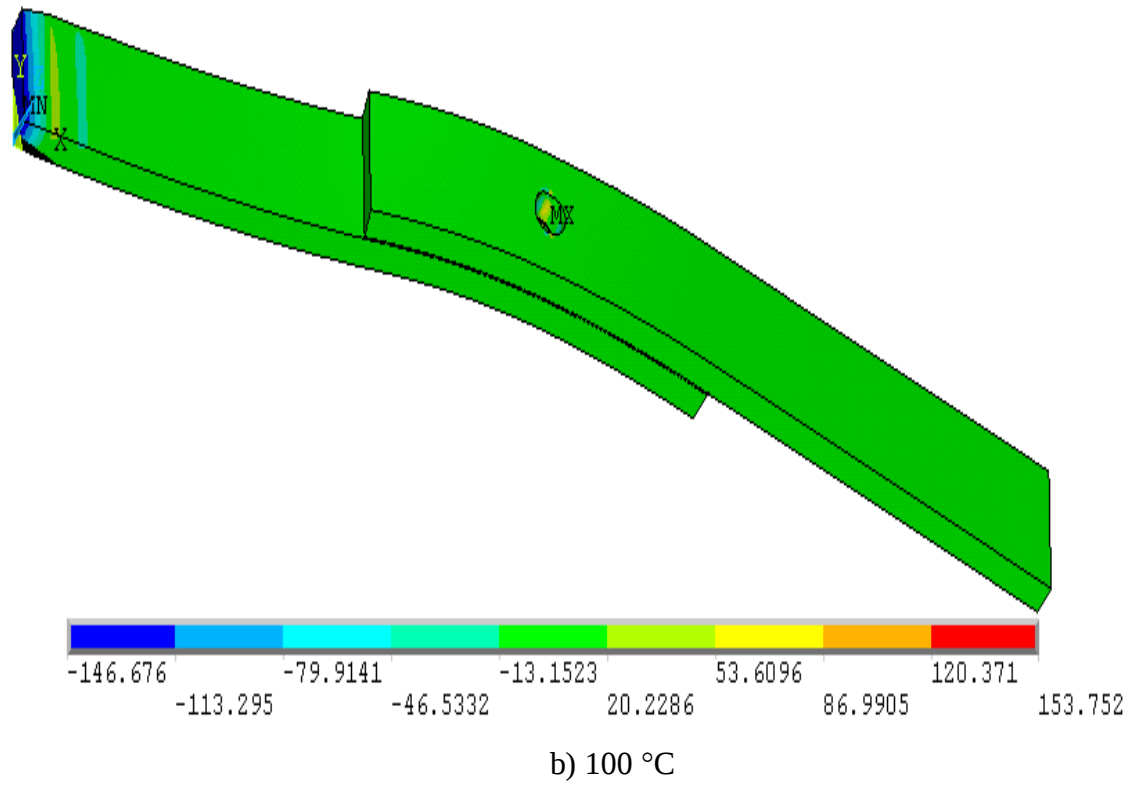
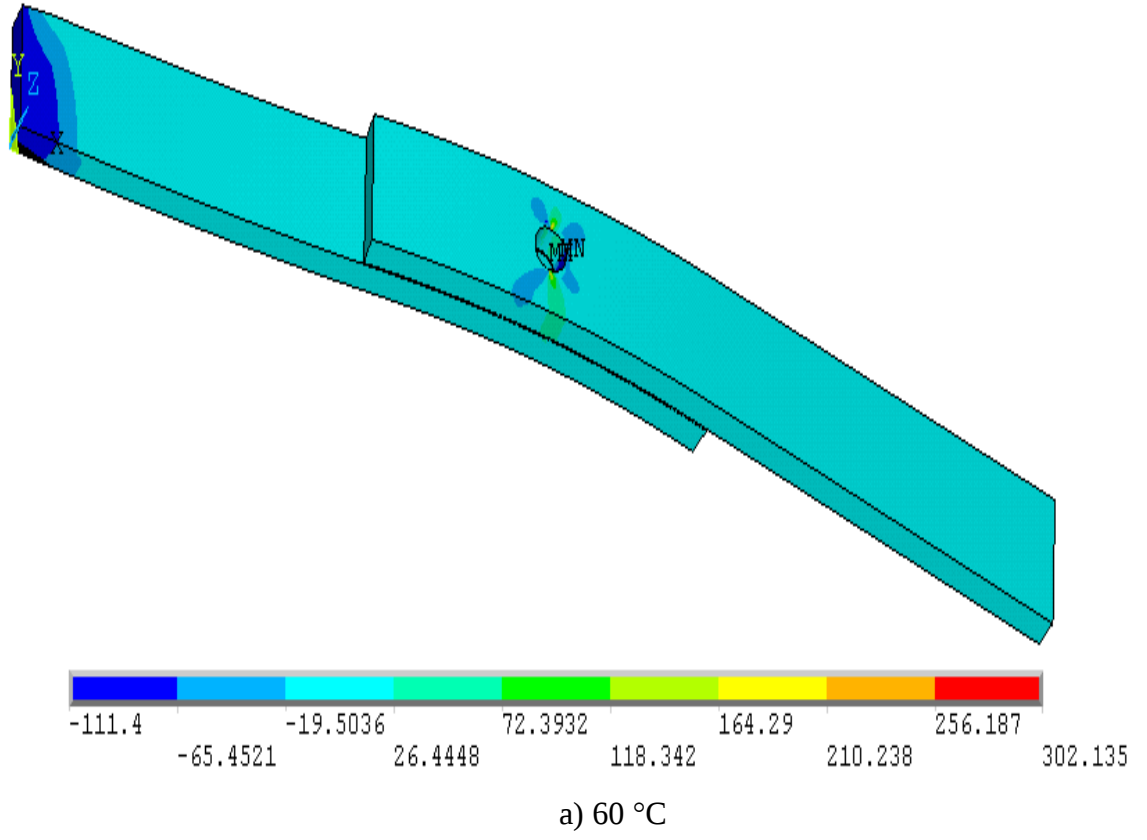
Şekil 4.21. 500 N çekme yükü altında 60 °C ve 100 °C sıcaklıklarda x-yönünde hesaplanan normal gerilmeler (MPa)



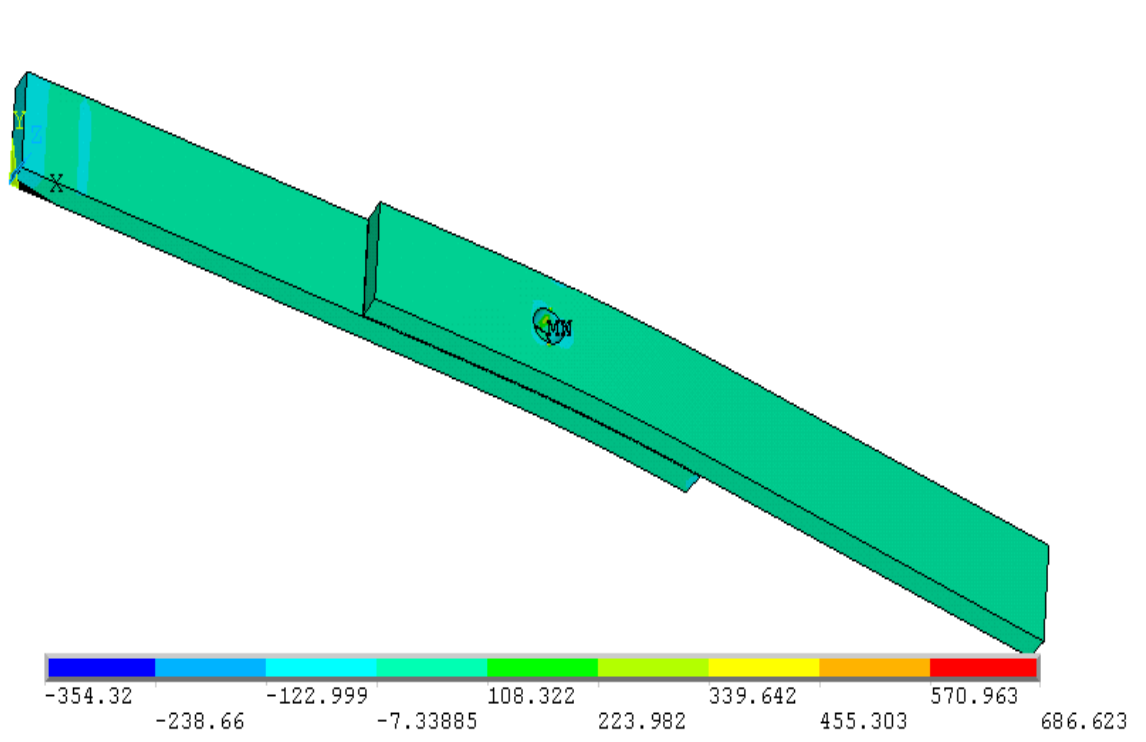
Şekil 4.22. 100 N çekme yükü altında 60 °C ve 100 °C sıcaklıklarda y-yönünde hesaplanan normal gerilmeler (MPa)



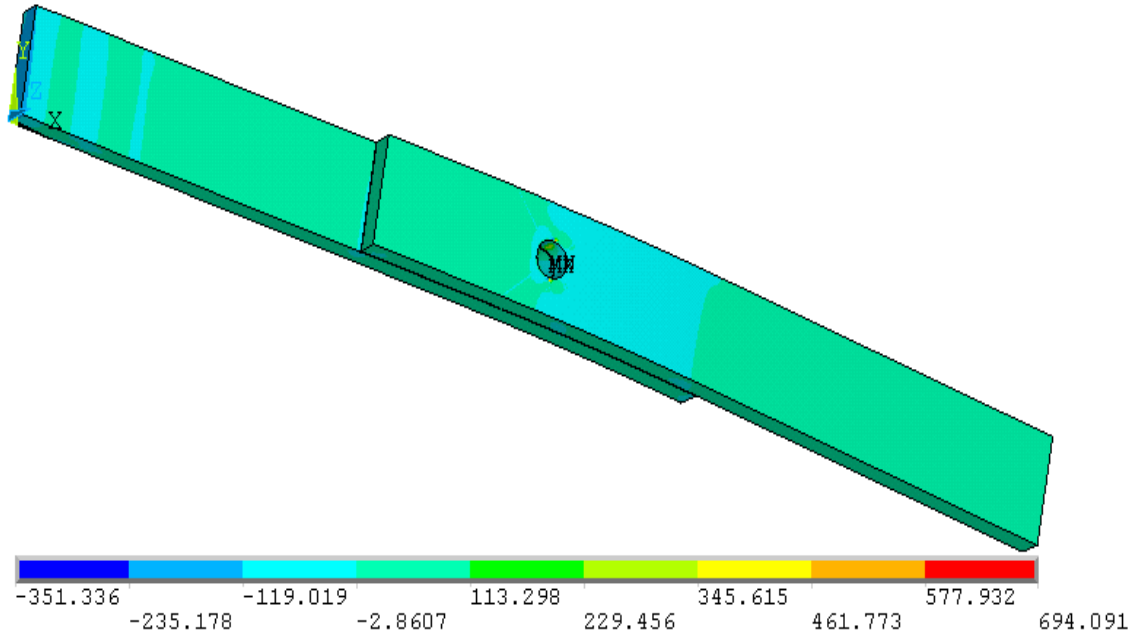
Şekil 4.23. 500 N çekme yükü altında 60 °C ve 100 °C sıcaklıklarda y-yönünde hesaplanan normal gerilmeler (MPa)



Şekil 4.24. 100 N çekme yükü altında 60 °C ve 100 °C sıcaklıklarda z-yönünde hesaplanan normal gerilmeler (MPa)



a) 60 °C



b) 100 °C

Şekil 4.25. 500 N çekme yükü altında 60 °C ve 100 °C sıcaklıklarda z-yönünde hesaplanan normal gerilmeler (MPa)

Normal gerilmelerde olduğu gibi, uygulanan farklı sıcaklık değerlerine bağlı olarak kayma gerilmeleri τ_{xy} , τ_{yz} , ve τ_{xz} 'in üç boyutlu model üzerindeki değerleri Çizelge 4.6.'da gösterilmiştir.

