



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

**TEK BİNDİRMELİ YAPIŞTIRMA**  
**BAĞLANTILARININ ÜÇ BOYUTLU**  
**GERİLME ANALİZİ**

**Mehmet Emin DEMİR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ocak-2016**  
**BATMAN**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet Emin DEMİR tarafından hazırlanan "Tek Bindirmeli Yapıştırma Bağlantılarının Üç Boyutlu Gerilme Analizi " adlı tez çalışması 12.02.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan/Danışman

Prof.Dr.Şemsettin TEMİZ

### İmza

.....

#### Üye

Prof.Dr. Murat Demir AYDIN

.....

#### Üye

Doç.Dr. Hamit ADİN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. M. Tahir NALBANTÇILAR  
FBE Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Mehmet Emin DEMİR

Tarih: 12.02.2016

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## TEK BİNDİRMELİ YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARININ ÜÇ BOYUTLU GERİLME ANALİZİ

**Mehmet Emin DEMİR**

**Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Şemsettin TEMİZ**

**2016, 139 Sayfa**

**Jüri**

**Prof. Dr. Şemsettin TEMİZ**

**Prof. Dr. Murat Demir AYDIN**

**Doç. Dr. Hamit ADİN**

Günümüzde yapıştırıcıların kullanım alanı diğer bağlantı yöntemlerine göre gittikçe yaygınlaşmaktadır. Bunun temel sebebi yapıştırma bağlantılarının daha düşük maliyet, gerilme yığılma azlığı, kolay uygulanabilirliği ve daha düzgün yüzeyler elde etmek gibi birçok avantajları vardır. Yapılan bu çalışmada, çekme yüküne maruz bırakılmış tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarında farklı bindirme uzunlukları ve levha kalınlıklarının gerilme değerleri ve hasar yükleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada 4 farklı bindirme uzunluğu (12.5, 25, 50, 100 mm) ve levha kalınlığı (1.62, 3.2, 4.8, 6.4 mm) kullanılmıştır. Yapıştırıcı tabaka ve alt levha üzerindeki hatlar boyunca gerilme dağılımları sonlu elemanlar yöntemiyle ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca farklı alt ve üst levha kalınlıklarının gerilme dağılımları üzerindeki etkisi araştırıldı.

**Anahtar Kelimeler:** Bindirme Uzunluğu, Levha Kalınlığı, Tek Bindirme Bağlantısı, Yapıştırma

**ABSTRACT**

**MS THESIS**

**THREE DIMENSION STRESS ANALYSES OF SINGLE LAP JOINT**

**Mehmet Emin DEMİR**

**The Graduate School of Natural and Applied Science of  
Batman University the Degree of Master of Science in Mechanical Engineering**

**Advisor: Prof. Dr. Şemsettin TEMİZ**

**2016, 139 Pages**

**Jury**

**Prof. Dr. Şemsettin TEMİZ**

**Prof. Dr. Murat Demir AYDIN**

**Doç. Dr. Hamit ADİN**

Nowadays the adhesives are used more widely than any other connection method. The main reason for that is the lower cost, less stress concentration, easy application and many advantages such as smooth surfaces to achieve. In this study, effect of overlap length (12.5, 25, 50, 100 mm) and adherend thickness (1.62, 3.2, 4.8, 6.4 mm) over the stress values and failure loads on the single lap joints which subjected to tensile load has been examined. For this study 4 different overlap lengths and 4 different adherend thicknesses are used. Stress distribution on the adhesive layer and lower adherend lines has been find out by finite element method. Furthermore, effect of different the lower and the upper adherend thickness on the stress distribution are studied.

**Keywords:** Adhesion, Adherend Thickness, Overlap Length, Single lap joint

## ÖNSÖZ

Tüm Yüksek Lisans çalışmam boyunca bana yol gösteren, takıldığım konularda çözümlere ulaşmam için değerli bilgilerini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Şemsettin TEMİZ'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tüm eğitim hayatım boyunca bana çok değerli bilgiler kazandıran tüm hocalarıma ve desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Mehmet Emin DEMİR  
BATMAN-2016



## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ .....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xiii
<b>1.GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>4</b>
2.1 Literatür Çalışmaları .....	4
2.2. Yapışma .....	10
2.2.1. Birleştirme teknikleri .....	11
2.3. Yapıştırma Bağlantıları ve Yapışma Teorileri.....	13
2.3.1. Mekanik tutunma teorisi .....	14
2.3.2. Adsorpsiyon teorisi .....	14
2.3.3. Elektrostatik teorisi .....	15
2.3.4. Difüzyon teorisi .....	15
2.4. Yapıştırma İşlemi.....	16
2.4.1. Yapıştırma yüzeyinin hazırlanması .....	16
2.4.2. Ön hazırlık çalışmaları.....	17
2.5. Yapıştırma Bağlantılarının Maruz Kaldığı Kuvvetler .....	20
2.6. Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	23
2.6.1. Sonlu elemanlar metodunun avantajları .....	24
2.7. ANSYS™ Paket Programına Giriş.....	24
2.7.1. Preprocessing (Modelleme) .....	25
2.7.2. Solution (Çözümleme).....	27
2.7.3. Postprocessing (Sonuçları görüntüleme) .....	28
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM .....</b>	<b>29</b>
3.1. Yapıştırılan Malzeme.....	29
3.2. Yapıştırıcı Malzemesi .....	30
3.3. Numune hazırlama .....	31
3.4. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analiz .....	32
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....</b>	<b>33</b>
4.1. Deneysel Bulgular.....	33
4.1.1. Çekme yüküne maruz tek tesirli bindirme bağlantılarından elde edilen deneysel sonuçlar .....	33

4.2. Nümerik Bulgular .....	38
4.3. Tek Bindirmeli Yapıştırma Bağlantılarının Nümerik Hasar Analizi.....	40
4.4. Levha Kalınlıklarının Yapıştırıcı Malzemede Gerilme Dağılımlarına Etkisi.....	41
4.4.1. $l=12.5$ mm bindirme uzunluğu ve farklı malzeme kalınlığı için AB hattı....	41
4.4.2. $l=12.5$ mm bindirme uzunluğu ve farklı malzeme kalınlığı için BC hattı boyunca gerilme dağılımları .....	44
4.4.3. $l=25$ mm bindirme uzunluğu ve farklı malzeme kalınlığı için AB hattı boyunca gerilme dağılımları.....	47
4.4.4. $l=25$ mm bindirme uzunluğu ve farklı malzeme kalınlığı için BC hattı boyunca gerilme dağılımları .....	50
4.4.5. $l=50$ mm bindirme uzunluğu ve farklı malzeme kalınlığı için AB hattı boyunca gerilme dağılımları .....	54
4.4.6. $l=50$ mm bindirme uzunluğu ve farklı malzeme kalınlığı için BC hattı boyunca gerilme dağılımları .....	57
4.4.7. $l=100$ mm bindirme uzunluğu ve farklı malzeme kalınlığı için AB hattı boyunca gerilme dağılımları .....	60
4.4.8. $l=100$ mm bindirme uzunluğu ve farklı malzeme kalınlığı için BC hattı boyunca gerilme dağılımları .....	63
4.5. Farklı alt ve üst levha kalınlıklarının gerilme dağılımına etkisi .....	66
4.5.1. $l=25$ mm bindirme uzunluğu ve $h_1=1.6$ ve $h_2=1.6-3.2-4.8-6.4$ mm için AB hattı boyunca gerilme dağılımı .....	66
4.5.2. $l=25$ mm bindirme uzunluğu ve $h_1=1.6$ ve $h_2=1.6-3.2-4.8-6.4$ mm için BC hattı boyunca gerilme dağılımı .....	70
4.5.3. $l=25$ mm bindirme uzunluğu ve $h_1=3.2$ ve $h_2=1.6-3.2-4.8-6.4$ mm için AB hattı boyunca gerilme dağılımı .....	72
4.5.4. $l=25$ mm bindirme uzunluğu ve $h_1=3.2$ ve $h_2=1.6-3.2-4.8-6.4$ mm için BC hattı boyunca gerilme dağılımı .....	75
4.5.5. $l=25$ mm bindirme uzunluğu ve $h_1=6.4$ ve $h_2=1.6-3.2-4.8-6.4$ mm için AB hattı boyunca gerilme dağılımı .....	79
4.5.6. $l=25$ mm bindirme uzunluğu ve $h_1=6.4$ mm ve $h_2=1.6-3.2-4.8-6.4$ mm için BC hattı boyunca gerilme dağılımı .....	82
4.6. Farklı bindirme uzunluklarının gerilme dağılımlarına etkisi .....	85
4.6.1. $l=12.5, 25, 50, 100$ mm ve $h_1=h_2=1.6$ mm AB hattı boyunca gerilme dağılımları.....	85
4.6.2. $l=12.5, 25, 50, 100$ mm ve $h_1=h_2=1.6$ mm BC hattı boyunca gerilme dağılımları.....	88
4.7. Farklı levha kalınlıklarının alt levhada gerilme dağılımlarına etkisi .....	91
4.7.1. $l=25$ mm bindirme uzunluğu ve farklı levha kalınlığı için alt levhada AB hattı boyunca gerilme dağılımları .....	91
4.7.2. $l=25$ mm bindirme uzunluğu ve farklı malzeme kalınlığı için alt levhada BC hattı boyunca gerilme dağılımları .....	94
4.8. Farklı bindirme uzunluklarının alt levhada gerilme dağılımlarına etkisi.....	97
4.8.1. $l=12.5, 25, 50, 100$ mm ve $h_1=h_2=1.6$ mm alt levhada AB hattı boyunca gerilme dağılımları.....	97
4.8.2. $l=12.5, 25, 50, 100$ mm ve $h_1=h_2=1.6$ mm alt levhada BC hattı boyunca gerilme dağılımları.....	100
4.9. En düşük ve en yüksek alt ve üst levha kalınlıklarının gerilme dağılımlarına etkisi.....	103
4.9.1. $l=25$ mm, $h_1=1.6$ , $h_2=6.4$ mm ve $l=25$ mm, $h_1=6.4$ , $h_2=1.6$ mm AB hattı boyunca gerilme dağılımları .....	103



4.9.2. $l=25$ mm, $h_1=1.6$ , $h_2=6.4$ mm ve $l=25$ mm, $h_1=6.4$ , $h_2=1.6$ mm BC hattı boyunca gerilme dağılımları .....	106
<b>5. SONUÇLAR.....</b>	<b>109</b>
5.1. Deneysel Sonuçlar .....	109
5.2. Nümerik Sonuçlar .....	109
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>111</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>115</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$\sigma_x$	:X eksenindeki gerilmeler
$\sigma_y$	:Y eksenindeki gerilmeler
$\sigma_z$	:Z eksenindeki gerilmeler
$\tau_{xy}$	:XY düzlemindeki kayma gerilmeleri
$\tau_{xz}$	:XZ düzlemindeki kayma gerilmeleri
$\sigma_{eqv}$	:Eş değer gerilmeler

### Kısaltmalar

DHY	:Deneysel hasar yükü
NHY	:Nümerik hasar yükü
KH	:Kohosiv hasar
ÖKH	:Özel kohosiv hasar

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge 3.1.</b> AA 2024-T3'ün kimyasal bileşimi (% ağırlık).....	30
<b>Çizelge 3.2.</b> AA 2024-T3'ün fiziksel ve mekanik özellikleri .....	30
<b>Çizelge 3.3.</b> Tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında kullanılan geometrik parametreler .....	32
<b>Çizelge 4.1.</b> 1.62 mm kalınlık ve 25 mm bindirme uzunluğundaki numunelerden elde edilen maksimum hasar yükü, ortalama kayma gerilmesi değerleri ve hasar yüzeyleri (FM 73).....	33
<b>Çizelge 4.2.</b> 1.62 mm kalınlık ve 50 mm bindirme uzunluğundaki numunelerden elde edilen maksimum hasar yükü, ortalama kayma gerilmesi değerleri ve hasar yüzeyleri (FM 73).....	34
<b>Çizelge 4.3.</b> 1.62 mm kalınlık ve 100 mm bindirme uzunluğundaki numunelerden elde edilen maksimum hasar yükü, ortalama kayma gerilmesi değerleri ve hasar yüzeyleri (FM 73) .....	34
<b>Çizelge 4.4.</b> 3.2 mm kalınlık ve 12.5 mm bindirme uzunluğundaki numunelerden elde edilen maksimum hasar yükü, ortalama kayma gerilmesi değerleri ve hasar yüzeyleri (FM 73).....	35
<b>Çizelge 4.5.</b> 3.2 mm kalınlık ve 25 mm bindirme uzunluğundaki numunelerden elde edilen maksimum hasar yükü, ortalama kayma gerilmesi değerleri ve hasar yüzeyleri (FM 73).....	35
<b>Çizelge 4.6.</b> 3.2 mm kalınlık ve 50 mm bindirme uzunluğundaki numunelerden elde edilen maksimum hasar yükü, ortalama kayma gerilmesi değerleri ve hasar yüzeyleri (FM 73).....	36
<b>Çizelge 4.7.</b> 3.2 mm kalınlık ve 100 mm bindirme uzunluğundaki numunelerden elde edilen maksimum hasar yükü, ortalama kayma gerilmesi değerleri ve hasar yüzeyleri (FM 73).....	36
<b>Çizelge 4.8.</b> 4.8 mm kalınlık ve 12.5 mm bindirme uzunluğundaki numunelerden elde edilen maksimum hasar yükü, ortalama kayma gerilmesi değerleri ve hasar yüzeyleri (FM 73).....	37
<b>Çizelge 4.9.</b> 4.8 mm kalınlık ve 25 mm bindirme uzunluğundaki numunelerden elde edilen maksimum hasar yükü, ortalama kayma gerilmesi değerleri ve hasar yüzeyleri (FM 73).....	37
<b>Çizelge 4.10.</b> 4.8 mm kalınlık ve 50 mm bindirme uzunluğundaki numunelerden elde edilen maksimum hasar yükü, ortalama kayma gerilmesi değerleri ve hasar yüzeyleri (FM 73).....	38

<b>Çizelge 4.11.</b> 4.8 mm kalınlık ve 100 mm bindirme uzunluğundaki numunelerden elde edilen maksimum hasar yükü, ortalama kayma gerilmesi değerleri ve hasar yüzeyleri (FM 73).....	38
<b>Çizelge 4.12.</b> Levha kalınlıklarının hasar yüküne etkisi .....	40
<b>Çizelge 4.13.</b> Farklı alt ve üst levha kalınlıklarının hasar yüküne etkisi.....	40



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Yapıştırma bağlantısında "adhezyon" ve "kohezyon" .....	3
Şekil 2.1. Çekme yüküne maruz tek tesirli bindirme bağlantısına ait sonlu eleman modeli .....	7
Şekil 2.2. Tek tesirli bindirme bağlantısı .....	8
Şekil 2.3. İki farklı malzemenin galvanik korozyonu oluşturması.....	11
Şekil 2.4. Kaynak, perçin ve yapıştırıcılarla birleştirmede oluşan gerilme dağılımları	13
Şekil 2.5. Uygun bağlantı türleri . .....	19
Şekil 2.6. Kaburga ve petek takviyeler .....	19
Şekil 2.7. Yapıştırılan parçaların sıkıştırılması. ....	20
Şekil 2.8. Gerilme tipleri; (a) Kesme, (b) Çekme (c) Soyulma (d) Çekme-makaslama.	21
Şekil 2.9. Bazı yaygın yapıştırma bağlantı tipleri .....	22
Şekil 3.1. ASTM370 standartına göre AA2024-T3 çekme numunesi.....	29
Şekil 3.2. AA2024 parça ve FM73 yapıştırıcı malzemesinin gerilme şekil değiştirme diyagramları; a) AA2024, b) FM73 .....	31
Şekil 3.3. Tek bindirmeli yapıştırma bağlantısının yandan görünüşü .....	31
Şekil 4.1. Bindirme uzunluğu 25 mm ve levha kalınlığı 3.2 mm olan yapıştırma bağlantısının meshlenmiş hali.....	39
Şekil 4.2. Tek bindirmeli yapıştırma bağlantısı üç boyutlu görünüşü.....	39
Şekil 4.3. Nümerik analizde yapıştırıcı tabakada incelenen AB ve BC gerilme hatları .	39
Şekil 4.4. $l=12.5$ , $h_1=h_2=1.6$ , $h_1=h_2=3.2$ , $h_1=h_2=4.8$ ve $h_1=h_2=6.4$ mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca $\sigma_x$ gerilme dağılımları.....	41
Şekil 4.5. $l=12.5$ , $h_1=h_2=1.6$ , $h_1=h_2=3.2$ , $h_1=h_2=4.8$ ve $h_1=h_2=6.4$ mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca $\sigma_y$ gerilme dağılımları.....	41
Şekil 4.6. $l=12.5$ , $h_1=h_2=1.6$ , $h_1=h_2=3.2$ , $h_1=h_2=4.8$ ve $h_1=h_2=6.4$ mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca $\sigma_z$ gerilme dağılımları.....	42

<b>Şekil 4.7.</b> $l=12.5$ , $h_1=h_2=1.6$ , $h_1=h_2=3.2$ , $h_1=h_2=4.8$ ve $h_1=h_2=6.4$ mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca $\tau_{xy}$ gerilme dağılımları.....	43
<b>Şekil 4.8.</b> $l=12.5$ , $h_1=h_2=1.6$ , $h_1=h_2=3.2$ , $h_1=h_2=4.8$ ve $h_1=h_2=6.4$ mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca $\tau_{xz}$ gerilme dağılımları.....	43
<b>Şekil 4.9.</b> $l=12.5$ , $h_1=h_2=1.6$ , $h_1=h_2=3.2$ , $h_1=h_2=4.8$ ve $h_1=h_2=6.4$ mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca $\sigma_{eqv}$ gerilme dağılımları.....	44
<b>Şekil 4.10.</b> $l=12.5$ , $h_1=h_2=1.6$ , $h_1=h_2=3.2$ , $h_1=h_2=4.8$ ve $h_1=h_2=6.4$ mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca $\sigma_x$ gerilme dağılımları.....	44
<b>Şekil 4.11.</b> $l=12.5$ , $h_1=h_2=1.6$ , $h_1=h_2=3.2$ , $h_1=h_2=4.8$ ve $h_1=h_2=6.4$ mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca $\sigma_y$ gerilme dağılımları.....	45
<b>Şekil 4.12.</b> $l=12.5$ , $h_1=h_2=1.6$ , $h_1=h_2=3.2$ , $h_1=h_2=4.8$ ve $h_1=h_2=6.4$ mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca $\sigma_z$ gerilme dağılımları.....	45
<b>Şekil 4.13.</b> $l=12.5$ , $h_1=h_2=1.6$ , $h_1=h_2=3.2$ , $h_1=h_2=4.8$ ve $h_1=h_2=6.4$ mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca $\tau_{xy}$ gerilme dağılımları.....	46
<b>Şekil 4.14.</b> $l=12.5$ , $h_1=h_2=1.6$ , $h_1=h_2=3.2$ , $h_1=h_2=4.8$ ve $h_1=h_2=6.4$ mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca $\tau_{xz}$ gerilme dağılımları.....	46
<b>Şekil 4.15.</b> $l=12.5$ , $h_1=h_2=1.6$ , $h_1=h_2=3.2$ , $h_1=h_2=4.8$ ve $h_1=h_2=6.4$ mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca $\sigma_{eqv}$ gerilme dağılımları.....	47
<b>Şekil 4.16.</b> $l=25$ , $h_1=h_2=1.6$ , $h_1=h_2=3.2$ , $h_1=h_2=4.8$ ve $h_1=h_2=6.4$ mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca $\sigma_x$ gerilme dağılımları.....	47
<b>Şekil 4.17.</b> $l=25$ , $h_1=h_2=1.6$ , $h_1=h_2=3.2$ , $h_1=h_2=4.8$ ve $h_1=h_2=6.4$ mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca $\sigma_y$ gerilme dağılımları.....	48
<b>Şekil 4.18.</b> $l=25$ , $h_1=h_2=1.6$ , $h_1=h_2=3.2$ , $h_1=h_2=4.8$ ve $h_1=h_2=6.4$ mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca $\sigma_z$ gerilme dağılımları.....	48

<b>Şekil 4.19.</b> $l=25$ , $h_1=h_2=1.6$ , $h_1=h_2=3.2$ , $h_1=h_2=4.8$ ve $h_1=h_2=6.4$ mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca $\tau_{xy}$ gerilme dağılımları.....	49
<b>Şekil 4.20.</b> $l=25$ , $h_1=h_2=1.6$ , $h_1=h_2=3.2$ , $h_1=h_2=4.8$ ve $h_1=h_2=6.4$ mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca $\tau_{xz}$ gerilme dağılımları.....	49
<b>Şekil 4.21.</b> $l=25$ , $h_1=h_2=1.6$ , $h_1=h_2=3.2$ , $h_1=h_2=4.8$ ve $h_1=h_2=6.4$ mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca $\sigma_{eqv}$ gerilme dağılımları.....	49
<b>Şekil 4.22.</b> $l=25$ , $h_1=h_2=1.6$ , $h_1=h_2=3.2$ , $h_1=h_2=4.8$ ve $h_1=h_2=6.4$ mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca $\sigma_x$ gerilme dağılımları.....	50
<b>Şekil 4.23.</b> $l=25$ , $h_1=h_2=1.6$ , $h_1=h_2=3.2$ , $h_1=h_2=4.8$ ve $h_1=h_2=6.4$ mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca $\sigma_y$ gerilme dağılımları.....	51
<b>Şekil 4.24.</b> $l=25$ , $h_1=h_2=1.6$ , $h_1=h_2=3.2$ , $h_1=h_2=4.8$ ve $h_1=h_2=6.4$ mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca $\sigma_z$ gerilme dağılımları.....	51
<b>Şekil 4.25.</b> $l=25$ , $h_1=h_2=1.6$ , $h_1=h_2=3.2$ , $h_1=h_2=4.8$ ve $h_1=h_2=6.4$ mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca $\tau_{xy}$ gerilme dağılımları.....	52
<b>Şekil 4.26.</b> $l=25$ , $h_1=h_2=1.6$ , $h_1=h_2=3.2$ , $h_1=h_2=4.8$ ve $h_1=h_2=6.4$ mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca $\tau_{xz}$ gerilme dağılımları.....	52
<b>Şekil 4.27.</b> $l=25$ , $h_1=h_2=1.6$ , $h_1=h_2=3.2$ , $h_1=h_2=4.8$ ve $h_1=h_2=6.4$ mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca $\sigma_{eqv}$ gerilme dağılımları.....	53
<b>Şekil 4.28.</b> $l=50$ , $h_1=h_2=1.6$ , $h_1=h_2=3.2$ , $h_1=h_2=4.8$ ve $h_1=h_2=6.4$ mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca $\sigma_x$ gerilme dağılımları.....	54
<b>Şekil 4.29.</b> $l=50$ , $h_1=h_2=1.6$ , $h_1=h_2=3.2$ , $h_1=h_2=4.8$ ve $h_1=h_2=6.4$ mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca $\sigma_y$ gerilme dağılımları.....	54
<b>Şekil 4.30.</b> $l=50$ , $h_1=h_2=1.6$ , $h_1=h_2=3.2$ , $h_1=h_2=4.8$ ve $h_1=h_2=6.4$ mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca $\sigma_z$ gerilme dağılımları.....	55

- Şekil 4.31.**  $l=50$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları..... 55
- Şekil 4.32.**  $l=50$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları..... 56
- Şekil 4.33.**  $l=50$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları..... 56
- Şekil 4.34.**  $l=50$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları ..... 57
- Şekil 4.35.**  $l=50$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları ..... 57
- Şekil 4.36.**  $l=50$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları ..... 58
- Şekil 4.37.**  $l=50$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları..... 58
- Şekil 4.38.**  $l=50$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları..... 59
- Şekil 4.39.**  $l=50$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları..... 59
- Şekil 4.40.**  $l=100$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları..... 60
- Şekil 4.41.**  $l=100$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları..... 60
- Şekil 4.42.**  $l=100$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları..... 61



- Şekil 4.43.**  $l=100$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları..... 61
- Şekil 4.44.**  $l=100$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları..... 62
- Şekil 4.45.**  $l=100$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları..... 62
- Şekil 4.46.**  $l=100$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları..... 63
- Şekil 4.47.**  $l=100$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları..... 63
- Şekil 4.48.**  $l=100$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları..... 64
- Şekil 4.49.**  $l=100$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları..... 64
- Şekil 4.50.**  $l=100$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları..... 65
- Şekil 4.51.**  $l=100$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları..... 65
- Şekil 4.52.**  $l=25$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=1.6$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları..... 66
- Şekil 4.53.**  $l=25$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=1.6$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları..... 66
- Şekil 4.54.**  $l=25$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=1.6$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları..... 67

- Şekil 4.55.**  $l=25$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=1.6$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları..... 68
- Şekil 4.56.**  $l=25$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=1.6$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları..... 68
- Şekil 4.57.**  $l=25$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=1.6$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları..... 69
- Şekil 4.58.**  $l=25$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=1.6$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları..... 70
- Şekil 4.59.**  $l=25$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=1.6$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları..... 70
- Şekil 4.60.**  $l=25$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=1.6$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları..... 70
- Şekil 4.61.**  $l=25$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=1.6$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları..... 71
- Şekil 4.62.**  $l=25$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=1.6$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları..... 71
- Şekil 4.63.**  $l=25$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=1.6$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları..... 72
- Şekil 4.64.**  $l=25$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=3.2$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları..... 72
- Şekil 4.65.**  $l=25$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=3.2$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları..... 73
- Şekil 4.66.**  $l=25$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=3.2$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları..... 73

- Şekil 4.67.**  $l=25$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=3.2$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları..... 74
- Şekil 4.68.**  $l=25$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=3.2$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları..... 74
- Şekil 4.69.**  $l=25$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=3.2$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları..... 75
- Şekil 4.70.**  $l=25$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=3.2$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları..... 75
- Şekil 4.71.**  $l=25$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=3.2$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları..... 76
- Şekil 4.72.**  $l=25$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=3.2$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları..... 76
- Şekil 4.73.**  $l=25$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=3.2$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları..... 77
- Şekil 4.74.**  $l=25$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=3.2$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları..... 77
- Şekil 4.75.**  $l=25$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=3.2$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları..... 78
- Şekil 4.77.**  $l=25$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=6.4$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları..... 79
- Şekil 4.78.**  $l=25$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=6.4$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları..... 80
- Şekil 4.79.**  $l=25$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=6.4$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları..... 80

- Şekil 4.80.**  $l=25$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=6.4$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları..... 81
- Şekil 4.81.**  $l=25$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=6.4$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları..... 81
- Şekil 4.82.**  $l=25$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=6.4$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları..... 82
- Şekil 4.83.**  $l=25$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=6.4$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları..... 82
- Şekil 4.84.**  $l=25$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=6.4$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları..... 83
- Şekil 4.85.**  $l=25$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=6.4$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları..... 83
- Şekil 4.86.**  $l=25$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=6.4$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları..... 84
- Şekil 4.87.**  $l=25$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=6.4$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları..... 84
- Şekil 4.88.**  $l=12.5$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=25$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=50$   $h_1=h_2=1.6$  ve  $l=100$   $h_1=h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları..... 85
- Şekil 4.89.**  $l=12.5$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=25$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=50$   $h_1=h_2=1.6$  ve  $l=100$   $h_1=h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları..... 85
- Şekil 4.90.**  $l=12.5$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=25$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=50$   $h_1=h_2=1.6$  ve  $l=100$   $h_1=h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları..... 86
- Şekil 4.91.**  $l=12.5$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=25$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=50$   $h_1=h_2=1.6$  ve  $l=100$   $h_1=h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları..... 86

- Şekil 4.92.**  $l=12,5$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=25$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=50$   $h_1=h_2=1.6$  ve  $l=100$   $h_1=h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları..... 87
- Şekil 4.93.**  $l=12,5$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=25$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=50$   $h_1=h_2=1.6$  ve  $l=100$   $h_1=h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları..... 87
- Şekil 4.94.**  $l=12,5$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=25$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=50$   $h_1=h_2=1.6$  ve  $l=100$   $h_1=h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları..... 88
- Şekil 4.95.**  $l=12,5$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=25$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=50$   $h_1=h_2=1.6$  ve  $l=100$   $h_1=h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları..... 88
- Şekil 4.96.**  $l=12,5$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=25$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=50$   $h_1=h_2=1.6$  ve  $l=100$   $h_1=h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları..... 89
- Şekil 4.97.**  $l=12,5$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=25$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=50$   $h_1=h_2=1.6$  ve  $l=100$   $h_1=h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları..... 89
- Şekil 4.98.**  $l=12,5$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=25$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=50$   $h_1=h_2=1.6$  ve  $l=100$   $h_1=h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları..... 90
- Şekil 4.99.**  $l=12,5$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=25$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=50$   $h_1=h_2=1.6$  ve  $l=100$   $h_1=h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları..... 90
- Şekil 4.100.**  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları..... 91
- Şekil 4.101.**  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları..... 91
- Şekil 4.102.**  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları..... 92
- Şekil 4.103.**  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları..... 92

- Şekil 4.104.**  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları..... 93
- Şekil 4.105.**  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları..... 93
- Şekil 4.106.**  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları..... 94
- Şekil 4.107.**  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları..... 94
- Şekil 4.108.**  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları..... 95
- Şekil 4.109.**  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları..... 95
- Şekil 4.110.**  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları..... 96
- Şekil 4.111.**  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları..... 96
- Şekil 4.112.**  $l=12.5-25-50-100$  ve  $h_1,h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları..... 97
- Şekil 4.113.**  $l=12.5-25-50-100$  ve  $h_1,h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları..... 97
- Şekil 4.114.**  $l=12.5-25-50-100$  ve  $h_1,h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları..... 98
- Şekil 4.115.**  $l=12.5-25-50-100$  ve  $h_1,h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları..... 99
- Şekil 4.116.**  $l=12.5-25-50-100$  ve  $h_1,h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları..... 99
- Şekil 4.117.**  $l=12.5-25-50-100$  ve  $h_1,h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları..... 99

- Şekil 4.118.**  $l=12.5-25-50-100$  ve  $h_1, h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları ..... 100
- Şekil 4.119.**  $l=12.5-25-50-100$  ve  $h_1, h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları ..... 101
- Şekil 4.120.**  $l=12.5-25-50-100$  ve  $h_1, h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları ..... 101
- Şekil 4.121.**  $l=12.5-25-50-100$  ve  $h_1, h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları ..... 102
- Şekil 4.122.**  $l=12.5-25-50-100$  ve  $h_1, h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları ..... 102
- Şekil 4.123.**  $l=12.5-25-50-100$  ve  $h_1, h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları..... 102
- Şekil 4.124.**  $l=25$  mm,  $h_1=1.6$ ,  $h_2=6.4$  mm ve  $l=25$  mm,  $h_1=6.4$ ,  $h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcıda AB hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları..... 103
- Şekil 4.125.**  $l=25$  mm,  $h_1=1.6$ ,  $h_2=6.4$  mm ve  $l=25$  mm,  $h_1=6.4$ ,  $h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcıda AB hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları..... 104
- Şekil 4.126.**  $l=25$  mm,  $h_1=1.6$ ,  $h_2=6.4$  mm ve  $l=25$  mm,  $h_1=6.4$ ,  $h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcıda AB hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları..... 104
- Şekil 4.127.**  $l=25$  mm,  $h_1=1.6$ ,  $h_2=6.4$  mm ve  $l=25$  mm,  $h_1=6.4$ ,  $h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcıda AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları..... 105
- Şekil 4.128.**  $l=25$  mm,  $h_1=1.6$ ,  $h_2=6.4$  mm ve  $l=25$  mm,  $h_1=6.4$ ,  $h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcıda AB hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları..... 105
- Şekil 4.129.**  $l=25$  mm,  $h_1=1.6$ ,  $h_2=6.4$  mm ve  $l=25$  mm,  $h_1=6.4$ ,  $h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcıda AB hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları..... 105
- Şekil 4.130.**  $l=25$  mm,  $h_1=1.6$ ,  $h_2=6.4$  mm ve  $l=25$  mm,  $h_1=6.4$ ,  $h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcıda BC hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları..... 106
- Şekil 4.131.**  $l=25$  mm,  $h_1=1.6$ ,  $h_2=6.4$  mm ve  $l=25$  mm,  $h_1=6.4$ ,  $h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcıda BC hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları..... 106

**Şekil 4.132.**  $l=25$  mm,  $h_1=1.6$ ,  $h_2=6.4$  mm ve  $l=25$  mm,  $h_1=6.4$ ,  $h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcıda BC hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları..... 107

**Şekil 4.133.**  $l=25$  mm,  $h_1=1.6$ ,  $h_2=6.4$  mm ve  $l=25$  mm,  $h_1=6.4$ ,  $h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcıda BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları..... 107

**Şekil 4.134.**  $l=25$  mm,  $h_1=1.6$ ,  $h_2=6.4$  mm ve  $l=25$  mm,  $h_1=6.4$ ,  $h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcıda BC hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları..... 108

**Şekil 4.135.**  $l=25$  mm,  $h_1=1.6$ ,  $h_2=6.4$  mm ve  $l=25$  mm,  $h_1=6.4$ ,  $h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcıda BC hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları..... 108





## 1.GİRİŞ

Yük taşıyan yapılarda yapıştırıcıyla birleştirmenin kullanımı; zaman ve maliyetin azaltılması, yüksek korozyon ve yorulma direnci, çatlak geciktirmesi ve iyi sönüm karakteristikleri gibi özelliklerinden dolayı, ahşap ve plastik endüstrileri kadar, hava/uzay ve otomotiv endüstrilerinde de büyük ilgi çekmiştir. Emniyetli ve dayanıklı bağlantı tasarımları için gerilme analizleri gereklidir. Sonlu eleman metodu gibi sayısal metotlar yoluyla gerilme analizleri daha kolay yapılabilmekte ve bilgisayar destekli tasarım sistemleri ile birleştirilebilmektedir. Teorik ve deneysel gerilme ve deformasyon analizleri kritik bağlantı bölgelerinin tespitinde tasarımcıya kıymetli bilgiler verir (Engin 2003).

1900'den beri bitkisel yapıştırıcılar, kâğıt gibi gözenekli malzemelerin birleştirilmesinde kullanılmasına rağmen, elli yıl öncesine kadar hayvansal esaslı olanlar, büyük öneme sahiptiler. Kasein yapıştırıcılar, I. Dünya Savaşı'nda ahşap uçak kontrüksiyonları için kullanılmış, ancak bu tip yapıştırıcıların neme karşı düşük mukavemet ve dirence sahip oldukları görülmüştür. Endüstride yapıştırıcıların kullanımında hızlı artış, doğal ürünlerde sınırlama tanımayan ve metalleri diğer metal olmayan gözeneksiz malzemelere bağlayabilen sentetik reçinelerin gelişmesinden kaynaklanmaktadır. En önemli ilk sentetik reçine, kerestelerin birleştirilmesinde kullanılan fenol formaldehittir. 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. Aynı zamanda titreşimi sönümleyen ve esneklik özelliklerinde iyileşmeler sağlanarak, her geçen gün daha iyi yapıştırıcılar ve yapışma bağlantıları elde edilmiştir (Tezcan Ş., 2001).

Yapıştırma bağlantıları maliyetlerinin düşük olması, kaynak, perçin ve diğer bağlantı şekillerinde olduğu gibi ergime sonucu kristal yapıda değişikliğe sebep olmaması, gerilme yığılmaları oluşturmaması, ergime sıcaklıkları altında birleşme işleminin gerçekleşmesi 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 gerektirmesidir. 200°C üzerindeki dayanım değerlerinde azalmalar göstermesi bu bağlantının seçilmesini olumsuz yönde etkilemektedir. Yine bazı tür yapıştırıcıların birleşmeden önce hazırlanması, özel çevre

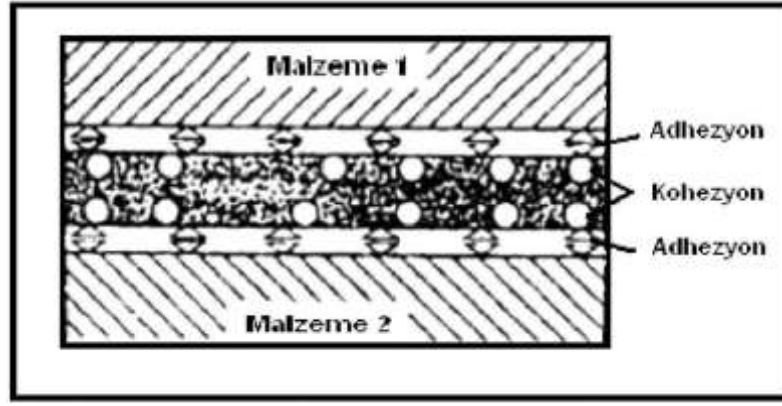
şartlarını sağlanması ve yapıştırma ekipmanları gerektirmesi ürünün maliyetine olumsuz etkiler yapmaktadır (Gediktaş, M., 1995).

Yapıştırıcılar birkaç farklı şekilde sınıflandırılabilir. Tek bileşenli sıvı yapıştırıcılar, iki bileşenli sıvı yapıştırıcılar ve film yapıştırıcılar, fiziksel hallerine göre sınıflandırmayı; metal-metal yapıştırıcılar, kağıt yapıştırıcılar ve ahşap yapıştırıcılar esas malzemeye göre sınıflandırmayı göstermektedir. Epoksi yapıştırıcılar, siyanoakrilat yapıştırıcılar ve polikloropen yapıştırıcılar da kimyasal formlarına göre sınıflandırmaya birkaç örnektir. Yapıştırma şartlarına göre sınıflandırmaya ise çözücü ile katılan yapıştırıcılar, soğuk katılan yapıştırıcılar ve erimiş durumda uygulanan ve soğuyup sertleştiğinde yapışma sağlayan (hot-melt) yapıştırıcılar örnek gösterilebilir (Kinloch, 1987).

Birleştirme işlemine başlarken, yapıştırıcının birleştirilecek yüzeylerle iyi bir temasın sağlanması için sıvı formda olması gerekir. İyi bir temasın sağlanması ıslatma ya da yayılma olarak tanımlanır ve güçlü bir yapıştırma bağlantısının sağlanmasında çok önemli bir faktördür. Yapıştırıcı, yapıştırılan yüzeyi iyice ıslattıktan sonra katı hale geçer. Yapıştırıcının sıvı halden katı hale dönüşümü, çözücünün uzaklaşması, yapıştırıcının soğuması ya da kimyasal reaksiyonlarla sağlanır (Bowditch *et al.* 1986).

Yapıştırma bağlantıları son derece yaygın bir kullanım alanı (havacılık ve uzay sanayi, otomotiv ve inşaat sektörleri, elektrik elektronik, deniz taşıtları, biyomedikal alan, spor ekipmanları vb.) sunmasına karşın, yapısal yapıştırıcının mekanik özelliklerinin belirlenmesi, güvenilirliği ve tekrarlanabilirliğinde yaşanan zorluklar, bu teknolojinin benimsenmesinde güçlüklerle karşılaşılmasına sebep olmaktadır. Bu durum, araştırmacıların dizayn amaçlarına uygun mekanik özelliklerin tespiti üzerine yoğunlaşmalarına sebep olmuştur (Aydın vd 2003).

Bağlantının mukavemeti iki ana olaya bağlıdır. Birincisi, yapıştırıcı maddenin molekülleriyle birbirine bağlanan parçaların yüzeyleri arasında meydana gelen ve fiziksel ve kimyasal bir nitelik taşıyan "adhezyon" olayıdır. İkincisi ise yapıştırıcının iç mukavemetini tayin eden yapıştırıcı moleküllerinin kendi aralarındaki bağ kuvveti anlamına gelen "kohezyon" olayıdır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Yapıştırma bağlantısında "adhezyon" ve "kohezyon" (Rende 2000).

İki levhanın kısmi bir bölgede üst üste yapıştırıcıyla bağlanmasıyla oluşan tek bindirme bağlantıları, basit geometrileri ve testlerinin kolaylığı nedeniyle birçok bilim adamı ve araştırmacının ilgisini çekmiştir. Dolayısıyla bu alanda yapılan teorik ve deneysel çalışmalar çok fazladır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1 Literatür Çalışmaları

Yapıştırma bağlantılarının kullanımı her geçen gün artmaktadır. Ayrıca yapıştırıcılarla ilgili araştırmalar devam etmektedir ve her alanda avantajlarından faydalanılmak istenmektedir.

Karachalios ve arkadaşları (2013) düşük mukavemetli çeliklerin (orta karbonlu ve düşük karbonlu çelikler) bindirme uzunluğu ve malzeme kalınlığı gibi geometrik parametreleri ile yapıştırıcı gerilme-şekil değiştirme gibi malzeme parametreleri deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Farklı durumlar için hasar biçimleri gözlemlenmiş ve hasarın başlangıç konumları belirlenmiştir. Yüksek mukavemetli çelik bağlantılarının aksine, bu durumdaki hasar mekanizması yapıştırılan malzemenin akmasına bağlıdır. Düşük ve orta karbonlu çelik bağlantılarındaki hasarlar bindirme kısımlarının uç taraflarında meydana gelen lokal gerilmeler tarafından oluşur.

Kürşat ve arkadaşları (2014) çekme yüküne maruz bırakılmış farklı malzeme kalınlıkları ile farklı tek bindirmeli yapıştırma bağlantısı konfigürasyonlarının mekanik özelliklerini deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Deneysel AA2024-T3 alüminyum alaşım, Dp 460 yapıştırıcı, 8 farklı tek bindirme bağlantılı numune (malzeme kalınlığı 5, 10, 15, 20 ve 25 mm; bindirme uzunluğu 5,10, 15, 20 ve 25 mm) kullanıldı. Tek bindirme bağlantısının gerilme analizi doğrusal olmayan sonlu elemanlar metoduyla gerçekleştirildi. Tek bindirme bağlantısında malzeme kalınlığının artırılması, bindirme uzunluğunun artırılmasına göre yük taşıma kapasitesini daha fazla yükseltmektedir. Elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla uyumluluk göstermektedir.

Rahman ve Sun (2014), bölge bazlı bir yaklaşım uygulayarak elyaf yırtılma hasar (FTF) yükü tahmininde kullanılacak doğru bir hasar tahmin kriteri belirlemişlerdir. Karbon elyaf kompozit, epoxy yapıştırıcı ve farklı ölçülerdeki bindirme bağlantıları kullanarak, deneysel olarak hasar çeşitleri belirlenmiştir. Kompozitler için birkaç gerilme/şekil değiştirme bazlı hasar kriteri test edilmiştir. Tek bindirme bağlantısında bilinen hasar yüküyle, kritik bölge boyutu sonlu eleman analiziyle hesaplanmıştır. Sonuç olarak Azzi-Tsai (Norris) kriteri, tek bindirme bağlantısında elyaf yırtılma hasar yükünün tahmin edilmesinde uyumlu olduğu ortaya çıkmıştır

Grant ve arkadaşları (2009), kaynak yerine yapısal yapıştırıcı kullanmanın otomotiv sektöründeki etkilerini incelemek için bir dizi deney ve sonlu eleman analizi yapmışlardır. Yapıştırıcı olarak sertleştirilmiş epoxy ve malzeme olarak araba kaportalarında kullanılan sünek çelik kullanılmıştır. Bindirme bağlantı testi, dört nokta eğme testi ve üç nokta eğme testleri yapıldı. Bindirme uzunluğu, malzeme kalınlığı ve yapıştırıcı kalınlığı gibi farklı parametreler incelendi. Üç nokta eğme ve çekme testlerinde yapıştırıcı benzer şekilde etkilenirken, dört nokta eğme testinde yapıştırıcıda hasara neden olmuyor. Çünkü çelik bağlantı hasarından önce akıyor. Bir hasar kriteri, bağlantıya uygulanan çekme yüküne ve eğme momentine göre tasarlanır.

Han ve arkadaşları (2014), uzun süreli kombine mekanik, sıvı ve ısı çevreye maruz kalan yapışkan bağlantıların statik mukavemetini incelemiştir. Deneysel verilerde ayrıca rapor edilmiştir. Bağlantıların hasar süreci iki yaklaşım kullanılarak modellenmiştir. Bunlardan biri nem yoğunluğunun gerilme dağılımına etkisi, diğeri de gerilme durumunun nem yayılım analizine etkisidir. Bilineer yapışkan alan modeli yaşlanma evresini takip eden yarı statik yüklü bağlantı hasarlarının sonlu eleman analizini uygulamak için kullanıldı. Yaşlandırılmış yapıştırıcı bağlantıları için tahmin edilen ve deneysel olarak ölçülen yarı statik cevapların uyumlu olduğu görüldü.

You ve arkadaşları (2007), yük uygulanmamış malzemenin uç kısmındaki iç pah yüksekliğinin ve açısının etkisi ve tek bindirme bağlantısında birkaç yapıştırıcının elastik modüllerinin gerilme dağılımları üzerindeki etkileri elasto plastik sonlu eleman analizini kullanarak inceledi. Sonlu eleman analizinden alınan sonuçlara göre orta çizgideki en yüksek gerilme, malzemeye 30 derecelik pah açıldığı zaman çok fazla düşmektedir. Pah açısı ve yüksekliği sabit alındığı zaman ( $h=H$  and  $\theta=30^\circ$ ), malzemenin uç kısmındaki en yüksek gerilme kademeli olarak düşer. Yapıştırıcının elastik modülü arttıkça orta kısımlardaki en yüksek gerilmeler, soyulma gerilmesi hariç çok fazla artar. Bağlantıların yük taşıma kapasitesinin, pah açısının 30 derece olduğu durumlarda arttığı söylenebilir. Deneysel sonuçların sayısal analizlerle uyumlu olduğu görülmüştür.

Reis ve arkadaşları (2011), farklı malzemelerle, tek bindirmeli bağlantılardaki çeki kayma mukavemetlerini karşılaştırdılar. Üç farklı malzeme birbiriyle kombine edildi. Bunlar; karbon/epoxy tabakalı kompozit, yüksek elastisiteli çelik ve 6082-T6 alüminyum alaşım. Malzemelerin sertliği kayma mukavemetlerini etkilemiştir ve en yüksek kayma mukavemeti en sert malzeme kullanılarak elde edilmiştir. Bindirme uzunluğu malzemeye bağlı olarak kayma mukavemetini farklı şekillerde etkilemiştir. Sayısal analiz, malzeme sertliğinin arttırılmasının numunenin dönmesini düşürdüğü ve

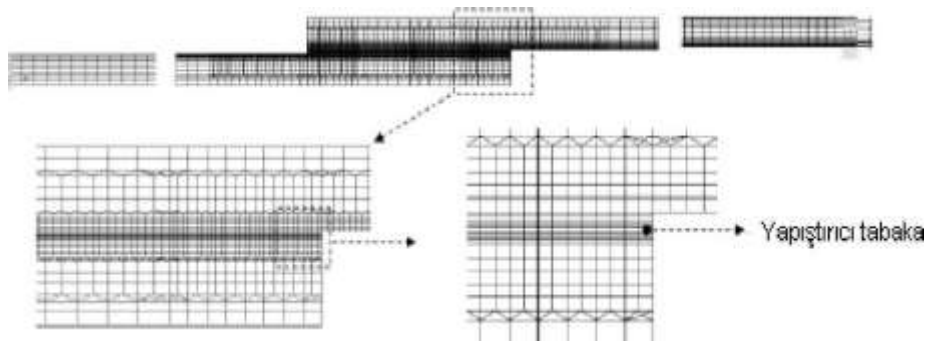
yapıştırıcıda daha düzgün bir gerilme dağılımı elde edildiği sonucunu ortaya çıkarmıştır. Bu da deneysel sonuçlarında doğruladığı üzere kayma mukavemetlerinin gelişimine katkı sağlar. Çelik/çelik bağlantısı için yüksek kayma mukavemeti elde edilirken, kompozit/kompozit için daha düşük çıkmıştır. Malzeme sertliğindeki artış daha güçlü bağlantı elde etmeyi sağlıyor.

Sayman (2012), bir çalışmada sünek tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısındaki kayma gerilmelerini hesaplamak için analitik elasto plastik gerilme analizi kullanmıştır. Bu çalışmada Dp 460 yapıştırıcı kullanılmıştır. Von mises kriteri yapışkan malzemedeki akma koşullarını kontrol etmek için kullanılmıştır. Çözümleme yapılırken kayma gerilmesi yapıştırıcı kalınlığı boyunca sabit düşünülmüştür ve eğme momenti ihmal edilmiştir. Analitik sonuçlar sonlu eleman analizi kullanılarak kontrol edilmiştir. Analitik ve sayısal sonuçlar birbiriyle uyumlu çıkmıştır.

Shiuh-Chuan ve Her (2000), tek ve çift bindirmeli yapıştırma bağlantılarını incelemiştir. Elastisite teorisine dayandırılan tek boyutlu basit bir model önermişlerdir. Yapıştırıcı kalınlığı boyunca kayma deformasyonunun sabit olduğu düşünülerek, yapıştırıcıdaki kayma gerilmesinin ve yapıştırılan parçalarda hareket doğrultusundaki gerilmelerin analitik çözümlerini elde ederek iki boyutlu sonlu eleman yöntemi ile sayısal sonuçları karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçların birbirine benzer olduğunu belirlemişlerdir. Yüksek gerilme yoğunluğunun yapıştırıcının serbest uçlarında olduğu gözlenmiştir.

Sharifi ve Choupani (2008), ısıya maruz bırakılan yapıştırma bağlantısının davranışını sayısal metotlar kullanarak incelemiştir. Çift katlı yapıştırma bağlantısı kullanarak yapıştırılan parçalar üzerindeki gerilmeleri elde etmişlerdir. Yapılan analizlerin sonunda, çatlakların her zaman sabit tutulan uç ile ortadaki yapıştırılan parça- yapıştırıcı ara yüzeyinde olduğu görülmüştür.

Aydın vd. (2007), yaptıkları çalışmada tek tesirli bindirme bağlantılarında yapıştırma bağlantısının kürleşmesi esnasında basınç değişikliğinin etkilerini araştırdılar. Bunun için esnek ve basınç hassasiyetli yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantıları (Şekil 2.1) oluşturmuşlar, oluşturulan numunelere kürleşme boyunca değişik basınç uygulamışlardır. Kürleşme süresince uygulanan basıncın esnek özellikli yapıştırıcılar için bağlantı üzerinde olumlu etkilerinin olduğunu tespit etmişlerdir.



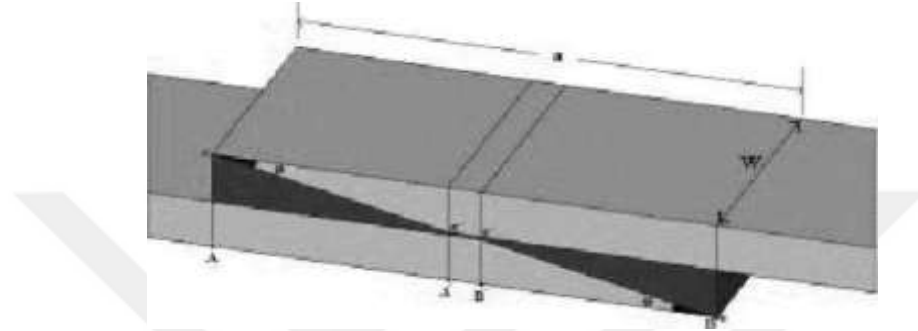
Şekil 2.1. Çekme yüküne maruz tek tesirli bindirme bağlantısına ait sonlu eleman modeli

Temiz (2006) AA2024-T3 alüminyum levhaları çift takviyeli birleştirme yöntemi ile yapıştırarak dört nokta eğme yüklemesine maruz sonlu eleman analizini yapmıştır. Bağlantının bindirme uçlarında oluşan gerilme yığılmalarını düşürmek için farklı yapıştırma konfigürasyonunu denemiş ve bağlantının uçlarına fazla şekil değiştiren esnek yapıştırıcı ve bağlantı ortalarına da sert yapıştırıcı konularak elde edilen kompozit bağlantının tek tip yapıştırıcı ile yapılan bağlantıya göre yaklaşık %50 civarında fazla yük taşıdığını tespit etmiştir.

Temiz vd (2009) yaptıkları çalışmalarda tek tesirli yapıştırma bağlantısı diğer yapıştırma bağlantılarına göre daha çok kullanılmaktadır. Kaçık merkezli yükten ve yapıştırma bağlantısının en uç kısmında kayma gerilmelerinden ziyade soyulma gerilmeleri oluşmaktadır. Bindirme uzunluğu boyunca oluşan soyulma (peel) gerilmeleri ve yapıştırıcıdaki kayma gerilmeleri bağlantının hasara uğramasına sebep olur. Açıkçası bu gerilmelerdeki azalmalar daha güçlü bağlantı ve daha fazla yük taşınmasıyla sonuçlanmaktadır. Bu amaçla bindirme uzunluğunun uç kısımlarında belirli yay uzunluğunda eğri oluşturulabilecek elastik çelik metal parçaları kullanılmıştır. Uç kısımları belirli bir kavis verilen parçalar tek tesirli olarak basınç altında kürleştirme işlemi yapılarak birleştirilmişlerdir. Yapıştırılmış elastik metalin eski haline dönme eğiliminden dolayı birleştirme alanındaki yapışkan tabakalarda artık gerilmeler oluşmasına sebebiyet vermiştir. Yapılan bu deneysel çalışma sonunda oluşan bu artık gerilmelerin yüklem kapasitesini oldukça arttırdığını saptamışlardır.

Solmaz ve Turgut (2009), yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantılarında serbest uç açısı ve bindirme mesafesinin (Şekil 2.2) mukavemet üzerine etkisini deneysel olarak araştırmışlar. Yapmış oldukları çalışmada biri diğerine göre daha sünek olan iki farklı yapıştırıcı kullanmışlar ve yapıştırılan bağlantılarda serbest uç

açısının ve bindirme uzunluğunun yapıştırma bağlantısının mukavemetini nasıl etkilediğini tespit etmeye çalışılmışlardır. Elde edilen bu verilerden, her bir bağlantının ortalama kayma gerilmesi hesaplanmış ve sonuçlar yapıştırıcı cinsi, uç açısı ve bindirme mesafesine göre karşılaştırılarak grafikler halinde sunmuşlardır. Elde edilen sonuçların karşılaştırılması sonucunda ucu açılı olan numunelerin açısız numunelere göre daha yüksek mukavemete sahip olduğu tespit edilmişlerdir.



Şekil 2.2. Tek tesirli bindirme bağlantısı (Solmaz ve Turgut, 2009)

Moura, Gonçaves ve Castro (2004), yapıştırma bağlantılarının davranışını belirlemek amacıyla yeni bir üç-boyutlu SEM sunmuşlardır. Model olarak alınan tek-katlı yapıştırma bağlantısı üzerinde, lineer elastik ve elasto-plastik malzemeler için farklı analizler yapmışlardır. Yapıştırma bağlantılarında kritik bölgeler olan, yapıştırıcı içerisinde ve yapıştırıcı-yapıştırılan parça ara yüzeyinde üç-boyutlu gerilme durumunu elde etmişlerdir. En basit geometrik özelliklere sahip tek-katlı yapıştırma bağlantısında dahi gerilmelerin üç-boyutlu olduğu görülmüştür.

Kadioğlu ve Es-Souni (2003), tek-katlı yapıştırma bağlantısının eğilme momenti ve çekme yüklerine mukavemetini deneysel çalışmalarla belirlemeye çalışmışlardır. Yapıştırılan parçaların plastisitesinin kopmaya önemli derecede etki ettiğini belirlemişlerdir. Deneysel sonuçlar, yüksek mukavemetli bir yapıştırma bağlantısı tasarımı yapılabilmesi için yapıştırılan parça, yapıştırıcı ve yükleme çeşidinin birlikte düşünülmesi gerektiğini göstermiştir.