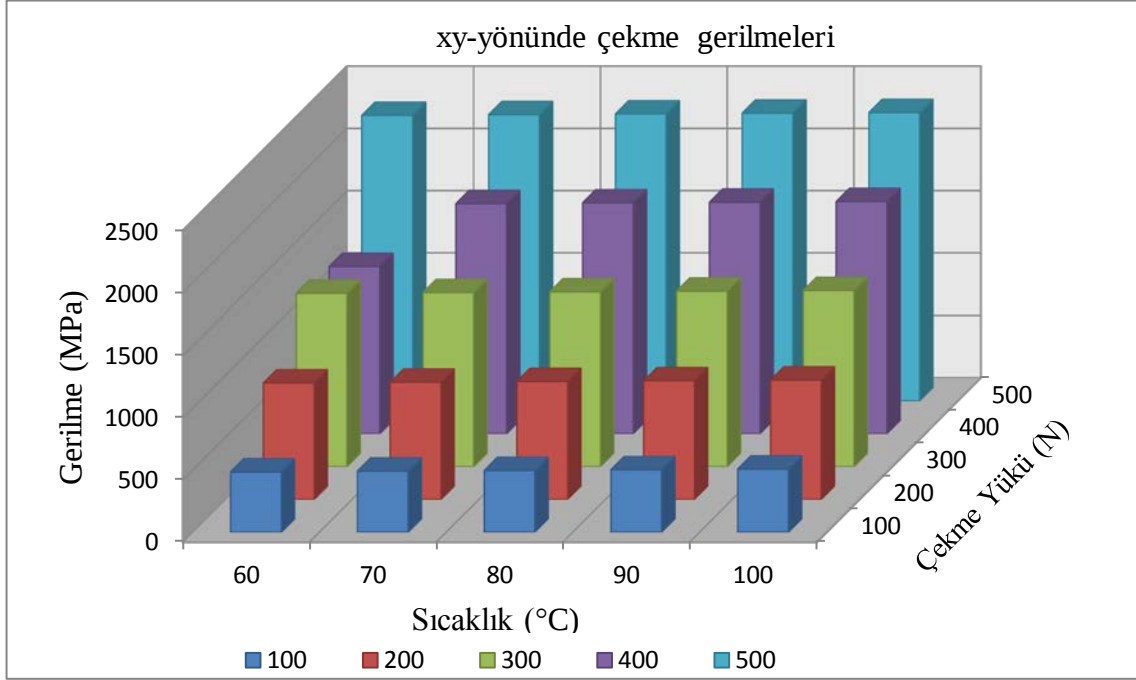
Çizelge 4.6. Farklı çekme yükü ve sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan kayma gerilmeleri (τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{xz})

Çekme Yükü (N)	Sıcaklık (C°)	Gerilme Formu	Kayma gerilmeleri (MPa)		
			τ_{xy}	τ_{yz}	τ_{xz}
100	60	Basma	-506,22	-26,09	-151,98
		Çekme	485,29	26,05	41,01
	70	Basma	-509,53	-26,63	-151,41
		Çekme	490,97	26,68	55,20
	80	Basma	-512,84	-27,17	-150,85
		Çekme	496,66	27,30	69,39
	90	Basma	-516,15	-27,70	-150,29
		Çekme	502,34	27,92	83,58
	100	Basma	-519,46	-28,24	-149,73
		Çekme	508,02	28,54	97,77
200	60	Basma	-992,60	-48,97	-307,42
		Çekme	936,49	48,38	56,51
	70	Basma	-995,91	-49,51	-306,77
		Çekme	942,17	49,007	57,09
	80	Basma	-999,21	-50,05	-306,21
		Çekme	947,85	49,62	57,66
	90	Basma	-1002,53	-50,58	-305,64
		Çekme	953,54	50,25	58,24
	100	Basma	-1005,84	-51,12	-305,08
		Çekme	959,22	50,87	64,18
300	60	Basma	-1478,97	-71,86	-465,19
		Çekme	1387,69	70,71	83,04
	70	Basma	-1482,28	-72,39	-463,84
		Çekme	1393,37	71,33	83,62
	80	Basma	-1485,59	-72,93	-462,49
		Çekme	1399,06	71,95	84,19
	90	Basma	-1488,90	-73,46	-461,14
		Çekme	1404,74	72,57	84,77
	100	Basma	-1492,21	-74,005	-460,44
		Çekme	1410,42	73,19	85,35

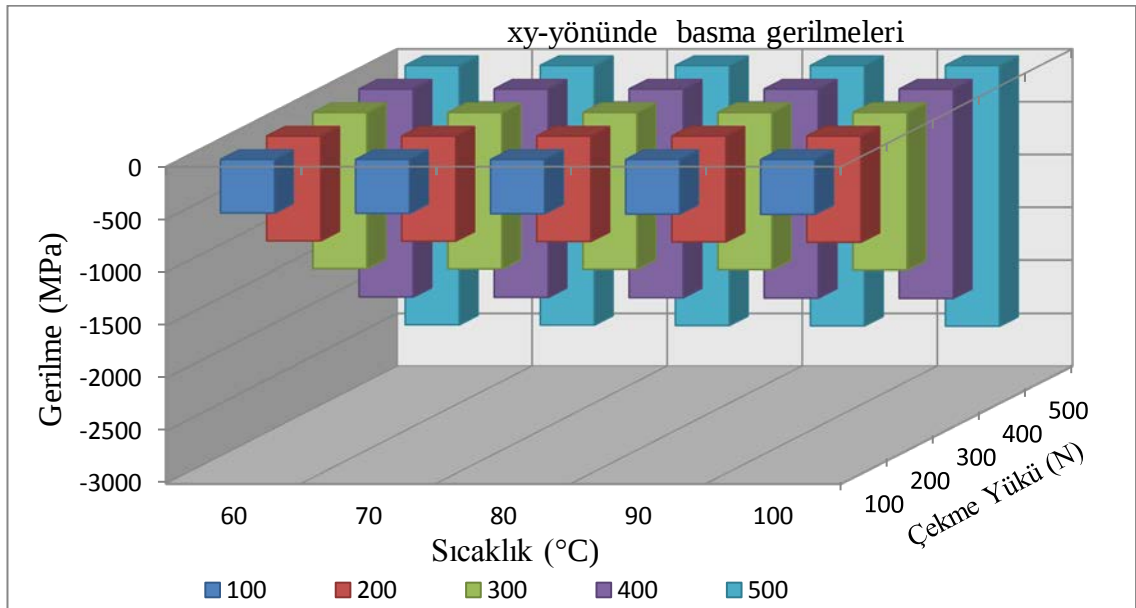
Çekme Yükü (N)	Sıcaklık (C°)	Gerilme Formu	Kayma gerilmeleri (MPa)		
			τ_{xy}	τ_{yz}	τ_{xz}
400	60	Basma	-1965,35	-94,74	-622,96
		Çekme	1838,89	93,03	109,57
	70	Basma	-1968,66	-95,27	-621,61
		Çekme	1844,57	93,65	110,15
	80	Basma	-1971,97	-95,81	-620,26
		Çekme	1850,26	94,28	110,72
	90	Basma	-1975,27	-96,35	-618,91
		Çekme	1855,94	94,90	111,30
	100	Basma	-1978,58	-96,88	-617,56
		Çekme	1861,62	95,52	111,88
500	60	Basma	-2451,72	-117,62	-117,62
		Çekme	2290,09	115,36	115,36
	70	Basma	-2455,03	-118,16	-779,38
		Çekme	2295,77	115,98	136,68
	80	Basma	-2458,34	-118,69	-778,03
		Çekme	2301,45	116,60	137,25
	90	Basma	-2461,65	-119,23	-776,68
		Çekme	2307,14	117,23	137,83
	100	Basma	-2464,96	-119,76	-775,32
		Çekme	2312,82	117,85	138,40

Bu çizelgeden görüldüğü üzere çekme şeklinde gerilmelerin değerleri, uniform sıcaklık artışına bağlı olarak artmaktadır. Dolayısıyla, modellenen kompozit için en düşük çekme şeklinde kayma gerilmeleri uygulanan 60 °C uniform sıcaklık yükü için elde edilirken, en yüksek değerli çekme şeklinde kayma gerilmeleri ise 100 °C uniform sıcaklık etkisinde iken hesaplanmıştır. Ancak çekme yükü artışına bağlı olarak xz-yönünde çekme şeklinde kayma gerilmeleri azalmaktadır. Çizelgeden de görüleceği üzere en yüksek çekme şeklinde kayma gerilmesi 500 N çekme yükü altında 100 °C sıcaklıkta xy-yönünde 2312,82 MPa olarak bulunmuştur ve en düşük çekme şeklinde kayma gerilmesi ise 100 N çekme yükünde 60 °C sıcaklık altında yz-yönünde 26,05 MPa olarak hesaplanmıştır. Ayrıca basma şeklindeki ısı gerilmelerin mutlak değerleri incelendiğinde xy ve yz-yönleri için her bir çekme yükü için sıcaklık artışına bağlı olarak basma gerilmelerinin yükseldiği ancak xz-yönünde ise sıcaklık artışıyla basma

şeklindeki kayma gerilmelerinin mutlak değerleri düşmektedir. Basma şeklindeki kayma gerilmelerinin en yüksek mutlak değeri 500 N çekme yükü altında 100 °C sıcaklıkta xy-yönünde -2464,96 MPa ve en düşük kayma gerilmesi mutlak değeri ise 100 N çekme yükü altında 60 °C sıcaklıkta xz-yönünde -26,09 MPa olarak hesaplanmıştır.

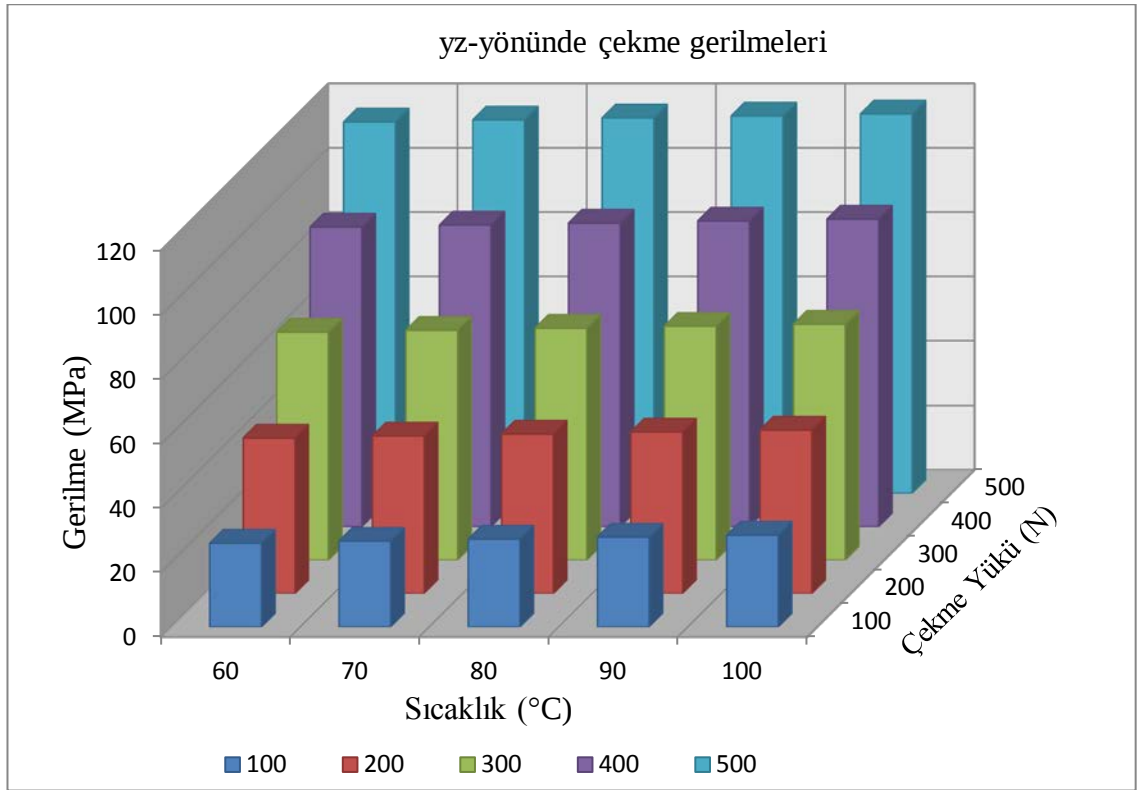


a) xy-yönündeki çekme şeklinde kayma gerilmeleri

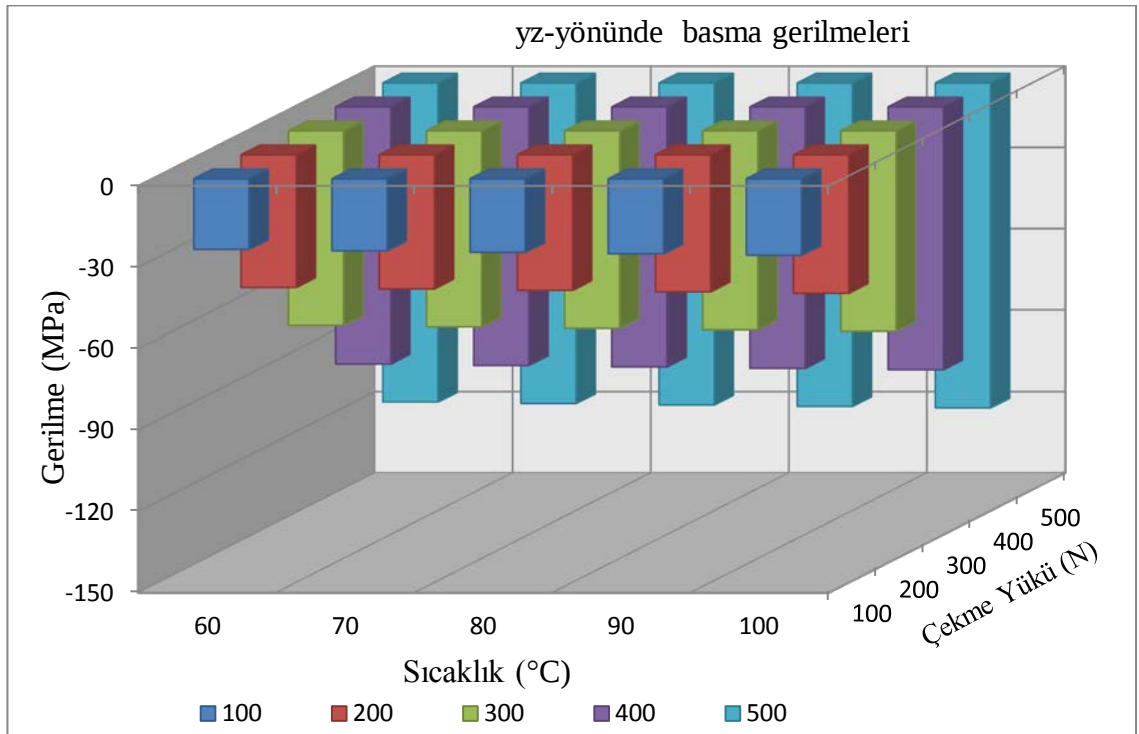


b) xy-yönündeki basma şeklinde kayma gerilmeleri

Şekil 4.26. Farklı çekme yükleri ve sıcaklıklar altında xy-yönündeki kayma gerilme değerleri

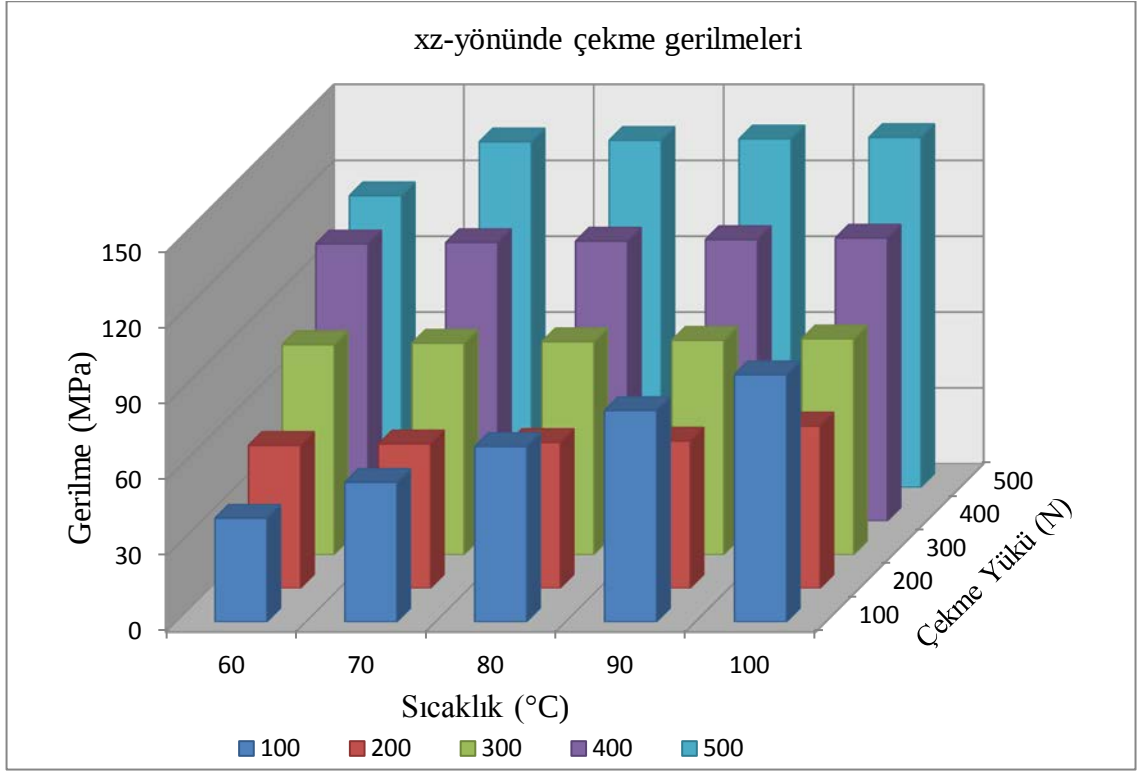


a) yz-yönündeki çekme şeklinde kayma gerilmeleri

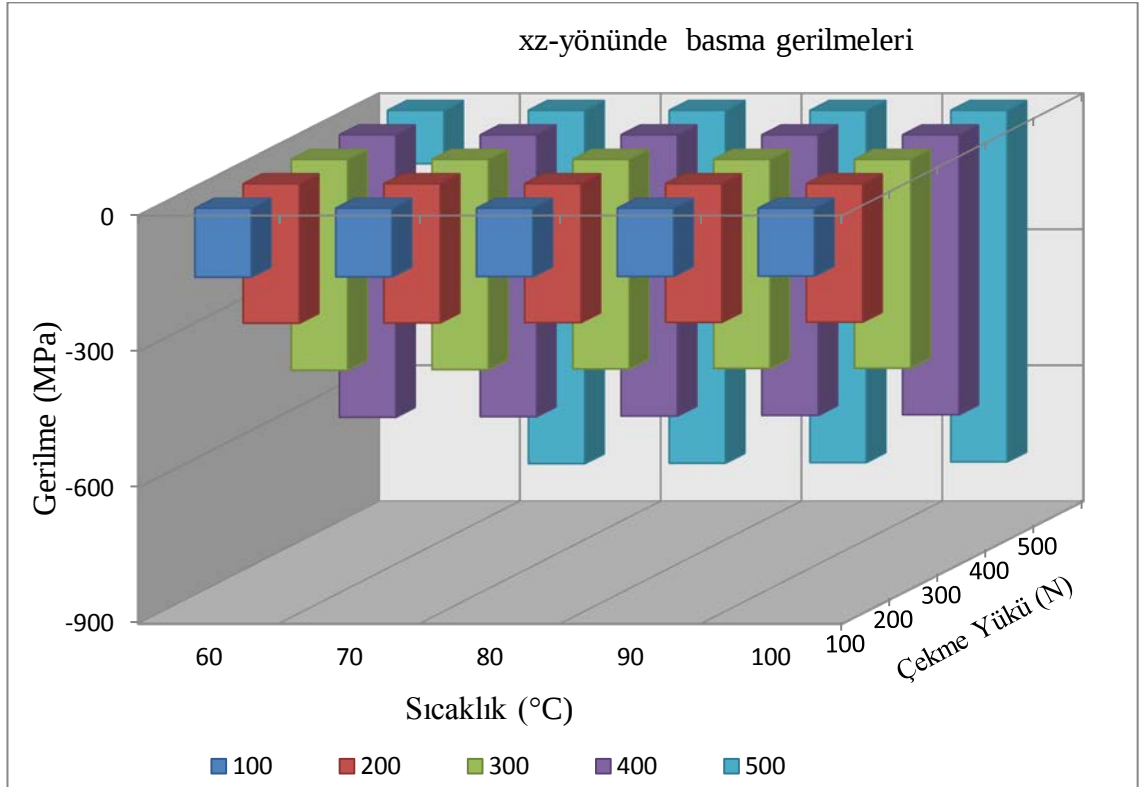


b) yz-yönündeki basma şeklinde kayma gerilmeleri

Şekil 4.27. Farklı çekme yükleri ve sıcaklıklar altında yz-yönünde kayma gerilme değerleri



a) xz-yönündeki çekme şeklinde kayma gerilmeleri



b) xz-yönündeki basma şeklinde kayma gerilmeleri

Şekil 4.28. Farklı çekme yükleri ve sıcaklıklar altında xz-yönünde kayma gerilme

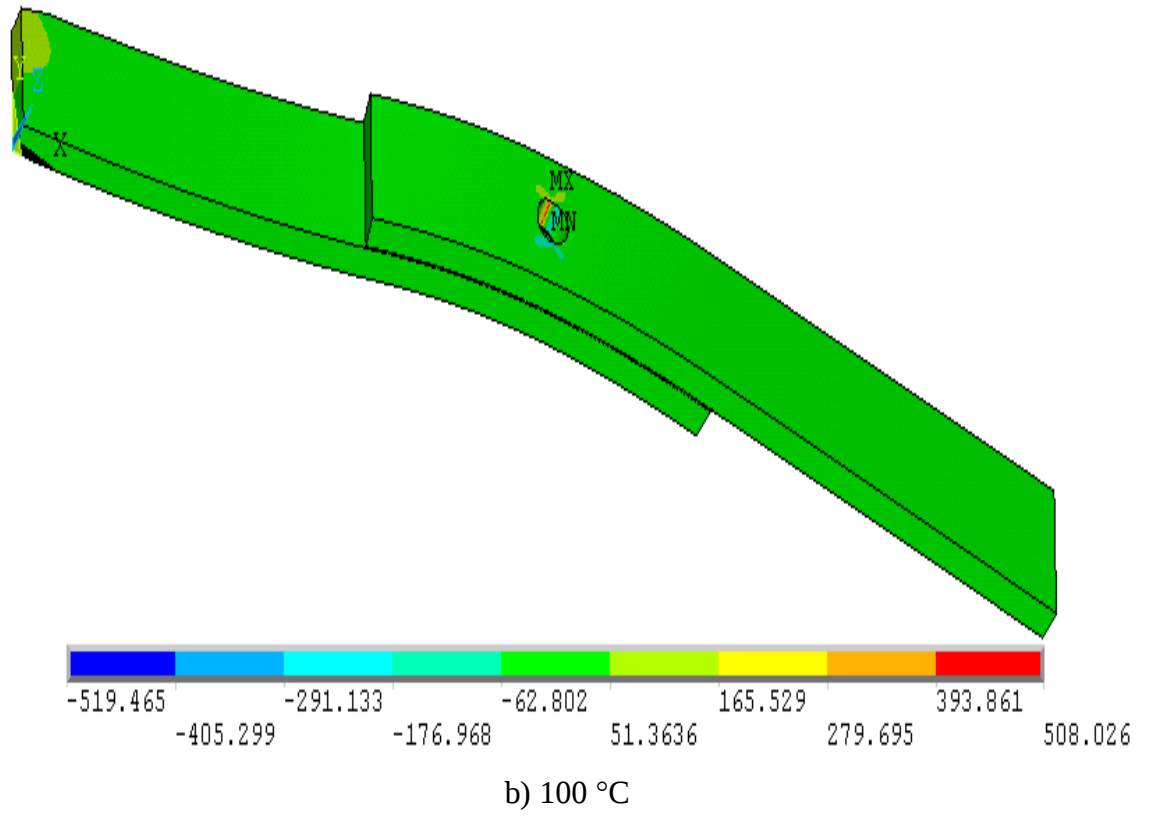
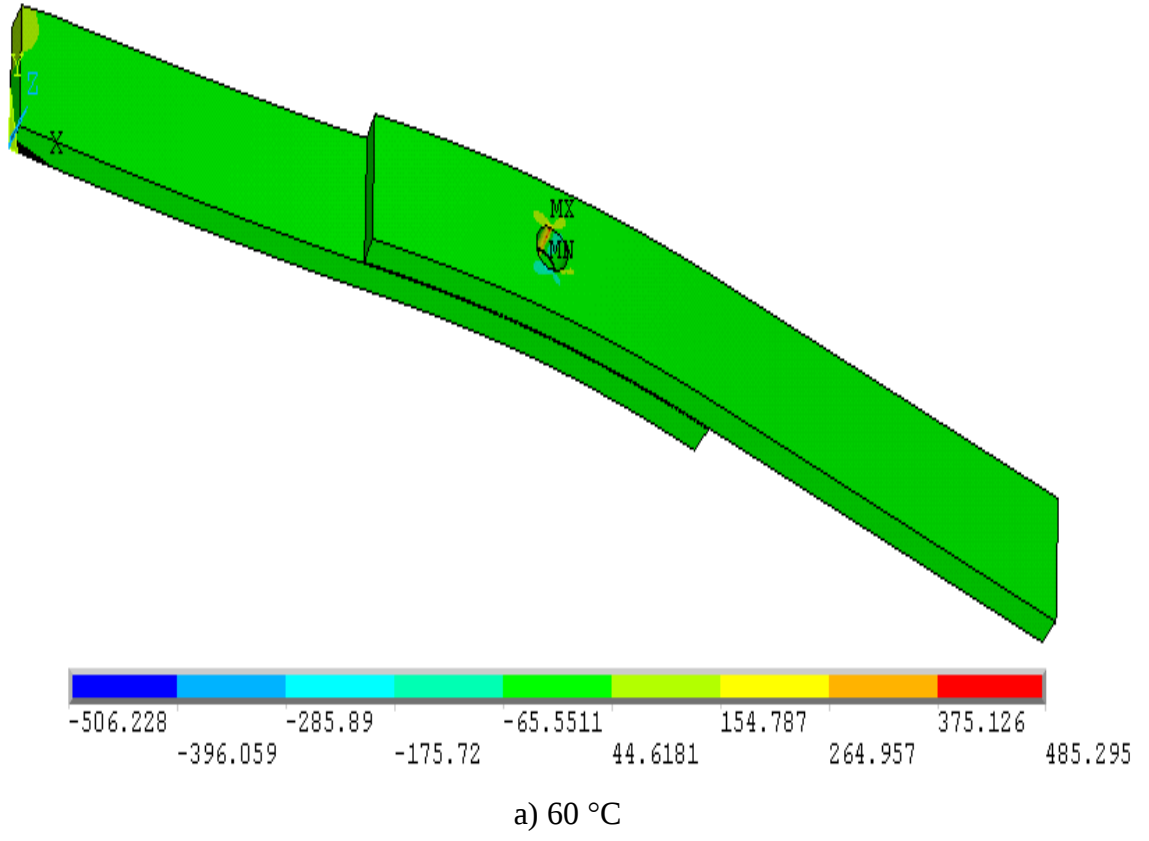
değerleri