Özel, Aydın ve Temiz (2003), eğilme momenti uygulanmış tek-tesirli bir yapıştırma bağlantısının, iki-boyutlu non-lineer SEM ile elasto-plastik gerilme analizini yapmışlardır. Geometrik özelliklerin tek tesirli yapıştırma bağlantısının mukavemetine etkisini belirlemek amacıyla, her bir yapıştırıcı için dört ayrı yapıştırılan parça kalınlığı ve bindirme bölgesi uzunluğu kullanmışlardır. Elde edilen sonuçları, deneysel



sonuçlarla karşılaştırmış, yapıştırılan parça kalınlığının artmasının bağlantı mukavemetini önemli ölçüde etkilediğini, esnek yapıştırıcılarda bindirme bölgesinin uzunluğunun artması ile taşınan yükün arttığını belirlemişlerdir.

Tek tesirli bindirme bağlantılarının hasar yüzeyleri incelendiğinde iki farklı bölge oluşmaktadır. Serbest uçlarda ayrılma, orta bölgelerde ise kayma gerilmeleri oluşur. Eğer yapıştırıcı kalınlığı arttırılırsa, kayma gerilmelerin değeri büyümektedir. Malzeme kalınlığındaki artış ile eşdeğer gerilmenin serbest uçlardan merkeze doğru yayılmasına neden olmakta ve malzeme kalınlığı arttığında bağlantı dayanımı da artmaktadır. Tek tesirli yapıştırma bağlantılarında çatlak oluşumu kenarlardan başlayarak orta bölgelere doğru ilerleyerek büyümektedir (Aydın vd., 2005).

Yapıştırıcı birleştirmeli kompozit yamalar, uygulama kolaylığı ve servis şartları nedeni ile mükemmel performans sağladığı için etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Bunun amacı yapıştırıcı ile yapılan yamaya yük aktarılması ve bu sayede yorulma ömürlerinin artmasıdır. Tabaka sayısı arttıkça yorulma ömürlerinin arttığı ve uzun yamalar kullanıldığında yüksek yorulma ömrü elde edildiği görülmüştür. İnce tabakalı yapılarda yama uzunluğunun artması yorulma ömrünü arttırmasına rağmen, kalın parçalarda uzun yama kullanımının yorulma ömrüne etkisi görülmemiştir (Kaftelen ve Baldan, 2005).

Yapıştırıcı ile takviye edilmiş cıvata bağlantılarında oluşan zararın ortadan kalkması hedeflenmiş ve bunu kesinleştirmek amacı ile sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Etkili olan kuvvetlerin hangi bölgeleri etkilediği incelenmiştir. Karşılaştırılan iki tür yapıştırıcıdan birinin gevrek birinin ise daha kararlı bir yapı sergilediği görülmüştür. Bu durumlar göz önüne alındığında yapıştırıcılarda hataların en aza inebileceği sonucuna varılmıştır (Colombi ve Poggi, 2005).

Underhill ve DuQesnay (2005), yaptıkları çalışmada epoksi reçinesinin kayma gerilmeleri ve yorulma ömrü açısından nem faktörü üzerinde durmuş, nemli ve kuru sistemlerdeki yorulma ömürleri incelemiş ve nemli ortamda daha az yorulma ömrünün olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, yorulmanın kenara yakın bölgelerde gerçekleştiği ve hatanın yapıştırıcıdan kaynaklanmış gibi gözükse de aslında bir makaslama gerilmesi olduğu gözlemlenmiştir

Keller ve Castro (2005), yapıştırıcı ile desteklenmiş yapıların esnekliği üzerine yaptıkları çalışmada aşırı yüklenmeler karşısında esnek olduğunu ve kritik yükün % 14 olarak arttığını gözlemlenmiştir. Ayrıca modellenen yapı ile elde edilen sonuçların az

hatalarda olsa doğruluğu kanıtlanmış, gerilmelerin ve kayma deformasyonunun kontrollü olması sağlanmıştır.

Çatlak yayılması iyi bir biçimde karakterize edilebilir ve gerilim şiddet faktörü  $j$  integrali ile açıklanabilmektedir. Ayrıca gerilme kuvvetlerinin ara yüzeyin bağ kuvvetini aşması ile bağlantının yüzeysel olarak kopması ile sonuçlandığı görülmüştür (Kanchanomai vd., 2004).

Deng ve Lee (2005), yaptıkları çalışmada bağlantıda meydana gelen gerilme yığılmaları ile oluşan çatlağın başlaması ve ilerlemesini incelemiştir. Gerilme yığılmaları belli bir sınırı aştıktan sonra çatlak başlamış mod 1 ve mod 2 kırılma davranışı gözlemlenmiştir. Gerilme hızının artması ile çatlak ilerleme hızı da artmıştır. Aynı yapıştırıcı ile daha sağlam bir bağlantı gerçekleştiğinde statik halde iken etkilenmediği görülmüştür.

Apalak ve Engin (2004), çekme yükü uygulanan tek-katlı yapıştırma bağlantısının elasto- plastik gerilme analizini, deneysel çalışmalar ve iki-boyutlu sonlu elemanlar metodunu kullanarak yapmışlardır. Analizler, gerilmelerin yapıştırılan bölgenin uçlarında, yapıştırıcı-yapıştırılan parça ara yüzeyinde oluştuğunu göstermiştir. Plastik gerinimlerin bu serbest uçlardan başladığını belirlemişlerdir.

Şekercioğlu, Rende, Gülsöz ve Meran (2003), yüzey pürüzlülüğü değerlerinin yapıştırma bağlantıları üzerine etkilerini belirlemek amacıyla deneysel çalışmalar yapmışlardır. Statik ve dinamik yükleme koşullarında deneyler gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmaların sonucunda, yüzey pürüzlülüğü için optimum bir değer aralığı elde etmişlerdir.

## 2.2. Yapışma

Yapışma, yapıştırıcı ile malzeme arasındaki çekiciliğe denir (Kinloch 1987). Yapıştırıcı ile malzeme birbirleriyle temas edince, yapıştırma bağlantısı sistemi doğar. Bu sistem, yapıştırıcıyı, malzemeyi, malzemeye uygulanan uygun yüzey işlemini ve bu üç bileşen arasında oluşan ara yüzey/ara fazı kapsamaktadır. Yapıştırma bağlantılarının durabilitesini değerlendirmek için, bu bileşenlerin dış yüklere, mekanik ya da çevresel faktörlere karşı nasıl tepki vereceğinin iyi anlaşılması gerekir. Yapıştırma bağlantılarının performansı ve durabilitesi, bunların dışında malzeme ve yapıştırıcı özelliklerine, malzeme ve yapıştırıcı arasındaki fiziksel-kimyasal iç etkileşime, bağlantı şartlarına, bağlantı geometrisine, bağlantıdaki artık gerilmelere ve yapıştırma hattındaki hatalara

bağlıdır. İyi bir yapışma ve optimum bağlantı performansı verecek yapıştırıcı-malzeme kombinasyonu için yukarıdaki faktörlerin hesaba katılması gerekir (Parvatareddy, 1997).

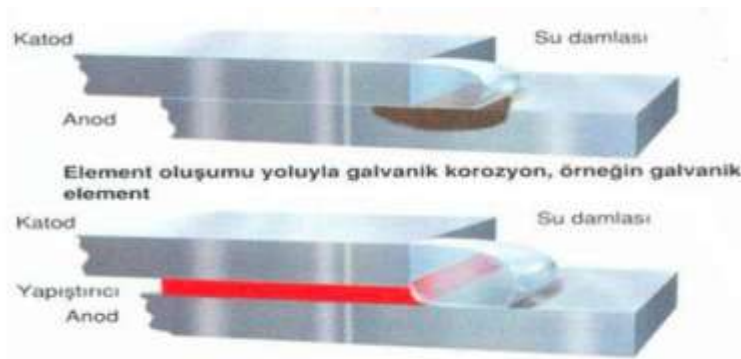
### 2.2.1. Birleştirme teknikleri

Birleştirme teknikleri aşağıdaki gibidir;

- a. Mekanik; cıvata, vida veya perçin ile
- b. Termal; kaynak, pirinç lehimli veya lehim ile
- c. Kimyasal; yapıştırıcı ile.
- d. Mekanik Birleştirme

#### 2.2.1.1. Mekanik birleştirme

Bu yöntemde kullanılan bağlantı elemanların parçalar üzerinde kullanılabilmesi için parçalar üzerinde delik delinmesi gerekmektedir. Delik delinen bölgenin mukavemet açısından zayıflaması anlamına gelmektedir. Bağlantı elemanlarına yük uygulandığında kesit olarak zayıf olan delik açılmış bölgede gerilme yığılmaların oluşmasına sebep olmaktadır. Bağlantının mukavemetli olması için parça kalınlıklarının artırılması ya da mukavemet açısından daha dayanıklı malzemeler kullanılması gerekmektedir. Bu durumda bağlantı bölgesinin ağırlığın ve maliyetin artması anlamına gelmektedir özellikle günümüzde uçaklarda ağırlığın ve maliyetin artması istenmeyen bir durumdur. Ayrıca, birleştirilen parçaların farklı olması durumunda galvanik korozyon tehlikesini oluşturmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. İki farklı malzemenin galvanik korozyonu oluşturması

### 2.2.1.2. Termal birleştirme

Termal bileşirmede özellikle kaynak ve lehimde malzemelerin aynı olması gerekmektedir. Termal birleştirme sökülebilir birleştirme türü değildir. Termal bileştirme işlemi sırasında oluşan yüksek sıcaklıktan dolayı istenmeyen gerilmelere neden olur, bunun sonucunda parça yorgunluğu ve parçaların metal yapısında bozulma meydana gelmektedir.

### 2.2.1.3. Yapıştırıcı ile birleştirme

Yapıştırma bağlantılarının avantaj ve dezavantajları üzerine yoğun bir şekilde çalışılmıştır. Bu çalışmalardan birinde yapıştırma bağlantılarının avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi ifade edilmiştir (Edwards, 1998).

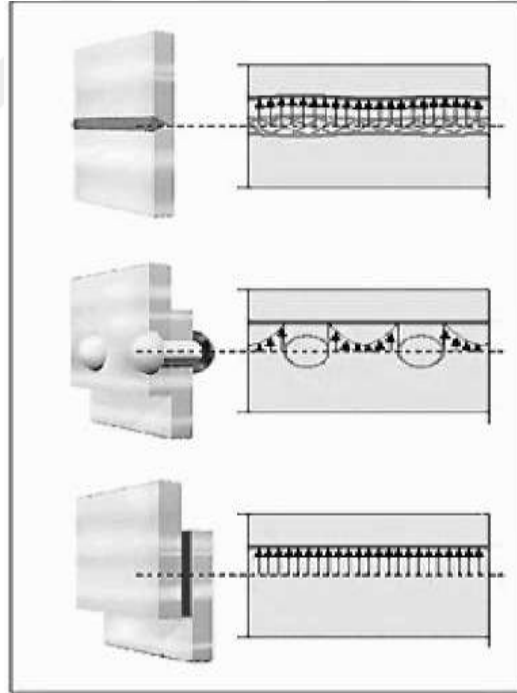
#### **Avantajları:**

- Metaller ve polimerler gibi farklı malzemeler birleştirilebilir,
- Düzgün gerilme dağılımı elde edilir.
- Esas malzemelerin (adherend) özellikleri bozulmaz,
- Sızdırmazlık elemanı olarak kullanılabilir,
- İnce metal parçalarını etkili bir şekilde birleştirebilir,
- Bağlantılara çok iyi dinamik-yorulma direnci sağlar
- Maliyet yönünden etkili ve uygun bir tekniktir,
- Farklı ve kompleks geometrili şekilleri birleştirebilir,
- Daha pürüzsüz aerodinamik yüzeyler elde edilir,
- Korozyon direnci geliştirilebilir,
- Ağırlığı azaltır,
- Titreşimi söndürür.

#### **Dezavantajları:**

- En büyük dezavantajı sıcaklığın etkisidir.
- Yapıştırma işlemi esnasında yüzeyler tamamıyla yapıştırıcı ile kaplanmayabilir, bu da etkili yapıştırma alanının azalmasına neden olarak mukavemeti düşürür.
- Bazı yapıştırıcılar neme ve kimyasal ortamlara karşı hassastırlar. Böyle ortamlarda bulunmaları durumunda zamanla mukavemetlerinde azalma meydana gelmektedir (Tezcan Ş., 2001).

- Uzun olan sertleşme süreleri nedeni ile optimum birleşme dayanımı hemen gerçekleşmez.
- Farklı ısıl genleşmelerden dolayı oluşan sıyrılma ve çekme-makaslama dayanımı minimuma indirmek için bağlantı dizaynı özenle yapılmalıdır.
- Perçinli, kaynaklı ve lehimli bağlantılar yüksek sıcaklıklarda kullanılmasına rağmen yapıştırma bağlantılarının yüksek sıcaklıklarda kullanılmasında sınırlamalar vardır.
- Bazı uygulamalarda ön hazırlık çalışmaları ek iş ve maliyet yükü getirmektedir.
- Genelde zor çalışma şartlarında uzun süre dayanıp dayanamayacağı bilinmez. Ayrıca yapıştırma bağlantılarının tamir için sökülmesi zordur.
- Katkılarla geliştirilmedikçe çoğu yapıştırıcıların ısıl ve elektrik iletkenliği çok zayıftır.
- Yapıştırılan malzemelerle uygun düşme durumunda korozyon tehlikesi olabilir.
- Yanma veya zehirlenme gibi tehlikeler, çözücü esaslı yapıştırıcıların kullanılması durumunda ortaya çıkabilir (Minez B., 2000).



Şekil 2.4. Kaynak, perçin ve yapıştırıcılarla birleştirmede oluşan gerilme dağılımları (Loctite 1998)

### 2.3. Yapıştırma Bağlantıları ve Yapışma Teorileri

Yapısal mühendislik tasarımın rasyonel temeli, bir yükleme durumunda yükleri belirleyebilmek ve oluşacak gerilmeleri pratik olarak hesaplayabilmek olmalıdır.

Yükleme sistemi genellikle bir fonksiyon ile tanımlanır, fakat mühendis en uygun ve maliyet açısından en etkili çözüme ulaşacak en iyi malzeme ve tasarım tekniğini kullanma becerisine sahip olmalıdır. Bu da sürekli olarak teknolojiye ilerlemeyi gerektirir ve yapısal yük ve gerilmeleri ölçecek modern mühendisliğin önemini artırır (Adams ve Wake, 1984).

Bugüne kadar yapışma mekanizmasını açıklamak için bilim adamları yaklaşık kırk teori ortaya atmışlardır. Bu teoriler, moleküler, mikroskobik ve makroskobik seviyelerdeki kavramları esas almışlardır. Burada bu teorilerden en kapsamlı olan dört teoriden bahsedilecektir. Bu teorilerin hiç birisi tek başına yapışma mekanizmasının bütün yönlerini açıklayamaz. Fakat bağlantının bir özelliğini açıklamak için bir ya da birkaç teoriden faydalanılabilir (Temiz, 2003).

### **2.3.1. Mekanik tutunma teorisi**

McBain ve Hopkins (1925), bir katı yüzey üzerine sıvı yapıştırıcı sürüldüğü zaman, yapıştırıcının gözeneklere gireceğini, mekanik tutunma olacağını ve dolayısıyla iyi bir yapışma meydana geleceğini söylemiştir. Mekanik tutunma, yapıştırıcının, malzeme yüzeyinden kalkmasını önler. Venables ve ark. (1979) yapıştırıcının mekanik tutunma ile yapışmasını artıran bazı alüminyum malzemelerin yüzey işlemlerinin, aslında yüzeyde gözenekleri arttırdığını göstermiştir. Gerçekte malzeme yüzeylerini pürüzlendirmek ve yüzeydeki yağ, pas ve benzeri kirleri temizlemek yüzey alanını artırır ve yapıştırıcının yüzeye daha iyi yayılmasını ve ıslatmasını sağlar (Jennings 1972). Bununla beraber Mittal (1976) çalışmalarında ve benzeri çalışmalarda da görülmüştür ki, iyi yapışma, pürüzsüz malzeme yüzeyleri kullanılarak da elde edilebilmiştir.

### **2.3.2. Adsorpsiyon teorisi**

Adsorpsiyon teorisi, esas malzeme ile yapıştırıcı arasında iyi bir temas sağlanması şartıyla ara yüzeyde atomlar arası ve moleküller arası kuvvetlerin oluşması sonucu yapışmanın meydana geldiğini ileri sürer. Bu teori, yapıştırıcı biliminde halen en fazla kabul edilen uygulanabilir teoridir (Kinloch, 1980) ve Sharpe ve Schornhorn tarafından geliştirilmiştir (Sharpe and Schornhorn 1963). Yapıştırıcı- esas malzeme ara yüzeyindeki kuvvetler genel olarak iki kategoride gruplanabilir. a) İyonik, kovalent ve

metalik bağlar olan birincil kuvvetler. b) Van der Waals kuvvetleri, dipole-dipole, induced dipole dipole, hidrojen bağları ve asit-baz iç etkileşimini kapsayan ikincil kuvvetler (Kinloch, 1980). Birincil kuvvetlerin bağ enerjileri 60-1050 KJ/mol arasında değişirken ikincil kuvvetlerin bağ enerjileri 0.08-40 KJ/mol arasında değişir. Birbirinden bir nanometre kadar ayrılan iki katı yüzey arasında oluşan çekim kuvveti yaklaşık 100 MPa olarak hesaplanmış olup bu değer yapıştırma bağlantısı mukavemetinden daha fazladır (Kinloch, 1980). Bu fark bağlantı esnasında oluşan boşluk ve diğer kusurlardan kaynaklanmaktadır. Bağlantı mukavemetinin teorik ve deneysel değerleri arasındaki bu büyük farka rağmen yine de bağlantı mukavemetinin bu kadar yüksek mukavemete sahip olmasının sebebi ikincil bağ kuvvetleridir. Kinloch (1980)'a göre bazı durumlarda ara yüzey bağlantısı için yüzey analiz teknikleri fikir vermesine rağmen birincil kuvvetlerin yapıştırma bağlantısındaki katkısını değerlendirmek oldukça zordur.

### **2.3.3. Elektrostatik teorisi**

Deryaguin (1948) yapıştırıcı ile esas malzeme arasındaki elektron transferinin, yapışmanın oluşmasını sağlayan bir çekim sarjı ürettiğini ileri sürmüştür. O, yapıştırıcı ile esas malzeme arasındaki bağı kapasitöre benzetmiştir. Kapasitörün plakları kaldırıldığında, sarjı boşalır ve deşarj oluncaya kadar artan bir potansiyel meydana gelir. Bu en fazla tartışılan teorilerden biridir. Çünkü birçok araştırmacı mekanizmada oluşan kuvvetlerin büyüklüğü konusunda aynı fikirde değildirler. Skinner (1953) hesaplanan elektrostatik kuvvetlerini van der Waals kuvvetleriyle karşılaştırmış ve metal-yapıştırma bağlantısındaki yapışma isini deneysel olarak ölçmüşlerdir. Elektrostatik yapışmaya yaptığı katkının, van der Waals kuvvetlerinin yanında çok küçük olduğu, ölçtüğü yapışma isinin de elektrostatik ve Van der Waals kuvvetlerin toplamından daha büyük olduğu sonucunu çıkarmıştır.

### **2.3.4. Difüzyon teorisi**

Difüzyon teorisi, biraz mekanik tutunma teorisine benzemektedir. Fakat difüzyon teorisi moleküler seviyededir. Voyutski (1963) tarafından geliştirilen difüzyon teorisi iki polimer malzemenin birbirleri içine difüze olmasıyla yapışma meydana geleceğini ifade eder.

## 2.4. Yapıştırma İşlemi

Teknoloji bakımından yapıştırma işlemi aşağıda gösterilen bazı işlem sıralarından geçmektedir.

- a. Ön hazırlık: Yapıştırılacak yüzeyler işlenir ve temizlenir. Yüzeyin pürüzlülüğü ve temizliği, bağlantının mukavemetini önemli ölçüde etkilemektedir.
- b. Yapıştırıcının hazırlanması: İki bileşenli yapıştırıcılarda yapıştırıcı ve katılaştırıcı bileşenler yapıştırma işleminden önce birbirine karıştırılır. Bu şekilde hazırlanan yapıştırıcılar bir süre bekletilir veya derhal yüzeylerin üzerine sürülür.
- c. Yapıştırıcının yüzeylere sürülmesi cinsine göre fırça veya tabanca ile yapılır. Burada dikkat edilecek husus yapıştırıcı tabakasının çok ince (0,1 - 0,3 mm) olmasıdır.
- d. Yapıştırıcı sürüldükten sonra parçalar bir süre bekletilir. Yapıştırıcı cinsine bağlı olan bu süreler imal eden firmalar tarafından belirtilir.
- e. Parçalar yapıştırıcının cinsine bağlı olmak üzere basınç altında veya basınçsız olarak birbirleri ile temas ettirilir. Bu işlem 5 dakika ile 1 saat arasında değişir. Yapıştırmanın başarılı olması büyük ölçüde teknolojik işlemlere bağlıdır (Akkurt, M., 1990).

### 2.4.1. Yapıştırma yüzeyinin hazırlanması

Yapıştırma bağlantısının mukavemetinin yüksek olması için yapıştırılacak yüzeylerin uygun şekilde hazırlanmalıdır. Bir yapıştırma bağlantısında;

- a) Adhezyon kuvvetleri
- b) Yüzey pürüzlülükleri

kuvvet iletilmesinde etkili olan en önemli faktörlerdir. Esas itibarıyla yapıştırıcının yüzeye bağlantısı, adhezyon kuvvetleri (moleküler kuvvetler) sonucu olmaktadır. Bu kuvvetler çok defa yapıştırıcının kendi mukavemetinden daha büyüktür. İyi hazırlanmış yapıştırma bağlantılarında kopma yapıştırıcı ile malzeme arasından değil, bizzat yapıştırıcı madde de ortaya çıkar. Moleküler kuvvetlerin etkili olabilmesi yapıştırma yüzeylerinin temiz ve yabancı maddelerden arınmış olması ile mümkündür. Genellikle cisimlerin yüzeyleri adsorbe edilmiş gaz ve kimyevi buharların moleküllerini ihtiva ederler. Metallerde ise çok defa ince bir oksit tabakası da mevcuttur. Bundan başka imalat metodu, depolama ve transport şartlarına bağlı olarak ta yağ, kir ve benzeri maddeler yüzeylere yapışır. Bu tabakaların uygun bir metotla mümkün olduğu kadar temizlenmesi gerekir.



Yüzey pürüzlülüğü de yapıştırma bağlantılarının mukavemetine önemli derecede etki eder. Yapıştırıcının pürüzler arasına girip sertleşmesi bir şekil bağı meydana getirir. Bu sebepten yapıştırılacak yüzeylerin çok parlak olmaması gerekir, (ancak pürüzlerin mukavemete ne derecede etkili olduğunu tayin etmek zordur).

Yapıştırılacak yüzeylerin yağdan iyice temizlenmesi bir çok hallerde kafi gelir. Ancak yüzeylerde oksit tabakası da varsa ve bu tabaka Al alaşımlarında olduğu gibi ana malzemeye sağlam bir şekilde bağlı değilse bunun da giderilmesi gerekir. Galvanik kaplama tabakalarının (galvaniz edilmiş veya kadmiyum kaplanmış yüzeyler) ve varsa boya ve lak tabakalarının da temizlenmesi icap eder. Eloksal yapılmış alüminyum yüzeylerde (anodik oksidasyon) oksit tabakasının uzaklaştırılmasına lüzum yoktur (Gediktaş, M., 1995).

## **2.4.2. Ön hazırlık çalışmaları**

### **2.4.2.1. Yüzeylerin hazırlanması**

Moleküler kuvvetlerin büyüklüğü yüzeylerin temiz ve yabancı maddelerden arındırılmış olmasına bağlıdır. Bu amaçla sırasıyla yağın giderilmesi, yüzeyin pürüzlendirilmesi (zımpara vs diş açma) yüzeyin yıkanması ve kurutulması işlemleri yapılır. Yağ giderici olarak en fazla aseton, benzin, benzol, mazot triklor etilen, perkloretilen, karbon tetraklorür ve alkali esaslı temizleyicilerin sudaki eriyikleri kullanılır. Yağ ve diğer kirlilik unsurları alındıktan sonra parçalar soğuk su ile yıkanıp sıcak hava ile kurutulur. Kurutulmuş parçaların bekletilmeden yapıştırılmaları gerekir (Bozacı, A., 2000).

Ön hazırlık çalışmaları:

- Yağın giderilmesi
- Yüzeyin pürüzlendirilmesi (zımparalama ve benzeri işlem)
- Yüzeyin temizlenmesi
- Yüzeyin kurutulması kademelerinden meydana gelir.

Yağı ve diğer pislikleri almak için yüzeyler önce kaba olarak temizlenmeli sonra ayrı bir kaptaki (fazla kirlenmemiş eriyikle) ikinci bir defa daha yıkanmalıdır.

Yüzeylerin pürüzlendirilmesi zımparalama veya kum püskürtme ile yapılabilir. Tane büyüklüğü 100 (0 veya 2-0) veya biraz daha ince olan zımpara kağıdı kullanılmalı ve yüzey, zımpara izleri çeşitli yönlerde olacak şekilde hazırlanmalıdır. Kum

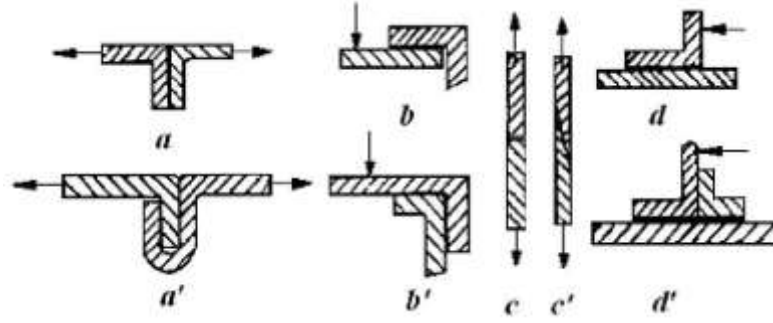
püskürtme yapılıyorsa ince kum kullanılmalıdır. Pürüzlendirilen yüzeyler mümkünse hemen yapıştırılmalıdır. Bu şekilde hazırlanmış yüzeylerin yağ giderme vs. için yeniden yıkanması mukavemet üzerine bir etki yapmaz. Buna karşılık çok defa, dikkat edilmezse yüzey bu arada yeniden kirlenebilir. Yüzeylerine ikinci bir metal tabakası yapıştırılmış malzemelerde (Al alaşımlarında olduğu gibi) ince olan kaplama tabakasının zarar görmemesi, yüksek mukavemetli hafif metal alaşımlarında da çentik etkisi sebebiyle zımparalama veya kum püskürtme yapılmaz. Bu gibi hallerde yüzeyler çelik veya alüminyum yünü ile ovulup temizlenir.

Yüzey yağının bir kimyevi madde ile alınmasından sonra parçalar genellikle soğuk su ile iyice çalkalanarak yıkanır ve yüzeylerdeki artıklar giderilir, sonra çeşitli kimyevi maddelerle (çok sulu asit veya alkali banyoları gibi) ikinci bir işleme daha tabi tutulur. Bundan sonra bol su içinde tekrar iyice yıkanır. Böylece yüzeylerde herhangi bir temizleyici madde artığı da kalmaması sağlanır. Bu şekilde hazırlanmış yüzeyler temiz bir yerde genellikle sıcak hava ile kurutulur. Bundan sonra yapıştırma işlemine geçilir. Temizlenmiş ve kurutulmuş parçaların uzun süre özellikle rutubetli yerlerde bırakılması, teşekkül edebilecek oksit tabakalarından ötürü bağlantının mukavemetine olumsuz yönde etki yapar (Gediktaş, M., 1995).

#### **2.4.2.2. Parçaların ve sıkıştırma düzeneklerinin hazırlanması**

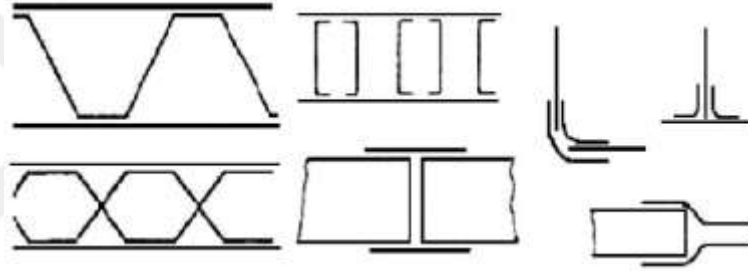
Bağlantının yük taşıma kabiliyeti yapışma alanının büyüklüğüne ve yapıştırıcı tabakasının inceliğine bağlıdır. Bu nedenle parçalar öncelikle amaca uygun olarak, düzgün ve ince bir yapıştırıcı tabakası verecek şekilde hazırlanmalıdır. Büyük sac parçalar presle düzeltilmelidir. Geçme parçalar arasında yeterli boşluk kalmalı, parçaların birbirine göre konumları korunmalıdır.

Parçalar (levhalar) yapıştırma İşlemine hazırlanırken temel kural yapışma düzleminin kaymaya zorlanmasını sağlamaktır. Bu amaçla saclardan birine veya ikisine uygun kıvrıma ve katlamalar verilerek bağlantının doğrudan çekme veya ayrılma etkisinde kalması önlenmelidir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Uygun bağlantı türleri (a, b, c, d, yanlış a', b', c', d' doğru) (Bozacı, A., 2000).

Saçlara kıvrırma ve katlamalar verilerek yapılan takviyeler, kaburga ve petekler hem yapışma alanını büyütür hem de konstrüksiyona rijitlik kazandırır (Şekil 2.6). Sertleşmeye terk edilen bağlantıda parçaların birbirine bastırılması gerekiyorsa pres veya üniform basma düzenekleri hazırlanır (Bozacı, A., 2000).



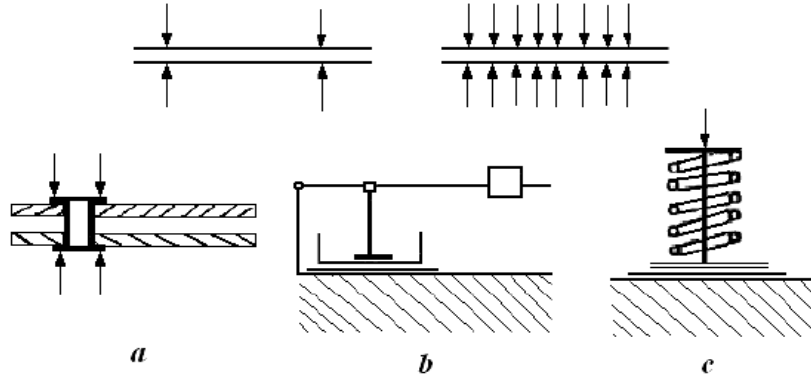
Şekil 2.6. Kaburga ve petek takviyeler (Bozacı, A., 2000).

Yapıştırma bağlantısının mukavemeti yapıştırılacak parçaların maksada uygun olarak, itinalı bir şekilde hazırlanmasına sıkı bir şekilde bağlıdır.

Yapıştırıcı tabakanın kalınlığı 0,1 - 0,2 mm arasında olduğu takdirde mukavemet (kuvvet taşıma kabiliyeti) en fazla olmaktadır. Homojen olarak dağıtılmış, ince bir yapıştırıcı tabakası elde edebilmek için yapıştırılacak parçaların birbirine iyi bir şekilde uyması veya düz olması gerekir. Pres edilmiş sac parçalarında bulunması muhtemel çapaklar temizlenmelidir. Büyük sac parçalarında ise çok defa düzeltme işlemine ihtiyaç vardır. Böyle büyük parçalarda özellikle şekil verildikten sonra belirli iç gerilmeler meydana gelir. Bu gibi parçalar yapıştırma için uygun değildir. Eğer bunlar yüzey düzgünlüğünü telafi için büyük basınçlar altında yapıştırılınca, çok defa bağlantının bu iç gerilmeler sonucu hemen veya bunun etkisi ile ufak dış kuvvetlerde kırıldığı görülür. Yapıştırılacak sac parçaların düzgün, iç gerilmelerin az olması ve yapıştırma yüzeylerinin de birbirine uyması gerekir.

Boru ve geçme bağlantılarında, gerekli boşluk bırakılmalıdır. Bu boşluk 0,1 - 0,3 mm arasında olmalıdır. Yuvarlak parçaların bağlantısında, parçaların konumlarını kolaylıkla ayarlayabilmek için fatura yapılması gerekebilir.

Yapıştırıcının sertleşmesi sırasında parçaları birbirine bastırmak gerekiyorsa, rneğin Şekil 2.7'de grldğu gibi üniform bir basma sağlamak için gerekli tertibatlar kullanılmalıdır (Gediktaş, M., 1995).

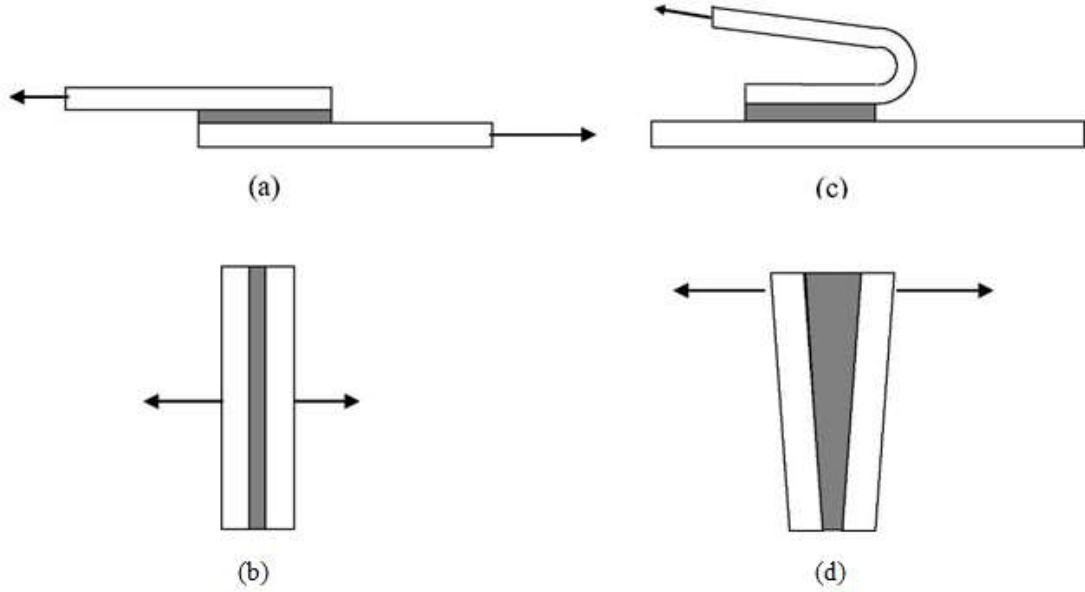


Şekil 2.7. Yapıştırılan parçaların sıkıştırılması (Gediktaş, M., 1995).  
Tespit perini, b. Manivela prensibi, c. Yay prensibi.

Yapıştırma bağlantısının başarısı yapıştırıcının yüzeye bağlanması, yani adhezyon kuvvetlerinin (moleküler kuvvetler) byklğuine bağlıdır. Bu kuvvetler çok defa yapıştırıcının kendi mukavemetinden daha yüksektir. Bu nedenle kopma, yapıştırıcı ile yüzeye arasında değil bizzat yapıştırıcıda meydana gelmektedir. Yapıştırıcının yüzeye iyi yapışması yüzeyin durumuna bağlıdır. Yapıştırılacak yzeler işlenir ve temizlenir. Ancak yüzey parlatılmaksızın bir miktar przly bırakılır. Pürüzler bağlantının mukavemetine büyük etki yapar. Yapıştırıcı madde iki bileşenli ise birbirine karıştırılarak hazırlanır. Yapıştırıcı kalınlığı  $h = 0,1-0,3$  mm arasında olmalıdır (Cürgül, İ., 1990).

## 2.5. Yapıştırma Bağlantılarının Maruz Kaldığı Kuvvetler

Yapıştırma bağlantılarında dört önemli gerilme etkili olur (Şekil 2.8). Bunlar; ekme, kesme, soyulma (peel) ve çekme-makaslama (cleavage)dır. Bağlantı mukavemetinden en yüksek verim elde etmek için bu gerilme eşitleri göz önünde bulundurulmalıdır (Temiz, 2003).



Şekil 2.8. Gerilme tipleri; (a) Kesme, (b) Çekme (c) Soyulma (d) Çekme-makaslama

#### a. Kesme

Kesme yükleri, yapıştırılan alanın tümüne düzgün etki eder (Şekil 2.8.a). Bu tür yüklemelerde yapışma alanının tamamının etki altında olması, bağlantı ömrünü artırarak ekonomiklik sağlar. Mümkün olduğu yerlerde bağlantılar, yükün büyük bir kısmı kesme yükü olarak iletilebilecek şekilde oluşturulmalıdır.

#### b. Çekme

Şekil 2.8.b' de görüldüğü gibi, bu tür yüklemelerde kuvvetler yapıştırıcı tabakasına dik olarak etkimektedir. Bu kuvvetlerden dolayı oluşan gerilme, yapışma alanına eşit şekilde dağılmaktadır. Ama bağlantıya sadece bu tür gerilmenin etkidiğinden emin olmak her zaman mümkün değildir. Eğer kuvvetler eksenden kaçık olarak etkimekte ise o zaman yapışma alanına gerilmenin eşit yayılma avantajı kaybolacak ve bağlantının bozulma ihtimali artacaktır. Önemli olan diğer bir nokta da, yapıştırılan malzemenin kalın olması gerektiğidir. Maruz kaldığı yük etkisi ile fark edilir oranda bir eğilme oluşmamalıdır. Aksi halde, gerilme dağılımı eşit olmayacaktır.

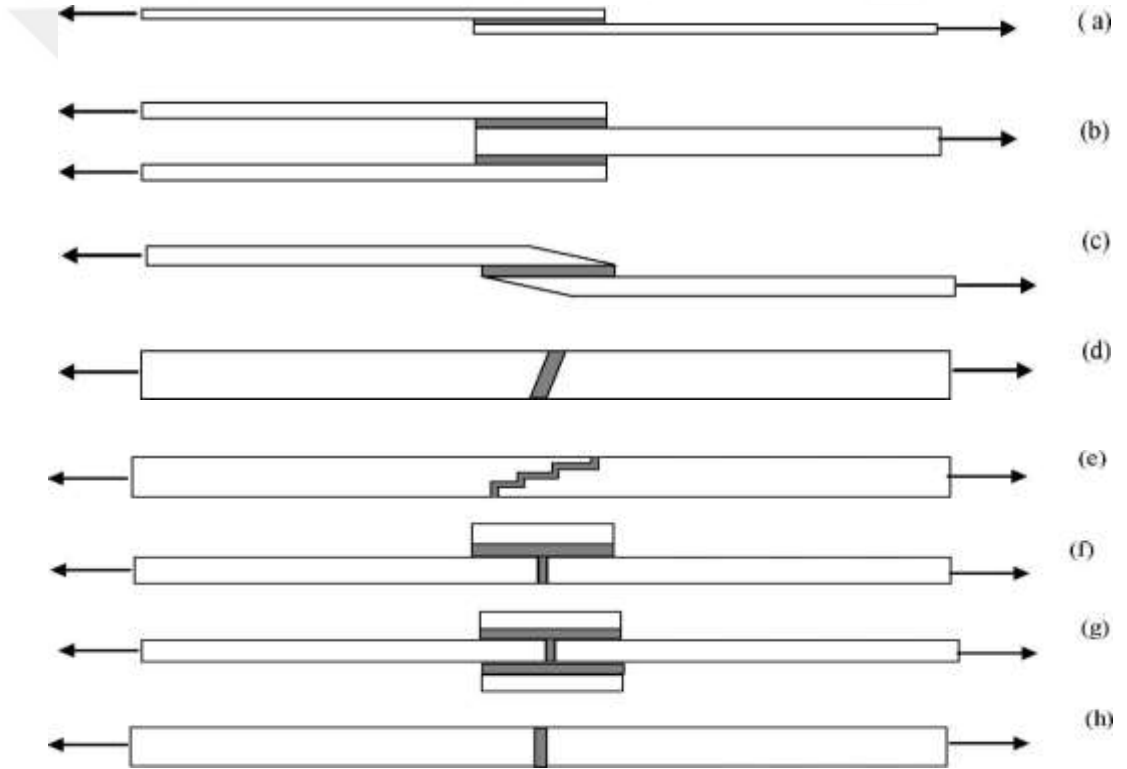
#### c. Soyulma

Bu tür gerilmenin oluşması için yapıştırılan malzemelerden biri veya her ikisi de esnek olmalıdır (Şekil 2.8.c). Bu tür yüklemelerde bağlantı sınırında oluşan gerilme çok yüksektir. Bağlantı çok geniş veya yük düşük olmadıkça yapıştırma bağlantısı çabuk bozulacaktır. Mümkün oldukça bu tür yüklemelerden kaçınılmalıdır.

#### d. Çekme-makaslama

Bu tip yükleme, çoğunlukla eksenden kaçık çekme kuvvetinin veya momentin sonucudur. Önceki gerilmelerin aksine bu gerilme, yapışma alanına eşit olmayan şekilde etkimekte ve bağlantının bir tarafında yoğunlaşmaktadır. Bu gerilmeyi karşılamak için yeterli derecede yapışma alanına ihtiyaç vardır. Çekme veya kesme gerilmelerine göre bu alan daha fazla olduğu için bu tarz bağlantı tavsiye edilmez; çünkü maliyet artar (Kayacan, 1988).

Mühendislikte kullanılan yapıştırma bağlantı tiplerinden en önemli olanları Şekil 2.9'de gösterildiği gibidir.



**Şekil 2.9.** Bazı yaygın yapıştırma bağlantı tipleri

- (a) tek tesirli bindirme, (b) çift tesirli bindirme, (c) boyun bindirme, (d) açılı bindirme, (e) teraslama, (f) tek takviyeli bindirme, (g) çift takviyeli bindirme, (h) alın bağlantı, (i) silindirik bindirme, (j) soyulma (Temiz, 2003), (Adams ve Wake 1984)

## 2.6. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar ile yapılan nümerik inceleme teknikleri; emniyetli, ekonomik ve performanslı bir yapıştırma bağlantısının dizayn edilmesinde önemli bir araçtır. Ama birleşme bölgesi çok karmaşık ve çok farklı malzemelerden oluşan birleşmelerin nümerik inceleme teknikleri ile incelenmesinde matematiksel olarak gerçek çözümlerinin bulunma zorlukları ortaya çıkar. Bu matematiksel problemlerin bazıları teorik olarak sonsuz gerilmeler ve sınır şartlarının belirlenme zorluğudur.

Nümerik yöntemler; karmaşık yüklere, geometrilere, malzeme özelliklerine ve sınır şartlarına sahip yapışma biçimlerine adapte edilebilirler. Bununla beraber nümerik çözümler, gerçek çözümler için sadece birer yaklaşımdır. Gerçek çözümler ile bu yaklaşık çözümler arasındaki doğruluğun derecesi çözülecek problemin karmaşıklığına bağlıdır. Bu yüzden analizi yapan kişinin nümerik teknikleri kullanmanın kısıtlamalarını, analiz edilecek yapının maruz kaldığı gerilme tipini ve birleşmedeki tekil noktaların yerini çok iyi bilmesi gerekir. Nümerik olarak analiz edilecek bölge, çeşitli geometrik şekillere sahip küçük parçalara bölünür. Bu parçalara analiz elemanı denir. Bu analiz elemanları üçgen, dikdörtgen, paralel kenar ya da yamuk şeklinde olabilir. Analiz elemanlarının seçimi, analiz edilecek bölgenin yapısına bağlıdır. Bu küçük analiz elemanları yapı üzerinde bir araya gelerek ağ biçiminde oluşurlar. Bu ağın kesişim noktalarına, düğüm adı verilir. Şekil üzerinde oluşan bu düğümler, analiz elemanlarının birbirleri ile ilişkisini sağlar. İncelenecek bölge üzerindeki düzgün sürekli parçalama fonksiyonları bilinmeyen nitelikleri tahmin etmek için kullanılır. Çok karmaşık geometriye sahip birleşmelerin gerilme analizi için, sonlu elemanlar yöntemi çok iyi sonuç verir. Nümerik inceleme yönteminin bir başka özelliği de farklı malzemelerden oluşan birleşmelerde analiz için en uygun metot olmasıdır (Topçu, M. ve Taşgetiren, S., 1998).

Sonlu elemanlar metoduyla çözüm yapılırken izlenmesi gereken yol;

1. Yapıyı ya da sürekli elemanı birim elemanlara bölmek. Bu yapılırken birim elemanın boyutunu ve şeklini, malzemenin fiziki özelliklerine göre seçmek gerekir.
2. Sonlu elemanlar birbirine düğüm noktalarından bağlanmış kabul edilirler. Bu düğüm noktalarının yer değiştirmeleri, basit yapıların analizlerinde olduğu gibi, problemin bilinmeyen ana parametreleridir.

3. Her bir sonlu elemanın yer değişimini tanımlamak için düğüm noktalarının yer değişimleri cinsinden fonksiyonu seçilir. (Genelde bir polinomdur, polinomun derecesi birim elemanın düğüm sayısına bağlıdır.)
4. Eleman ile yer değiştirme fonksiyonları seçildikten sonra her bir elemanın özelliklerini ifade eden matris denklemleri oluşturulur.
5. Elemanlara bölünen sistemin özelliklerini toplamak gerekir. Bunu da elemanların matris denklemlerini birleştirerek sistemin davranışını ifade eden matris denklemleri oluşturmakla yapabiliriz. Sistemin matris denklemleri bir elemanın matris denklemleriyle aynı formdadır. Fakat sistemde denklemlerin terim sayısı fazladır.
6. Düğüm noktalarına toplanmış kabul edilen ve sınır gerilmeleri dengeleyen kuvvetler ile düğüm noktalarının yer değiştirmeleri arasında bağıntı mevcuttur.

### **2.6.1. Sonlu elemanlar metodunun avantajları**

- Katı cisim, değişik geometrili şekillere ayrılabilirdiği için karmaşık şekilli cisimlere kolayca uygulanabilir.
- Sınır koşulları kolaylıkla uygulanabilir.
- Gelişmiş bilgisayarların kullanımı sebebiyle çözüm hızı yüksektir.
- Mühendisliğin birçok problemine cevap verebilecek esnekliktedir.
- Tam çözüme, eleman sayısı arttıkça oldukça yaklaşmaktadır. Bu ve benzeri avantajları sayesinde sonlu elemanlar metodu, özellikle son yıllarda birçok araştırmacı tarafından kullanılan, vazgeçilemez bir sayısal çözüm yöntemi olmuştur (Vasudevan 1989).

### **2.7. ANSYS™ Paket Programına Giriş**

ANSYS (Swanson Analysis System) yazılımı, mühendislerin mukavemet, titreşim, akışkanlar mekaniği ve ısı transferi ile elektromanyetik alanlarında fiziğin tüm disiplinlerinin birbiri ile olan etkileşimlerini gerçeğe uygun bir şekilde kullanılabilen genel amaçlı yazılmış sonlu elemanlar programıdır. Bu program sayesinde gerçekleştirilen testlerin ya da çalışma şartlarının simule edilmesine olanak sağlayan ANSYS, ürünlerin henüz prototipleri üretilmeden sanal ortamda test edilmelerine



olanak sağlar. Ayrıca sanal ortamdaki 3 boyutlu modellemeler neticesinde yapıların zayıf noktalarının tespiti ve iyileştirilmesi ile ömür hesaplarının gerçekleştirilmesi ve muhtemel problemlerin öngörülmesi mümkün olmaktadır. ANSYS'de kullanılan mukavemet, titreşim, yorulma, çarpma ve devrilme simülasyonları, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, ısı transferi hesapları, metal şekillendirme hesapları, elektromanyetik hesaplar, mekanizma dinamiği hesapları, Test ve Ölçüm Sistemleri, Sistem Modelleme Otomatik Kontrol Simülasyonları'dır (Pençe, 2007).

ANSYS yazılımı hem dışarıdan CAD verilerini alabilmekte hem de içindeki menü imkânları ile geometri oluşturulmasına izin vermektedir. Aynı menü içinde hesaplama için gerekli olan sonlu elemanlar modelinde ağ da oluşturulmaktadır. Yüklerin tanımlanmasından sonra ve gerçekleştirilen analiz neticesinde sonuçlar sayısal ve grafiksel olarak elde edilebilir. ANSYS'de analizi yapılan model sonlu sayıda elemana bölünerek, sonlu elemanlar ağı oluşturulur. Önemli olan geometrik modeli doğru ve sağlam bir şekilde oluşturmaktır. ANSYS'de farklı analiz tipleri için geliştirilmiş yaklaşık 140 eleman tipi mevcuttur. Sonlu elemanlar ağı oluşturulduktan sonra yükleme ve sınır koşulları belirlenir ve programa işlenir. Bu aşamada problemin çok iyi yorumlanması ve modele gelen yüklerin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekir (Solmaz, 2008).

### 2.7.1. Preprocessing (Modelleme)

Preprocessing kademesi aşağıdakileri içerir:

- **Başlığın belirlenmesi:** Problemin sonraki dönemde rahat erişilebilir olması amacıyla yaptığımız işe bir isim verilmesi diye düşünülebilir. Bu seçenek özellikle aynı temel model üzerinde farklı yükleme seçenekli çözümler gerçekleştirilmesi durumunda çok faydalıdır.
- **Modelin oluşturulması:** Model genellikle iki veya üç boyutlu uzayda uygun birimler (m., mm., in., vb.) kullanılarak çizilir. Sonlu elemanlar modeli iki boyutlu veya üç boyutlu modeller olarak sınıflanabilir. Analizini yapacağımız fiziksel modelin bunlardan hangisine girdiğinin önceden belirlenmiş olması gerekir. Sistemin üç boyutlu olduğu durumlarda mümkün ise, düzlem gerilme, düzlem şekil değiştirme veya eksenel simetri özellikleri kullanılarak model iki boyutlu olarak tasarlanabilir. Sistemde simetri olması durumunda bunun tanımlanması, sonlu elemanlar modelimizin basitleştirilmesine yarar. Modelin oluşturulması esnasında dikkat edilmesi gereken

konulardan biri, çizimde kullanılan birim ile malzeme özellikleri ve uygulanan yük birimlerinin uyumlu olmasıdır.

- **Eleman tipinin belirlenmesi:** Eleman seçimi, analizde kullanılacak olan matematiksel modelin belirlenmesi açısından son derece önemlidir. Elemanlar yapılacak analizin çeşidine göre seçilir. Yani statik, termal, akışkan veya elektromanyetik analizler için farklı elemanlar kullanılır.

Benzer şekilde analiz edilecek olan modelin boyutu da (iki veya üç boyutlu) eleman seçimindeki etkenlerden biridir. İki boyutlu modellerin X-Y düzleminde tanımlanması gereklidir. Eksenel simetrik modeller de iki boyutlu model olarak kabul edilirler.

ANSYS geniş bir eleman kütüphanesine sahiptir. Bir eleman, maksimum sekiz karakterden oluşan ve grup tanımlamasını içeren bir isim ile belirlenir. Ayrıca her bir elemana ait özel bir numara bulunur. Kütüphaneden bir eleman seçimi **ET** komutu ile gerçekleştirilir

- **Malzeme özelliklerinin girilmesi:** Pek çok eleman tipi, analiz gerçekleştirebilmek için malzeme özelliklerinin belirlenmesini gerektirir. Uygulamaya bağlı olarak, malzeme özellikleri;

2. Lineer veya lineer olmayan
3. İzotropik veya anizotropik
4. Sıcaklıktan bağımsız veya sıcaklığa bağımlı olabilir.

Her bir malzeme özelliği grubu için bir malzeme referans numarası verilir. Malzeme referans numarası ile malzeme özelliklerini gösteren tabloya "malzeme tablosu" denir. Bir analiz süresince birden fazla malzeme ile çalışılabilir.

Model elemanlara bölünürken ilgili malzeme numarasının da belirtilmesi gerekir. Bu işlem MAT komutunun MAT, Malzeme Numarası şeklinde kullanımı ile gerçekleştirilebilir.

- **Modelin elemanlara bölünmesi:** Sonlu elemanlar çözümünün gerçekleştirilebilmesi için eleman ve düğüm noktalarına ihtiyaç duyarız. Elemanlara bölme işlemi de katı modelin eleman ve düğüm noktaları ile doldurulması işlemidir.

Bir sonlu elemanlar analizinde elemanlara bölme işlemindeki eleman yoğunluğu arttıkça çözüm gerçek çözüme o kadar yaklaşır. Ancak, eleman yoğunluğu arttıkça, çözüm süresi ve bilgisayar kaynağı gereksinimi de o ölçüde artar. Dolayısıyla gerekli olan eleman yoğunluğuna karar vermek gerekir. Bunu analiz öncesinde tahmin etmek oldukça güçtür.

Bir katı modeli elemanlara bölme işlemine, eleman şeklini seçerek başlamak iyi bir başlangıç noktası olacaktır. Bunun için kullanılan komut MSHAPE'dir (www.biomed.com).

### 2.7.2. Solution (Çözümleme)

Solution kademesi aşağıdakileri içerir:

- **Analiz tipinin belirlenmesi:** Aslında bir modelin oluşturulmaya başlanması ile analiz tipi önceden belirlenmiş olsa da, ANSYS içinde analiz tipinin belirlenmesi işlemi genellikle çözüm (solution) işlemcisi içerisinde gerçekleştirilir.

Genel olarak analizler;

-Elektromanyetizma

- Akışkan

- Bağlı Alan (coupled field)

alanlarından birine dahildir. Analizin adı geçen bilim dallarından birine ait olması durumu, seçilen elemanın tipi ile yani elemanın sahip olduğu serbestlik derecesi ile belirlenir.

Analiz tipinin belirlenmesi için kullanılan komut ANTYPE'dir. Bu komut ANTYPE, Analiz Tipi, Analiz Durumu şeklinde kullanılır.

- **Sınır şartlarının tanımlanması:** Eğer modele bir yük uygulanırsa, model bilgisayarın sanal dünyasında sonsuza kadar ivmelenir. Bu ivmelenme bir sınırlılık veya bir sınır şartı uygulanana kadar devam eder. Yapısal sınır şartları genellikle sıfır yerdeğiştirme, termal sınır şartları belirlenmiş bir sıcaklık veya akışkan sınır şartları için bir basınç olarak tanımlanır. Bir sınır şartı bütün yönlerde (x,y,z) uygulanabileceği gibi, yalnızca belirli bir yönde de tanımlanabilir. Sınır şartları anahtar noktalarda, (key point) düğüm noktalarında, (line) çizgi veya (area) alanlarda tanımlanabilir. Sınır şartı, simetri tipinde olabilir veya olmayabilir.

- **Yüklerin uygulanması:** ANSYS içinde yük tanımlama işlemi belirli şartlar altında sistem davranışının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilir. Bir analiz için yük tanımlama işlemi, anahtar öneme sahip bir kademedir.

Pek çok yük, katı model veya sonlu elemanlar modeli üzerine uygulanabilir. Örneğin kuvvetler, bir düğüm noktasına veya bir anahtar noktaya uygulanabilir. Yüklerin nasıl uygulandığına bakmadan ANSYS çözücüsü bunları sonlu elemanlar yükleri olarak

algılar. Yani eğer yükler katı model üzerine uygulanmış yükler ise, bunlar otomatik olarak çözüm başlangıcında düğüm noktası ve elemanlara transfer edilirler.

Genel olarak yükleri altı kategoriye bölmek uygun olacaktır. Bunlar;

- ✓ Yapısal
- ✓ Termal
- ✓ Serbestlik derecesi sınırlılıkları,
- ✓ Kuvvetler( bir noktaya yoğunlaşan yükler),
- ✓ Yüzey yükleri,
- ✓ Cisim yükleri,
- ✓ Atalet yükleri,
- ✓ Eş alan yükleridir.

• **Çözüm:** Genel olarak bir sonlu elemanlar çözücüsü üçe ayrılır. Bunlar ön-çözücü, matematik motoru ve son-çözücüdür. Ön-çözücü modeli okur ve modeli matematiksel şekilde formülüle eder. Preprocessing kademesinde tanımlanan bütün parametreler ön-çözücü tarafından kontrol edilir ve herhangi bir şeyin eksik bırakıldığını bulursa, matematik motorunun devreye girmesini engeller. Model doğruysa, çözücü devreye girerek eleman direngelik matrisini oluşturur ve yer değiştirme, basınç gibi sonuçları üreten matematik motorunu çalıştırır. Matematik motoru tarafından üretilen sonuçlar, son-çözücü kullanılarak düğüm noktaları için deformasyon miktarı, gerilme, hız gibi değerler üretilir ([www.biomed.com](http://www.biomed.com)).

### 2.7.3. Postprocessing (Sonuçları görüntüleme)

Bu bölüm; sonuçların okunduğu ve yorumlandığı bölümdür. Sonuçlar; tablo şeklinde, kontur grafikler şeklinde veya deforme olmuş cisim şeklinde sunulabilir. Ayrıca animasyon yardımı ile modelin yük altındaki davranışı gözler önüne sunabilir. Yapısal tipteki problemlerin sunulmasında, kontur grafikler genellikle en etkin yöntem olarak kullanılır. Postprocessor, x, y, z koordinatlarında hatta koordinat ekseninde belli bir açıdaki gerilme ve birim şekil değiştirmelerin hesaplanmasında kullanılabilir. Etkin gerilme ve birim şekil değiştirme sonuçları ile akma gerilmesi ve şekil değiştirme sonuçlarını da görmek mümkündür. Bunun dışında birim şekil değiştirme enerjisi ve plastik şekil değiştirme miktarı da kolaylıkla görsel olarak elde edilebilir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada farklı bindirme uzunluklarında ve kalınlıklarda tek tesirli bindirme bağlantılarının gerilme analizleri incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelere ilişkin bilgiler ve elde edilen deneysel sonuçlar AYDIN'ın (2003) tez çalışmasından alınmıştır.

Yapıştırılan malzeme olarak havacılık sektöründe yaygın olarak kullanılan AA2024-T3 alüminyum alaşım kullanılmıştır. Yapıştırıcı olarak CYTEC FM73 OST; - 55 C ile 82 C sıcaklıkları arasında mükemmel yapısal performans sağlayan epoksi esaslı yapısal bir film yapıştırıcı kullanılmıştır. Aşağıda materyal, yapıştırma işlemi ve numunelerin test edilmesine ilişkin ayrıntılı açıklamalar yapılmıştır.

#### 3.1. Yapıştırılan Malzeme

Bu çalışmada, AA2024-T3 alüminyum alaşım malzemesi kullanılmıştır. Bu alaşım yapısal uygulamalar için geliştirilmiş olup, yüksek mukavemete sahip ve kolay işlenebilir özelliklerine sahiptir. Bu malzeme, uzay sanayisi, otomotiv sanayisi, havacılık ve askeri alanlarda yaygın bir şekilde kullanılan bir malzemedir. Malzeme özellikleri Çizelge 3.1'de, malzemenin mekanik özellikleri ise Çizelge 3.2'de verilmiştir. AA2024-T3 alüminyum alaşım malzemesinden ASTM370 standartına göre çekme numunesi yapılmış ve Shmatzu marka çekme test cihazında 5mm/dak çekme hızında çekilmiştir ve elde edilen gerçek gerilme-şekil değiştirme diyagramı Şekil 3.2.a'da verilmiştir.(Aydın, 2003)



Şekil 3.1. ASTM370 standartına göre AA2024-T3 çekme numunesi

**Çizelge 3.1.** AA 2024-T3'ün kimyasal bileşimi (% ağırlık)

Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Ti	Zn
93.5	0.1	3.8-4.9	0.5	1.2-1.8	0.3-0.9	0.5	0.15	0.25

**Çizelge 3.2.** AA 2024-T3'ün fiziksel ve mekanik özellikleri

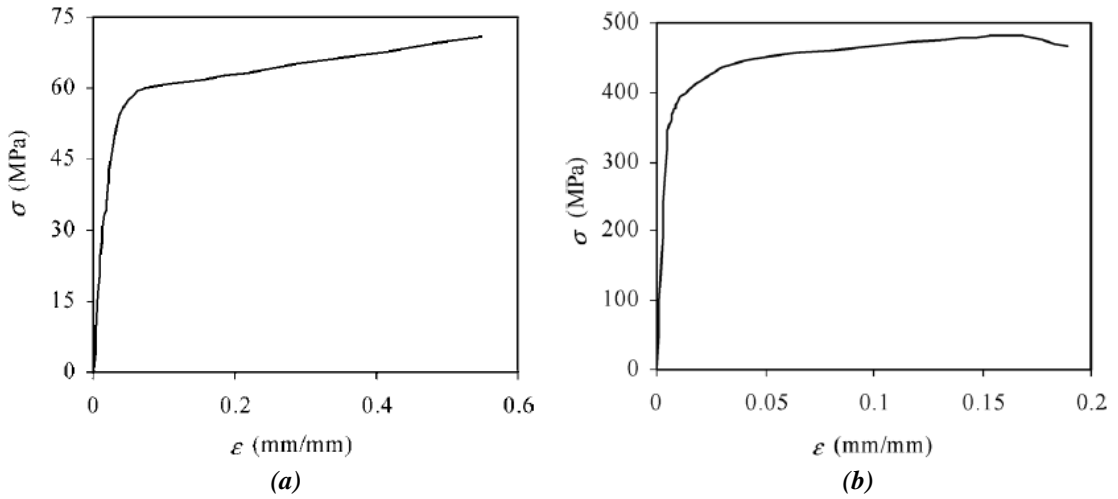
Mekanik Özellik	Değer	Açıklama
Yoğunluk	2780 kg/m <sup>3</sup>	
Sertlik, Brinell	120	
Sertlik, Knoop	150	
Sertlik, Rockwell A	46.8	
Sertlik, Rockwell B	75	
Sertlik, Vickers	137	
Akma Mukavemeti	345 MPa	
Kopma Mukavemeti	485 MPa	
% Kopma Uzaması	% 18	5 cm uzunluk ve 1.62 mm kalınlık
Elastisite Modülü, E	72.4 GPa	Bası modülü % 2 daha fazla
Poisson Oranı, $\nu$	0.33	
Yorulma Mukavemeti	140 MPa	500.000.000 çevrim
İşlenebilirlik	% 70	
Kayma Mukavemeti	280 MPa	
Kayma Modülü, G	28 GPa	

### 3.2. Yapıştırıcı Malzemesi

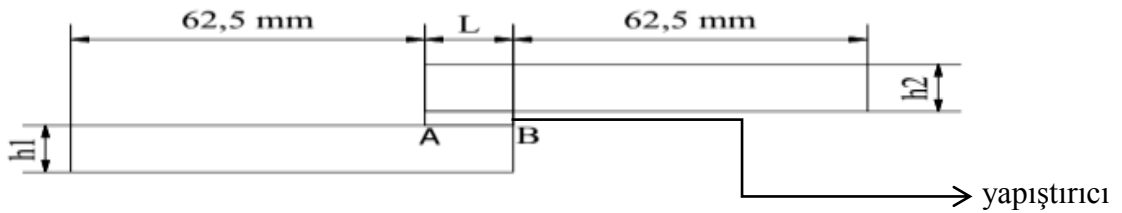
CYTEC FM73 OST; -55 C ile 82 C sıcaklıkları arasında mükemmel yapısal performans sağlayan epoksi esaslı yapısal bir film yapıştırıcıdır. Metallerin ve bir çok kompozit malzemenin birleştirilmesinde kullanılan bu yapıştırıcı 0.13 mm, 0.25 mm ve 0.38 mm olarak üç farklı kalınlıkta üretilmektedir. Bu çalışmada 0.25 mm kalınlığındaki yapıştırıcı kullanılmıştır. Yapıştırıcının kürleşebilmesi için, 120 dakikalık süre boyunca 0.28 MPa basınç ve 120 C sıcaklıkta bekletilmesi gerekmektedir. Yapıştırıcının gerilme-şekil değiştirme verileri Aydın ve arkadaşlarının (2003) yaptığı çalışmadan alınmıştır.

### 3.3. Numune hazırlama

AA2024-T3 alüminyum levhadan 3 farklı kalınlıkta (1.6, 3.2,4.8 mm) ve dört farklı bindirme uzunluğunda (12.5, 25, 50, 100 mm) numuneler kullanıldı. Yapıştırırmadan önce alüminyum numunelerin yüzeyi aseton ve  $H_2SO_4 + Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$  asidinde 30 dakika bekletildi. Daha sonra yıkanıp, 30 dakika boyunca 60 C lik fırında kurutuldu. Bu işlemden sonra numuneler FM73 yapıştırıcıyla 120 dakika boyunca sıcak pres altında 0.28 MPA basınçla kürleşmeye bırakıldı. Lineer olmayan sonlu eleman modelinin oluşturulmasında kullanılan ve Şekil 3.2'de diyagramları verilen yapıştırılan malzeme ve yapıştırıcının gerilme-şekil değiştirme verileri Aydın ve arkadaşlarının (2003) yaptığı çalışmadan alınmıştır.



Şekil 3.2. AA2024 parça ve FM73 yapıştırıcı malzemesinin gerilme şekil değiştirme diyagramları; a) AA2024, b) FM73



Şekil 3.3. Tek bindirmeli yapıştırma bağlantısının yandan görünüşü

**Çizelge 3.3.** Tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında kullanılan geometrik parametreler (Bütün parametreler mm cinsindedir)

Malzeme kalınlığı (h)	Bindirme uzunluğu (l)	Malzeme genişliği (w)	Yapıştırıcı kalınlığı (t)
1.62	12.5	25	0.12
3.2	25		
4.8	50		
6.4	100		

### 3.4. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analiz

Tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında belirlenen hatlar üzerindeki gerilme analizleri sonlu elemanlar paket programı ANSYS 13 kullanılarak yapılmıştır. Yapıştırma alanı olan kısımlar birbirine eşit olacak şekilde küçük parçalara ayrılarak analizler yapılmıştır. Yapıştırıcı tabakada oluşan gerilmelerin hesaplanmasında von mises akma kriteri uygulanmıştır. Gerilme dağılımları çıkarılırken en düşük hasar yükü baz alınarak gerilme grafikleri elde edilmiştir.



## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Deneysel Bulgular

Tek tesirli bindirme bağlantıları testleri 50 kN yükleme kapasiteli SHIMADZU marka test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Yapılan deneylerde numuneler 5 mm/dk sabit çekme hızında çekme yüküne maruz bırakılmıştır. Deneyler 23 C ve %50 bağıl nem de gerçekleştirilmiştir. Her farklı bindirme uzunluğu ve malzeme kalınlığı için 4 test yapılmıştır. Aşağıdaki tablolarda ortalama deneysel hasar yükleri (Aydın, 2003) ve nümerik hasar yükleri verilmiştir.


#### 4.1.1. Çekme yüküne maruz tek tesirli bindirme bağlantılarından elde edilen deneysel sonuçlar

**Çizelge 4.1.** 1.62 mm kalınlık ve 25 mm bindirme uzunluğundaki numunelerden elde edilen maksimum hasar yükü, ortalama kayma gerilmesi değerleri ve hasar yüzeyleri (FM 73)

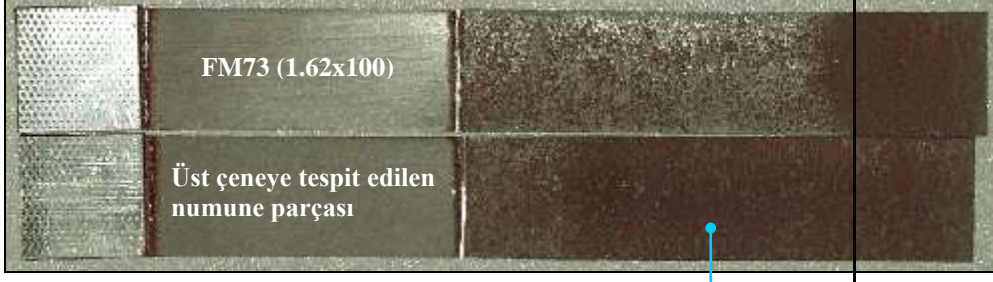
Numune	Yapıştırıcı tabaka kalınlığı (mm)	Deneysel Hasar yükü (N)	Nümerik Hasar yükü (N)	NHY/DHY	Hasar tipi
FT(1.62x25)	0.115	13822.5 <sup>±121</sup>	8440	0.61	Kohosiv Hasar



**Çizelge 4.2.** 1.62 mm kalınlık ve 50 mm bindirme uzunluğundaki numunelerden elde edilen maksimum hasar yükü, ortalama kayma gerilmesi değerleri ve hasar yüzeyleri (FM 73)

Numune	Yapıştırıcı tabaka kalınlığı (mm)	DeneySEL Hasar yükü (N)	Numerik Hasar yükü (N)	NHY/DHY	Hasar tipi
FT(1.62x50)	0.1175	15435.25 <sup>±179</sup>	10040	0.65	Özel Kohosiv Hasar
 <p>FM73 (1.62x50)</p> <p>Özel kohosiv hasar yüzeyi</p>					

**Çizelge 4.3.** 1.62 mm kalınlık ve 100 mm bindirme uzunluğundaki numunelerden elde maksimum hasar yükü, ortalama kayma gerilmesi değerleri ve hasar yüzeyleri (FM 73)

Numune	Yapıştırıcı tabaka kalınlığı (mm)	DeneySEL Hasar yükü (N)	Numerik Hasar Yüğü (N)	NHY/DHY	Hasar tipi
FT(1.62x100)	0.11	15895 <sup>±87.8</sup>	12800	0.80	Özel Kohosiv Hasar
 <p>FM73 (1.62x100)</p> <p>Üst çeneye tespit edilen numune parçası</p> <p>Özel kohosiv hasar yüzeyi</p>					

**Çizelge 4.4.** 3.2 mm kalınlık ve 12.5 mm bindirme uzunluğundaki numunelerden elde edilen maksimum hasar yükü, ortalama kayma gerilmesi değerleri ve hasar yüzeyleri (FM 73)

Numune	Yapıştırıcı tabaka kalınlığı (mm)	Deneysel Hasar yükü (N)	Numerik Hasar Yükü (N)	NHY/DHY	Hasar tipi
FT(3.2x12.5)	0.12	8783.3 <sup>±181.5</sup>	8320	0,94	Kohosiv Hasar

FM73 (3.2x12.5)

Anlık kopma bölgesi (KH)

**Çizelge 4.5.** 3.2 mm kalınlık ve 25 mm bindirme uzunluğundaki numunelerden elde edilen maksimum hasar yükü, ortalama kayma gerilmesi değerleri ve hasar yüzeyleri (FM 73)


Numune	Yapıştırıcı tabaka kalınlığı (mm)	Deneysel Hasar yükü (N)	Numerik Hasar Yükü (N)	NHY/DHY	Hasar tipi
FT(3.2x25)	0.14	14658.3 <sup>±38.2</sup>	12800	0,87	Kohosiv Hasar

FM73 (3.2x25)

Anlık kopma bölgesi (KH)

**Çizelge 4.6.** 3.2 mm kalınlık ve 50 mm bindirme uzunluğundaki numunelerden elde edilen maksimum hasar yükü, ortalama kayma gerilmesi değerleri ve hasar yüzeyleri (FM 73)

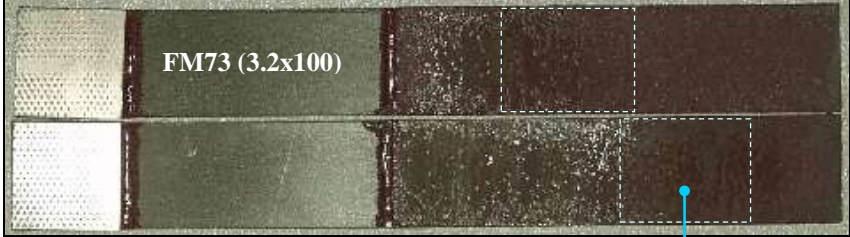
Numune	Yapıştırıcı tabaka kalınlığı (mm)	DeneySEL Hasar yükü (N)	Numerik Hasar Yükü (N)	NHY/DHY	Hasar tipi
FT(3.2x50)	0.137	24603.3 <sup>±550.1</sup>	17600	0.71	Özel Kohosiv Hasar



Anlık kopma bölgesi (ÖKH)

**Çizelge 4.7.** 3.2 mm kalınlık ve 100 mm bindirme uzunluğundaki numunelerden elde edilen maksimum hasar yükü, ortalama kayma gerilmesi değerleri ve hasar yüzeyleri (FM 73)


Numune	Yapıştırıcı tabaka kalınlığı (mm)	DeneySEL Hasar yükü (N)	Numerik Hasar Yükü (N)	NHY/DHY	Hasar tipi
FT(3.2x 100)	0.12	30655.5 <sup>±144.4</sup>	20800	0.68	Özel Kohosiv Hasar



Anlık kopma bölgesi (ÖKH)

**Çizelge 4.8.** 4.8 mm kalınlık ve 12.5 mm bindirme uzunluğundaki numunelerden elde edilen maksimum hasar yükü, ortalama kayma gerilmesi değerleri ve hasar yüzeyleri (FM 73)

Numune	Yapıştırıcı tabaka kalınlığı (mm)	Deneysel Hasar yükü (N)	Numerik Hasar Yükü (N)	NHY/DHY	Hasar tipi
FT(4.8x12.5)	0.12	9410 <sup>±36</sup>	8640	0.91	Kohosiv Hasar

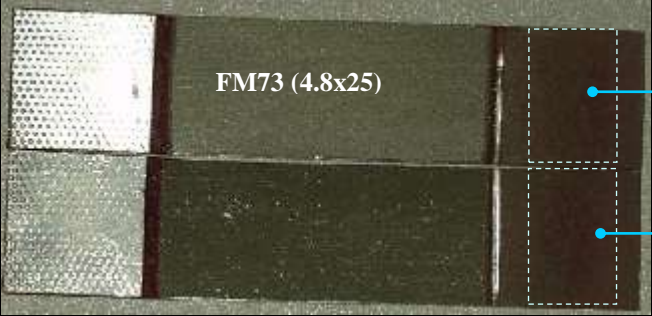


FM73 (4.8x12.5)

Anlık kopma bölgesi (KH)

**Çizelge 4.9.** 4.8 mm kalınlık ve 25 mm bindirme uzunluğundaki numunelerden elde edilen maksimum hasar yükü, ortalama kayma gerilmesi değerleri ve hasar yüzeyleri (FM 73)

Numune	Yapıştırıcı tabaka kalınlığı (mm)	Deneysel Hasar yükü (N)	Numerik Hasar Yükü (N)	NHY/DHY	Hasar tipi
FT(4.8x25)	0.12	17561.7 <sup>±265.8</sup>	15000	0.85	Kohosiv Hasar

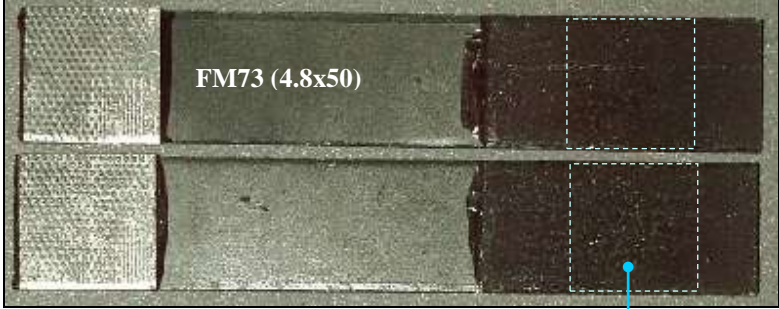


FM73 (4.8x25)

Anlık kopma bölgesi (KH)

**Çizelge 4.10.** 4.8 mm kalınlık ve 50 mm bindirme uzunluğundaki numunelerden elde edilen maksimum hasar yükü, ortalama kayma gerilmesi değerleri ve hasar yüzeyleri (FM 73)

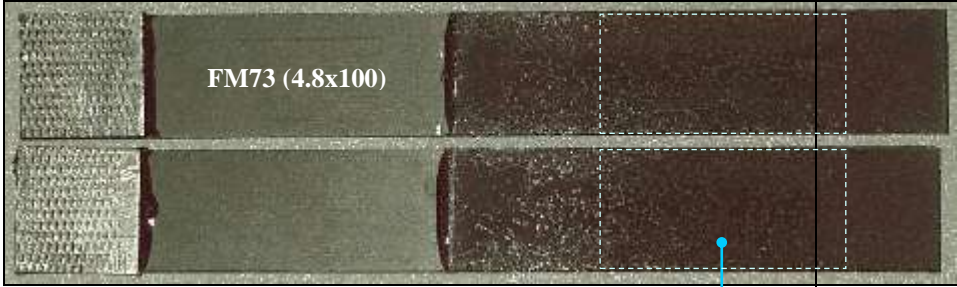
Numune	Yapıştırıcı tabaka kalınlığı (mm)	Deneysel Hasar yükü (N)	Nümerik Hasar yükü (N)	NHY/DHY	Hasar tipi
FT(4.8x50)	0.12	21893.3 <sup>±150.45</sup>	18000	0.82	Kohosiv Hasar



Anlık kopma bölgesi (KH)

**Çizelge 4.11.** 4.8 mm kalınlık ve 100 mm bindirme uzunluğundaki numunelerden elde edilen maksimum hasar yükü, ortalama kayma gerilmesi değerleri ve hasar yüzeyleri (FM 73)

Numune	Yapıştırıcı tabaka kalınlığı (mm)	Deneysel Hasar yükü (N)	Nümerik Hasar yükü (N)	NHY/DHY	Hasar tipi
FT(4.8x 100)	0,12	39613 <sup>±480</sup>	25800	0.65	Özel Kohosiv Hasar

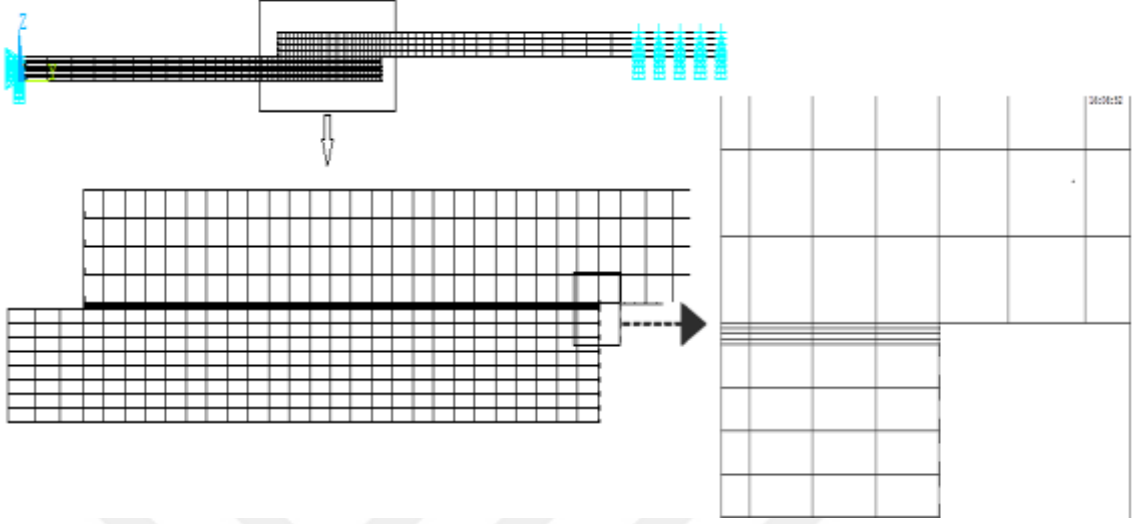


Anlık kopma bölgesi (ÖKH)

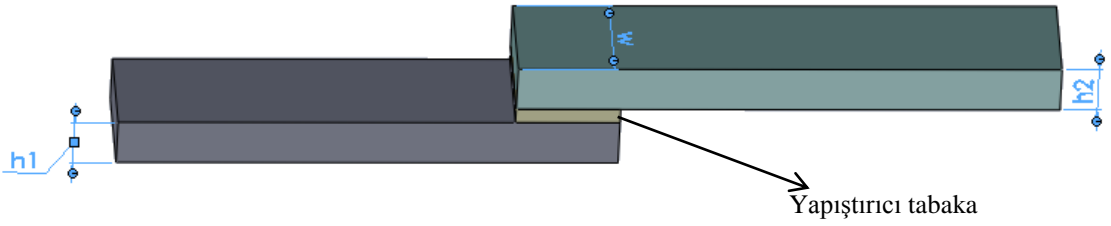
## 4.2. Nümerik Bulgular

Nümerik analizde incelenen FM73 yapıştırıcı malzeme ve alt levha üzerindeki gerilme hatları aşağıda grafikler şeklinde verilmiştir. Yapıştırma bağlantılarını oluşturan alt ve üst levhaların kalınlıklarının gerilme dağılımlarına etkilerini incelemek üzere önce alt ve üst levha kalınlıkları birbirine eşit alınarak bunların gerilme dağılımlarına etkileri incelendi. Daha sonra levha kalınlıkları birbirine göre değiştirilerek bunların AB ve BC hattı boyunca gerilme dağılımları üzerindeki etkileri araştırıldı. Daha sonra levha kalınlığı sabit tutulup bindirme uzunluğunun gerilme dağılımı üzerindeki etkileri

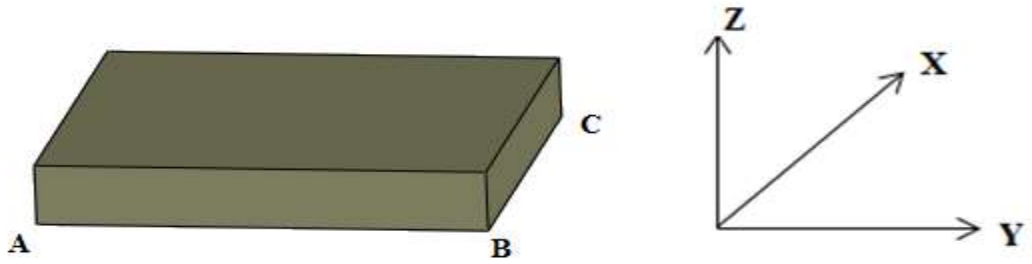
araştırıldı. Gerilme grafikleri farklı bindirme uzunlukları ve levha kalınlıklarına en düşük hasar yükü uygulanarak elde edilmiştir.



Şekil 4.1. Bindirme uzunluğu 25 mm ve levha kalınlığı 3.2 mm olan yapıştırma bağlantısının meshlenmiş hali



Şekil 4.2. Tek bindirmeli yapıştırma bağlantısı üç boyutlu görünüşü



Şekil 4.3. Nümerik analizde yapıştırıcı tabakada incelenen AB ve BC gerilme hatları

### 4.3.Tek Bindirmeli Yapıştırma Bağlantılarının Numerik Hasar Analizi

Çizelge 4.12. Levha kalınlıklarının hasar yüküne etkisi

F(hasar yükü, N)	l (mm)	h1 = h2 (mm)	w (mm)
7640	12.5	1.6	25
8320	12.5	3.2	
8640	12.5	4.8	
8800	12.5	6.4	
8440	25	1.6	
12800	25	3.2	
15000	25	4.8	
15520	25	6.4	
10040	50	1.6	
17600	50	3.2	
18000	50	4.8	
25600	50	6.4	
12800	100	1.6	
20800	100	3.2	
25800	100	4.8	
28800	100	6.4	

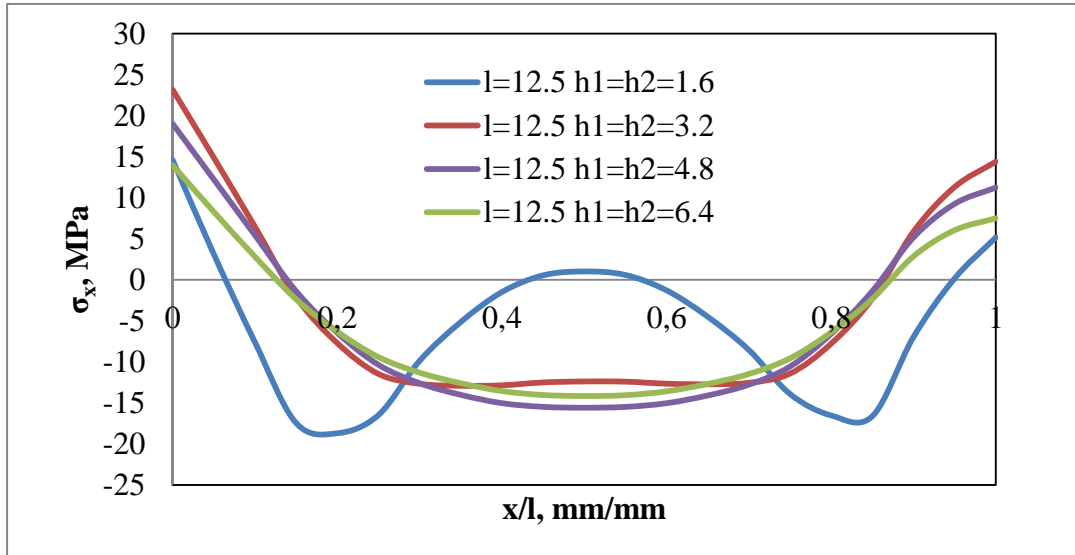
Çizelge 4.13. Farklı alt ve üst levha kalınlıklarının hasar yüküne etkisi

F(hasar yükü, N)	l (mm)	h1 (mm)	h2 (mm)	w (mm)
8440	25	1.6	1.6	25
9840	25	1.6	3.2	
11760	25	1.6	4.8	
13920	25	1.6	6.4	
9380	25	3.2	1.6	
12800	25	3.2	3.2	
14760	25	3.2	4.8	
14080	25	3.2	6.4	
9640	25	4.8	1.6	
12800	25	4.8	3.2	
15000	25	4.8	4.8	
15200	25	4.8	6.4	
13600	25	6.4	1.6	
13920	25	6.4	3.2	
15000	25	6.4	4.8	
15520	25	6.4	6.4	

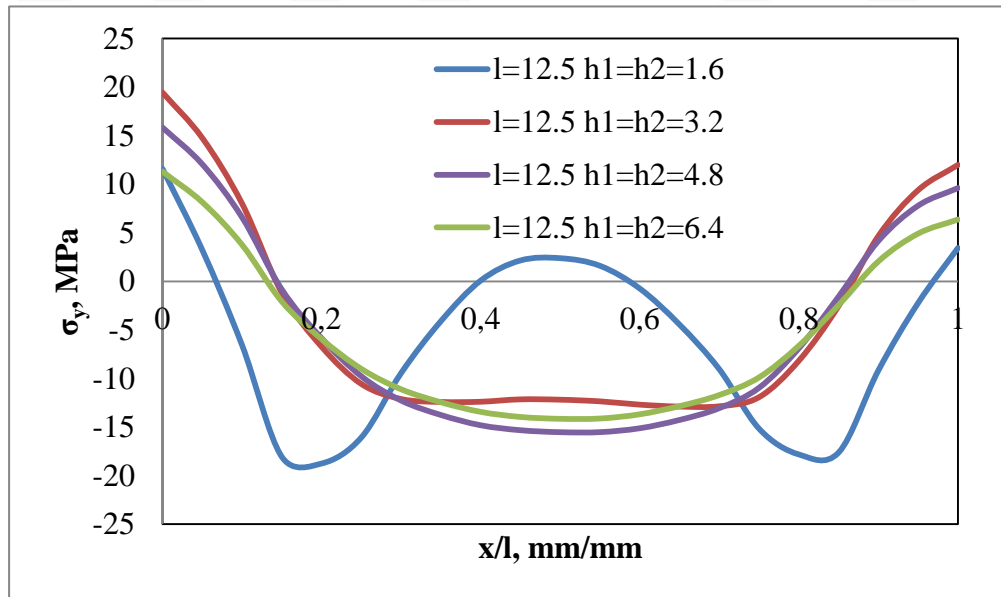


#### 4.4. Levha Kalınlıklarının Yapıştırıcı Malzemede Gerilme Dağılımlarına Etkisi

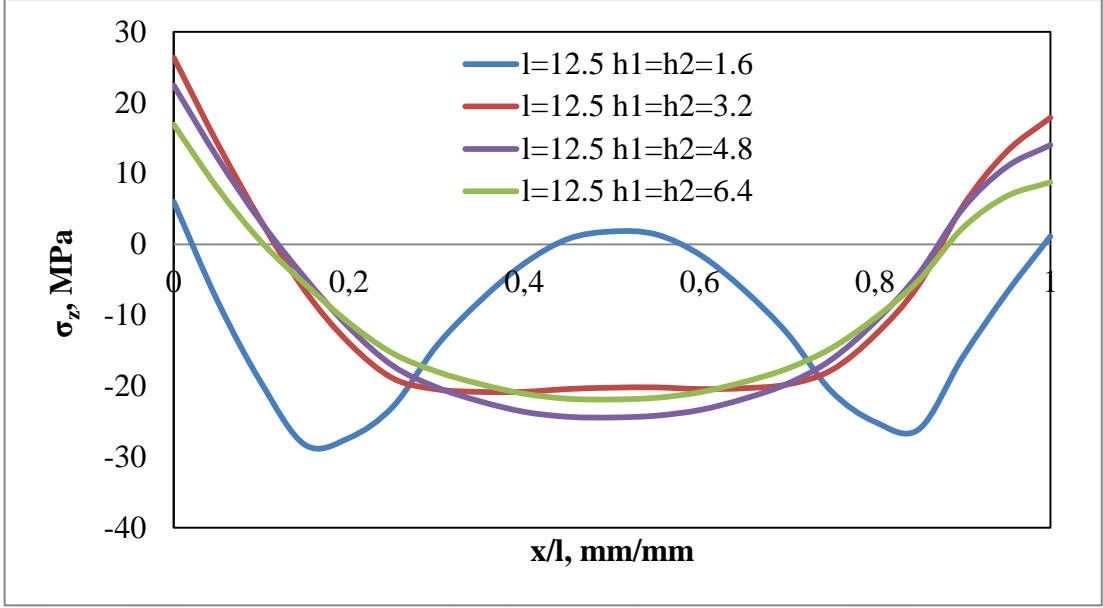
##### 4.4.1. $l=12.5$ mm bindirme uzunluğu ve farklı malzeme kalınlığı için AB hattı boyunca gerilme dağılımları



Şekil 4.4.  $l=12.5$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları

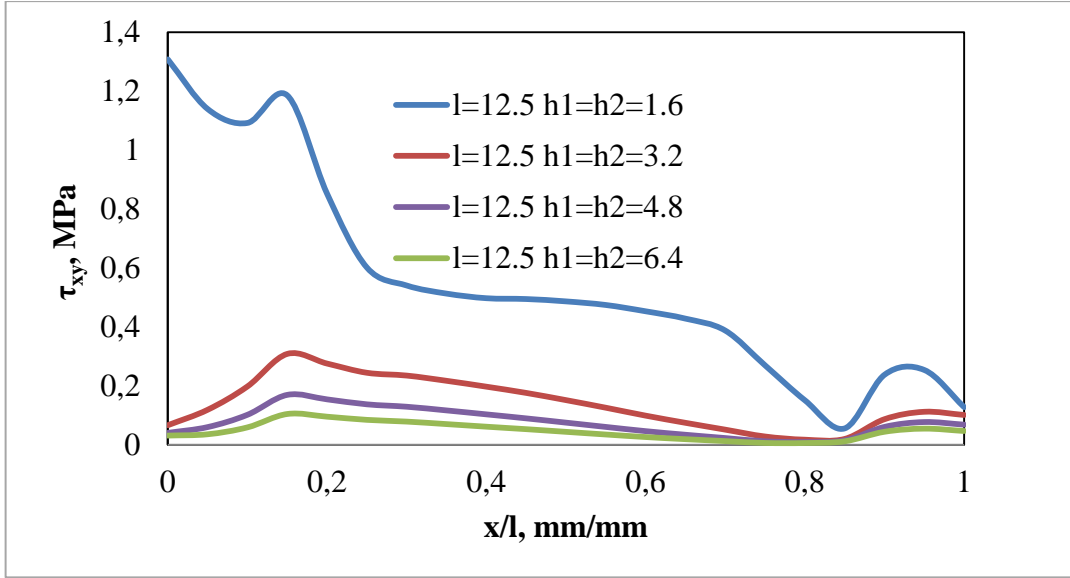


Şekil 4.5.  $l=12.5$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları

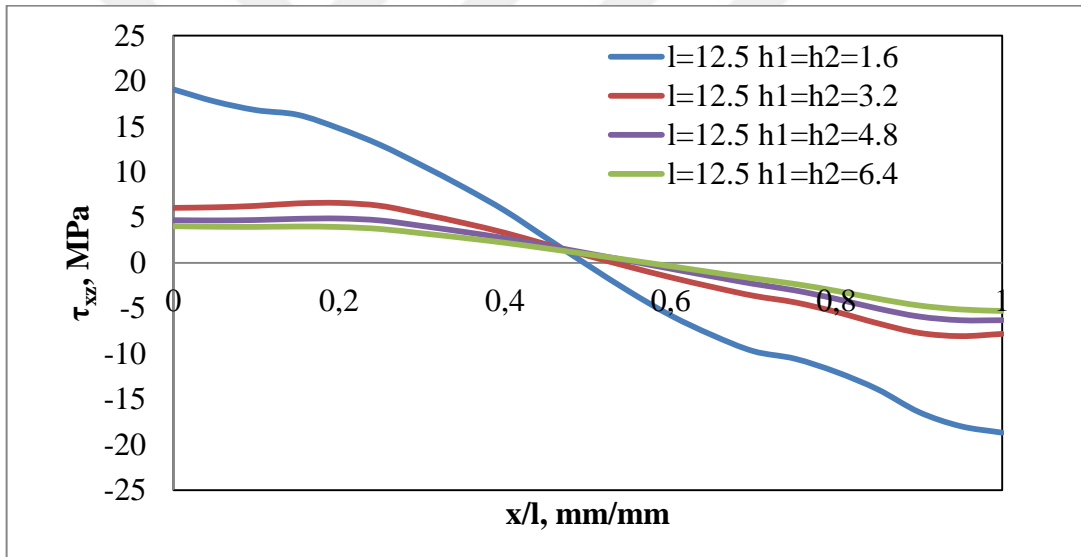


Şekil 4.6.  $l=12.5$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları

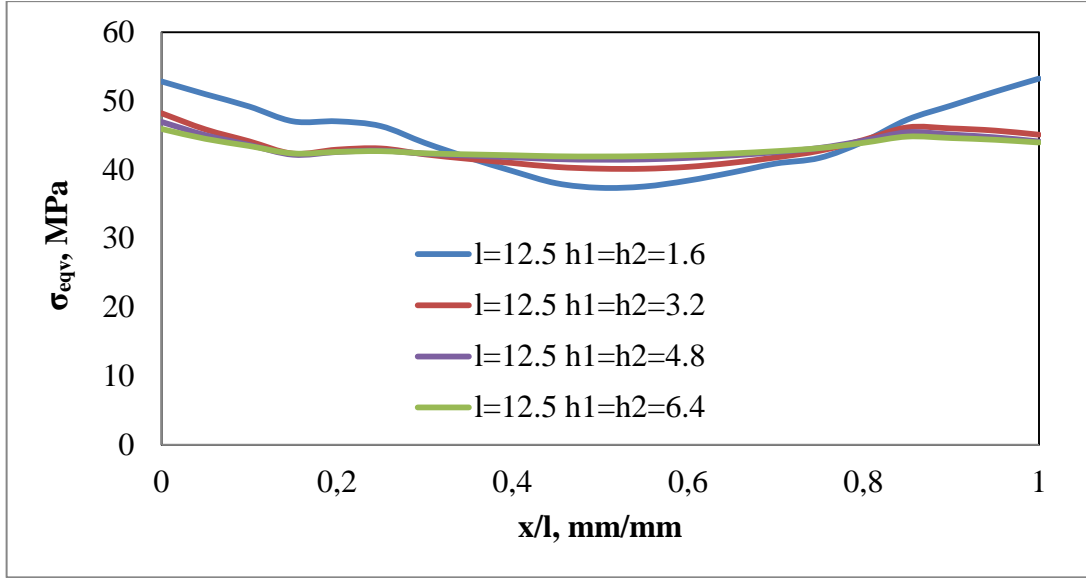
Şekil 4.4, 4.5, ve 4.6'da  $l=12.5$  mm bindirme uzunluğunda ve  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı tabakasının AB hattı boyunca  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilme dağılımları verilmiştir. Şekil incelendiğinde  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilmeleri uçlarda maksimum çıkarken bindirme uzunluğunun ortalarına doğru gerilmelerin düştüğü gözlenmektedir. Gerilmelerin bindirme uzunluğunun uçlarında yüksek çıkmasının sebebi, çekme esnasında kuvvet etki düzlemleri arasında  $((h_1+h_2)/2 + t)$  kadar bir fark oluşması ve bu farktan dolayı bindirme uçlarında oluşan eğilme momentlerin bindirme uçlarını açmalarıdır. Bu açmalardan dolayı bindirme uçlarında gerilmeler yüksek çıkmaktadır. Ayrıca bindirme uçlarında oluşan keskin kenarlar da gerilme yığılmalarına sebep olmakta ve bu da gerilmelerin yükselmesine neden olmaktadır.



Şekil 4.7.  $l=12.5$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları



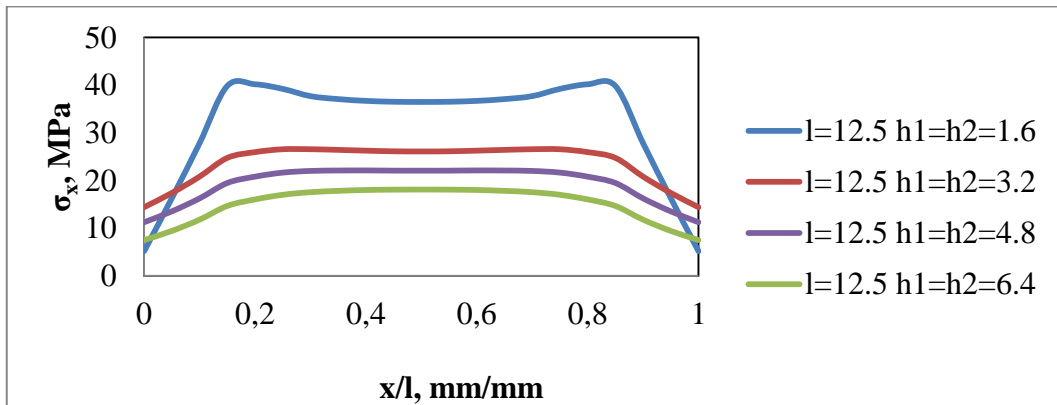
Şekil 4.8.  $l=12.5$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları



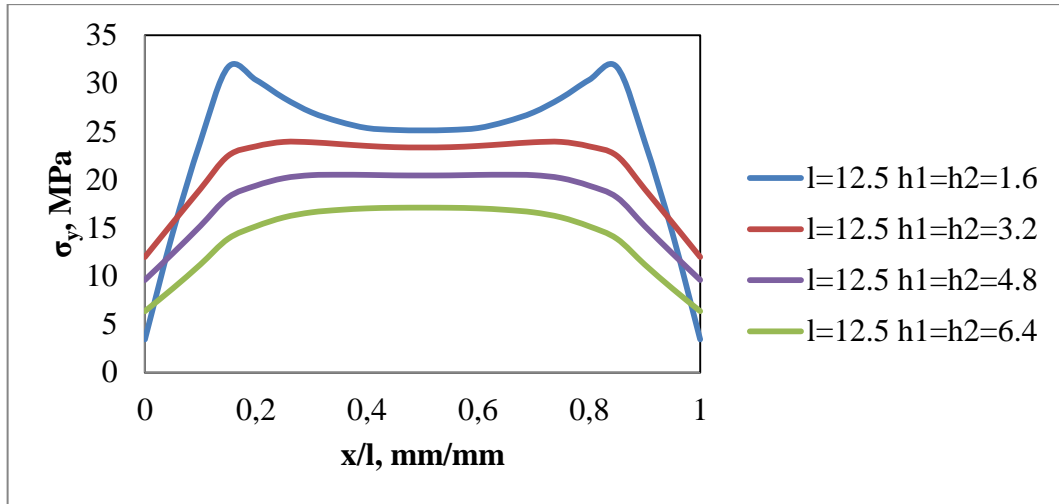
Şekil 4.9.  $l=12.5$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları

Şekil 4.7, 4.8 ve 4.9'da  $l=12.5$  mm ve  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm için AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $\tau_{xy}$  gerilmesi A noktasından B noktasına giderken ilk konumuna göre bir miktar artış göstermiştir.  $\tau_{xz}$  gerilmesi A ve B noktalarında en yüksek olup orta kısımlara doğru düşmektedir. Parça kalınlığı arttıkça gerilme değerleri düşmüştür.  $\sigma_{eqv}$  gerilmesi A ve B noktalarında maksimum olup parçanın orta kısımlarına doğru az miktarda bir düşüş gözlenmiştir.  $\sigma_{eqv}$  gerilmesinde sabit tutulan bindirme uzunluğu ve arttırılan levha kalınlığının gerilme değerlerine etkisi çok az olmuştur.

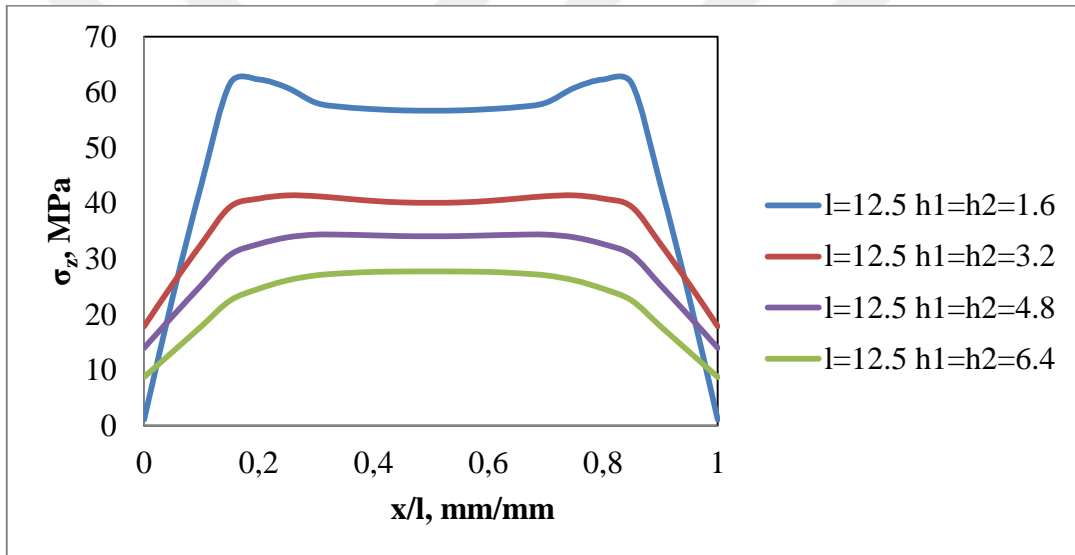
#### 4.4.2. $l=12.5$ mm bindirme uzunluğu ve farklı malzeme kalınlığı için BC hattı boyunca gerilme dağılımları



Şekil 4.10.  $l=12.5$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları

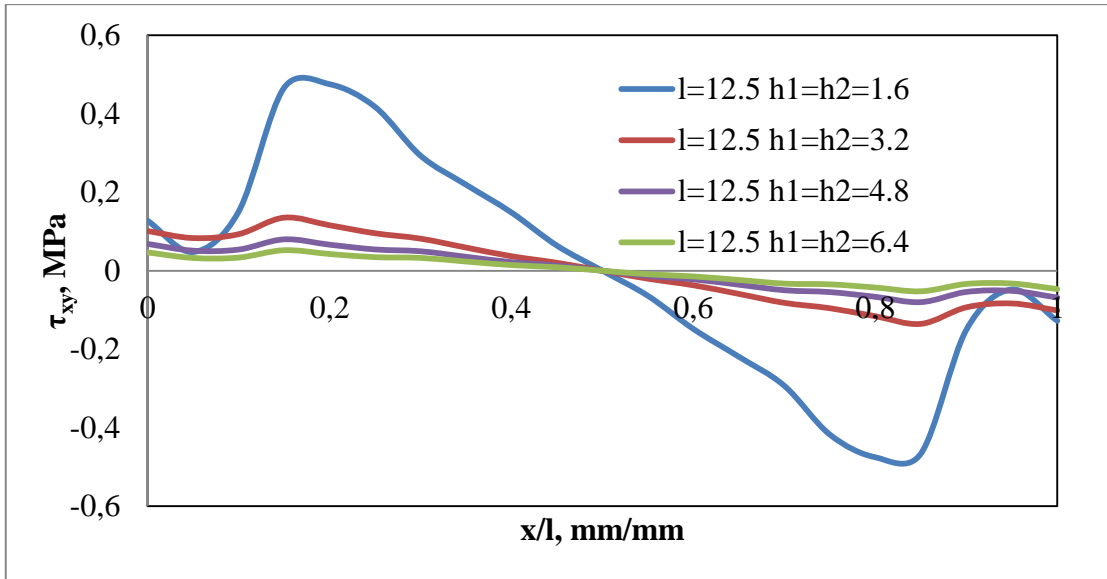


Şekil 4.11.  $l=12.5$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları

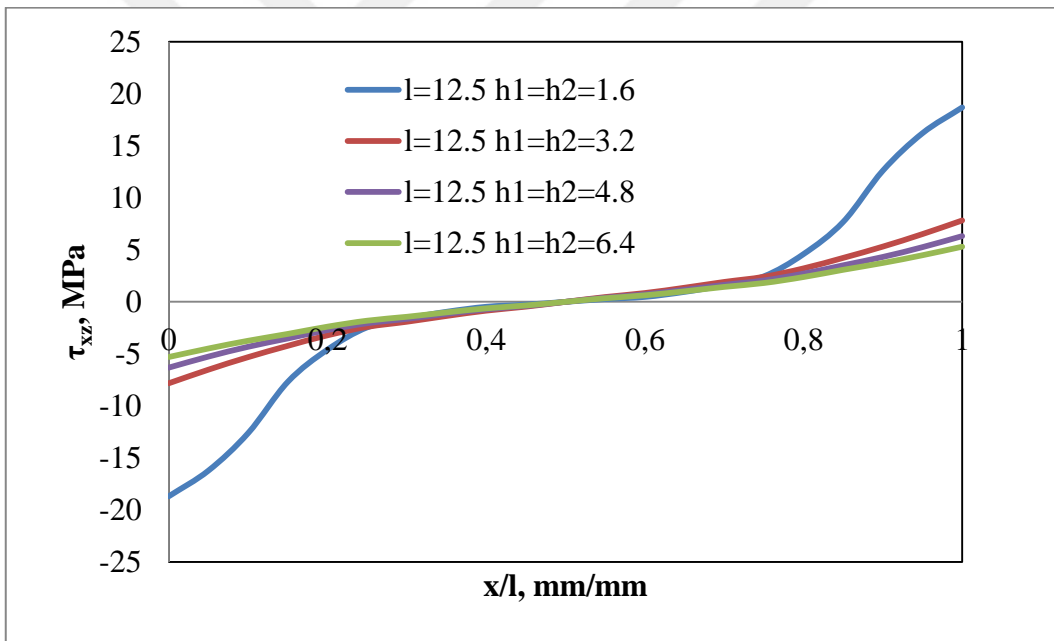


Şekil 4.12.  $l=12.5$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları

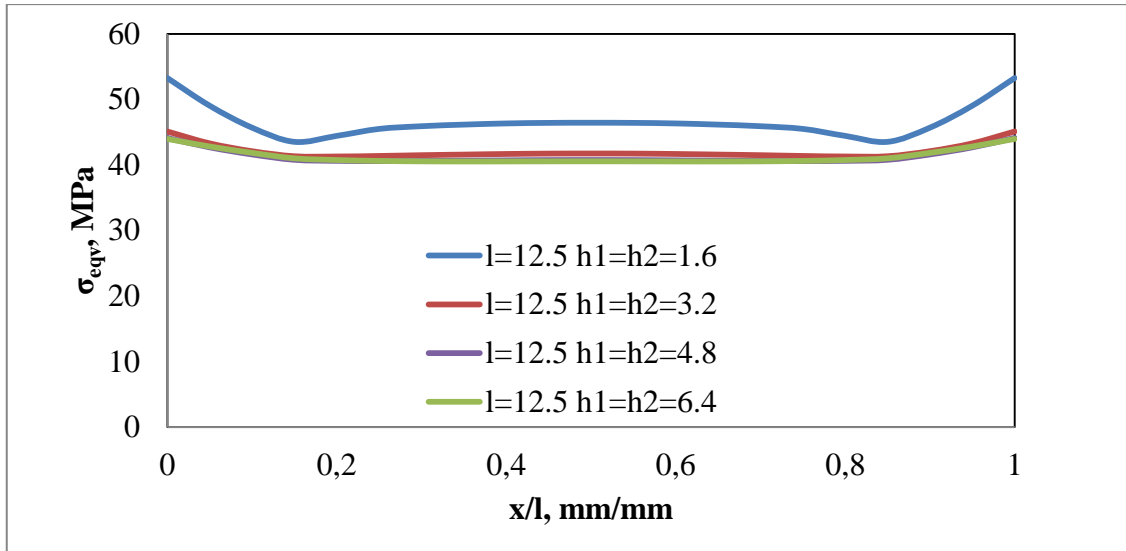
Şekil 4.10, 4.11 ve 4.12'de  $l=12.5$  mm ve  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm için BC hattı boyunca  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilme dağılımları verilmiştir. Gerilmeler uç noktalarda (B ve C noktası) minimum değerlerdedir. B noktasından yapıştırıcının orta bölgelerine doğru gerilme değerleri önce artıyor, orta kısımlarda yatay bir seyir izledikten sonra tekrar uç noktaya (C noktası) doğru düşmeye başlıyor. En yüksek gerilme değeri  $h=1.6$  mm için çıkmıştır. Artan levha kalınlığı bağlı olarak gerilme değerleri düşmüştür. AB hattında gerilmeler uçlarda en yüksek çıkarken, BC hattında tam tersi olmuştur.



**Şekil 4.13.**  $l=12.5$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları



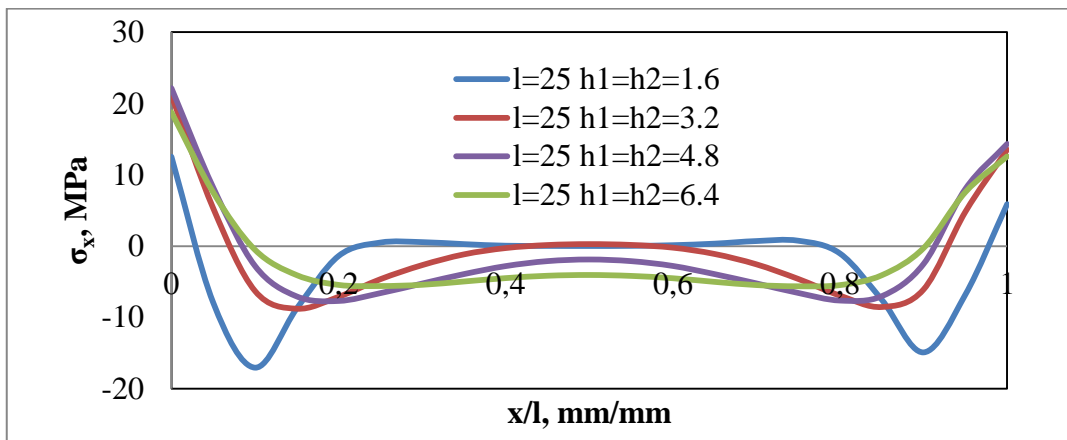
**Şekil 4.14.**  $l=12.5$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları



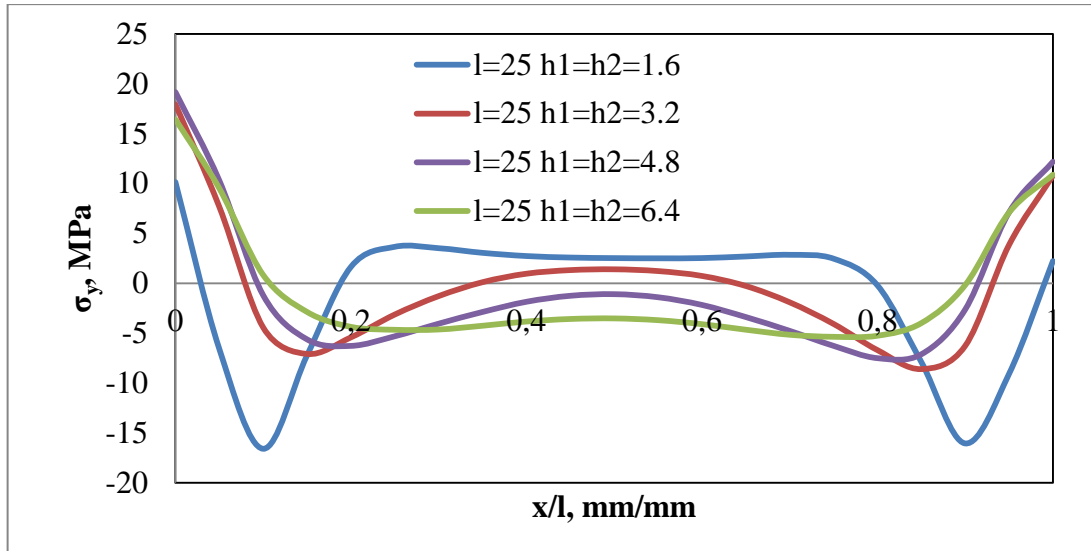
Şekil 4.15.  $l=12.5$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları

Şekil 4.13, 4.14 ve 4.15'te  $l=12.5$  mm ve  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm için BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $\tau_{xy}$  ve  $\tau_{xz}$  gerilmesi B ve C noktalarında en yüksektir.  $\sigma_{eqv}$  gerilmesi B ve C noktalarında maksimum olup parçanın orta kısımlarına doğru az miktarda bir düşüş gözlenmiştir.  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilmeleri için parça kalınlığının artırılmasının gerilme değerleri üzerindeki etkisi çok az olmuştur. Burada levha kalınlığının 1.6 mm'den 3.2 mm'ye çıkarılmasında etkili bir gerilme düşüşü gözlenirken, bu değer üstündeki kalınlıklar için etkili olmadığı söylenebilir.