Uygulanan uniform sıcaklıklara bağı olarak hesaplanan kayma gerilmeleri; xy-yönündeki (τ_{xy}), yz-yönündeki (τ_{yz}) ve xz yönünde (τ_{xz}) olmak üzere Şekil 4.26., Şekil 4.27. ve Şekil 4.28.'de sırası ile gösterilmiştir. Çizelge 4.6.'da listelenen kayma gerilme değerlerinin, bu şekilde grafiksel gösterimi neticesinde, uniform sıcaklık ve çekme yükündeki artışa bağı olarak, meydana gelen çekme gerilmelerindeki değişim açıkça görülebilmektedir. Bu şekillerden görüldüğü gibi en büyük çekme şeklindeki kayma gerilmeleri xy-yönünde meydana gelmiştir. Bunun nedeni çekme yükünün x-yönünde uygulanması ve dolayısıyla bağlantının özellikle bu yönde daha fazla zorlanmış olmasıdır. Ayrıca, yz-yönünde hesaplanan kayma gerilme değerlerinin, xy ve xz-yönlerinde hesaplanan gerilme değerlerinden küçük olduğu görülmekle birlikte basma şeklindeki en büyük gerilme değerlerinin xz ve xy-yönlerinde olduğu da açıkça gözlenmektedir.

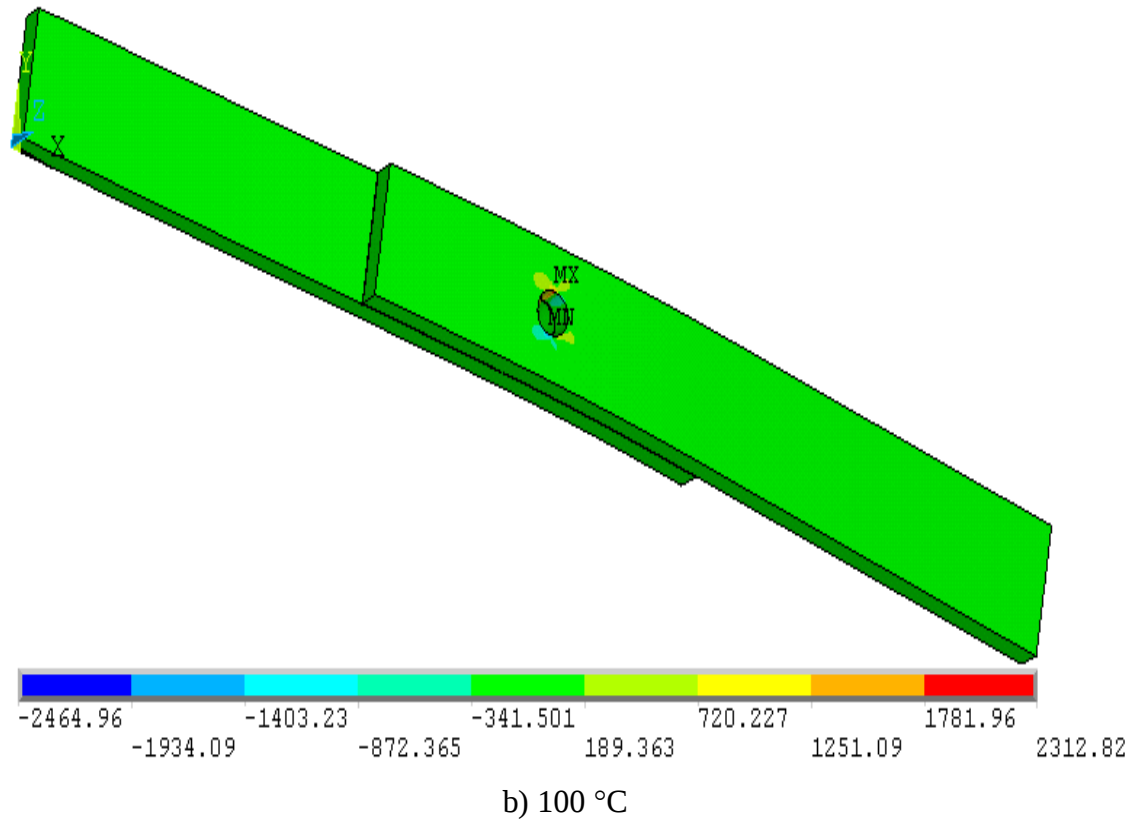
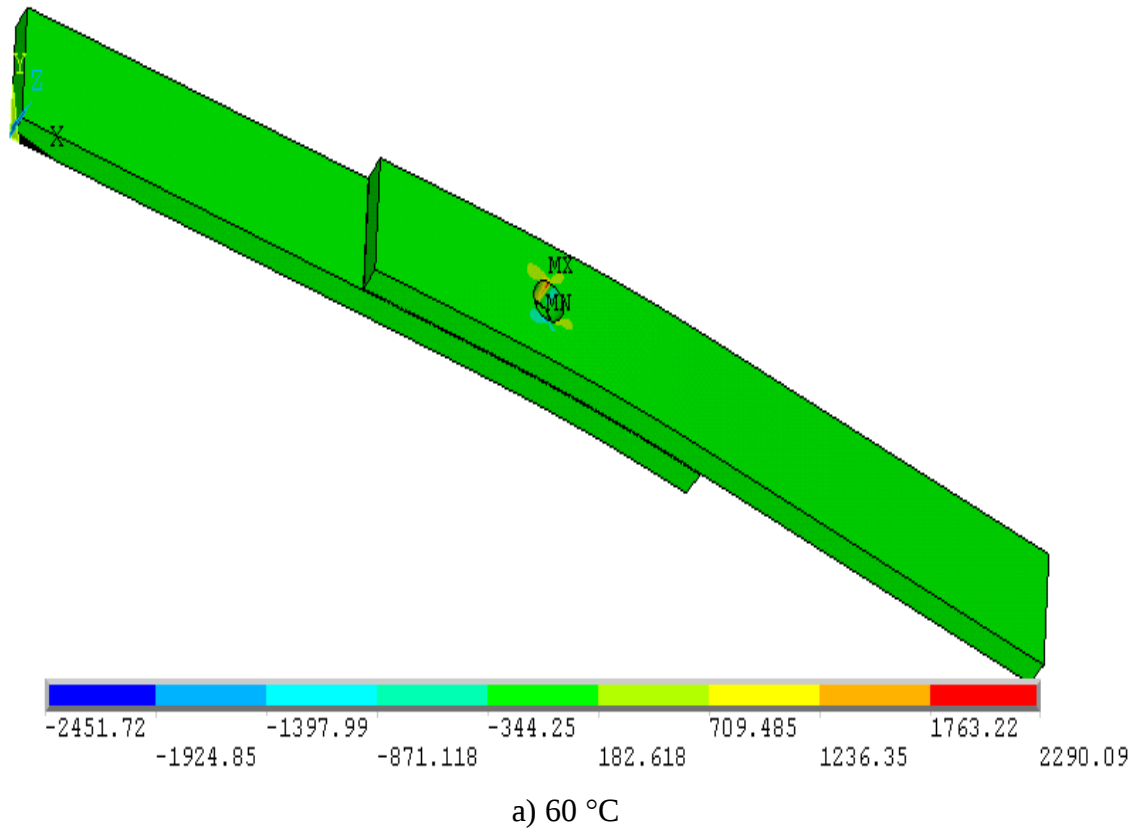
Şekil 4.29. ve Şekil 4.30.'da görüldüğü gibi deliklerin içlerinde xy-yönündeki çekme ve basma şeklindeki kayma gerilmelerinin en yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Ayrıca kompozit model yüzeyinde genel olarak basma yönündeki kayma gerilmesinin daha yoğun olduğu tespit edilmiştir. 500 N çekme yükü altında sıcaklık artışına bağı olarak yüzeydeki basma şeklindeki kayma gerilmesi ise azalmaktadır.

Şekil 4.31. ve Şekil 4.32. karşılaştırıldığında; yz-yönündeki kayma gerilmelerinin sıcaklık ve çekme yükü artışına bağı olarak az da olsa arttığı görülmektedir. İki şekil kontrol edildiğinde renkler arasında çok farklılık olmadığı minimum seviyede çekme ve basma formlarında kayma gerilmeleri olduğu görülecektir.

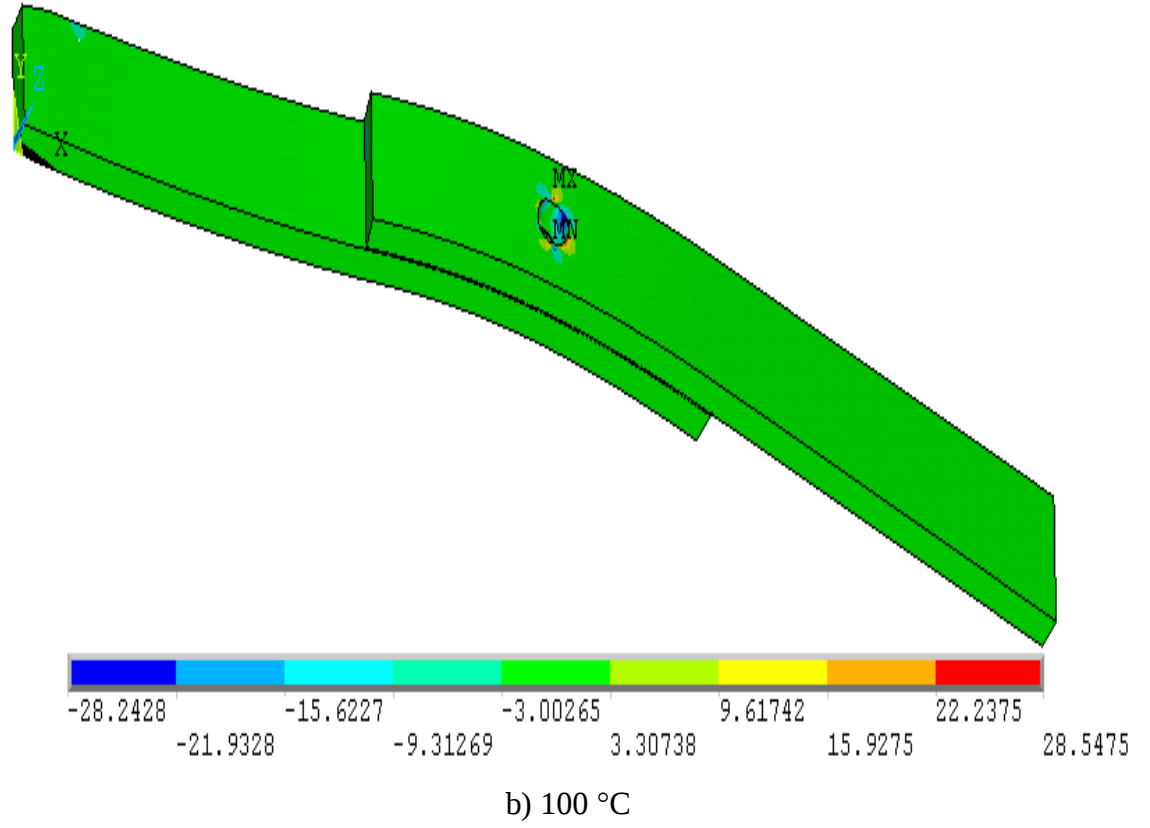
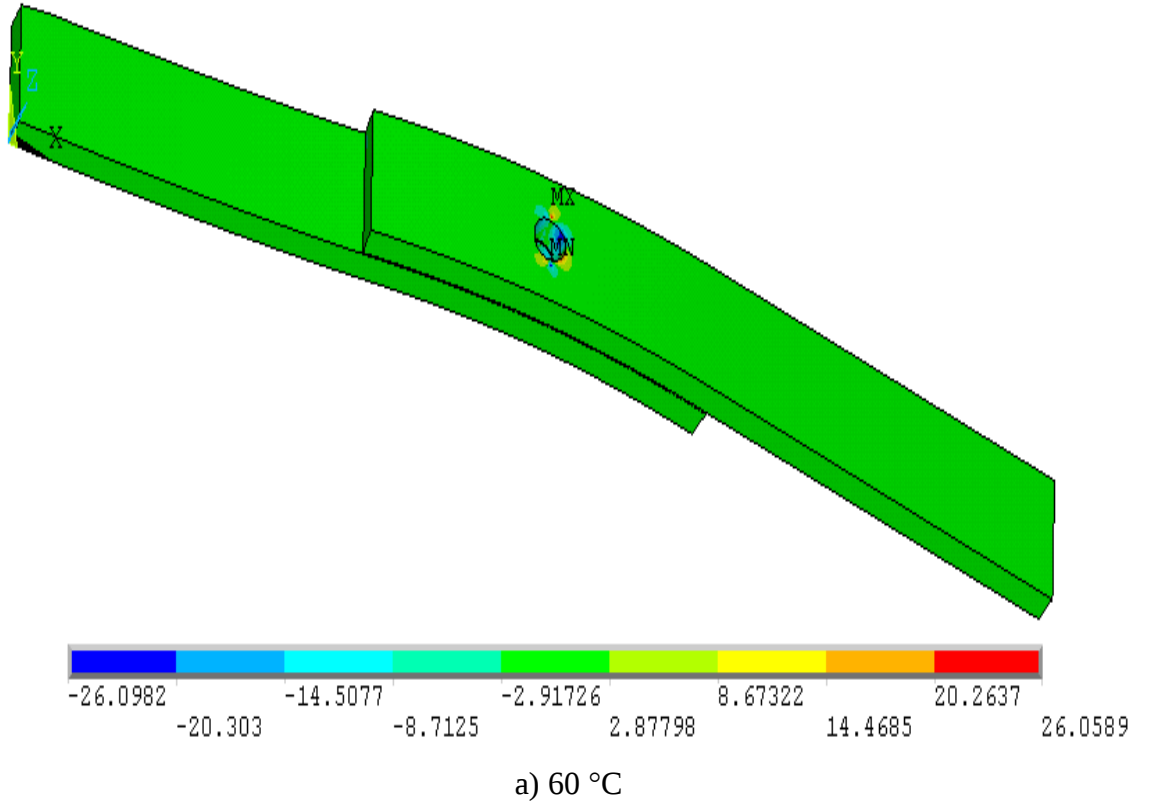
Şekil 4.33. ve Şekil 4.34.'te ise xz-yönündeki basma şeklindeki kayma gerilmelerinin sıcaklık ve çekme yükü artışına bağı olarak yükseldiği görülmektedir. Ancak çekme şeklindeki kayma gerilmelerinin çekme yükü artışı ile azaldığı tespit edilmiştir. Her iki şekilde 100 °C deki sıcaklık altındaki renklere göre değerlendirirsek 500 N çekme yükü altında kompozit yüzeydeki basma şeklindeki kayma gerilmesinin daha yüksek olduğu ancak 500 N çekme yükü altında ne kadar da kırmızı olan bölge fazla görünse de 100 N da delik içlerinde çekme şeklindeki kayma gerilme değeri daha yüksektir.