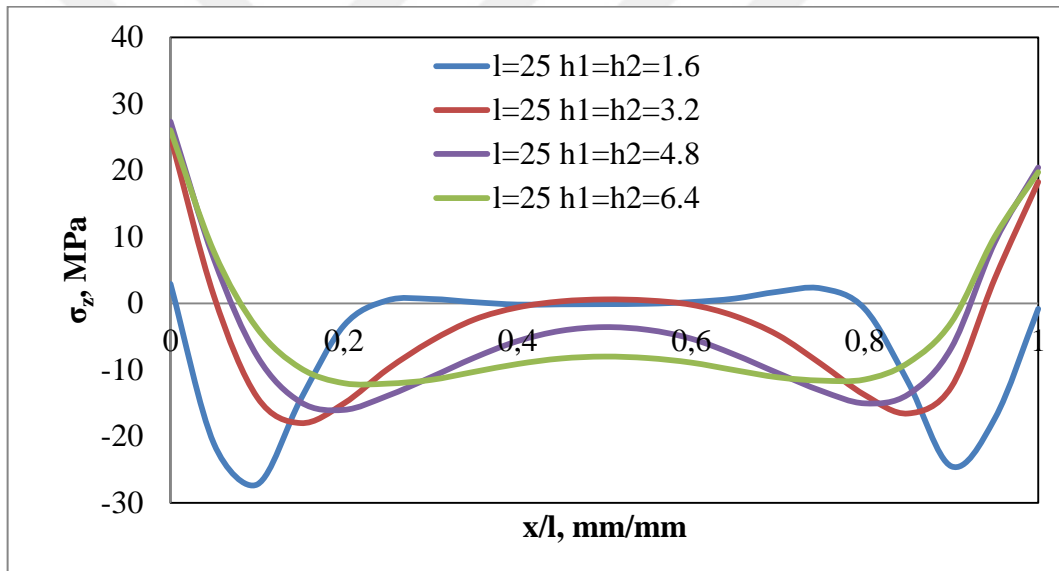
#### 4.4.3. $l=25$ mm bindirme uzunluğu ve farklı malzeme kalınlığı için AB hattı boyunca gerilme dağılımları



Şekil 4.16.  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları



Şekil 4.17.  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemedeki AB hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları

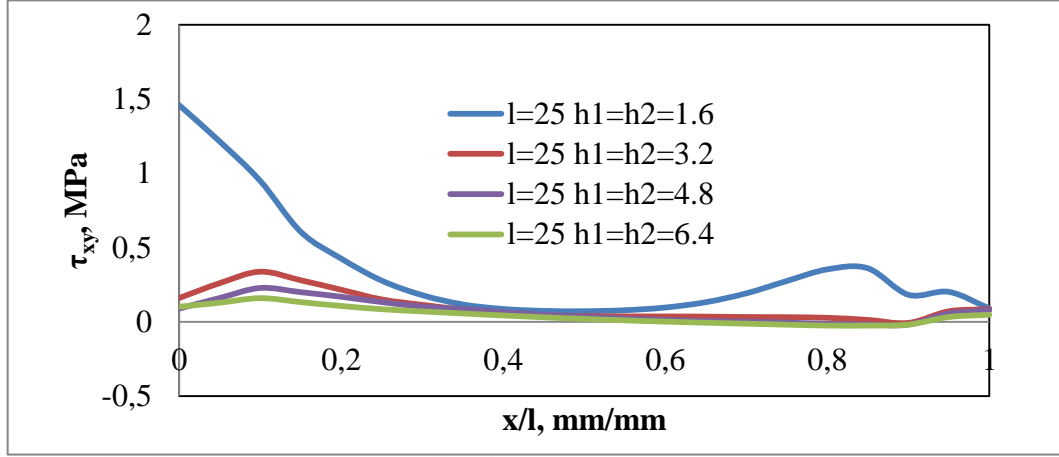


Şekil 4.18.  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemedeki AB hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları

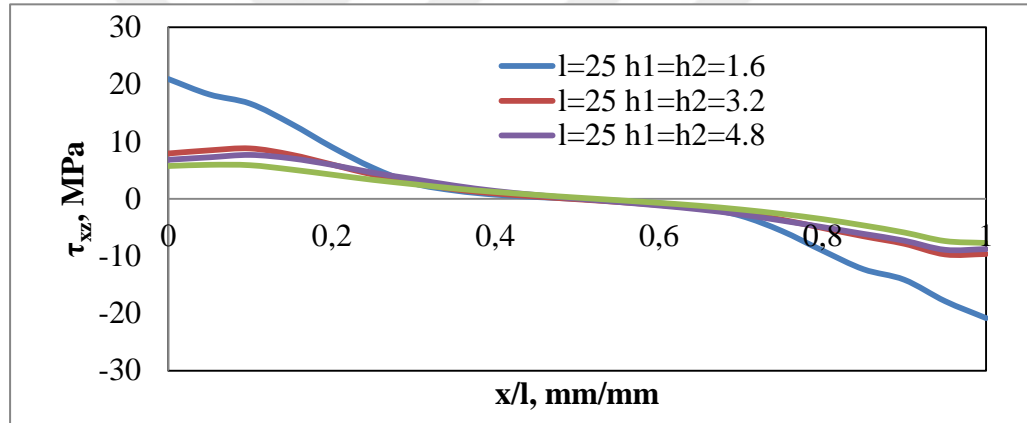
Şekil 4.16, 4.17 ve 4.18'de  $l=25$  mm ve  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm için AB hattı boyunca  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilme dağılımları verilmiştir. Gerilmeler uç noktalarda (A ve B noktası) maksimum olup yapıştırıcının orta bölgelerinde negatif değerlere düştükten sonra B noktasına doğru tekrar artmıştır. Parça kalınlığının artması yapıştırıcı bölgesindeki gerilmelerde belirgin bir düşüş sağlamıştır. Bindirme uçlarında yığılan gerilmelerin orta hatlara taşındığı anlaşılmaktadır.  $l=12.5$  ile karşılaştırıldığında, uç noktadaki gerilme farklarının levha



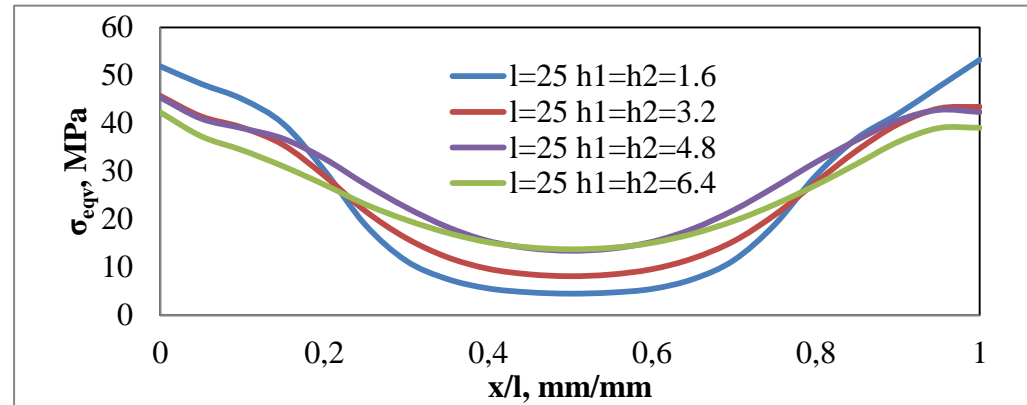
kalınlığının artışına bağlı olarak daha da azaldığı ve parçanın orta kısımlarının daha yatay bir çizgi oluşturarak sifıra yaklaştığı gözlenmiştir.



Şekil 4.19. l=25, h1=h2=1.6, h1=h2=3.2, h1=h2=4.8 ve h1=h2=6.4 mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları



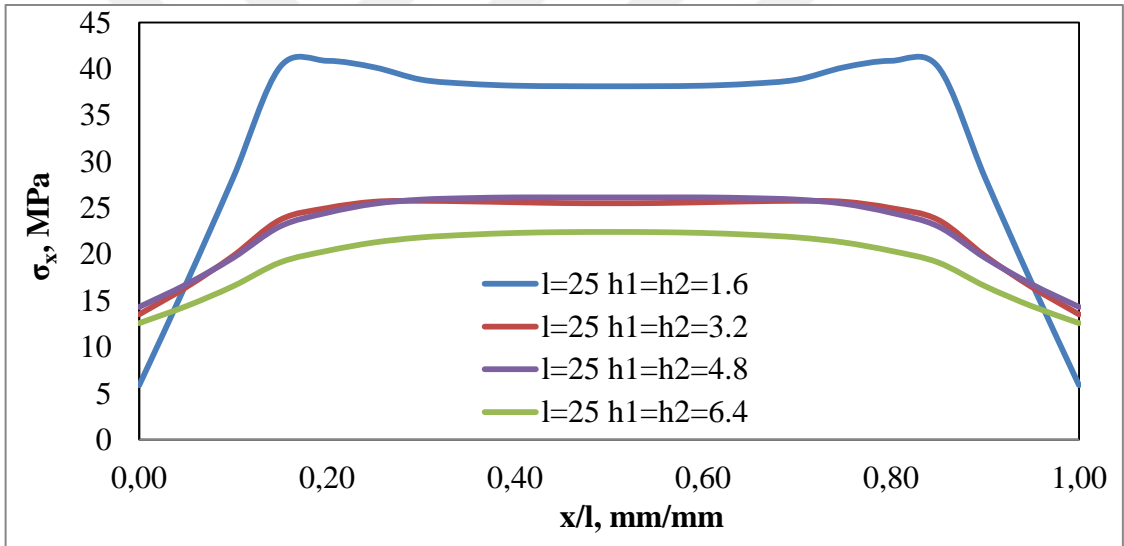
Şekil 4.20. l=25, h1=h2=1.6, h1=h2=3.2, h1=h2=4.8 ve h1=h2=6.4 mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları



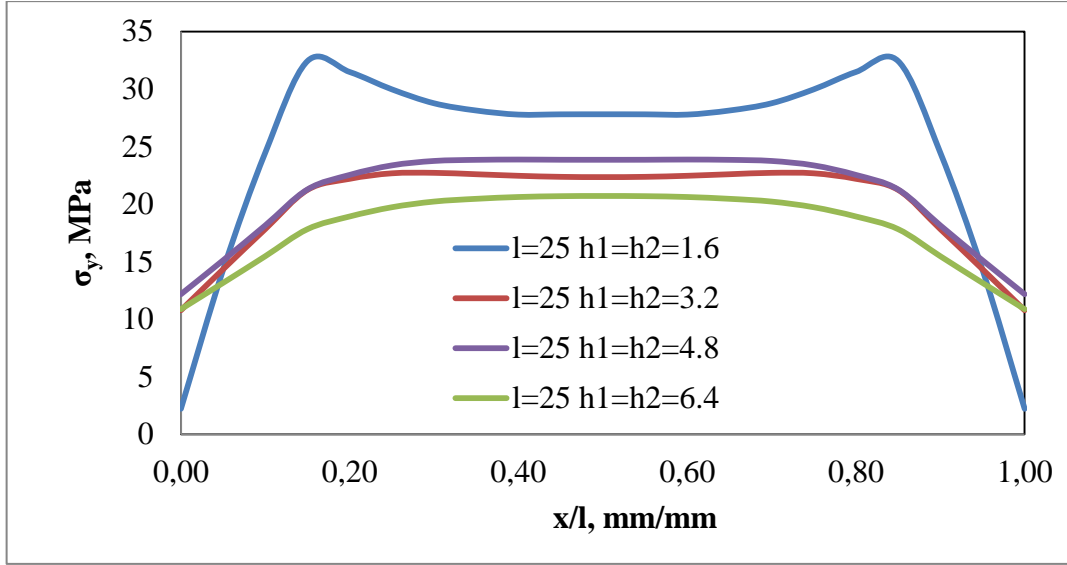
Şekil 4.21. l=25, h1=h2=1.6, h1=h2=3.2, h1=h2=4.8 ve h1=h2=6.4 mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları

Şekil 4.19, 4.20 ve 4.21'de  $l=25$  mm ve  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm için AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $\tau_{xy}$  ve  $\tau_{xz}$  gerilmesi bindirme uçlarında yükselmekte, orta hatlarda ise düşük bir seyir izlemektedir. Levha kalınlığının 1.6 mm'den 3.2 mm'ye çıkarılması gerilme değerlerinde büyük düşüş sağlarken, bu noktadan sonraki değerlerde ciddi bir farklılık olmamıştır.  $\sigma_{eqv}$  gerilmesi A ve B noktalarında maksimum olup parçanın orta kısımlarına doğru ciddi miktarda bir düşüş gözlenmiştir. Levha kalınlığının artırılması gerilmeleri düşürmüştür.  $l=12.5$  ile karşılaştırıldığında  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$  gerilme değerlerinin çok farklılaşmadığı,  $\sigma_{eqv}$  gerilmesinin orta kısımlara daha çok aktarıldığı gözlenmiştir.

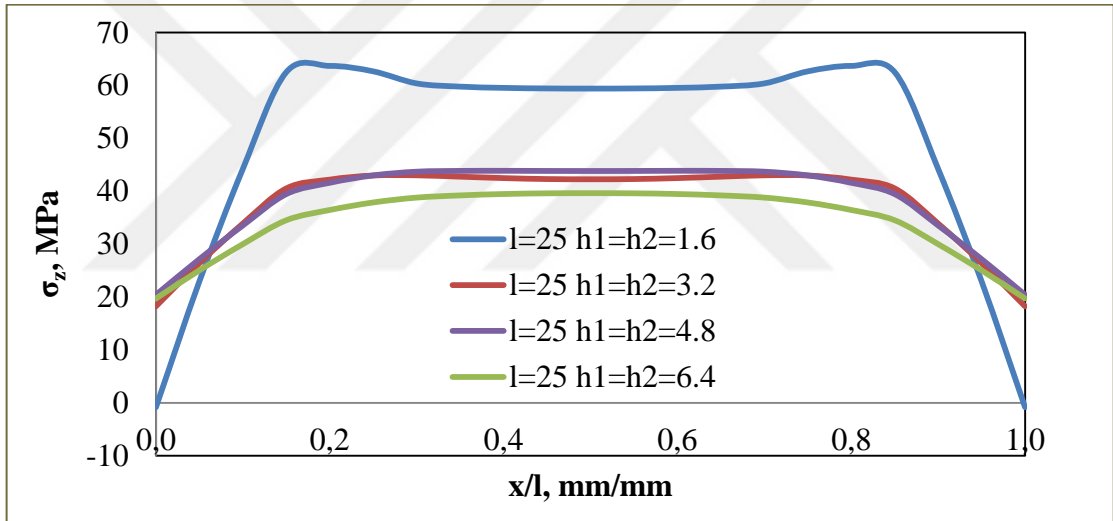
#### 4.4.4. $l=25$ mm bindirme uzunluğu ve farklı malzeme kalınlığı için BC hattı boyunca gerilme dağılımları



Şekil 4.22.  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları

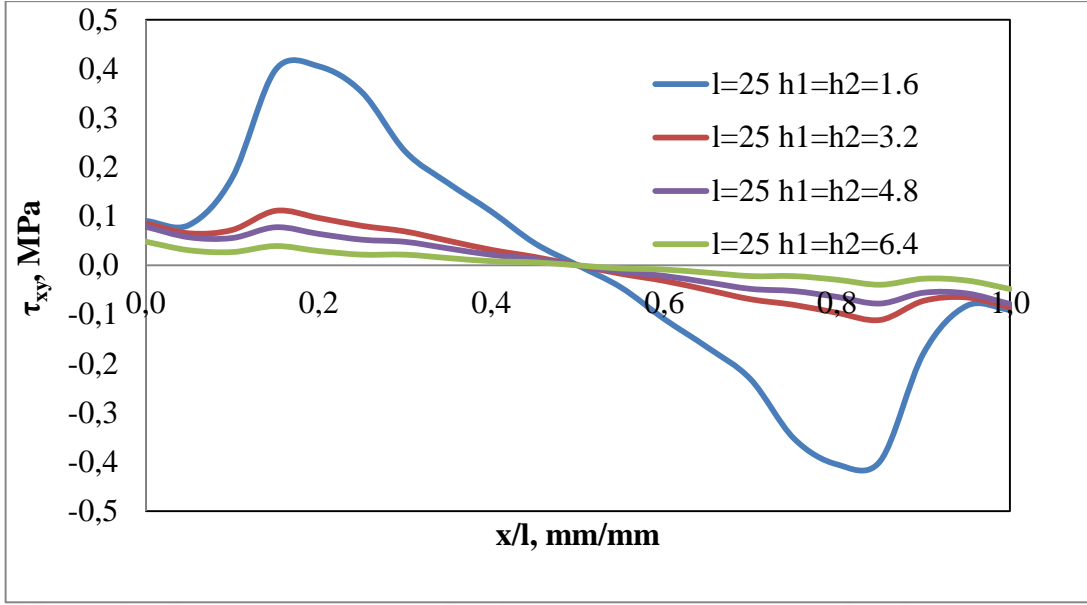


Şekil 4.23.  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları

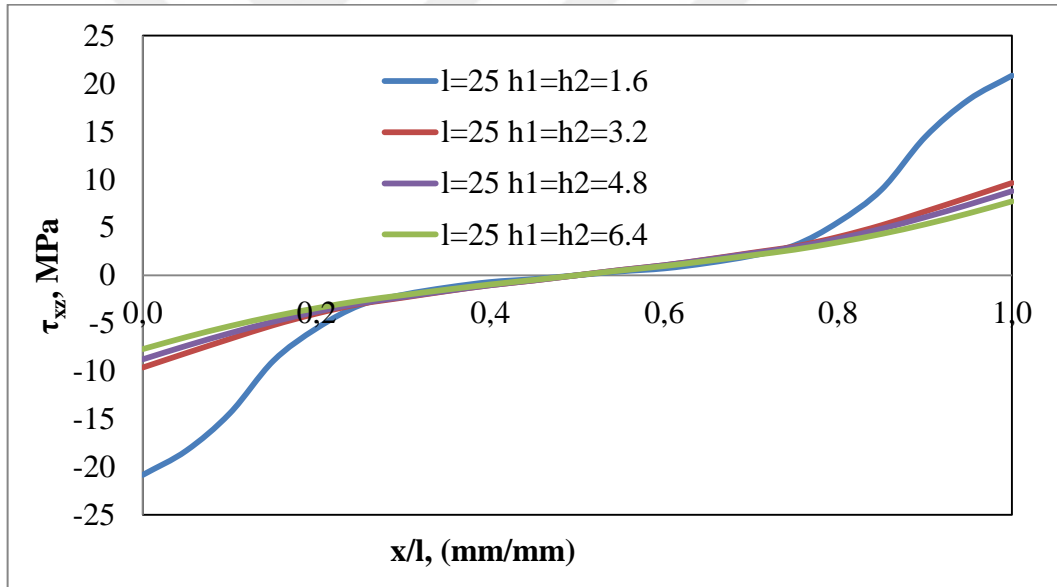


Şekil 4.24.  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları

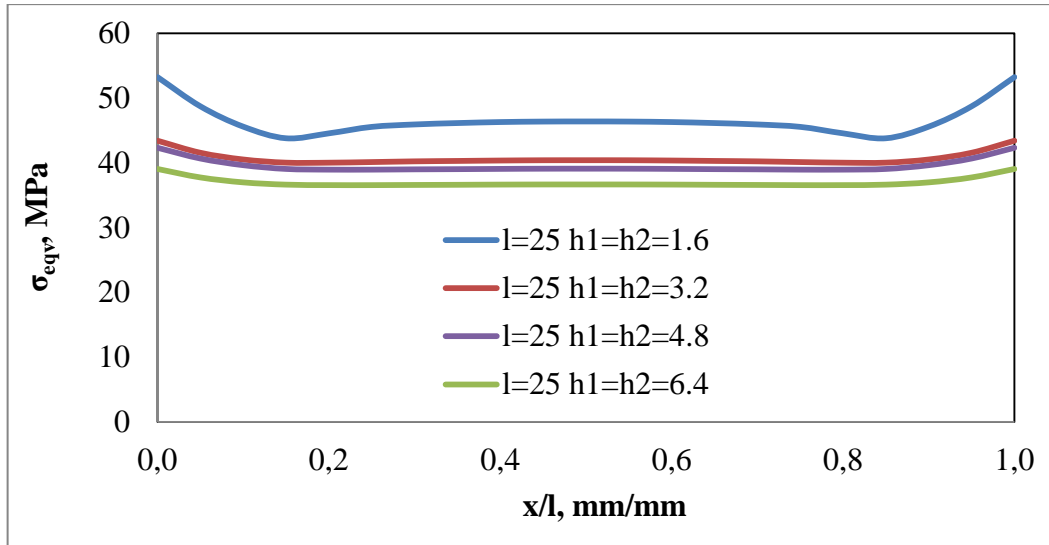
Şekil 4.22, 4.23 ve 4.24'te  $l=25$  mm ve  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm için BC hattı boyunca  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilme dağılımları verilmiştir. Gerilmeler uç noktalarda (B ve C noktası) minimum değerlerdedir. B noktasından yapıştırıcının orta bölgelerine doğru gerilme değerleri önce artıyor, orta kısımlarda yatay bir seyir izledikten sonra tekrar uç noktaya (C noktası) doğru düşmeye başlıyor. Levha kalınlığının 1.6 mm'den 3.2 mm'ye çıkarılması orta hatlardaki gerilmeleri ciddi oranda düşürmüştür.  $l=12.5$  mm ile karşılaştırıldığında  $h=3.2$  ve  $h=4.8$  mm değerleri için gerilme değerlerinin birbirine yakınlığı,  $h=6.4$  için ise pek değişmediği söylenebilir.



Şekil 4.25.  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları



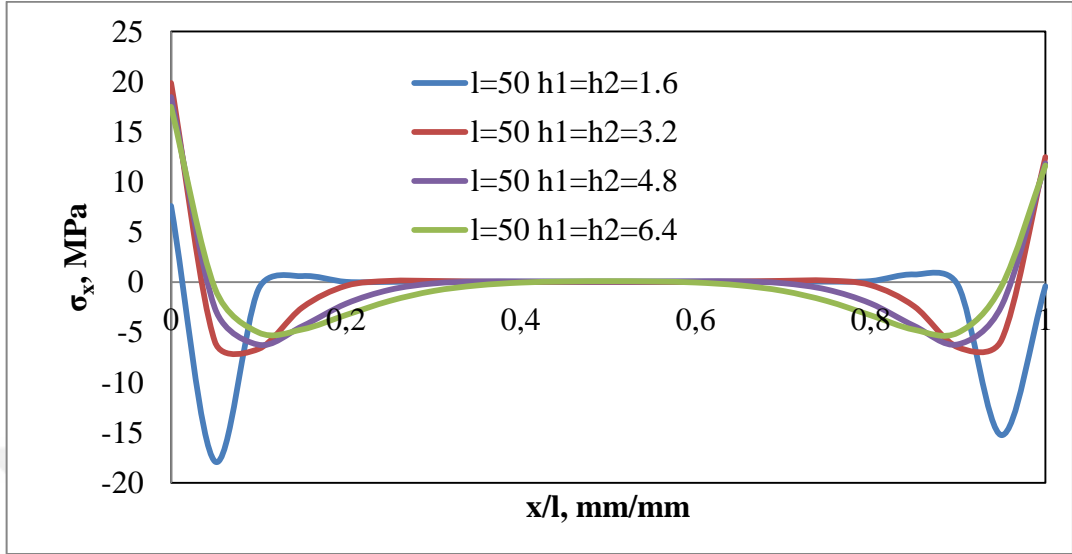
Şekil 4.26.  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları



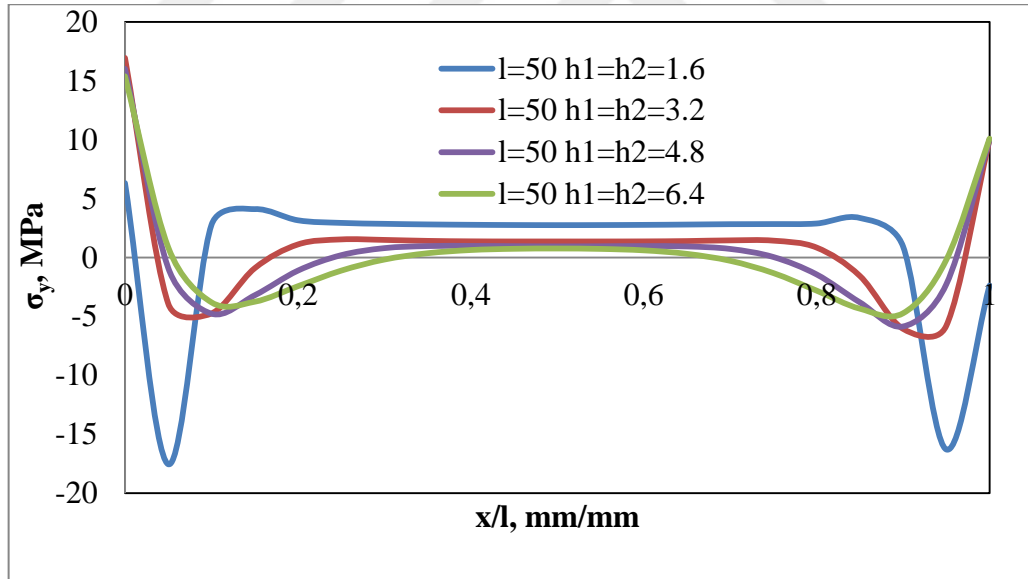
**Şekil 4.27.**  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları

Şekil 4.25, 4.26 ve 4.27'de  $l=25$  mm ve  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm için BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $\tau_{xy}$  ve  $\tau_{xz}$  gerilmesi bindirme uçlarında yükselmekte, orta hatlarda ise düşük bir seyir izlemektedir. Levha kalınlığının 1.6 mm'den 3.2 mm'ye çıkarılması gerilme değerlerinde büyük düşüş sağlarken, bu noktadan sonraki değerlerde ciddi bir farklılık olmamıştır.  $\sigma_{eqv}$  gerilmesi A ve B noktaları arasındaki hat boyunca ciddi bir gerilme düşüşü gözlenmemiştir. Levha kalınlığının arttırılması gerilmeleri düşürmüştür.  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$  gerilmeleri için parça kalınlığını 3.2 mm'nin üzerine çıkarılmasının gerilme değerleri üzerindeki etkisi çok az olmuştur.  $l=12.5$  bindirme uzunluğuna göre  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları benzer grafikler ortaya koymuştur.

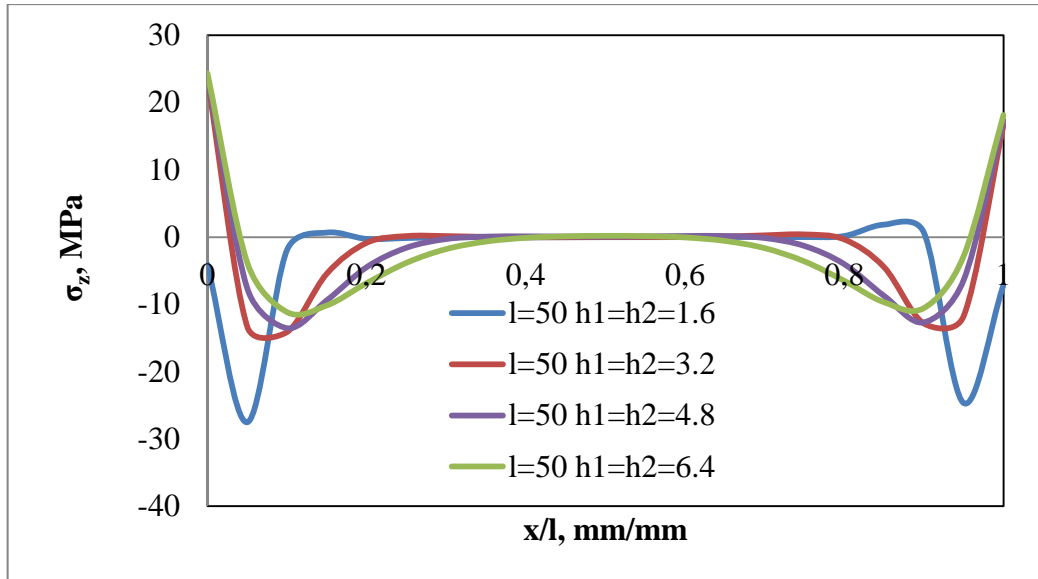
#### 4.4.5. $l=50$ mm bindirme uzunluğu ve farklı malzeme kalınlığı için AB hattı boyunca gerilme dağılımları



Şekil 4.28.  $l=50$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları

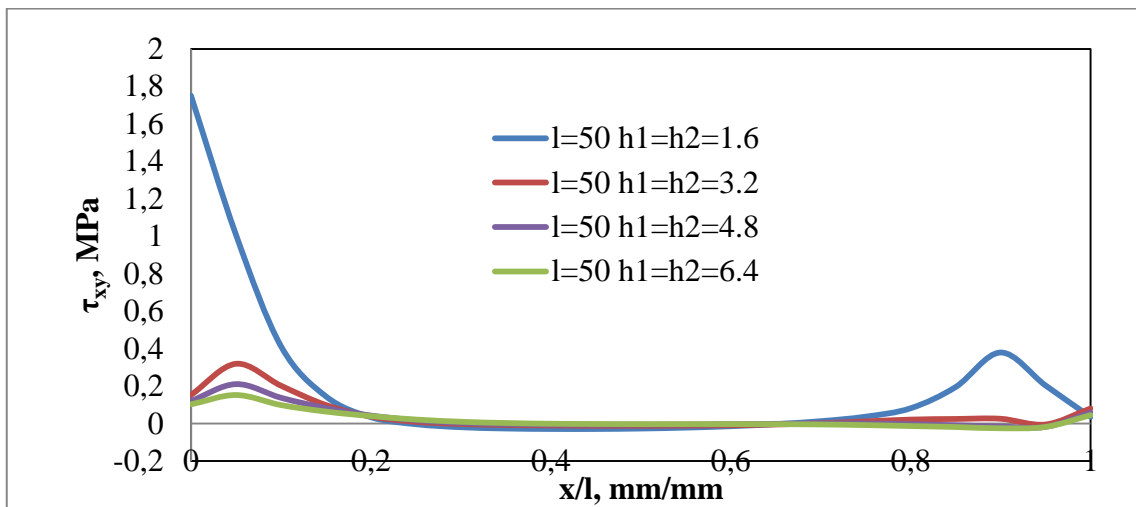


Şekil 4.29.  $l=50$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları

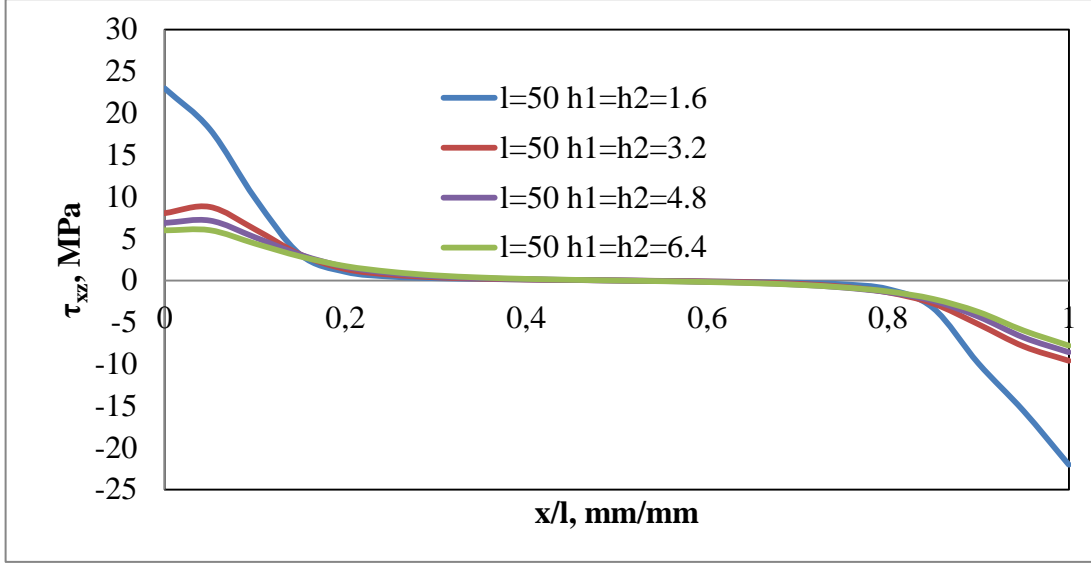


Şekil 4.30.  $l=50$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları

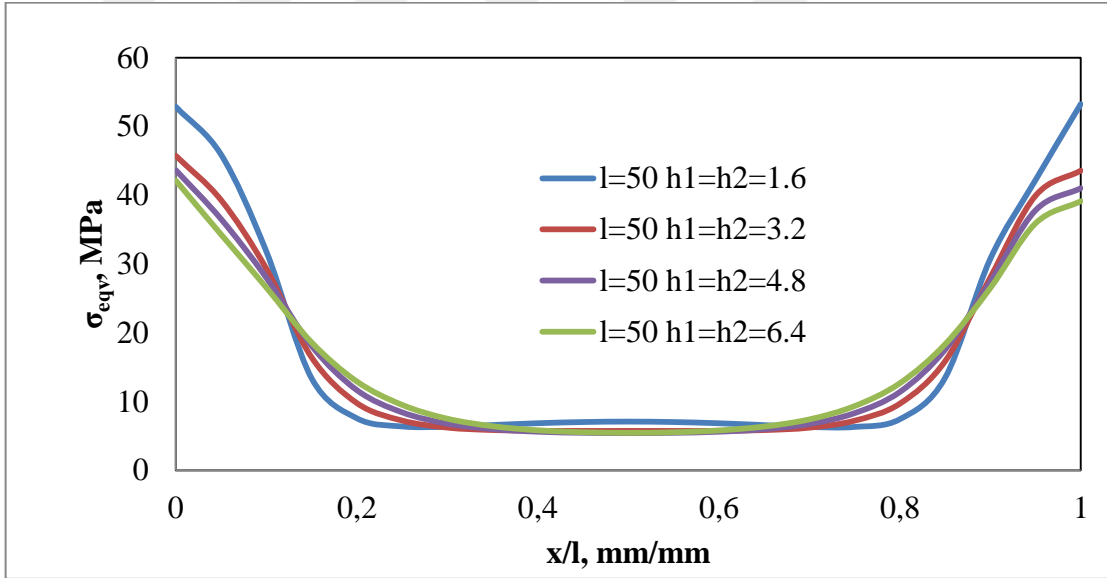
Şekil 4.28, 4.29 ve 4.30'da  $l=50$  mm ve  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm için AB hattı boyunca  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilme dağılımları verilmiştir. Gerilmeler bindirme uçlarında (A ve B noktası) maksimum olup yapıştırıcının orta bölgelerinde büyük düşüşler göstermiştir. Bindirme uzunluğu sabit tutulup parça kalınlığının artması yapıştırıcı bölgenin orta kısımlarındaki gerilmelerde küçük bir düşüş sağlamıştır. Bindirme uzunluğunun artışına bağlı olarak da  $l= 25$  mm ile kıyaslandığında uç bölgelerden orta kısımlara gidildikçe gerilmelerin daha fazla düştüğü ve yatay bir seyir izleyip sifira yaklaştığı gözlenmiştir.



Şekil 4.31.  $l=50$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları



Şekil 4.32.  $l=50$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları



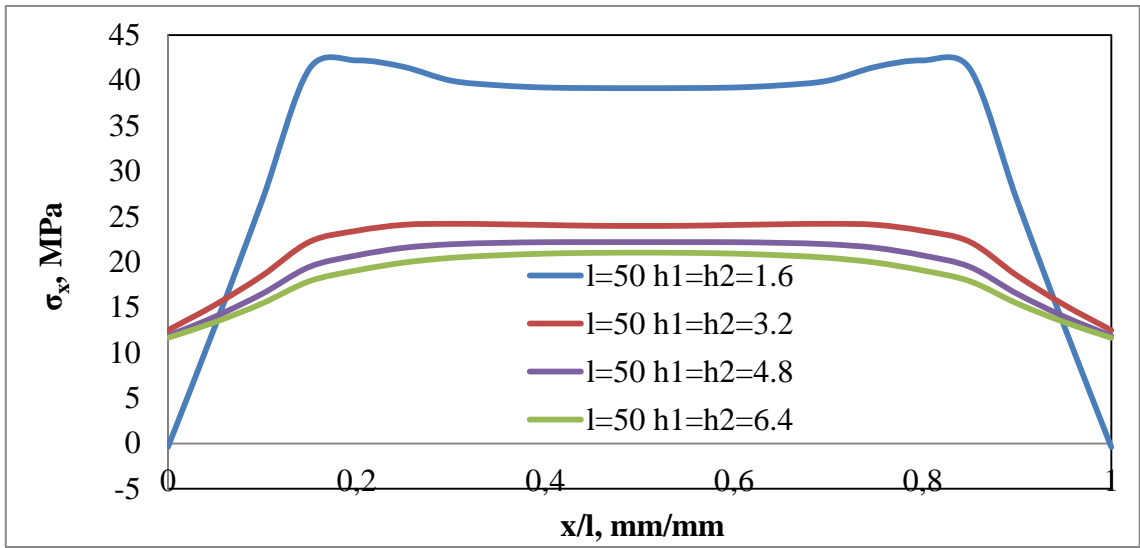
Şekil 4.33.  $l=50$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları

Şekil 4.31, 4.32 ve 4.33'te  $l=50$  mm ve  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm için AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $\tau_{xy}$  ve  $\tau_{xz}$  gerilmesi bindirme uçlarında yükselmekte, orta hatlarda ise düşük bir seyir izlemektedir. Levha kalınlığının 1.6 mm'den 3.2 mm'ye çıkarılması gerilme değerlerinde büyük düşüş sağlarken, bu noktadan sonraki değerlerde ciddi bir farklılık olmamıştır.  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$  gerilmeleri için bindirme uçlarında levha kalınlığını 3.2 mm'nin üzerine çıkarılmasının gerilme değerleri üzerindeki etkisi çok az olmuştur.  $\sigma_{eqv}$  gerilmesi A ve B noktalarında maksimum olup bütün levha kalınlıklarında parçanın orta

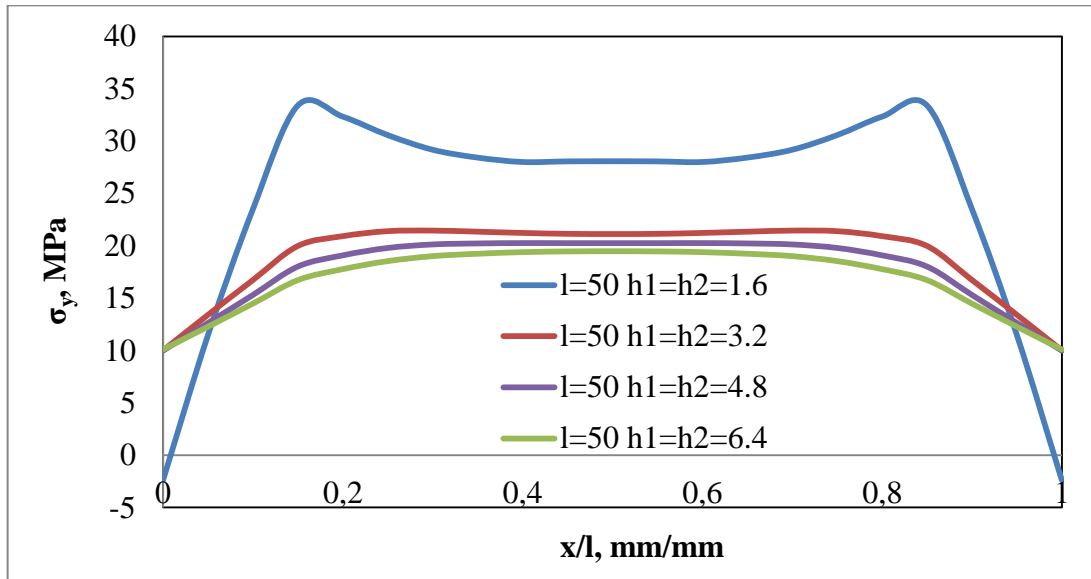


kısımlarına doğru ciddi bir düşüş gözlenmiştir. Gerilme değerleri bindirme uçlarında ve orta kısımlarda levha kalınlığı artmasına rağmen birbirine yakın çıkmıştır. Bindirme uzunluğunun artması da  $l=25$  ile kıyaslandığında, gerilme değerlerini birbirine yaklaştırmıştır.

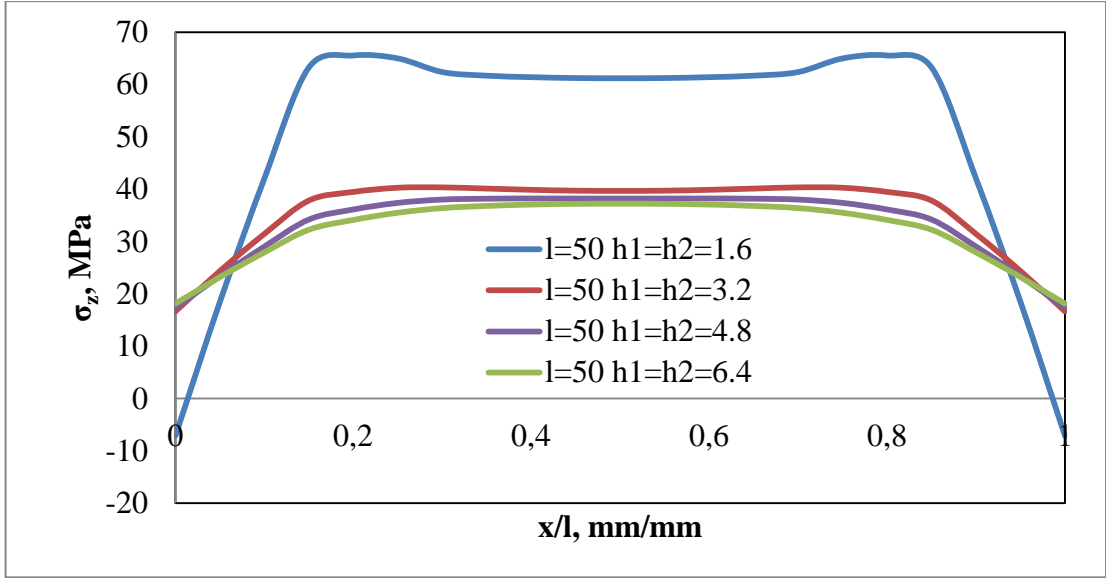
#### 4.4.6. $l=50$ mm bindirme uzunluğu ve farklı malzeme kalınlığı için BC hattı boyunca gerilme dağılımları



Şekil 4.34.  $l=50$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları

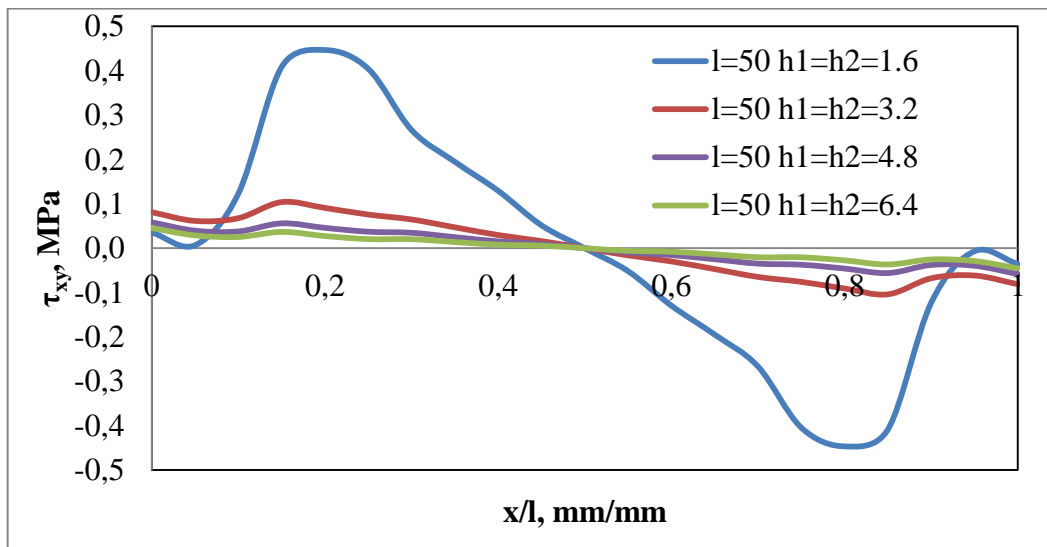


Şekil 4.35.  $l=50$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları

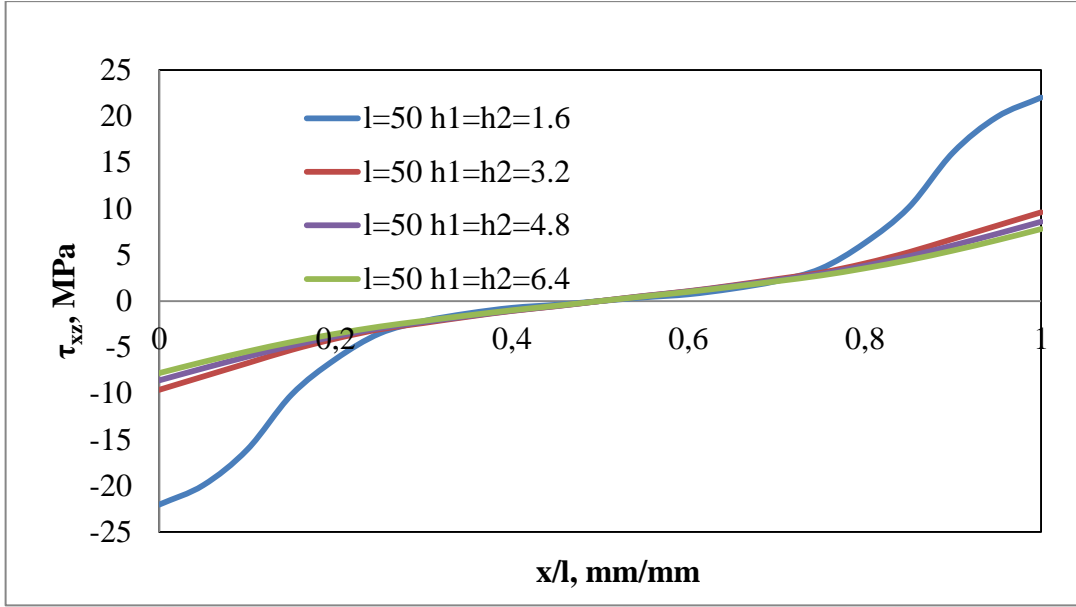


Şekil 4.36.  $l=50$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları

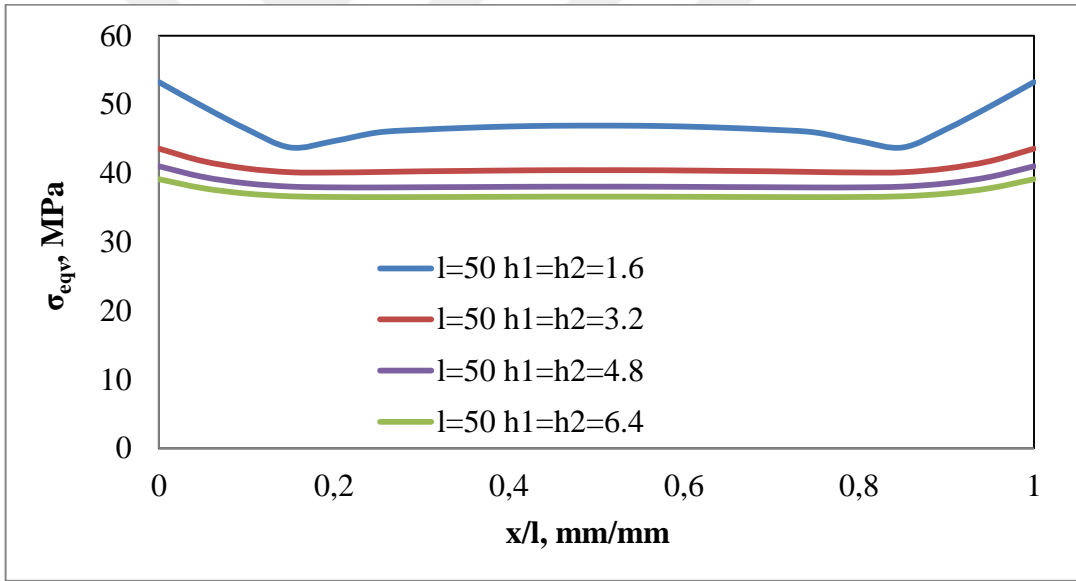
Şekil 4.34, 4.35 ve 4.36'da  $l=50$  mm ve  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm için BC hattı boyunca  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilme dağılımları verilmiştir. Gerilmeler uç noktalarda (B ve C noktası) minimum değerlerdedir. B noktasından yapıştırıcının orta bölgelerine doğru gerilme değerleri önce artıyor, orta kısımlarda yatay bir seyir izledikten sonra tekrar uç noktaya (C noktası) doğru düşmeye başlıyor.  $h=1.6$  mm için gerilme değerleri en yüksek çıkarken  $h=3.2$ , 4.8 ve 6.4 mm için birbirine yakın bir seyir izlemiştir. Levha kalınlığının 3.2 mm'nin üzerine çıkarılmasının gerilmeleri düşürme konusunda etkili olmadığı sonucu ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.37.  $l=50$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları



Şekil 4.38.  $l=50$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları

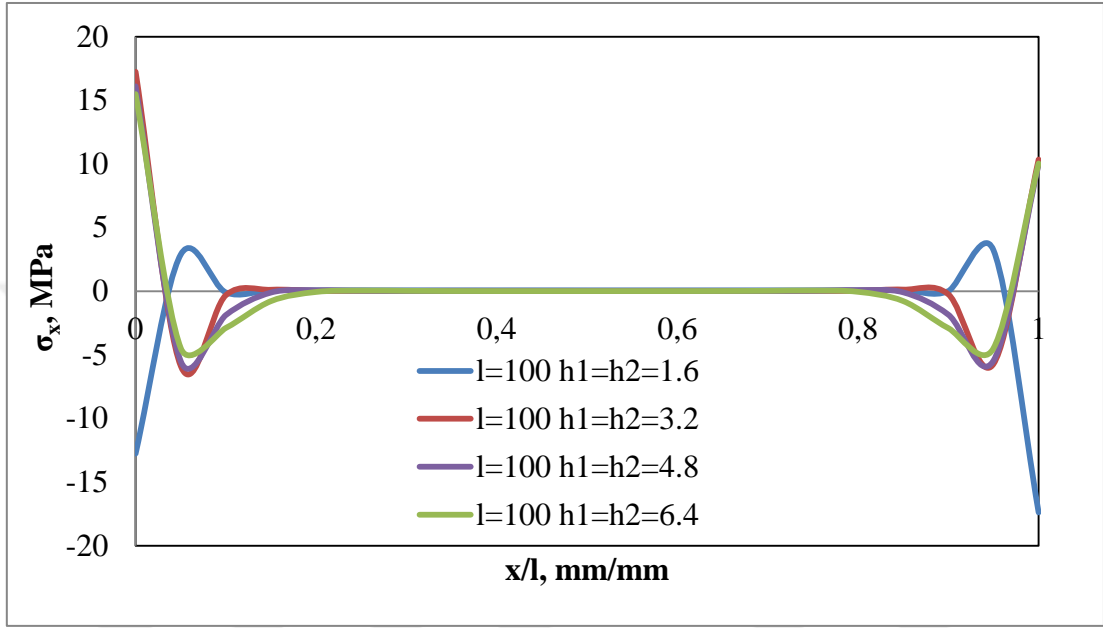


Şekil 4.39.  $l=50$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları

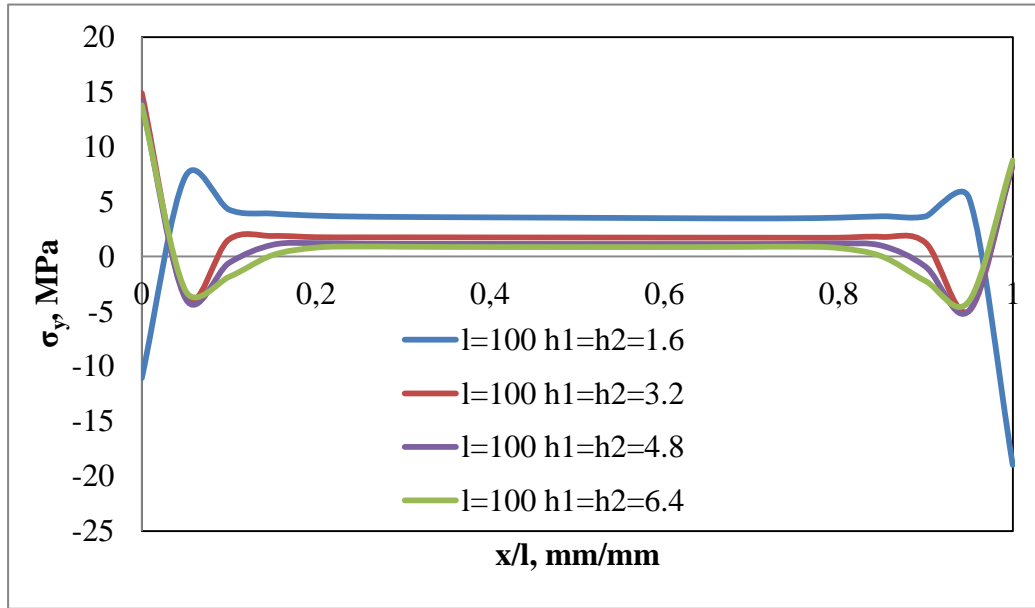
Şekil 4.37, 4.38 ve 4.39'da  $l=25$  mm ve  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm için BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $\tau_{xy}$  ve  $\tau_{xz}$  gerilmesi bindirme uçlarında yükselmekte, orta hatlarda ise düşük bir seyir izlemektedir. Levha kalınlığının 1.6 mm'den 3.2 mm'ye çıkarılması gerilme değerlerinde büyük düşüş sağlarken, bu noktadan sonraki değerlerde ciddi bir farklılık olmamıştır.  $\sigma_{eqv}$  gerilmesi A ve B noktaları arasındaki hat boyunca ciddi bir gerilme düşüşü gözlenmemiştir.  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$  gerilmeleri için parça kalınlığını 3.2 mm'nin üzerine

çıkarılmasının gerilme değerleri üzerindeki etkisi çok az olmuştur.  $\sigma_{eqv}$  gerilmesi B ve C noktalarında en yüksek olup orta hatlarda daha düşük yatay bir seyir izlemiştir.

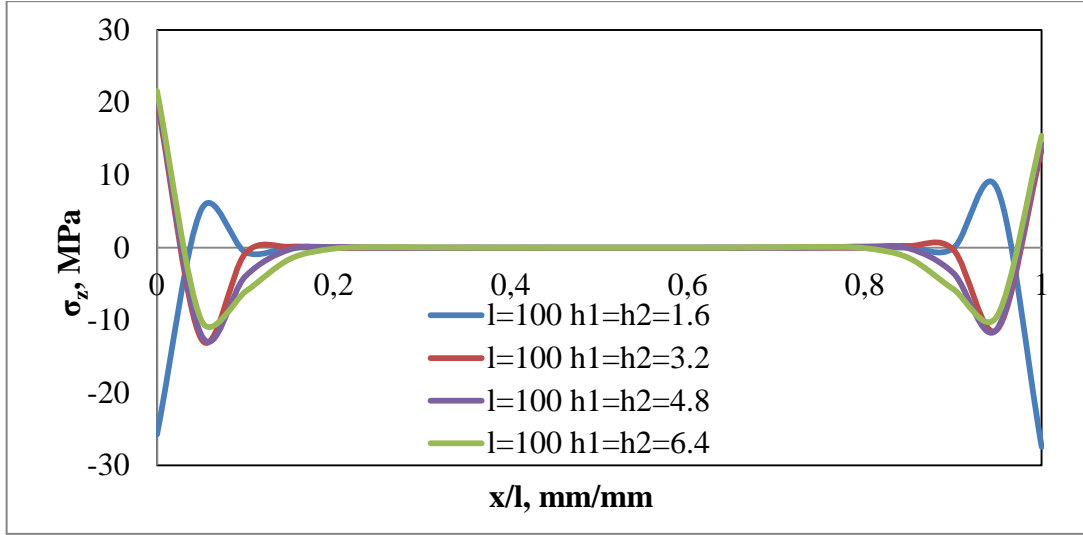
#### 4.4.7. $l=100$ mm bindirme uzunluğu ve farklı malzeme kalınlığı için AB hattı boyunca gerilme dağılımları



Şekil 4.40.  $l=100$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları

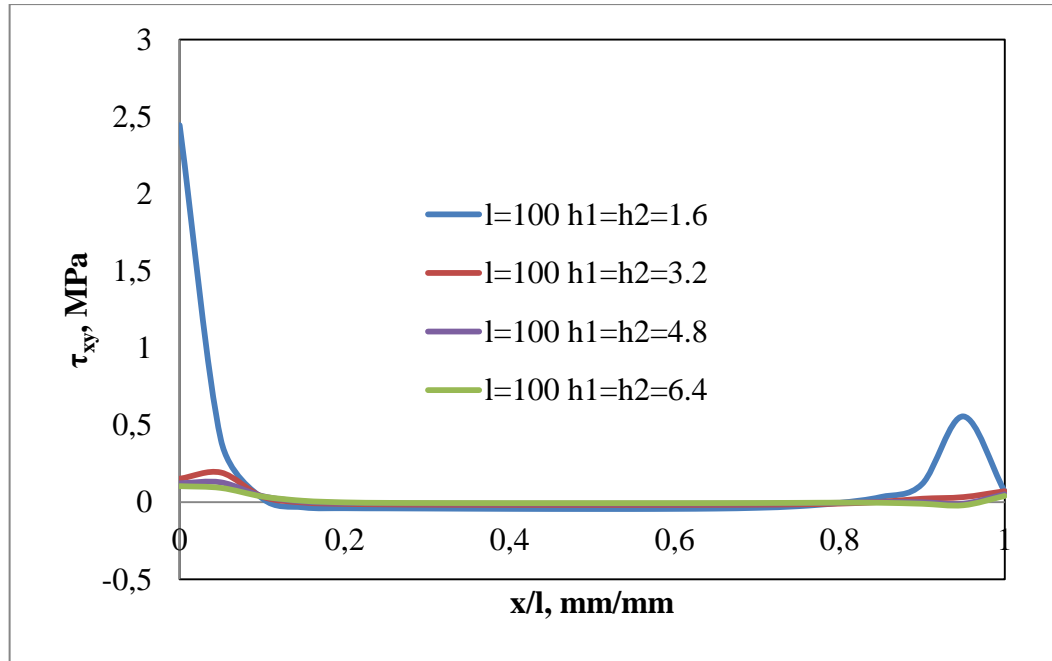


Şekil 4.41.  $l=100$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları

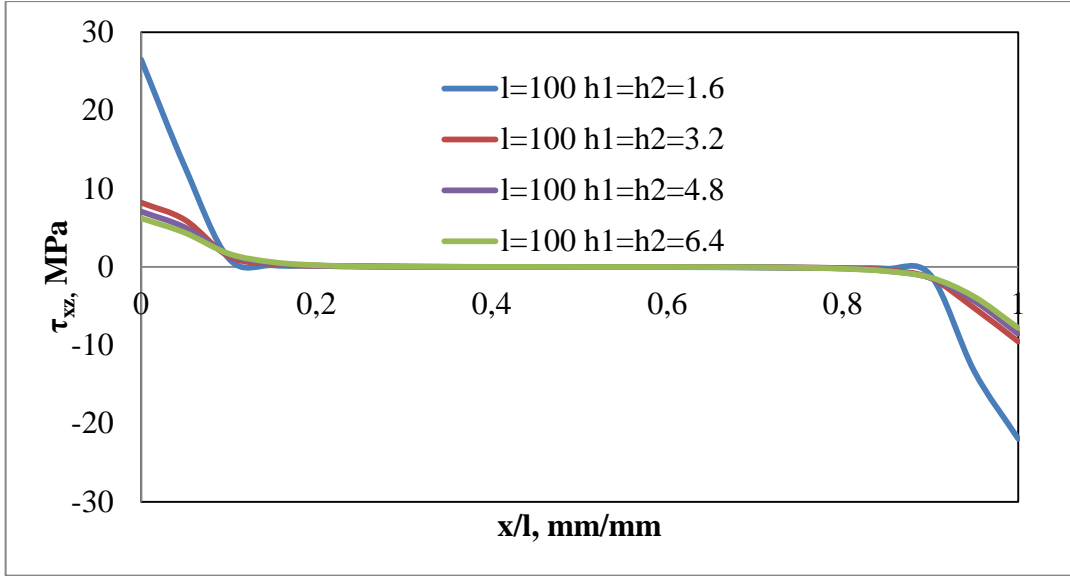


Şekil 4.42.  $l=100$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları

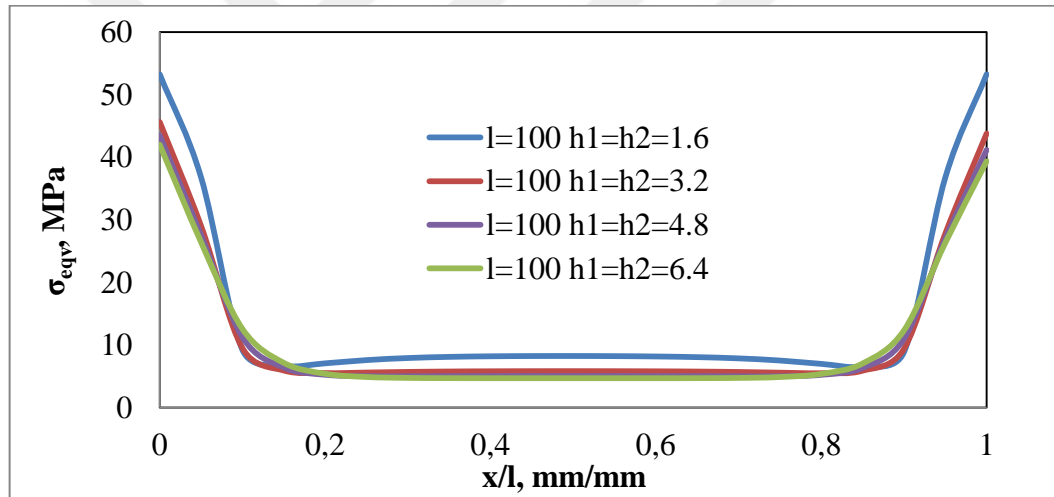
Şekil 4.40, 4.41 ve 4.421'de  $l=100$  mm ve  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm için AB hattı boyunca  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilme dağılımları verilmiştir. Gerilmeler bindirme uçlarında (A ve B noktası) maksimum olup yapıştırıcının orta bölgelerinde neredeyse sıfırlanmıştır. Burada levha kalınlığının artırılması gerilmeleri pek etkilememiştir. Bindirme uzunluğunun artışına bağlı olarak orta kısımlarda negatif bölgelerin azaldığı eğimin daha yatay bir seyir izleyip sıfıra yaklaştığı gözlenmiştir.



Şekil 4.43.  $l=100$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları



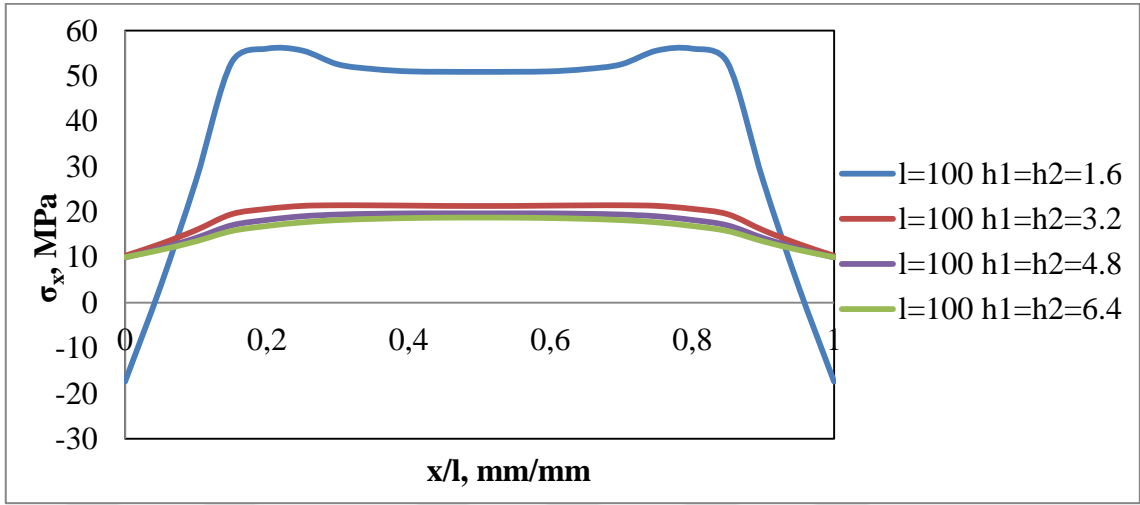
Şekil 4.44.  $l=100$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları



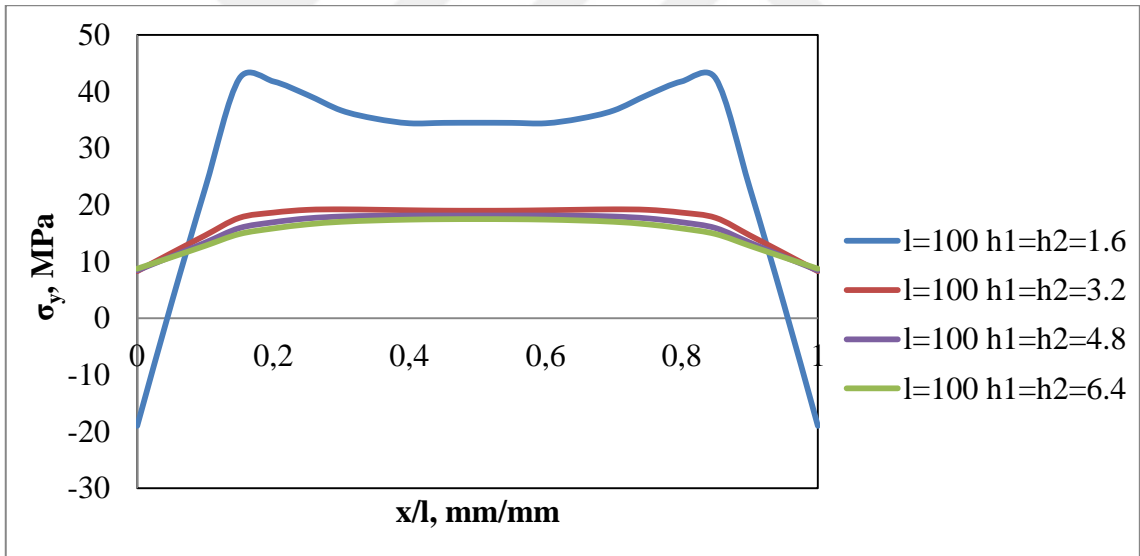
Şekil 4.45.  $l=100$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları

Şekil 4.43, 4.44 ve 4.45'te  $l=100$  mm ve  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm için AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $\tau_{xy}$  ve  $\tau_{xz}$  gerilmesi uç noktalarda bir miktar artarken orta kısımlarda sıfır değerine yaklaşarak yatay bir seyir izlemiştir. Bindirme uçlarındaki belirgin gerilme düşüşü 1.6 mm'den 3.2 mm'ye geçişte yaşanmıştır. Diğer kalınlıklarda gerilmelerde ciddi bir düşüş olmamıştır.  $\sigma_{eqv}$  gerilmesi A ve B noktalarında maksimum olup parçanın orta kısımlarına doğru ciddi bir düşüş gözlenmiştir. Gerilme hatları levha kalınlığı artmasına rağmen birbirine yakın çıkmıştır. Artan bindirme uzunluğundan dolayı levha kalınlığının artışı bir noktadan sonra gerilmeleri düşürmede etkili olmamaktadır.

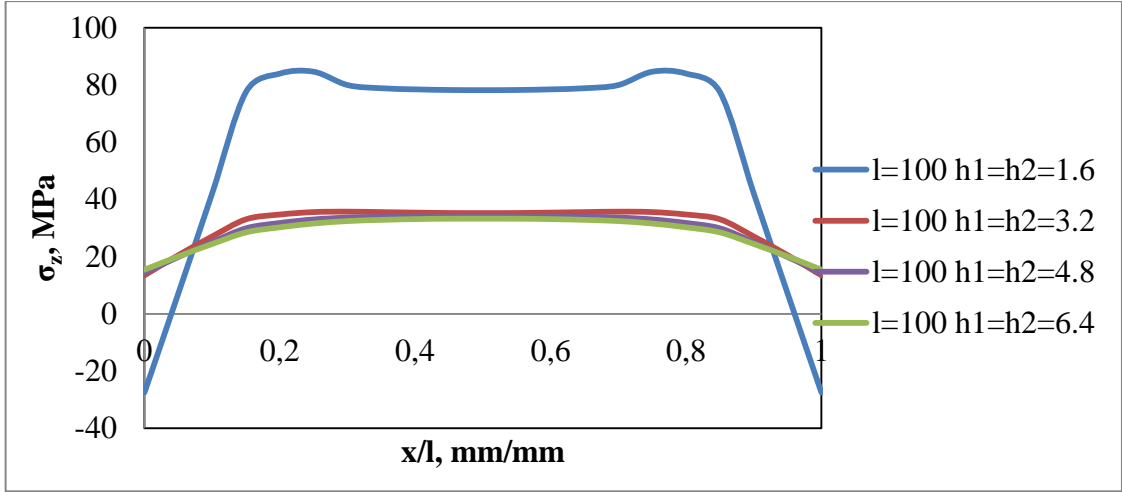
#### 4.4.8. $l=100$ mm bindirme uzunluğu ve farklı malzeme kalınlığı için BC hattı boyunca gerilme dağılımları



Şekil 4.46.  $l=100$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları

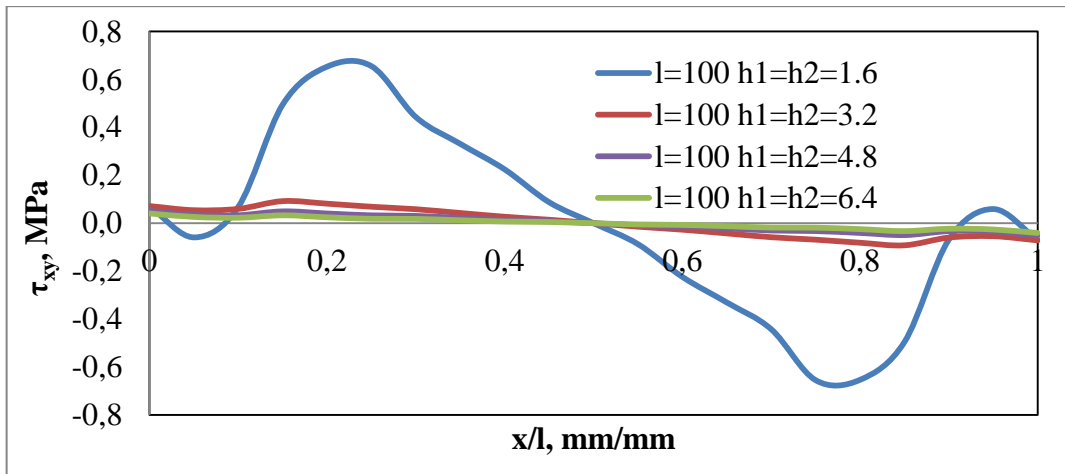


Şekil 4.47.  $l=100$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları



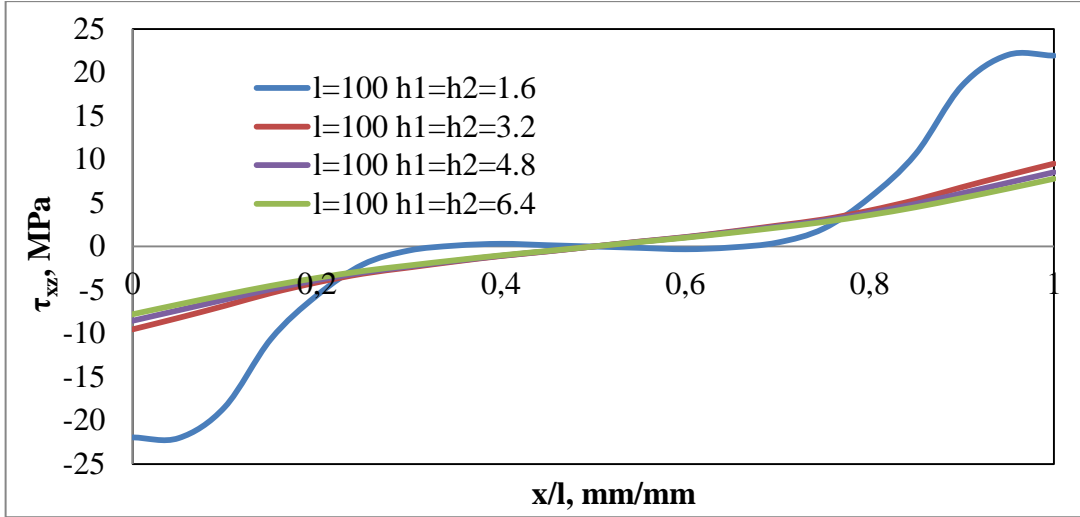
Şekil 4.48.  $l=100$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları

Şekil 4.46, 4.47 ve 4.48'de  $l=100$  mm ve  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm için BC hattı boyunca  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilme dağılımları verilmiştir. Gerilmeler uç noktalarda (B ve C noktası) minimum değerlerdedir. B noktasından yapıştırıcının orta bölgelerine doğru gerilme değerleri önce artıyor, orta kısımlarda yatay bir seyir izledikten sonra tekrar uç noktaya (C noktası) doğru düşmeye başlıyor.  $h=1.6$  mm için gerilme değerleri negatif değerlerde başlamış ve en yüksek gerilme değerlerine sahiptir.  $h=3.2$ ,  $4.8$  ve  $6.4$  mm malzeme kalınlıkları için ise gerilme değerleri birbirine yakın bir seyir izlemiştir. Malzeme kalınlığının  $h=1.6$  mm'den  $h=3.2$  mm'ye çıkarılmasında gözle görülür bir gerilme düşüşü gözlenirken, malzeme kalınlığını daha da arttırmanın gerilme değerleri üzerinde bu noktadan sonra önemli bir katkısı olmamıştır.

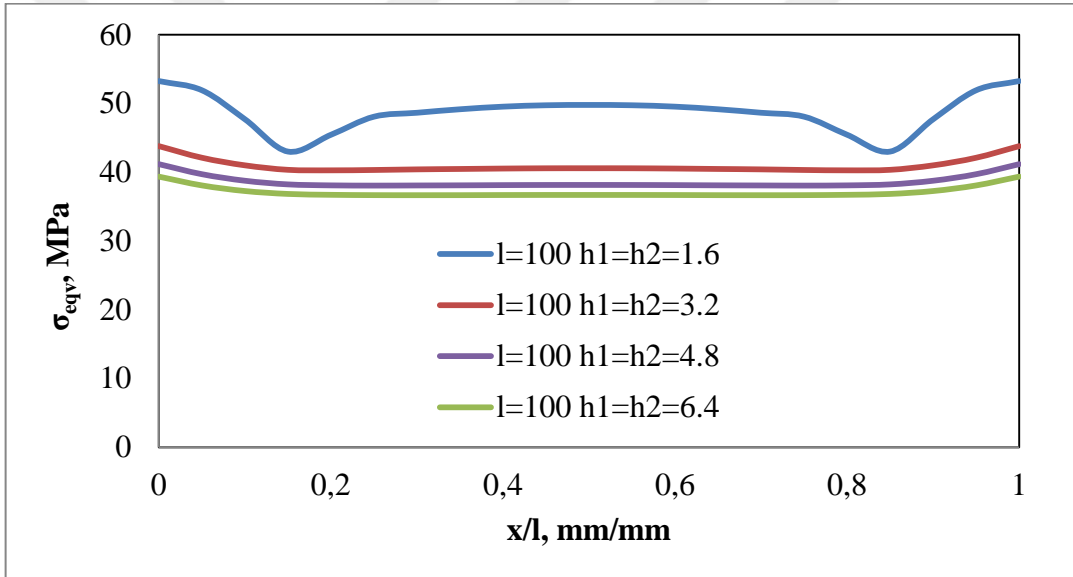


Şekil 4.49.  $l=100$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları





Şekil 4.50.  $l=100$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları

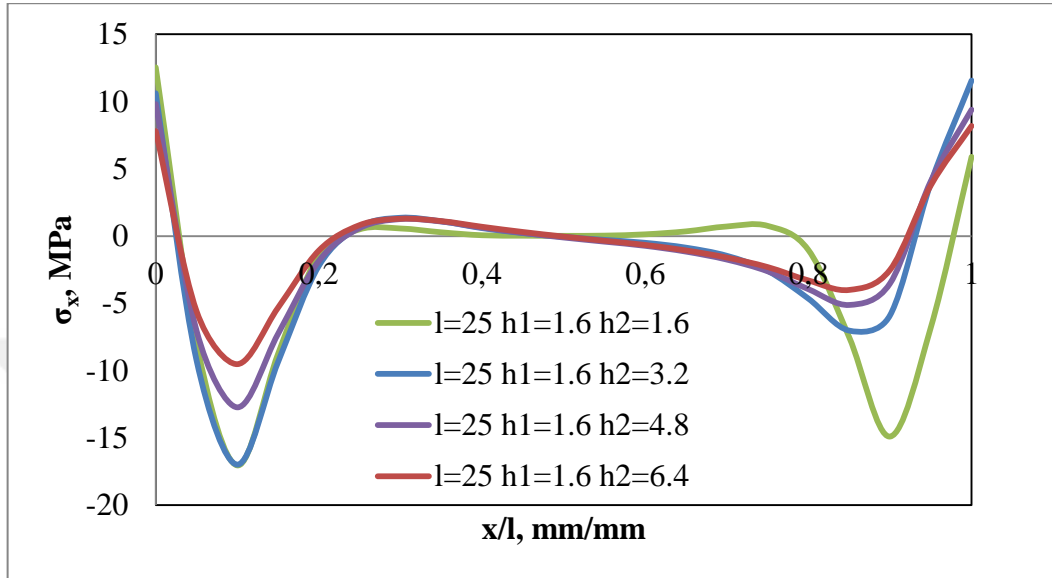


Şekil 4.51.  $l=100$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları

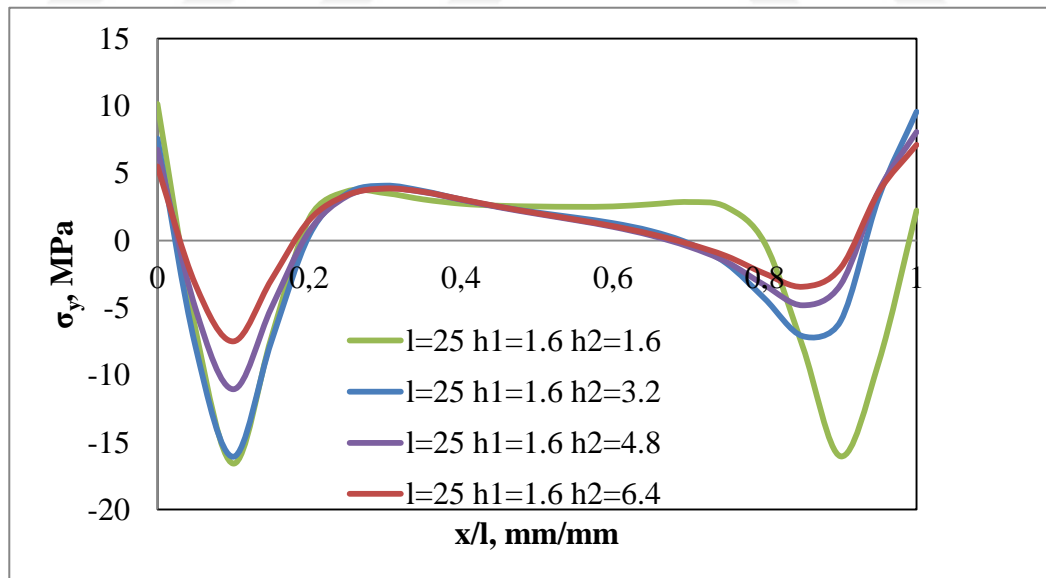
Şekil 4.49, 4.50 ve 4.51'de  $l=100$  mm ve  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm için BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $\tau_{xy}$  ve  $\tau_{xz}$  gerilmeleri bindirme uçlarında yüksek ve orta hatlara doğru düşen bir seyir izlemiştir.  $\sigma_{eqv}$  gerilmesi B ve C noktalarında genel olarak yatay bir seyir izleyip yapıştırma bölgesinin orta kısımlarına doğru az miktarda bir düşüş gözlenmiştir.  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilmeleri, levha kalınlığı 1.6 mm'den 3.2 mm'ye çıkarıldığında gerilmeleri düşürmede etkili olmuştur. Diğer levha kalınlıklarının gerilme değerleri üzerindeki etkisi az olmuştur.

#### 4.5. Farklı alt ve üst levha kalınlıklarının gerilme dağılımına etkisi

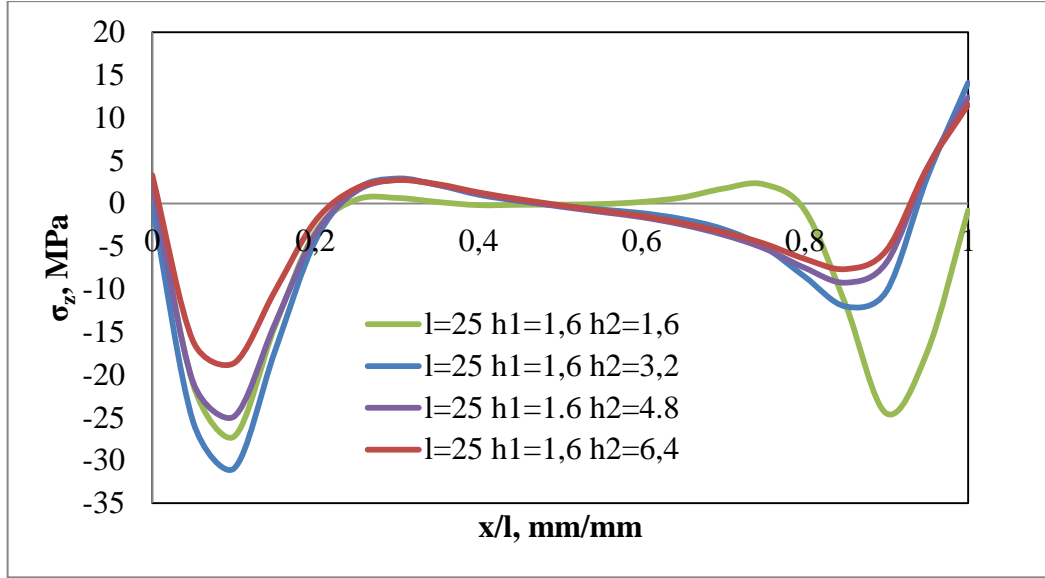
##### 4.5.1. $l=25$ mm bindirme uzunluğu ve $h_1=1.6$ ve $h_2=1.6-3.2-4.8-6.4$ mm için AB hattı boyunca gerilme dağılımı



Şekil 4.52.  $l=25$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=1.6$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları

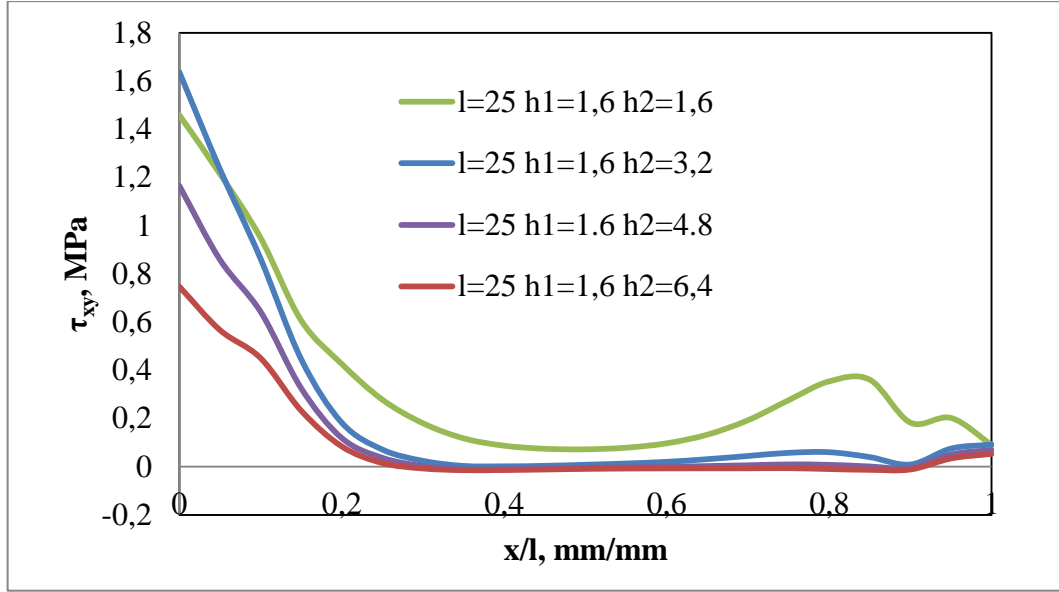


Şekil 4.53.  $l=25$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=1.6$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları

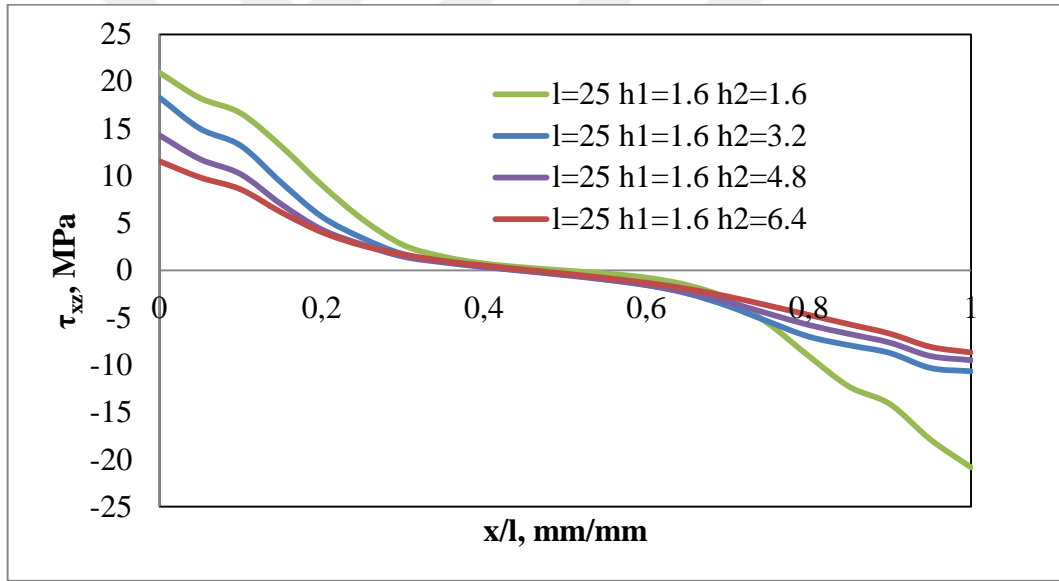


Şekil 4.54.  $l=25$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=1.6$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları

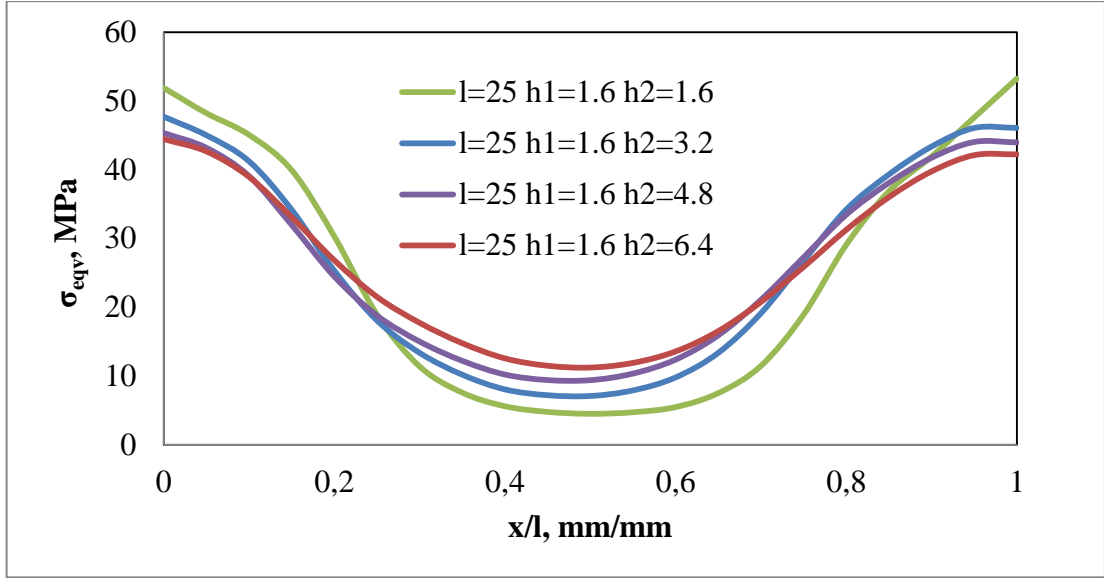
Şekil 4.52, 4.53 ve 4.54'te  $l=25$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=1.6$   $h_2=6.4$  mm için AB hattı boyunca  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilme dağılımları verilmiştir. Gerilmeler A noktasında pozitif değerlerde başlayıp azalarak negatif değerlere düştükten sonra malzemenin orta kısımlarında sıfıra yaklaşır, B noktasında ise A noktasının üstünde gerilme değerleriyle tamamlanmıştır. Malzemenin sabit tutulan tarafının ( $h_1$ ) kalınlığını sabit tutup kuvvet uygulanan tarafın ( $h_2$ ) kalınlığının artırılması, iki tarafında eşit kalınlıklarda tutulduğu grafiklere benzer bir durum sergilemiştir. Malzeme kalınlığının artmasına bağlı olarak gerilmeler düşmüştür. Ama bu gerilmelerdeki düşüş malzeme kalınlığıyla orantılı değildir.



Şekil 4.55.  $l=25$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=1.6$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları



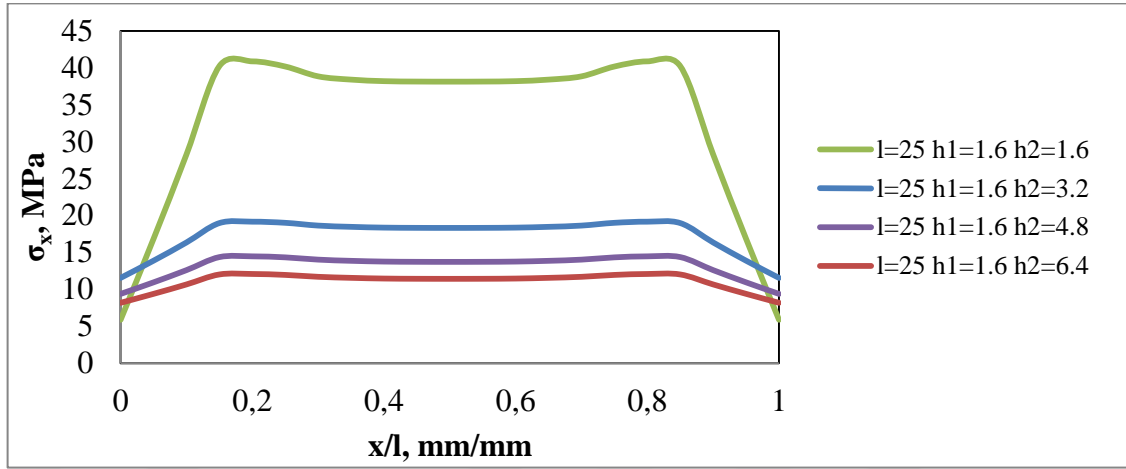
Şekil 4.56.  $l=25$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=1.6$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları



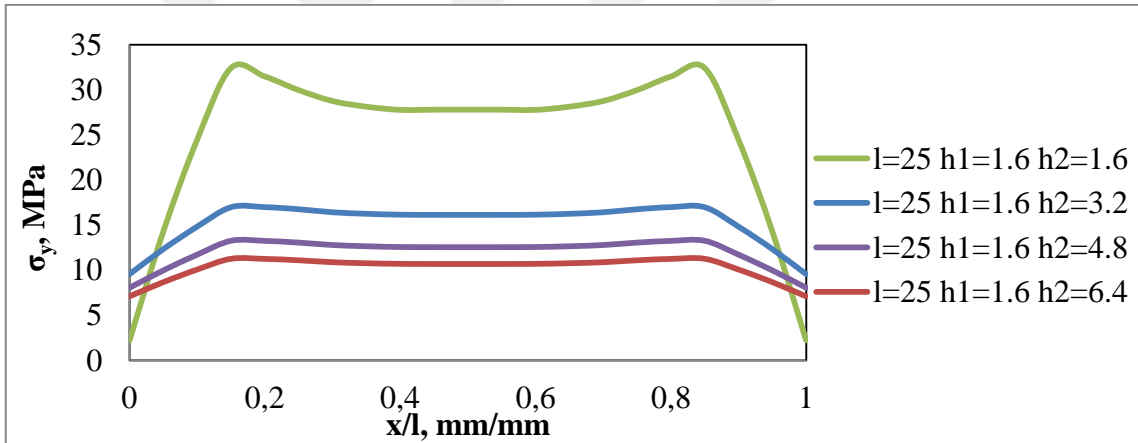
Şekil 4.57.  $l=25$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=1.6$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları

Şekil 4.55, 4.56 ve 4.57'de  $l=25$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=1.6$   $h_2=6.4$  mm için AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $\tau_{xy}$  gerilmesi A noktasında en yüksek pozitif değerlerde başlayıp sürekli azalarak B noktasında sifira yaklaşmıştır.  $\tau_{xz}$  gerilmesi bindirme uçlarında yüksek çıkmıştır. Levha kalınlığının artmasına bağlı olarak gerilmeler de düşüş sağlanmıştır.  $\tau_{xy}$  ve  $\tau_{xz}$  gerilme değerleri  $h_1$  ve  $h_2$ 'nin eşit alındığı durumla kıyaslandığında,  $h_1$ 'in sabit tutulup  $h_2$ 'in artırılması, A noktasındaki gerilme değerlerinin yüksek çıkmasına neden olmuştur.  $\sigma_{eqv}$  gerilmesi ise A noktasından başlayarak azalmış, malzemenin orta kısımlarından B noktasına doğru tekrar artarak ilk gerilme değerlerine ulaşmıştır. Malzemenin sabit tutulan tarafının ( $h_1$ ) kalınlığının sabit tutup kuvvet uygulanan tarafının ( $h_2$ ) kalınlığı artırılması, gerilmeleri düşürmüştür. Ama bu gerilmelerdeki düşüş malzeme kalınlığıyla orantılı değildir.

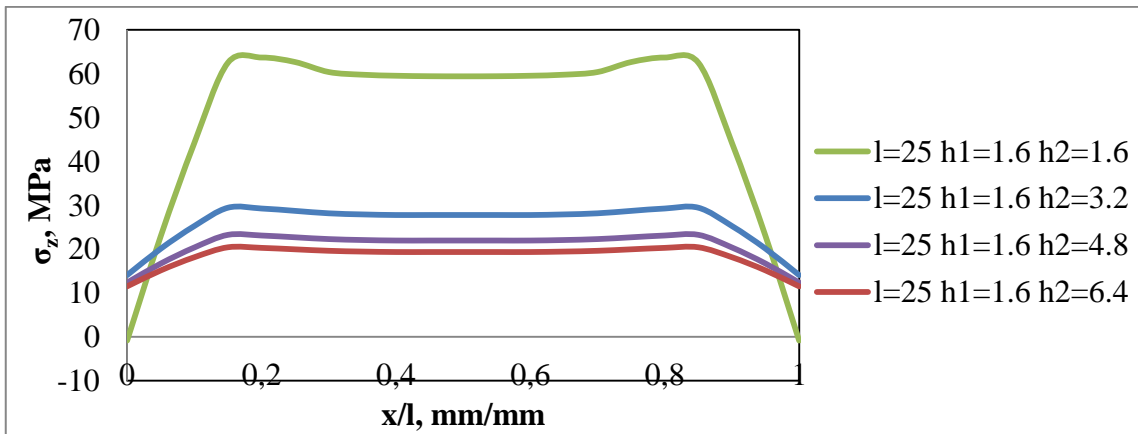
#### 4.5.2. $l=25$ mm bindirme uzunluğu ve $h_1=1.6$ ve $h_2=1.6-3.2-4.8-6.4$ mm için BC hattı boyunca gerilme dağılımı



Şekil 4.58.  $l=25$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=1.6$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları

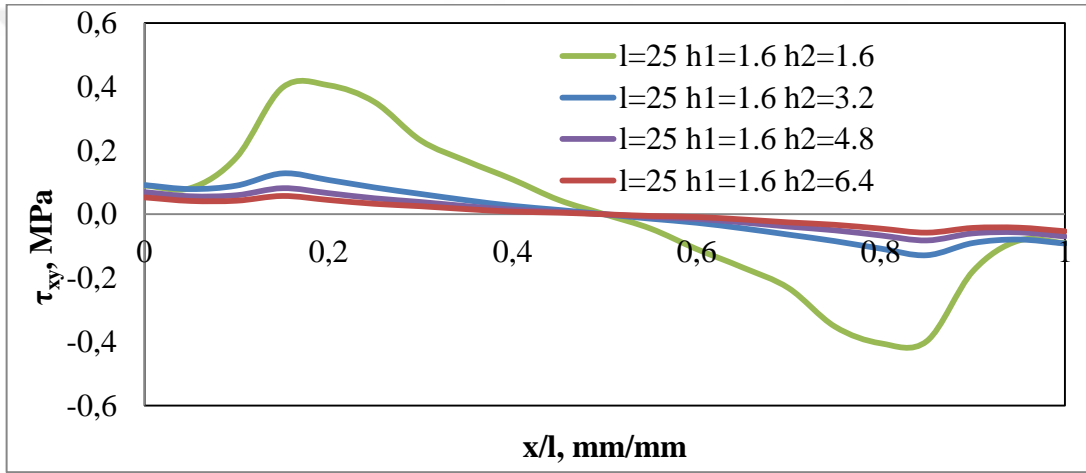


Şekil 4.59.  $l=25$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=1.6$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları

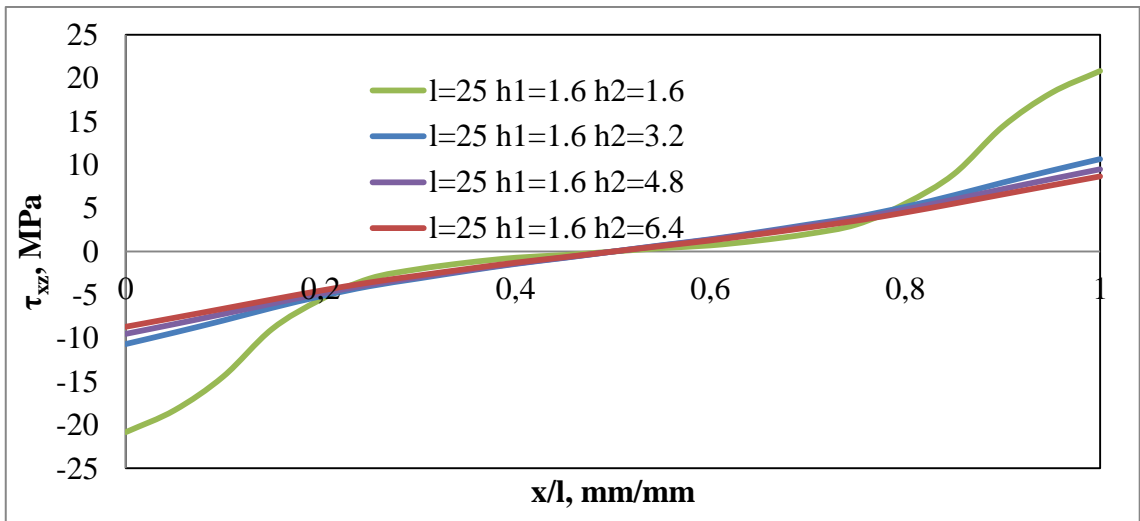


Şekil 4.60.  $l=25$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=1.6$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları

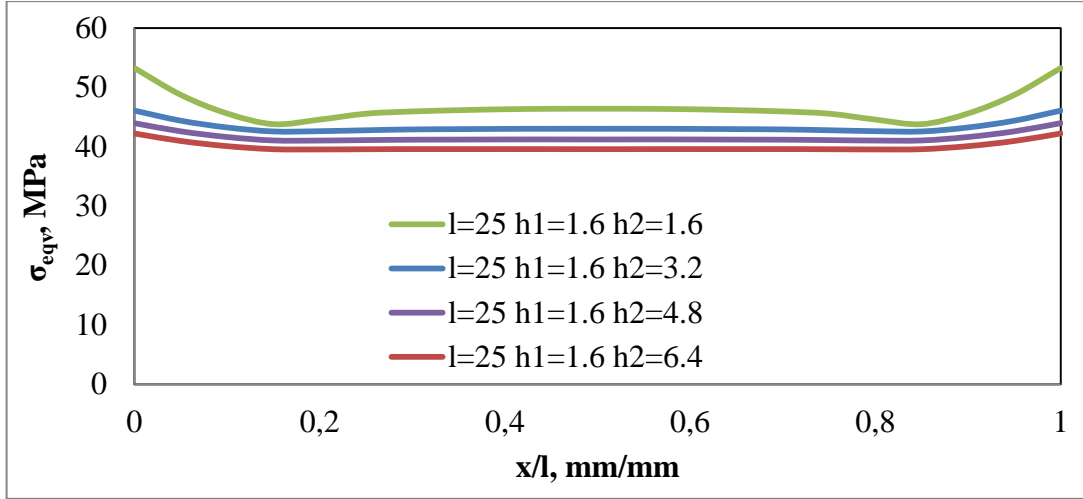
Şekil 4.58, 4.59 ve 4.60'da  $l=25$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=1.6$   $h_2=6.4$  mm için BC hattı boyunca  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilme dağılımları verilmiştir. Gerilmeler uç noktalarda (B ve C noktası) minimum değerlerdedir. B noktasından yapıştırıcının orta bölgelerine doğru gerilme değerleri önce artıyor, orta kısımlarda yatay bir seyir izledikten sonra tekrar uç noktaya (C noktası) doğru düşmeye başlıyor.  $h=1.6$  mm için gerilme değerleri en yüksektir.  $h=3.2$ ,  $4.8$  ve  $6.4$  mm malzeme kalınlıkları için ise gerilme değerleri birbirine yakın bir seyir izlemiştir. Alt ve üst levha kalınlıklarının eşit alındığı grafiklerle kıyaslandığında benzer grafiklerin elde edildiği görülüyor. Üst levha kalınlığının  $3.2$  mm'ye çıkarılmasında ciddi bir düşüş sağlanmıştır. Bunun üstündeki kalınlıklarda belirgin bir düşüş sağlanmamıştır.



Şekil 4.61.  $l=25$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=1.6$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları



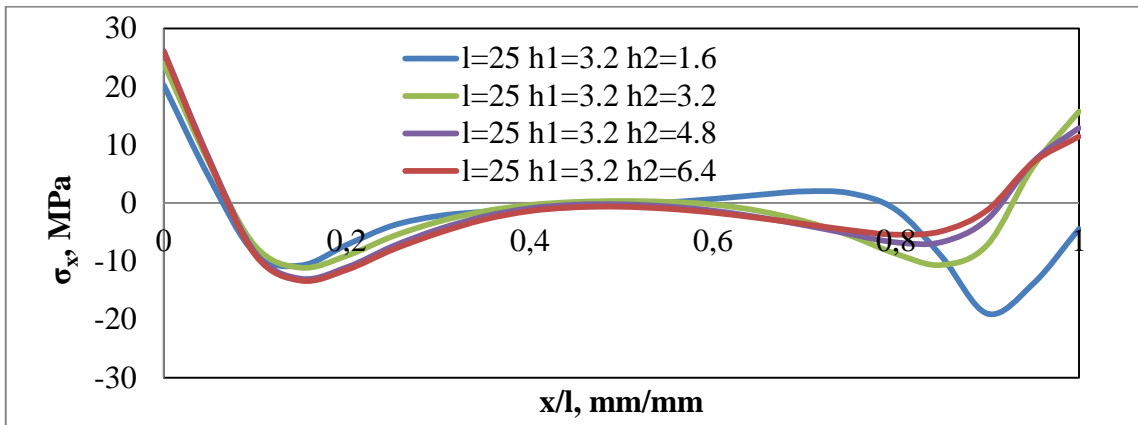
Şekil 4.62.  $l=25$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=1.6$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları



**Şekil 4.63.**  $l=25$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=1.6$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları

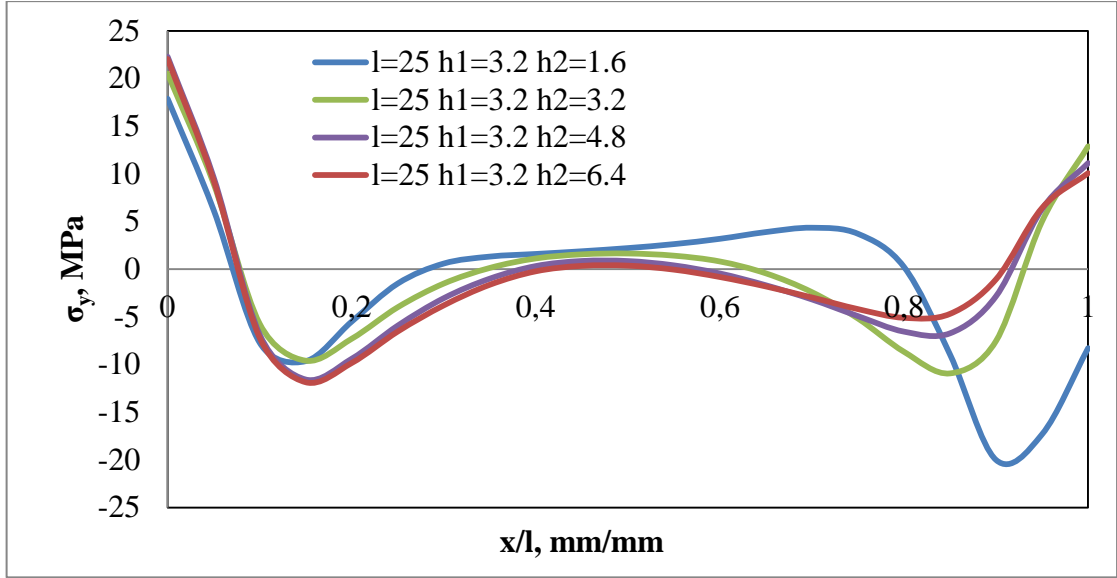
Şekil 4.61, 4.62 ve 4.63'te  $l=25$  mm ve  $h_1=1.6$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=1.6$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=1.6$   $h_2=6.4$  mm için BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $\tau_{xy}$  ve  $\tau_{xz}$  gerilmesi ise B ve C noktalarında yüksek orta hatlara doğru ise düşen bir seyir izlemiştir.  $\sigma_{eqv}$  gerilmesi B ve C noktalarında genel olarak yatay bir seyir izleyip yapıştırma bölgesinin orta kısımlarına doğru az miktarda bir düşüş gözlenmiştir.  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilmeleri için parça kalınlığının artırılmasının gerilme değerleri üzerindeki etkisi çok az olmuştur. Burada da aynı şekilde alt levhanın sabit tutulup üst levhanın kalınlığının artırılmasının, iki levha kalınlığının da eşit alındığı durumdaki grafiklerden pek farkı olmamıştır.