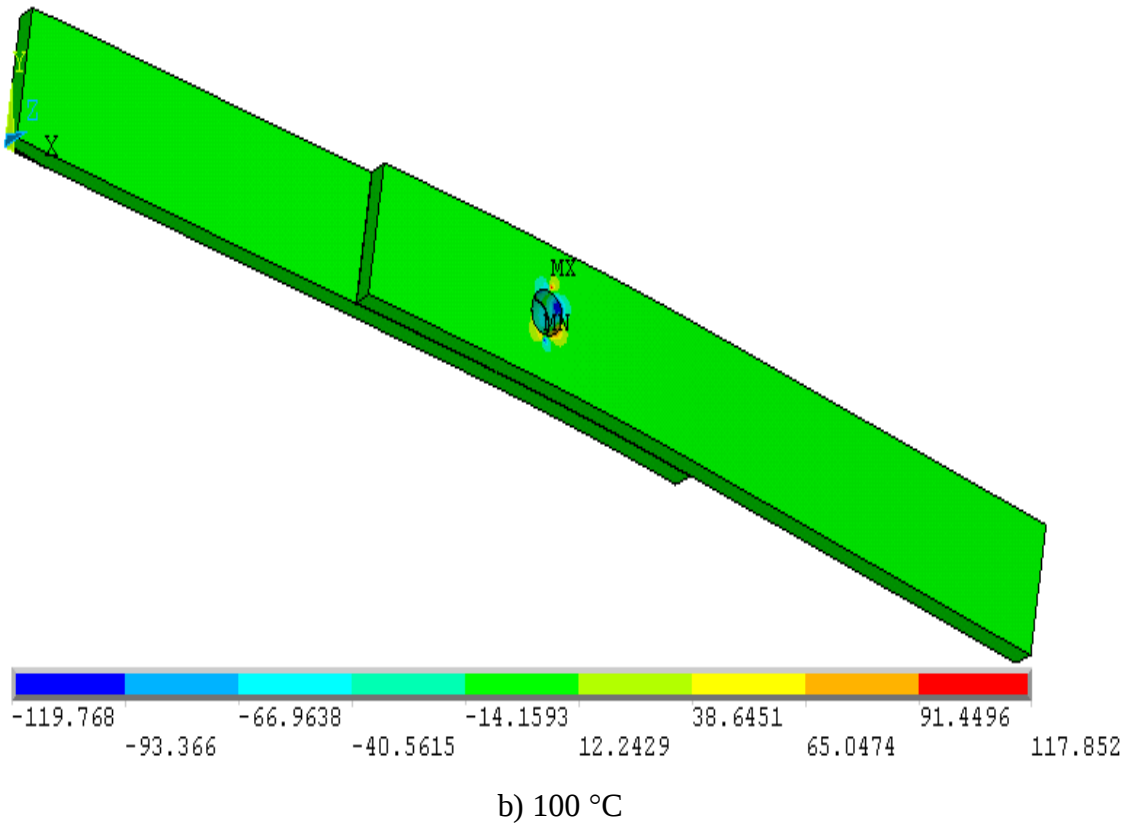
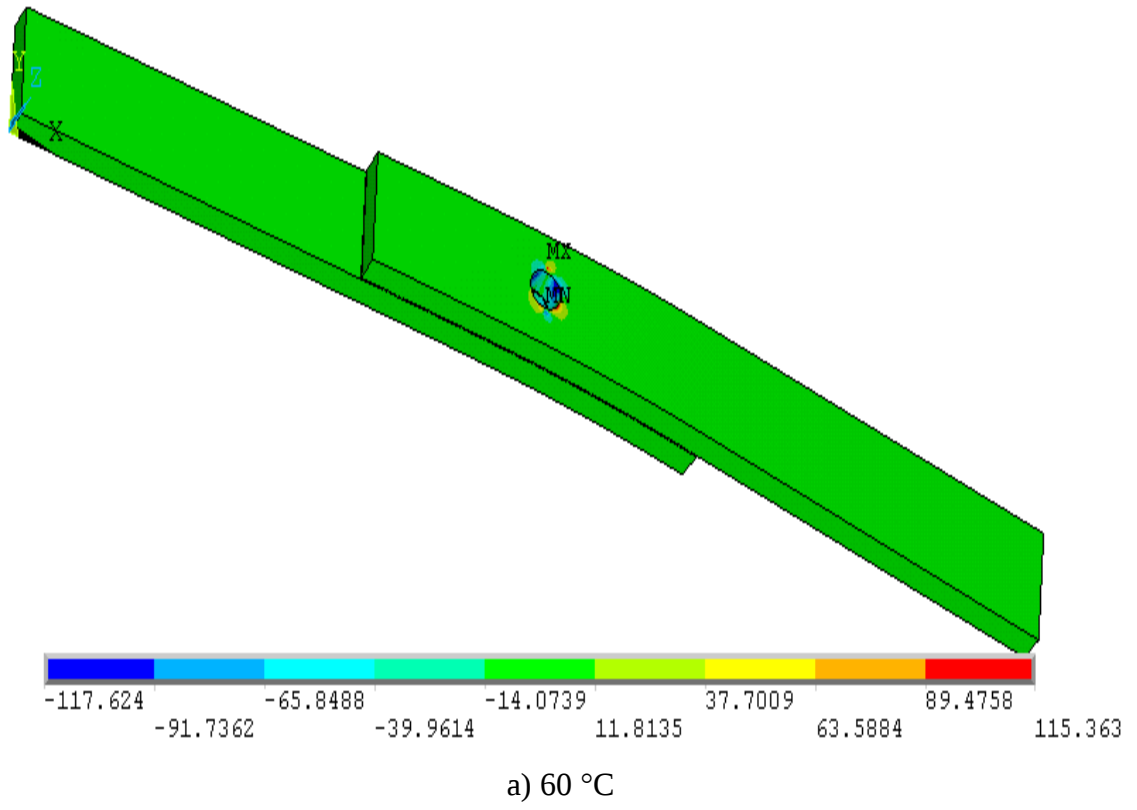
Şekil 4.29. 100 N çekme yükü altında 60 °C ve 100 °C sıcaklıklarda xy-yönünde hesaplanan kayma gerilmeleri (MPa)



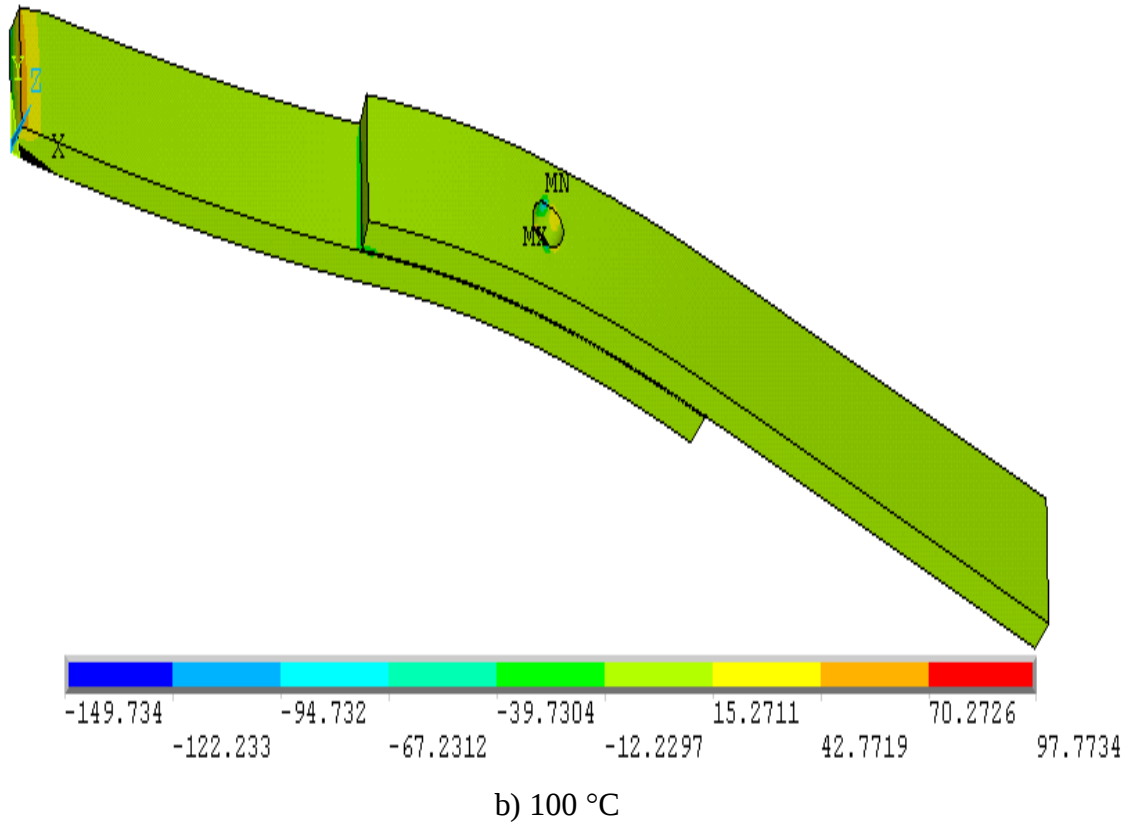
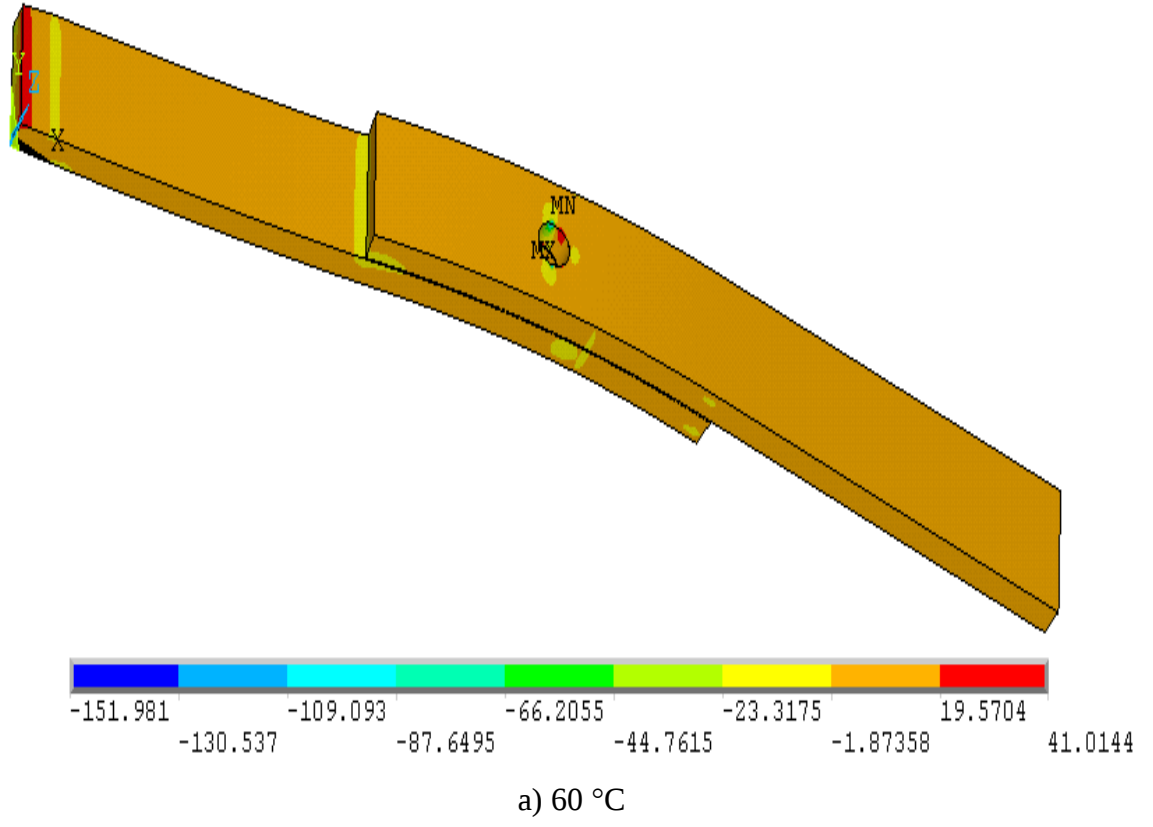
Şekil 4.30. 500 N çekme yükü altında 60 °C ve 100 °C sıcaklıklarda xy-yönünde hesaplanan kayma gerilmeleri (MPa)