#### 4.5.3. $l=25$ mm bindirme uzunluğu ve $h_1=3.2$ ve $h_2=1.6-3.2-4.8-6.4$ mm için AB hattı boyunca gerilme dağılımı

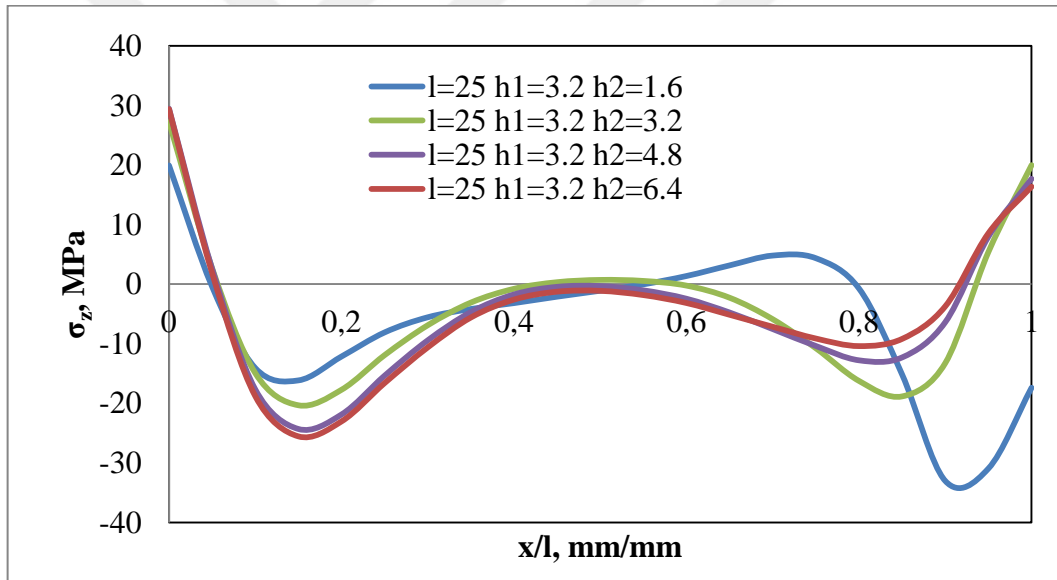


**Şekil 4.64.**  $l=25$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=3.2$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları





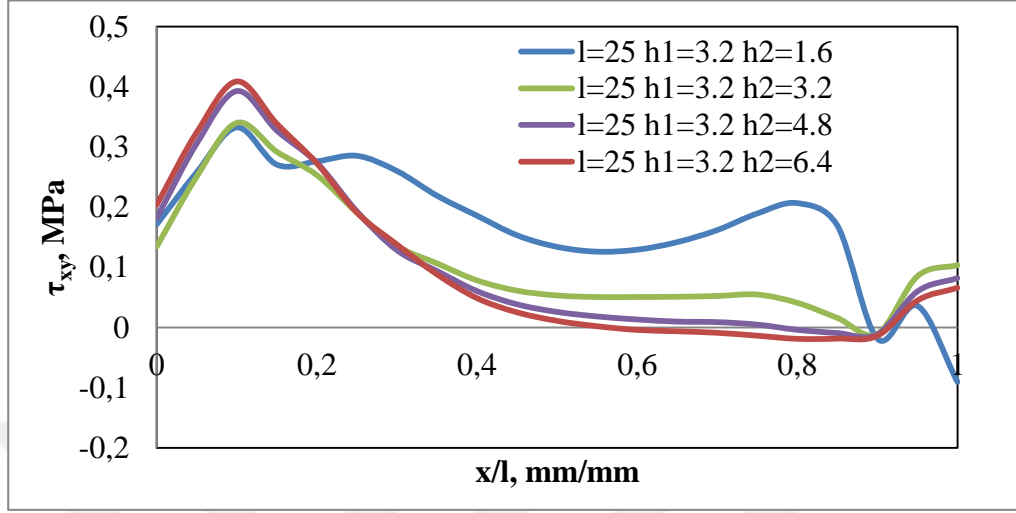
Şekil 4.65.  $l=25$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=3.2$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları



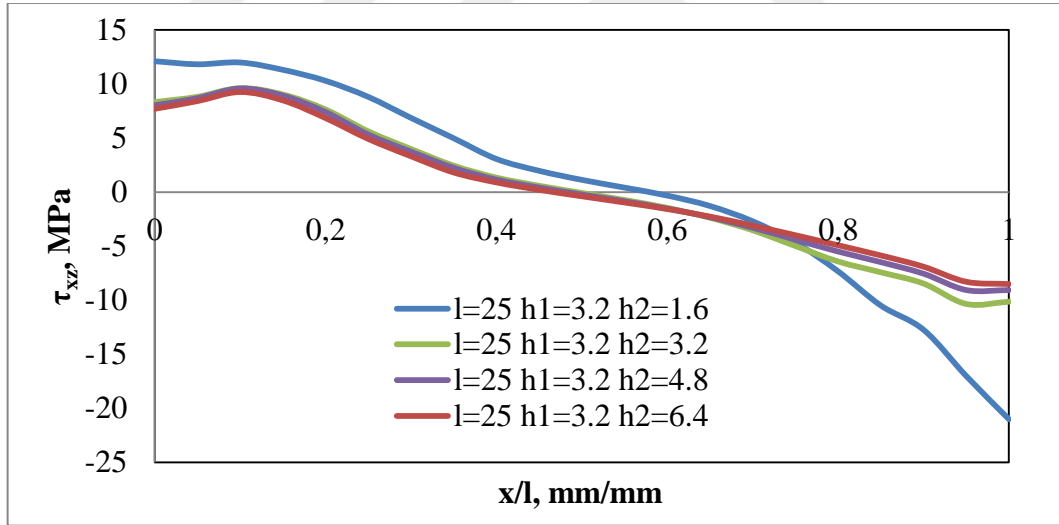
Şekil 4.66.  $l=25$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=3.2$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları

Şekil 4.64, 4.65 ve 4.66'da  $l=25$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=3.2$   $h_2=6.4$  mm için AB hattı boyunca  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilme dağılımları verilmiştir. Gerilmeler A noktasında pozitif değerlerde başlayıp azalarak negatif değerlere düştükten sonra malzemenin orta kısımlarında sıfıra yaklaşır, B noktasında ise A noktasının üstünde gerilme değerleriyle tamamlanmıştır.  $h_1=1.6$  mm durumuyla kıyaslandığında  $h_1=3.2$  mm'ye çıkarılması  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilme değerlerinin A ve B

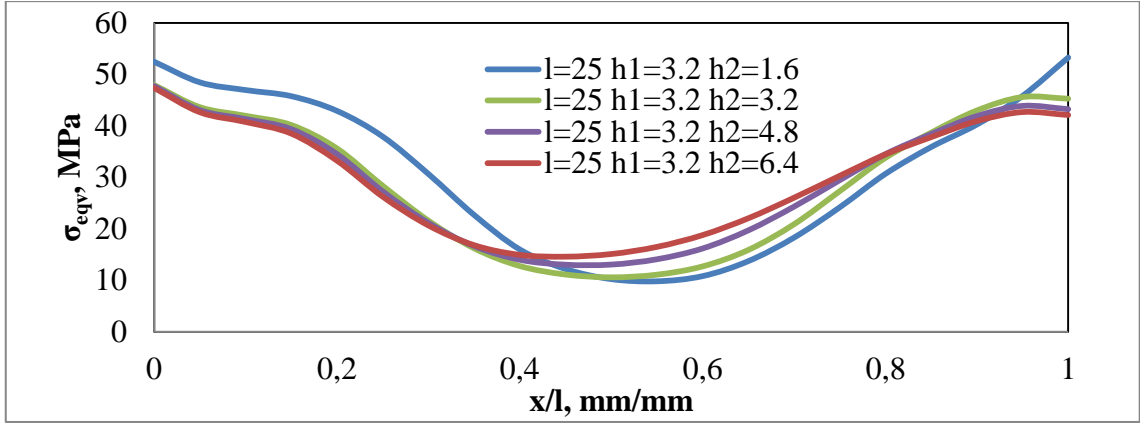
noktalarında yükselmesine neden olmuştur. Ama orta kısımlardaki keskin dalgalanmaların daha yumuşak olmasını sağlamıştır



Şekil 4.67.  $l=25$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=3.2$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları



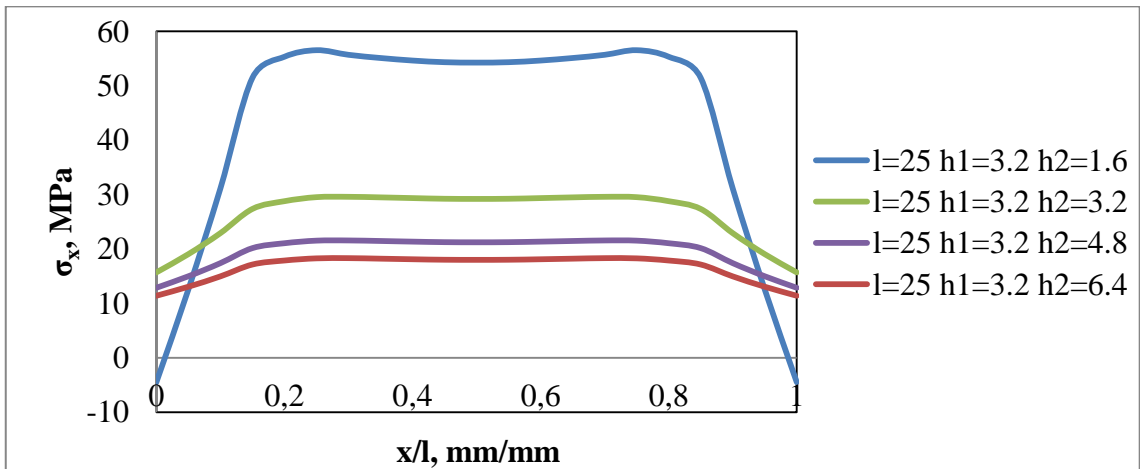
Şekil 4.68.  $l=25$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=3.2$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları



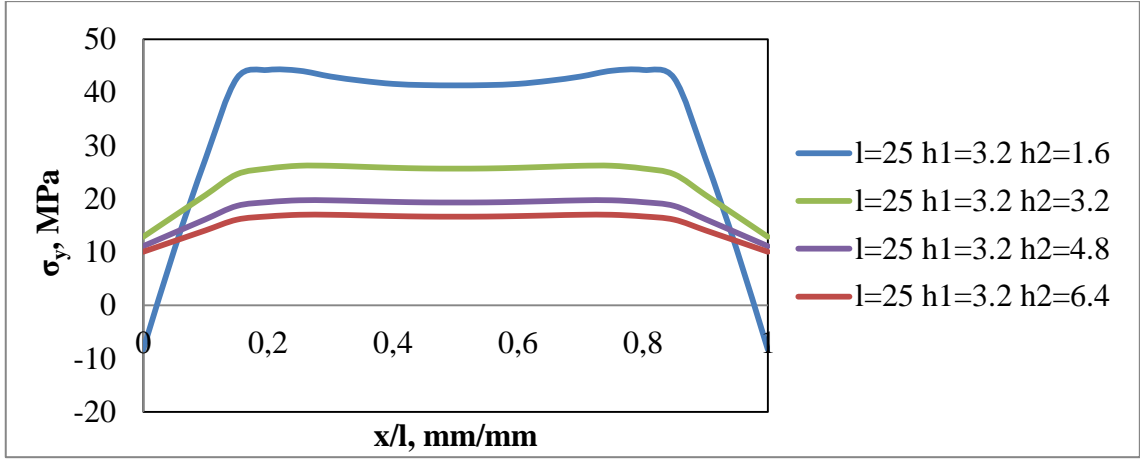
Şekil 4.69.  $l=25$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=3.2$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları

Şekil 4.67, 4.68 ve 4.69'da  $l=25$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=3.2$   $h_2=6.4$  mm için AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $\tau_{xy}$  gerilmesi  $h_1=1.6$  mm durumuyla kıyaslandığında, gittikçe azalan değerler yerine, önce artıp sonra azalmaya başlayan daha dalgalı bir grafik elde ediliyor.  $\tau_{xz}$  gerilmesi A noktasında pozitif değerlerde başlayıp gittikçe azalarak negatif değerlere düşmüştür.  $\tau_{xz}$  gerilmesi  $h_1=1.6$  mm ile kıyaslandığında, A noktasındaki gerilme farkının daha az olup tek bir hat görünümü verdiği görülmüştür.  $\sigma_{eqv}$  gerilmesi ise A noktasından başlayarak azalmış, malzemenin orta kısımlarından B noktasına doğru tekrar artarak ilk gerilme değerlerine ulaşmıştır.

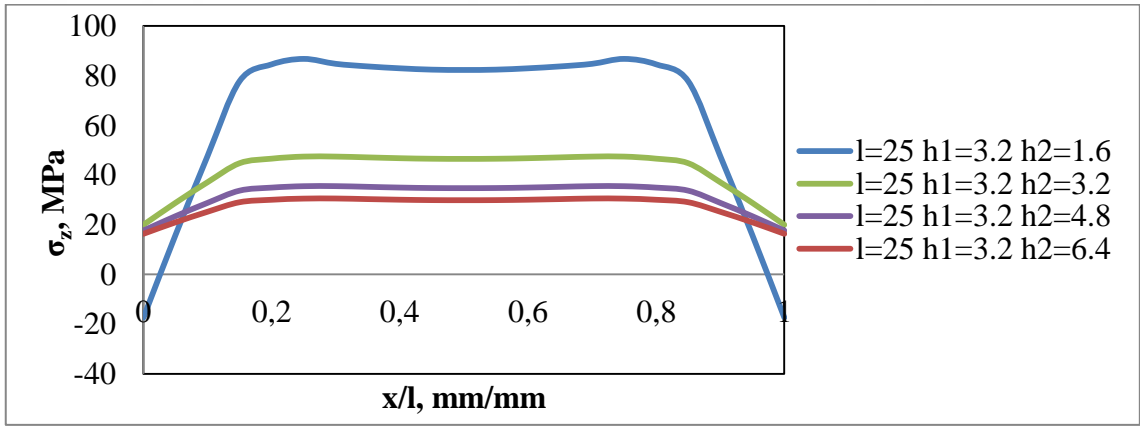
#### 4.5.4. $l=25$ mm bindirme uzunluğu ve $h_1=3.2$ ve $h_2=1.6-3.2-4.8-6.4$ mm için BC hattı boyunca gerilme dağılımı



Şekil 4.70.  $l=25$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=3.2$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları

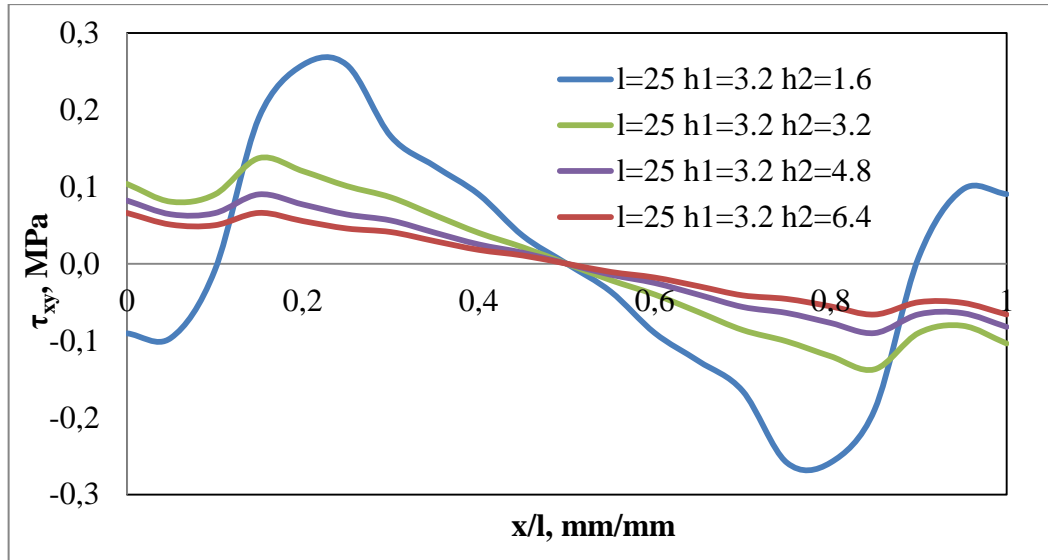


Şekil 4.71.  $l=25$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=3.2$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları

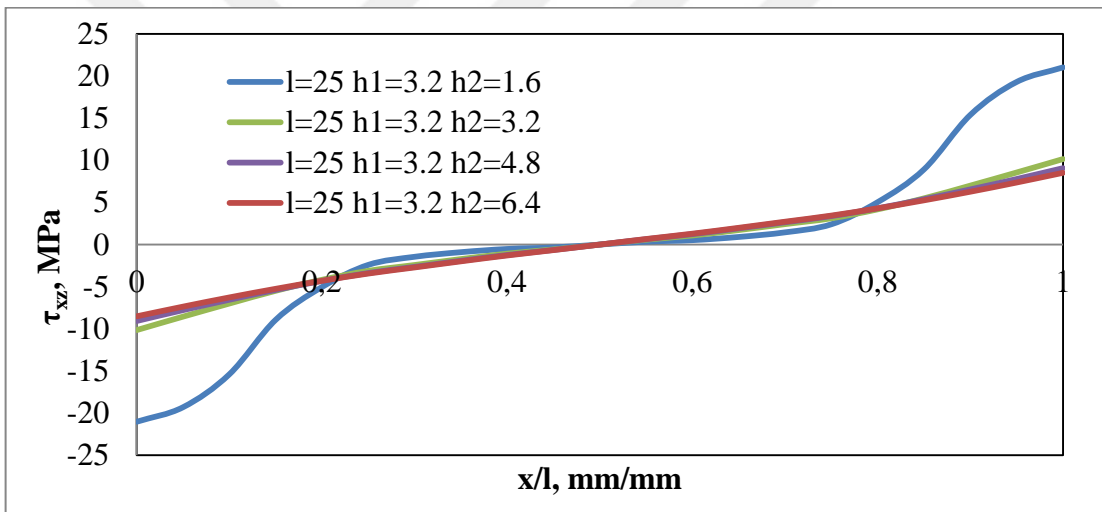


Şekil 4.72.  $l=25$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=3.2$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları

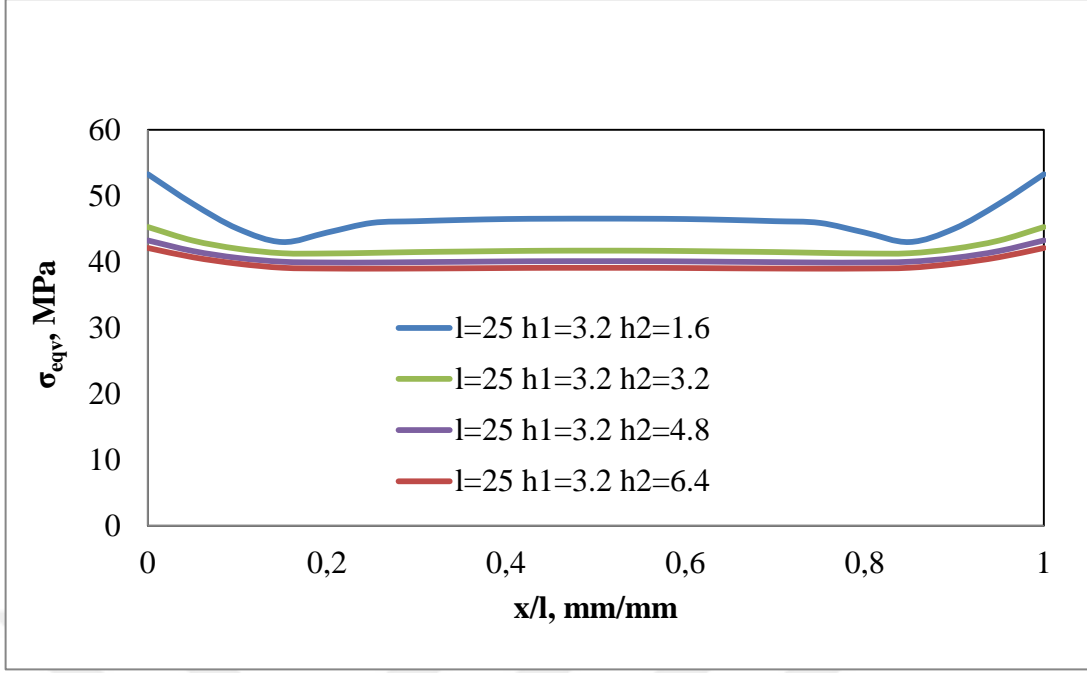
Şekil 4.70, 4.71 ve 4.72'de  $l=25$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=3.2$   $h_2=6.4$  mm için BC hattı boyunca  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilme dağılımları verilmiştir. Gerilmeler uç noktalarda (B ve C noktası) minimum değerlerdedir. B noktasından yapıştırıcının orta bölgelerine doğru gerilme değerleri önce artıyor, orta kısımlarda yatay bir seyir izledikten sonra tekrar uç noktaya (C noktası) doğru düşmeye başlıyor.  $h=1.6$  için gerilme değerleri en yüksektir.  $h=3.2$ ,  $4.8$  ve  $6.4$  malzeme kalınlıkları için ise gerilme değerleri birbirine yakın bir seyir izlemiştir.  $h_1=1.6$  mm ile kıyaslandığında  $h_1=3.2$  mm için gerilme değerlerinde önemli bir farklılığın olmadığı gözlenmiştir.



Şekil 4.73.  $l=25$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=3.2$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları



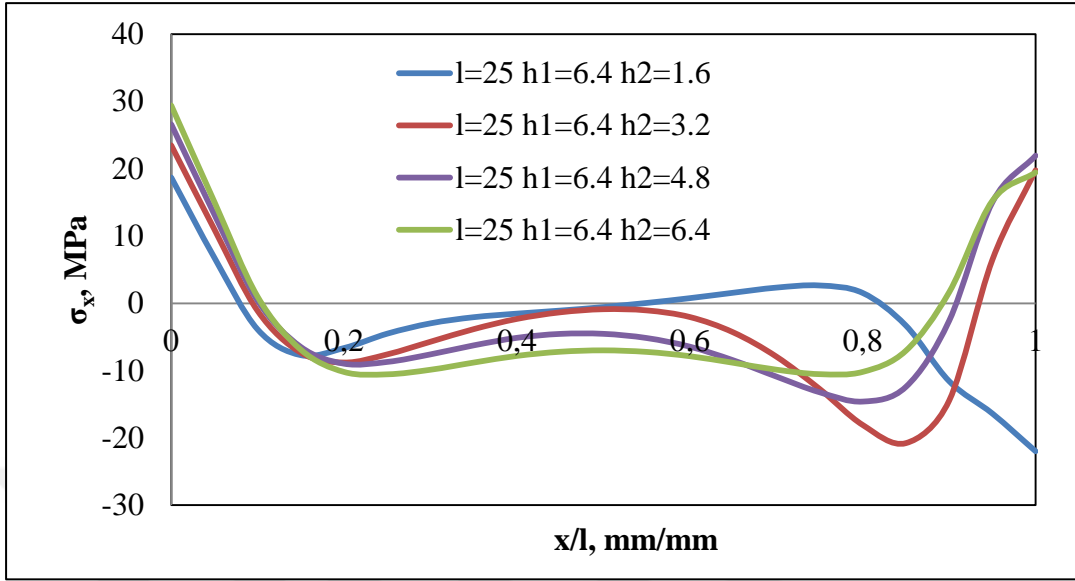
Şekil 4.74.  $l=25$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=3.2$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları



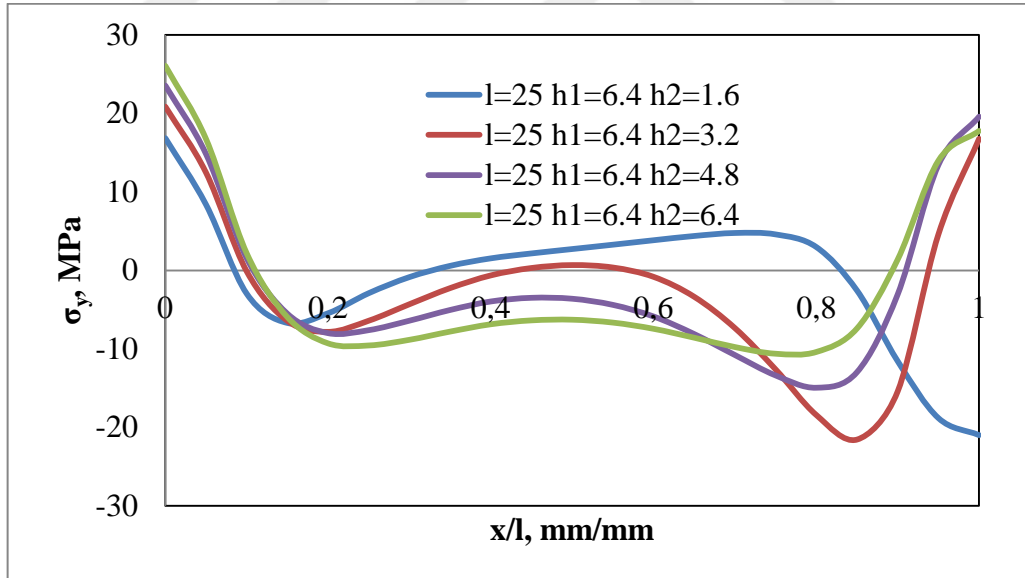
Şekil 4.75.  $l=25$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=3.2$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları

Şekil 4.73, 4.74 ve 4.75'te  $l=25$  mm ve  $h_1=3.2$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=3.2$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=3.2$   $h_2=6.4$  mm için BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $\tau_{xy}$  ve  $\tau_{xz}$  gerilmesi ise B ve C noktalarında yüksek orta hatlara doğru ise düşen bir seyir izlemiştir.  $\sigma_{eqv}$  gerilmesi B ve C noktalarında genel olarak yatay bir seyir izleyip yapıştırma bölgesinin orta kısımlarına doğru az miktarda bir düşüş gözlenmiştir.  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilmeleri için parça kalınlığının artırılmasının gerilme değerleri üzerindeki etkisi çok az olmuştur.  $h_1=1.6$  mm durumuyla kıyaslandığında,  $h_1=3.2$  mm içinde benzer grafikler elde edilmiştir.  $h_1$  kalınlığının artırılması gerilme değerleri üzerinde bir farklılığa neden olmamıştır.

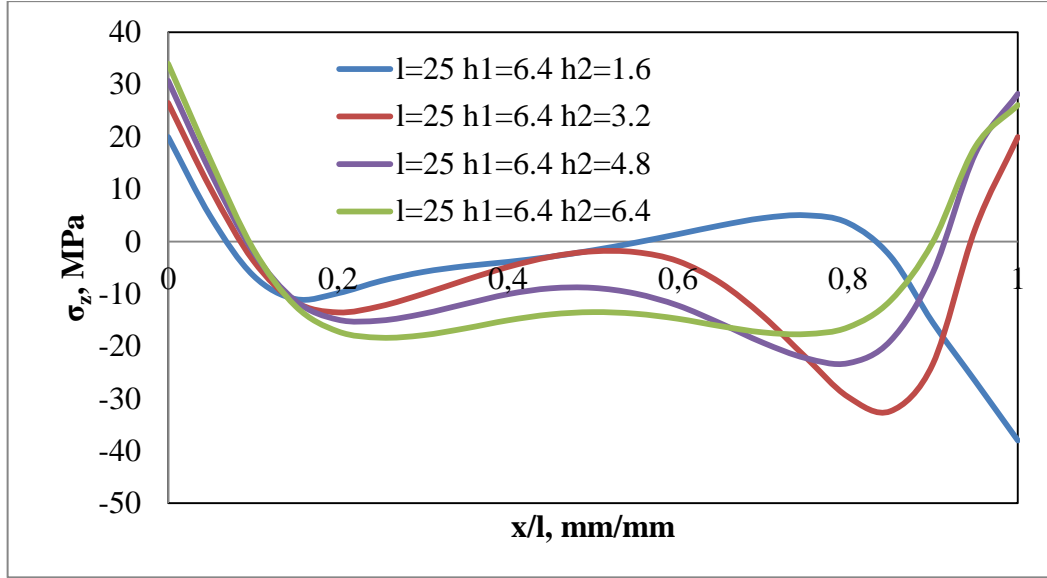
**4.5.5.  $l=25$  mm bindirme uzunluğu ve  $h_1=6.4$  ve  $h_2=1.6-3.2-4.8-6.4$  mm için AB hattı boyunca gerilme dağılımı**



**Şekil 4.76.**  $l=25$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=6.4$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları

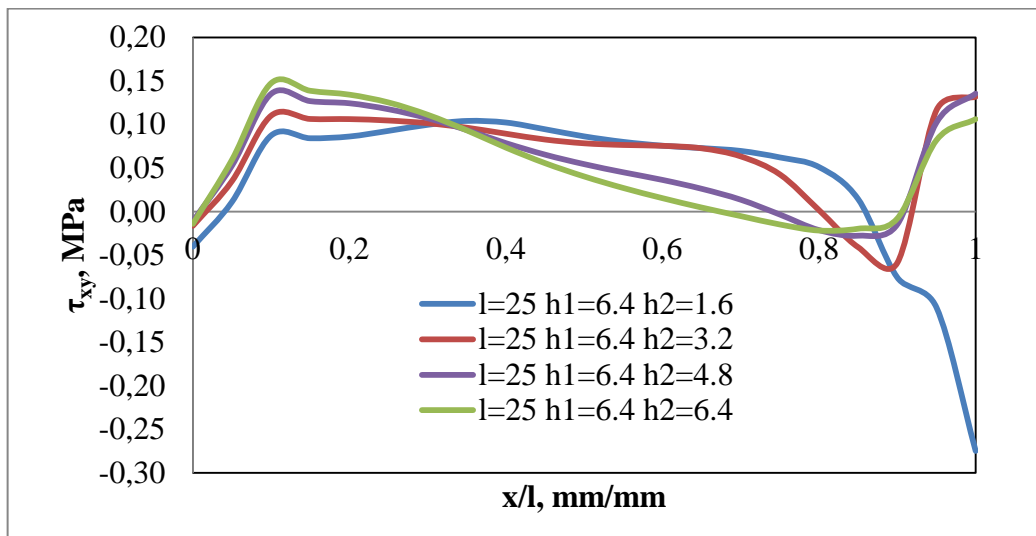


**Şekil 4.77.**  $l=25$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=6.4$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları



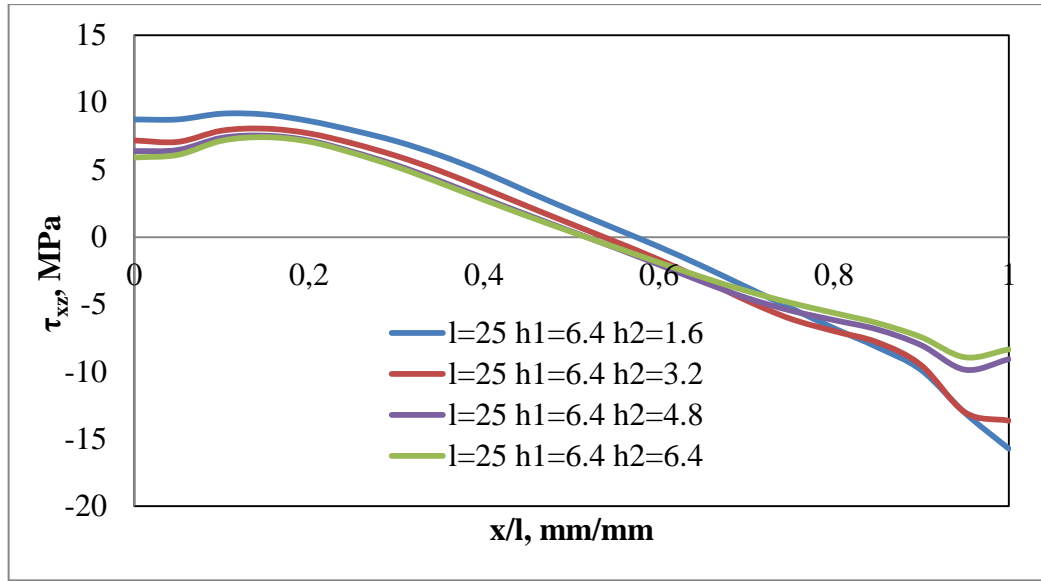
Şekil 4.78.  $l=25$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=6.4$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları

Şekil 4.76, 4.77 ve 4.78'de  $l=25$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=6.4$   $h_2=6.4$  mm için AB hattı boyunca  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilme dağılımları verilmiştir. Gerilmeler A noktasında pozitif değerlerde başlayıp dalgalı bir seyir izleyerek malzemenin orta kısımlarında sıfıra yaklaşmış, B noktasında ise A noktasındaki gerilme değerlerine yakın grafiği tamamlanmıştır.  $h_1=3.2$  mm durumuyla kıyaslandığında  $h_1=6.4$  mm'ye çıkarılması  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilme değerlerinin A ve B noktalarında az miktarda yükselmesine neden olmuştur. Ve orta kısımlardaki keskin dalgalanmaların daha yumuşak olmasını sağlamıştır.

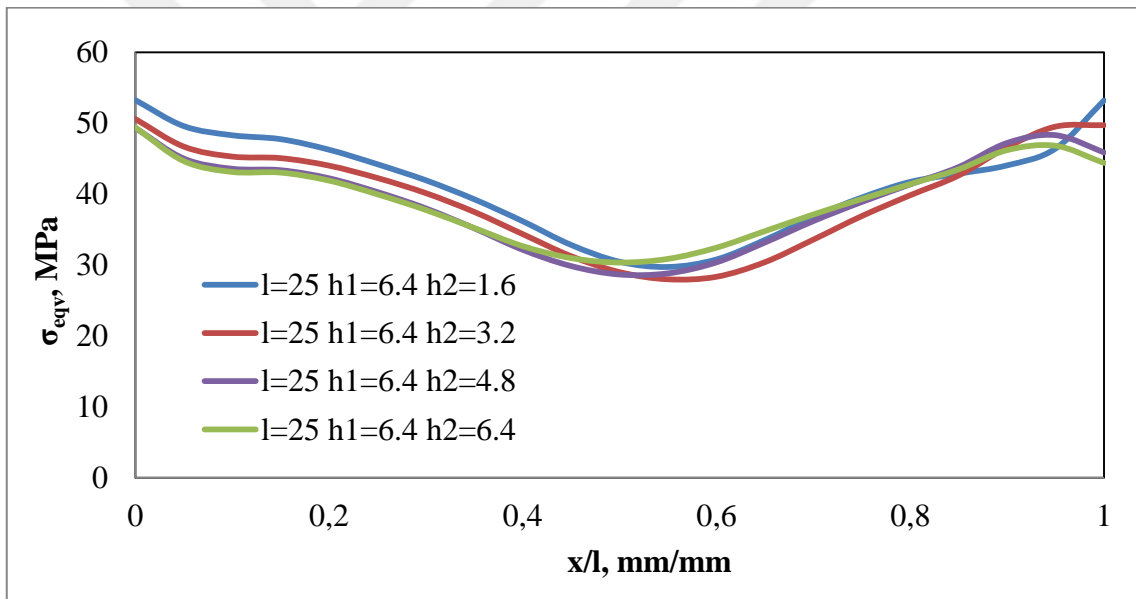


Şekil 4.79.  $l=25$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=6.4$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları





Şekil 4.80.  $l=25$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=6.4$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları

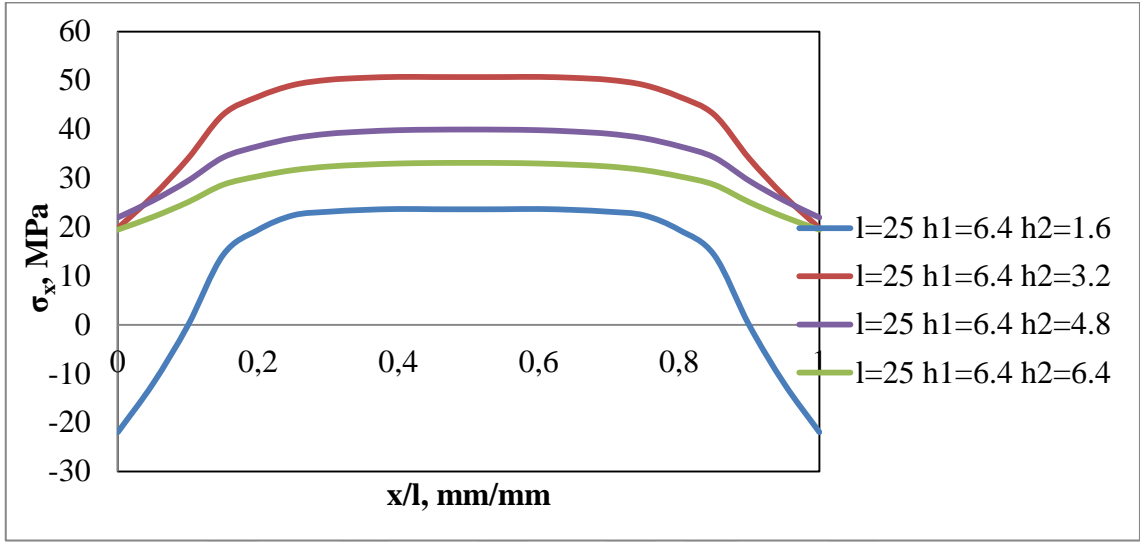


Şekil 4.81.  $l=25$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=6.4$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları

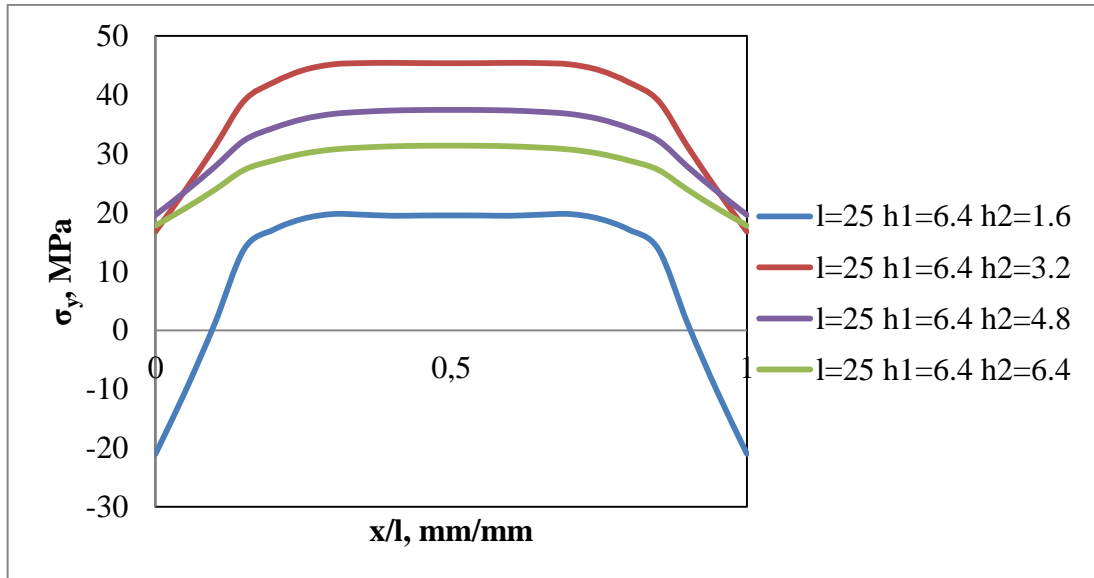
Şekil 4.79, 4.80 ve 4.81'de  $l=25$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=6.4$   $h_2=6.4$  mm için AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $\tau_{xy}$  gerilmesi  $h_1=3.2$  mm durumuyla kıyaslandığında, benzer şekilde, önce artıp sonra azalmaya başlayan daha dalgalı bir grafik elde ediliyor.  $\tau_{xz}$  gerilmesi A noktasında pozitif değerlerde başlayıp gittikçe azalarak negatif değerlere düşmüştür.  $\sigma_{eqv}$  gerilmesi ise A noktasından başlayarak azalmış, malzemenin orta kısımlarından B noktasına doğru tekrar artarak simetrik bir görünüm sergilemiştir.  $\sigma_{eqv}$  gerilmesi  $h_1=3.2$  mm ile

kıyaslandığında, A ve B noktalarında benzer gerilme değerlerine ulaşılırken, orta hatlarda gerilme değerlerinin daha az düştüğü görülmüştür.

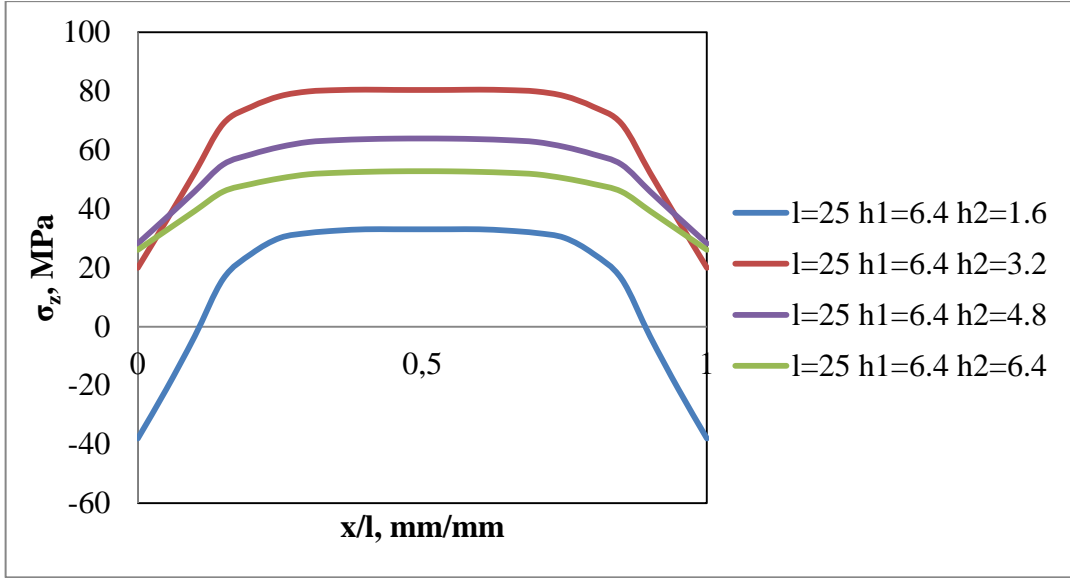
#### 4.5.6. $l=25$ mm bindirme uzunluğu ve $h_1=6.4$ mm ve $h_2=1.6-3.2-4.8-6.4$ mm için BC hattı boyunca gerilme dağılımı



Şekil 4.82.  $l=25$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=6.4$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları

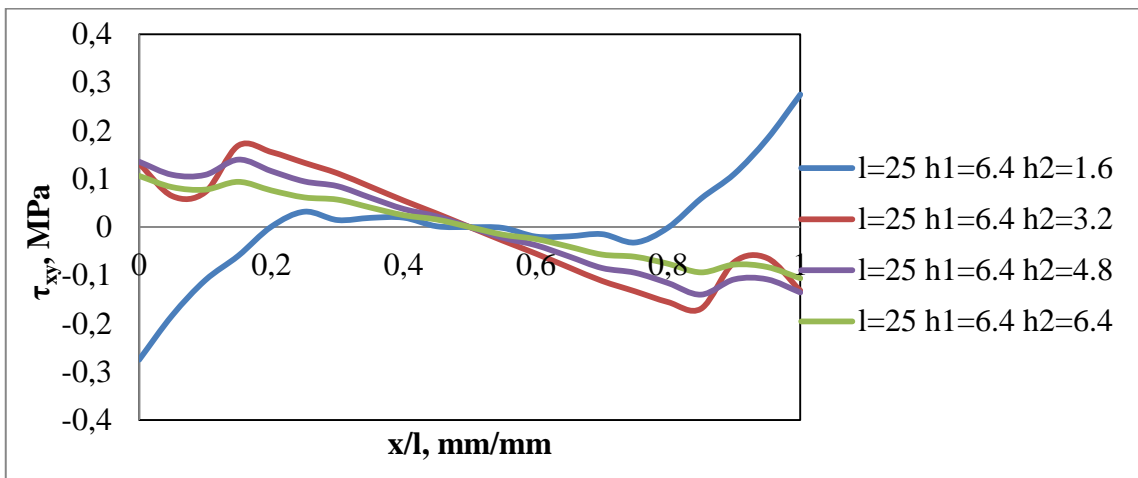


Şekil 4.83.  $l=25$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=6.4$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları

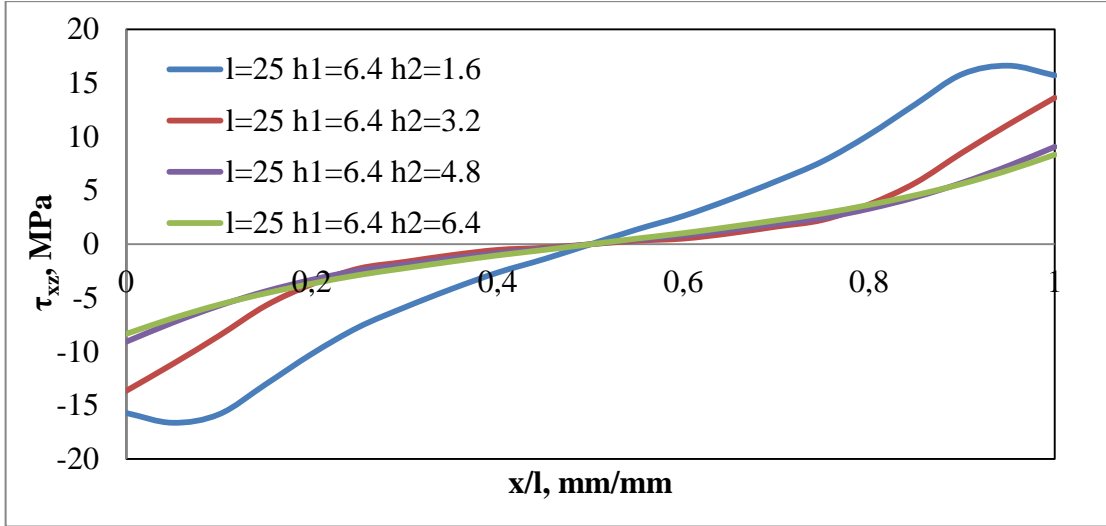


**Şekil 4.84.**  $l=25$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=6.4$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları

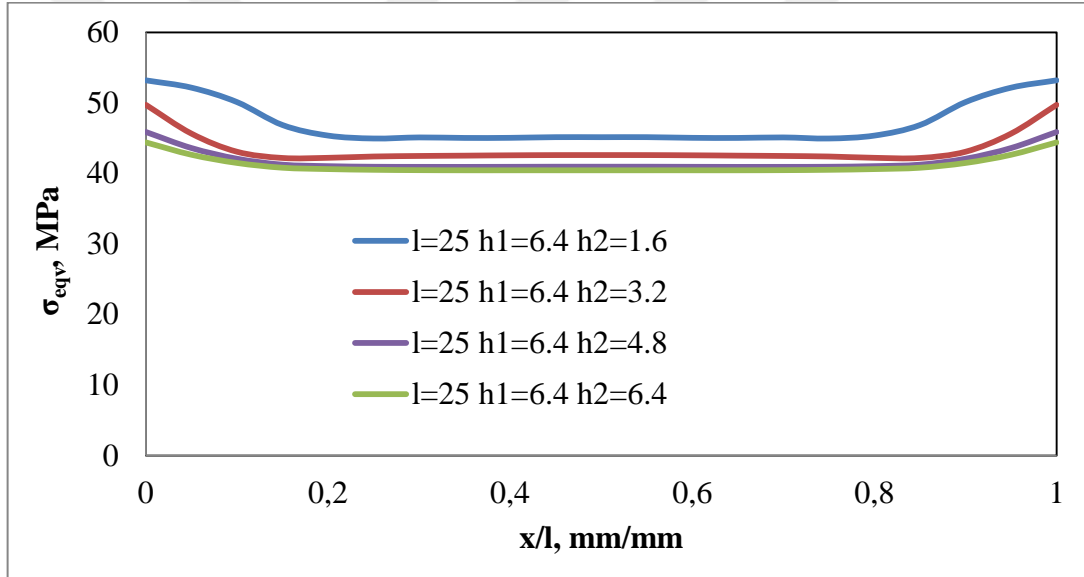
Şekil 4.82, 4.83 ve 4.84'te  $l=25$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=6.4$   $h_2=6.4$  mm için BC hattı boyunca  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilme dağılımları verilmiştir. Gerilmeler uç noktalarda (B ve C noktası) minimum değerlerdedir. B noktasından yapıştırıcının orta bölgelerine doğru gerilme değerleri önce artıyor, orta kısımlarda yatay bir seyir izledikten sonra tekrar uç noktaya (C noktası) doğru düşmeye başlıyor.  $h_2=3.2$ ,  $4.8$  ve  $6.4$  mm malzeme kalınlıkları için B ve C noktalarındaki gerilme değerleri birbirine yakın bir seyir izlemiştir.  $h_1=3.2$  mm ile kıyaslandığında  $h_1=6.4$  mm için gerilme değerlerinin daha yüksek çıktığı gözlenmiştir.



**Şekil 4.85.**  $l=25$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=6.4$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları



Şekil 4.86.  $l=25$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=6.4$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları



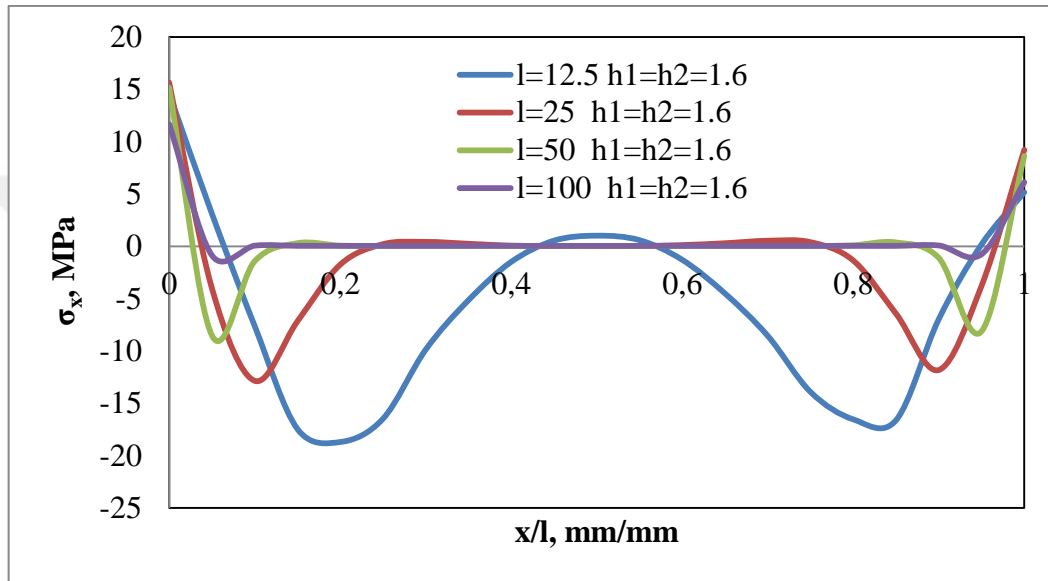
Şekil 4.87.  $l=25$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=6.4$   $h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları

Şekil 4.85, 4.86 ve 4.87'de  $l=25$  mm ve  $h_1=6.4$   $h_2=1.6$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=3.2$ ,  $h_1=6.4$   $h_2=4.8$  ve  $h_1=6.4$   $h_2=6.4$  mm için BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $\tau_{xy}$  ve  $\tau_{xz}$  gerilmeleri uç noktalarda artan ve orta hatlara doğru azalan bir seyir izlemiştir.  $\sigma_{eqv}$  gerilmesi B ve C noktalarında genel olarak yatay bir seyir izleyip yapıştırma bölgesinin orta kısımlarına doğru az miktarda bir düşüş gözlenmiştir.  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilmeleri için parça kalınlığının artırılmasının gerilme değerleri üzerindeki etkisi çok az olmuştur.  $h_1=3.2$  durumuyla kıyaslandığında,  $h_1=6.4$  içinde benzer grafikler elde

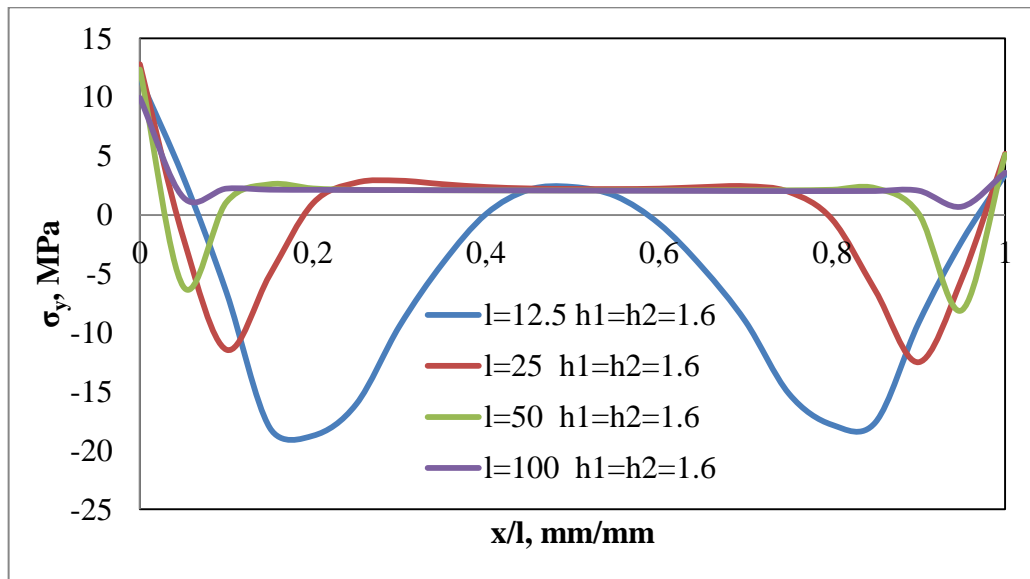
edilmiştir.  $h_1$  kalınlığının artırılması gerilme değerleri üzerinde bir farklılığa neden olmamıştır.

#### 4.6. Farklı bindirme uzunluklarının gerilme dağılımlarına etkisi

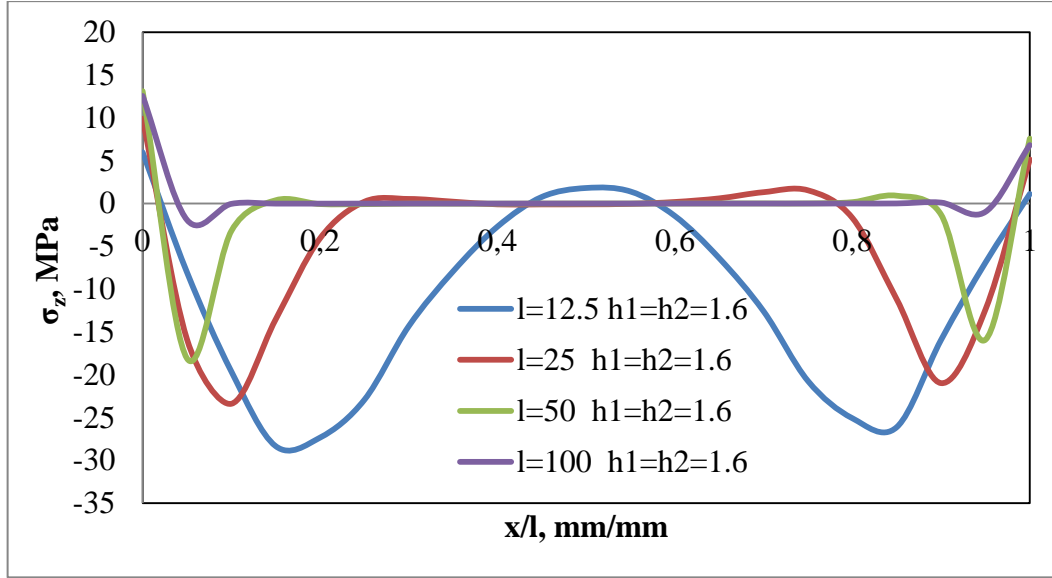
##### 4.6.1. $l=12.5, 25, 50, 100$ mm ve $h_1=h_2=1.6$ mm AB hattı boyunca gerilme dağılımları



Şekil 4.88.  $l=12.5$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=25$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=50$   $h_1=h_2=1.6$  ve  $l=100$   $h_1=h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları

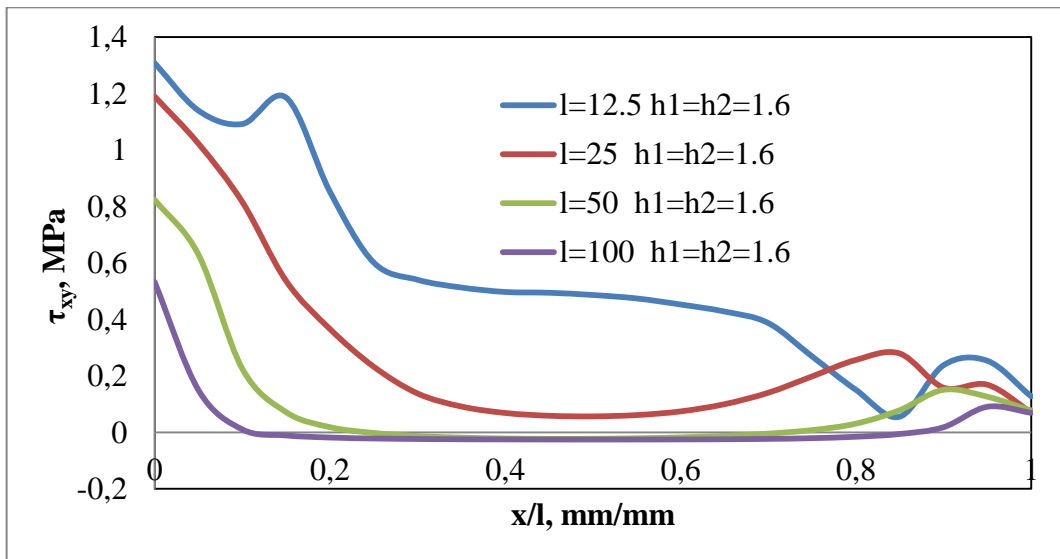


Şekil 4.89.  $l=12.5$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=25$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=50$   $h_1=h_2=1.6$  ve  $l=100$   $h_1=h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları

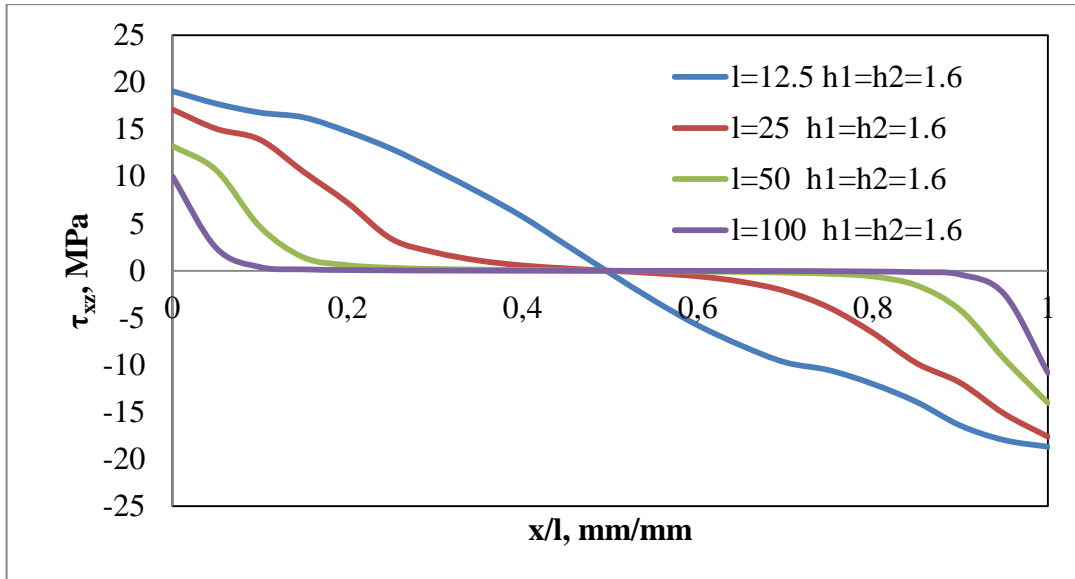


Şekil 4.90.  $l=12,5$   $h_1=h_2=1,6$ ,  $l=25$   $h_1=h_2=1,6$ ,  $l=50$   $h_1=h_2=1,6$  ve  $l=100$   $h_1=h_2=1,6$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları

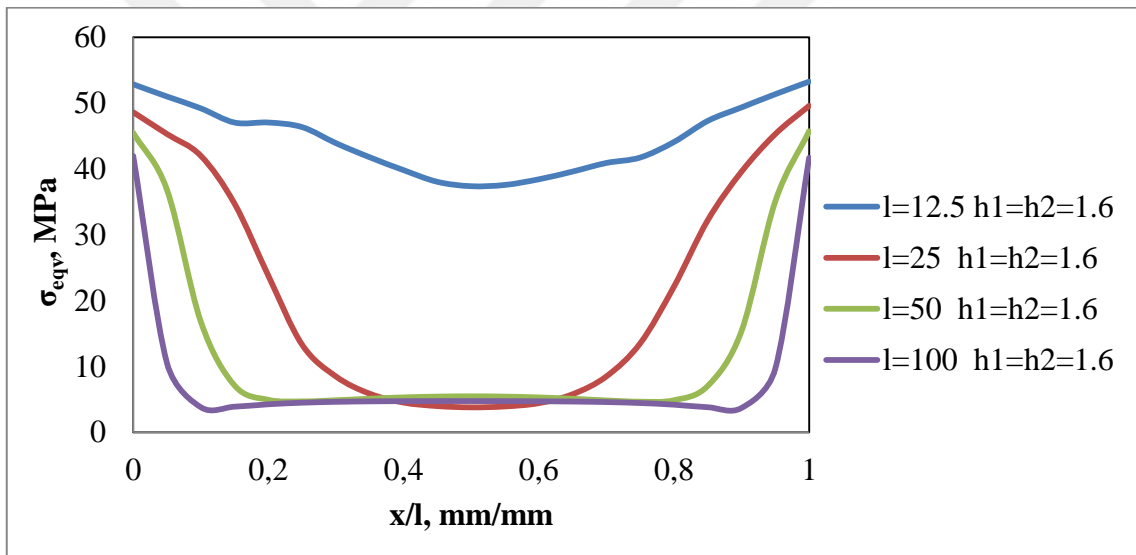
Şekil 4.88, 4.89 ve 4.90'da  $l=12,5$   $h_1=h_2=1,6$ ,  $l=25$   $h_1=h_2=1,6$ ,  $l=50$   $h_1=h_2=1,6$  ve  $l=100$   $h_1=h_2=1,6$  mm için AB hattı boyunca  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilme değerleri A noktasında en yüksek değerde olup B noktasında bunun bir miktar altında. Bindirme uzunluğunun artırılmasının  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilme değerleri üzerinde uç kısımlarda etkisi az olsa bile yapıştırıcı bölgenin ortalarına doğru daha erken sıfır değerine yaklaşmasını sağlayıp yatay bir seyir izlemiştir.