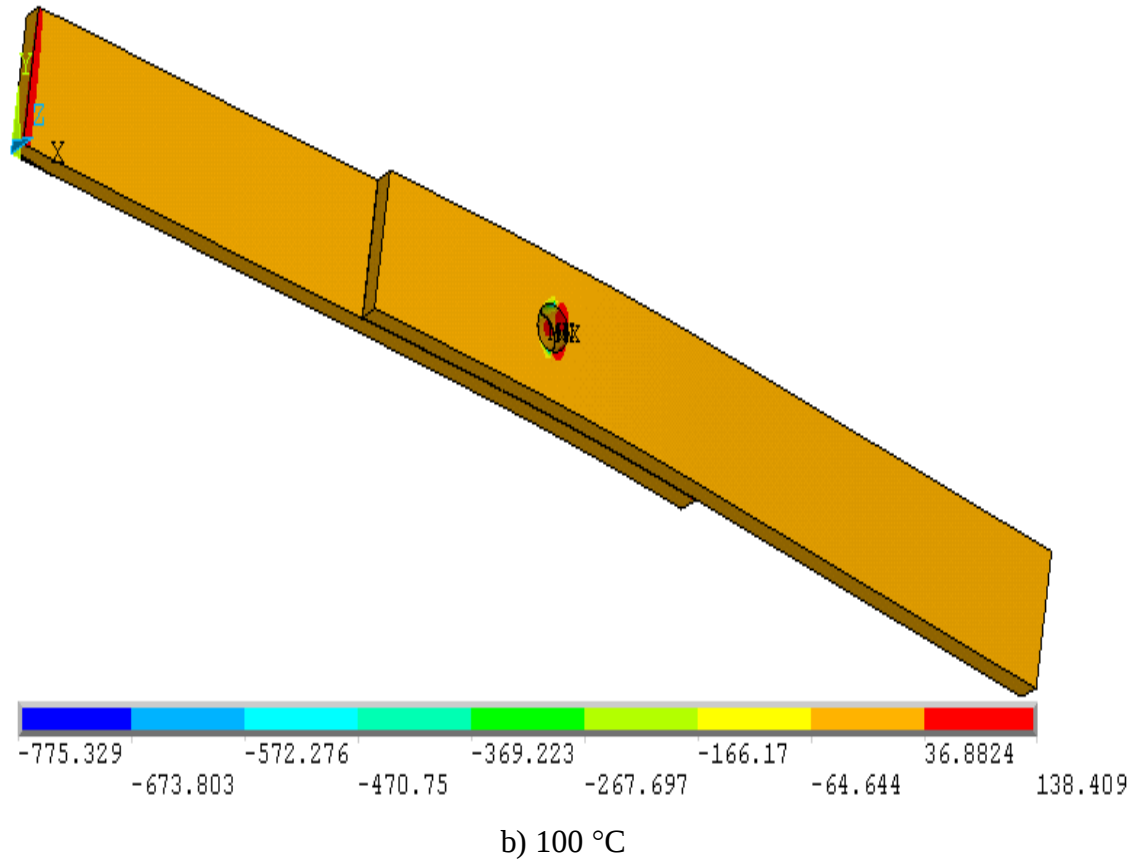
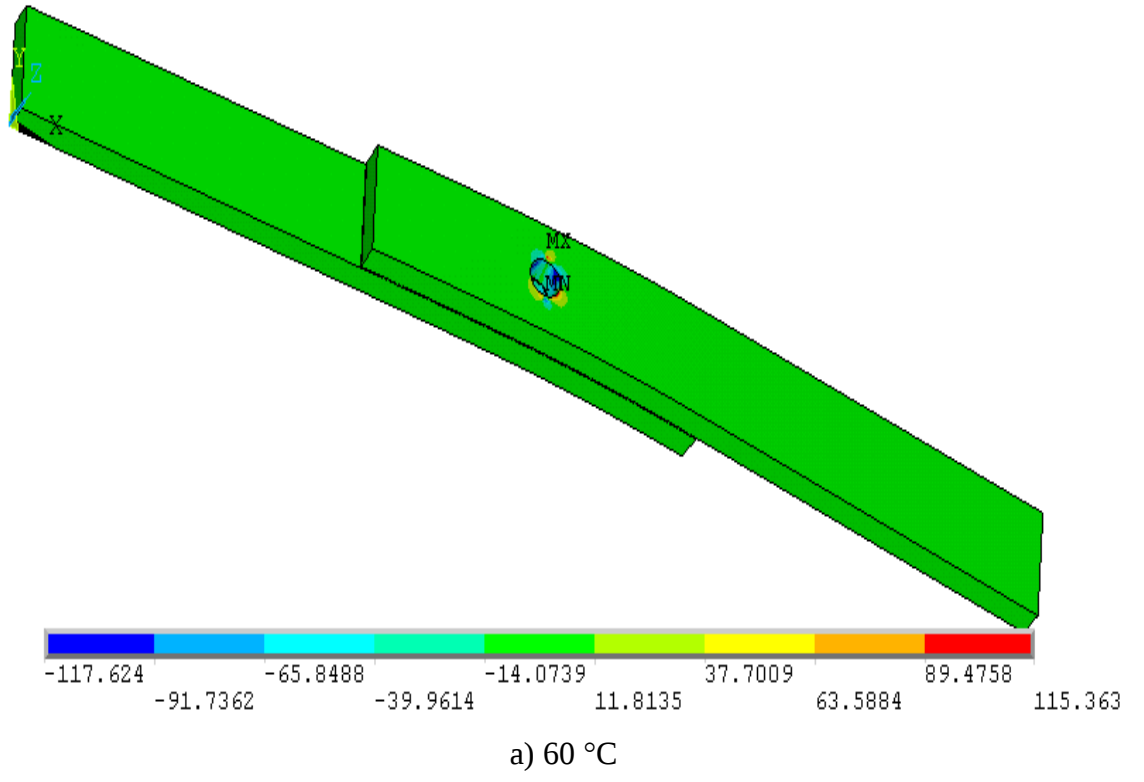
Şekil 4.31. 100 N çekme yükü altında 60 °C ve 100 °C sıcaklıklarda yz-yönünde hesaplanan kayma gerilmeleri (MPa)



Şekil 4.32. 500 N çekme yükü altında 60 °C ve 100 °C sıcaklıklarda yz-yönünde hesaplanan kayma gerilmeleri (MPa)



Şekil 4.33. 100 N çekme yükü altında 60 °C ve 100 °C sıcaklıklarda xz-yönünde hesaplanan kayma gerilmeleri (MPa)



Şekil 4.34. 500 N çekme yükü altında 60 °C ve 100 °C sıcaklıklarda xz-yönünde hesaplanan kayma gerilmeleri (MPa)

BÖLÜM V

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, iki adet metal matris kompozit levhanın öncelikle epoksi türü bir yapıştırıcı ile yapıştırıldığı ve yapıştırılan bu parçalara ayrıca paralel çift pim bağlantısı yapıldığı varsayılarak üç boyutlu bir model oluşturulmuştur. Buradaki amaç, daha önceki çalışmalardan farklı olarak, yapıştırılmış ve paralel çift pim uygulanmış karma bir bağlantı oluşturulması ve modellenmesidir. Çünkü daha önceki çalışmalarda, genel olarak ya yapıştırıcı bağlantıları ya da çeşitli pimli bağlantılar ayrı ayrı çalışılmış veya tek bölgeden pimli ve yapıştırıcılı karma bağlantılar kullanılmıştır. Oluşturulan bu yeni modele, farklı değerlerde çekme yükleri ve uniform sıcaklıklar uygulanarak karma bağlantı üzerinde oluşan normal gerilme ve kayma gerilmelerinin dağılımları ve değerleri incelenmiştir. Modelleme ve modelin sonlu elemanlara ayırma işlemi sonrası, bu çalışmada çözümler, karma bağlantıya uygulanan yükleme durumları dikkate alınarak üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

Birinci aşamada, yapıştırılmış ve paralel çift pim bağlantısı uygulanmış karma bağlantıya, sadece x-yönünde bir çekme yükü uygulanmış ve karma bağlantıda bu çekme yükünün etkisiyle meydana gelen gerilmeler ve dağılımları elde edilmiştir. Çekme yükü sırasıyla 100, 200, 300, 400 ve 500 N değerlerinde uygulanmıştır. Uygulanan bu çekme yüklerin artışına bağlı olarak, normal gerilmelerde oluşan artış çok rahat görülebilmektedir. Ayrıca, x-yönünde hesaplanan çekme ve basma gerilme değerlerinin y ve z-yönlerindeki gerilme değerlerinden çok daha büyük değerlerde olduğu görülmektedir. Bunun başlıca sebebi ise, karma bağlantıya uygulanan çekme yükünün x-yönünde etki ediyor olmasıdır. Çözüm sonrasında elde edilen şekiller incelendiğinde, her üç yönde model yüzeyinde genelde basma gerilmeleri olduğu gözlenmiştir. Ayrıca x ve y-yönlerinde model üzerindeki deliklerin çevrelerinde yüksek değerlerde çekme gerilmelerinin de olduğu görülmektedir. Üç boyutlu model üzerinde eş gerilme eğrileri veya konturları incelendiğinde gerilme yığılmalarının olduğu bölgeler rahatlıkla belirlenebilmektedir. Normal gerilmelerde olduğu gibi, farklı çekme yükleri etki ettirildiğinde elde edilen kayma gerilmeleri de model üzerinde farklı çekme yükleri uygulanarak elde edilmiştir. Bulgular incelendiğinde, xy-yönünde hesaplanan çekme ve basma şeklindeki kayma gerilmelerinin yz ve xz-yönlerindeki gerilmelerden

çok daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Yine yz-yönündeki basma gerilmelerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Birinci aşamadaki en önemli tespitler x ve xy-yönlerinde bulunan normal ve kayma gerilmelerinin diğer yönlerle göre daha büyük olması ve uygulanan çekme yükü artışına bağlı olarak çekme gerilmelerinin delik içlerinde ve çevresinde yoğunlaşmış olmasıdır.

İkinci aşamada, karma bağlantıya herhangi bir çekme yükü uygulanmadan, sadece farklı değerlerde uniform sıcaklıklar uygulanmış ve uygulanan bu uniform sıcaklıkların etkisiyle karma bağlantıda meydana gelen ısı gerilmeler, normal ve kayma gerilmeleri olarak hem çekme hem de basma şekli için ayrı ayrı incelenmiştir. Karma bağlantıya uygulanan uniform sıcaklık değerleri sırasıyla 60, 70, 80, 90 ve 100 °C'dir. Model üzerinde yapılan değerlendirmede, ısı gerilmelerin mutlak değerleri, uniform sıcaklık artışına bağlı olarak artmaktadır. Dolayısıyla, modellenen kompozit için en düşük gerilmeler uygulanan 60 °C uniform sıcaklık yükü için elde edilirken, en yüksek değerli gerilmeler 100 °C uniform sıcaklık etkisindeyken hesaplanmıştır. Ayrıca en yüksek gerilmeler x-yönünde oluşurken, z-yönünde elde edilen gerilmelerin, x ve y-yönlerinde elde edilen gerilmelerden de daha küçük olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde kayma gerilmelerinde de sıcaklık artışına bağlı çekme ve basma şeklindeki gerilmeler artmıştır. En yüksek kayma gerilmeleri xy-yönünde olurken sadece sıcaklık etkisindeki modelde ise; x ve xy-yönlerinde bulunan normal gerilmeler ve kayma gerilmeleri diğer yönlerle oranla daha yüksektir, normal gerilmeler kayma gerilmelerine göre genelde en az iki kat daha yüksektir. x-yönünde basma şeklindeki normal gerilme mutlak değerleri çekme şeklinde bulunan normal gerilmelere oranla daha yüksektir. Yine sıcaklık artışına bağlı olarak çekme gerilmelerinin delik içleri ve çevresinde daha yoğun olduğu görülmektedir.

Üçüncü ve son aşamada ise, karma bağlantıya, hem çekme yükü hem de uniform sıcaklıklar aynı anda etki ettirilmiş ve bunun sonucunda karma bağlantıda meydana gelen gerilme ve dağılımları elde edilmiştir. Normal gerilmelere bakıldığında çekme şeklinde gerilme değerleri, uniform sıcaklık ve çekme yükü artışına bağlı olarak artmaktadır. Dolayısıyla, modellenen kompozit için en yüksek değerli çekme gerilmeleri 500 N çekme yükü ve 100 °C uniform sıcaklık etkisinde iken x-yönünde elde edilirken, en düşük çekme gerilmeleri uygulanan 100 N çekme yükü ve 60 °C uniform sıcaklık için z-yönünde hesaplanmıştır. Ayrıca basma şeklindeki ısı

gerilmelerin mutlak değerlerine bakıldığında her bir çekme yükü için sıcaklık artışına bağlı olarak basma gerilmelerinin arttığı ancak çekme yükü artışına bağlı olarak x-yönünde 500 N çekme yüküne kadar bir azalış tespit edilmiştir. Diğer yönlerde çekme yükü artışına bağlı olarak basma gerilmesi mutlak değerleri yükselmiştir. En düşük basma gerilmesi 100 N çekme yükü altında ve 60 °C sıcaklıkta z-yönünde oluşurken, en yüksek basma gerilmesi 500N çekme yükü altında 100 °C sıcaklıkta x-yönünde hesaplanmıştır. Aynı model üzerinde sıcaklık ve çekme yükü etkisinde oluşan kayma gerilmelerine bakıldığında yine ısı gerilme değerleri uniform sıcaklık artışına bağlı olarak artmaktadır. Dolayısıyla, modellenen kompozit için en yüksek değerli çekme şeklinde kayma gerilmeleri ise 100 °C uniform sıcaklık yükü için elde edilirken en düşük çekme şeklinde kayma gerilmeleri uygulanan 60 °C uniform sıcaklık yükü için hesaplanmıştır. En yüksek çekme şeklinde kayma gerilmesi 500 N çekme yükü altında 100 °C sıcaklıkta xy-yönünde oluşurken en düşük çekme şeklinde kayma gerilmesi mutlak değeri ise 100 N çekme yükünde 60 °C sıcaklık altında yz-yönündedir. Ayrıca basma şeklindeki ısı gerilmelerin mutlak değerleri incelendiğinde tüm yönlerde her bir çekme yükü için sıcaklık artışına bağlı olarak basma gerilmelerin mutlak değerlerinin yükseldiğı görülmektedir. Basma şeklindeki kayma gerilmelerinin en düşük mutlak değeri 100 N çekme yükü altında 60 °C sıcaklıkta yz-yönünde ve en yüksek kayma gerilmesi ise 500 N çekme yükü altında ve 100 °C sıcaklıkta xz-yönünde hesaplanmıştır. Üçüncü aşamayı kısaca toparlarsak; x ve xy-yönlerinde bulunan normal gerilmeler ve kayma gerilmeleri diğer yönlerle göre daha yüksektir, diğer durumların tersine normal gerilmelere bakıldığında en yüksek basma gerilimi 100 N çekme yükü altında oluşmuş, çekme yükü ve sıcaklık artışına bağlı olarak çekme gerilmeleri delik içleri ve çevresinde yoğunlaşmıştır.

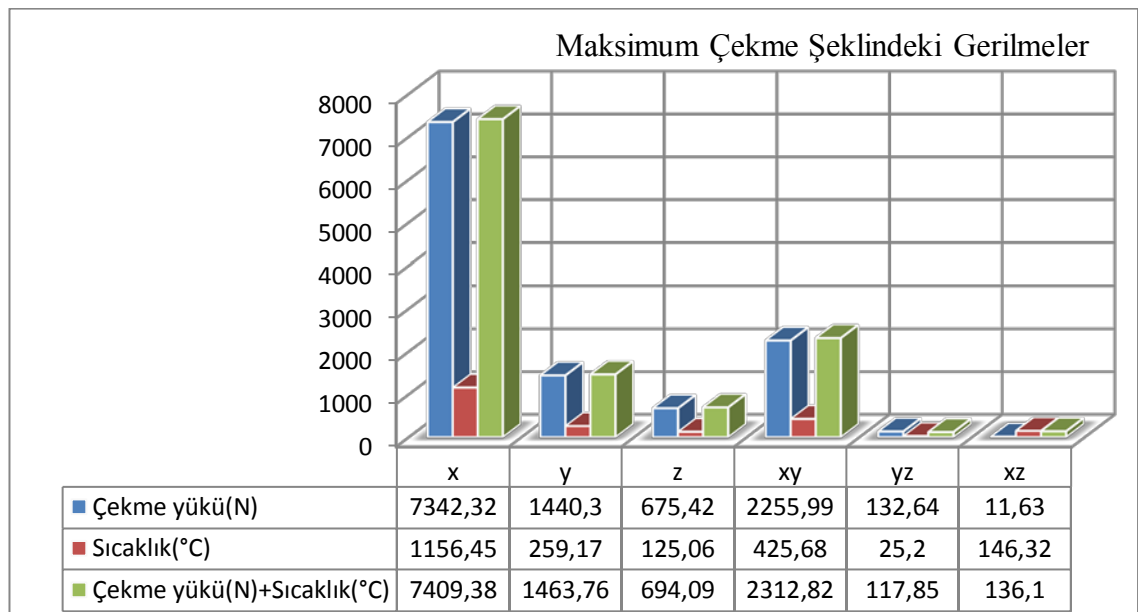
Her üç durumda hesaplanan maksimum gerilmelerin hangi çekme yükü ve sıcaklık altında tespit edildiğı Çizelge 5.1.'de gösterilmektedir. Bu çizelgeden de görüleceğı üzere genelde maksimum çekme yükü altında (500 N) ve maksimum sıcaklık altında (100 °C) en yüksek çekme ve basma şeklinde gerilmeler meydana gelmiştir.

Çizelge 5.1. Sadece çekme yükü, sadece sıcaklık ve her iki yükleme koşulundaki maksimum gerilmelerin tespit edildiği çekme ve sıcaklık değerleri

Yönler	Uygulama	Çekme Yükü		Sıcaklık		Çekme Yükü + Sıcaklık	
		Çekme	Basma	Çekme	Basma	Çekme	Basma
x	Çekme Yükü (N)	500	500			500	100
	Sıcaklık (°C)			100	100	100	100
y	Çekme Yükü (N)	500	500			500	500
	Sıcaklık (°C)			100	100	100	100
z	Çekme Yükü (N)	500	500			500	500
	Sıcaklık (°C)			100	100	100	100
xy	Çekme Yükü (N)	500	500			500	500
	Sıcaklık (°C)			100	100	100	100
yz	Çekme Yükü (N)	500	500			500	500
	Sıcaklık (°C)			100	100	100	100
xz	Çekme Yükü (N)	500	500			60	400
	Sıcaklık (°C)			100	100	100	100

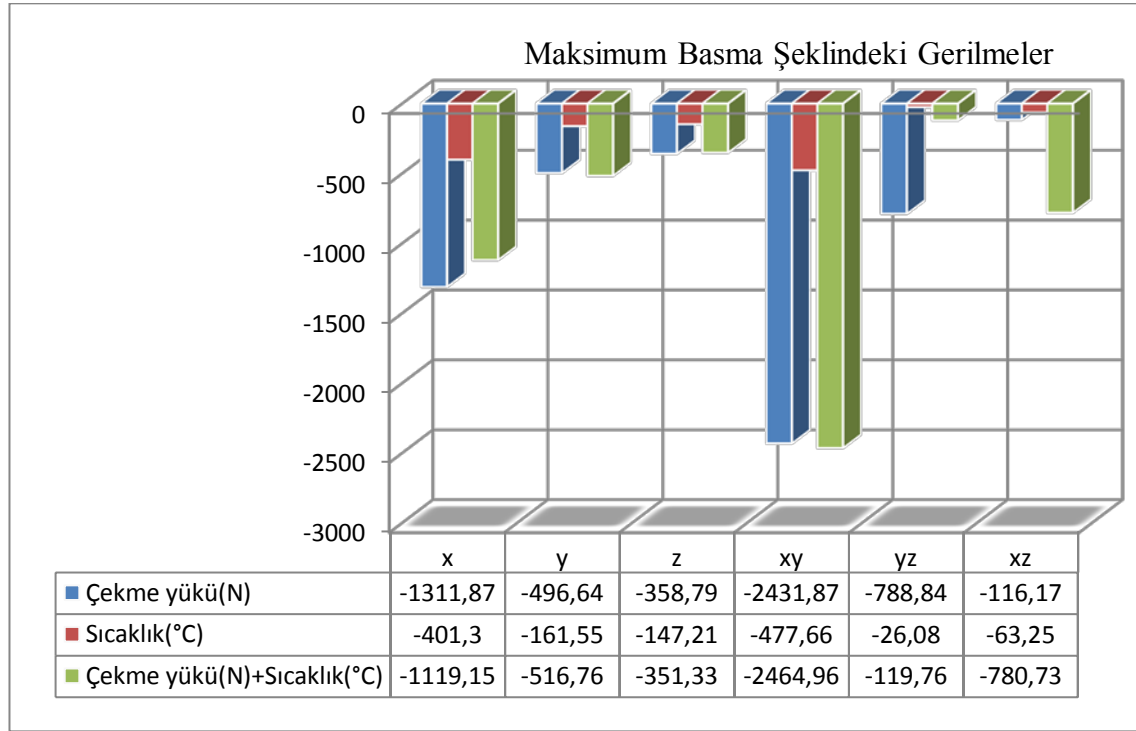
Ayrıca grafik şeklinde her üç durumdaki gerilmeler incelendiğinde;

1. Şekil 5.1.'de görüleceği üzere çekme şeklindeki maksimum gerilme x-yönünde çekme yükü ve uniform sıcaklık birlikte uygulandığında elde edilmiştir. Her üç durum karşılaştırıldığında ise tüm yönlerde en düşük gerilmelerin sadece sıcaklık etkisi altındaki kompozit model üzerinde gözlemlendiği ve en yüksek gerilmelerin üçüncü durumda olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.1. Farklı yönlerde bulunan maksimum çekme şeklindeki gerilmeler

2. Şekil 5.2.'de ise basma şeklindeki maksimum gerilmelerin yine x-yönünde ancak sadece sıcaklık etkisi altında olduğu gösterilmektedir. Ayrıca her üç durum karşılaştırıldığında ise çekme gerilmelerinin tersine yönler göre maksimum gerilmelerin değiştiği görülmektedir.



Şekil 5.2. Farklı yönlerde bulunan maksimum basma şeklindeki gerilmeler

Sonuç olarak; yapıştırılmış ve paralel çift pim uygulanmış karma bağlantılı metal matris kompozit plakaların ve kullanılan epoksi türü yapıştırıcının, farklı ısıl ve mekanik özellikleri sebebiyle, üç boyutlu karma bağlantı modeli üzerinde farklı şekillerde ve yüksek değerlerde gerilmeler oluşmuştur. Özellikle, bağlantıya uygulanan çekme yükünün x-yönünde etki etmesi ile çekme ve basma şeklindeki x-yönünde meydana gelen gerilmelerin daha yüksek değerlerde olmasına neden olmuştur. Ayrıca, malzemelerin birbirlerine göre oldukça farklı değerlerdeki ısıl genleşme katsayıları nedeniyle, uniform sıcaklık artışlarında daha büyük ısıl gerilmeler meydana gelmiştir. Çok önemli bir diğer sonuçta, gerilmelerin pim deliği çevresinde yoğunlaşması ve delik çevresinde meydana gelen bu gerilme yığılmalarının karma bağlantıda oluşabilecek muhtemel bir hasarın öncelikle paralel pim delikleri çevresinde oluşmasına sebep olabileceğidir.

KAYNAKLAR

- Aams, R. D. and Wake, W. C., 1984. Structural adhesive joint in engineering, Elsevier Science Publisher, London.
- Adin, H., 2007. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş ters z tipi kompozit malzeme bağlantılarının mekanik analizi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Anık, S., 1986. Yapıştırma ve nokta kaynağının kombinasyonu, Mühendis ve Makine, 27, 316, 24-30.
- ANSYS, Release 14.0 Documentation, Swanson Analysis System Inc., Houston, PA, USA.
- Apalak, M. K., Günes, R. and 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.
- Apalak, M. K., Aldas, K., ve Şen, F., 2003. Thermal non-linear stresses in an adhesively bonded and laser-spot welded single-lap joint during laser-metal interaction, Journal of Materials Processing Technology, 142, 1-19.
- Arıcasoy, O., 2006. İstanbul Ticaret Odası - Kompozit sektör raporu.
- ASTM D907-74, 1974. Definition of terms relating to adhesives.
- ASTM D1002, 1983. Standard test method for strength properties of adhesives in shear by tension loading (metal-to-metal).
- Babalık, F. C., 2009. Makine elemanları ve konstrüksiyon örnekleri, Dora Yayıncılık, İstanbul.
- Baker, A., 1997. Composites engineering handbook, In P.K. Mallick (Eds.), Joining and repair of aircraft composite structure, Marcel Dekker, New York.
- Benson, N. K., 1969. Influence of stress distribution on joint strength, Adhesion Fundamentals and Practice, UK Ministry Technology, McLaren, London.
- Campilho, R. D. S. G., de Moura, M. F. S. F., Ramantani D. A., Morais J. J. L., Dominues, J. J. M. S., 2009. Tensile behaviour of three dimensional carbonepoxy adhesively bonded single- and double-straprepairs International Journal of Adhesion & Adhesives, 29, 678-686.
- Can, A. Ç., 2006. Makine elemanları tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Ceylan, D., 2005. Civatalı ve yapıştırıcı kompozit bağlantılarda gerilme analizi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Chang, D. J. and Muki, R., 1974. Stress distribution in a lap joint under tensionshear, Int. J. Solids Structures, 10, 503-517.

Colombi, P. and Poggi, C., 2006. Strengthening of tensile steel members and bolted joints using adhesively bonded CFRP plates, *Construction and Building Materials*, 20, 22-33.

CTP Teknolojisi, Cam Elyaf Sanayi A.Ş., İstanbul, 1985.

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

Çitil, Ş., 2010. Kapakları parça içine gömülü çift takviyeli yapıştırma bağlantılarının mekanik özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Demarkless, L. R., 1955. Investigation of the use of a rubber analog in the study of stress distribution in riveted and cemented joints, Tech. Note 3413, Nat. Advisory Cttee Aeronoustics, Washington, D.C.

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.

Gediktaş, M., 1972. Yapıştırma bağlantıları, *Mühendis ve Makine*, 16, 178, 27-33.

Gediktaş, M., 1995. Makine elemanları bağlama elemanları, *Konstrüksiyon ve Hesap*, 4. Bölüm, Çağlayan Kitabevi, Beyoğlu, İstanbul.

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

Goland, M. and Reissner, E., 1944. The stresses in cemented joints, *Journal of Applied Mechanics*, 11, 59-45.

Guess, T. R., Allred, R. E. and Gerstle, F. P., 1977. Comparison of lap shear test specimens, *Journal of Testing and Evaluation*, 5, 84-95.

Hart-Smith, L. J., 1973. Adhesive-bonded single-lap joints, CR-112235, Nasa Langley Research Center.

He, X., Oyodiji, S. O., 2004. Influence of adhesive characteristics on the transverse free vibration of single lap-jointed cantilevered beams, *Journal of Materials Processing Technology*, 58, 3451-3456.

Jones, R. M., 1975. *Mechanics of composite materials*, McGraw-Hill Kogakusha Ltd., Tokyo.

Jones, R. M., 1999 *Mechanics of composite materials* (2th ed). Taylor & Francis Inc.

- Kaya, A., 1991. Investigation of stres distributions in adhesive-bonded lap joint, MS. Degree Thesis, Dokuz Eylul University, Institute of Science and Technology, İzmir.
- Kaya, A., Tekelioğlu, M. S., Fındık, F., 2004. Effects of various parameters on dynamic characteristics in adhesively bonded joints, *Materials Letters*, 58, 3451-3456.
- Kaya, M., 2005. Yapıştırma bağlantılarının mekanik özellikleri üzerine çevresel faktörlerin etkisi, *UTED Aylık Havacılık Dergisi*, Türkiye.
- Kayacan, R., 1988. Yapıştırma ve metal bağlantılar için yapıştırıcı kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kayrak, M. A., 1999. Havacılık kompozitleri ve mukavemet-maliyet analizleri, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir.
- Kelly, G., 2004. Load Transfer in hybrid (bonded/bolted) composite single-lap joints, *Composite Structures*, 69, 35-43.
- Kim, H. and Keith T. Kedward, 2001. Stress analysis of adhesive bonded joints under in-plane shear loading, *Journal of Adhesion*, Santa Barbara, ABD, 2, 19-27.
- Kinloch, A. J., 1987. Adhesion and adhesive science and technology. First Edition Chapman and Hall, London.
- Kinloch, A.J., 1997. Adhesives in Engineering, *Proc. Instn. Mech. Engrs.*,
- Kline, R.A., 1982. Stress analysis of adhesively bonded joints, *Proceedint of the International Symposium on Adhesive Joints*, H, Kansas City, 3, 587-610.
- Koruvatan, A., 2008. Farklı kür sıcaklığı ve sürelerinde üretilen tabakalı kompozit plakaların pimli/civatalı bağlantılarının hasar analizinin incelenmesi, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Loctite Worldwide Design Handbook, 1988.
- Loctite European Group, 1998. Worldwide design handbook, Düzeltilmiş 2. Baskı, Erasmusdruck GmbH Mainz, Germany.
- Loctite Global Tasarım Elkitabı, 2005. Erasmusdruck GmbH, Mainz, Germany.
- Madenci, E., Shkarayev, S., Sergeev, B., Opliger, D. W. and Shyprykevich, P., 1997. Analysis of composite laminates with multiple fasteners, *Solids Structures*, 2, 1793-1811.
- Mazumdar, S. K. and Mallick, P. K. 1998. Static and fatigue behaviour of adhesive joints in SMC-SMC composites, *Polymer Composites.*, 19, 139-146.
- Mazumdar, S. K., 2002. Composites manufacturing, materials, product, and process engineering, New York.

- Mercer, A. D., 1990. Corrosion in seawater systems. First Edition, Ellis Horwood Limited, Chichester, England.
- Nakano, Y, and Sawa, T., 1992. Two dimesional thermal stress analysis of butt adhesive joints, JSME International Journal, 35, 2, 112-115
- Ojalvo, I. U., Idinoff, H. L., 1978. Bond thickness upon stresses in single-lap adhesive joints, AIAA Journal, 16, 3, 204-211.
- Oplinger, D. W., 1994. Effects of adherent deflection on single lap joints, International of Solids and Structures, 31, 2565-2587.
- Özenç, M., 2007. Yapıştırma bağlantılarının darbe yükleri altındaki davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Palancıoğlu, H., Sen, F., Aldaş, K., 2008. Yapıştırma bağlantıları ve uygulama usulleri, MakineTek Dergisi, Bileşim Yayıncılık, İstanbul, 123, 38-42.
- Palancıoğlu H., 2011. Yapıştırılmış ve pim bağlantısı uygulanmış metal levhalardaki gerilme analizi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Pandey, P. C., Shankaragouda, H. And Singh, K. A., 1999. Nonlinear analysis of adhesively bonded lap joints considering viscoplasticity in adhesives, Computers and Structures, 70, 387-413.
- Pençe, E., 2007. Eğitim amaçlı ANSYS paket programının tanıtılması, ANSYS öğretimi ve uygulama örnekleri, Bitirme Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.
- Pfeiffer, P. and Shakal, M., 1998. Effect of bonded metal substrate area and its thickness on the strenght and durability of adhesively bonded joints, Journal of Adhesion Science and Technology, 12, 339-348.
- Renton, W.J. and Vinton J.R., 1977. Analysis of adhesively bonded joints between panels of composite materials. Journal of Applied Mechanics, 44, 101-106.
- Sawyer, J. W., and Cooper, P. A., 1981. Analytical and experimental results for bonded single lap, Joints With Performed Adherends, AIAA Journal, 19, 1443-1451.
- Sayman, O., 2003. Elastic-plastic and residual stresses in symmetric aluminum metal-matrix laminated plates under a linear thermal loading, Journal of Thermal Stresses, 26, 391- 406.
- Sazhin, A. M., 1964. Determining the stresses in bonded joints between metal plates, Russian Engineering Journal, 44, 11, 45-49.
- Shi, Y. P. and Cheng., 1993. Analysis of adhesive-bonded cylindirical lap joints subjected to the axial load j. engineering mechanics, 119, 3, 584-602.

- Shields, J., 1975. Adhesive bonding, the design council, The British Standards Institution and The Council of Engineering Institutions, Oxford University Press.
- Silva, L. F. M. and Adams, R. D., 2007. Adhesive joints at high and low temperatures using similar and dissimilar adherents and dual adhesives, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 27, 216-226.
- Solmaz, M. Y., 2008. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların mekanik analiz ve tasarımları, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Standen, A., 1963. Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology. John Wiley&Sons, Inc.
- Şahin, Y., 2000. Kompozit malzemelere giriş, Gazi Kitabevi, Ankara.
- 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 laser nokta kaynağı esnasında meydana gelen sıcaklık dağılımı ve ısıl gerilmelerin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Şen, F., 2007. Ph. D. Thesis, failure analysis of composite pin-loaded joints under preload moments, Dokuz Eylül University, Institute of Science, İzmir.
- Şen, F., Aldaş, K., Palancıoğlu, H., 2008-a. Thermal stress analysis of adhesively bonded single lap joints using FEM, *Electronic Journal of Machine Technologies*, 2, 31-40.
- Şen, F., Aldaş, K., Palancıoğlu, H., 2008-b. Çift örtü kullanılarak yapıştırılmış metal levhalarda ısıl gerilme analizi, *Fırat Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20, 649-659.
- Şen, F., Aldaş, K., 2010. Sıcaklık değişiminin yapıştırımlı ve pimli alüminyum plakalardaki gerilmeler üzerine etkisi, *TÜBAV Bilim Dergisi*, 3, 323-329.
- Şen, F., Aldaş, K., 2011. Effects of using different metal materials on stresses in metal-composite hybrid joints, *Çankaya University Journal of Science and Engineering*, 8, 1-13
- Şen, F., Aldaş, K., 2012. Karma bağlantılı kompozit plaklarda farklı sıcaklıklar etkisiyle oluşan gerilmelerin analizi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Dergisi*, 1, 21-30.
- Şen, F., Aldaş, K., 2012. Farklı uniform sıcaklıklar altındaki karma bağlantı yapılmış kompozit ve alüminyum plakalardaki gerilme analizi, *International Journal of Engineering Research and Development*, 4, 1, 16-20.

Şencan, C., 2011. Delaminasyona uğramış tabakalı kompozit plakalarda hasar analizi (ANSYS 10.0). Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir.

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

URL-1

http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/malzeme_bilgisi/kompozit%20malzemeler.pdf

URL-2

<http://www.blackbirdguitar.com/>

URL-3

<http://www.luisandclark.com/>

URL-4

<http://kisi.deu.edu.tr/cesim.atas/>

ATAŞ, C., 2013. deu.edu.tr- Kişisel sayfası, İzmir.

Volkersen, O., 1938. Die nietkraftverteilung in zugbeanspruchten nietverbindungen mit konstanten laschenquerschnitten, Luftfahrtforschung, 15, 41-47.

Wah, T., 1973. Stress distribution in a bonded anisotropic lap joint, Transactions of ASME, Series H, J. of Engineering Materials and Techonology, 95, 174-181.

Yang, C., Haung, H., Tomblinn, J. S. and Sun, W., 2003. Elastic-plastic model of adhesive bonded single-lap composite joints, Wichita State University, Kansas.

Yazıcı, T. Y., 2007. Tübüler yapıştırıcı bağlantılarda gerilme analizi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.

Yıldızhan, H., 2008. Polimer matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Zienkiewicz, O. C. and Taylor, R. L., 1991. The finite element method, McGraw-Hill, New York.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İrfan ALYANAK

Doğum Yılı : 1977

Eğitim Bilgileri:

**Lisans : -1998-2002 Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal
Öğretmenliği Bölümü
-2007-2011 Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi**

İletişim Bilgileri:

**Adres : Görele Çok Programlı Lisesi
28800 Görele / GİRESUN**

Telefon : 0 539 2468512

E-posta : irfan_alyanak68@hotmail.com