Şekil 4.91.  $l=12,5$   $h_1=h_2=1,6$ ,  $l=25$   $h_1=h_2=1,6$ ,  $l=50$   $h_1=h_2=1,6$  ve  $l=100$   $h_1=h_2=1,6$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları



Şekil 4.92.  $l=12,5$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=25$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=50$   $h_1=h_2=1.6$  ve  $l=100$   $h_1=h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları

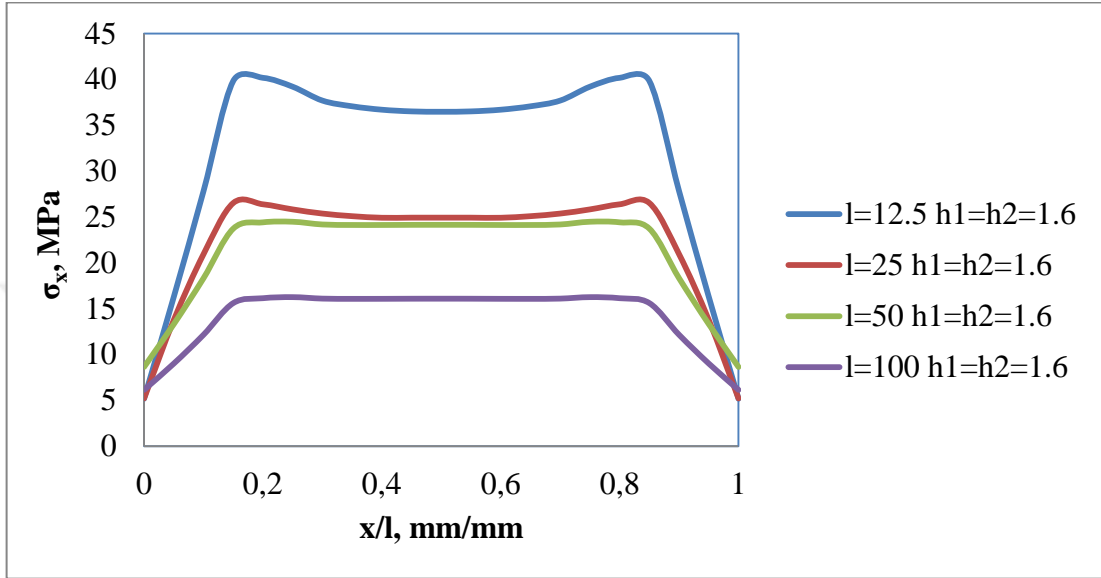


Şekil 4.93.  $l=12,5$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=25$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=50$   $h_1=h_2=1.6$  ve  $l=100$   $h_1=h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları

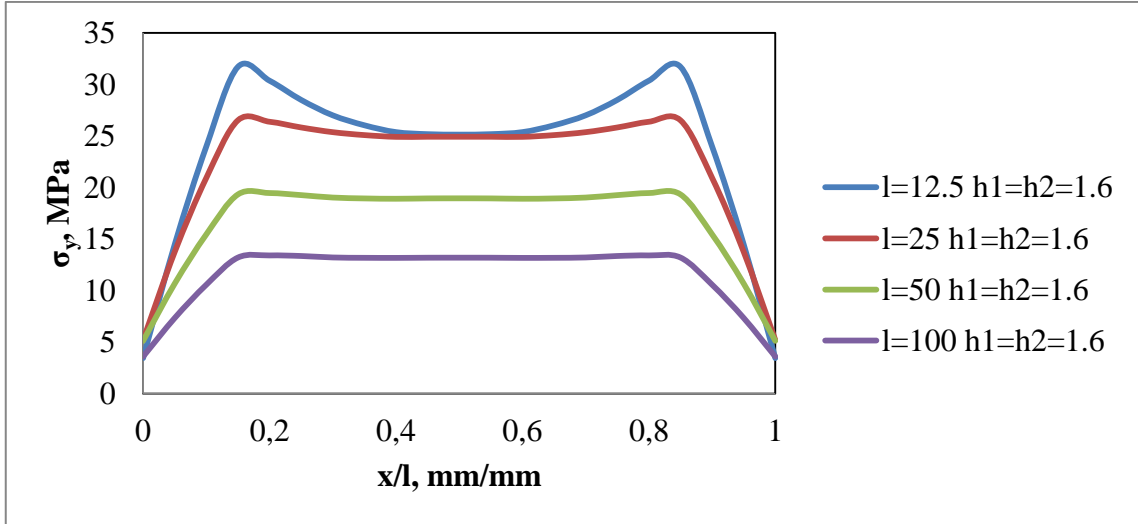
Şekil 4.91, 4.92 ve 4.93'te  $l=12,5$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=25$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=50$   $h_1=h_2=1.6$  ve  $l=100$   $h_1=h_2=1.6$  mm için AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları verilmiştir. Bindirme uzunluğunun artırılmasının  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilme değerlerine katkısı olumlu olmuştur. Bindirme uzunluğu arttıkça gerilmeler düşmüştür.  $\tau_{xy}$  gerilmesi A noktasında en yüksek değerde olup B noktasına doğru gittikçe azalmıştır.  $\tau_{xz}$  ve  $\sigma_{eqv}$  gerilmeleri simetrik bir grafik sergileyip A noktasında bindirme uzunluğuna bağlı olarak düştükten sonra B noktasında tekrar ilk konum değerine ulaşmıştır. Bindirme

uzunluğunun artışı, bindirme uçlarında yığılan gerilmelerin orta hatlara taşınmasını sağlamıştır.

#### 4.6.2. $l=12.5, 25, 50, 100$ mm ve $h_1=h_2=1.6$ mm BC hattı boyunca gerilme dağılımları

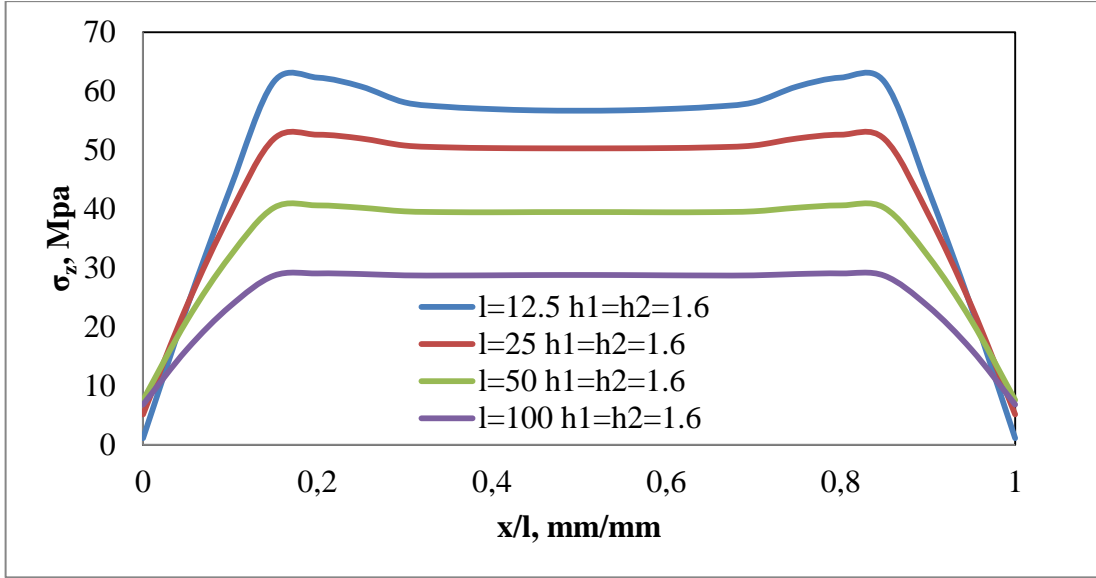


Şekil 4.94.  $l=12,5$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=25$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=50$   $h_1=h_2=1.6$  ve  $l=100$   $h_1=h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları



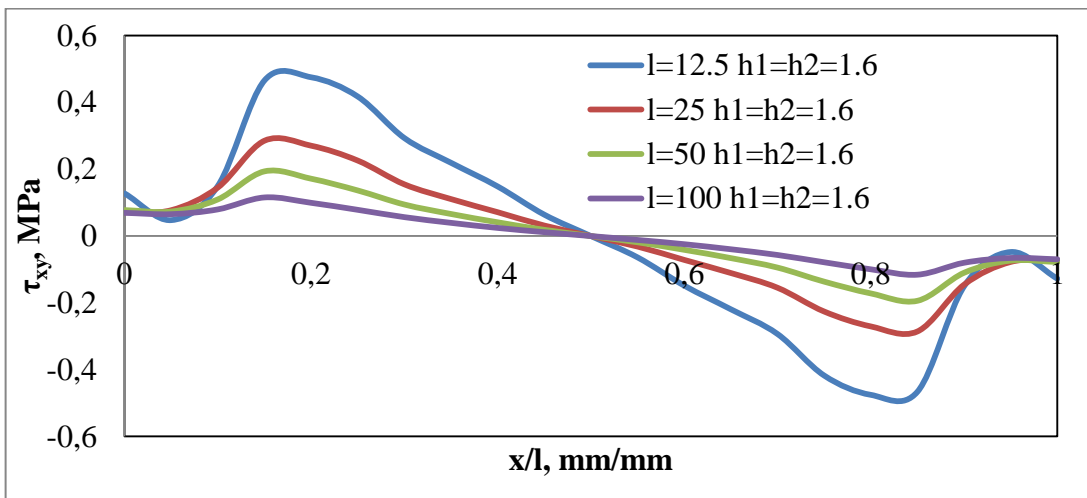
Şekil 4.95.  $l=12,5$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=25$   $h_1=h_2=1.6$ ,  $l=50$   $h_1=h_2=1.6$  ve  $l=100$   $h_1=h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları



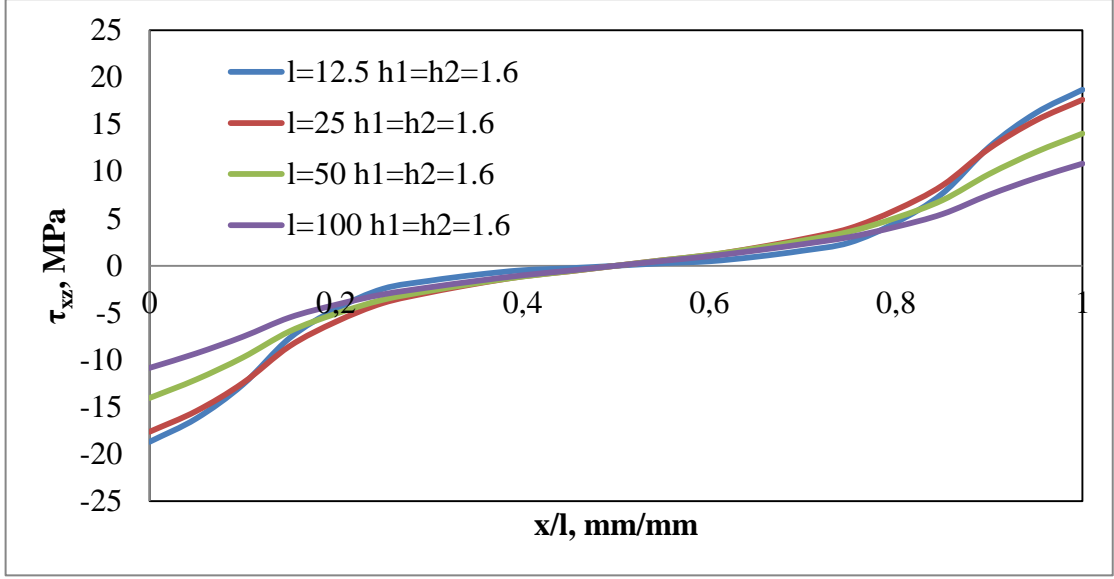


Şekil 4.96.  $l=12,5$   $h_1=h_2=1,6$ ,  $l=25$   $h_1=h_2=1,6$ ,  $l=50$   $h_1=h_2=1,6$  ve  $l=100$   $h_1=h_2=1,6$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları

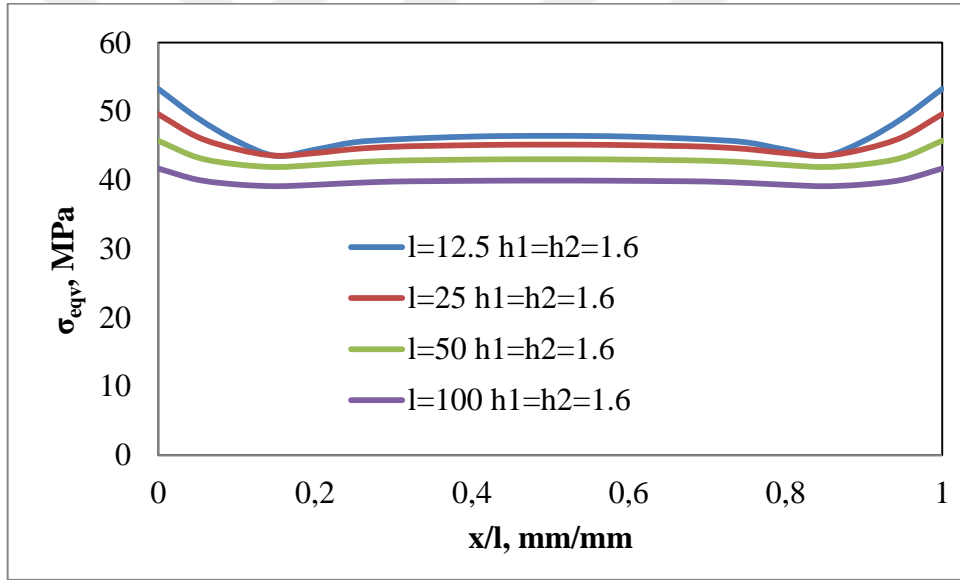
Şekil 4.94, 4.95 ve 4.96'da  $l=12,5$   $h_1=h_2=1,6$ ,  $l=25$   $h_1=h_2=1,6$ ,  $l=50$   $h_1=h_2=1,6$  ve  $l=100$   $h_1=h_2=1,6$  mm için BC hattı boyunca  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilme değerleri B ve C noktalarında en düşük değerlerde olup simetrik bir grafik sergilemektedir. Gerilmeler B noktasında artmaya başlayıp belirli bir miktar arttıktan sonra yatay bir seyir izleyip tekrar eski konumuna dönüyor. B ve C noktalarında bindirme uzunluğunun artırılmasının gerilmeler üzerinde pek etkisi yokken orta kısımlarda belirgin bir düşüş sağlamaktadır. Artan yapışma yüzey alanına bağlı olarak gerilmeler düşmektedir.



Şekil 4.97.  $l=12,5$   $h_1=h_2=1,6$ ,  $l=25$   $h_1=h_2=1,6$ ,  $l=50$   $h_1=h_2=1,6$  ve  $l=100$   $h_1=h_2=1,6$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları



Şekil 4.98.  $l=12,5$   $h_1=h_2=1,6$ ,  $l=25$   $h_1=h_2=1,6$ ,  $l=50$   $h_1=h_2=1,6$  ve  $l=100$   $h_1=h_2=1,6$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları



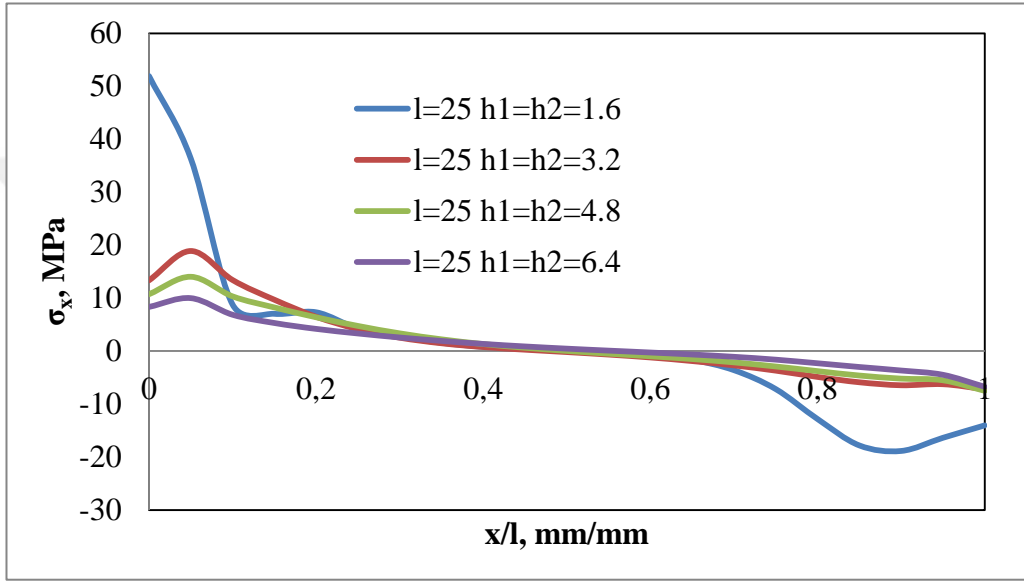
Şekil 4.99.  $l=12,5$   $h_1=h_2=1,6$ ,  $l=25$   $h_1=h_2=1,6$ ,  $l=50$   $h_1=h_2=1,6$  ve  $l=100$   $h_1=h_2=1,6$  mm tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında, yapıştırıcı malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları

Şekil 4.97, 4.98 ve 4.99'da  $l=12,5$   $h_1=h_2=1,6$ ,  $l=25$   $h_1=h_2=1,6$ ,  $l=50$   $h_1=h_2=1,6$  ve  $l=100$   $h_1=h_2=1,6$  mm için BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları verilmiştir. Bindirme uzunluğunun arttırılmasının  $\tau_{xy}$  gerilmesi B noktasında pozitif değerde başlayıp dalgalı bir seyir izledikten sonra C noktasında negatif değerlere düşmüştür. Bindirme uzunluğu arttırılması gerilmelerde düşüş sağlamıştır. B noktasında  $\tau_{xz}$  gerilme değerleri arasındaki fark fazla iken orta kısımlara doğru bu fark gittikçe kapanmaktadır.  $\sigma_{eqv}$  gerilmesi simetrik bir grafik sergileyip B noktasında bindirme

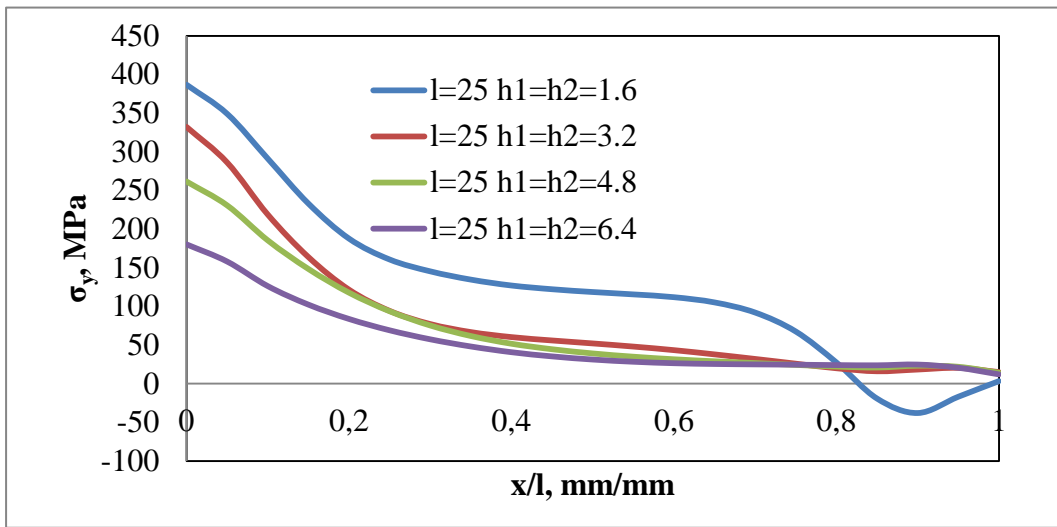
uzunluđuna bađlı olarak bir miktar dűstűkten sonra B noktasında tekrar ilk konum deđerine ulařmıřtır. Gerilme deđerleri ađırlıklı olarak yatay bir seyir izlemiřtir.

#### 4.7. Farklı levha kalınlıklarının alt levhada gerilme dağılımlarına etkisi

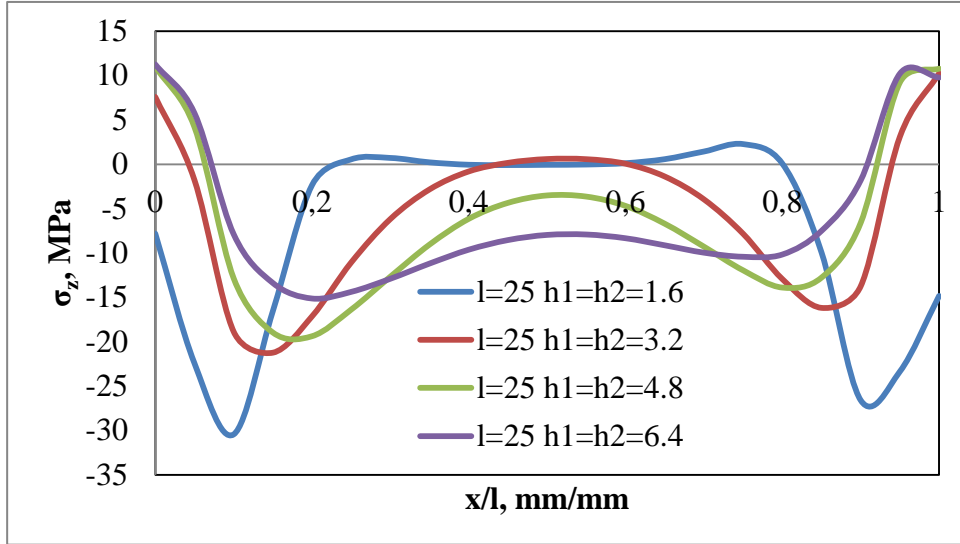
##### 4.7.1. $l=25$ mm bindirme uzunluğu ve farklı levha kalınlığı için alt levhada AB hattı boyunca gerilme dağılımları



Şekil 4.100.  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları

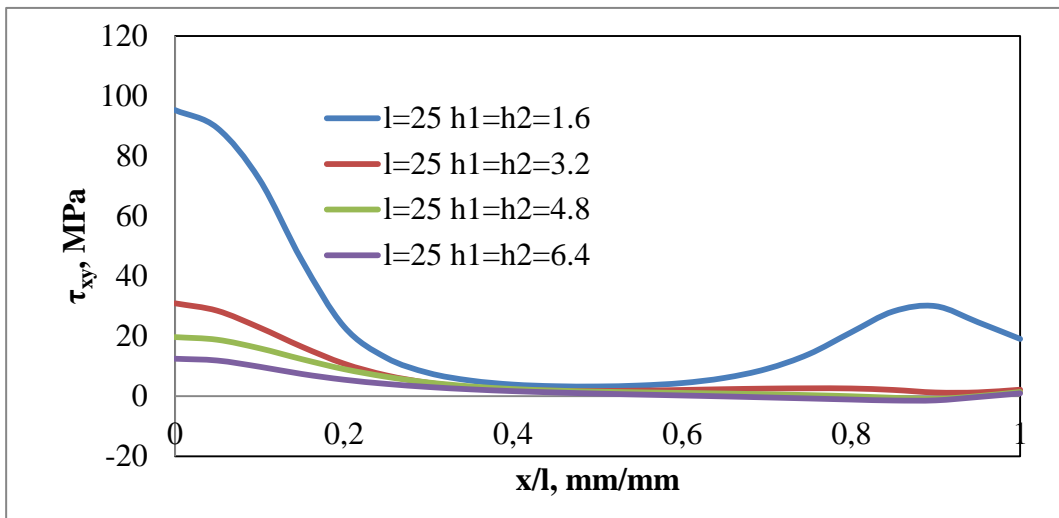


Şekil 4.101.  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları

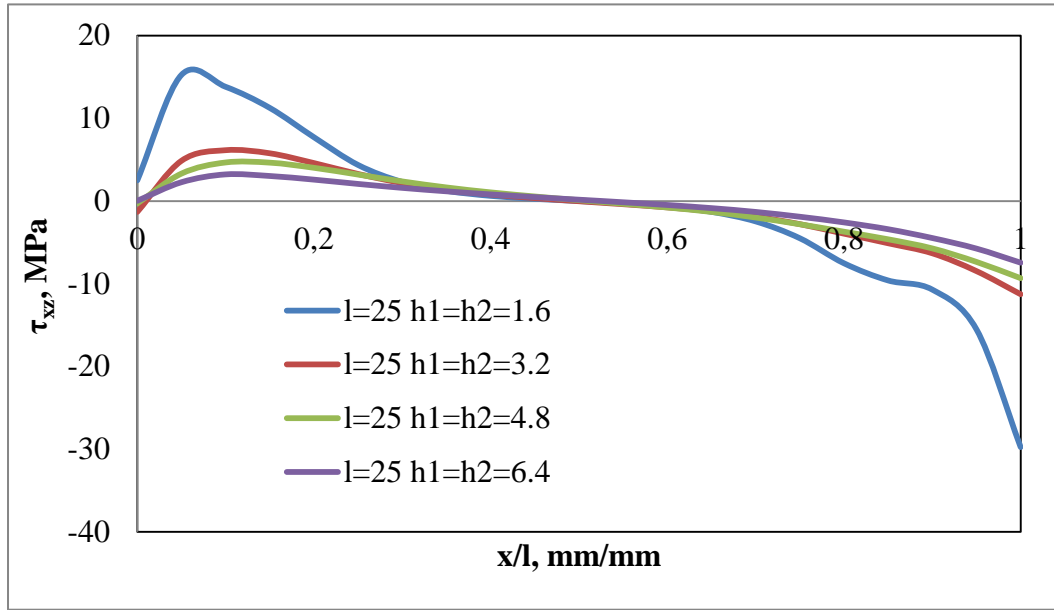


**Şekil 4.102.**  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemedeki AB hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları

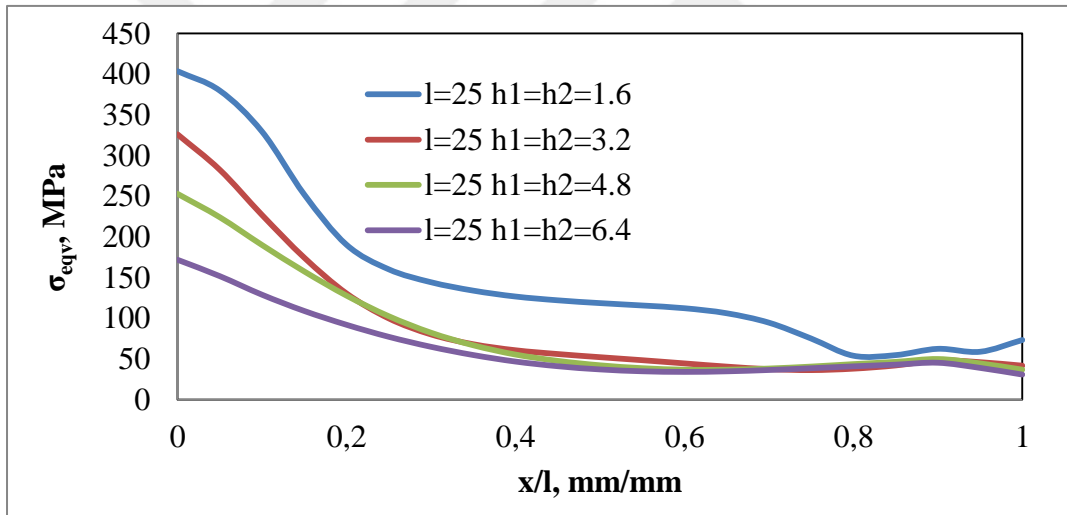
Şekil 4.100, 4.101 ve 4.102'de  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm için, AA2024-T3 malzemedeki AB hattı boyunca  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $\sigma_x$  gerilmesi A noktasında pozitif değerde olup bir miktar artış gösterdikten sonra B noktasına doğru gittikçe azalarak sifira ulaşmış, daha sonra negatif yönde simetrik bir şekilde ilerlemiştir. Yapıştırıcı tabaka ile karşılaştırıldığı  $\sigma_y$  gerilme değerleri A noktasında çok yüksek olup gittikçe azalarak sifira yaklaşmıştır.  $\sigma_z$  gerilmesi uç kısımlarda en yüksek değerlerde olup malzemenin ortalarında azalır artan bir seyir izlemektedir.  $\sigma_z$  gerilmesi de yapıştırıcı tabaka ile benzer gerilme değerleri ve grafik ortaya koymuştur.



**Şekil 4.103.**  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemedeki AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları



Şekil 4.104.  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemedeki AB hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları

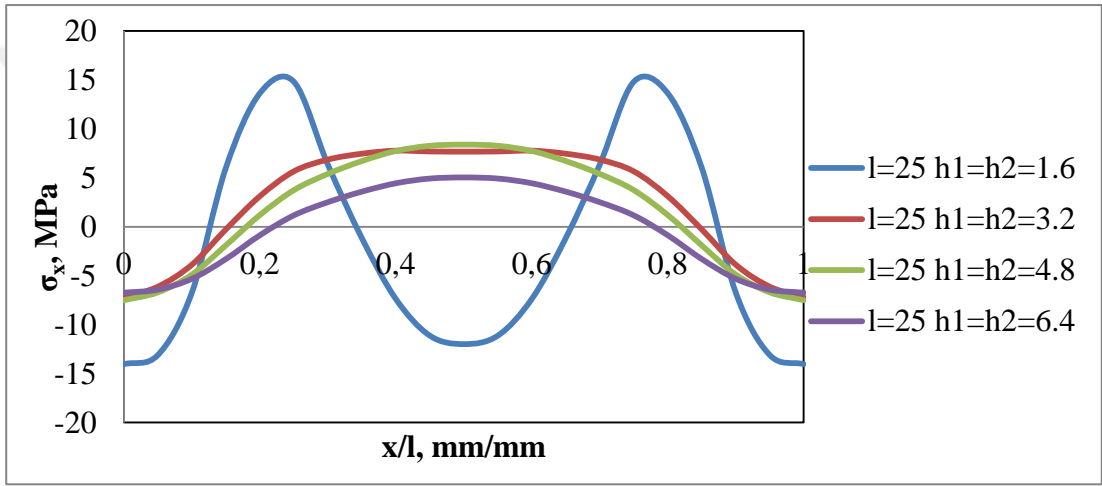


Şekil 4.105.  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemedeki AB hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları

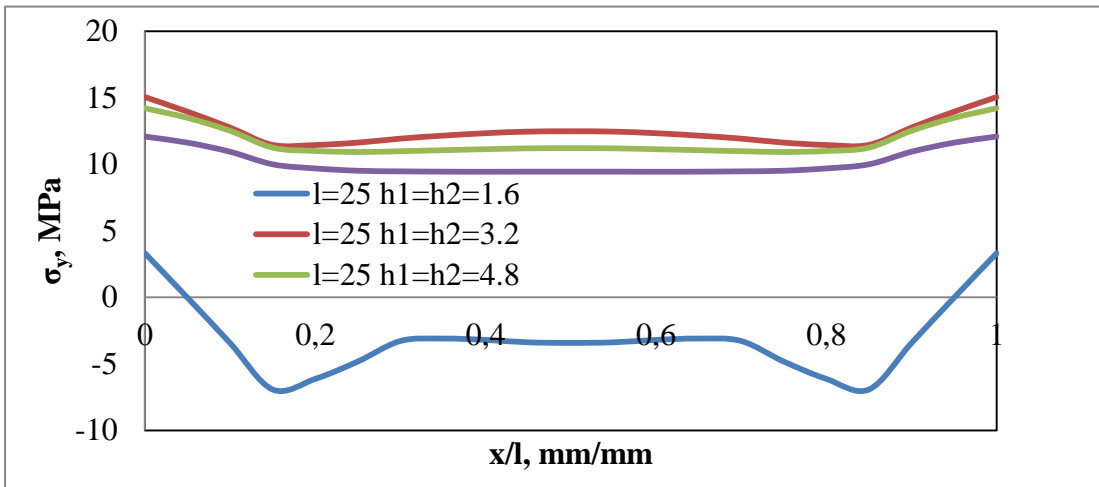
Şekil 4.103, 4.104 ve 4.105'te  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm için, AA2024-T3 malzemedeki AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $\tau_{xy}$  gerilmesi A noktasından malzemenin orta kısmına kadar azalarak sıfırlanmış, daha sonra negatif yönde simetrik olarak B noktasına doğru gittikçe artmıştır. Gerilme değerleri arasındaki fark A noktasında birbirinden uzak iken, B noktasında gittikçe yaklaşmıştır. Yapıştırıcı bölgedeki gerilmelerle karşılaştırıldığında, asıl gerilmeye maruz kalan kısmın alt levha olduğu anlaşılıyor. Levha kalınlığına bağlı olarak  $h_1=1.6$  mm'den  $h_1=3.2$  mm'ye gerilme değerleri ciddi

bir biçimde düşmektedir. Diğer levha kalınlıklarında ise gerilmeler daha az etkilenmiştir.  $\tau_{xz}$  gerilmesi A noktasında bir miktar artış gösterip tekrar azalarak sıfırlandıktan sonra B noktasına doğru negatif yönde simetrik bir grafik çizmiştir. Yapıştırıcı bölgeyle benzer gerilme ve grafik değerlerine sahiptir.  $\sigma_{eqv}$  gerilmesi yapıştırıcı bölgedeki gerilmelere nazaran A noktasında çok yüksek çıkmaktadır. Malzeme kalınlığına bağlı olarak gerilme değerleri orantılı bir şekilde düşmüştür.

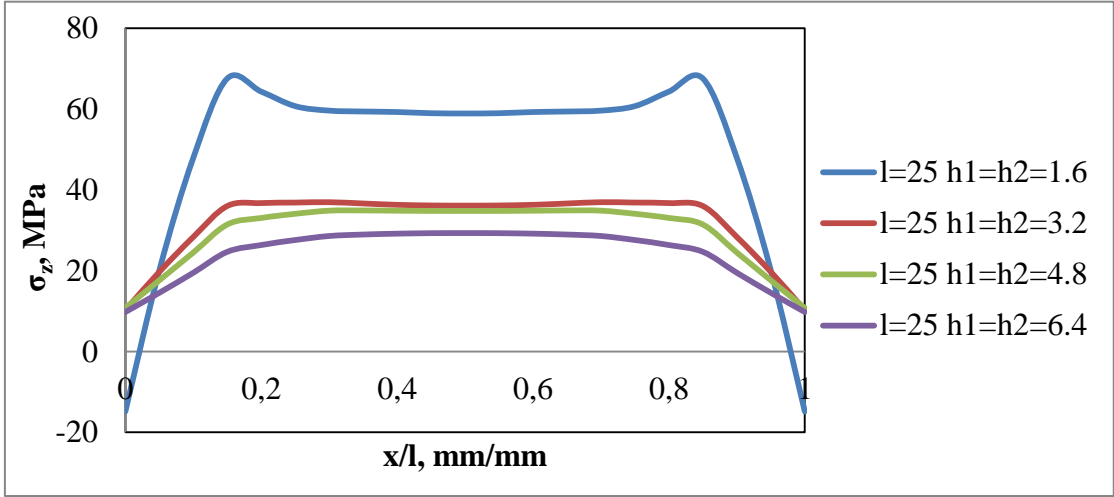
#### 4.7.2. $l=25$ mm bindirme uzunluğu ve farklı malzeme kalınlığı için alt levhada BC hattı boyunca gerilme dağılımları



Şekil 4.106.  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemedeki BC hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları

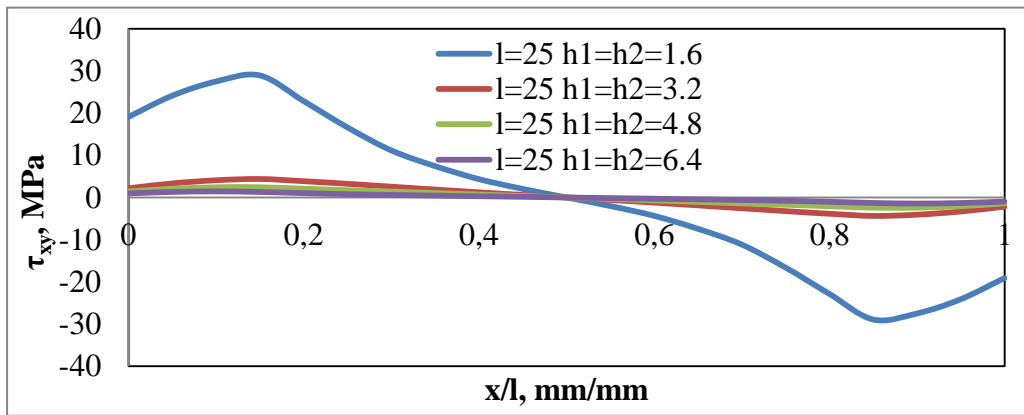


Şekil 4.107.  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemedeki BC hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları

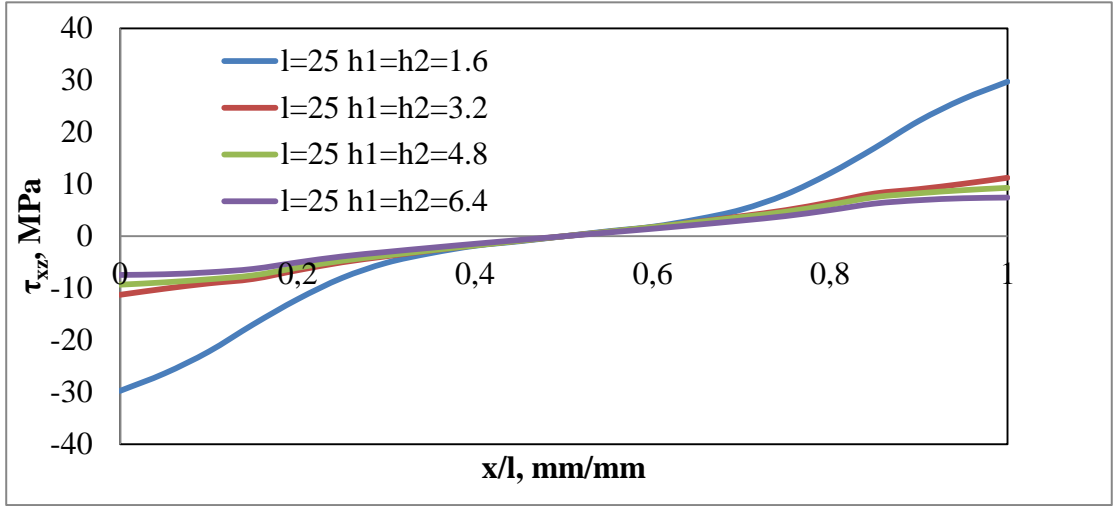


**Şekil 4.108.**  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemedeki BC hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları

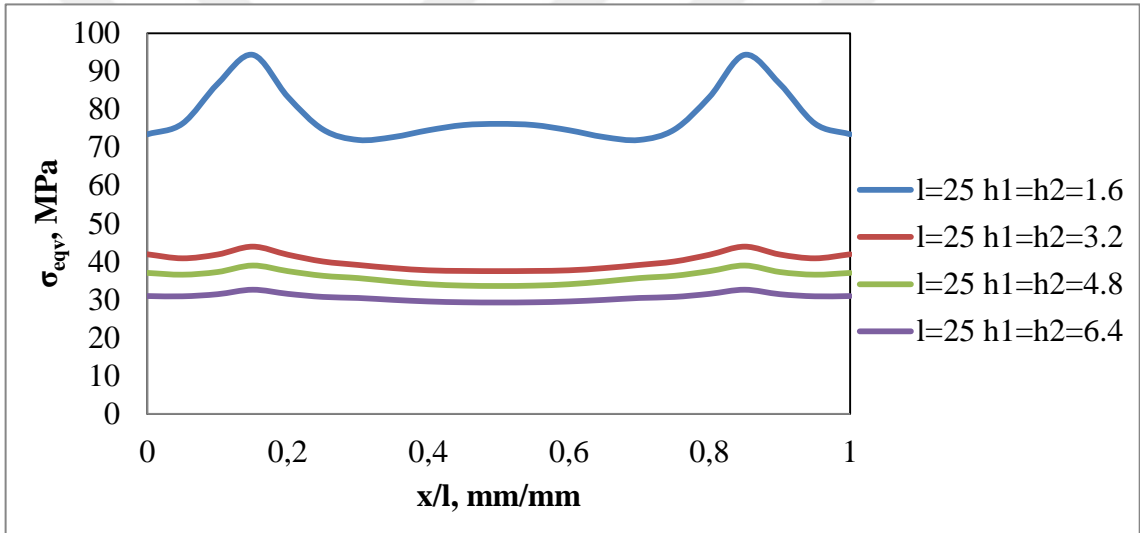
Şekil 4.106, 4.107 ve 4.108'de  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm için, AA2024-T3 malzemedeki BC hattı boyunca  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $\sigma_x$  gerilmesi B noktasında negatif değerle başlayıp pozitif bölgeye doğru artarak tepe noktasında simetrik olarak tekrar ilk konumuna dönmüştür. Yapıştırıcı tabaka ile karşılaştırıldığı grafik olarak benzer, gerilme değerleri olarak aynı çıkmıştır. Malzeme kalınlığının artırılması uç kısımlardaki gerilme değerlerini etkilemezken, orta kısımlarda bir miktar düşüş sağlamıştır.  $\sigma_y$  gerilmesi uç kısımlarda en yüksek değerlerde olup malzemenin ortalarında biraz düşerek yatay bir seyir izlemektedir.  $\sigma_z$  gerilmesi de yapıştırıcı tabaka ile benzer gerilme değerleri ve grafik ortaya koymuştur. Gerilmeler B ve C noktalarında birbirine çok yakın orta kısımlara doğru ise bir miktar birbirinden uzaklaşmaktadır.



**Şekil 4.109.**  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemedeki BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları



Şekil 4.110.  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemedeki BC hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları



Şekil 4.111.  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemedeki BC hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları

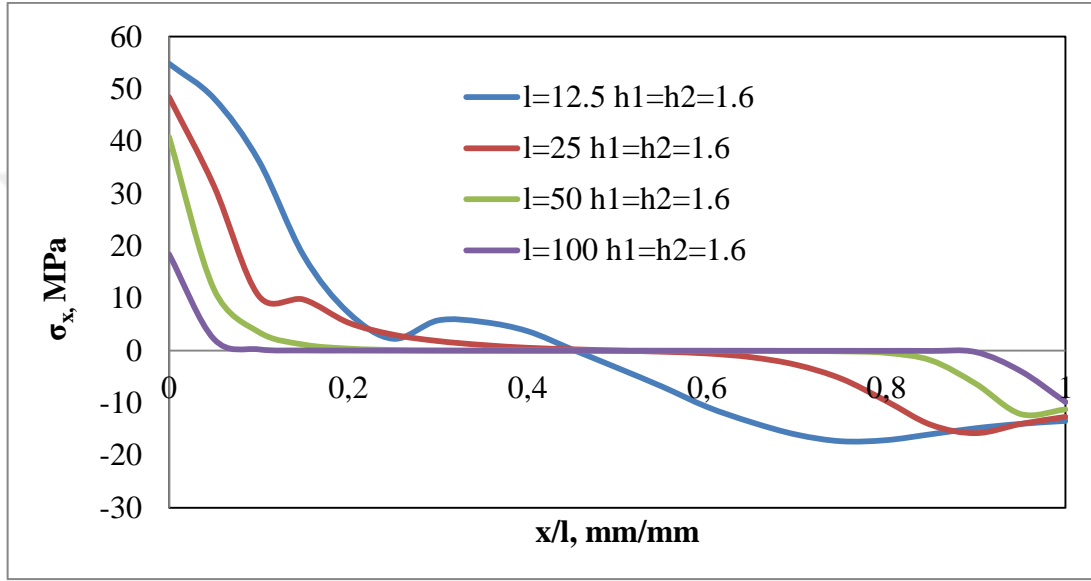
Şekil 4.109, 4.110 ve 4.111'de  $l=25$ ,  $h_1=h_2=1.6$ ,  $h_1=h_2=3.2$ ,  $h_1=h_2=4.8$  ve  $h_1=h_2=6.4$  mm için, AA2024-T3 malzemedeki BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $\tau_{xy}$  gerilmesi B noktasından C noktasına doğru sıfır hattına yakın yatay grafik ortaya koymuştur. Yapıştırıcı bölgedeki gerilmelerle benzer bir grafik çizmiştir. Levha kalınlığına bağlı olarak  $h_1=1.6$  mm'den  $h_1=3.2$  mm'ye gerilme değerleri ciddi bir biçimde düşmektedir. Diğer levha kalınlıklarında ise gerilmeler daha az etkilenmiştir.  $\tau_{xz}$  gerilmesi B noktasında negatif değerlerde başlayıp azalarak sıfırlandıktan sonra C noktasına kadar pozitif yönde simetrik bir özellik sergilemiştir. Yapıştırıcı bölgeyle benzer gerilme ve grafik değerlerine sahiptir.  $\sigma_{eqv}$  gerilmesi



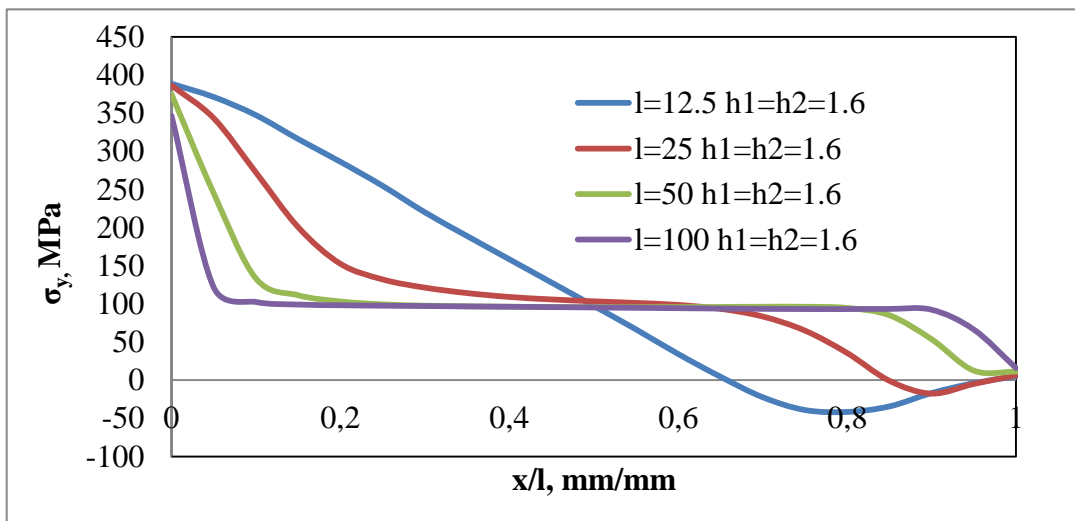
yapıştırıcı bölgedeki gerilmelere nazaran B noktasında  $h_1=1,6$  mm için fark edilir bir şekilde artmaktadır. Diğer kalınlıklar içinse benzer gerilmeler elde edilmiştir.

#### 4.8. Farklı bindirme uzunluklarının alt levhada gerilme dağılımlarına etkisi

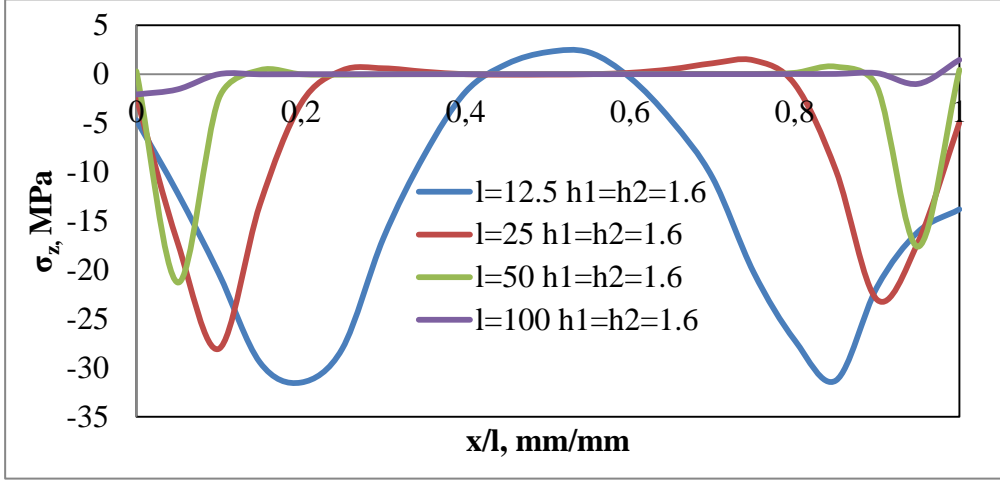
##### 4.8.1. $l=12,5, 25, 50, 100$ mm ve $h_1=h_2=1,6$ mm alt levhada AB hattı boyunca gerilme dağılımları



Şekil 4.112.  $l=12,5-25-50-100$  ve  $h_1,h_2=1,6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemedeki AB hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları

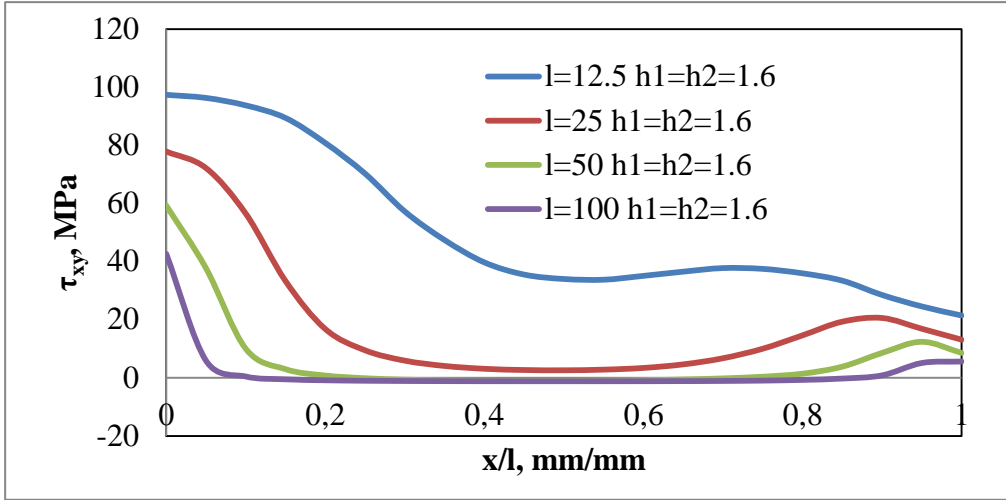


Şekil 4.113.  $l=12,5-25-50-100$  ve  $h_1,h_2=1,6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemedeki AB hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları

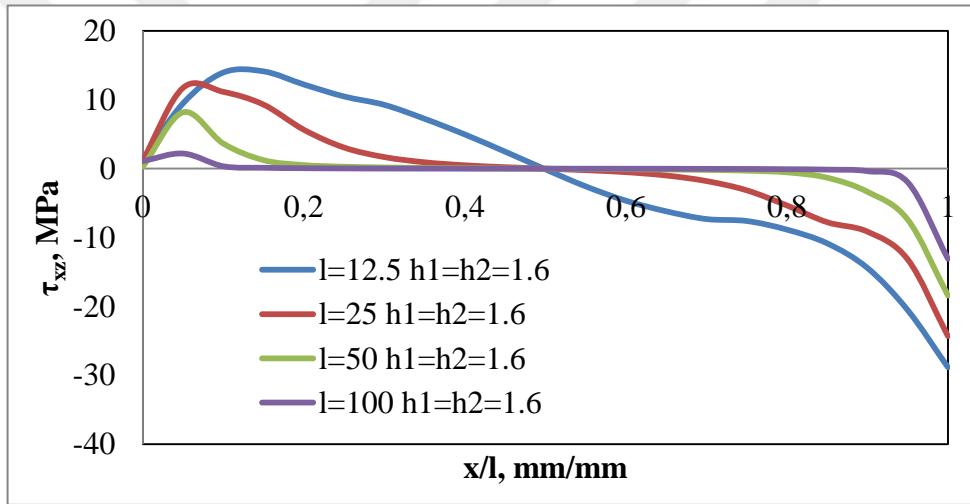


Şekil 4.114.  $l=12.5-25-50-100$  ve  $h_1, h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemedeki AB hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları

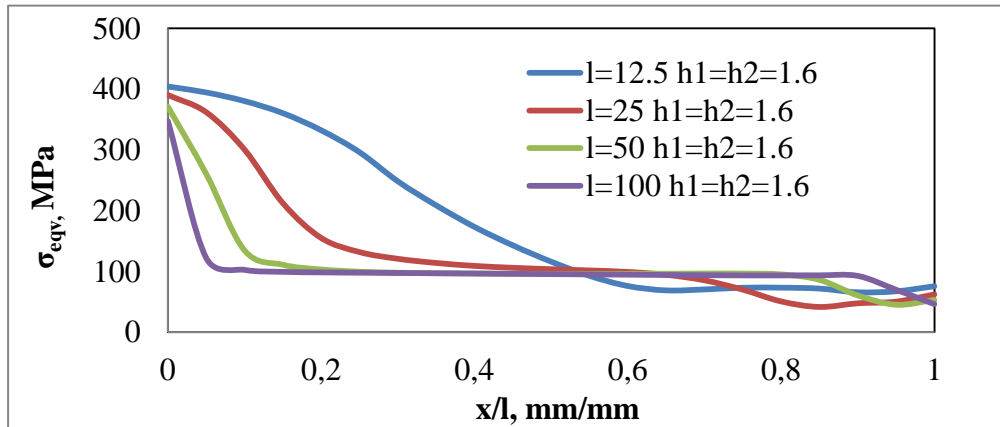
Şekil 4.112, 4.113 ve 4.114'de  $l=12.5-25-50-100$  ve  $h_1, h_2=1.6$  mm için, AA2024-T3 malzemedeki AB hattı boyunca  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $\sigma_x$  gerilmesi A noktasında bindirme uzunluğunun artışına bağlı olarak malzemenin orta kısmına doğru orantılı bir şekilde düşüp sıfırlandıktan sonra negatif yönde simetrik olarak B noktasına doğru artmıştır. Ama A noktasına nazaran bütün levha kalınlıkları için gerilme değerleri bir noktada toplanmış ve daha düşük değerlerde çıkmıştır. Yapıştırıcı bölge ile kıyaslandığında gerilmeler levha üzerinde daha yüksektir.  $\sigma_y$  gerilmeleri de bir miktar düşükten sonra yatay bir seyir izleyip düşmeye devam ederek sifira yaklaşmıştır. Farklı bindirme uzunluklarının gerilme değerleri A noktasında birbirine yakınken, A noktasından uzaklaştıkça bu fark gittikçe artmaktadır. Bu da artan yapıştırma yüzey alanının etkisinden kaynaklanmaktadır. Yapıştırıcı bölgeye nazaran A noktasında alt levha çok daha yüksek gerilmelere maruz kalmaktadır.  $\sigma_z$  gerilmesi de negatif yönde artıp azalan dalgalı bir grafik sergilemektedir. Levhanın uç kısımlarında gerilmeler bir miktar arttıktan sonra uzun bir hat boyunca sifira yakın yatay bir seyir izlemektedirler.  $l=100$  için gerilme ciddi oranda düşmüştür. Diğer bindirme uzunluklarında ise orantılı bir düşüş vardır.



Şekil 4.115.  $l=12.5-25-50-100$  ve  $h_1, h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları



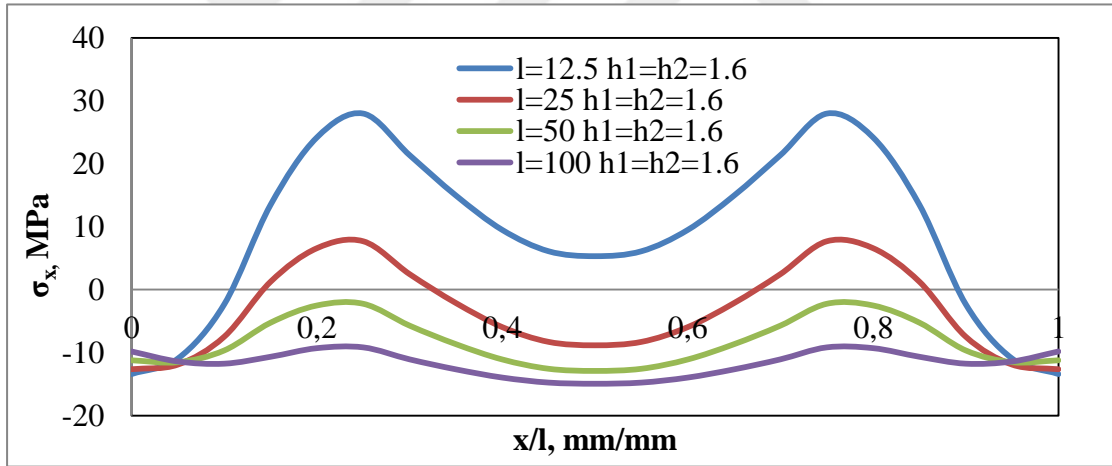
Şekil 4.116.  $l=12.5-25-50-100$  ve  $h_1, h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları



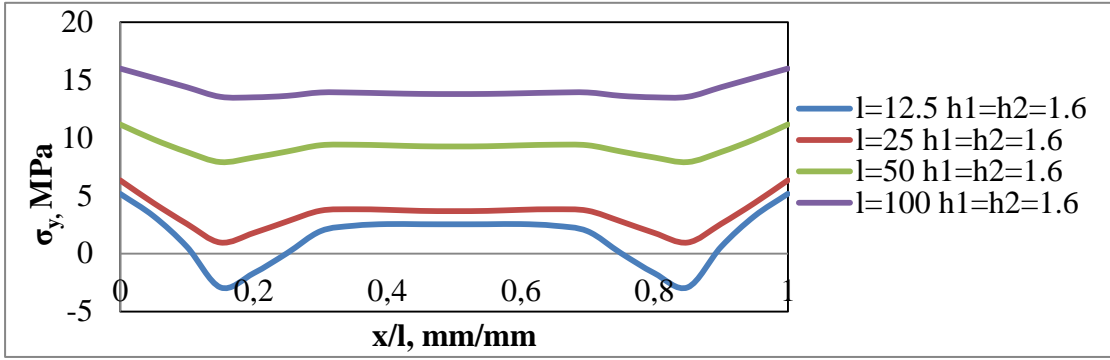
Şekil 4.117.  $l=12.5-25-50-100$  ve  $h_1, h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede AB hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları

Şekil 4.115, 4.116 ve 4.117'de  $l=12.5-25-50-100$  ve  $h_1, h_2=1.6$  mm için, AA2024-T3 malzemede AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $\tau_{xy}$  gerilmesi bindirme uzunluğunun artmasına bağlı olarak gerilme değerleri orantılı bir şekilde A noktasından itibaren düşerek levhanın orta kısımlarına doğru sıfırlanmış, daha sonra B noktasına doğru yine bir miktar artmıştır. Yapıştırıcı bölge ile kıyaslandığında, asıl gerilemeye maruz kalanın levha olduğu anlaşılıyor. Grafikler ise benzer bir özellik taşıyor.  $\tau_{xz}$  gerilmesi de yapıştırıcı bölge ile benzer grafik ve gerilme değerlerine sahiptir. Uç noktalarda gerilmeler yüksek orta hatlara doğru ise düşmektedir.  $\sigma_{eqv}$  ise A noktasında en yüksek değerde olup B noktasına doğru ilerlerken bir miktar düştükten sonra yatay bir seyir izlemektedir. Bindirme uzunluğunun etkisi orta kısımlara nazaran uç noktalarda daha azdır.

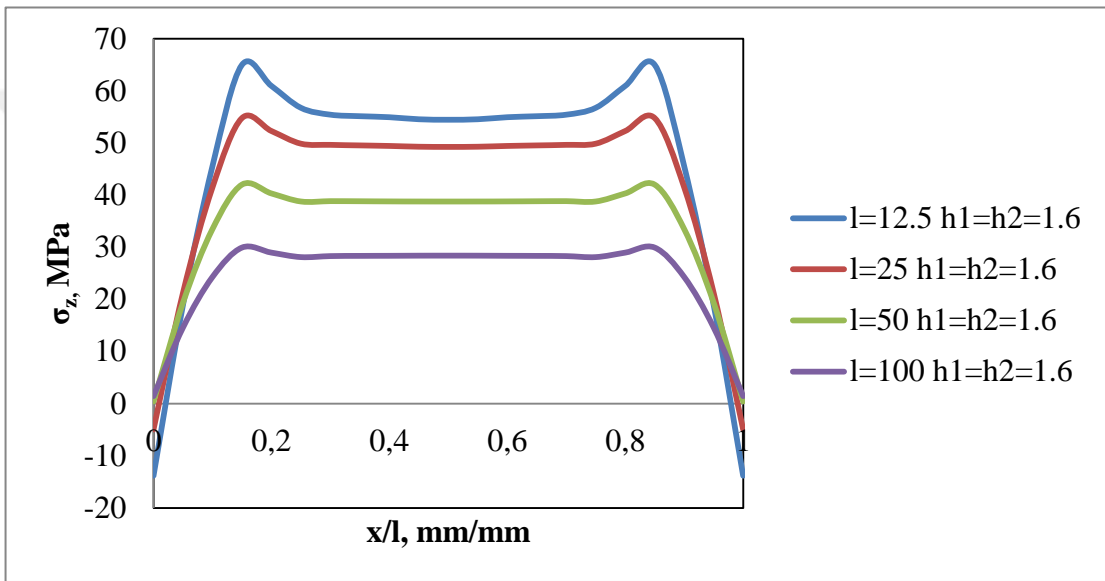
#### 4.8.2. $l=12.5, 25, 50, 100$ mm ve $h_1=h_2=1.6$ mm alt levhada BC hattı boyunca gerilme dağılımları



Şekil 4.118.  $l=12.5-25-50-100$  ve  $h_1, h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları

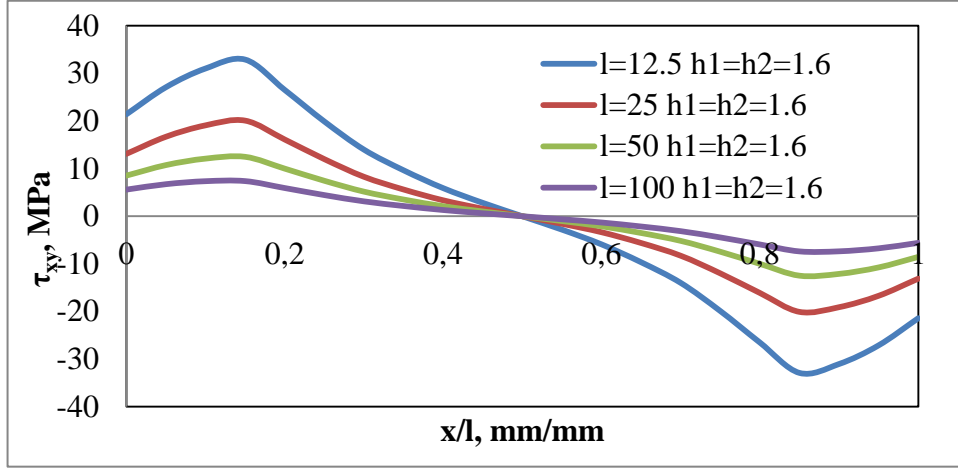


Şekil 4.119.  $l=12.5-25-50-100$  ve  $h_1, h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemesinde BC hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları

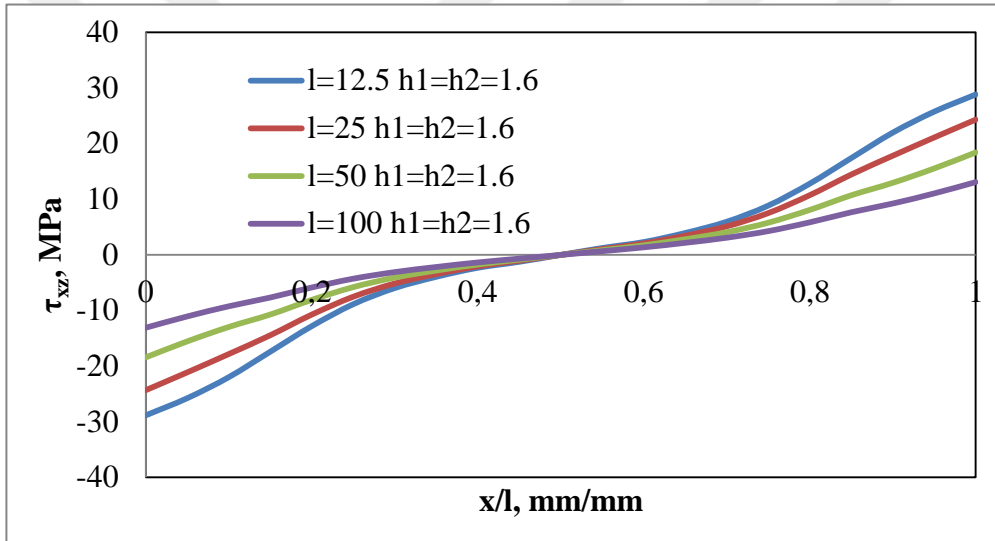


Şekil 4.120.  $l=12.5-25-50-100$  ve  $h_1, h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemesinde BC hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları

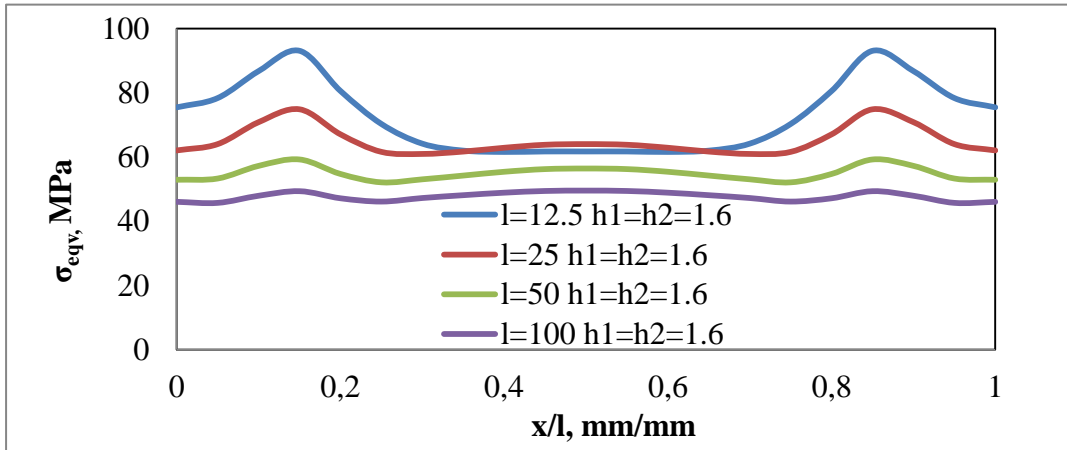
Şekil 4.118, 4.119 ve 4.120'de  $l=12.5-25-50-100$  ve  $h_1, h_2=1.6$  mm için, AA2024-T3 malzemesinde BC hattı boyunca  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $\sigma_x$  gerilmeleri B noktasından C noktasına doğru dalgalı bir seyir izlemektedir. Bindirme uzunluğuna bağlı olarak yüksek bindirme uzunluklarında dalga boyutları daha düşük olmaktadır. Düşük bindirme uzunluklarında gerilme farklılıkları daha fazla olmaktadır. Yapıştırma bölgesinde, levhaya nazaran daha az dalgalanmalar mevcuttur.  $\sigma_y$  gerilmeleri B ve C noktalarında bindirme uzunluğunun artışına bağlı olarak artmıştır. Yapıştırma bölgesinde ise tam tersi olmuştur.  $\sigma_z$  gerilmesi yapışkan bölgeyle benzer olarak B noktasında bir miktar arttıktan sonra orta kısımlarda yatay bir seyir izleyip B noktasına doğru düşmektedir.



Şekil 4.121.  $l=12.5-25-50-100$  ve  $h_1, h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları



Şekil 4.122.  $l=12.5-25-50-100$  ve  $h_1, h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları

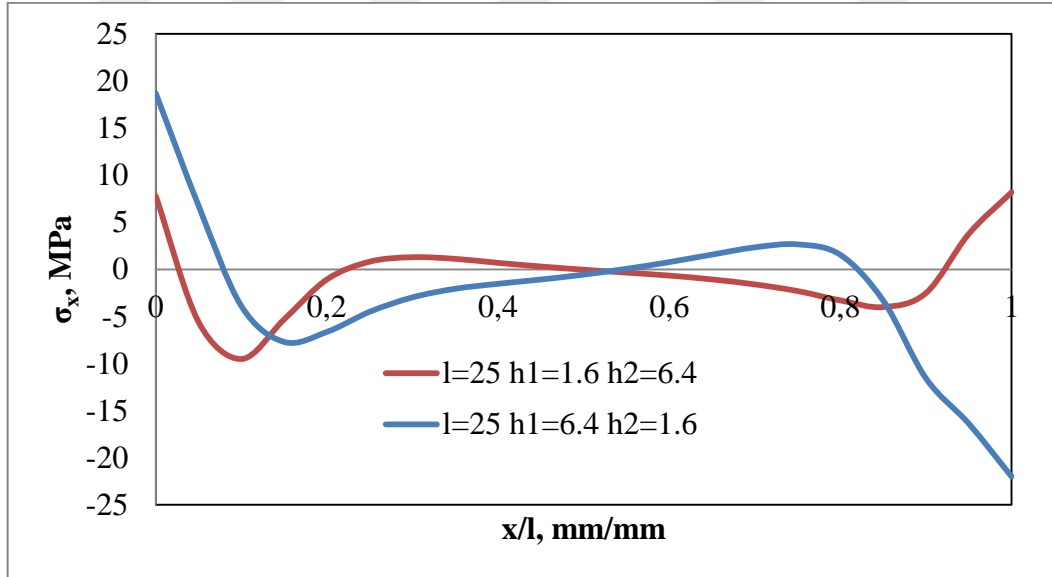


Şekil 4.123.  $l=12.5-25-50-100$  ve  $h_1, h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, AA2024-T3 malzemede BC hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları

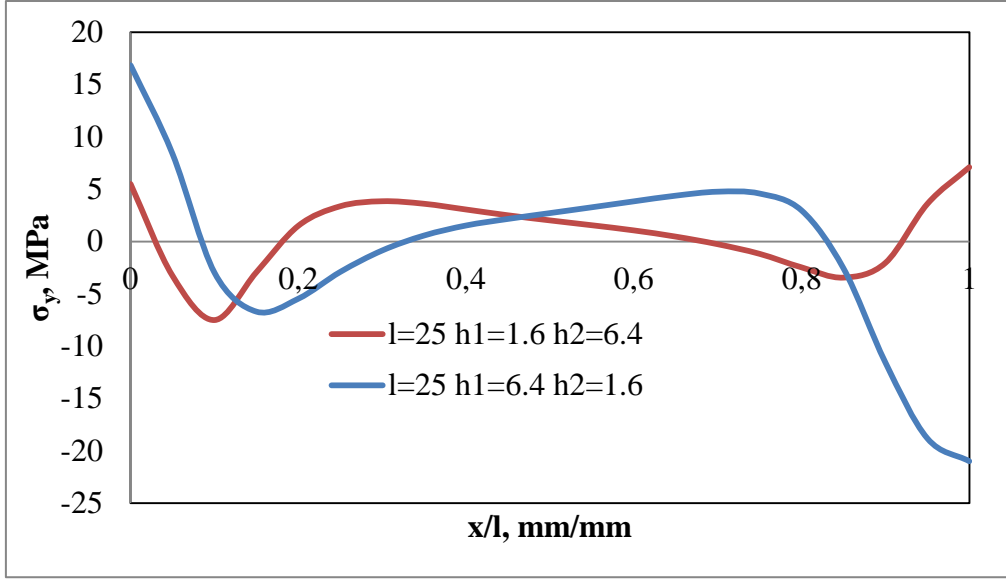
Şekil 4.121, 4.122 ve 4.123'te  $l=12.5-25-50-100$  ve  $h_1, h_2=1.6$  mm için, AA2024-T3 malzemede BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $\tau_{xy}$  gerilmesi B noktasında bindirme mesafesinin artışına bağlı olarak düşmüştür. Orta kısımlara doğru gittikçe azalarak sıfıra düşmüştür. Bu noktadan sonra negatif yönde simetrik olarak C noktasına doğru artarak devam etmiştir. Levhanın gerilmelere yapıştırıcı bölgeden çok daha fazla maruz kaldığı gözlenmiştir.  $\tau_{xz}$  gerilmesi de yapıştırıcı bölgeye benzer olarak negatif bölgeden başlayarak gittikçe azalan, daha sonra pozitif bölgede simetrik olarak tekrar C noktasına doğru artan bir seyir izlemiştir.  $\sigma_{eqv}$  gerilmesi için de bindirme uzunluğu arttıkça gerilmeler orantılı olarak düşmüştür. Yapıştırıcı bölgeyle kıyaslandığında gerilmeler bir miktar daha yüksek ve dalgalı çıkmıştır.

#### 4.9. En düşük ve en yüksek alt ve üst levha kalınlıklarının gerilme dağılımlarına etkisi

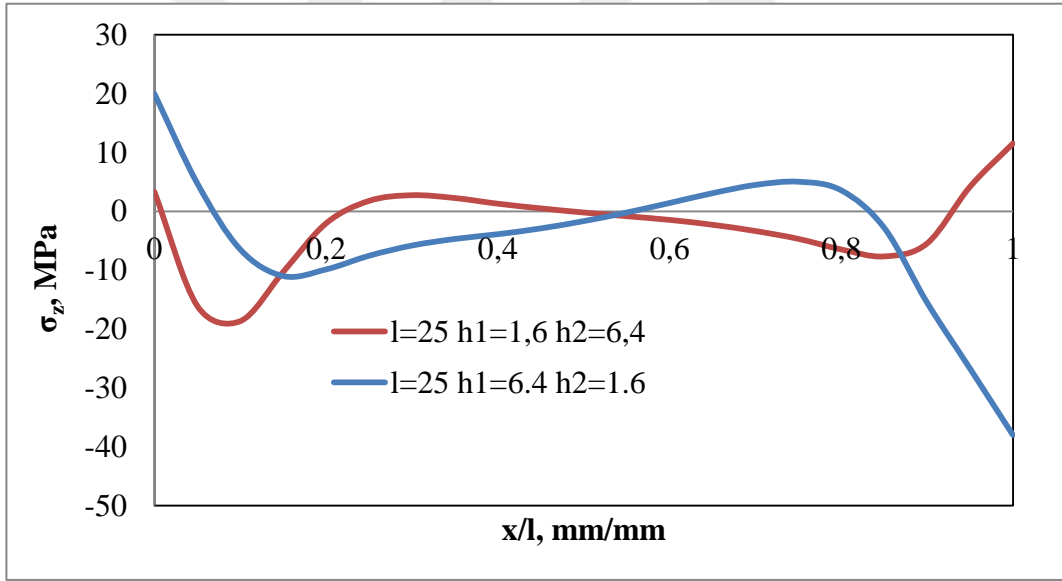
##### 4.9.1. $l=25$ mm, $h_1=1.6$ , $h_2=6.4$ mm ve $l=25$ mm, $h_1=6.4$ , $h_2=1.6$ mm AB hattı boyunca gerilme dağılımları



Şekil 4.124.  $l=25$  mm,  $h_1=1.6$ ,  $h_2=6.4$  mm ve  $l=25$  mm,  $h_1=6.4$ ,  $h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcıda AB hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları



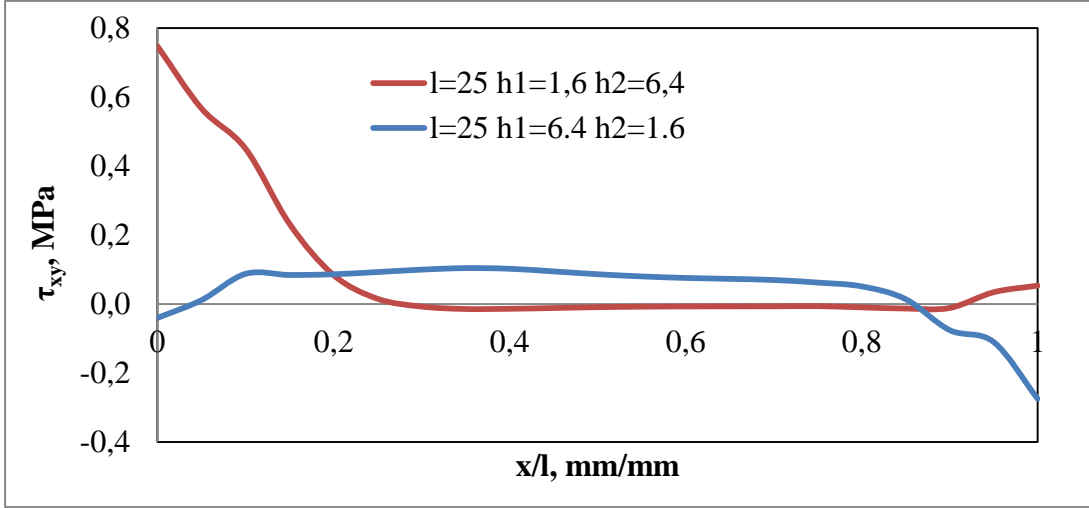
Şekil 4.125.  $l=25$  mm,  $h_1=1.6$ ,  $h_2=6.4$  mm ve  $l=25$  mm,  $h_1=6.4$ ,  $h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcıda AB hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları



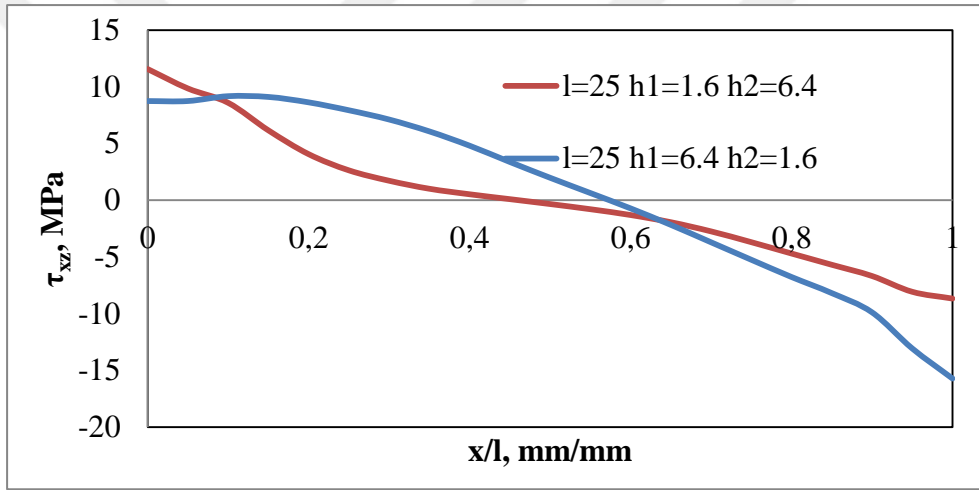
Şekil 4.126.  $l=25$  mm,  $h_1=1.6$ ,  $h_2=6.4$  mm ve  $l=25$  mm,  $h_1=6.4$ ,  $h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcıda AB hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları

Şekil 4.124, 4.125 ve 4.126'de  $l=25$  mm,  $h_1=1.6$ ,  $h_2=6.4$  mm ve  $l=25$  mm,  $h_1=6.4$ ,  $h_2=1.6$  mm için, yapıştırıcıda AB hattı boyunca  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilmeleri için alt levhanın kalınlığının artırılması ve üst levhanın kalınlığının düşürülmesi gerilmeleri arttırıcı bir etki yapmıştır. Orta kısımlarda gerilmeler birbirine yakınlaşmıştır.

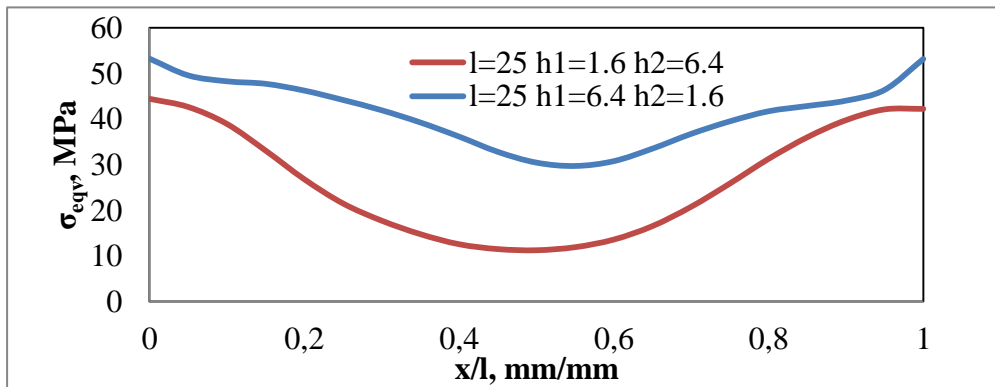




Şekil 4.127.  $l=25$  mm,  $h_1=1.6$ ,  $h_2=6.4$  mm ve  $l=25$  mm,  $h_1=6.4$ ,  $h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcıda AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları



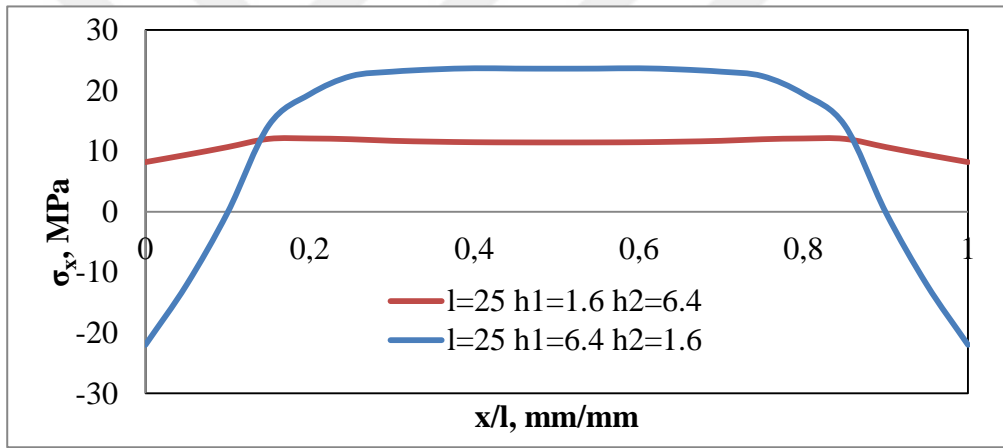
Şekil 4.128.  $l=25$  mm,  $h_1=1.6$ ,  $h_2=6.4$  mm ve  $l=25$  mm,  $h_1=6.4$ ,  $h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcıda AB hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları



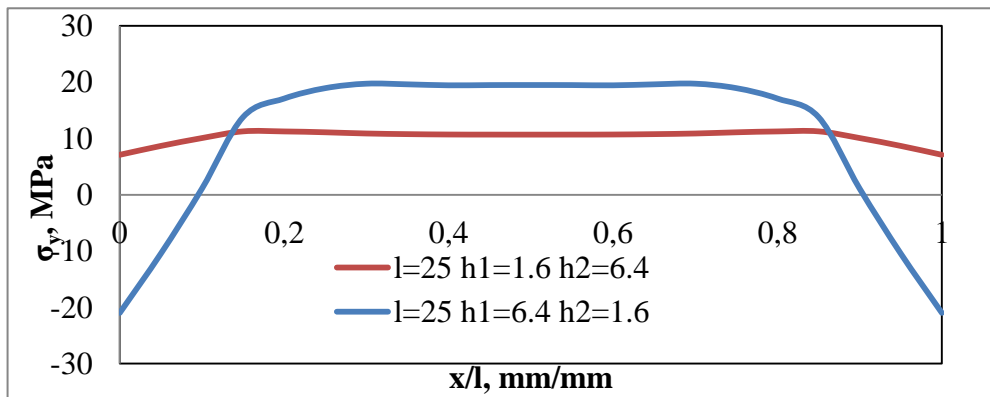
Şekil 4.129.  $l=25$  mm,  $h_1=1.6$ ,  $h_2=6.4$  mm ve  $l=25$  mm,  $h_1=6.4$ ,  $h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcıda AB hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları

Şekil 4.127, 4.128 ve 4.129'da  $l=25$  mm,  $h_1=1.6$ ,  $h_2=6.4$  mm ve  $l=25$  mm,  $h_1=6.4$ ,  $h_2=1.6$  mm için, yapıştırıcıda AB hattı boyunca  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $\tau_{xy}$  gerilmesi düşük alt levha kalınlığı için A noktasında yüksek çıkarken, yüksek alt levha kalınlığında ise düşük çıkmıştır. Düşük alt levha kalınlığında  $\tau_{xy}$  gerilmesi A noktasından itibaren gittikçe düşerek sıfıra yaklaşmıştır.  $\tau_{xz}$  gerilmesi A noktasından itibaren gittikçe azalarak sıfıra düşmüştür. Daha sonra negatif bölgede B noktasına doğru artmıştır. Orta kısımlardaki gerilme farkı daha fazladır.  $\sigma_{eqv}$  gerilmesi düşük alt levha kalınlığında daha düşüktür. Orta kısımlara doğru gerilmeler düşük alt levha kalınlığında daha fazla düşüş sağlamıştır.

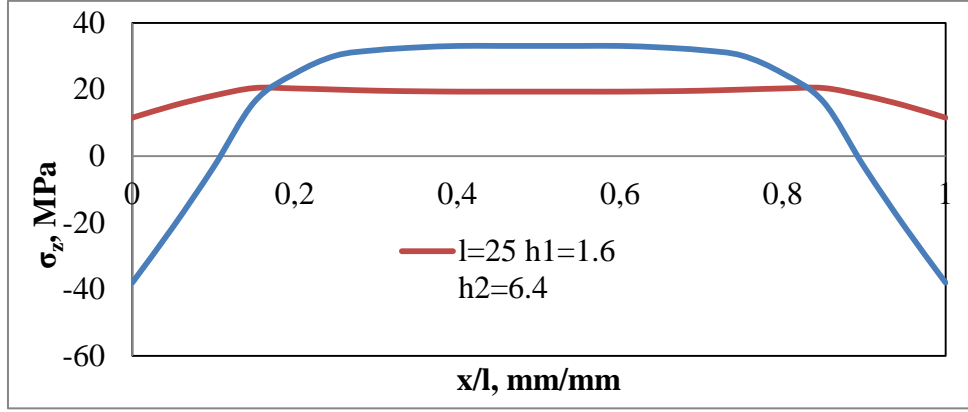
#### 4.9.2. $l=25$ mm, $h_1=1.6$ , $h_2=6.4$ mm ve $l=25$ mm, $h_1=6.4$ , $h_2=1.6$ mm BC hattı boyunca gerilme dağılımları



Şekil 4.130.  $l=25$  mm,  $h_1=1.6$ ,  $h_2=6.4$  mm ve  $l=25$  mm,  $h_1=6.4$ ,  $h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcıda BC hattı boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımları

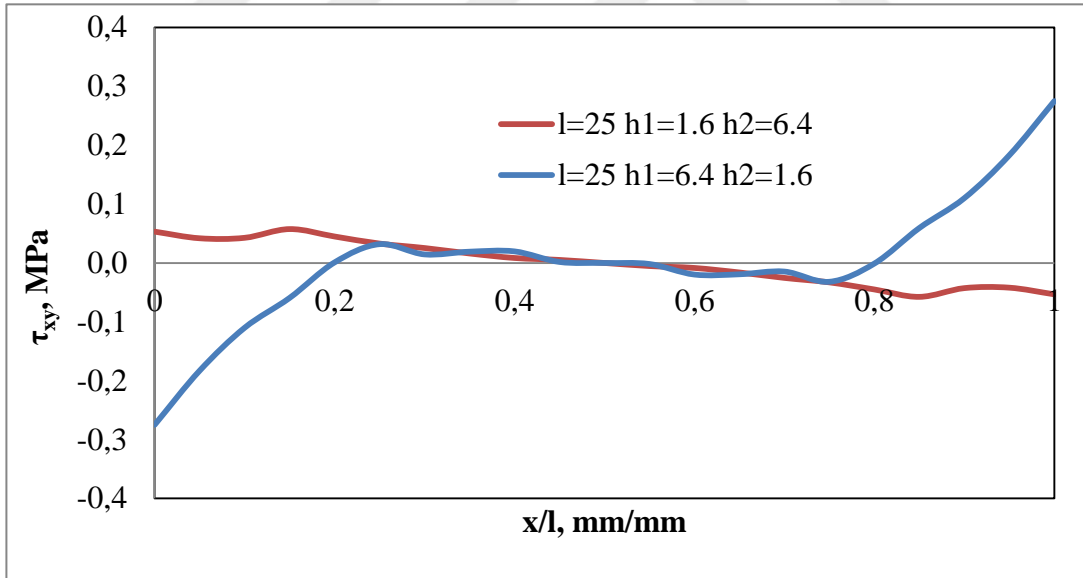


Şekil 4.131.  $l=25$  mm,  $h_1=1.6$ ,  $h_2=6.4$  mm ve  $l=25$  mm,  $h_1=6.4$ ,  $h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcıda BC hattı boyunca  $\sigma_y$  gerilme dağılımları

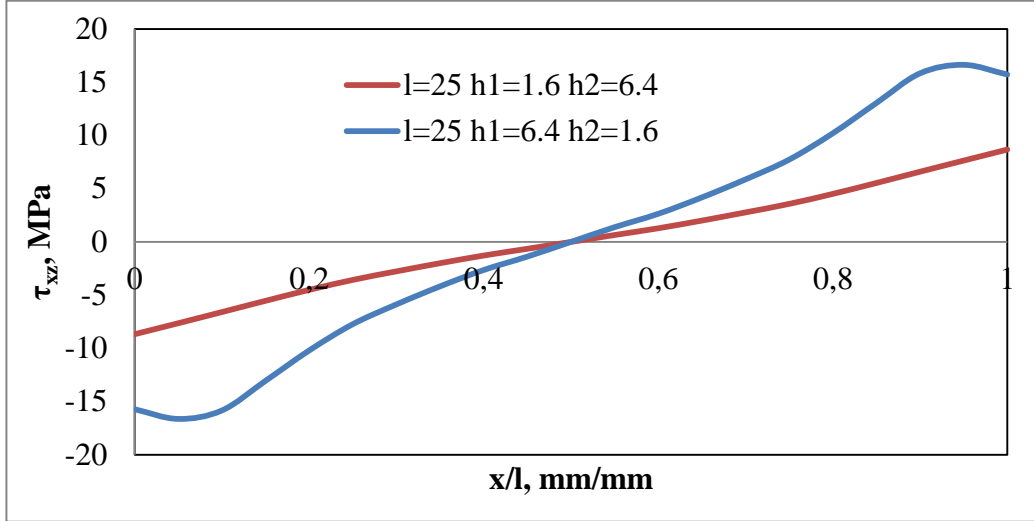


Şekil 4.132.  $l=25$  mm,  $h_1=1.6$ ,  $h_2=6.4$  mm ve  $l=25$  mm,  $h_1=6.4$ ,  $h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcıda BC hattı boyunca  $\sigma_z$  gerilme dağılımları

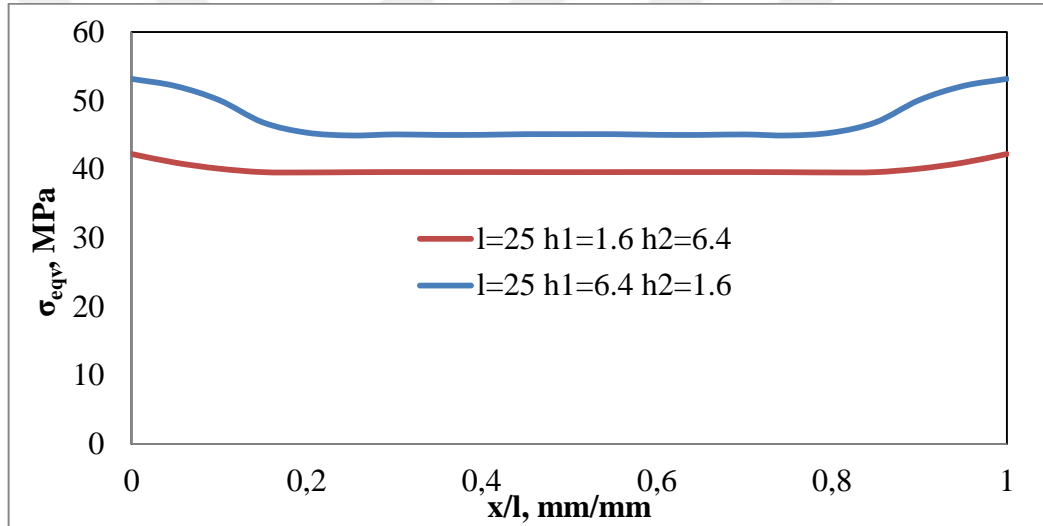
Şekil 4.130, 4.131 ve 4.132'de  $l=25$  mm,  $h_1=1.6$ ,  $h_2=6.4$  mm ve  $l=25$  mm,  $h_1=6.4$ ,  $h_2=1.6$  mm için, yapıştırıcıda BC hattı boyunca  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  gerilmeleri için alt levhanın kalınlığının artırılması ve üst levhanın kalınlığının düşürülmesi gerilmeleri artırıcı bir etki yapmıştır. Orta kısımlarda gerilmeler yatay bir seyir izlemiştir.



Şekil 4.133.  $l=25$  mm,  $h_1=1.6$ ,  $h_2=6.4$  mm ve  $l=25$  mm,  $h_1=6.4$ ,  $h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcıda BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımları



Şekil 4.134.  $l=25$  mm,  $h_1=1.6$ ,  $h_2=6.4$  mm ve  $l=25$  mm,  $h_1=6.4$ ,  $h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcıda BC hattı boyunca  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımları



Şekil 4.135.  $l=25$  mm,  $h_1=1.6$ ,  $h_2=6.4$  mm ve  $l=25$  mm,  $h_1=6.4$ ,  $h_2=1.6$  mm tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında, yapıştırıcıda BC hattı boyunca  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları

Şekil 4.133, 4.134 ve 4.135'de  $l=25$  mm,  $h_1=1.6$ ,  $h_2=6.4$  mm ve  $l=25$  mm,  $h_1=6.4$ ,  $h_2=1.6$  mm için, yapıştırıcıda BC hattı boyunca  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\sigma_{eqv}$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $\tau_{xy}$  gerilmesi düşük alt levha kalınlığı için uç noktalarda düşük çıkarken, yüksek alt levha kalınlığında ise yüksek çıkmıştır. Orta kısımlarda ise her iki durum içinde sıfıra yakın yatay bir seyir izlemiştir.  $\tau_{xz}$  gerilmesi düşük alt levha kalınlığında daha düşük değerler ortaya koymuştur. Uç kısımlardaki gerilme farkları fazla iken orta kısımlara doğru bu fark azalmaktadır.  $\sigma_{eqv}$  gerilmesi düşük alt levha kalınlığında daha düşüktür. Uç kısımlarda bir miktar düşüşten sonra genel olarak yatay bir seyir izlemiştir.

## 5. SONUÇLAR

Farklı bindirme uzunluklarında ve kalınlıklarda tek tesirli bindirme bağlantılarının hasar yükleri ve  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ ,  $\sigma_{eqv}$ ,  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$  gerilme dağılımlarını belirlemek amacıyla nümerik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneysel ve nümerik sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

### 5.1. Deneysel Sonuçlar

Aydın (2003) tarafından yapılan deneysel çalışmalarda farklı bindirme uzunlukları ve levha kalınlıklarının hasar yüklerine etkisi incelenmiştir. Hem levha kalınlığının hem de bindirme uzunluğunun arttırılmasının hasar yüklerini olumlu etkilediği gözlenmiştir. Ayrıca malzemede meydana gelen hasar tipleri ve kopma noktaları da tespit edilmiştir. Bu çalışmada ise elde edilen deneysel sonuçların nümerik sonuçlarla hangi oranda örtüştüğü tespit edilmiştir. ANSYS'te 3 boyutlu von mises gerilme analizi ile elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu değerler bazı parametrelerde birbirine yakın çıkarken bazılarında ise farklı çıkmıştır. Bunun sebebi daha önceki çalışmada kullanılan iki boyutlu modelleme yerine bu çalışmada üç boyutlu modelleme kullanılmasıdır.

### 5.2. Nümerik Sonuçlar

Tek tesirli bindirme bağlantılarında; h levha kalınlığı sabit tutulup, l bindirme uzunluğu değeri arttıkça hasar yüklerinin arttığı ve yapıştırma bölgesinde gerilmelerin azaldığı gözlemlenmiştir. l bindirme uzunluğu sabit tutulup h değerleri arttırıldığında da yine aynı şekilde gerilmelerin azaldığı ve hasar yüklerinin arttığı tespit edilmiştir.

12.5x1.62, 25x1.62 ve 50x1.62 ve 100x1.62 mm boyutlarında tek tesirli bindirme bağlantılarında; sabit kalınlık ve artan bindirme uzunluğuna bağlı olarak azalan gerilmeler, yapışkan alanın artmasının bir sonucudur. Buna bağlı olarak hasar yüklerinde de artış söz konusudur.

l=12.5 mm ve h1=h2=1.62, 3.2, 4.8 ve 6.4 mm boyutlarında tek tesirli bindirme bağlantılarında; sabit bindirme uzunluğu ve artan levha kalınlıklarında hasar yüklerinde

artış gözlenmiştir. Ama bu artış artan levha kalınlıklarında oransal olarak giderek düşmüştür.

$l=25$  ve  $h_1=h_2=1.62, 3.2, 4.8$  ve  $6.4$  mm boyutlarında tek tesirli bindirme bağlantılarında da  $l=12.5$  mm duruma benzer şekilde artan levha kalınlıklarına bağlı olarak hasar yükleri artmıştır. Ve bu artışlar, artan levha kalınlıklarında oransal olarak giderek düşmüştür.

Diğer bindirme uzunluklarında da benzer şeyler söylenebilir. Burada hasar yüklerindeki asıl artış  $h=1.62$ 'den  $3.2$ 'ye çıkarıldığında meydana gelmektedir.  $l=12.5$  mm bindirme uzunluklarında levha kalınlığının artışı hasar yüklerini pek etkilemezken,  $l=25$  mm ve üstündeki bindirme uzunluklarında en düşük levha kalınlığı ile en yüksek arasındaki hasar yükü farkı en az iki katına çıkmaktadır.

En yüksek bindirme uzunluğu ve en düşük levha kalınlığı ile en düşük bindirme uzunluğu ve en yüksek levha kalınlığı birbiriyle karşılaştırıldığında, hasar yükünü iyileştirmede, bindirme uzunluğunu arttırmanın, levha kalınlığını arttırmadan daha etkili olduğu söylenebilir.

$l=25$  mm ve  $h_1=1.62$  ve  $h_2=1.62, 3.2, 4.8$  ve  $6.4$  mm şeklinde alt levha kalınlığının sabit tutulup, kuvvet uygulanan üst levha kalınlığının arttırılması hasar yüklerinin artmasını sağlamıştır. Üst levha kalınlığının sabit tutulup alt levha kalınlığının arttırılmasında da ilk duruma benzer sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak alt veya üst levha kalınlıklarından birinin sabit tutulup diğerinin arttırılması her iki durumda da birbirine göre büyük değişikliklere yol açmamıştır.

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  gerilmeleri bindirme uzunluğunun artışına bağlı olarak uç noktalarda artan levha kalınlıkları arasındaki gerilme farkı giderek azalmıştır. Uç noktalarda gerilmelerin daha yüksek çıktığı orta hatlara doğru bu değerlerin düştüğü gözlenmiştir. Levha üzerindeki gerilmelerin yapıstırıcı bölgeye nazaran daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır.

**KAYNAKLAR**

- Adams, R.D. and Wake, W.C., 1984. Structural adhesive joints. Elsevier Applied Science Publishers, London.
- Akkurt, M., 1990, "Makine Elemanları Cilt F", 4.Bölüm, Birsen Yayınevi, İstanbul, 92-94 s.
- Aydın, M.D., 2003. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantısının mekanik özelliklerinin deneysel ve teorik incelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Aydın, M.D., Temiz, Ş., Özel, A.,2007. Yapıştırma Bağlantılarının Dayanımı üzerine Kürleşme Basıncının Etkisi, Proceedings of 8th International Fracture Conference.
- Apalak M.K., Engin A., "Elasto-plastic stress analysis of an adhesively bonded single lap joint", Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 1-17 (2004).
- [www.biomed.com/femmuh/analiz/fem/seynedir.htm](http://www.biomed.com/femmuh/analiz/fem/seynedir.htm)
- Bowditch, M R., Clarke, J.D., and Stannard, K.J., 1986.Adhesion,11,pp.1
- Bozacı, A., 2000, "Makine Elemanları Cilt I", YTÜ Makine Fakültesi Yayınları, 7.3.Bölüm, Çağaloğlu İstanbul, 7.36-42 s.
- Colombi, P. and Paggi, C., "Strengthening of tensile steel members and bolted joints using adhesively bonded CFRP plates", 30 June 2005, Italy.
- Cürgül, İ., 1990, "Makine Elemanları I", 3. Bölüm, YTÜ Yayınları, Kocaeli, 102-107 s.
- Deng, J. and Lee, M.M.K., "Fatigue performance of metallic", 2005, United Kingdom.
- De Maura, M.F.S.F., Daniaud, R. and Magalhaes, A.G., "Simulation of mechanical behaviour of composite bonded joints containing strip defects", 18 June 2005, Portugal.
- Engin, A., 2003. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bindirme bağlantılarında hasar bölgesi oluşumu ve gelişiminin incelenmesi. Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Edwards, K.L., 1998. A brief insight into the selection and use of engineering adhesives for preliminary joint design. Materials and Design, 19, 121-123.
- Gediktaş, M., 1995, "Makine Elemanları Bağlama Elemanları Konstrüksiyon ve Hesap", 4.Bölüm, Çağlayan Kitabevi, Beyoğlu İstanbul, 104-119.s.

- Grant L.D.R., Adams R.D., da Silva L.F.M., 2009, Experimental and numerical analysis of single lap joints for the automotive industry, *International Journal of Adhesion & Adhesives* 29:405–413
- Gultekin K., Akpınar S., Özel A., 2014, The effect of the adherend width on the strength of adhesively bonded single-lap joint: Experimental and numerical analysis, *Composites: Part B* 60:736–745
- Han X., Crocombe A.D., Anwar S.N.R., Hu P., 2014, The strength prediction of adhesive single lap joints exposed to long term loading in a hostile environment *International Journal of Adhesion & Adhesives* 55:1–11
- Her, S., Her, C., "Stress analysis of adhesively-bonded lap joints", Department of Mechanical Engineering, Yuan-Ze University, 47: 673-676 (2000).
- Jennings, C.W., 1972. *Journal of Adhesion* 4,25.
- Kadıoğlu, F., Es-Souni, M., "Use of thin adherends in adhesively bonded joints under different loading modes", *Maney for the Institute of Materials, Minerals And Mining*, 610: 1-5 (2003).
- Kanchanomai, C., Limtrakarn, W. and Mutah, Y., "Fatigue crack growth behavior in Sn-Pb eutectic solder/copper joint under mode I loading", 31 March 2004, Thailand ve Japan.
- Karachalios E.F., Adams R.D., da Silva L.F.M., 2013, Single lap joints loaded intension with ductile steel adherends, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 43:96–108
- Kayacan, R., 1988. Yapıştırma ve metal bağlantılar için yapıştırıcı kullanımı. Yüksek Lisan Tezi, İTÜ, İstanbul
- Kinloch, A.J., 1987. *Adhesion and Adhesive Science and Technology*. First Edition Chapman and Hall.
- Keller, T. and De Castro, J., "System ductility and redundancy of FRP beam structures with ductile adhesive joints", 1 May 2005, Switzerland.
- Loctite Worldwide Design Handbook, 1998.
- McBain, J.W., and Hopkins, D.G., 1925 *Journal of Physical Chemistry*, 29, 188.
- Minez, B., 2000, "Metallerin Yapıştırma Yoluyla Birleştirilmesi ve Endüstriyel Uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Mittal, K.L., 1976. *Journal of Vacuum Science and Technology* 13, 19.



- Moura, M.F.S.F., Gonçalves, J.P.M., Castro, P.M.S.T., 2004, Modelling three-dimensional effects in single-lap bonded joints using interface finite elements, University of Porto, Portugal, 133: 1-7.
- Özel, A., Aydın, M.D., Temiz, Ş., 2003, The effects of overlap length and adherend thickness on the strength of adhesively bonded joints subjected to bending moment, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 18 (3): 313-317.
- Parvatareddy, H., 1997. Durability of Polyimide Adhesives and Their Bonded Joints for High Temperature Applications. Ph.D. These, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.
- Pençe, E., 2007 Eğitim Amaçlı ANSYS Paket Programının Tanıtılması, ANSYS Öğretimi ve Uygulama Örnekleri ZKÜ, Karabük.
- Rahman N.M., Sun C.T., 2014, Strength calculation of composite single lap joints with Fiber-Tear-Failure, Composites: Part B 62:249–255
- Rende, H., 2000, Makine Elemanları, İstanbul.
- Reis, P.N.B., Ferreira, J.A.M., Antunes, F., 2011, Effect of adherend's rigidity on the shear strength of single lap adhesive joints, International Journal of Adhesion & Adhesives 31:193–201
- Sayman, O., 2012, Elasto-plastic stress analysis in an adhesively bonded single-lap joint, Composites Part B: Engineering Volume 43, Issue 2, March, Pages 204–209
- Sharifi, S., Choupani, N., "Stress analysis of adhesively bonded double-lap joints subjected to combined loading", Proceedings of World Academy of Science, Engineering And Technology Volume, 1307: 759-763 (2008).
- Skinner, S.M., Savage, R. L., and Rutzler, J., 1953. Journal of Applied Physics, 24, 439.
- Solmaz, M. ve Turgut, A., 2007, Düzlem kafes sistemlerin ANSYS paket programı ile optimum geometri tasarımı. Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi (2), 201-207.
- Şekercioğlu, T., Rende, H., Gülsöz, A., Meran, C., 2003, "The effects of surface roughness on the strength of adhesively bonded cylindrical components", Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 142: 82-86.
- Tezcan, Ş., 2001, "Yapıştırma Bağlantılarının Dinamik Yükler Altındaki Davranışlarının İncelenmesi", Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Topçu, M. ve Taşgetiren, S., 1998, "Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodu", Mühendislik Fakültesi Matbaası, Denizli.
- Underhill, P.R. and DuQuesnay, D.L., "The dependence of the fatigue life of adhesive joints on surface preparation", 4 May 2005, Canada.

- Vasudevan, A.K., Doherty, R.D., 1989, Aluminum Alloys-Contemporary Research and Applications, part6, pp.171-184.
- Venables, J. D., McNamara, D. K., Chen, J.M., Sun, T. S., and Hopping, R.L., 1979. Applied Surface Science 3,88.
- Voyutski, S.S., 1963, Autohesion and Adhesion of High Polymers,Wiley-Interscience, New York.
- You M., Yan Z. M., Zheng X. L., Yu H.Z., Li Z., 2007, A numerical and experimental study of adhesively bonded aluminium single lap joints with an inner chamfer on the adherends, International Journal of Adhesion & Adhesives 28:71–76



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Mehmet Emin DEMİR  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Batman/17.02.1981  
**Telefon** : 5072968177  
**Faks** :  
**e-mail** : emindemir@msn.com

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Batman Lisesi/Merkez/BATMAN	1999
Lisans	: Gaziantep Üniversitesi-Tekstil Mühendisliği	2000-2006
Lisans	: Batman Üniversitesi-Makine Mühendisliği	2009-2013
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi	Devam ediyor
Doktora	:	

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2007	Deniz Tekstil	Müşteri Temsilcisi
2009	Batman Üniversitesi	Bilg.İşlt.
2013	Batman Üniversitesi	Arş.Gör.

### UZMANLIK ALANI

### YABANCI DİLLER

İngilizce

### BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER