

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**METAL YAPIŞTIRMA BAĞLANTI  
PERFORMANSININ BİLGİSAYAR DESTEKLİ  
MODELLEME İLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tarık DEMİRGEN**

**Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ**  
**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Salim ASLANLAR**

**Haziran 2007**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**METAL YAPIŞTIRMA BAĞLANTI  
PERFORMANSININ BİLGİSAYAR DESTEKLİ  
MODELLEME İLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tarık DEMİRGEN**

**Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ**

**Bu tez 05 / 06 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.**

**Doç. Dr.  
Salim ASLANLAR  
Jüri Başkanı**

**Yrd. Doç. Dr.  
Uğur ÖZSARAÇ  
Üye**

**Yrd. Doç. Dr.  
Erdiñç İLHAN  
Üye**

## **TEŞEKKÜR**

Yüksek lisans öğrenimim sırasında bana her konuda yol gösteren tüm hocalarıma, özellikle Doç. Dr. Salim ASLANLAR'a , Yrd. Doç. Dr. Uğur ÖZSARAÇ'a , Arş. Gör. Uğur SOY'a, Seyit KUŐUŐU'ya , Ahmet Sertol KÖKSAL'a ve çalışmalarımın sonuna kadar gösterdiği sabır ve manevi desteğinden dolayı sevgili eşim Fatma DEMİRGEN'e teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY.....	xv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1 Genel.....	1
BÖLÜM 2.	
METAL YAPIŞTIRMA TEKNİKLERİ.....	3
2.1. Giriş.....	3
2.2. Birleştirme Teknikleri.....	4
2.2.1. Mekanik birleştirme.....	5
2.2.2. Termal birleştirme.....	5
2.2.3. Yapıştırıcı ile birleştirme.....	5
2.3. Yapıştırırmalı Birleştirme Teknolojisi.....	7
2.3.1. Yapıştırma ek yeri.....	8
2.3.1.1. Adhezyon.....	8
2.3.1.2. Kohezyon.....	9
2.3.1.3. Yapıştırma ek yerindeki kopma değerlendirilmesi	9
2.3.1.4. İyileştirme değerlendirmesi ve yöntemleri.....	10
2.3.1.5. Yapıştırıcı ek yeri kopmalarının sebepleri.....	10
2.3.2. Yapıştırmada bağlantı tasarımı.....	11



2.3.2.1. Tasarım esasları.....	11
2.3.2.2. Bağlantı tasarımı.....	12
2.3.2.3. Bağlantı geometrisi.....	18
2.3.3. Yapıştırma yüzey ön işlemleri.....	25
2.3.3.1. Yüzeylerin yağdan arındırılması.....	27
2.3.3.2. Mekanik ön-işlem.....	29
2.3.3.3. Aşındırma.....	29
2.3.3.4. Yüzey iyonizasyon ön-işlem.....	30
2.3.3.5. Primerler.....	30
2.3.3.6. Islatabilirlik testi.....	31
2.3.4. Yapıştırma davranışlar.....	32
2.3.4.1. Yükler ve neden oldukları gerilimler.....	32
2.3.4.2. Isıl gerilmeler.....	33
2.3.4.3. Yapıştırma nüfuziyet davranışı.....	34
2.3.4.4. Bağlantının yorulma davranışı.....	36
2.3.4.5. Bağlantıların yaşlanması.....	42
2.3.5. Yapıştırıcı tipi.....	43
2.3.5.1. Termoset yapıştırıcılar.....	43
2.3.5.2. Isı ile küreleşen yapıştırıcılar.....	44
2.3.6. Tamir.....	45
2.3.7. Bağlantının durumu.....	46
2.3.7.1. Yapıştırma uygunluk.....	46
2.3.7.2. Hata tespiti.....	47
2.3.7.3. Ortam etkileri.....	47
2.3.7.4. Yapıştırma bağlantılarının sökülmesi.....	48
2.3.7.5. Bağlantının kontroli.....	48

### BÖLÜM 3.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	49
3.1. Genel.....	49
3.2. Deneylerde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri.....	49
3.3. Deney Parçalarının Boyutları.....	50
3.4. Denel Parçalarının Hazırlanması.....	50

3.5. Deneilerin Yapılışı.....	51
3.5.1. Yapıştırma işinin yapılışı.....	51
3.5.2. Çekme deneyi.....	52
3.6. Zımparalanmış Olan Numunene Yüzeylerinin Pürüzlülük Deneyi..	53
3.7. Çekme Deneyi Sonuçları.....	53
3.7.1. Ana numune deneyi.....	53
3.7.2. Terostat 9120 deneyi.....	54
3.7.3. Terosta 9220 deneyi.....	57
3.8. Deneysel Çalışma Sonuçları.....	60
BÖLÜM 4.	
SONLU ELEMANLAR METODU.....	62
4.1. Giriş.....	62
4.2. Genel Teorik Bilgi.....	62
4.3. Metod.....	64
4.3.1. Denge problemlerinin çözümü.....	65
4.3.2. Yöntemde dikkat edilmesi gereken hususlar.....	65
4.3.3. Metodun avantajları.....	66
4.4. ANSYS	66
BÖLÜM 5.	
MODELLEME, ANALİZ VE İRDELEME.....	67
5.1. Giriş.....	67
5.2. Yapısal Modelleme.....	67
5.2.1. 40 mm bindirme uzunluğu kullanılan malzemenin katı model ve geometrik özellikleri.....	67
5.2.2. 40 mm bindirme uzunluğu kullanılan malzemenin sınır şartları ve sonlu elemanlar modeli.....	69
5.2.3. 40 mm bindirme uzunluğu kullanılan malzemenin model simülasyonu ve sonlu elemanlar ağı (Mesh).....	69
5.3. Analiz ve Sonuçlar.....	70
5.3.1. Çekme deneyi sonuçları.....	70

5.4. 15 mm Bindirme Uzunluğu Kullanılan Malzemenin Katı Model ve Geometrik Özellikleri.....	76
5.4.1. 15 mm bindirme uzunluğu kullanılan malzemenin sınır şartları ve sonlu elemanlar modeli.....	77
5.4.2. 15 mm bindirme uzunluğu kullanılan malzemenin model simülasyonu ve sonlu elemanlar ağı (Mesh).....	78
5.5. Analiz ve Sonuçlar.....	79
5.5.1. Çekme deneyi sonuçları.....	79
5.6. 20 mm Bindirme Uzunluğu Kullanılan Malzemenin Katı Model ve Geometrik Özellikleri.....	85
5.6.1. 20 mm bindirme uzunluğu kullanılan malzemenin sınır şartları ve sonlu elemanlar modeli.....	86
5.6.2. 20 mm bindirme uzunluğu kullanılan malzemenin model simülasyonu ve sonlu elemanlar ağı (Mesh).....	87
5.7. Analiz ve Sonuçlar.....	88
5.7.1. Çekme deneyi sonuçları.....	88
5.8. 30 mm Bindirme Uzunluğu Kullanılan Malzemenin Katı Model ve Geometrik Özellikleri.....	94
5.8.1. 30 mm bindirme uzunluğu kullanılan malzemenin sınır şartları ve sonlu elemanlar modeli.....	95
5.8.2. 30 mm bindirme uzunluğu kullanılan malzemenin model simülasyonu ve sonlu elemanlar ağı (Mesh).....	96
5.9. Analiz ve Sonuçlar.....	97
5.9.1. Çekme deneyi sonuçları.....	98
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR ÖNERİLER.....	103
6.1. Sonuçlar.....	103
6.2. Öneriler.....	105
KAYNAKLAR.....	106
ÖZGEÇMİŞ.....	108

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$\sigma$	: Gerilme
N	: Yük
$\nu$	: Poisson oranı
$E$	: Elastisite modülü,
H	: Genişlik
W	: En
e	: Kalınlık
ANSYS	: Sonlu elemanlar mühendislik analiz yazılım programı
SOLID45	: 3D Element tipi

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Yukarıdan aşağıya sırasıyla kaynaklı, perçinli ve yapıştırma bağlantıların gerilim dağılımı.....	4
Şekil 2.2.	Galvanik korozyon.....	6
Şekil 2.3.	Yapıştırma ek yerindeki kuvvetler.....	8
Şekil 2.4.	En yaygın yük tipleri ve yapışma çizgisindeki gerilim dağılımları.....	13
Şekil 2.5.	Soyulma yükleri ve tasarım önlemleriyle dönüştürülmeleri.....	14
Şekil 2.6	Yapıştırılmış bağlantılarda tercih edilen ve edilmeyen yükler ve yapışma yüzeyi ne kadar genişse o kadar iyi olduğunun gösterimi.....	15
Şekil 2.7.	Eksantrik kuvvetlerden kaynaklanan problemlerin muhtelif çözümleri.....	16
Şekil 2.8.	Kopma yükü, ek yeri genişliği ile aynı oranda artışı.....	17
Şekil 2.9.	Üst üste binme uzunluğunun artması ile, kopma yükünde meydana gelen artışın orantılı olmayışı.....	18
Şekil 2.10.	Çeşitli yapıştırmalı bağlantı geometrileri.....	19
Şekil 2.11.	Yapıştırmalı uçak panelinin ayrılma davranışı.....	20
Şekil 2.12.	Yük altında aynı çizgide düz bağlantıların davranışları.....	21
Şekil 2.13.	Yük altında ofset bindirme bağlantıların davranışları.....	22
Şekil 2.14.	Yük altında borulu bağlantıların davranışları.....	23
Şekil 2.15.	Yük altında kıvrım ve “t” bağlantıların davranışları.....	24

Şekil 2.16.	Yapıştırılmalı bindirmeli bağlantılarda kopma-gerilme modeli..	24
Şekil 2.17.	Basit bindirme bağlantılarında yapıştırma uzunluklarının etkisi.....	25
Şekil 2.18.	Yapıştırılacak yüzeylerdeki kirlerin adhezyonu düşürmesi	26
Şekil 2.19.	Yıkama çözeltisi: Konsantrasyonun yapıştırıcının son kuvvetine etkisi.....	28
Şekil 2.20.	Yıkama çözeltisi: Kurutma pozisyonunun (dikey veya yatay) yapıştırıcının son kuvvetine etkisi.....	31
Şekil 2.21.	Yüzey hazırlığı, “su kopma” testi veya belirli yüzey gerilim sınırları ile test edilmesi.....	33
Şekil 2.22.	Eksantrik kuvvetler nedeniyle tek bindirmeli bağlantının deformasyonu.....	34
Şekil 2.23.	Elemanların fark gösteren genişleme için gerilmeler.....	35
Şekil 2.24.	Tipik nüfuziyet-kopma zaman eğrileri.....	38
Şekil 2.25.	Yapıştırılmalı bağlantıların ( örneğin metal ile) tipik yorulma mukavemeti.....	39
Şekil 2.26.	Yorulma özelliklerinde yapıştırma bindirme derinliğinin tipi etkisi (FM47 yapıştırıcı).....	40
Şekil 2.27.	2024 ve 7075 alaşımlarının perçinli ve yapıştırılmalı bindirme bağlantıları için yorulma eğrileri.....	41
Şekil 2.28.	Yorulma incelemesi için örneklerin kullanımı.....	42
Şekil 2.29.	Tipik ard kenar yapılarının sonik yorulma ömrü.....	50
Şekil 3.1.	Çekme deneyi parçalarının boyutları.....	50
Şekil 3.2.	Çekme deneyine tabi tutulan ana malzeme numunesi.....	50
Şekil 3.3.	Çekme deneyine tabi tutulan ana malzemenin son hali.....	51
Şekil 3.4.	Yapıştırılan malzemelerin preslendiği mekanizma.....	51
Şekil 3.5.	Terostat 9120 ile yapıştırılmış bir numune .....	52
Şekil 3.6.	Terostat 9120 ile yapıştırılmış bir numunenin yapıştırma alanı	52
Şekil 3.7.	Terostat 9220 ile yapıştırılmış bir numunenin yapıştırma alanı	53
Şekil 3.8.	Yapıştırılan numunelerin pürüzlülük değerlerinin ölçüm grafiği .....	54
Şekil 3.9.	Ana Numunenin Çekme Deneyi Grafiği.....	55

Şekil 3.10.	Terostat 9120 ile yapıştırılmış 15 mm bindirme uzunluğu olan malzemenin çekme grafiği.....	55
Şekil 3.11.	Terostat 9120 ile yapıştırılmış 20 mm bindirme uzunluğu olan malzemenin çekme grafiği.....	56
Şekil 3.12.	Terostat 9120 ile yapıştırılmış 30 mm bindirme uzunluğu olan malzemenin çekme grafiği.....	56
Şekil 3.13.	Terostat 9120 ile yapıştırılmış çekme deneyi sonrası görüntüsü.....	57
Şekil 3.14.	Terostat 9120 ile yapıştırılmış malzemenin çekme deneyi sonrası görüntüsü.....	58
Şekil 3.15.	Terostat 9220 ile yapıştırılmış 15 mm bindirme uzunluğu olan malzemenin çekme grafiği.....	58
Şekil 3.16.	Terostat 9220 ile yapıştırılmış 20 mm bindirme uzunluğu olan malzemenin çekme grafiği.....	59
Şekil 3.17.	Terostat 9220 ile yapıştırılmış 30 mm bindirme uzunluğu olan malzemenin çekme grafiği.....	59
Şekil 3.18.	Terostat 9220 ile yapıştırılmış 40 mm bindirme uzunluğu olan malzemenin çekme grafiği.....	60
Şekil 3.19.	Terostat 9220 ile yapıştırılmış malzemenin çekme deneyi sonrası görüntüsü.....	60
Şekil 3.20.	Terostat 9220 ile yapıştırılmış malzemenin çekme deneyi sonrası görüntüsü.....	68
Şekil 5.1.	Yapının geometrik modeli (tüm ölçüler mm'dir).....	68
Şekil 5.2.	Yapının katı modeli.....	69
Şekil 5.3.	Sonlu elemanlar modeli ve sınır şartları.....	70
Şekil 5.4.	40 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan yer değiştirme (perspektif).....	71
Şekil 5.5.	40 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan yer değiştirme (mm).....	71
Şekil 5.6.	40 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan vektörel değiştirme.....	72

Şekil 5.7.	40 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan genişleme davranışı (perspektif).....	72
Şekil 5.8.	40 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan genişleme davranışı (önden).....	73
Şekil 5.9.	40 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde genişleme davranışı (yapıştırıcı bölgesi).....	73
Şekil 5.10.	40 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan gerilmeler (perspektif).....	74
Şekil 5.11.	40 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan gerilmeler (yapıştırıcı bölgesi).....	74
Şekil 5.12.	40 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan gerilmeler (alt çelik plaka).....	75
Şekil 5.13.	Yapının geometrik modeli (tüm ölçüler mm'dir).....	76
Şekil 5.14.	Yapının katı modeli.....	77
Şekil 5.15.	Sonlu elemanlar modeli ve sınır şartları	78
Şekil 5.16.	15 mm3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan yer değiştirme (perspektif).....	79
Şekil 5.17.	15 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan yer değiştirme eğilimi (mm).....	80
Şekil 5.18.	15 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan vektörel yer değiştirme.....	80
Şekil 5.19.	15 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan genişleme davranışı (perspektif).....	81
Şekil 5.20.	15 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan genişleme davranışı (önden).....	82
Şekil 5.21.	15 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan genişleme (yapıştırıcı bölgesi).....	82
Şekil 5.22.	15 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan gerilmeler (perspektif).....	83
Şekil 5.23.	15 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan gerilmeler (yapıştırıcı bölgesi).....	84
Şekil 5.24.	15 mm 3000 N yük altındaki modelin gerilmeler (alt plaka)	84



Şekil 5.25.	Yapının geometrik modeli (tüm ölçüler mm'dir).....	85
Şekil 5.26.	Yapının katı modeli.....	86
Şekil 5.27.	Sonlu elemanlar modeli ve sınır şartları.....	87
Şekil 5.28.	20 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan yer değiştirme (perspektif).....	88
Şekil 5.29.	20 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan yer değiştirme eğilimi (mm).....	89
Şekil 5.30.	20 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan vektörel yer değiştirme.....	89
Şekil 5.31.	20 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan genişleme (perspektif).....	90
Şekil 5.32.	20 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan genişleme davranışı (önden).....	90
Şekil 5.33.	20 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan genişleme (yapıştırıcı bölgesi).....	91
Şekil 5.34.	20 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan gerilmeler (perspektif).....	92
Şekil 5.35.	20 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan gerilmeler (yapıştırıcı bölgesi).....	92
Şekil 5.36.	20 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan gerilmeler (alt çelik plaka).....	93
Şekil 5.37.	Yapının geometrik modeli (tüm ölçüler mm'dir).....	94
Şekil 5.38.	Yapının katı modeli.....	95
Şekil 5.39.	Sonlu elemanlar modeli ve sınır şartları.....	96
Şekil 5.40.	30 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan yer değiştirme (perspektif).....	97
Şekil 5.41.	30 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan yer değiştirme eğilimi (mm).....	98
Şekil 5.42.	30 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan vektörel yer değiştirme.....	98

Şekil 5.43.	30 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan genişleme davranışı (perspektif).....	99
Şekil 5.44.	30 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan genişleme davranışı (önden).....	99
Şekil 5.45.	30 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan genişleme (yapıştırıcı bölgesi).....	100
Şekil 5.46.	30 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan gerilmeler (perspektif).....	101
Şekil 5.47.	30 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan gerilmeler (yapıştırıcı bölgesi).....	101
Şekil 5.48.	30 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan gerilmeler (alt çelik plaka).....	102

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Kaynak, Yapıştırma, sonlu elemanlar yöntemi, modelleme, gerilme

Bu tez çalışmasında galvanizli kromatlanmış mikro alaşımlı çelik sac çiftleri kullanılarak önce laboratuvar şartlarında yapıştırılmış ve çekme deneyi yapılmıştır. Daha sonra aynı şartlar sağlanıp ve aynı malzemeler kullanılarak bilgisayarda modellenmiştir.

Çalışmada ilk olarak mikro alaşımlı çelik çiftleri hazırlanarak terostat 9120 ve terostat 9220 yapıştırıcıları ile bindirme uzunlukları 15mm, 20mm, 30mm ve 40mm kullanılarak yapıştırılmıştır.

Çalışmada katı modelin oluşturulması, malzeme özelliklerinin ve eleman tipinin belirlenerek sonlu eleman ağ yapısının oluşturulması, sınır şartları ve yüklerin girilmesi izlenerek modelleme yapılmıştır. Örnekleme değeri olarak yük değeri 3000 N programa girilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda söz konusu yük için eşdeğer gerilme, genleme, ve deformasyon sonuçları elde edilmiştir.

## **SUMMARY**

Keywords : Welding, Adhesion, Finite Elements Method, Modelling, Strain

In this study, galvanized chromated micro alloyed sheet steel pairs were adhered in the laboratory and tensile test were applied. After that, a computer model was formed with the same materials in the conditions.

In this study , modelling was made by creating the solid model, creating the finite element network structure and entering the boundary conditions and the load values. Load value that was entered to the software was 3000 N . As a result of the analyse, for the load value mentioned above equivalent tensile, strain and deformation was measured.

# BÖLÜM 1. GİRİŞ

## 1.1. Genel

Son kırk yılın üretilen miktar açısından en önemli gelişimini gösteren mikro alaşımlı çelikler, öncelikle yapı çeliklerinin dayanım kapasitelerinin yetersizliği nedeniyle geliştirilmiştir. Mikro alaşımlı çeliklerin, yüksek akma mukavemetlerinden dolayı ağırlıkları büyük ölçüde azaltılmıştır. Mikro alaşımlama terimi, çok düşük oranlarda Nb, V, ve Ti ilavesi anlamına gelir. Bu elementlerin ilave edilmesiyle, kısmen tane küçültme sertleşmesi ve karbürler, nitrürler veya karbonitrürler gibi partiküllerin oluşması sonucu çökeltme sertleşmesi meydana gelir. Genelde mikro alaşımlama, çok düşük karbon içeren çeliklerden hemen hemen ötektoid kompozisyonlu çeliklere kadar yapılır.

Mikro alaşımlı çelikler aynı anda değişik sertleştirme mekanizmalarının ve uygun termomekanik işlemlerin uygulanması ile yüksek dayanım, yüksek tokluk, düşük sıcaklıkta gevrek kırılma emniyeti, mükemmel kaynaklanabilirlik ve korozyona dayanım gibi değişik, çok iyi özelliklere sahip bir malzeme grubudur. Yassı ve dövme mamuller şeklinde üretilirler. Uygulama yoğun olarak yassı mamullerde (gaz ve petrol boru hatları, off-shore konstrüksiyonlar) gerçekleşir. Son yıllarda otomotiv endüstrisine yönelik dövme mamullerin üretiminde de bir gelişme vardır. Bugün, bu çelikler, kontrollü haddelenmiş plakalar, levhalar, profiller, dövme ürünleri olan çubuk ve barlarda kullanılmaktadır.

Modern yapı çelikleri diye de anılan çelikler genellikle yalın karbonlu çeliklere oranla daha yüksek dayanımlı çeliklerdir. Bunlar göreceli yüksek dayanımlarından ötürü "Yüksek Dayanımlı Düşük Alaşımlı " ya da YDDA çelikleri olarak bilinirler.

Bu tür yapı çelikleri İngilizce kaynaklarda HSLA çelikleri (High Strengths Low Alloy Steels ) ya da Fine Grained Structural Steels olarak, Almanca kaynaklarda ise Feinkornbaustaehele olarak belirtilmektedir .

YDDA çeliklerinde alaşım elementi toplamı genellikle %2 değerini aşmaz. Çoğunda ise, mangan katılımları dışında, bu değer %0.1-0.2 arasındadır.

Geçmişte kullanılan çeliklerin yüksek karbon miktarlı olmaları, kaynakla birleştirilmelerinde sorun doğmasına yol açmıştır. Bundan dolayı mikro düzeyde alaşımlama yapılarak ve kontrollü haddeleme işlemiyle, kaynak edilebilme kabiliyetli, yüksek dayanımlı çelikler geliştirilmiştir.

Çelikten yapılan basınçlı kap, küresel tank, eşanjör, köprü, nükleer enerji tesislerinde inbisat deposu gibi büyük konstrüksiyonlarda ince taneli çelikler, her geçen gün artan oranda kullanılmaktadır. Yüksek dayanımlı ince taneli çelikler, genellikle düşük karbonlu mikro alaşımlı çelik olarak üretilirler, normal tavlı ya da ıslah edilmiş halde kullanılırlar ve bunların en düşük akma sınırı 255 ile 500 MPa arasındadır.

Mikro alaşımlı çelikler genelde  $-100^{\circ}\text{C}$  'den  $300^{\circ}\text{C}$  'ye kadar geniş bir sıcaklık aralığında kullanılırlar. Yüksek kırılma emniyetinin ve kötü şartlar altında bile güvenilir kaynaklanmanın arzulandığı yerlerde klasik yapı çeliklerinden çok üstün olmaları tercih nedenidir.

## **BÖLÜM 2. METAL YAPIŞTIRMA TEKNİKLERİ**

### **2.1. Giriş**

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

Yapıştırıcı aynı zamanda birleşim yerinin sızdırmazlığını da sağlar, böylece mekanik yöntemlerle birleştirilmiş parçalarda görülebilen korozyonu engeller. Yapıştırıcı, düzgün olmayan yüzeylerin birleştirilmesini de kolaylaştırır, parça boyutlarında veya şeklinde çok az (veya hiç) değişiklikle daha hafif birleşimler elde edilir.

Yapıştırıcı kullanımına karar vermeden önce dikkate alınması gereken bazı ilave faktörler vardır. Örneğin, yapıştırıcı yapıştırılacak malzemelere uygun olmalı, imalat yöntemiyle uyumlu, hesaplanan çalışma yüklerine ve çalışma ortamına dayanmalıdır. Ayrıca, yüzey hazırlığı, uygulama yöntemi, kürleşme sistemi ve bunların süre ve maliyetleri de dikkate alınmalıdır [1] .

Galvaniz kaplı malzemeler diğer malzemeler gibi istenen yapıları oluşturmak için birleştirilebilir ve işlenebilirler. Bu malzemeler için yapıştırma tekniği vazgeçilmez bir yöntemdir. Bu tekniğin uygulanmasındaki prosedürler birleştirilecek elemanların kullanılacak tekniğe uygunluğu ve verimi önemli bir faktördür.

Galvaniz kaplı malzemelerin yapıştırmalı birleştirme tasarımında aşırı ağırlık, maliyet ve oluşabilecek erken problemlerden kaçınılması gerekir. Endüstri kuruluşlarında ve araştırma merkezlerinde kompozit malzemelerin birleştirme ve

işleme proseslerinde buna benzer problemlerin çözümü için araştırmalar yapılmaktadır [2].

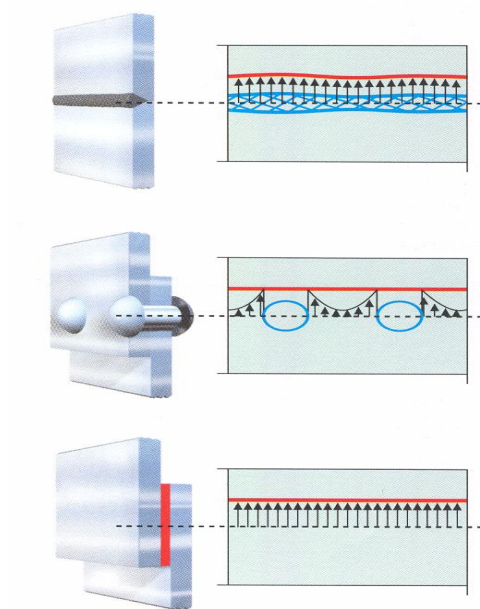
Yapıştırma; kaynak, lehim, perçin vs. yanında endüstriyel bir birleştirme yöntemi olarak kullanılmaya ilk başladığından beri, başarılı bir yapıştırma için en önemli parametreleri bulmak amacıyla da birçok araştırma, geliştirme ve mühendislik çalışması yapılmıştır.

## 2.2. Birleştirme Teknikleri

Üç temel birleştirme yöntemi vardır, bunlar;

- Mekanik; cıvata, vida veya perçin ile
- Termal; kaynak, pirinç lehimli veya lehim ile
- Kimyasal; yapıştırıcı ile.

Şekil 2.1’de kaynaklı, perçinli ve yapıştırma bağlantılarının gerilim dağılımı şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Yukarıdan aşağıya sırasıyla kaynaklı, perçinli ve yapıştırma bağlantılarının gerilim dağılımı [1] .



### 2.2.1. Mekanik birleştirme

Sık ve kolay sökülme gerekiyorsa, cıvata kullanımı ideal ve genellikle de çok güvenilir bir birleştirme yöntemidir. Fakat bazı durumlarda civatalar gevşeyebilir ve “vida gevşemezlik” sistemleri ile emniyete alınmaları gerekir.

Cıvata veya perçin kullanmak için delik açılması gerekir, bu da parçaları zayıflatır. Birleşim yük altına girdiğinde, açılan deliklerin etrafında gerilim yoğunlaşması meydana gelir. Bu durum erken malzeme yorgunluğuna neden olabilir. Dolayısıyla, bu tür bağlantı elemanları kullanıldığında sağlamlığın sağlanabilmesi için malzeme kalınlığının artırılması gerekir. Ayrıca, cıvata veya perçin delikleri korozyon tehlikesini artırır. Bu sebepten çoğunlukla karmaşık ve pahalı olan yalıtım veya yüzey koruma işlemlerine gerek duyulur. Eğer farklı metaller birleştiriliyorsa, galvanik korozyon ve farklı genleşme görülebilir [1] .

### 2.2.2. Termal birleştirme

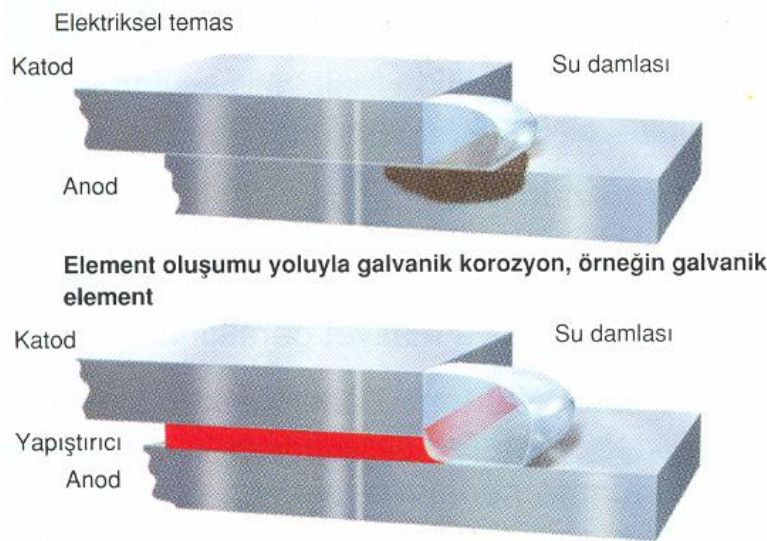
Kaynak ve lehim normalde yalnızca benzer malzemelerde mümkündür. Termal birleştirmede sökme mümkün değildir veya çok zordur. Kaynak ve lehim işlemi sırasında oluşan yüksek sıcaklık istenmeyen gerilmelere neden olur, bunun sonucunda parça yorgunluğu ve parçaların metal yapısında bozulma meydana gelebilir.

### 2.2.3. Yapıştırıcı ile birleştirme

Yapıştırma, sağladığı birçok avantajla imalat alanlarını genişletir:

- Düzgün gerilim dağılımı: Açılan delikler nedeniyle meydana gelen gerilim yoğunlaşmaları engellenir.
- Yapısal değişim olmaması: Kaynak yönteminde olduğu gibi malzemelerin özellikleri bozulmaz.
- Şekil bozukluğu olmaması: Kaynak yönteminde olduğu gibi parçalar ısıtılmadığı için farklı kütle ve boyuttaki parçalar kolaylıkla birleştirilebilir.

- Farklı malzemelerin birleştirilmesi: Farklı malzemelerin üstünlüklerinden en iyi şekilde faydalanacak şekilde malzeme seçimi ve birleştirilmesine imkan verir.
- Sızdırmazlık: Yapıştırıcılar aynı zamanda conta vazifesi görür. Civata ve perçinli bağlantılar ise genellikle sızdırmazlık sağlamak için ilave işçilik ve maliyet gerektirir.
- Elektriksel yalıtım: Farklı elektro-kimyasal özellikteki metaller birleştirilebilir. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi korozyon ve sürtünme nedeniyle aşınma ortadan kalkar.
- Parça adetinde azalma: Pim, civata, perçin, kelepçe vs. gereksiz hale gelir.
- Ürün görünümünde iyileşme: Yapıştırılmış bağlantılar daha düzgündür. Birleştirme sonrasında, kaynakta olduğu gibi ek yeri görünmez. Bu avantaj, tasarımcılara ürün görünümünün iyileştirilmesi için birçok olanak sağlar.



Şekil 2.2 Galvanik korozyon [1] .

### 2.3. Yapıştırırmalı Birleştirme Teknolojisi

Kompozit malzemelerin metalik malzemelerle veya kompozit malzemelerin kompozitlerle yapıştırılmasıyla oluşan yapılar şuanda ticari uçaklarda ve özellikle askeriyede sıkça kullanılmakta ve bu yapılar hızlı bir şekilde geliştirilmektedir. 1945 yılında uçaklar için yapıştırırmalı bağlantı tekniği önemli bir birleştirme metodu olmuştur ve o zamandan itibaren bu yöntemin kullanımının arttığı görülmüştür.

Yapıştırıcı üreticileri mevcut malzemelerin sıcaklık oranı  $-423/-500$  °F ( $-253/-260$  °C) çıkarmak için üretimlerini sürekli geliştirmektedirler. Mekanik birleştirmeler ile yapıştırma bağlantıları arasındaki karşılaştırmalı genellemeler aşağıda belirtilmiştir;

- i. İlk yükten sonra, yapıştırmalı bağlantılar mekanik bağlantılardan daha az daimi şekil bozulması göstermektedir.
- ii. Yapıştırıcı bağlantılar, birleştirilmiş elemanların temas bölgelerinde mekanik bağlantılardan daha düşük gerilme davranışı sergiler.
- iii. Yapıştırmalı bağlantılar mekanik bağlantılar ile karşılaştırıldığında çoğu temel yapılar için % 5 ve 10 arasında ve ikincil yapılar için % 25 ağırlığında tasarruf potansiyeline sahiptir.
- iv. Yapıştırmalı bağlantılar düz yüzeylere sahip yapıların birleştirilmesine imkân verir ve birleştirilmiş tabakalı yapıların çatlak yayılmasına minimum duyarlı olması sağlanır.
- v. Büyük yüzey alanlara sahip malzemelerin birleştirilmesinde yapıştırmalı bağlantı, mekanik bağlantıdan genellikle daha az maliyet gerektirir.
- vi. Yapıştırmalı bağlantılar farklı malzemelerin montajına ve birleştirilmesine izin verir, fakat yapışmalarda ısıl gerilmeler hesaba katılmalıdır.

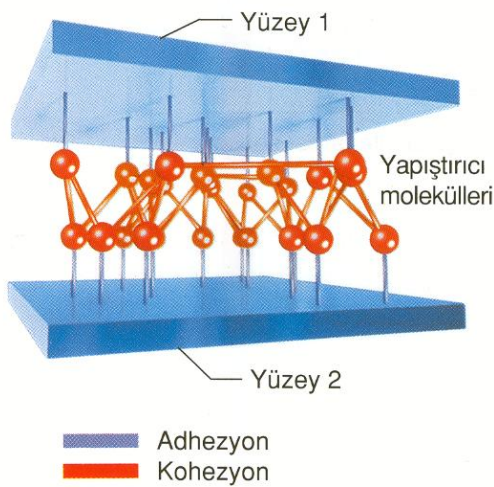
Yapıştırmalı bağlantıların dezavantajlarını da şu şekilde sıralayabiliriz;

- i. Yapıştırıcıların bazı tipleri için yüksek sıcaklık derecelerine direnç zayıftır.
- ii. Yapıştırmalı bağlantı dizaynı, yükleri minimize edecek şekilde tasarlanması gerekmektedir.
- iii. Yapıştırmalı birleştirmelerde bağlantılara zarar vermeden, birleşmenin kontrolü tamamen zordur.
- iv. Yapıştırma ile birleştirilmiş bir yapı kalıcıdır ve bağlantının herhangi bir nedenle sökülmesi düşünülemez çünkü yapı deforme olur.
- v. Yapıştırma yöntemi ile birleştirilmiş yapıların mükemmelliği, elemanların kaynak gibi tam birleşmesine bağlıdır.
- vi. Yapıştırmalı bağlantıların dayanıklılık ve ömür testleri, maliyeti yüksek laboratuvarlarda hızlandırılmış sistemlerle yapılır [2].

### 2.3.1. Yapıştırma ek yeri

Yapıştırıcılar, aynı veya farklı malzemeden yapılmış yüzeyler arasında bir çeşit köprüdür. Yapışma mekanizması Şekil 2.3'de görüldüğü gibi iki farklı kuvvete bağlıdır, bunlar;

- Yapıştırıcının yüzeye yapışma kuvveti - adhezyon ve
- Yapıştırıcının iç kuvveti -kohezyon (bkz. şekil1 ).



Şekil 2.3 Yapıştırma ek yerindeki kuvvetler [1]

#### 2.3.1.1. Adhezyon

"Adhezyon" iki maddenin temas yüzeylerindeki yapışma kuvvetidir. "Van der Waals kuvvetleri" olarak adlandırılan çekim ve yüzeye tutunma fiziksel kuvvetleri yapışmada en önemli faktördür. Eğer yapıştırıcı, mekanik olarak işlenmiş yüzeylerdeki pürüzlere tam olarak temas edemezse, bu moleküller arası kuvvetler oldukça zayıflar. Bu nedenle yapıştırıcının yüzey pürüzlerine tam olarak nüfuz etmesi ve bütün yüzeyi ıslatması gerekir. Dolayısıyla, yapıştırmanın kuvveti hem yüzeyin ıslatılmasına (maksimum moleküller arası temas için), hem de yüzeyin yapışma özelliklerine bağlıdır. Belirli bir yapıştırıcı yüzey gerilimi için ıslatma, yapıştırıcı sürülen yüzeyin yüzey gerilimine ve yapıştırıcının viskozitesine bağlıdır. Yüzeyde kirlerin bulunması da ıslatmayı olumsuz etkiler [1] .

### 2.3.1.2. Kohezyon

"Kohezyon", yapıştırıcı molekülleri arasında bulunan ve yapıştırıcıyı bir arada tutan kuvvettir. Şu kuvvetler kohezyona etki eder:

- Moleküller arası çekim kuvvetleri (Van der Waals kuvvetleri),
- Polimer moleküllerinin kendi aralarında kenetlenmesi.

Bir zincirin kuvvetinin en zayıf halkası tarafından belirlenmesi kuralına uygun olarak, yapıştırma işleminde adhezyon ve kohezyon kuvvetleri yaklaşık eşit olmalıdır.

### 2.3.1.3. Yapıştırma ek yerindeki kopmanın değerlendirilmesi

Yapıştırılmış bir ek yerindeki kopmanın bazı önemli nedenleri parçaların gözle kontrolü ile tespit edilebilir. Böylece kopmanın adhezyon veya kohezyon kopmasından mı kaynaklandığı, yoksa parçaların mı zarar gördüğü tespit edilebilir. Kopma türleri iki çeşittir, bunlar;

- Adhezyon kopması; yapıştırıcı parça yüzeylerinin birinden komple ayrılır.
- Kohezyon kopması; yapıştırıcının kendisi kopar, yapıştırıcı kalıntıları her iki parça yüzeyinde görülebilir.

Kopma türleri ve kuvveti artırma yöntemleri Tablo 2,1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 Kopma türleri ve kuvveti artırma yöntemleri [1] .

Kopma türü	Kuvveti artırma yöntemleri
Adhezyon kopması	Yapışmanın zayıf noktası, yapıştırılan parça ile yapıştırıcı arasındaki temas yüzeyidir. Ya malzeme yapıştırmaya uygun değil, ya da yapıştırma yüzeyi kirlidir. Her iki durumda da kuvvet, yüzeye uygun ön-ışlem yapılmasıyla artırılabilir.
Kohezyon kopması	Yapıştırıcı dış etkiler nedeniyle aşırı gerilime maruz kalmıştır (ör: gerilim tepeleri, sıcaklık, yaşlanma vs.). Çözüm: Parçaların şeklinde değişiklik yapmak ve/veya daha uygun yapıştırıcı seçmek.



### 2.3.1.4. İyileştirme Değerlendirmesi ve Yöntemleri

Kopmuş bir ek yerinin görünümü yalnızca zayıf noktanın nerede olduğunu gösterir, fakat kopma nedenini söylemez. Problemi ortadan kaldırmak için, kopma nedenlerini bulmak esastır.

### 2.3.1.5. Yapıştırıcı ek yeri kopmalarının sebep ve çözümleri

Yapıştırıcı ek yeri kopmalarının sebepleri hatalı parçalar, hatalı yapıştırma, hatalı yapışma vs. dir. Bu sebeplerin sebep ve çözümleri Tablo 2.2’de gösterilmiştir.

Tablo 2.2 Ek yeri kopma sebep ve çözümleri [1]

Muhtemel Sebepler	Çözümler
Hatalı parçalar	Toleranslar, boşluk ve malzemeleri kontrol ve daha dikkatli takip edin
Kirli parçalar	Ön-işlemin uygunluğunu kontrol edin ve gerekli şekilde değiştirin (ör: temizleme maddeleri, temizleme işlemi, ara depolama vs.).
Hatalı yapıştırma	Tüm proses parametrelerini, yapıştırma işlemi kontrol edin ve birleştirme şekli ve süresini iyileştirin, birleştirme süresince tüm kürleşme şartlarının sağlandığını kontrol edin.
Yapıştırıcının yetersiz kürleşmesi	Kürleşme ön şartlarını (ör: boşluk, havasızlık, sıcaklık, nem vs.) kontrol edin. Kürleşme süresinin teknik data’ya uygunluğunu kontrol edin. Yapıştırıcının raf ömrünü doldurmadığından emin olun.
Mekanik aşırı gerilme veya istenmeyen gerilmeler (soyulma)	Yapışma yüzeyini genişletin ve/veya kuvvet tatbik edilen ek yeri geometrisini değiştirin. Yapıştırıcının gerilim türüne uygunluğunu (çekme, kesme vs.) kontrol edin.
Termal aşırı gerilim	Yüksek sıcaklığa daha dayanıklı yapıştırıcı seçin.
Sıvı veya gaz halindeki ortamdan korozyon oluşması veya yapıştırıcının tahrip olması	Parçalar arasındaki boşluğun ortam ile temasını uygun bir kaplama ile, veya yapıştırılan parçaların şeklini değiştirerek engelleyin.

### 2.3.2. Yapıştırırmada bağlantı tasarımı

Uçak yapılarında yüzeysel yükler, nadiren de olsa uniform alanlarda gerilmeler meydana getirir. Hatta bu gerilmeler homojen metalik yapılar içinde geçerlidir. Kompozit yapılarda, alan gerilmeler genellikle anizotropiktir ve böylece yapıştırırmalı bağlantılar asimetrik gerilim alanları içerir.

Yapıştırırmalı bağlantıda yapıştırıcı için kurulan proseslerin yüksek sıcaklık derecelerinden dolayı çeşitli gerilmelere maruz kalır. Yapıştırırmalı bağlantının geometri tasarımı ve yapıştırıcı seçimi, farklı gerilmelerin büyüklüğü, kopma-gerilme süresi ve bağlantının uygun boyutu ile belirlenir.

Gerilme ve zorlama arasında lineer olmayan davranışa sahip elastik olmayan tip yapıştırıcılar, birleştirilmiş yapılarda gerilim konsantrasyonunun ani bir şekilde azalmasına neden olur. Diğer yandan, kompozit yapılarda bu tip bir davranış bağlantı gerilme konsantrasyonunun büyüklüğünün artmasına sebep olur.

Elemanlarının elastik olarak varsayıldığı kompozit yapıştırırmalı birleştirilmelerin mevcut gerilme analizlerinin hesaplanması gerekir. Bu nedenle güvenlik faktörleri açısından anizotropi faktörü, zamana bağlı malzeme davranışları ve esnemezlilik göz önünde tutulmalıdır [2].

#### 2.3.2.1. Tasarım esasları

Yapıştırılmış bir bağlantının kuvveti ve dayanıklılığı başlıca şu parametrelerce belirlenir:

- Yapıştırıcı
- Yapıştırılacak malzeme
- Çalışma ortamı
- Ek yeri tasarımı
- Yük

Bir yapıştırıcının fiziksel ve kimyasal özellikleri, onun kohezyon (iç-yapışma) ve adhezyon (yüzeyle tutunma) kuvvetini belirler. Yapıştırma bağlantının

dayanıklılığı da yapıştırıcının özelliklerine bağlıdır. Farklı yapıştırıcı teknolojileri, kuvvet, yüzeye tutunma özellikleri ve Young modülü (esneklik) yönünden değişik alternatifler sağlar.

Yapıştırılacak malzemeler ve yüzey son-kat işlemleri çoğunlukla uygun değer yapıştırıcı ve ek yeri tasarımında birinci seçim kriteridir, fakat en uygun yapıştırıcının belirlenmesinde malzemelerin mekanik özellikleri ve parçaların sertliği de çok önemlidir.

Bağlantının çalışma ortamı (sıcaklık, kimyasallar/solventler, nem, vs.) yapıştırıcı seçimini doğrudan etkiler. Çalışma ortamı ve tatbik edilen kuvvetler dayanıklılığı belirleyen en önemli parametrelerdir.

Ek yeri tasarımı, seçilen yapıştırıcıdan en yüksek verimi almakta en önemli parametredir. Tasarım yapıştırıcının özelliklerine göre ayarlanmalı (örneğin hacimsel küreleşme, boşluk doldurma, vs.), ve en zor yük şartları (soyulma, yarıлма) engellenecek şekilde optimize edilmelidir [1] .

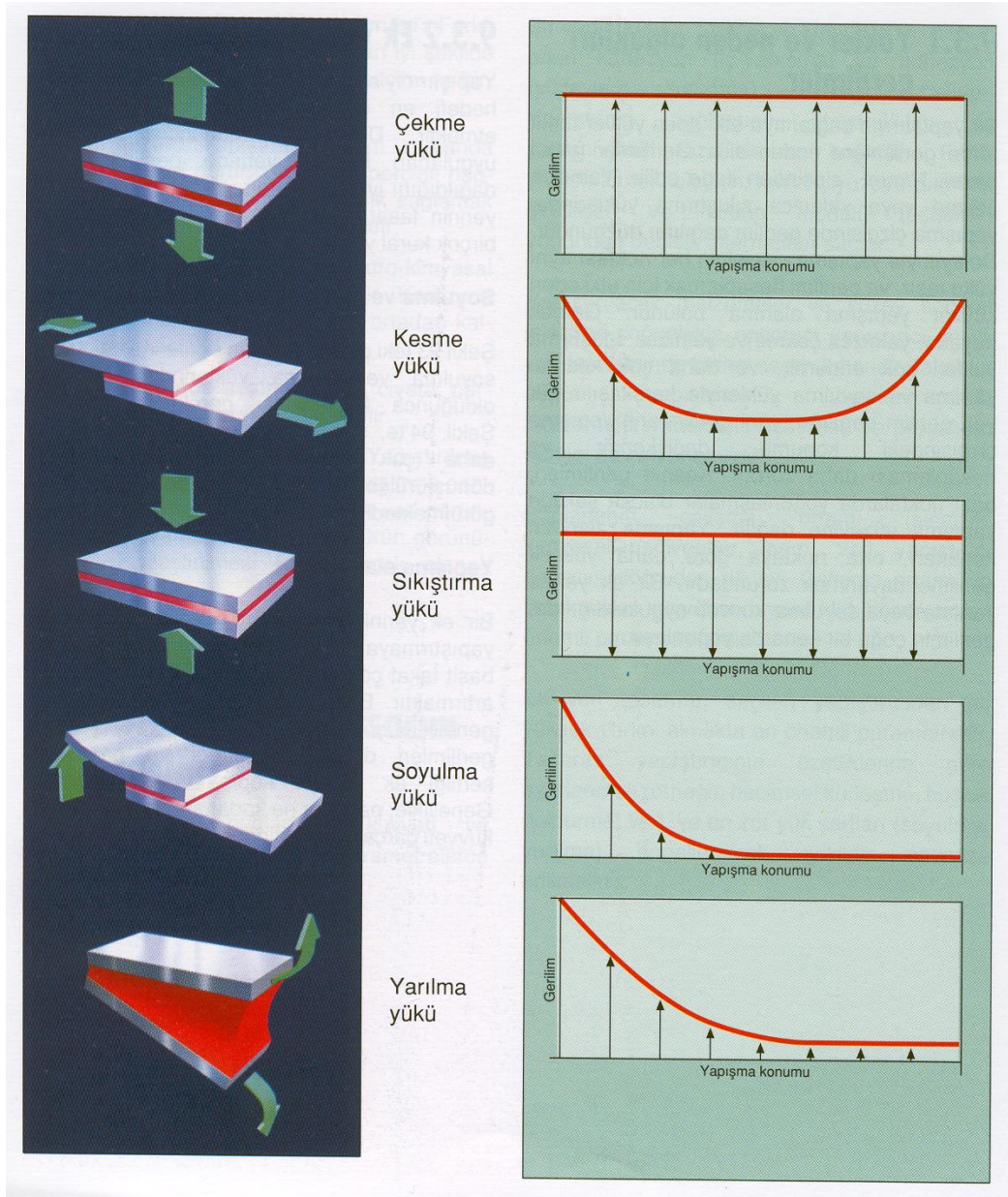
### **2.3.2.2. Bağlantı tasarımı**

Yapıştırıcıyla birleştirmede, uygun değer tasarımın hedefi en düzgün gerilim dağılımını elde etmektir. Dolayısıyla mühendisler, kuvvet uygulanan bir ek yerinde gerilimin nasıl dağıldığını iyi bilmelidir. Yapıştırılacak bir ek yerinin tasarımında dikkate alınması gereken birçok kural vardır. Bunları şu şekilde açıklayabiliriz;

Soyulma ve yarıлма yüklerini en aza indir: Şekil 2,4'deki gerilim dağılım eğrilerine bakarsak, soyulma ve yarıлма yüklerinden mümkün olduğunca kaçınılması gerektiğini görürüz. Şekil 2,5'de, soyulma ve yarıлма kuvvetlerinin daha çok tercih edilen yüklere nasıl dönüştürülebileceğine dair bazı tavsiyeler görülmektedir. Şekil 2,6'da yapıştırılmış bağlantılarda tercih edilen ve edilmeyen yükler ve yapışma yüzeyi ne kadar genişse o kadar iyi olduğu gösterilmektedir.

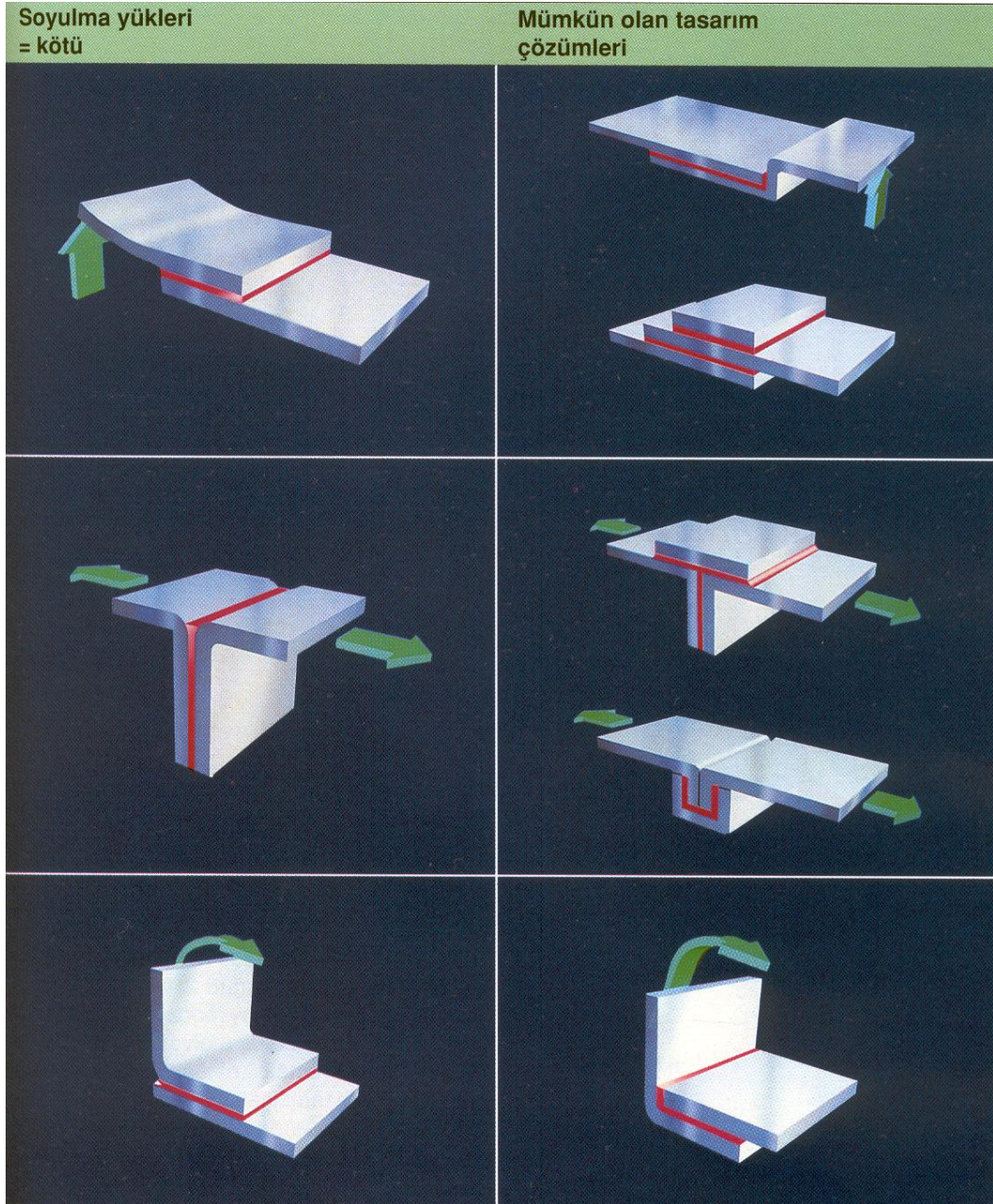


Yapışma alanını artır: Bir ek yerini iyileştirmenin veya bir tasarımı yapıştırmaya uygun hale getirmenin diğer bir basit fakat çok önemli yolu da yapışma alanını artırmaktır. Eğer yapışma alanı çok küçükse, genellikle çok yüksek soyulma veya yarıma gerilimleri doğar. Yapıştırıcı ve parçaların sertliği ek yerinin kopma yükünü etkiler. Genellikle, parçalar ne kadar sert ise, ek yerinin kuvveti parçaların şeklinden o kadar az etkilenir [1] .



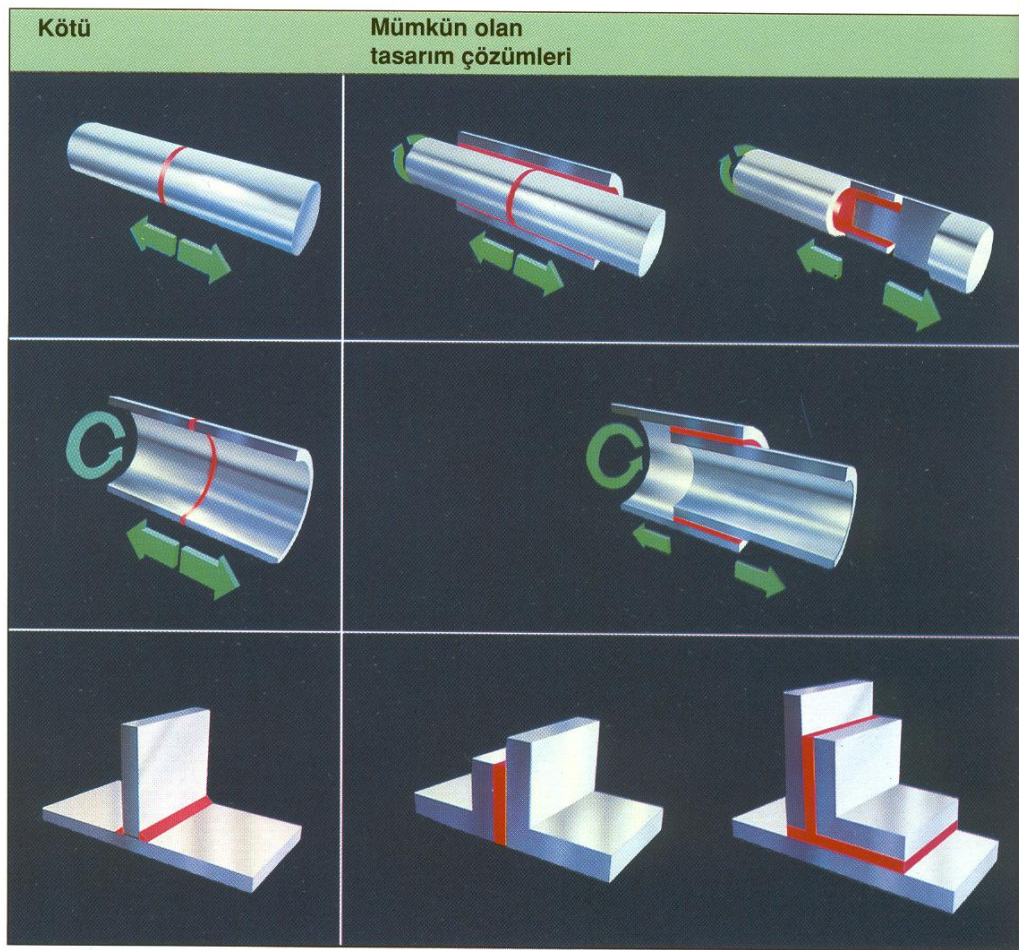
Şekil 2.4 En yaygın yük tipleri ve yapışma çizgisindeki gerilim dağılımları [1] .





Şekil 2.5 Soyulma yükleri ve tasarım önlemleriyle dönüştürülmeleri [1] .

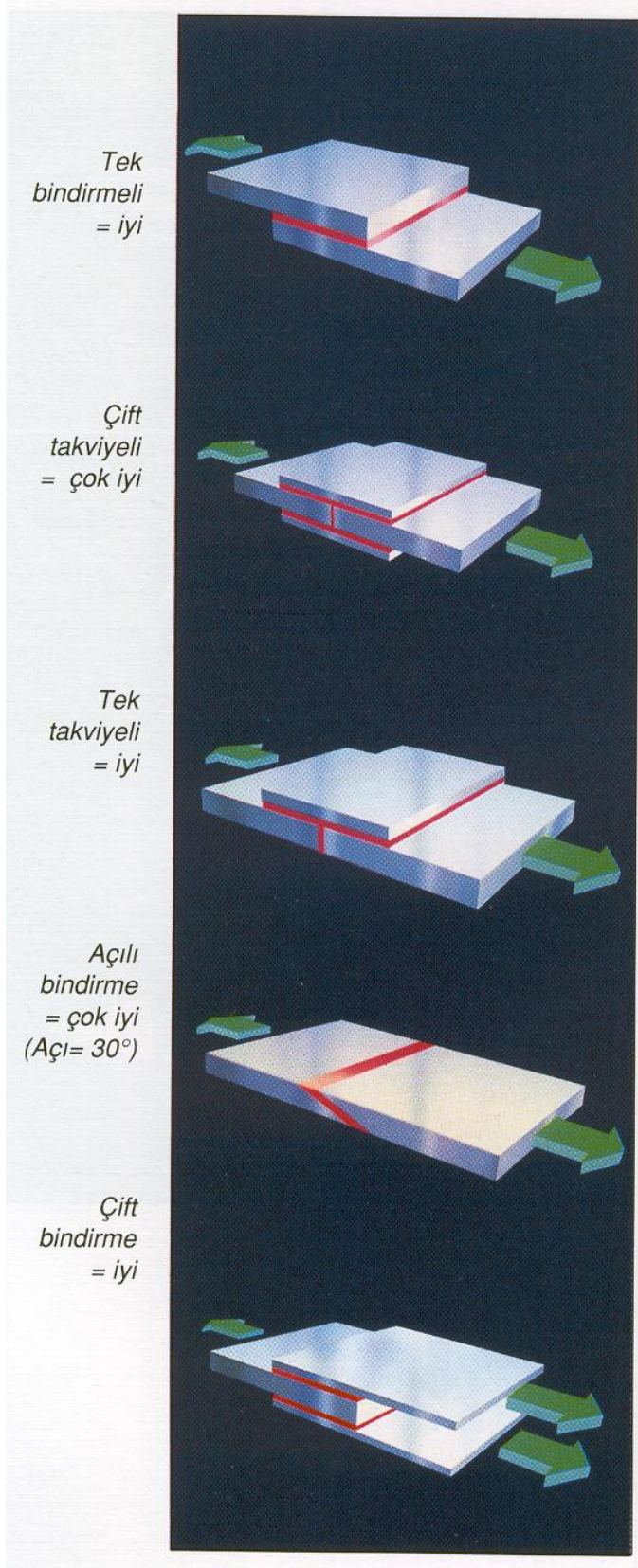




Şekil 2.6 Yapıştırılmış bağlantılarda tercih edilen ve edilmeyen yükler ve yapışma yüzeyi ne kadar genişse o kadar iyi olduğunun gösterimi [1] .

Üst üste binen ek yerlerinin optimize edilmesinde şunlardan yararlanılabilir;

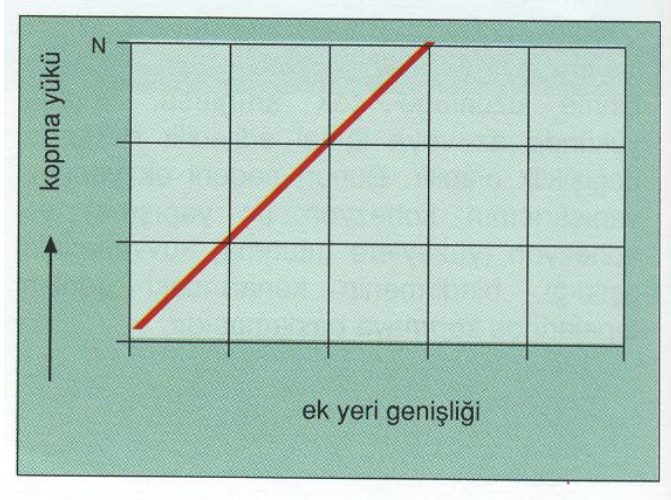
- Eksantrik kuvvetlerden kaçının: Üst üste binen bir ek yerinin düzgün kesme gerilim dağılımı göstermemesi için birçok neden vardır. Sebeplerden biri, böyle bir ek yerine etki eden eksantrik kuvvetlerin eğilme momentine yol açmasıdır. Bu eğilme momenti, özellikle yapışma alanının kenarlarında ilave çekme gerilimleri doğurur. Şekil 2.7'de görüldüğü gibi, yapışma çizgisine etki eden eksantrik kuvvetlerin yol açtığı eğilme momentinin olumsuz etkilerini en aza indirmenin çeşitli yolları vardır.



Şekil 2.7 Eksantrik kuvvetlerden kaynaklanan problemlerin muhtelif çözümleri [1] .

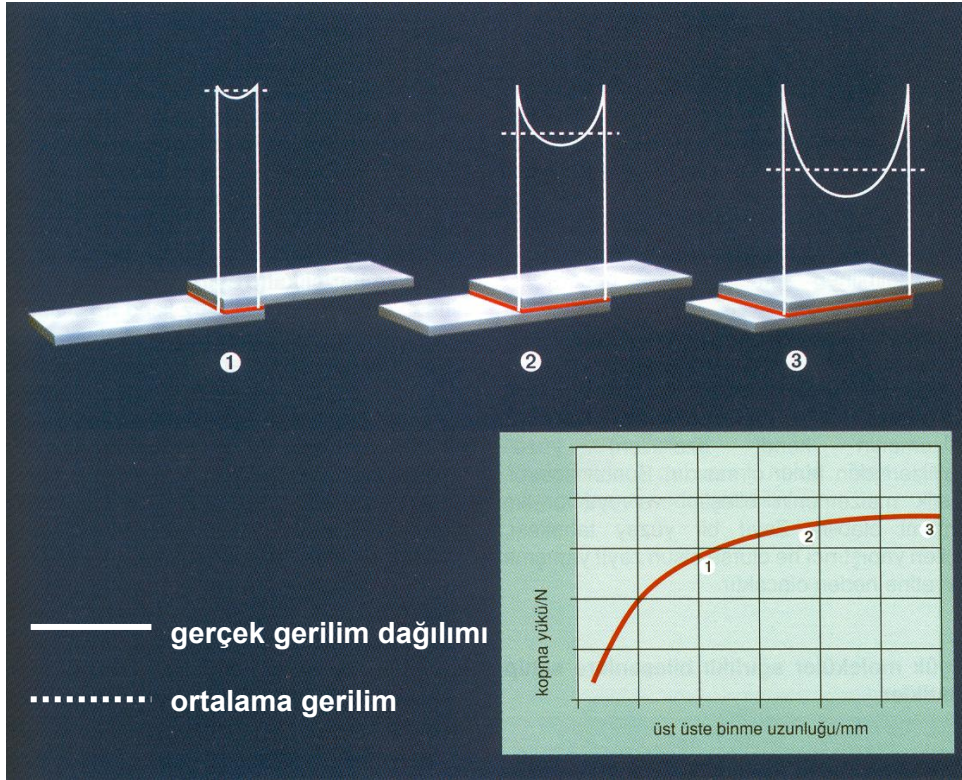


- Ek yeri enini artırın: Ek yeri enini artırmakla kesme gerilim dağılımı değişmez. Yani bindirmeli ek yerlerinin kopma yükü, ek yeri eniyle aynı oranda artar. Şekil 2,8'de görüldüğü gibi, ek yeri eni iki katına çıktığında kopma yükü de iki kat artmaktadır.



Şekil 2.8 Kopma yükü, ek yeri genişliği ile aynı oranda artışı [1] .

- Ek yeri bindirmesini optimize edin: Ek yeri bindirmesinin optimize edilmesi yalnızca ek yeri uzunluğunun olabildiğince uzatılması anlamına gelmez, çünkü kopma yükü ek yeri uzunluğu veya yapışma alanıyla orantılı olarak artmaz. Kesme gerilim dağılımı eğrisinden, yapışma bölgesi kenarlarının ortaya oranla daha yüksek gerilime dayanması gerektiğini görüyoruz. Üst üste binme uzunluğu çok artırılsa, kopma yükünde az veya ihmal edilebilir miktarda değişiklik olabilir. Bunun nedeni ek yerinin, yapıştırıcının kohezyon (iç yapışma) ve adhezyon (yüzeyle tutunma) kuvvetlerinin aşıldığı, bindirmenin kenarındaki gerilim tepelerinde kopmaya başlamasıdır. Şekil 2,9'da, kesme gerilimi ortalama değerinin, üst üste binme uzunluğu arttıkça düştüğü, bunun neticesinde kopma yükünde orantısız bir artış meydana geldiği görülüyor. Eğer yükü taşımak için yapışma yüzeyini artırmak gerekiyorsa, üst üste binmedense ek yeri enini artırmak daha iyidir.

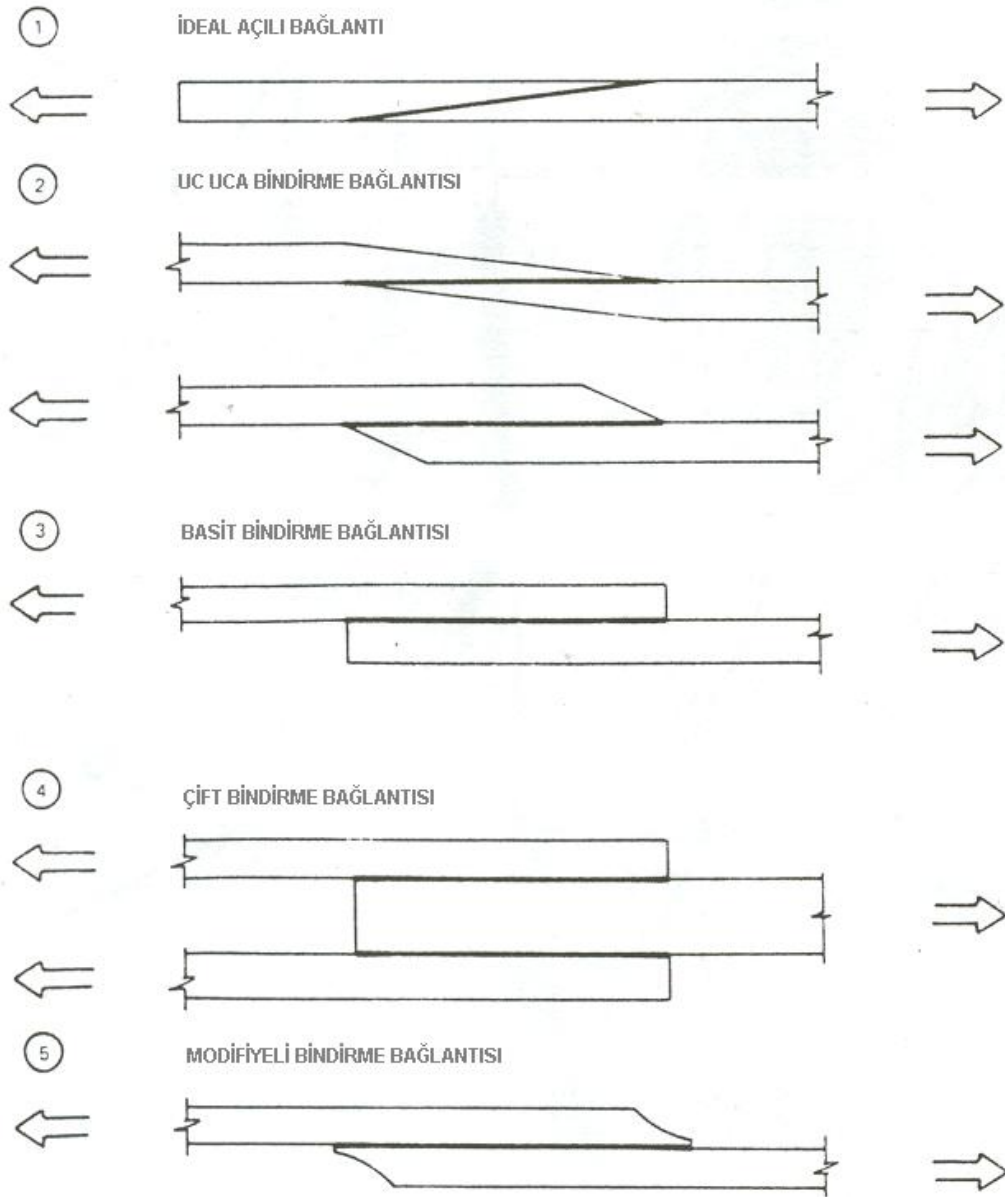


Şekil 2.9 Üst üste binme uzunluğunun artması ile, kopma yükünde meydana gelen artışın orantılı olmayışı [1] .

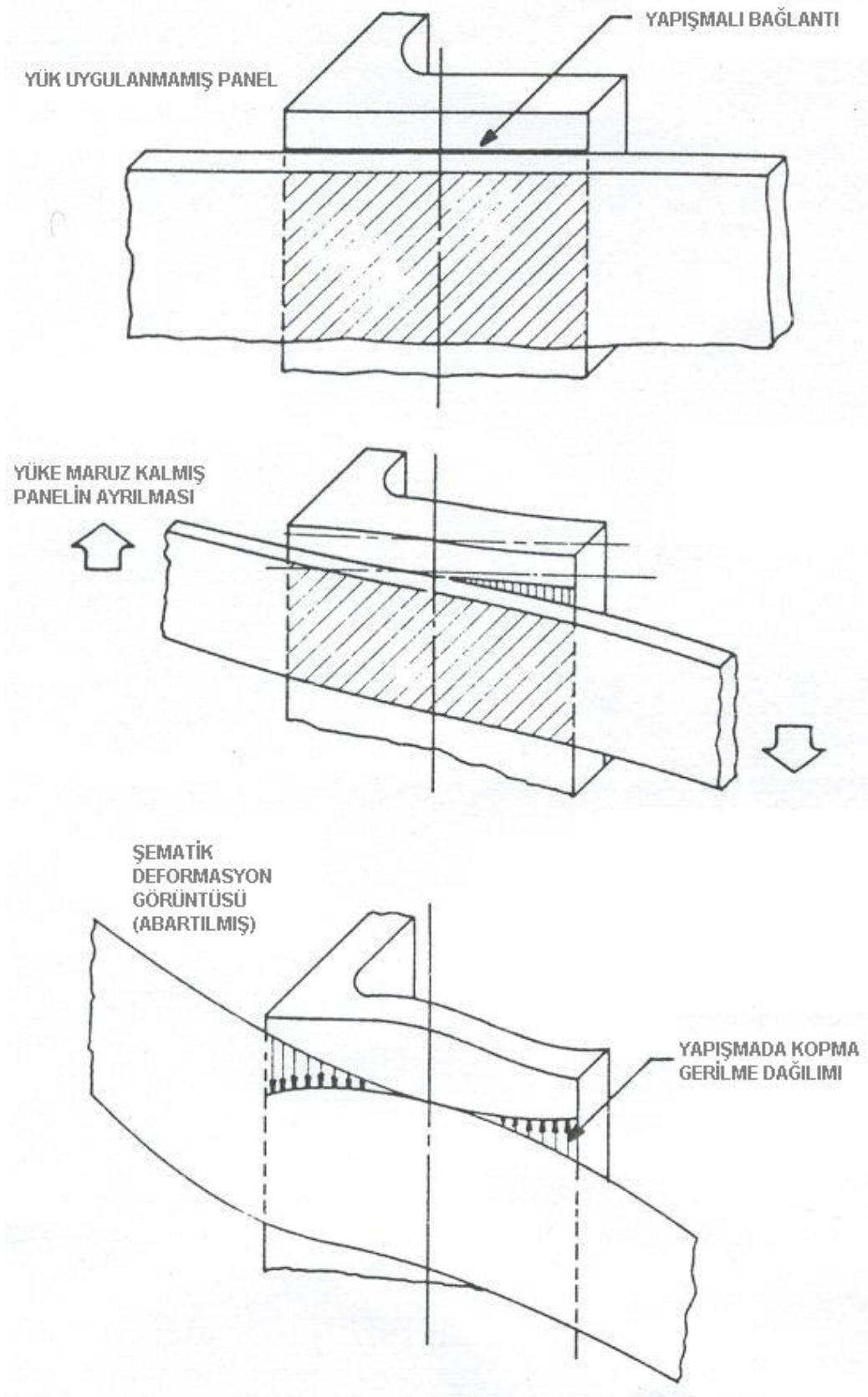
- Yapışma çizgisi kalınlığı: Daha kalın bir yapışma çizgisi ek yerini kesme gerilimine daha dayanıklı hale getirir. İlave kalınlık, kesme uzamasını daha geniş bir boyuta yayar ve yapıştırıcı üzerindeki birim deformasyonu azaltır, ve dolayısıyla gerilim yoğunlaşmaları azalır. Bu, daha düşük esneklik modülüne sahip bir yapıştırıcı kullanmaya benzer; her iki durumda da daha dayanıklı bir ek yeri elde edilir [1] .

### 2.3.2.3. Bağlantı geometrisi

Yapı elemanlarının yapıştırmalı birleştirilmesinde sık kullanılan temel geometriler; açılı bindirme, uç uca bindirme, basit bindirme, çift bindirme ve modifiyeli bindirmelerdir. Şekil 2.10'da bu bindirme geometrilerin şematik formu gösterilmektedir. Bu çeşitli bağlantı formları, geometrilerinden ve yüklemelerin yönlerine göre farklı davranışlar gösterebilir. Şekil 2.11'de yüklemelere maruz kalmış tipik bir uçak panelinin ayrılma davranışı gösterilmektedir.



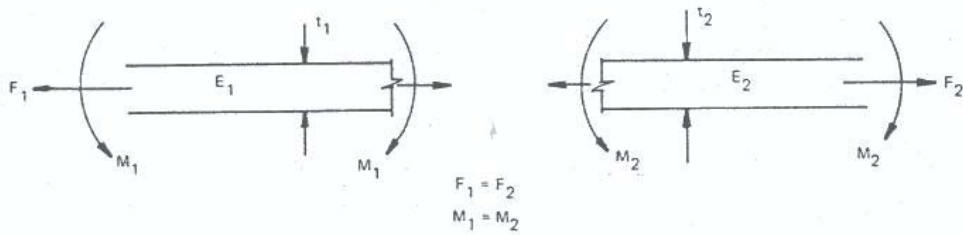
Şekil 2.10 Çeşitli yapıştırmalı bağlantı geometrileri [2].



Şekil 2.11 Yapıştırırmalı uçak panelinin ayrılma davranışı [2] .

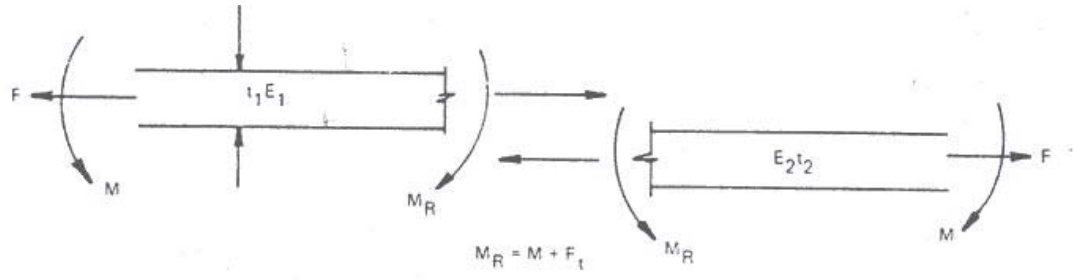


Baskı yüklerine karşı dayanıklı olan bir bağlantı, çekme veya bükme karşı zayıf olabilir. Şekil 2.12-2.14’de yapıştırma ile birleştirmiş iki elemanın belirli bir yük altında gerilme dağılımı gösterilmiştir. Bu gerilim dağılımı bize sadece şematik olarak bir fikir verir. Spesifik her bir bağlantı için mekanik testler uygulanması gerekir. Farklı tasarıma sahip yapıların gerilim dağılımı farklı olabilir. Şekil 2.15’de yük altında kıvrım ve “t” bağlantıların davranışları gösterilmektedir. Şekil 2.16’da tipik bir yapıştırırmalı kompozit yapının kopma-gerilme dağılımı gösterilmektedir. Şekil 2.17’de basit bindirme için bindirme uzunluğu arttıkça genişliğin yük taşıma kabiliyeti oldukça artar, fakat yapıştırıcı kopma gerilmesi psi ( $\text{Kn/mm}^2$ ) düşer ya da sabit kalır. Bindirme uzunluğu artmasıyla kopmaya karşı büyük direnç sürdürebilme yeteneğine sahip ve rijitlik ölçüsü düşük (elastiki) yapıştırıcılar, çeşitli yöntemlerle elde edilebilmektedirler.



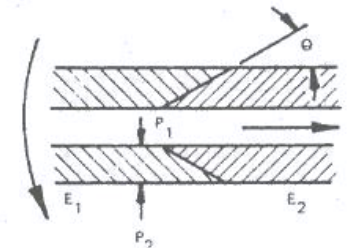
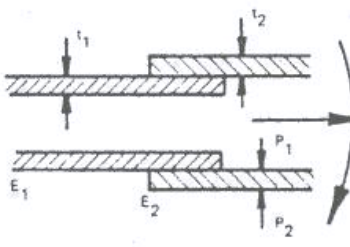
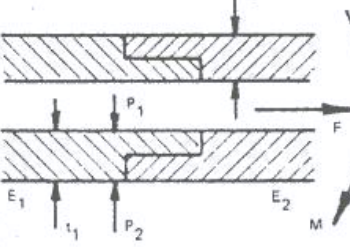
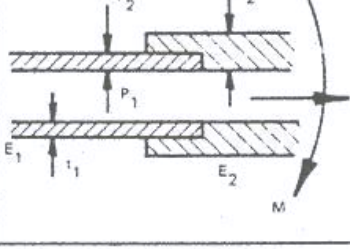
	ELEMANLAR	GERİLME KONSANTRASYONU ALTINDA		
		F	-F	M
 AÇILI	$E_1 = E_2$	DÜŞÜK	DÜŞÜK	YÜKSEK
	$E_1 \gg E_2$	YÜKSEK	YÜKSEK	YÜKSEK
 DİRSEK BİNDİRME	$E_1 = E_2$	YÜKSEK	YÜKSEK	YÜKSEK
	$E_1 \gg E_2$	YÜKSEK	YÜKSEK	YÜKSEK
 ÇİFT BİNDİRME	$E_1 = E_2$ $E_1 \gg E_2$	YÜKSEK	ORTA	YÜKSEK
	$E_1 t_1 = E_2 t_2$	YÜKSEK	DÜŞÜK	ORTA
 YÜZEY KÖŞELİ BİNDİRME	$E_1 = E_2$	ORTA	DÜŞÜK	YÜKSEK
	$E_1 \gg E_2$	YÜKSEK	DÜŞÜK	YÜKSEK

Şekil 2.12 Yük altında aynı çizgide düz bağlantıların davranışları [2] .

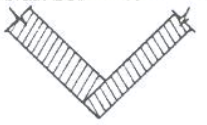
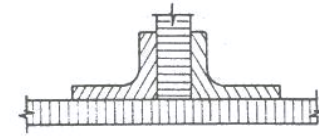
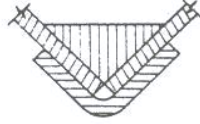
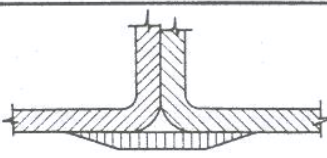

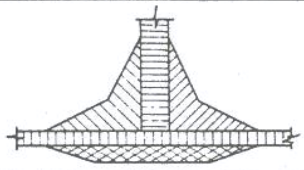

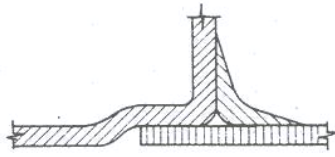



ELEMENLAR	GERİLME KONSANTRASYONU ALTINDA			
	F	-F	M	
BASİT BİNDİRME	$E_1 = E_2$	YÜKSEK	YÜKSEK	YÜKSEK
	$E_1 > E_2$	YÜKSEK	YÜKSEK	YÜKSEK
KONİK BİNDİRME	$E_1 = E_2$	YÜKSEK	YÜKSEK	YÜKSEK
	$E_1 > E_2$	ORTA	ORTA	YÜKSEK
ÇİFT KONİK BİNDİRME	$E_1 = E_2$	DÜŞÜK	DÜŞÜK	ORTA
	$E_1 > E_2$	ORTA	ORTA	YÜKSEK
GÖMMELİ BİNDİRME	$E_1 = E_2$	YÜKSEK	DÜŞÜK	YÜKSEK
	$E_1 > E_2$	YÜKSEK	DÜŞÜK	YÜKSEK
KONİK GÖMMELİ BİNDİRME	$E_1 = E_2$	ORTA	DÜŞÜK	YÜKSEK
	$E_1 > E_2$	ORTA	DÜŞÜK	YÜKSEK

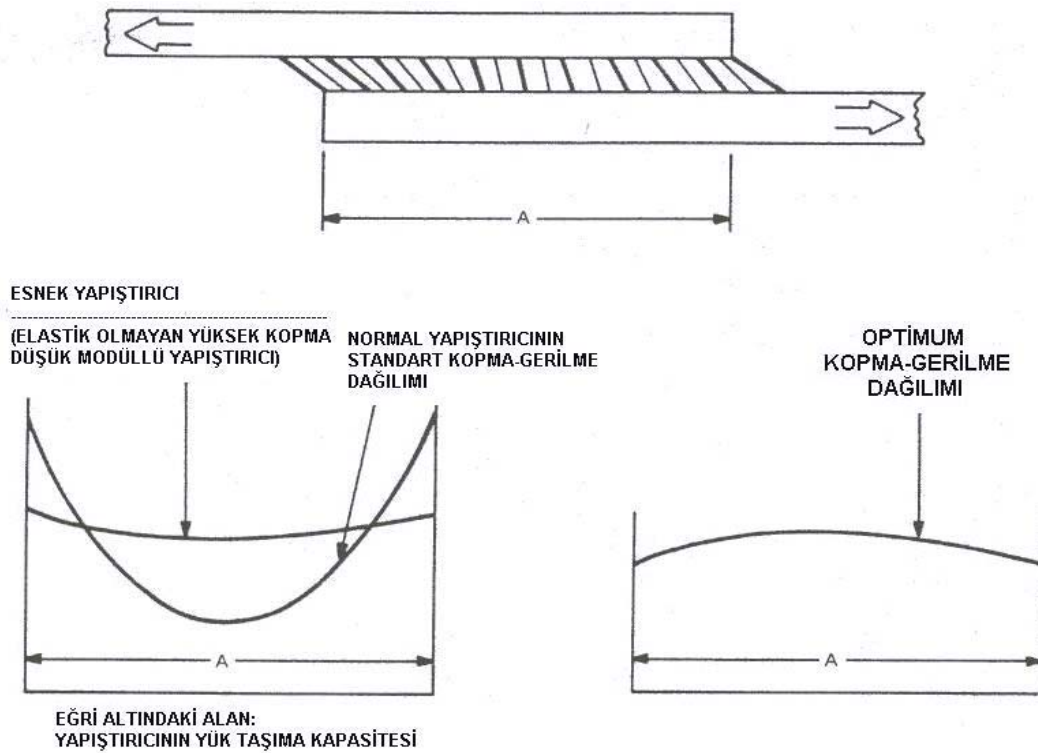
Şekil 2.13 Yük altında ofset bindirme bağlantıların davranışları [2] .

	ELEMANLARIN RİJİTLİĞİ	GERİLİM KONSANTRASYONU				
		F	-F	$P_1 > P_2$	$P_2 < P_1$	M
	$E_1 = E_2$	DÜŞÜK	DÜŞÜK	DÜŞÜK	DÜŞÜK	DÜŞÜK
	$E_1 > E_2$	YÜKSEK	YÜKSEK	DÜŞÜK	YÜKSEK	YÜKSEK
	$E_1 < E_2$	YÜKSEK	YÜKSEK	YÜKSEK	DÜŞÜK	YÜKSEK
	$\frac{E_1 l_1}{d_1} = \frac{E_2 l_2}{d_2}$	YÜKSEK	YÜKSEK	DÜŞÜK	DÜŞÜK	YÜKSEK
	$\frac{E_1 l_1}{d_1} > \frac{E_2 l_2}{d_2}$	YÜKSEK	YÜKSEK	YÜKSEK	DÜŞÜK	YÜKSEK
	$\frac{E_1 l_1}{d_1} < \frac{E_2 l_2}{d_2}$	YÜKSEK	YÜKSEK	DÜŞÜK	YÜKSEK	YÜKSEK
	$\frac{E_1 l_1}{d_1} = \frac{E_2 l_2}{d_2}$	YÜKSEK	YÜKSEK	DÜŞÜK	DÜŞÜK	DÜŞÜK
	$\frac{E_1 l_1}{d_1} > \frac{E_2 l_2}{d_2}$	YÜKSEK	DÜŞÜK	YÜKSEK	DÜŞÜK	YÜKSEK
	$\frac{E_1 l_1}{d_1} < \frac{E_2 l_2}{d_2}$	YÜKSEK	DÜŞÜK	DÜŞÜK	YÜKSEK	YÜKSEK
	$\frac{E_1 l_1}{d_1} = \frac{E_2 l_2}{d_2}$	YÜKSEK	DÜŞÜK	DÜŞÜK	DÜŞÜK	YÜKSEK
	$\frac{E_1 l_1}{d_1} > \frac{E_2 l_2}{d_2}$	YÜKSEK	DÜŞÜK	YÜKSEK	DÜŞÜK	YÜKSEK
	$\frac{E_1 l_1}{d_1} < \frac{E_2 l_2}{d_2}$	YÜKSEK	DÜŞÜK	DÜŞÜK	DÜŞÜK	YÜKSEK

Şekil 2.14 Yük altında borulu bağlantıların davranışları [2] .

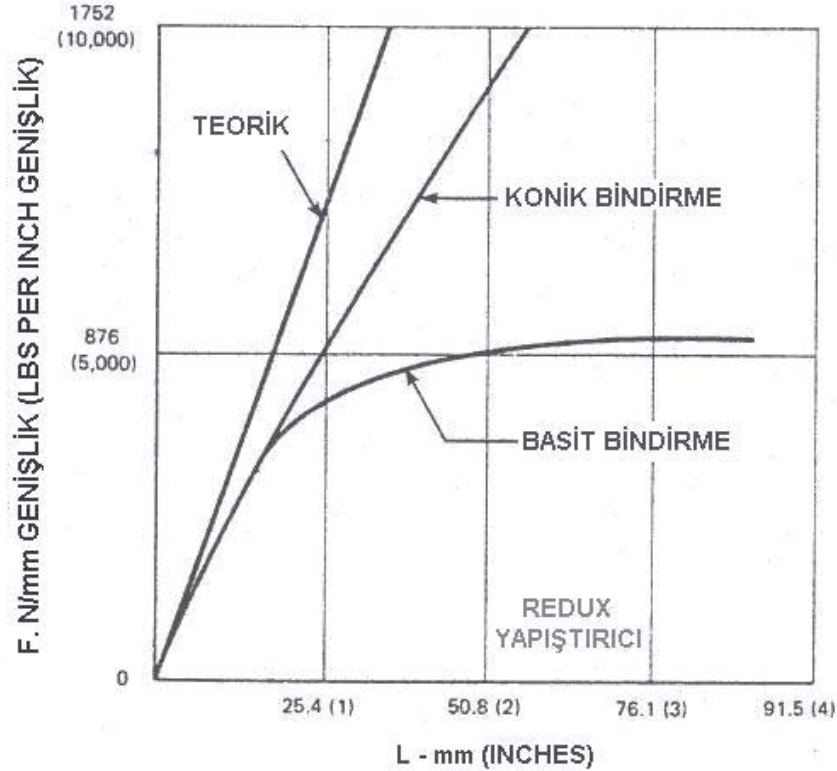
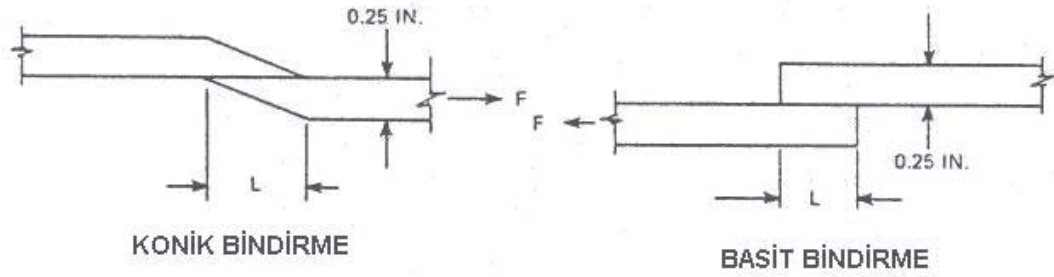
KÖŞE VE KIVRIMLAR		"T" ŞEKİLLERİ	
GEMOETRİLER	YETENEK	GEMOETRİLER	YETENEK
	KÖTÜ		PAHSIZ İYİ PAHLI ÇOK İYİ
	İYİ		BANDAJSIZ KÖTÜ BANDAJLI ÇOK İYİ
	ÇOK İYİ		BANDAJSIZ KÖTÜ BANDAJLI ÇOK İYİ
	KÖTÜ		BANDAJSIZ İYİ BANDAJLI ÇOK İYİ
	ÇOK İYİ		

Şekil 2.15 Yük altında kıvrım ve "t" bağlantıların davranışları [2] .



Şekil 2.16 Yapıştırırmalı bindirmeli bağlantılarda kopma-gerilme modeli





Şekil 2.17 Basit bindirme bağlantılarında yapıştırma uzunluklarının etkisi [2].

### 2.3.3. Yapıştırmada yüzey ön-işlemleri

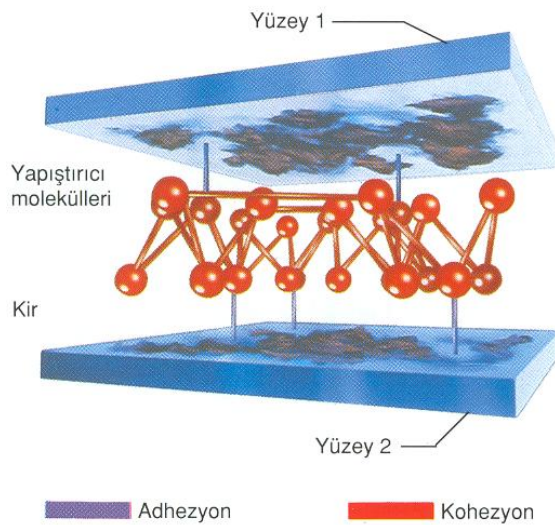
Yapıştırma bağlantılar, yapıştırıcı ve yüzeyler arasında tam temas olmamasından olumsuz etkilenirler. Başarılı bir yapıştırma için tasarımda, uygun bir ön-işlem ve uygun yapıştırıcı belirlenmelidir. Basit mekanik temizleme ve kimyasal yağ almadan, karmaşık fiziksel yüzey hazırlamaya kadar birçok ön- işlem yöntemi mevcuttur.

Yüzey hazırlama, yapıştırıcı ile birleştirme işleminde en kritik aşamadır. Tatmin edici bir yüzey hazırlığı yapılmadığı takdirde, bağlantı yapıştırıcı-yüzey temas

seviyesinde ve önceden tahmin edilemez biçimde kopacaktır. Doğru yüzey hazırlama yapıldığında, yapıştırıcı ve/veya astardan beklenen kuvvet elde edilebilecek ve kopmalar yapıştırıcının kohezyon kuvvetinin aşılması ve yapıştırıcı tabakasının ikiye ayrılması şeklinde olacaktır. Yüzey hazırlama, yalnızca yapıştırma bağlantının ilk kuvveti için değil, daha da önemlisi, uzun vadedeki dayanımı için de çok önemlidir. Yüzey hazırlama yöntemleri en azından, yağı, gresi ve yüzeye tutunma kuvveti yapıştırıcınınkinden az olabilecek kaplamaları temizlemelidir. Birçok plastik ve metal malzemede basit zımparalama veya solventle temizleme kullanılır. Ancak bazı metallerde, iyi bir yapışma veya uzun vadeli ortam şartlarına dayanım elde etmek için bu basit yüzey hazırlama yöntemleri yeterli olmayabilir [1] .

En iyi yapışma için iyi bir ön-işlem gereklidir. Yapışma kuvveti büyük ölçüde yapıştırılacak yüzeyler ile yapıştırıcı arasındaki adhezyon kuvveti tarafından belirlenir. Yüzeyler iyi temizlendiği ve ön-işlem yapıldığı oranda yapışma kuvvetinin artacağı iyi anlaşılmalıdır. Şekil 2.18’de yapıştırılacak yüzeylerdeki kirlerin adhezyonu düşürdüğü görülmektedir. Adhezyon kuvveti şu şekilde artırılabilir:

- Yağ alma veya mekanik aşındırma ile istenmeyen yüzey tabakalarının temizlenmesi
- Primer ile kaplayarak yeni, aktif bir yüzey oluşturulması
- Aşındırma, korona işlemi, düşük plazma
- İşlemi vs. ile yüzey aktivitesinin değiştirilmesi.



Şekil 2.18 Yapıştırılacak yüzeylerdeki kirlerin adhezyonu düşürmesi [1] .

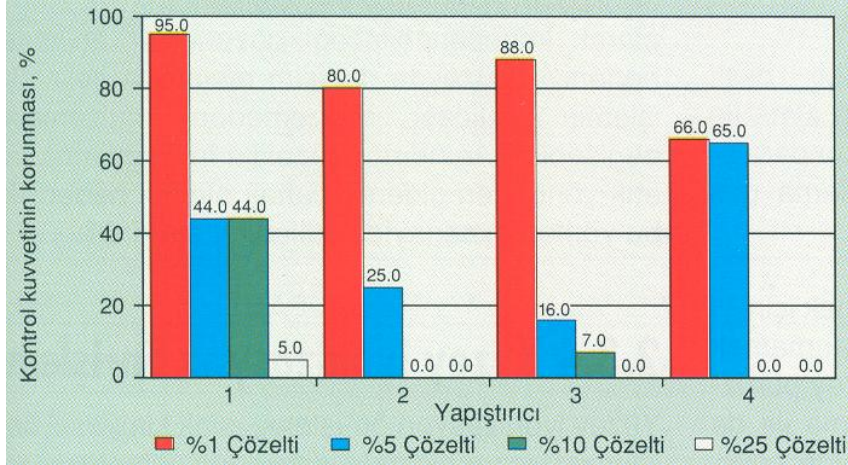
### 2.3.3.1. Yüzeylerin yağdan arındırılması

Mümkün olan en iyi yapışmayı elde etmek için yapıştırılacak yüzeylerden yağ, gres, toz ve diğer kalıntıların tamamen temizlenmesi gerekir. Kalıntı bırakmadan buharlaşan solventler buna uygundur. En önemli solventler ve temizleme kapasiteleri Tablo 2,3'de görülebilir.

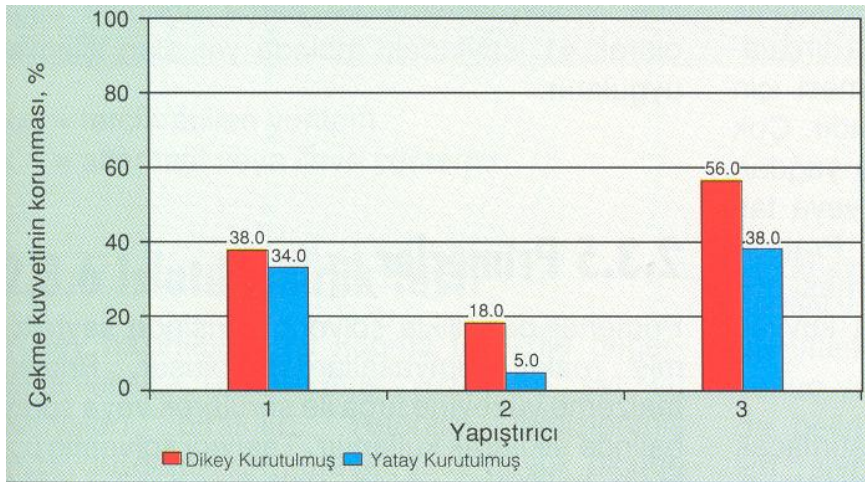
Tablo 2.3 Solventler ve özellikleri [1] .

Solvent	Temizleme Kapasitesi	Yanıcı veya parlayıcı
Hidrokarbonlar (ör: izoparafinler)	İyi	Evet
Ketonlar (ör: aseton)	İyi	Evet
Alkoller (ör: izopropanol)	Orta	Evet
Su bazlı	İyi	Hayır

Alkalın veya asit bazlı sulu temizleyiciler her zaman korozyon önleyici içerirler. Bunlar eğer temizleme sonrası yüzeyde kalırsa, yapışma kuvvetini azaltabilir veya yapıştırıcının kürleşmesini engelleyebilir. Eğer bu tür temizlik sistemleri kullanılacaksa, mutlaka önceden testler yapılmalıdır. Her durumda tüm yüzeyler iyice durulanmalı veya silinmelidir. Şekil 2.19'da yıkama çözeltisinde konsantrasyonun yapıştırıcının son kuvvetine etkisi ve Şekil 2.20'de yıkama çözeltisinde kurutma pozisyonunun (dikey veya yatay) yapıştırıcının son kuvvetine etkisi görülmektedir.



Şekil 2.19 Yıkama çözeltisi: Konsantrasyonun yapıştırıcının son kuvvetine etkisi [1] .



Şekil 2.20 Yıkama çözeltisi: Kurutma pozisyonunun (dikey veya yatay) yapıştırıcının son kuvvetine etkisi [1] .

Eğer yüksek miktarlı imalatlar için özel yağ alma banyoları kullanılıyorsa, temizlik banyosunun kirlenmemesi için çok kirli yüzeylere ön-temizlik yapılması tavsiye edilir. Buharlı yağ alma sistemleri çok sık kullanılır. Bu yöntemde solvent kaynama noktasına kadar ısıtılır ve buharlaştırılır. Soğuk parçalar buharlaşmış temizleyici ile temas ettiğinde, temizleyici yüzeyler üzerinde yoğunlaşır. Oluşan sıvı yüzeylerde kalmış kir ve gres parçacıklarını temizler. Yağ alma, çoğunlukla tamamen kapalı makineler da, yağ alma solventleri ile yapılır. Birçok uygulamada yüzeylere hızlı etkili bir temizleyici ile ön-işlem yapılması yeterlidir. Bu şekilde yüzeyler yağ, gres, kir ve diğer kalıntılardan temizlenir ve yapıştırma için hazır olur. Solventler ile



temizlik yapılırken daha iyi netice almak için, yüzeylerden kiri ayıran kimyasal işlem mekanik olarak ta desteklenebilir (bir temizlik bezi ile ovalamak, fırçalamak) [1] .

### 2.3.3.2. Mekanik ön-işlem

Kirli metal yüzeyler çoğunlukla bir oksit tabakasıyla kaplıdır ve bu tabaka yağ alma ile temizlenemez. Böyle durumlarda, zımparalama, taşlama veya tel fırça ile fırçalama gibi mekanik ön-işlem gereklidir.

Zımparalama geniş yüzeyleri temizlemek için iyi bir yöntemdir. Çok kalın zımpara kullanmamak kaydıyla, bu yöntemle elde edilen yüzey pürüzlüğü çok iyi yapıştırma sağlar. Taşlama ile de aynı şekilde iyi bir yüzey pürüzlüğü elde edilir. Bu yöntemde yüzey pürüzlüğünü iyi seçmek önemlidir (ör: alüminyum için 300 ila 600, çelik için 100). Taşlama, zımparalama veya fırçalama sonrası, tüm kalıntıların temizlenmesi için parçalara yağ alma işlemi uygulanmalıdır. Çok kirli parçalar mekanik işlem öncesi de yağdan arındırılmalıdır ki, kullanılan zımpara veya taş yüzeydeki kirleri bulaştırmassın. Pratikte mekanik ön-işlem metotlarının kullanılması çok kolaydır ve genellikle yeterli yapışma kuvveti sağlarlar.

Eğer plastik veya lastik parçalar yapıştırılacak ise, yüzey tabakası, kalıp ayırıcı ve vulkanizasyon tabakası gibi yabancı maddeler öncelikle temizlenmelidir. Plastikler için alaşımli döküm veya alüminyum oksit aşındırıcılar iyi sonuç vermektedir. Lastik yüzeyler solventlerle veya taşlanarak temizlenebilir.

### 2.3.3.3. Aşındırma

Yüzeyleri aşındırmakta nispeten aşındırıcı olan kimyasallar kullanılır. Yüzeye bağlı olarak çok asidik veya kuvvetli alkalin ürünler tercih edilir. Aşındırma sonucunda, malzeme yüzeyine reaktif gruplar eklenmesi ve yapıştırıcının mekanik olarak kenetlenebileceği gözenekler açılması nedeniyle yüzeyde değişim meydana gelir. Bu işlemin neticesi malzemedan malzemeye değişebilir. Aşındırıcı çözeltilerin uygulama ve atık yönünden giderek pahalı olması nedeniyle bu yöntemin sanayide kullanımını sınırlıdır [1] .

### 2.3.3.4. Yüzey iyonizasyon ön-işlemi

Yüzey iyonizasyon ön-işlemi, ıslak kimyasal ön-işleme benzer biçimde yüzeylerin polaritesini ve enerjisini değiştirir. Malzemeye, parçanın şekline, imalat akışına ve parça adedine bağlı olarak Tablo 2,4'de yer alan işlemler uygulanır.

Tablo 2.4 Malzemelerin uygulanabilir ön-işlem yöntemleri [1] .

Malzeme	Ön-işlem Yöntemi					
	Yağ alma	Mekanik aşındırma	Aşındırma	Primer (yapıştırıcıya göre)	Korona	Düşük basınç plazma
Metaller	xxx	xxx	x	x		x
Cam	xxx	x	x	x	x	x
Seramikler	xxx		x	x	x	x
Plastikler	xxx	xxx	x	x	xxx	xxx
Lastik	xxx	x		x	x	x
Ahşap	x	xxx		x		x

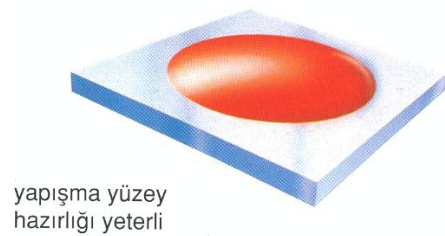
xxx = tercih edilen yöntem  
x = alternatif veya ilave yöntem

### 2.3.3.5. Primerler

Primerler genellikle solvent içerisinde seyreltilmiş reaktif kimyasallardan oluşur. Primer, malzeme yüzeyine fırça ile sürülerek veya sprey halinde sıkılarak kullanılır. Taşıyıcı solventin uçması beklenir, geride aktif kimyasallar kalır. Primer çeşidine bağlı olarak siyanoakrilatlar için poliolefin primerleri gibi yüzey anında yapıştırma işlemine hazır hale gelebilir. Yüzey primerleri genellikle, yüzey ile yapıştırıcı arasında kimyasal köprü oluşturarak yapışabilme özelliğini artırır. Genel olarak bir primerdeki reaktif maddeler çok fonksiyonludur, bir dizi reaktif gurup yüzey ile reaksiyona girerken ilave guruplar yapıştırıcı ile uyumu sağlar.

### 2.3.3.6. Islatılabilirlik testi

Yüzey hazırlıkları "su kopma testi" ile değerlendirilebilir. Şekil 2.21'de yüzey hazırlığı, "su kopma" testi veya belirli yüzey gerilim sınırları ile test edilmesi gösterilmektedir. Temizlenmiş yüzeylere saf su damlaları bırakılır. Yetersiz temizlenmiş yüzeyde damlanın küresel şekli büyük ölçüde korunur ve yüzeyin tekrar temizlenmesi gerektiğini gösterir. Eğer su yüzeyde akıyorsa ıslatma başarılıdır; yüzey yeterli temizlenmiştir. Bu yöntem alüminyum ve magnezyum üzerindeki anodik kaplamalar için uygun değildir. Su kopma testinin avantajı, "test sıvısı" olan suyun kolay bulunabilmesidir. Fakat avantajı bununla sınırlı kalır, çünkü suyun sertliği yüzey gerilimini etkiler. Bazı durumlarda, damıtılmış su bile su kopma testinde güvenilir sonuç vermez. Bu nedenle kritik uygulamalarda, belirli yüzey gerilimlerine sahip yüzey gerilim sınırları kullanılmalıdır. Dikkat edilmesi gereken nokta, bu testin yalnızca ıslatılabilirliği gösterdiği, yapıştırılma kabiliyetini ölçmediğidir [1] .

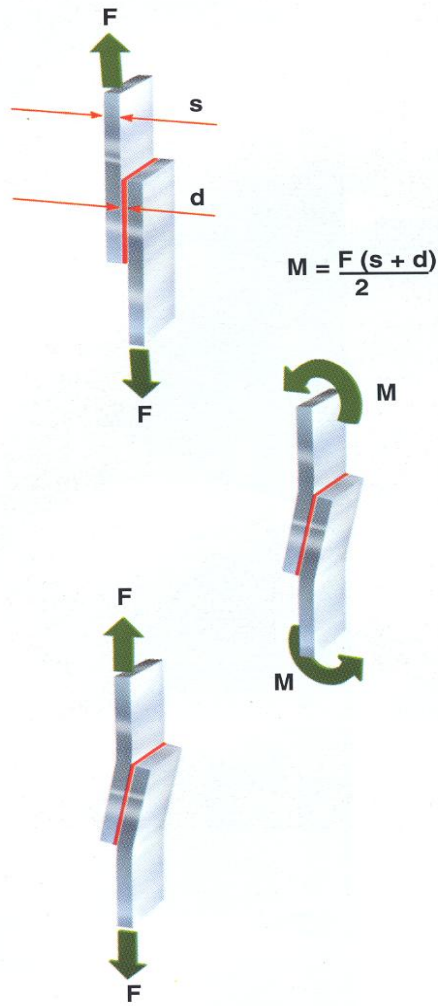


Şekil 2.21 Yüzey hazırlığı, "su kopma" testi veya belirli yüzey gerilim sınırları ile test edilmesi [1] .

### 2.3.4. Yapıştırma davranışlar

#### 2.3.4.1. Yükler ve neden oldukları gerilimler

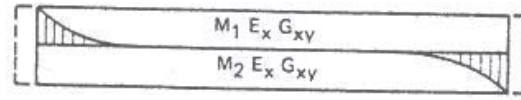
Bir yapıştırma bağlantıya etki eden yükler farklı türde gerilimlere neden olur. Gerilimler genel olarak  $N/mm^2$  cinsinden ifade edilir. Yalnızca çekme veya yalnızca sıkıştırma yüklerinde, yapışma çizgisinde gerilim dağılımı düzgündür. Dolayısıyla yapışma çizgisinin her noktası aynı yükü taşır ve gerilimi hesaplamak için etki eden kuvvet yapışma alanına bölünür. Gerçek hayatta, yalnızca çekme ve yalnızca sıkıştırma yükleri çok enderdir ve daha çok kesme, yarıma ve soyulma yükleriyle karşılaşılır. Ek yeri gerilim dağılımı, yani gerilimlerin yapışma çizgisindeki konumu, değişkendir ve hesaplaması daha zordur. Kesme gerilimleri, bazı noktalarda yoğunlaşmalar olacak şekilde yapışma yüzeyine dağılır. Yapışma alanının kenarları, orta noktaya göre daha yüksek gerilime dayanmak zorundadır. Bir ek yerine yarıma veya soyulma kuvveti uygulandığında, gerilimin çoğu bir kenarda yoğunlaşır. Şekil 2.22'de tek bindirme bağlantıda eksantrik kuvvetler ve bağlantının deformasyonu görülmektedir.



Şekil 2.22 Eksantrik kuvvetler nedeniyle tek bindirmeli bağlantının deformasyonu [1] .

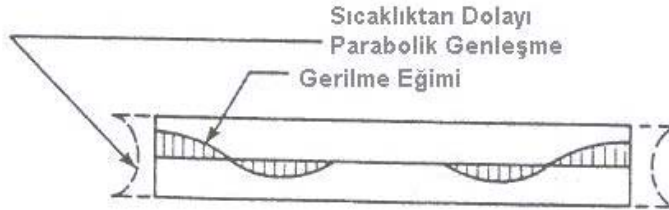
#### 2.3.4.2. Isıl gerilmeler

Kompozitlerin metalik malzemelerle birleştirilmesi yüksek sıcaklık derecesine sahip ortamlarda yapılır ve ısıl gerilmelerden dolayı elemanların lineer ısıl gerilmelerinin farklı katsayılarla ortaya çıktığı görülür. Sonuçta, çoğu kompozit elemanlar geniş sıcaklık aralıklarında çalıştıkları için süreksiz ısıl gerilmeleri dikkate alınmalıdır. Tipik gerilim eğimleri Şekil 2.23’de gösterilmektedir. Isıl gerilmeler genellikle matematiksel hesaplarla tahmin edilmektedirler [2] .



DURUM

BİR ELEMAN DIĞER BİR ELEMANLA GENLEŞMİŞ



DURUM

HER İKİ ELEMAN GENLEŞMİŞ

$$\tau^0 \approx \frac{\Delta T_1 a_1 - \Delta T_2 a_2}{1/E_1 + 1/E_2}$$

BURADA:

$\tau^0$  = ELEMANLARIN FARKLI SICAKLIK GENLEŞME ORANLARINDA ORTALAMA KOPMA GERİLMESİ

$E_1, E_2$  = ELEMANLARIN ELASTİSİTE MODÜLÜ

$a_1, a_2$  = ELEMANLARIN ISIL GENLEŞME KATSAYILARI

$\Delta T_1, \Delta T_2$  = PİŞİRME SICAKLIĞINDA ELEMANLARIN SICAKLIK FARKLARI

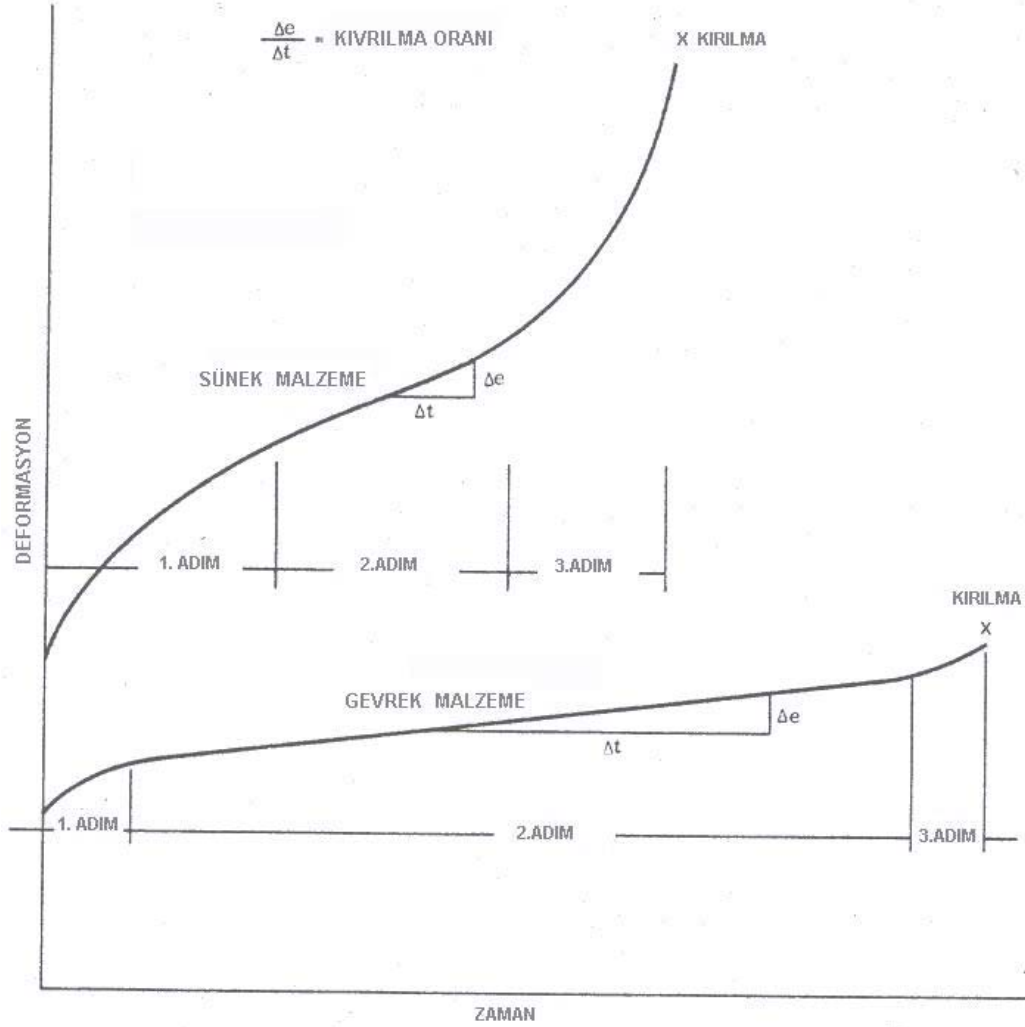
Şekil 2.23 Elemanların fark gösteren genişleme için gerilmeler [2] .

### 2.3.4.3. Yapıştırırmada nüfuziyet davranışı

Yapıların birleştirilmesinden sonra farklı nedenlerden dolayı elemanlar arasındaki bağlantının zarar görebileceği veya kopabileceği hesaba katılmalıdır. Yapıştırırmalı birleştirmede nüfuziyet; yapı elemanlarının birleşmeye uygunluğu, yapıştırıcı tipi, gerilme seviyeleri, bağlantı konfigürasyonu, sıcaklık ve zaman faktörlerine bağlıdır.

Bağlantıda mevcut hareketler aşırıya gittiğinde üç adımda bağlantının elastik niteliği teması zorlar ya da deformasyona (kopmaya) maruz bırakır. Bu üç adımda

gerçekleşen kopma Şekil 2.24'de gösterilmiştir. Kopma eğimindeki birinci ve ikinci adımlar ilk ve sürekli deforme oranlarının uygun bağlantı tasarımını açıklamaktadır.



Şekil 2.24 Tipik nüfuziyet-kopma zaman eğrileri [2] .

Yapıştırırmalı birleştirmelerdeki nüfuziyetin genelize edilmiş özellikleri şunlardır;

- i. Gevrek yapıştırıcılar (yüksek kayma modülüne sahip), sünek yapıştırıcılardan daha az nüfuziyet sağlar.
- ii. Çalışma sıcaklığı seviyesindeki %30 azalma nüfuziyet ve temas dayanıklılığını 500 kez artırır.
- iii. Yapıştırıcıların nüfuziyet oranı gerilme-kopma analizlerinin benzer üs kaidelerini takip eder (genellikle, çatlak oranı  $Ae^{-Q/RT}$ 'e eşittir; A ve Q gerilim

seviyesine ve matematiksel özelliklere bağlı sabitlerdir, R gaz sabiti ve T bağlatının sıcaklığıdır).

#### 2.3.4.4. Bağlantının yorulma davranışı

Kompozitlerin yapıştırılmalı bağlantıda yorulmaya dayanma sınırları genellikle yapıştırıcının dayanıklılığına ve etkisine bağlıdır. Simetrik yapıştırılmalı bağlantılar, simetrik olmayan bağlantılardan daha yüksek yorulma direnci oranına sahiptir (basit bindirme tipi gibi). Yapıştırılmalı bağlantılarda yorulma direncinin genel özellikleri şunlardır;

- i. Bindime derinliğindeki artış yorulma ömrünün artmasına neden olur.
- ii. Yapıştırıcının yorulma ömrü, birleştirilecek elemanların kalınlıklarının artması ile azda olsa azalır.
- iii. Yapıştırılmalı bağlantıların yorulmaya dayanma sınırı çeşitli sıcaklık testleri ile tespit edilir. Bu sıcaklık testleriyle bazı yapıştırıcılar bağlantı sıcaklığı arttığında büyük bir direnç gösterirken, bazı yapıştırıcılar ise sıcaklık arttığında daha düşük dayanma gücü gösterdikleri görülür [1] .

Özel bir uygulama için yapıştırıcı seçimi yapılırken en önemli kriterlerden biri, ortam veya çevre şartlarıdır. Doğal olarak, ek yerine etki edecek kuvvet birinci derecede önemlidir ve yapıştırıcı tahmin edilen maksimum kuvvete (aşırı uzama olmaksızın), yorulma veya periyodik gerilimlere dayanmalıdır. Periyodik gerilimler, özellikle yavaş olanlar, bir yapıştırıcı için sürekli gerilimlerden çok daha zararlıdır.

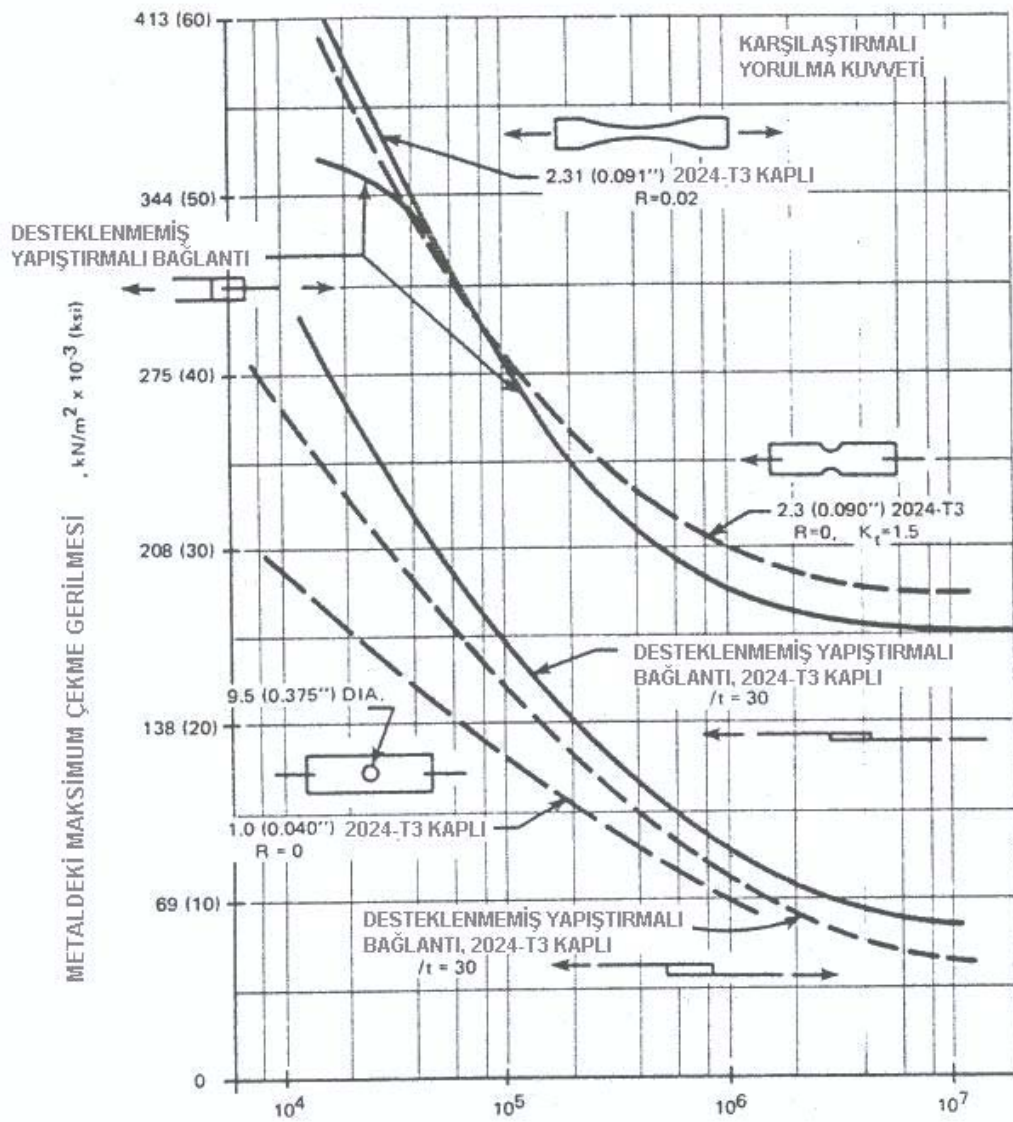
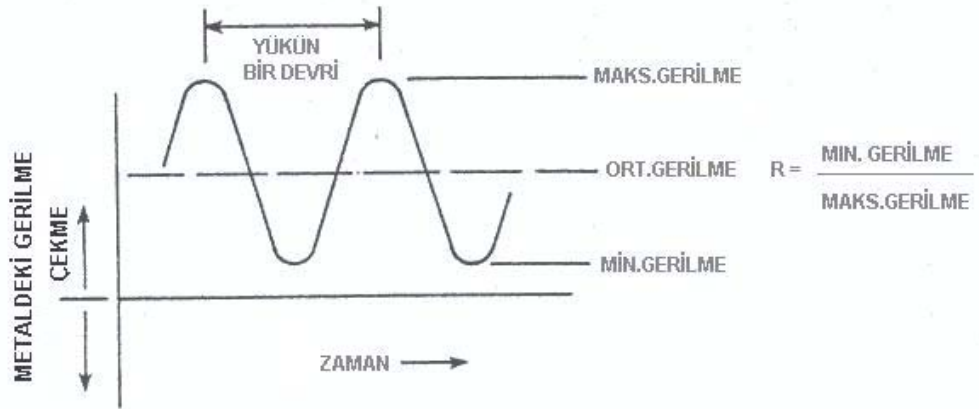
Özel bir uygulama için seçilen yapıştırıcı bu yüklere ve gerilimlere yalnızca başlangıçta değil, yapıştırılan ek yerinin ömrü boyunca karşılaşacağı en güç ortam şartlarına maruz kaldıktan sonra da dayanmalıdır. Yapıştırılmış bağlantıların çoğu için ısı ve nem en zararlı çevre faktörleridir.

Çok farklı termal genleşme katsayılarına sahip farklı malzemeler arasında oluşan termal genleşme gerilimleri, örneğin yapıştırılmış bir plastik-metal bağlantısı, düşük modüllü (kırılgan olmayan) yapıştırıcılar gerektirir. Yapışmanın dayanıklılığını etkileyen diğer faktörler solventler ve ultraviyole ışığıdır. Her zaman bu faktörlere

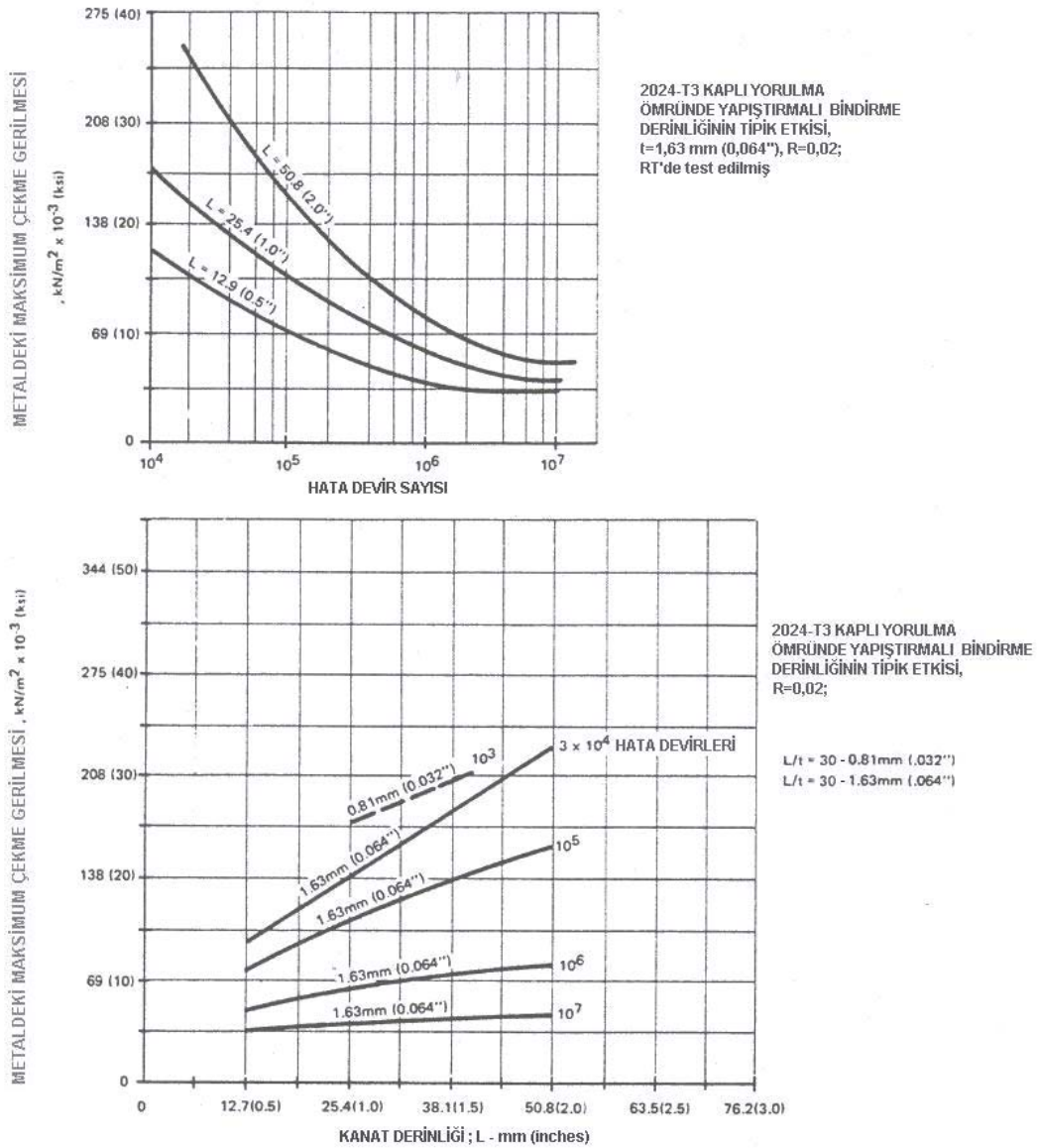


dayanıklı bir yapıştırıcı seçin; yapıştırılan ek yerini, muhtemelen çatlayacak, zamanla nem ve solventleri geçirebilecek "koruyucu" malzemelerle kaplamayı düşünmeyin [2] .

Yapıştırılmış kompozit yapının yorulmaya dayanım gücünün güvenli eğrilerinin belirlenmesi Şekil 2.25 ve 2.26'daki gibi açıklanabilir. Bu şekilde 2024-T3 alüminyum alaşımlarının yorulma davranışı gösterilmiştir.

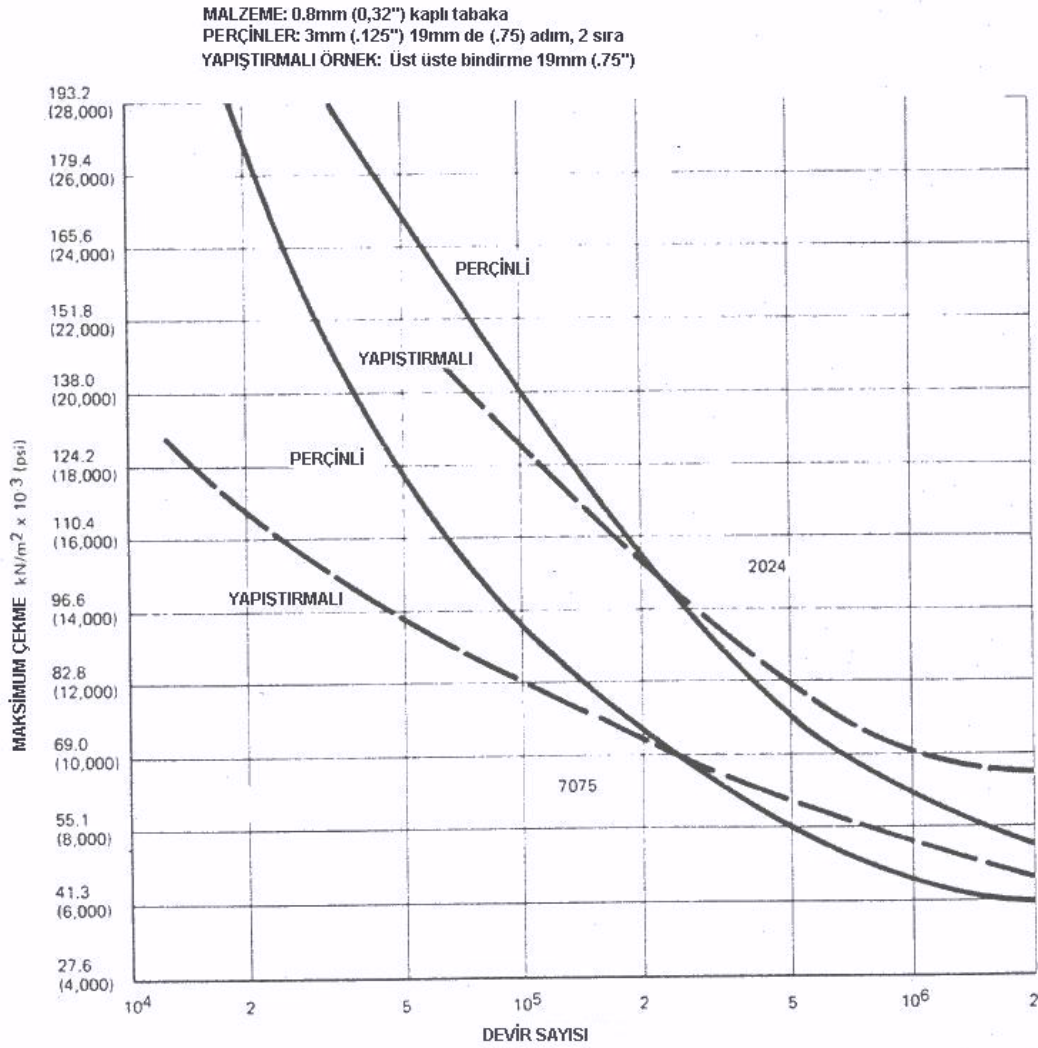


Şekil 2.25 Yapıştırırmalı bağlantıların (örneğin metal ile) tipik yorulma mukavemeti [2].



Şekil 2.26 Yorulma özelliklerinde yapıştırma bindirme derinliğinin tipik etkisi (FM47 yapıştırıcı) [2] .

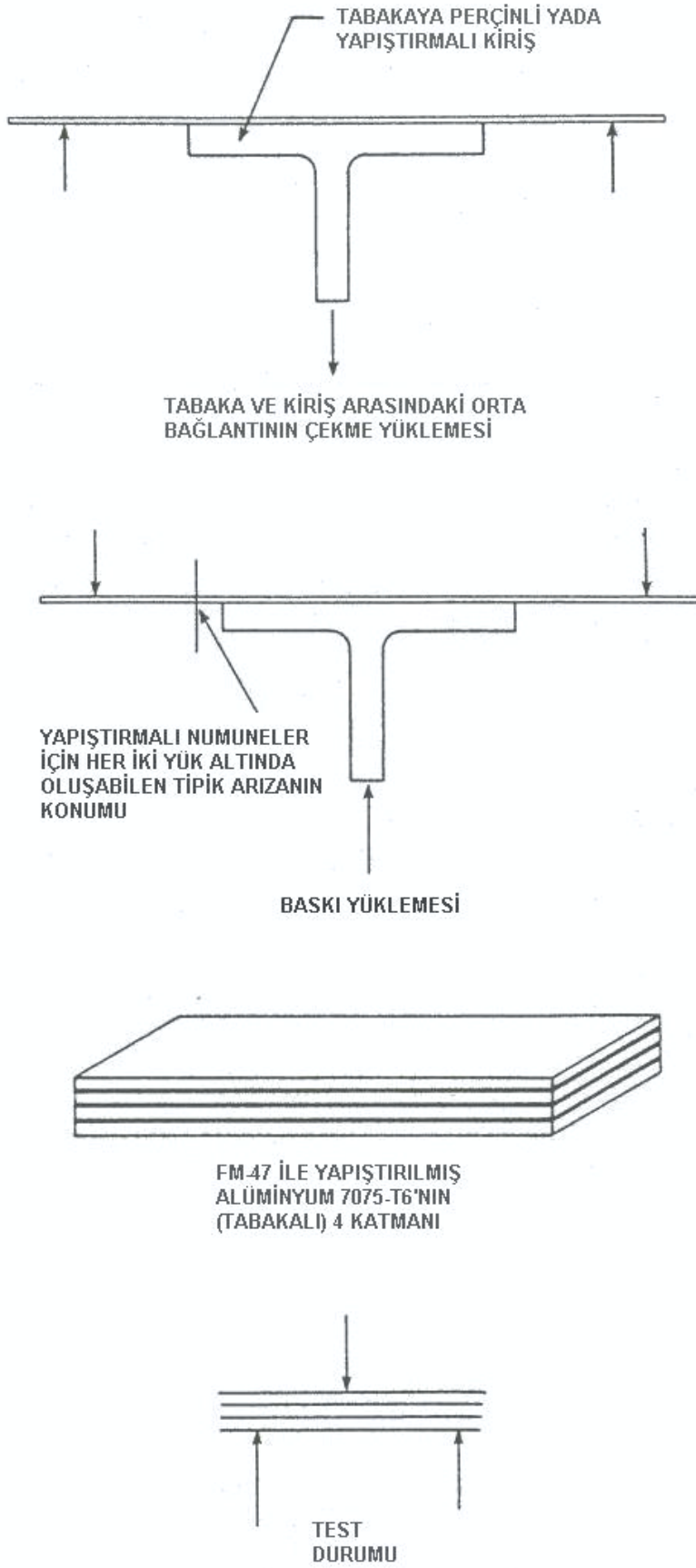
Perçinli metalik bir yapı ile cam elyafı epoksi kompozit yapının arasındaki basit bindirme tekniğinde yorulma eğilimlerinin pozisyonlarını şekiller ile karşılaştırmak mümkündür. Aynı zamanda yapıştırırmalı bağlantıların boron/epoksi vya grafit/epoksi yapıları ile desteklenmesiyle metalik yapıların birleştirilmesinde yorulmaya karşı kayda değer bir direnç görülmektedir. Şekil 2.27'de hem 2024 hem de 7075 alüminyum alaşımlarının perçinli yapılara karşı yapıştırırmalı yapıların yorulma eğilimleri özetlenmiştir.



Şekil 2.27 2024 ve 7075 alaşımlarının perçinli ve yapıştırırmalı bindirme bağlantıları için yorulma eğrileri [2].

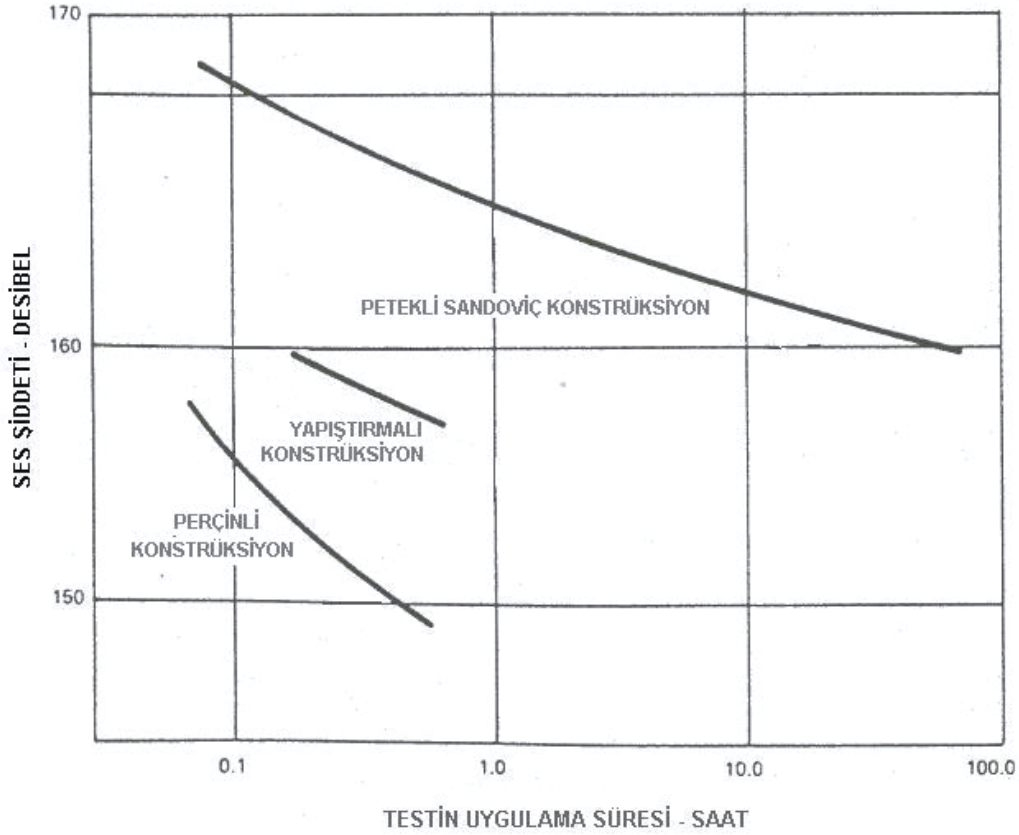
Perçinli yapılara karşı yapıştırırmalı tabakalı yapıların (düşük gerilme seviyelerinde) yorulma ölçümleri Şekil 2.28'de gösterilmiştir.

- Gerilim yüklemesi eşit yorulma direnci için gösterilmiştir, fakat oluşan hataların hiçbiri yapıştırıcıda görülmemektedir.
- Baskılı yüklemde yapıştırırmalı yapıların %75 daha fazla ömrü olduğu görülmektedir.



Şekil 2.28 Yorulma incelemesi için örneklerin kullanımı [2] .

Yapıştırırmalı kompozit yapıların ayrı bir avantajı da sonik yorulmaya karşı dayanma gücünü arttırmasıdır. Sonik yorulma ömrü için zamana karşı beklenen tipik gelişme Şekil 2.29'da gösterilmiştir.



Şekil 2.29 Tipik ard kenar yapılarının sonik yorulma ömrü [2].

### 2.3.4.5. Bağlantıların yaşlanması

Uzun vadeli yaşlanmanın etkileri yalnızca, tasarım parametreleri de dahil birbirini etkileyen birçok parametrenin dikkatli incelenmesiyle tahmin edilebilir. Bu grafiklerde, tüm yapıştırıcılar sürekli ısı ve zaman etkisi altında test edilmiştir. Özel uygulamalarda yapıştırıcıların yaşlanma davranışı ile ilgili daha detaylı tespitler yapmak için, orijinal malzemeler ile gerçek uygulama şartları simüle edilerek deneyler yapılmalıdır.

### 2.3.5. Yapıştırıcı tipi

Kompozit yapıların yapıştırırmalı birleştirilmesinde kullanılan yapıştırıcı malzemeleri genellikle termoset reçinelerdir. Bağlantıların gerçekleşmesinin ardından bu reçineler üç boyutlu moleküler ağları çapraz bağları ile tutar. Bu bağlantı çözülemez ve erimez. Termoset reçineler; polyesterler, epoksiler, poliamidler, fenollar ve silikonlar olmak üzere beş temel kimyasal sınıfa ayrılırlar. Ayrıca; çeşitli reçine karışımlarının her birinin önemli özelliklerini biraraya getirmek suretiyle sık sık bileşikler oluşturulmasına rağmen, havacılık kompozitlerinin birleşmesinde esasen epoksi tipi yapıştırıcılar kullanılır. Aynı zamanda termoset yapıştırıcıların kayma modülünü ayarlamak için, termoplastik reçine ilaveleri etkili olabilmektedirler. Hali hazırda yapıların yapıştırılmasında kullanılan termoplastikler arasında nitriller, poliamidler ve çeşitli vinil reçineler gösterilebilir. Bu yapıştırıcı malzemeleri ve karışımları sabit katı formlara uygulanabilir. Endüstride kullanılan yapıştırıcı malzemeleri genellikle FM300, F97, FM1000, FM123, FM73, AF110, AF111,AF40, HT424, Epon 934, Metlbolnd 329, BR92/A, EC1933 ve EC286 gibi ticari isimler ile kullanılır [2] .

#### 2.3.5.1. Termoset yapıştırıcılar

Uçak endüstrisinde kullanılan yapıştırıcılar, yapıştırıcıların temel iki sınıfından birini teşkil eder. Genelde büyük yük taşıma kabiliyeti taşıyan yapıştırıcılar yarı katı ( “B” adımı) formdadır. Bu formda yapıştırıcı önce çözdürülür ve dökülür yada yapı taşıyıcı veya film ayırıcıda çekilir daha sonra suni bir katı üretimi için yaşlandırılır. “B” adımıında suni katı formu düşük sıcaklıklarda tutulur (40 °F yada 4.4 C°) ve kullanıma hazır olduğunda sıcaklık ve basınca maruz bırakılarak aktifleştirilir. Daha sonra yapıştırıcı kısa süre içinde eritilir ve sertleştirilir.

İkinci form pelte macunudur. Bu yapışkan sıvılar (viskoslar) hem bir hem de iki eleman sistemlidir. Yapıştırmanın bu tipi dikey bağlantı elemanları için kabiliyetlidir, çünkü yapıştırıcı süzülmesi çok azdır. Yaygın kullanım ağı alanı bulan böyle yapıştırıcılar ikincil yapışmalarda, bağlantı kısımlarının birleşme bölgesi kontrol edilemez. Tek elemanlı sistemlerde proses başarısı için yüksek sıcaklık derecesi gerekirken, ikili elemanlı sistemlerde oda sıcaklığı yeterlidir.

### 2.3.5.2. Isı ile k rleŐen yapıştırıcılar

Isı ile k rleŐen yapıştırıcılar genellikle tek bileŐenli yapıŐtırıcılardır. Tipik  rnek ısı ile k rleŐen epoksilerdir. K rleŐme sıcaklığı yapıştırıcıya göre deđiŐir. Tipik olarak minimum k rleŐme sıcaklığı 100  C'dir.

K rleŐme süresi k rleŐme sıcaklığına bağlıdır ve k rleŐme sıcaklığı yükseldikçe süre kısalır. Normalde sertleŐtiriciyi harekete geçirmek ve polimerizasyonu baŐlatmak için gerekli bir minimum sıcaklık vardır.

Yalnızca ısı ile k rleŐen yapıştırıcıların yanında, ısıyı ilave k rleŐme yöntemi olarak kullanan baŐka yapıştırıcılar da vardır. Anaerobik yapıştırıcılar da tipik olarak 120  C'de ısı ile k rleŐtirilebilir.

Isı ile k rleŐen yapıştırıcıların özellikleri kimyasal temel ile yakın alakalıdır ve çok farklı olabilir (epoksi, metakrilat gibi).

Isı ile k rleŐen epoksilerin genel  zellikleri Şunlardır :

- Orta ile yüksek kuvvet
- Birçok yüzeye iyi yapışma
- İyi boşluk doldurma
- İyi ile çok iyi çevresel direnç [1] .

Epoksi yapıştırıcılar ya da modifiye edilmiş epoksi yapıştırıcılar kompozitlerin yapıştırmalı birleştirilmesinde çok sıklıkla kullanılır. Bu yapıştırıcılar kompozitin kompozitle ya da metaliklerle birleŐmesi için gerekli en iyi ayar özelliklerine ve en iyi çok yönlü yetenek özelliklerine sahiptir. Epoksilerin uygulanması prosesi kolaydır. Prosesde  ekme payı ve firesi düŐüktür. Birçok eleman tiplerini m kemmell ıslatabilirliği ve yüksek yük taşıma kabiliyeti önemli özellikleri arasındadır.

Epoksiler ile yapıştırmada genellikle tavsiye edilen yapıştırıcı kalınlığı 0.004-0.008 in dir. Yapıştırıcı 1/8 in kalınlığı (3.17 mm) ideal bir Şekilde olmasına rağmen,



maksimum bağlantı oranı 0.1-0.2 mm dir. Epoksi yapıştırıcılar düşük sıcaklıklarda iyi bir şekilde uygulanabilir.

Epoksinin düşük kavrama direncinin ya da sıcaklık kararlılığının üstesinden gelmek için modifiye edilmiş yapıştırıcılar kullanılır. Bu yapıştırıcılar hem sıvı hem de macun şeklinde formları mevcuttur.

### **2.3.6. Tamir**

Tamir, yapıştırırmalı tekniklerin açık bir uygulamasıdır. Bu kısımda anlatılacak olan kompozitlerin tamire yaklaşım tarzı havacılık sektöründe (askeri, havayolları ve imalat alanlarında) elde edilen deneyimlerden yararlanılmıştır. Buradaki veriler tamamen geneldir ve diğer alanlara da uygulanabilirliği açıktır.

Üretim aşamasındaki hatalardan dolayı arızaların birçok çeşidini kompozit yapılarda görmek mümkündür. Bazen anormal çevre etkilerinden dolayı kompozitlerin mevcut kullanımlarında küçük hataların birikip güçlenmesi ve çevre etkilerinin de yardımıyla elemanların kullanımında da hasarlar başlayabilir. Bazen de bu hasarlar suiistimaller sebebiyle lokal mekanik aşırı yüklerden dolayı ortaya çıkabilir. Hasar iki temel yol ile elemanları etkileyebilir. Birincisi, elemanların optimum tasarım sınırları aşığındaki bir seviyede mukavemet ve rijitliğin göz ardı edilmesidir. Bu çeşit bir eksiklik saptanmalı ve yapılar tamir edilmeli ya da değiştirilmelidir. Daha kaygı verici olan daha küçük hatalardır ki bu hatalar mekanik performansı ani bir şekilde etkilemez fakat mukavemet ya da rijidliğin kullanım şartlarının altında olması sonucu bu hatalar ilerleyip tehlikeli boyutlara ulaşabilir buda kabul edilmez.

Kompozit yapılarda karşılaşılan hasarların çoğu yanlış tasarım ve kullanma ya da dış etkenlerden dolayı ortaya çıkar. Bir etkinin doğurabileceği hasar, yüzeyindeki küçük çatlaklardan başlar, yapının içine doğru devam eder. Yapıların bu tür eğilimleri olduğu için hasar bölgelerindeki böyle vakaları kontrol etmek, incelemek ve durumun erken teşhisinin yapılması gerekmektedir. Tamirde çok önemli adımlardan biride hasarlı bölgenin saptanmasıdır. Ultrasonik ve X-ışınları ile muayene bu saptamalar için çoğunlukla kullanılan tespit yöntemleridir.

Tamir işlemindeki gaye hasarlı bir yapının eski performansına ulaşmasını sağlamaktır. Kompozit yamaların kullanıldığı durumlarda özellikle melez formlu yamalarla ( cam ve karbon gibi) metal yapıları tamir etmek güç bir tekniktir (Rogers, Kingston-Lee, Phillips 1980). Bunun için özel teknikler geliştirilmelidir. Bu özel teknikler elemanların tipine, bağlantının yeterlilik miktarına ve yüzey pürüzlülüğü göz önünde tutulması ile tasarlanır.

Tamir ortamı, tamir işleminde kullanılan tekniği ayrıca etkilemektedir. Hazırlanan özel ortamlarda önemli tamirler yapmak mümkündür, fakat tamir edilebilirliğin sınırlı olduğu ortamlarda bu durum çok daha kısıtlıdır. Malzemeler için soğuk hava hazneli ortamlar proses için, otoklav (pişirme kazanı) kabiliyeti ve gerekli araçlar tamir uygulamaları için hazırlanır. Ayrıca ortamı hazırlamak için mevcut uzmanlık çok önemlidir. Böylece uçaktan kolaylıkla ayrılabilen parçalar ideal otoklav şartları altında tamir edilebilir. Yapıların tamirinde hem macun hem de sıvı şeklinde yapıştırıcılar kullanılabilir. En genel manasıyla ortam tüm gerekli tamirlerin performansındaki kritik bir şarttır.

Tamirin ortam alanı daha zordur. Soğuk havalı hazneler değilse, malzemelerin tamiri çevresel sıcaklık ortamına göre ayarlanması gerekir. Otoklav prosesi mevcut değilse, tamirler ısınma perdeleri ile kullanılarak yapılması zorunludur. Pres ve biçim verme basıncı genellikle 1 bar (14.50/bf/in<sup>2</sup>) vakum basıncı ile sınırlıdır.

### **2.3.7. Bağlantının durumu**

#### **2.3.7.1. Yapıştırmaya uygunluk**

Kompozitin kompozite yada metalik elemanlara yapıştırılmalı birleştirilmesinde mekanik özelliklerinin uygunluğunun tam hesabının belirlenmesi zordur, çünkü çalışma şartları, birleşme kabiliyeti ve/veya proses sonucu oluşabilecek problemler ve kompozit tipi değişken olabilir. Özellikle ana yapının tasarımında kesin mukavemet değerleri, gerçek şartların program simülatörlerine girilmesiyle elde edilen test verilerinin değerlendirilmesi ile tespit edilir [2] .

### 2.3.7.2. Hata tespiti

Yapıştırıcı uygulamalarında başarıyı garantilemek için dikkat edilecek birçok nokta vardır. Basit şekilde, yapıştırıcı problemlerinin çoğu aşağıdaki guruplara göre sınıflandırılabilir.

- Kürleşme/katılaşma yok

SIVI yapıştırıcı beklendiği şekilde katılaştı mı, yoksa bazı faktörler prosesi geciktirdi veya durdurdu mu ?

- Yapıştırıcı yok

Bu çok basit gözükse de, en iyi uzmanlar her zaman istenen yerde yapıştırıcı varlığını kontrol ederler.

- Adhezyon yok

Yüzeye yapışmayı engelleyen kirler veya bozukluklar mı var ?

- Performans yok

Diğer faktörleri ve prosesin doğruluğunu kontrol ettikten sonra, uygun yapıştırıcı seçilmiş mi? [1]

### 2.3.7.3. Ortam etkileri

Ortamdaki nemim derecesini kontrol altında tutmak kalıcı tamirlere karşı düşünölmelidir. Hem ana yapı hem de yapıştırıcılar için mukavemetin yaklaşık %20 oranında azalması olasıdır. Tamirin ortam derecesi ana tabakalarınkinden daha büyük olmaması sağlanmalıdır. Sıcaklık, termal gerilmeler, nem oranı ve çalışma ortamı bağlantıyı etkileyen ortam parametreleridir [2] .

#### **2.3.7.4. Yapıştırma bağlantılarının sökülmesi**

Birçok ek yeri alışılmış "çekme" veya "itme" yöntemleriyle sökülebilir. Yüksek kuvvette yapıştırılmış bağlantılarda, sökme öncesi 300 °C - 400 °C'ye kadar ısıtmak faydalıdır. Yapıştırıcı kalıntıları mekanik olarak temizlenebilir. Yeniden yapıştırmadan önce yüzeyler temizlenmelidir [1] .

#### **2.3.7.5. Bağlantının kontrolü**

Tamir katmalarının ve yapıştırmanın kalitesi yapıştırılacak elemanlarınkinden daha aşağı olabilir. Bu nedenle, yapıştırma bölgesi ve yamanın kalite kontrolünün iyi bir şekilde yapılması çok önemlidir. Ne yazık ki tamirli yapıların bozulmadan test kontrolünün yapılması yapı elemanlarının üretiminden sonra çok sınırlıdır. Bu nedenle tahribatsız muayene yöntemleri kullanılır [2] .

## BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 3.1. Genel

Bu çalışmada deney malzemesi olarak 1.0 mm et kalınlığındaki galvanizli kromatlanmış mikro alaşımlı çelik sac çiftleri kullanılmıştır. Öncelikle 25 mm boyutunda numuneler hazırlanıp çekme deneyine tabi tutulmuştur. Bu sayede malzemenin çekme, akma ve kopma mukavemetleri bulunmuştur. Daha sonra numune çiftleri oluşturulup aralarındaki bindirme mesafeleri değiştirilerek ve boşluklarda değişiklik yapılarak numuneler hazırlanmıştır. Birleştirme işlemi Terostat 9120 ve Terostat 9220 adlı yapıştırıcılar ile pres altında bekletilmek suretiyle sağlanmıştır. Bağlantı dayanım değerlerini saptamak için, bütün seriler çekme deneyine tabi tutulmuştur.

### 3.2. Deneylerde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Deneylerde kullanılan saclar 1.0 mm et kalınlığındaki galvanizli kromatlı mikro alaşımlı çelik saclar kullanılmıştır. Galvaniz tabakasının kalınlığı 23µm dir. Bu galvanizli kromatlı mikro alaşımlı çelik sacların kimyasal bileşimi Tablo 3.1' de verilmiştir.

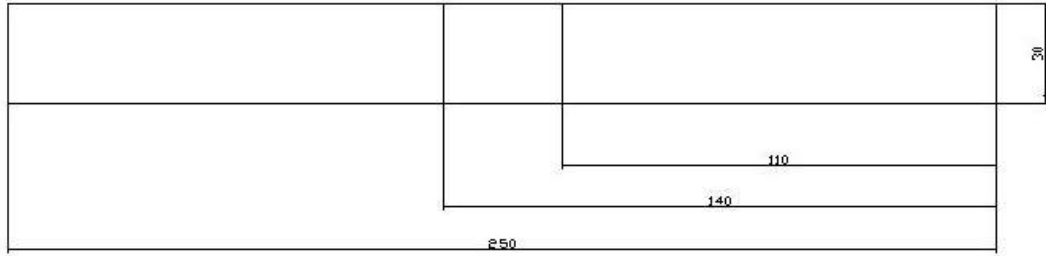
Tablo 3.1 1.0 mm et kalınlığındaki galvaniz kaplı mikro alaşımlı çelik sac malzemesinin spektro analiz değerleri

KİMYASAL BİLEŞİM(%olarak)										
C	P	S	Mn	Si	Al	N	Cr	Mo	Ni	Bo
0,002	0,015	0,005	0,114	0,010	0,036	0,0029	0,019	0,002	0,0012	0,0005

KİMYASAL BİLEŞİM(% olarak)					
Cu	Nb	Sn	V	Fe	Özel karışım
0,034	0,020	0,002	0,001	99,6626	0,062

### 3.3. DeneY Parçalarının Boyutları

DeneYlerde 1.0 mm kalınlığında elik saclar kullanılmış ve deneY sırasındaki boyutları şekil 3.1’de verilmiştir.



şekil 3.1 çekme deneYi parçalarının boyutları



şekil 3.2 çekme deneYine tabi tutulan ana malzeme numunesi



şekil 3.3 çekme deneYine tabi tutulan ana malzemenin son hali

### 3.4. DeneY Parçalarının Hazırlanması

DeneY parçaları, giyotin makas ile şekil 3.1’de gösterilen boyutlarda kesildikten sonra, karışık şekilde kutulara dağıtılmış ve yüzeylerindeki yağ, pas ve kir gibi bulaşmaları arındırmak için özel temizleyici spreYler ile iyice yıkanmış ve temiz bir bezle silinmiştir. Ayrıca her malzeme yapıştırılmadan önce tedbirden tekrar aseton ile silinmiştir. Bütün parçalar yapıştırılmadan önce zımparalanmıştır. Yapıştırılacak olan her numune yapıştırıcı uygulandıktan sonra ortalama 1 gün pres altında bekletilmişlerdir.



Şekil 3.4 Yapıştırılan malzemelerin preslendiği mekanizma

### 3.5. DeneYlerin Yapılışı

#### 3.5.1. Yapıştırma işlemlerinin yapılışı

Deney parçaları, Şekil 3.1’de gösterilen boyutlarda hazırlanıp temizlendikten sonra, 15,20,30 ve 40mm üst üste bindirilerek, bindirme kısmının tamamı yapıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Deney parçalarının hepsinde 1,0mm film kalınlığında olmak üzere hazırlanmışlardır.

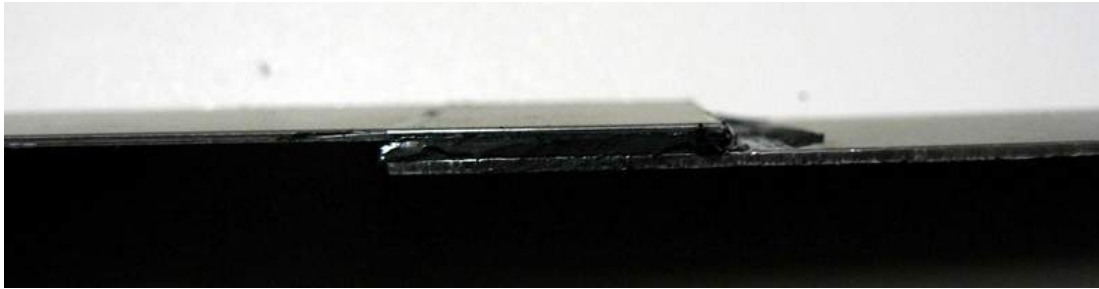


Şekil 3.5 Terostat 9120 ile yapıştırılmış bir numune





Şekil 3.6 Terostat 9120 ile yapıştırılmış bir numunenin yapıştırma alanı




Şekil 3.7 Terostat 9220 ile yapıştırılmış bir numunenin yapıştırma alanı

### 3.5.2. Çekme deneyi

Yapıştırılmış olan numuneler Sakarya Üniversitesi Metalürji Laboratuvarında çekme deneyine tabi tutulmuşlardır. Çekme-makaslama deneyi sırasında 3 değişik kopma gözlenmiştir. Bunlar, karışık, adhezyon ve kohezyon kopma türleridir.

### 3.6. Zımparalanmış Olan Numune Yüzeylerinin Pürüzlülük Değerleri

Perthometer MI					
Lt	Lc	Ra	Rz	Rmax	Pc(0.5,-0.5)
5.600mm	0.800mm	1.214µm	8.19µm	12.5µm	140/c
					

**Ra:** Pürüzlülük profilinin aritmetik ortalaması **Rz:** Profilin yüksekliği ve genişliği  
**Rmax:** Maksimum pürüzlülük derinliği **Pc:** Pik sayısı

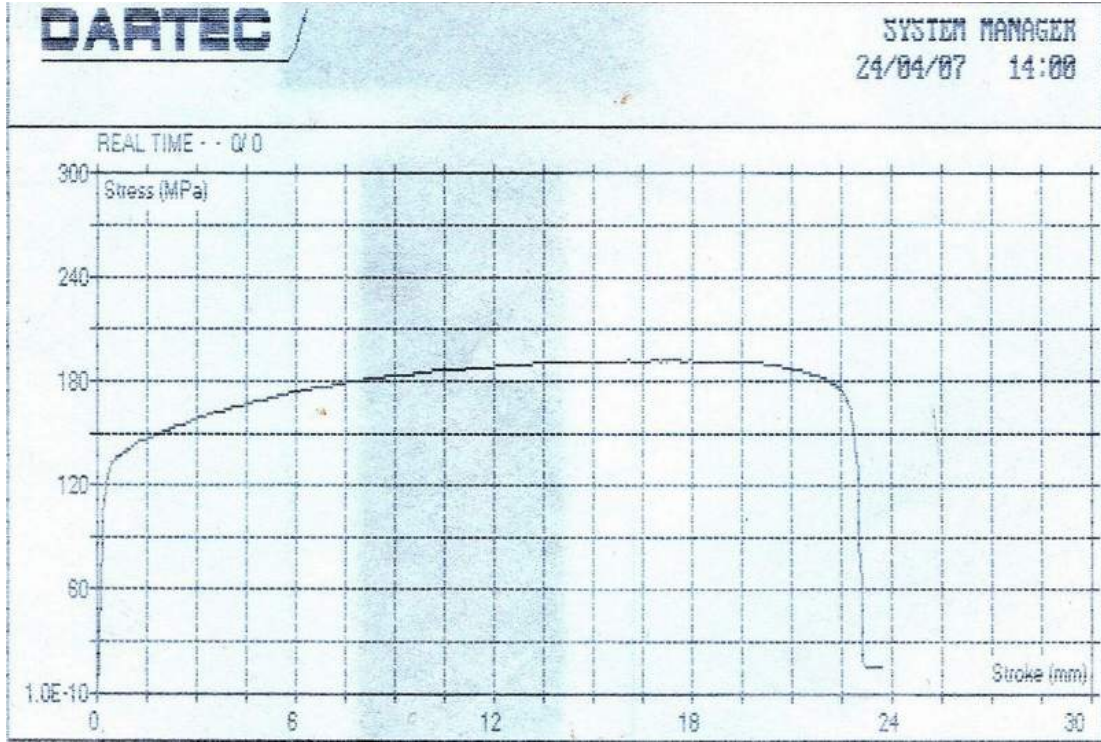
Şekil 3.8 Yapıştırılan numunelerin pürüzlülük değerlerinin ölçüm grafiği

Pürüzlülük değerleri Sakarya Üniversitesi Metalürji Laboratuvarında elde edilmiştir.

### 3.7. Çekme Deneyi Sonuçları

#### 3.7.1. Ana numune deneyi

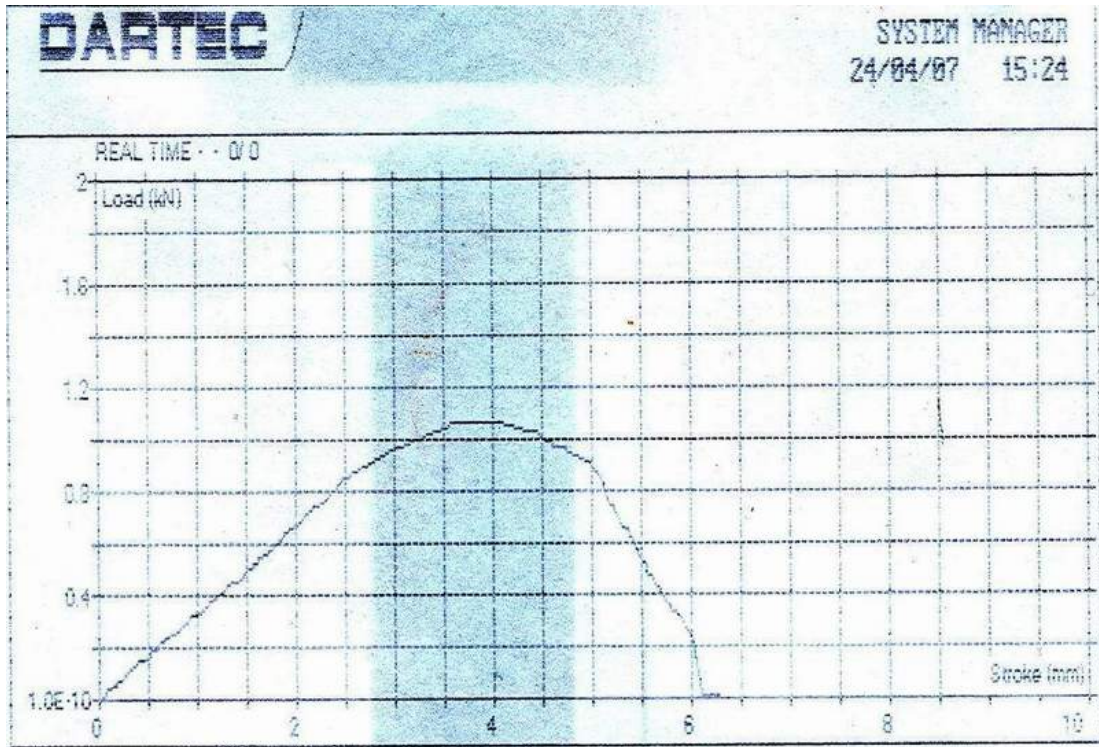
Deneylerde ilk olarak 25mm olarak hazırlanmış galvaniz kaplı çelik numuneye çekme deneyi uygulanıyor. Bu deney sonunda malzemenin çekme mukavemeti Şekil 3.9 da gösterildiği gibi 192 Mpa olarak belirlenmiştir.



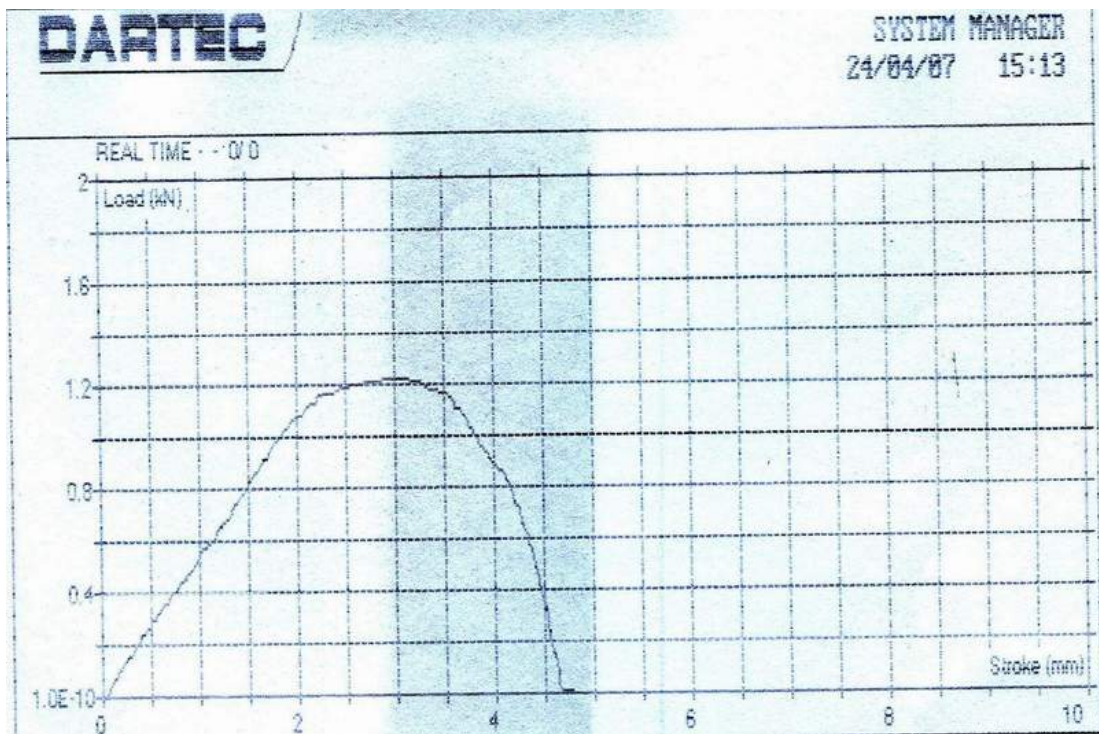
Şekil 3.9 Ana Numunenin Çekme Deneyi Grafiği

### 3.7.2. Terostat 9120 deneyi

Daha sonra Terostat 9120 ile yapıştırılmış numunelerin çekme deneyleri yapıldı. Bindirme uzunlukları 15, 20, 30 ve 40 mm olarak belirlenen numuneler sırası ile çekildi. Burada elde edilen verilere göre yapıştırma yüzey alanının artması yani bindirme uzunluğunun artması ile malzemelerin mukavemetinin arttığı gözlenmektedir.

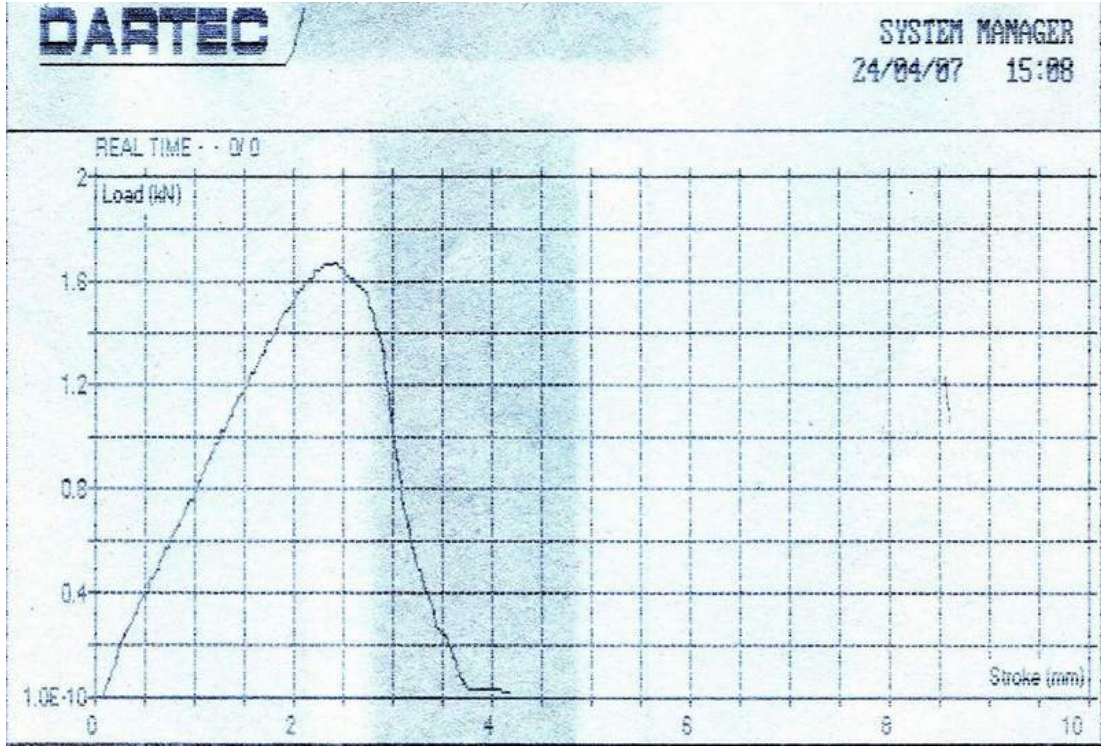


Şekil 3.10 Terostat 9120 ile yapıştırılmış 15 mm bindirme uzunluğu olan malzemenin çekme grafiği



Şekil 3.11 Terostat 9120 ile yapıştırılmış 20 mm bindirme uzunluğu olan malzemenin çekme grafiği





Şekil 3.12 Terostat 9120 ile yapıştırılmış 30 mm bindirme uzunluğu olan malzemenin çekme grafiği



Şekil 3.13 Terostat 9120 ile yapıştırılmış malzemenin çekme deneyi sonrası görüntüsü



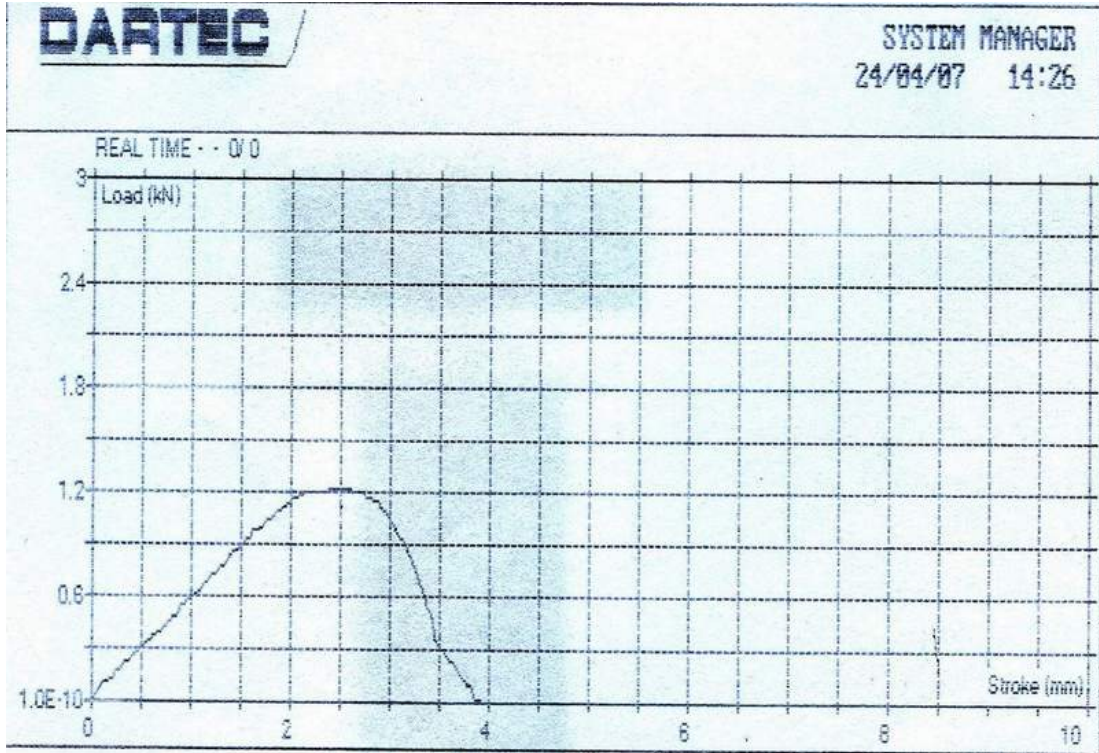
Şekil 3.14 Terostat 9120 ile yapıştırılmış malzemenin çekme deneyi sonrası görüntüsü

### 3.7.3. Terostat 9220 deneyi

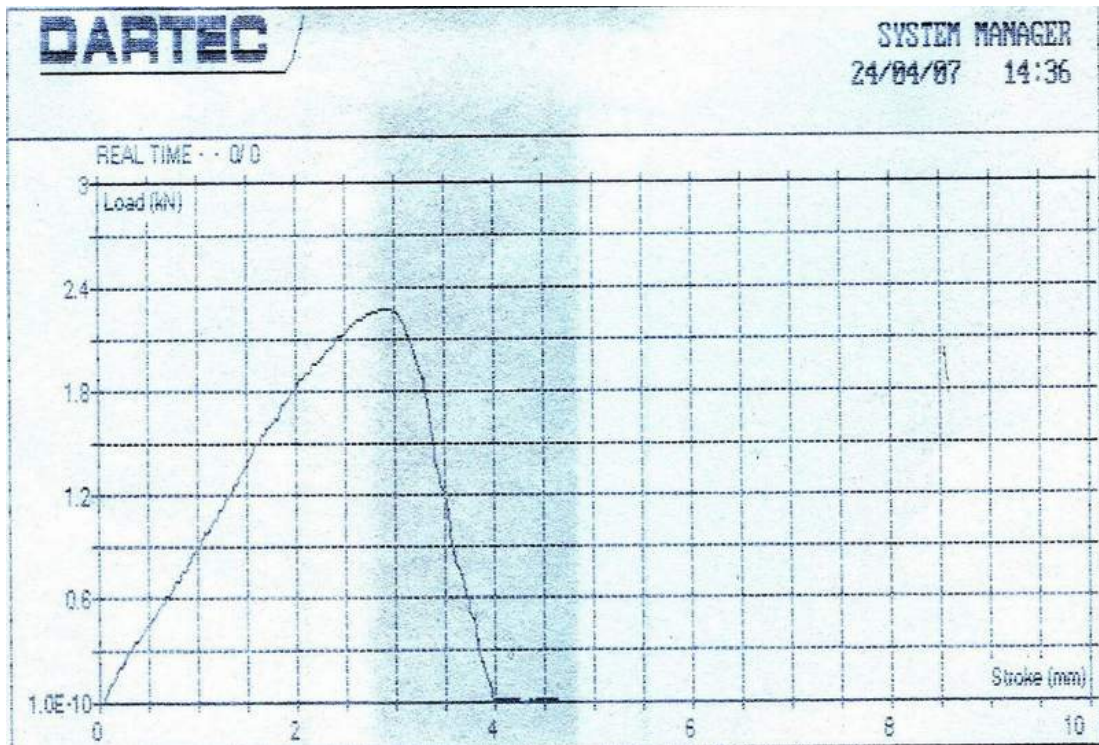
Terostat 9220 ile yapıştırılmış numunelerin çekme deneyleri yapıldı.

Bindirme uzunlukları 15, 20, 30 ve 40 mm olarak belirlenen numuneler sırası ile çekildi. Bu numunelerde de elde edilen veriler Terostat 9120 de olduğu gibi yapıştırma yüzey alanının artması yani bindirme uzunluğunun artması ile malzemelerin mukavemetinin arttığı gözlenmektedir. Ancak Terostat 9220 Terostat 9120 den daha iyi bir yapıştırıcı olduğu için buradaki mukavemet değerleri daha yüksek çıkmıştır.



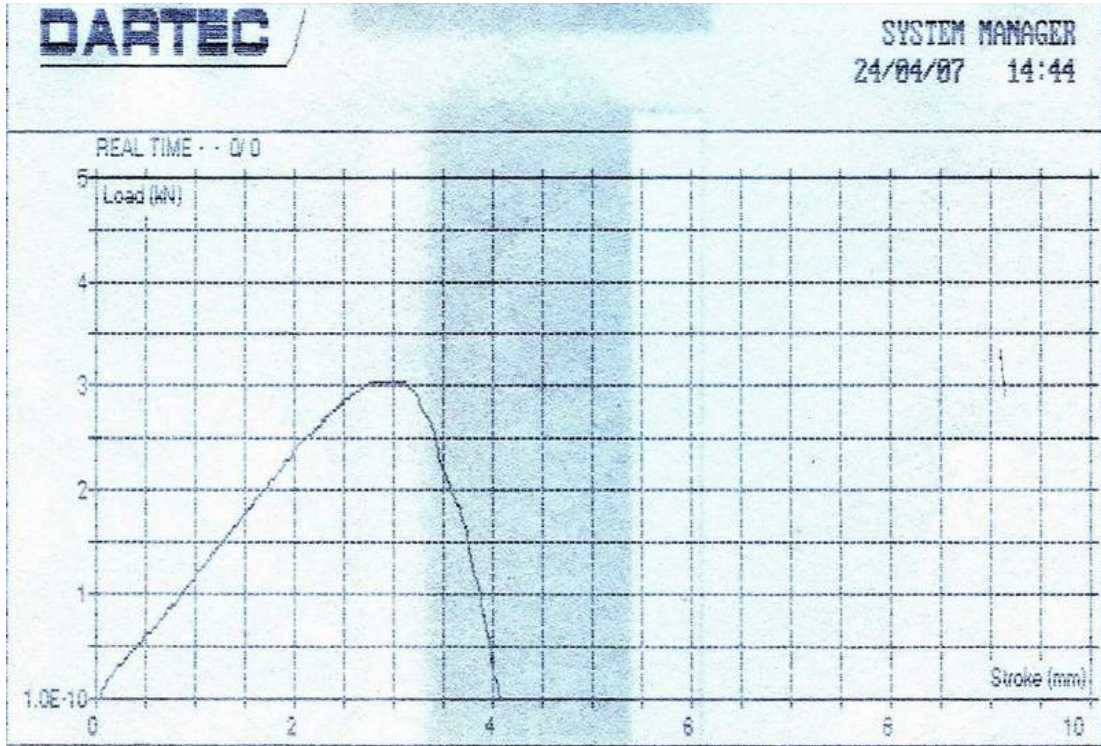


Şekil 3.15 Terostat 9220 ile yapılandırılmış 15 mm bindirme uzunluğu olan malzemenin çekme grafiği

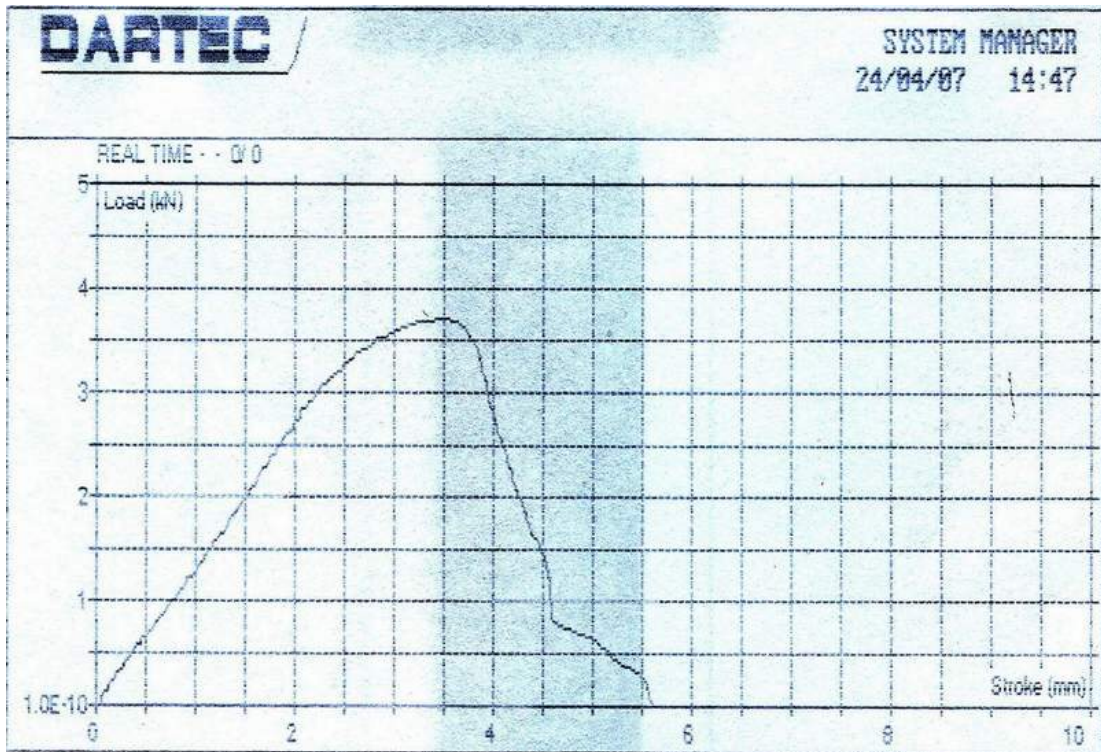


Şekil 3.16 Terostat 9220 ile yapılandırılmış 20 mm bindirme uzunluğu olan malzemenin çekme grafiği





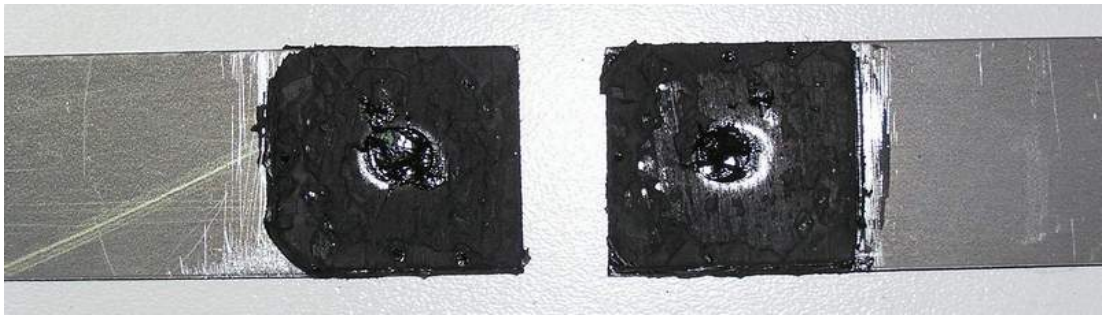
Şekil 3.17 Terostat 9220 ile yapıştırılmış 30 mm bindirme uzunluğu olan malzemenin çekme grafiği



Şekil 3.18 Terostat 9220 ile yapıştırılmış 40 mm bindirme uzunluğu olan malzemenin çekme grafiği



Şekil 3.19 Terostat 9220 ile yapıştırılmış malzemenin çekme deneyi sonrası görüntüsü



Şekil 3.20 Terostat 9220 ile yapıştırılmış malzemenin çekme deneyi sonrası görüntüsü

### 3.8. Deneysel Çalışma Sonucu

1.0 mm sac kalınlığındaki galvanizli kromatlı mikro alaşımlı çelik saclar ile yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlardan çıkan öneriler aşağıda sunulmuştur.

Yaptığımız çalışmalara göre çekme deneyine maruz kalan yerlerde 1mm veya 1mm'ye yakın film kalınlığı değerleri seçilmesi uygundur. Ayrıca yüzey temizleme işlemlerinin layıkıyla yerine getirilmesi demek mukavemet değerlerinde en iyi sonuçlara ulaşmak demektir. Yani yapıştırma işlemlerinde işlemlerin mukavemete etkisi daha prosesin ilk başlarında ki temizlik aşamasında kendisini göstermektedir. Ve bütün proses esnasında işlemlerin hassas bir şekilde yapılıp yapılmadığı, yapıştırıcının uygun miktarlarda uygulanıp uygulanmadığı, yüzey pürüzlülüğün yeterli olup olmadığı, kopma türlerinden ve mukavemet değerlerinden açık bir şekilde irdelenmektedir.

Bindirme mesafesi arttıkça mukavemet artmaktadır. Yapıştırma numunesini dizayn ederken bu konunun dikkate alınmasında fayda vardır. Ayrıca yüksek mukavemet değerleri elde etmek için ideal film kalınlığı 1mm dir.

Çekme deneyinde elde edilen kopma tipleri temizlik işlemlerine bağı olarak kohezyon, adhezyon ve karışık kopma olarak gözlenmiştir

## **BÖLÜM 4. SONLU ELEMANLAR METOTU**

### **4.1. Giriş**

Sonlu elemanlar yöntemi mekanik problemlerin çözümünde kullanılabildiği gibi mühendisliğin diğer dallarında çözümlene ve tasarım amaçlı olarak kullanılmaktadır. Statik, mekanik, akışkanlar mekaniği ve ısı transferi bu alanlardan bazılarıdır. Statik analizin yanında dinamik analizde de kullanılmaktadır.

### **4.2. Genel Teorik Bilgi**

Sonlu elemanlar yönteminde, sınır şartları belirlenerek problem geometrisi sonlu sayıda elemana bölünür. Elemanlar, sınır üzerinde bulunan belirli sayıda düğüm noktasında temas halindedir. Elemanlar üzerinde ve bu birleşim noktalarında olmak üzere iki tür çözüm gerçekleştirilebilir. Eleman ağ noktalarındaki yer değiştirmelerin süperpoze edilmesiyle sistemin genel yer değiştirmesi bulunur. Sonlu elemanlar yöntemi yaklaşık çözüm veren sayısal bir yöntemdir. Gerçek çözüme, seçilen eleman sayısı arttıkça yaklaşılr. Değişik sınır koşullarının katı cisim üzerinden belirtilmesi ve değişik geometriye karmaşık şekillerin ağ sistemiyle tanımlanabilmesi nedeniyle birçok araştırmacı tarafından uygulanmaktadır. Günümüzde, analitik çalışmaların sonuçları ya deneysel ya da sayısal sonuçlarla karşılaştırıldığı için sonlu elemanlar yönteminin kullanılabilirliği çok fazladır. Aşağıda eleman ve genel katılık matrislerine ait genel tanımlamalar verilmektedir. Lokal ve global matris tanımlamaları  $F=Kx$  denkleminde oluşturulmaktadır. Burada,  $F$  kuvvet vektörü,  $K$  katılık matrisi,  $x$  yer değişimi vektörleridir. Hem her eleman için hem de genel yapı için bu matrisler oluşturularak sayısal metotlarla (Gauss Eliminasyonu) bilinmeyenler  $x$  veya  $F$  içerisinden belirlenerek çözülür. Daha sonra gerilme ve genleme matris tanımlamaları ile sistem üzerinde oluşan bu dağılımlar bulunur [1] .

$$K^e u^e = f^e + Q^e$$

Burada  $K$ ,  $u$ ,  $f$ ,  $Q$  katılık matrisi, yer değiştirme vektörü, uygulanan yük vektörü ve cisme ait yük vektörüne karşılık gelmektedir.  $f$ ,  $Q$  problemin sınır şartlarını içermekte olup, yalnızca yükleri temsil ederler.  $u$  vektörü de yer değiştirme sınır şartlarını gösterir.

Katılar mekaniğinde aşağıdaki denklem, eleman katılık matrisine karşılık gelmektedir.

$$K^e = A t B^e D B^{eT}$$

Bu denklemde,  $K^e$ ,  $A$ ,  $t$ ,  $B^e$ ,  $D$  eleman katılık matrisi, eleman alanı, kalınlığı, Şekil fonksiyonlarının türevlerini içeren matris, elastik, sabitler matrisini tanımlamaktadır.

$$\varepsilon = B u$$

birim deformasyon vektörünü tanımlamaktadır.

$$\sigma = D B u$$

denklem deplasmanlar cinsinden gerilme vektörünü verir. Üç boyutta gerilme vektörü de aşağıdaki gibidir:

$$\sigma = \left[ \begin{array}{cccccc} \sigma_{xx} & \sigma_{yy} & \sigma_{zz} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} & \sigma_{yz} \end{array} \right]$$

### 4.3. Metot

Makine, inşaat, nükleer, biyomedikal vb. birçok mühendislik alanında uygulanan sonlu elemanlar metodu, makine mühendisliğinin çeşitli problemlerinin çözümü için son derece elverişlidir. Özellikle mekanik tasarımda şu problemler için sıkça kullanılır:

- a. Denge problemleri: Gerilme yığılması, gerilme analizi,
- b. Yayılma problemleri: Dinamik yükler altında çatlak ve kırılmalar,
- c. Özdeğer problemleri: Dişli yükler altında tabi frekans.

Mühendisliğin birçok dalında elastik sürekli ortamda, gerilme ve deformasyon dağılımlarının çözümü aranır. Bir elastik ortamda temas noktalarının gerçek sayısı sonsuzdur. Dolayısıyla sayısal çözümde en büyük zorluk buradadır. Sonlu elemanlar metodunda bu zorluklar aşağıda gösterildiği gibi yenilenebilir ve yaklaşıklık sağlanabilir [25].

- a. Sürekli ortam, hayali çizgiler veya yüzeylerle belirli sayıda sonlu elemanlara ayrılır.
- b. Elemanlar, sınırları üzerinde bulunan belirli sayıda düğüm noktasında temas halinde kabul edilir.
- c. Her sonlu eleman içindeki yer değiştirmeyi tanımlamak için, düğüm noktalarının yer değiştirmeleri cinsinden fonksiyon veya fonksiyonlar seçilir.
- d. Yer değiştirme fonksiyonları, bir eleman içinde, düğüm noktaları yer değiştirmeleri cinsinden yer değiştirme durumunu genel olarak tarif eder. Bu yer değiştirmeler, eleman içindeki gerilme durumunu tarif eder.
- e. Düğüm noktalarında toplanmış ve sınır gerilmelerini dengeleyen şu matrisel direngenlik bağıntısı kurulur;

$$F = K \cdot d$$

Bu ifadede  $\{F\}$  ; dış yükler sütun vektörü,  $(K)$  ; elastik cismin tümleşik katılık matrisi,  $\{d\}$ ; yer değiştirmeler sütun vektörüdür.

### 4.3.1. Denge problemlerinin çözümü

Denge problemleri denklemi ile ifade edilebilirler. Çözüm için önce elemanın tipi, boyutu ve sayısı belirlenir. Ortama özgü katılık matrisi uygun Varyasyon metotlarından biriyle belirlenir. Bu katılık matrisinin tersi alınır. Bu ters matris ile dış yüklerden oluşan sütun matrisinin çarpımı yer değiştirme sütun matrisine eşitlenir. Böylece her bir elemana ait köşe noktalarının gerilme fonksiyonları bulunarak problem çözülmeye başlanır. Bu şu eşitlikle gösterilebilir.

$$K \cdot \delta = P$$

Bu ifadede [K]; katılık matrisi,  $\{\delta\}$ ; bilinmeyen gerilme fonksiyonu değerleri,  $\{p\}$ ; sabit değerler sütun vektörü (genel olarak dış yükler veya verilen düğüm noktalarının koordinatlarını belirleyen fonksiyon). Yukarıdaki formülün çözümü için direkt veya yaklaşık çözüm metotlarından biri kullanılabilir [25].

### 4.3.2. Yöntemde dikkat edilmesi gereken hususlar

- Sonlu elemanlar metodunda yapının tipine göre çeşitli eleman tipleri kullanılabilir (üçgen, dörtgen, yamuk v.s.). Problemin çözümünde eleman tipi önemlidir. Çünkü eleman tipi yapılacak hatanın büyüklüğüne etkilidir. Şöyle ki, üçgen elemanlardan oluşmuş bir yapıda meydana gelecek hata üçgen elemanın boyutunun karesi ile doğru orantılı iken dörtgen elemanda küpüyle orantılı olmaktadır. Yani dörtgen elemanda yapılacak hata üçgen elemanda yapılacak hatadan daha azdır.
- Seçilen elemanlar tipinde düğüm sayısı da önemlidir. Örneğin lineer bir üçgen elemanda yapılacak hata, kübik üçgen elemanda yapılacak hatadan çok daha fazladır.
- Eleman sayısı arttıkça tam çözüme yaklaşım daha da artmaktadır. Bu sebeple ortamın eleman sayısı mümkün mertebe yüksek olmalıdır.
- Elemanların sıklığı da önemlidir. Örneğin ortamın bir kısmının incelenmesi daha önemli olabilir. Böyle bir durumda o bölgede elemanlar sık tutulup, diğer kısımlarda geniş tutulabilir.



### 4.3.3. Metodun avantajları

- a. Katı cisim, değişik geometrili şekillere ayrılabildeği için karmaşık şekilli cisimlere kolayca uygulanabilir.
- b. Sınır koşulları kolaylıkla uygulanabilir.
- c. Gelişmiş bilgisayarların kullanımı sebebiyle çözüm hızı yüksektir.
- d. Mühendisliğin birçok problemine cevap verebilecek esnekliktedir.
- e. 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 [25].

### 4.4. ANSYS

ANSYS, bir çok mühendislik alanında karşılaşılan fiziksel olayları simülasyonunu mümkün kılan, kullanıcıya pre-proses / çözüm / post-proses işlemlerini kolaylıkla gerçekleştirebilmeyi sağlayan çok amaçlı bir tasarım / analiz programıdır.

ANSYS programı sonlu elemanlar metodunu temel alır ve analizlerini bu metot tabanlı yapar. Program sonlu elemanlar formülasyonunu bilgisayar tabanlı analitik uygular [25].

Bu programda önce çalışma ortamı seçilir. Daha sonra element tipi, malzeme özellikleri, model geometrisi oluşturma ve konfigürasyon, modeli sonlu sayıda elemana bölme (mesh), sınır şartları ve yüklerin girilmesiyle modelleme tamamlanır. Daha sonra program sonlu elemanlar formülasyonunu kullanarak modelimizin çözümleme işlemini yapar. Çözümlemeden sonra modelin istenilen bölgeleri incelenebilir ve grafiksel değerler tespit edilebilir [25].

## **BÖLÜM 5. MODELLEME, ANALİZ VE İRDELEME**

### **5.1. Giriş**

Çalışmanın modellenmesinde sonlu elemanlar modelinden yararlanılmıştır. Galvaniz kaplı mikro alaşımlı çelik plaka ve epoksi yapıştırıcıdan oluşan katmanlar bilgisayar destekli ortamda modellenmiş ve yük uygulanarak gerilme, genleme ve deformasyon değerlerinin tayini için ANSYS sonlu elemanlar yazılım programında analiz sonuçlarından yararlanılmıştır.

### **5.2. Yapısal Modelleme**

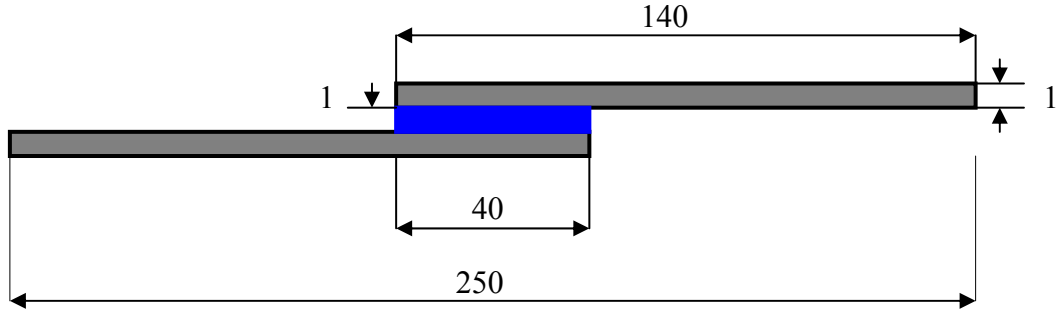
Modellemede, öncelikle elemanların ölçüleri belirlenmiş ve geometrik model oluşturulmuştur. Geometrik model ölçüleri ışığında sonlu elemanlar modeli bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir.

#### **5.2.1. 40 mm bindirme uzunluğu kullanılan malzemenin katı model ve geometrik özellikleri**

Galvaniz kaplı mikro alaşımlı çelik plakalar 1 mm kalınlığında, 140 mm uzunluğunda ve 30 mm genişliğindedir. Bu malzemenin elastisite modülü  $E=240\ 000$  MPa ve poisson oranı  $\nu=0.3$  dür. 3000 N çekme yüküne maruz bırakılmıştır. Epoksi katmanı ise 40x30x1 mm ölçülerine sahip Hercules AS4/3501-6 ticari adlı epoksi katmanından ibarettir. Epoksi yapıştırıcının elastisite modülü  $E=2756$  MPa ve poisson oranı  $\nu=0.3$  dür. Çalışmada kullanılan 2 farklı malzemenin mekanik özellikleri Tablo 5.1.'de ve geometrik model ölçüleri Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Modellenen Hercules AS4/3501-6 ticari isimli yapıştırıcı havacılık ve otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan epoksi bazlı bir kimyasal kullanılmıştır.

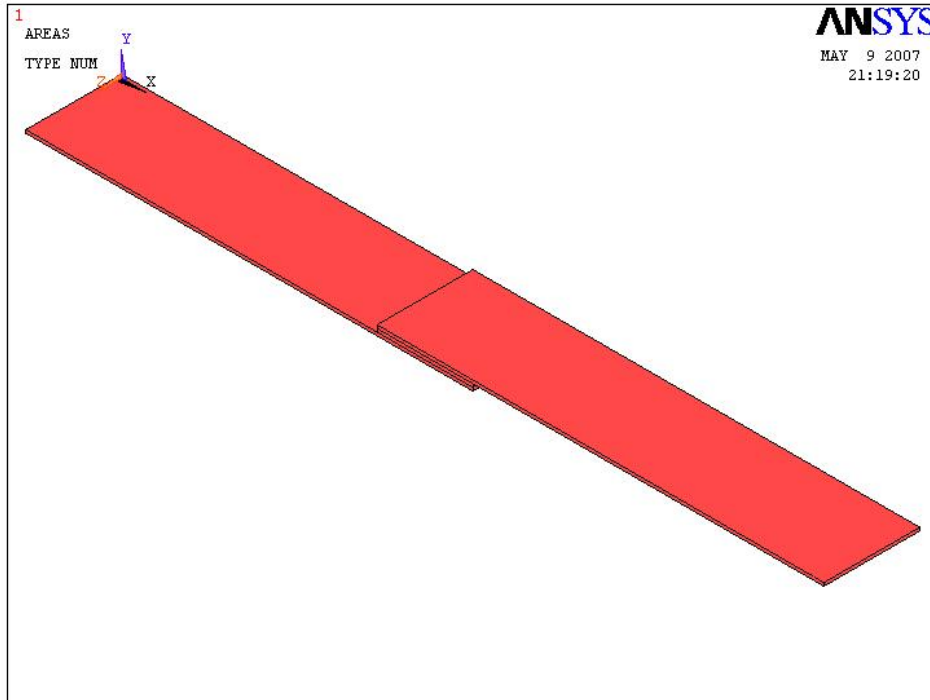
Tablo 5.1 Modellenen malzemelerin mekanik özellikleri

Malzeme	Galvaniz Kaplı Mikro Alaşımli Çelik	Epoksi Yapıştırıcı
Elastisite modülü, $E$ (N/mm <sup>2</sup> )	240000	2756
Poisson oranı, $\nu$	0.33	0.3



Şekil 5.1 Yapının geometrik modeli (tüm ölçüler mm'dir)

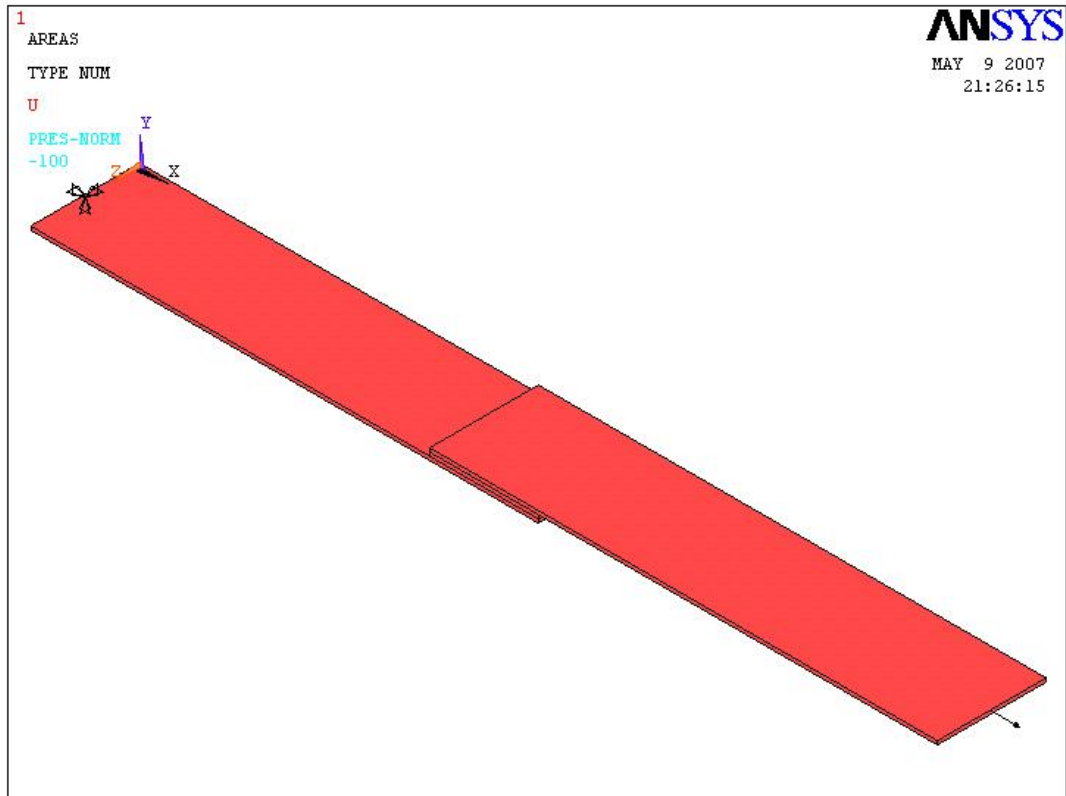
Şekil 5.1'deki geometrik ölçülere sahip yapının katı modeli ise Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Ana katman galvaniz kaplı mikro alaşımli çelik ve orta katman ise epoksi yapıştırıcıdır.



Şekil 5.2 Yapının katı modeli

### 5.2.2. 40 mm bindirme uzunluğu kullanılan malzemenin sınır şartları ve sonlu elemanlar modeli

Deney numunesini baz alan ve geometrik yapısı belirtilen model, deneysel şartları sağlayacak biçimde sınır şartlarına ve yüklere maruz bırakılmıştır. Model 30 mm'lik kısa kenarından tüm serbestlik dereceleri sınırlandırılarak ve karşı kısa kenardan çekme yüküne bırakılmıştır. Yapıları sonlu elemanlara bölüm için 8 düğüm sayılı ve ikinci derecen (quadratic) şekilli 3 boyutlu Solid 45 brick eleman tipi seçilmiştir. Malzeme modelleri olarak doğrusal (lineer) elastik (izotropik) modeller tayin edilmiştir. Şekil 5.3'de tabakalardan oluşan katı modelin sonlu elemanlar modeli gösterilmektedir.



Şekil 5.3 Sonlu elemanlar modeli ve sınır şartları

### 5.2.3. Model simülasyonu ve sonlu elemanlar ağı (Mesh)

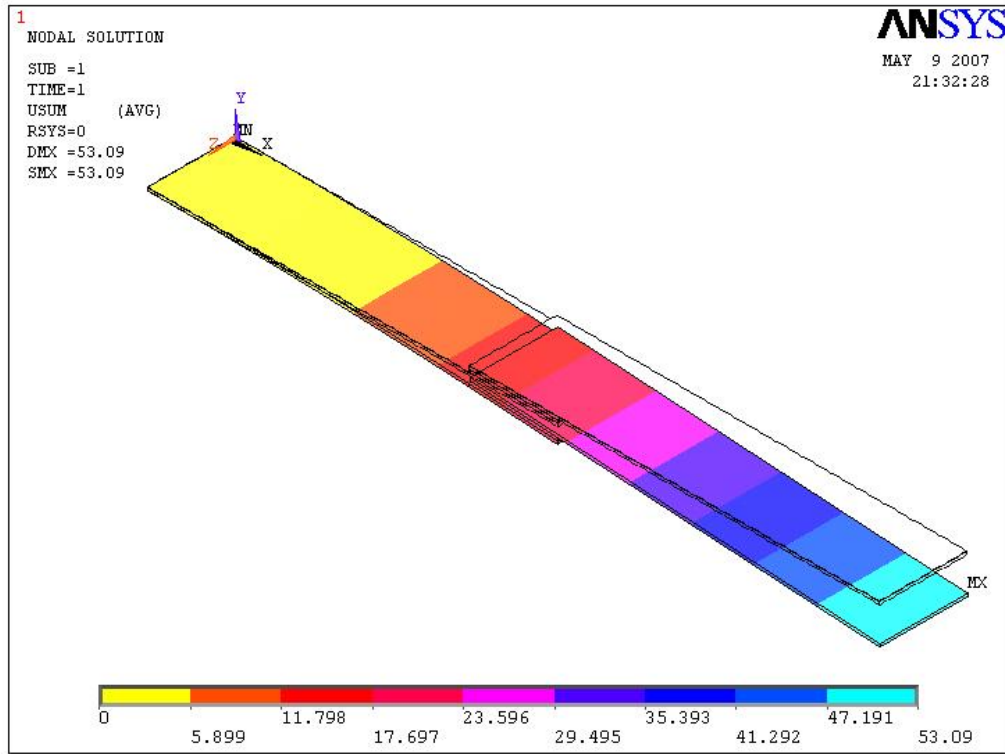
Yapıştırılmış modeli simüle etmek için ANSYS ticari sonlu elemanlar yazılım programı kullanılmış ve programda çalışma şartları tanımlanmıştır. Programda galvaniz kaplı mikro alaşımlı çelik plakaları birbirlerine yapıştırma işleminde epoksi

katmanı kullanılmış ve programda “Glue” özelliği kullanılarak tüm plakalar arasında temas sağlanmıştır. Yapıların modellenmesinde lineer 3 boyutlu katı elementler (SOLID 45) seçilmiş ve modelde 19786 düğüm ve 63461 eleman kullanılmıştır. Üretilen model gerilme, genleme ve deformasyon sonuçlarını almak amacıyla ANSYS paket programı tarafından analiz edilmiştir.. Modelde kullanılan eleman (SOLID 45); plastisite, kıvrılma, kabarma, gerilimle sertleşebilen, büyük ölçüde bel veren ve büyük zorlama davranışını temsil edebilmektedir.

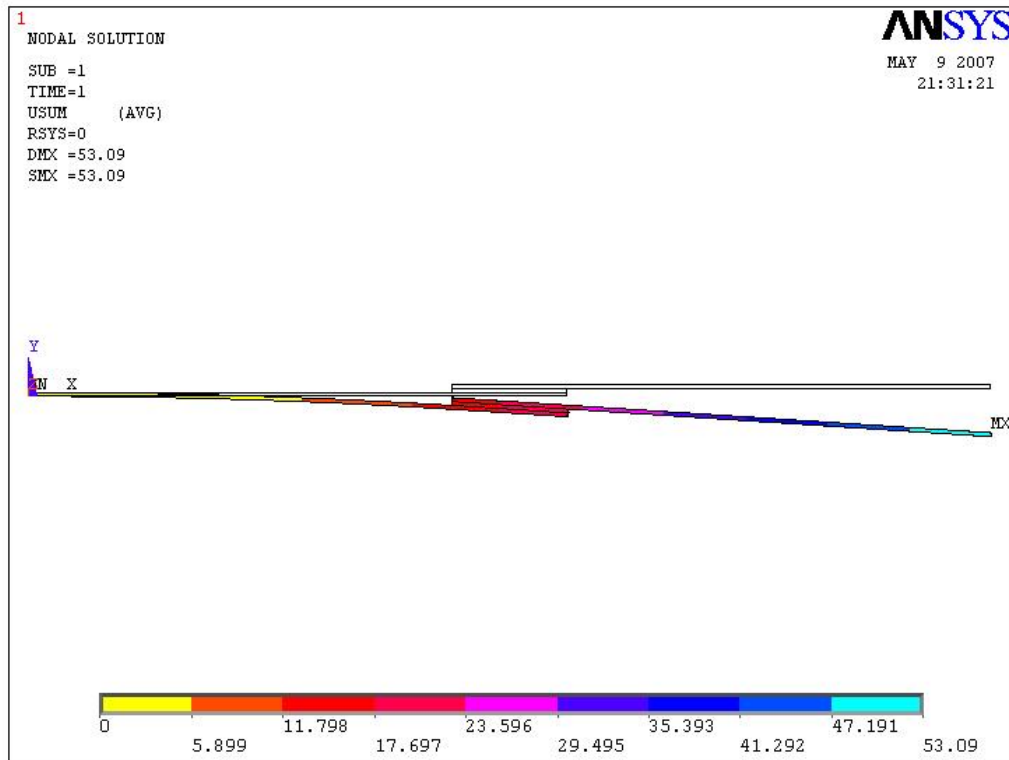
### **5.3. Analiz ve Sonuçlar**

#### **5.3.1. Çekme analizi**

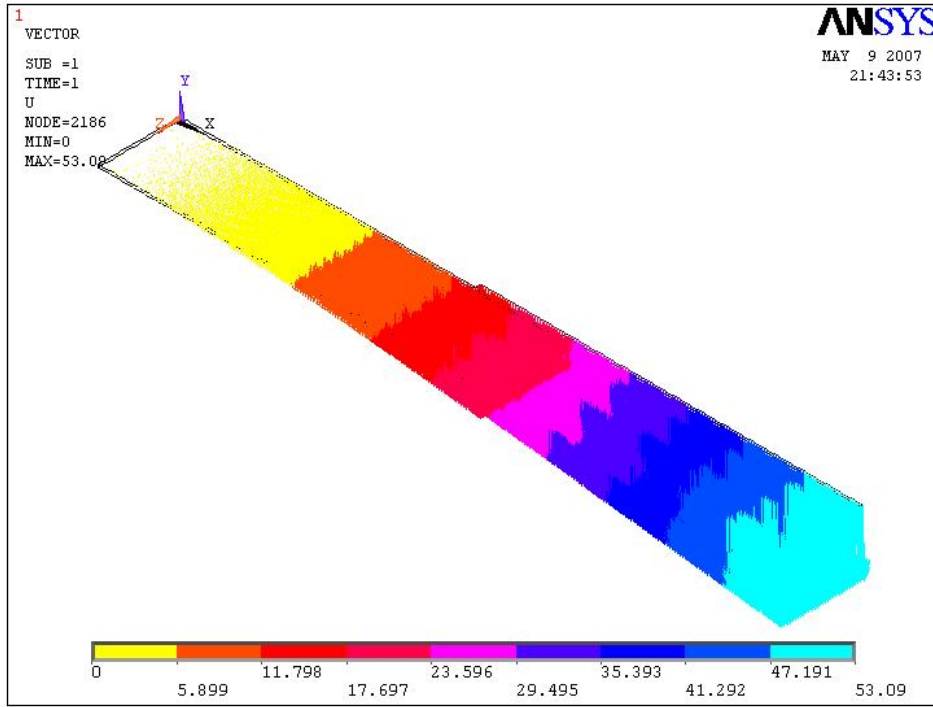
Analizde sınır şartlarına gelindiğinde örnek modelin bir kenarına çekme suretiyle 3000 N yük uygulanmıştır. Bu arada modelin diğer kenarında x, y ve z yönlerinde tüm serbestlik dereceleri tutulmuştur. Şekil 5.3’de sonlu elemanlar modelinin sınır şartları gösterilmektedir. Şekil 5.3’de ok işareti çekme yüklerinin yönünü göstermektedir. Yapıştırıcı modeli, galvaniz kaplı mikro alaşımlı çelik katmanların arasında bulunmaktadır. Şekil 5.4’da 3000 N analiz için modelin düğümlerinde oluşan yer değiştirme eğilimi görülmektedir. Bu eğilim gerçek deney davranışıyla benzerlik göstermektedir.



Şekil 5.4 40 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan yer değiştirme (perspektif).

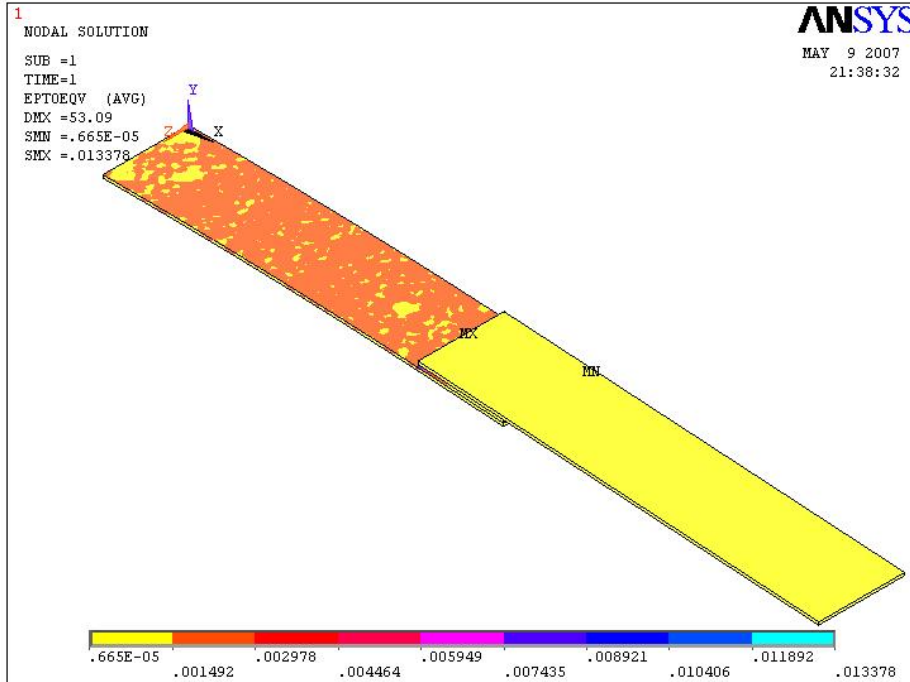


Şekil 5.5 40 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan yer değiştirme eğilimi (mm).



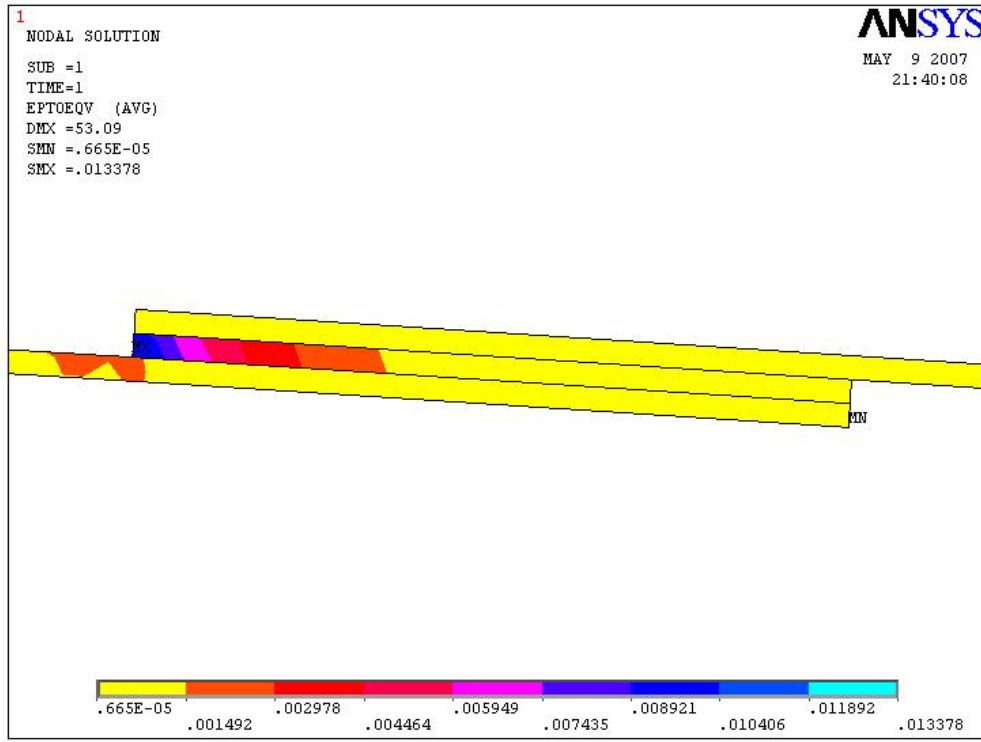
Şekil 5.6 40 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan vektörel yer değiştirme

Şekil 5.7, 5.8 ve 5.9'da 3000 N analiz için farklı açılardan genleme sonuçları gösterilmiştir. Sonuçlara göre gerilim konsantrasyon alanı ve maksimum değer gösterilmiştir.

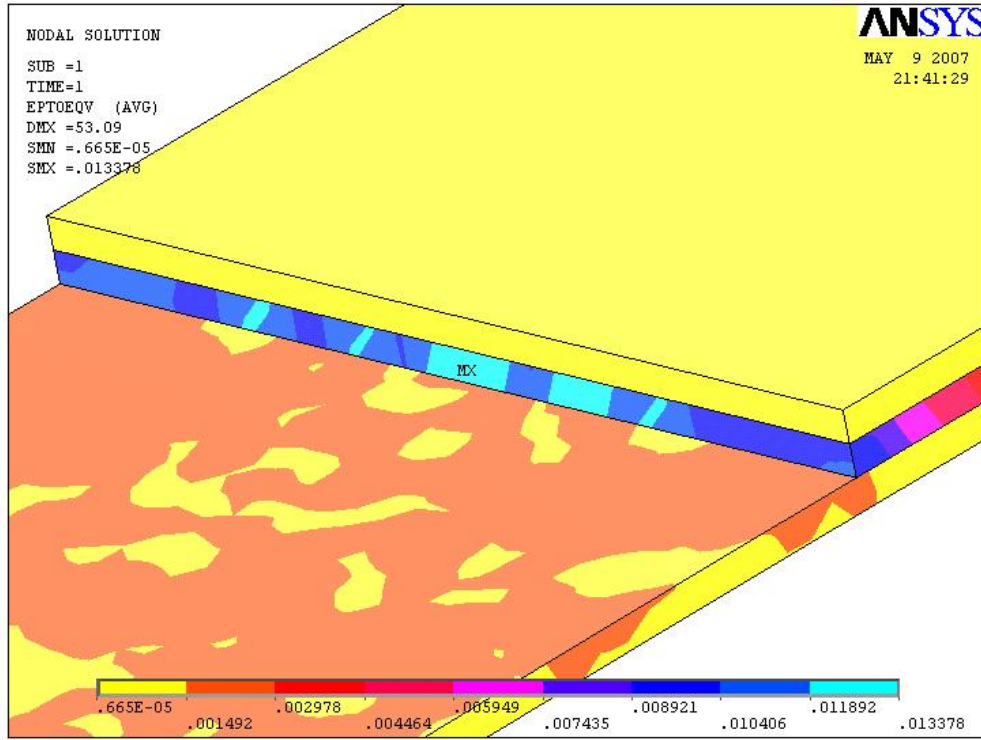


Şekil 5.7 40 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan genleşme davranışı (perspektif)



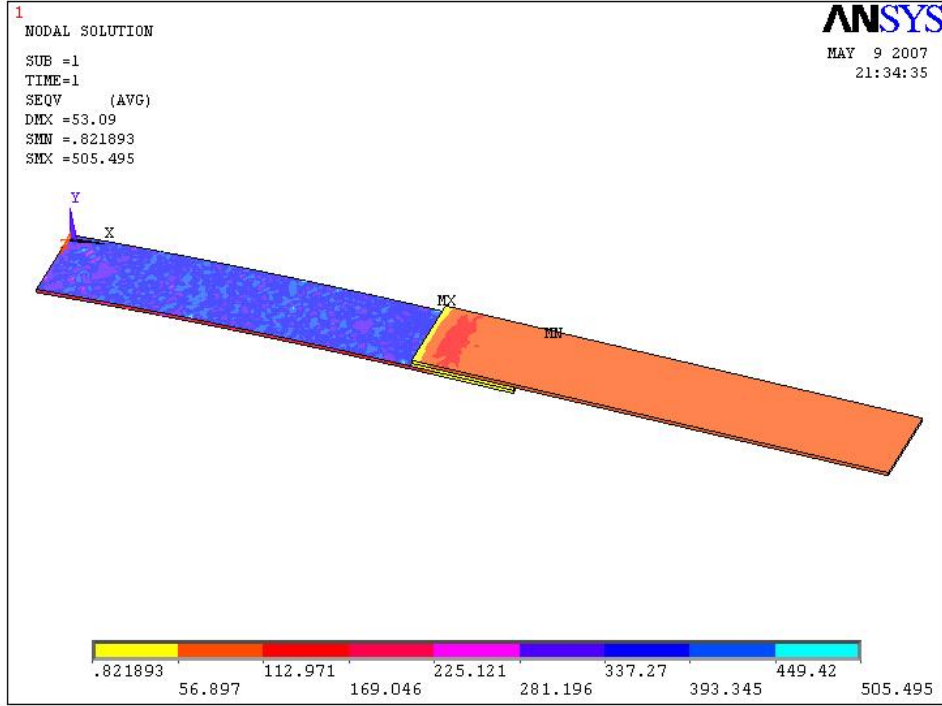


Şekil 5.8 40 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan genişleme davranışı (önden)

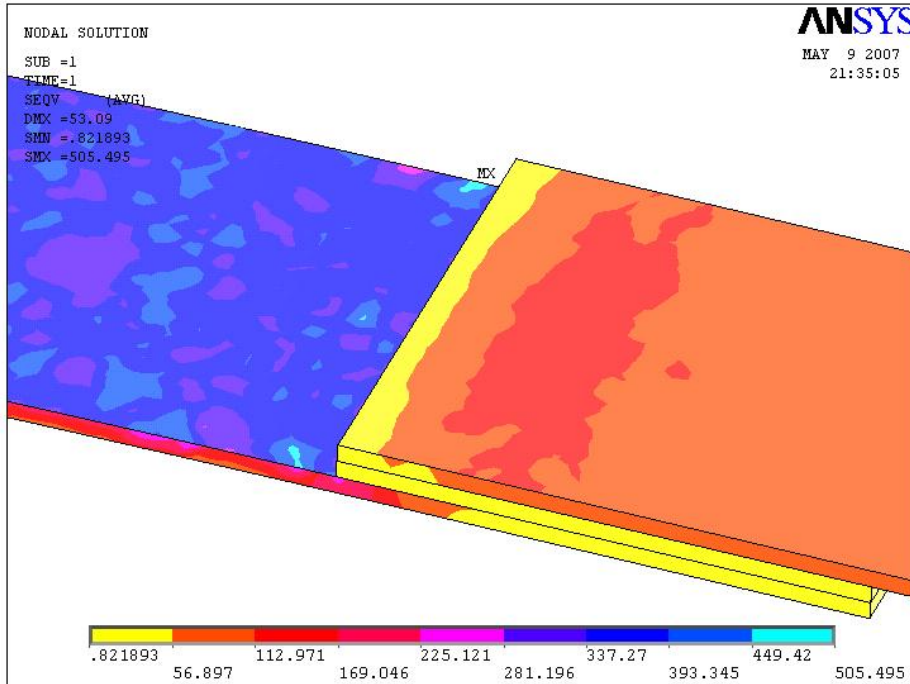


Şekil 5.9 40 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde genişleme davranışı (yapıştırıcı bölgesi)

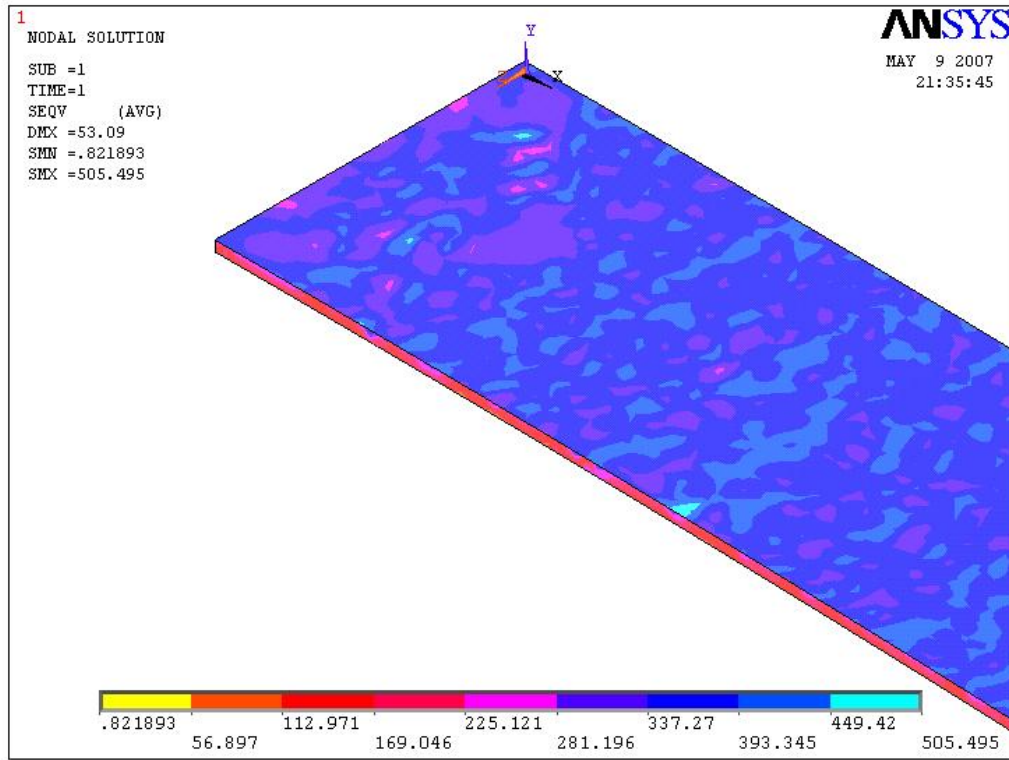
Şekil 5.10, 5.11 ve 5.12’de 3000 N analiz için farklı açılardan genleşme sonuçları gösterilmiştir. Sonuçlara göre gerilim konsantrasyon alanı ve maksimum değer gösterilmiştir.



Şekil 5.10 40 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan gerilmeler (perspektif)



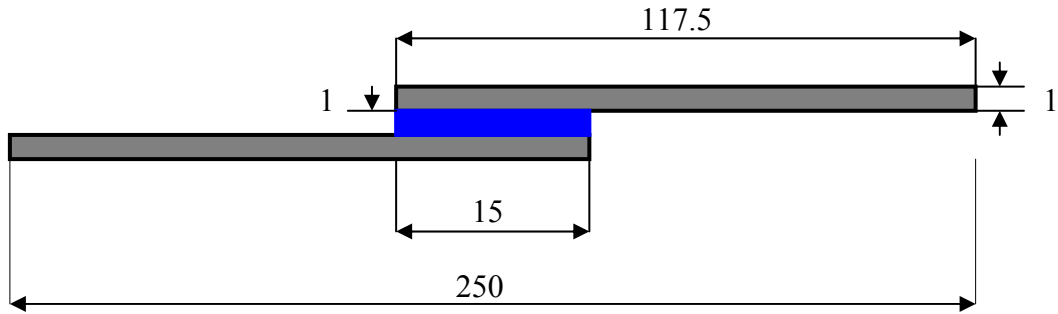
Şekil 5.11 40 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan gerilmeler (yapıştırıcı bölgesi)



Şekil 5.12 40 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan gerilmeler (alt çelik plaka)

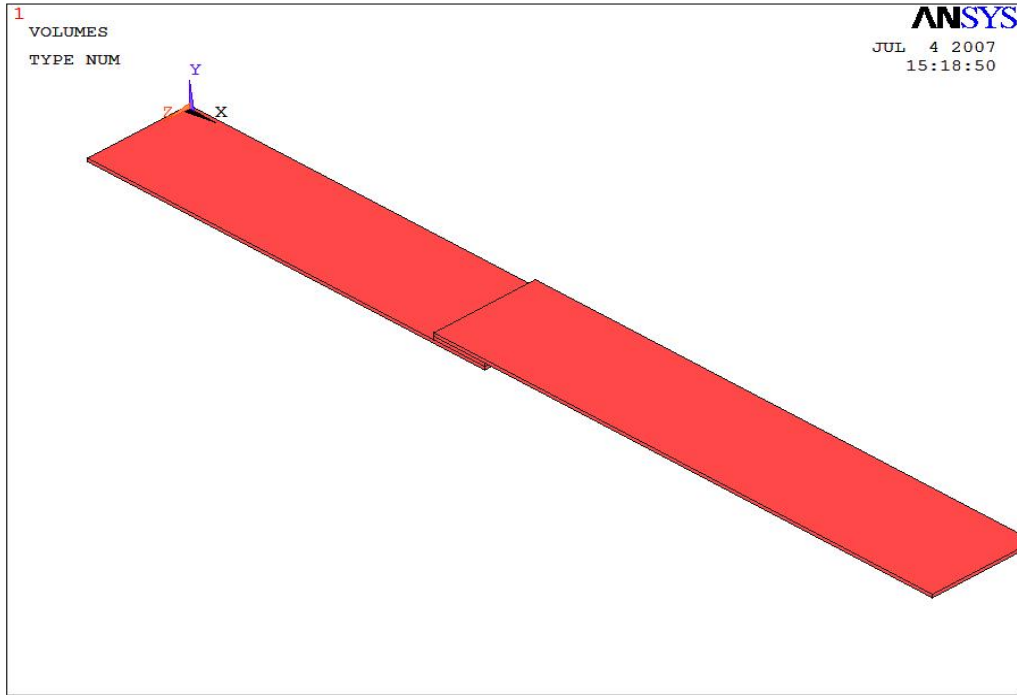
#### 5.4. 15 mm Bindirme Uzunluğu Kullanılan Malzemenin Katı Model ve Geometrik Özellikleri

Galvaniz kaplı mikro alaşımlı çelik plakalar 1 mm kalınlığında, 117,5 mm uzunluğunda ve 30 mm genişliğindedir. Bu malzemenin elastisite modülü  $E=240\ 000$  MPa ve poisson oranı  $\nu=0.3$  dür. 3000 N çekme yüküne maruz bırakılmıştır. Epoksi katmanı ise 15x30x1 mm ölçülerine sahip Hercules AS4/3501-6 ticari adlı epoksi katmanından ibarettir. Epoksi yapıştırıcının elastisite modülü  $E=2756$  MPa ve poisson oranı  $\nu=0.3$  dür. Çalışmada kullanılan 2 farklı malzemenin mekanik özellikleri Tablo 5.1.'de ve geometrik model ölçüleri Şekil 5.13'de gösterilmiştir. Modellenen Hercules AS4/3501-6 ticari isimli yapıştırıcı havacılık ve otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan epoksi bazlı bir kimyasal kullanılmıştır.



Şekil 5.13 Yapının geometrik modeli (tüm ölçüler mm'dir)

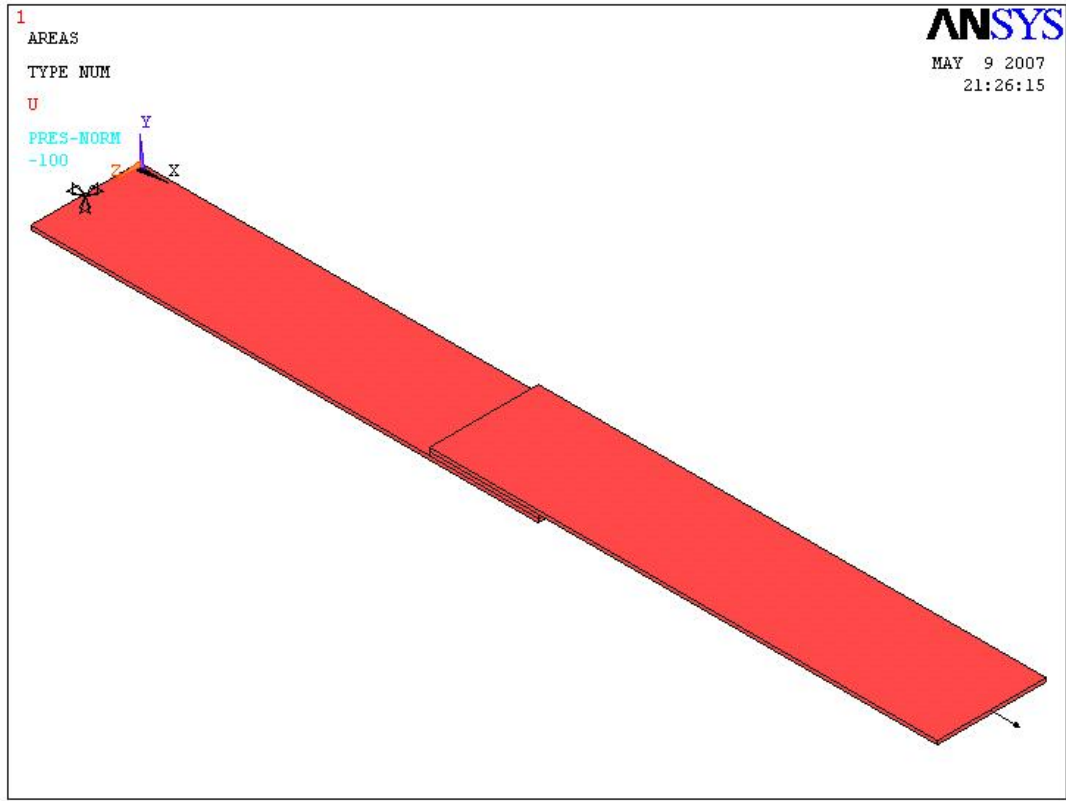
Şekil 5.13'deki geometrik ölçülere sahip yapının katı modeli ise Şekil 5.14'de gösterilmiştir. Ana katman galvaniz kaplı mikro alaşımlı çelik ve orta katman ise epoksi yapıştırıcıdır.



Şekil 5.14 Yapının katı modeli

#### 5.4.1. 15 mm bindirme uzunluğu kullanılan malzemenin sınır şartları ve sonlu elemanlar modeli

Deney numunesini baz alan ve geometrik yapısı belirtilen model, deneysel şartları sağlayacak biçimde sınır şartlarına ve yüklere maruz bırakılmıştır. Model 30 mm'lik kısa kenarından tüm serbestlik dereceleri sınırlanarak ve karşı kısa kenardan çekme yüküne bırakılmıştır. Yapıları sonlu elemanlara bölüm için 8 düğüm sayılı ve ikinci derecen (quadratic) şekilli 3 boyutlu Solid 45 brick eleman tipi seçilmiştir. Malzeme modelleri olarak doğrusal (lineer) elastik (izotropik) modeller tayin edilmiştir. Şekil 5.15'de tabakalardan oluşan katı modelin sonlu elemanlar modeli gösterilmektedir.



Şekil 5.15 Sonlu elemanlar modeli ve sınır şartları

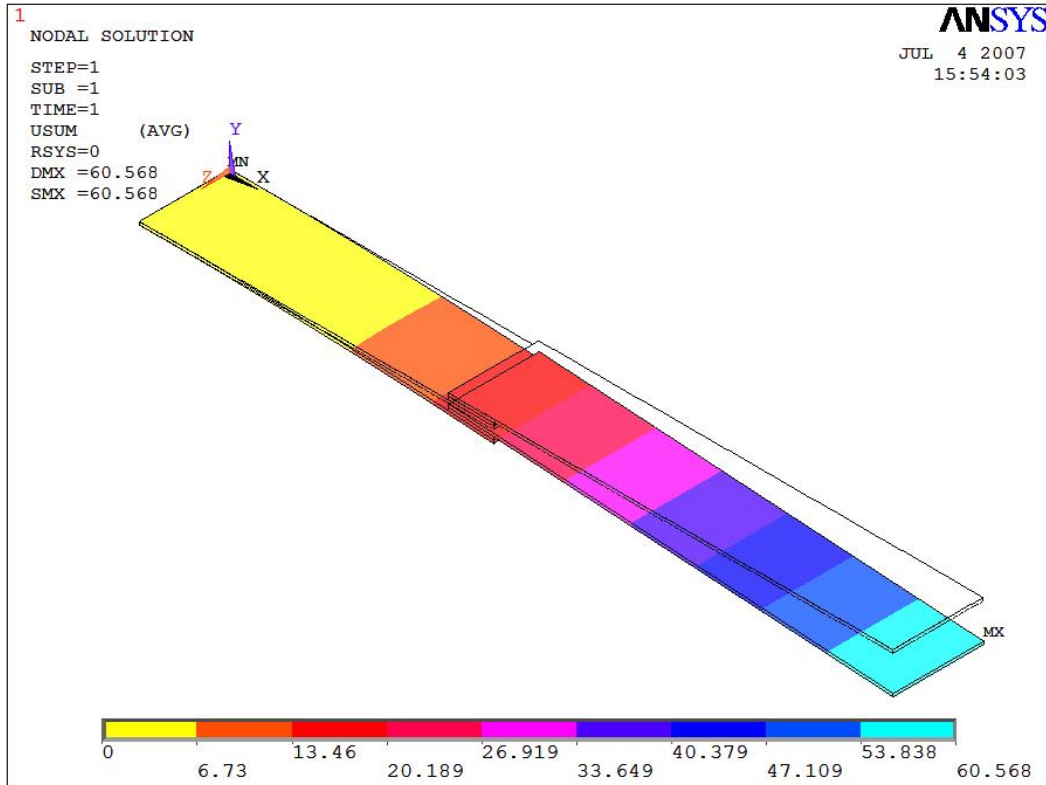
#### 5.4.2. 15 mm bindirme uzunluğu kullanılan malzemenin model simülasyonu ve sonlu elemanlar ağı (Mesh)

Yapıştırılmış modeli simüle etmek için ANSYS ticari sonlu elemanlar yazılım programı kullanılmış ve programda çalışma şartları tanımlanmıştır. Programda galvaniz kaplı mikro alaşımlı çelik plakaları birbirlerine yapıştırma işleminde epoksi katmanı kullanılmış ve programda “Glue” özelliği kullanılarak tüm plakalar arasında temas sağlanmıştır. Yapıların modellenmesinde lineer 3 boyutlu katı elementler (SOLID 45) seçilmiş ve modelde 18761 düğüm ve 57434 eleman kullanılmıştır. Üretilen model gerilme, genleme ve deformasyon sonuçlarını almak amacıyla ANSYS paket programı tarafından analiz edilmiştir.. Modelde kullanılan eleman (SOLID 45); plastisite, kıvrılma, kabarma, gerilimle sertleşen, büyük ölçüde bel veren ve büyük zorlama davranışını temsil edebilmektedir.

## 5.5. Analiz ve Sonuçlar

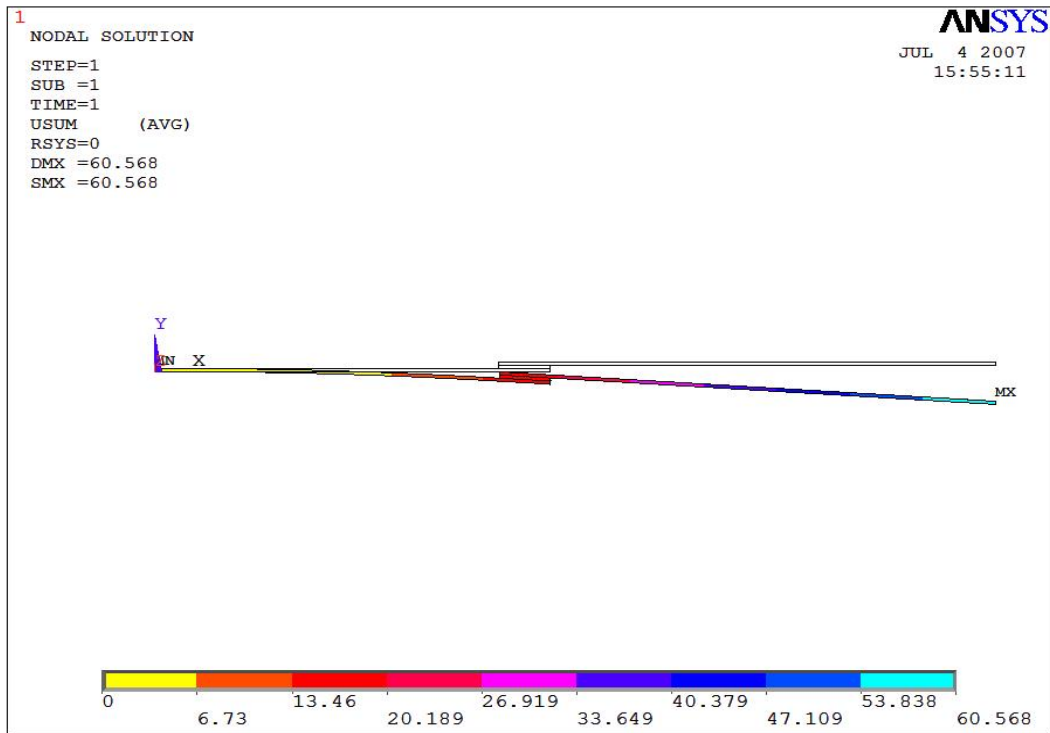
### 5.5.1. Çekme analizi

Analizde sınır şartlarına gelindiğinde örnek modelin bir kenarına çekme suretiyle 3000 N yük uygulanmıştır. Bu arada modelin diğer kenarında x, y ve z yönlerinde tüm serbestlik dereceleri tutulmuştur. Şekil 5.17’de sonlu elemanlar modelinin sınır şartları gösterilmektedir. Şekil 5.17’de ok işareti çekme yüklerinin yönünü göstermektedir. Yapıştırıcı modeli, galvaniz kaplı mikro alaşımlı çelik katmanların arasında bulunmaktadır. Şekil 5.18’de 3000 N analiz için modelin düğümlerinde oluşan yer değiştirme eğilimi görülmektedir. Bu eğilim gerçek deney davranışıyla benzerlik göstermektedir.

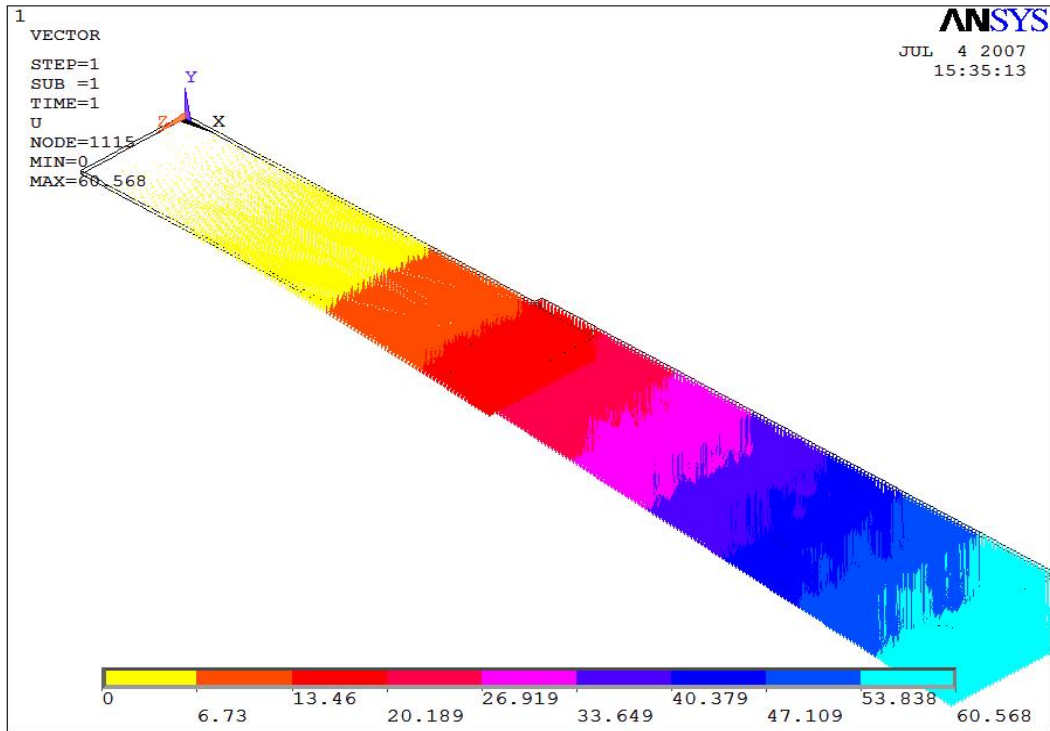


Şekil 5.16 15 mm3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan yer değiştirme (perspektif).



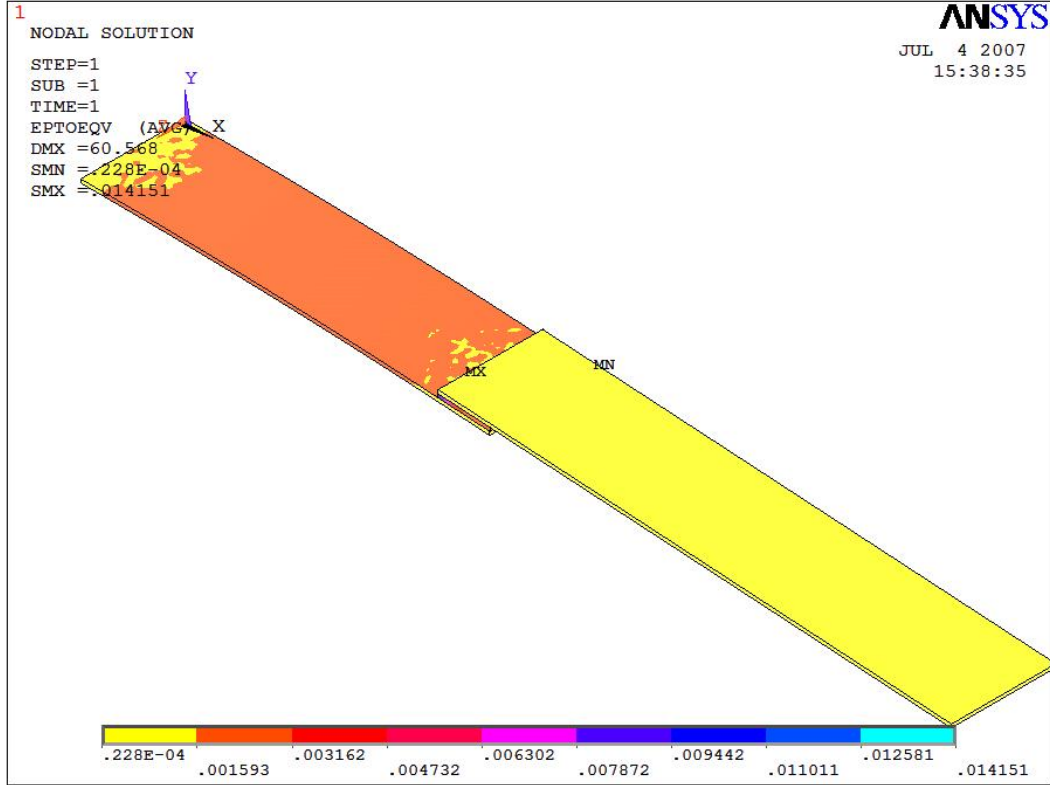


Şekil 5.17 15 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan yer değiştirme eğilimi (mm).

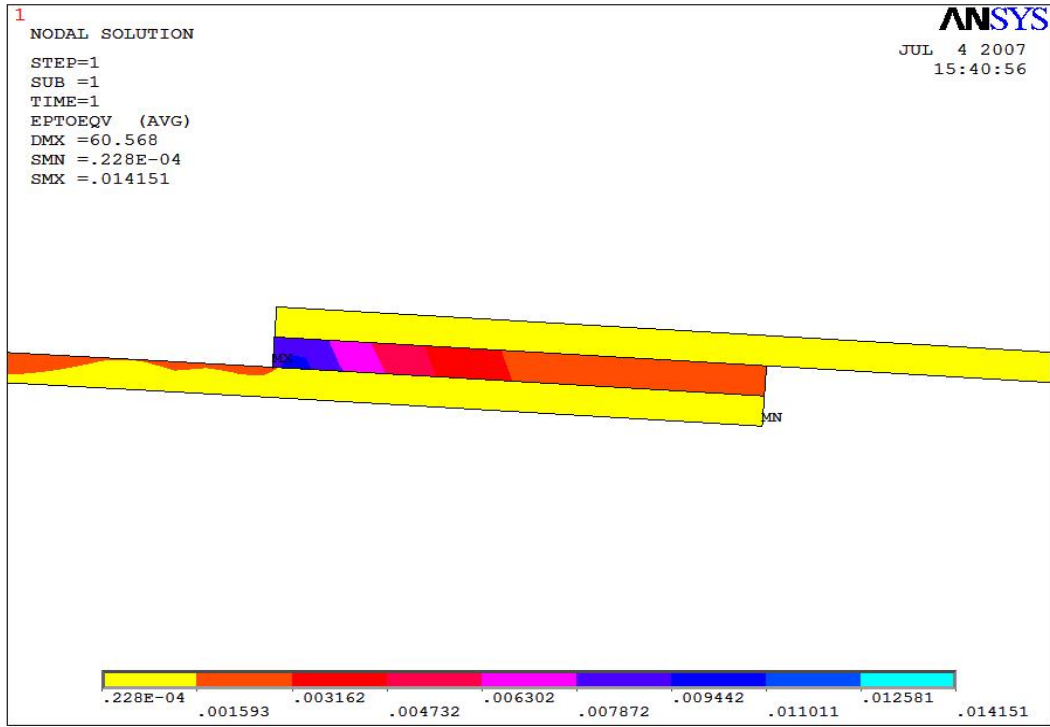


Şekil 5.18 15 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan vektörel yer değiştirme

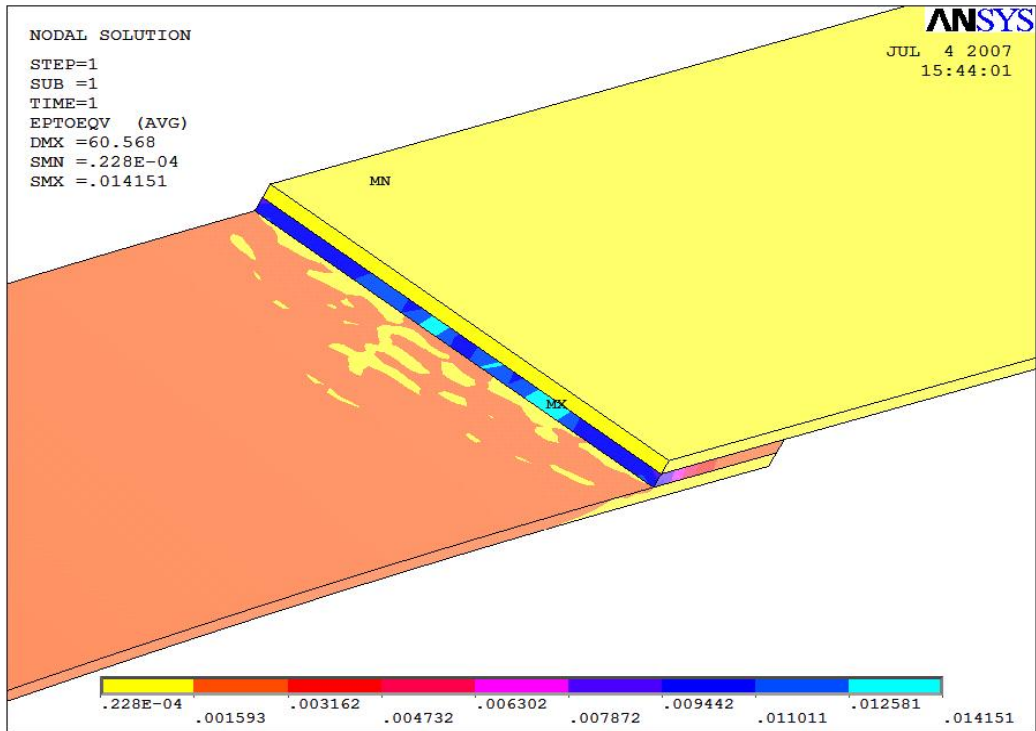
Şekil 5.19, 5.20 ve 5.21’da 3000 N analiz için farklı açılardan genleme sonuçları gösterilmiştir. Sonuçlara göre gerilim konsantrasyon alanı ve maksimum değer gösterilmiştir.



Şekil 5.19 15 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan genleşme davranışı (perspektif)

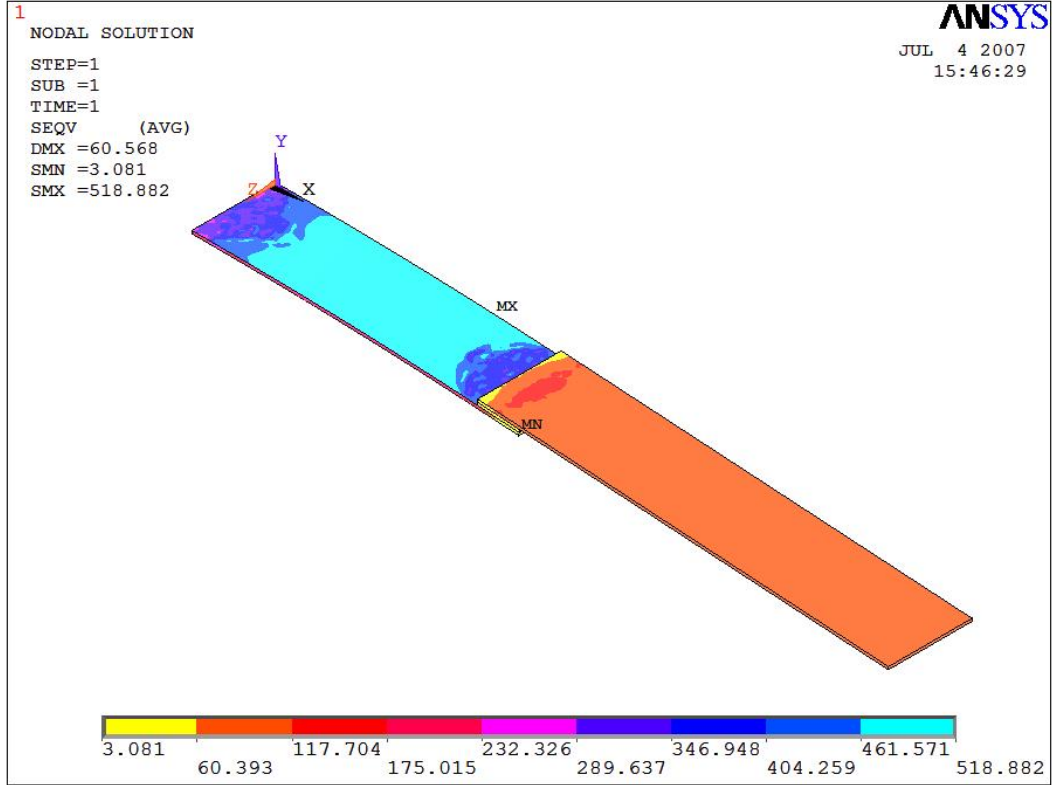


Şekil 5.20 15 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan genleşme davranışı (önden)

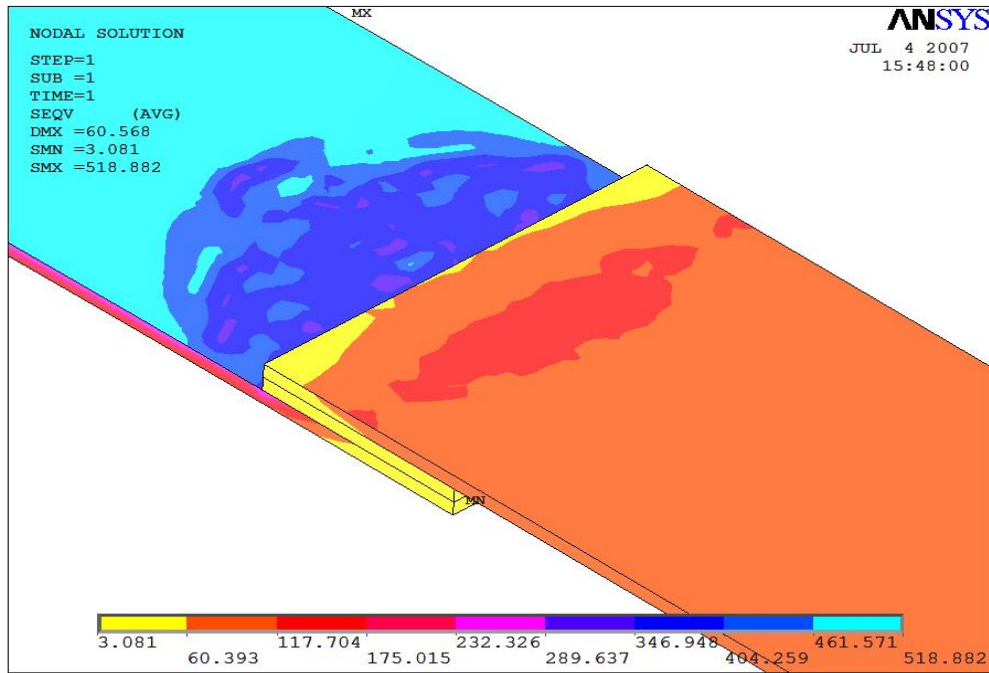


Şekil 5.21 15 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan genleşme (yapıştırıcı bölgesi)

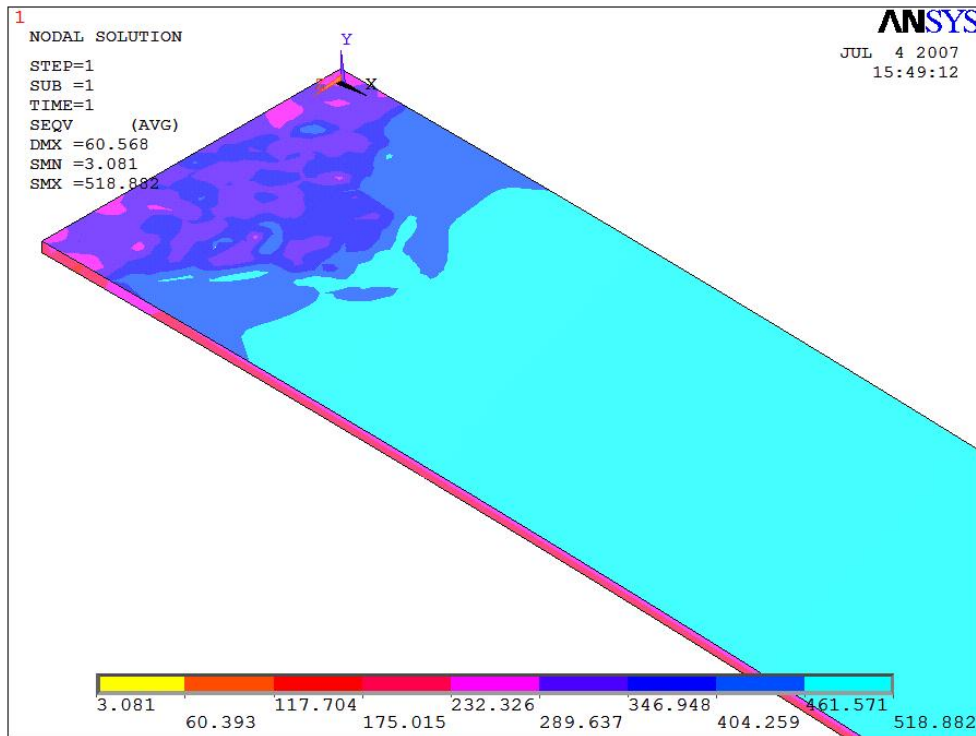
Şekil 5.22, 5.23 ve 5.24'de 3000 N analiz için farklı açılardan genleşme sonuçları gösterilmiştir. Sonuçlara göre gerilim konsantrasyon alanı ve maksimum değer gösterilmiştir.



Şekil 5.22 15 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan gerilmeler (perspektif)

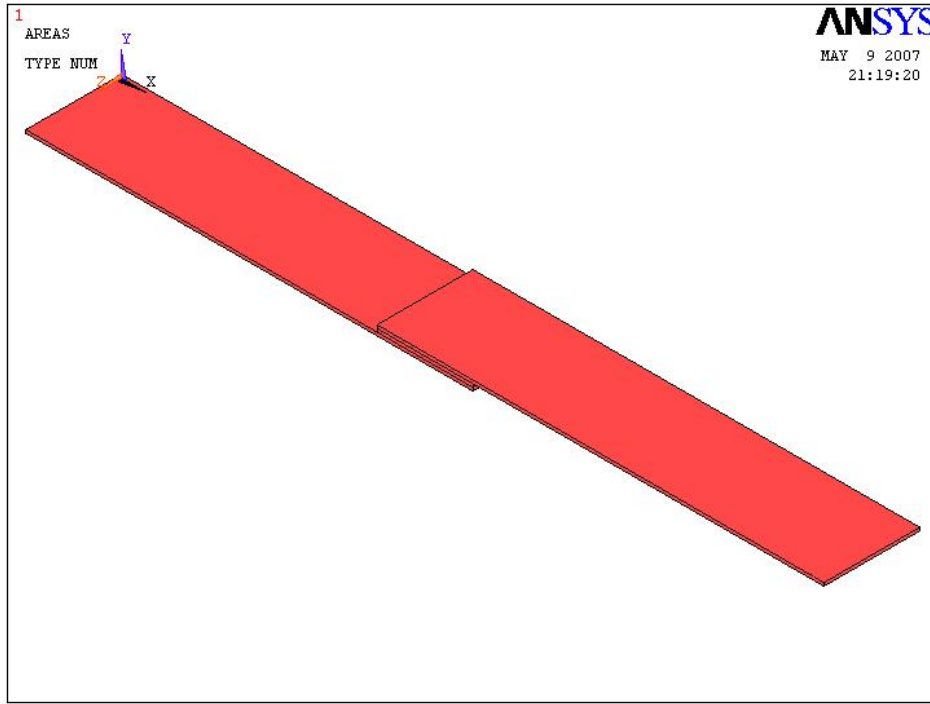


Şekil 5.23 15 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan gerilmeler (yapıştırıcı bölgesi)



Şekil 5.24 15 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan gerilmeler (alt çelik plaka)



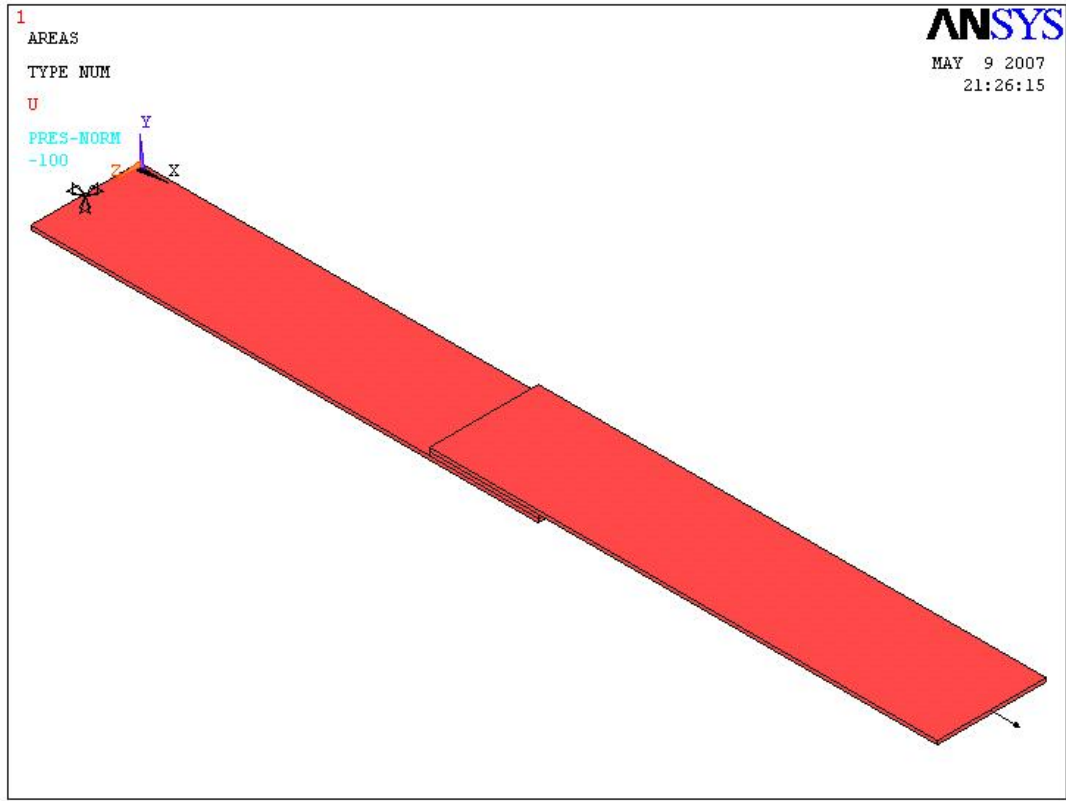


Şekil 5.26 Yapının katı modeli

### 5.6.1. 20 mm bindirme uzunluğu kullanılan malzemenin sınır şartları ve sonlu elemanlar modeli

Deney numunesini baz alan ve geometrik yapısı belirtilen model, deneysel şartları sağlayacak biçimde sınır şartlarına ve yüklere maruz bırakılmıştır. Model 30 mm'lik kısa kenarından tüm serbestlik dereceleri sınırlanarak ve karşı kısa kenardan çekme yüküne bırakılmıştır. Yapıları sonlu elemanlara bölüm için 8 düğüm sayılı ve ikinci derecen (quadratic) şekilli 3 boyutlu Solid 45 brick eleman tipi seçilmiştir. Malzeme modelleri olarak doğrusal (lineer) elastik (izotropik) modeller tayin edilmiştir. Şekil 5.26'de tabakalardan oluşan katı modelin sonlu elemanlar modeli gösterilmektedir.





Şekil 5.27 Sonlu elemanlar modeli ve sınır şartları

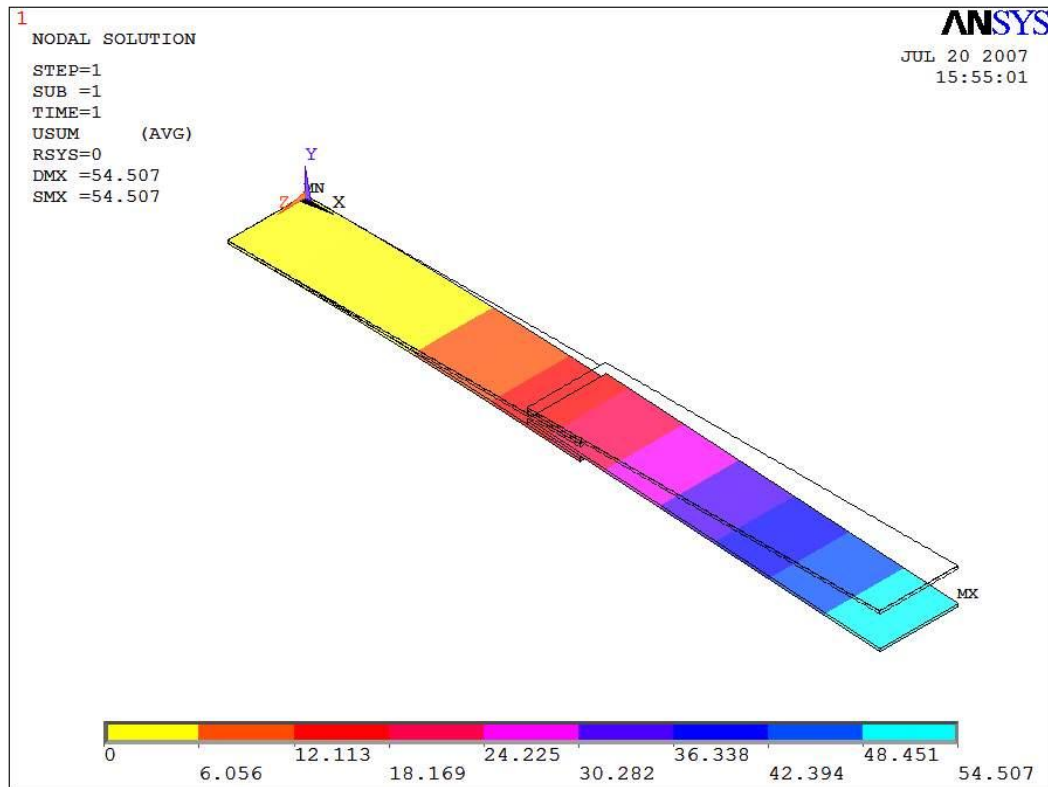
### 5.6.2. Model simülasyonu ve sonlu elemanlar ağı (Mesh)

Yapıştırılmış modeli simüle etmek için ANSYS ticari sonlu elemanlar yazılım programı kullanılmış ve programda çalışma şartları tanımlanmıştır. Programda galvaniz kaplı mikro alaşımlı çelik plakaları birbirlerine yapıştırma işleminde epoksi katmanı kullanılmış ve programda “Glue” özelliği kullanılarak tüm plakalar arasında temas sağlanmıştır. Yapıların modellenmesinde lineer 3 boyutlu katı elementler (SOLID 45) seçilmiş ve modelde 19061 düğüm ve 59408 eleman kullanılmıştır. Üretilen model gerilme, genleme ve deformasyon sonuçlarını almak amacıyla ANSYS paket programı tarafından analiz edilmiştir.. Modelde kullanılan eleman (SOLID 45); plastisite, kıvrılma, kabarma, gerilimle sertleşebilen, büyük ölçüde bel veren ve büyük zorlama davranışını temsil edebilmektedir.

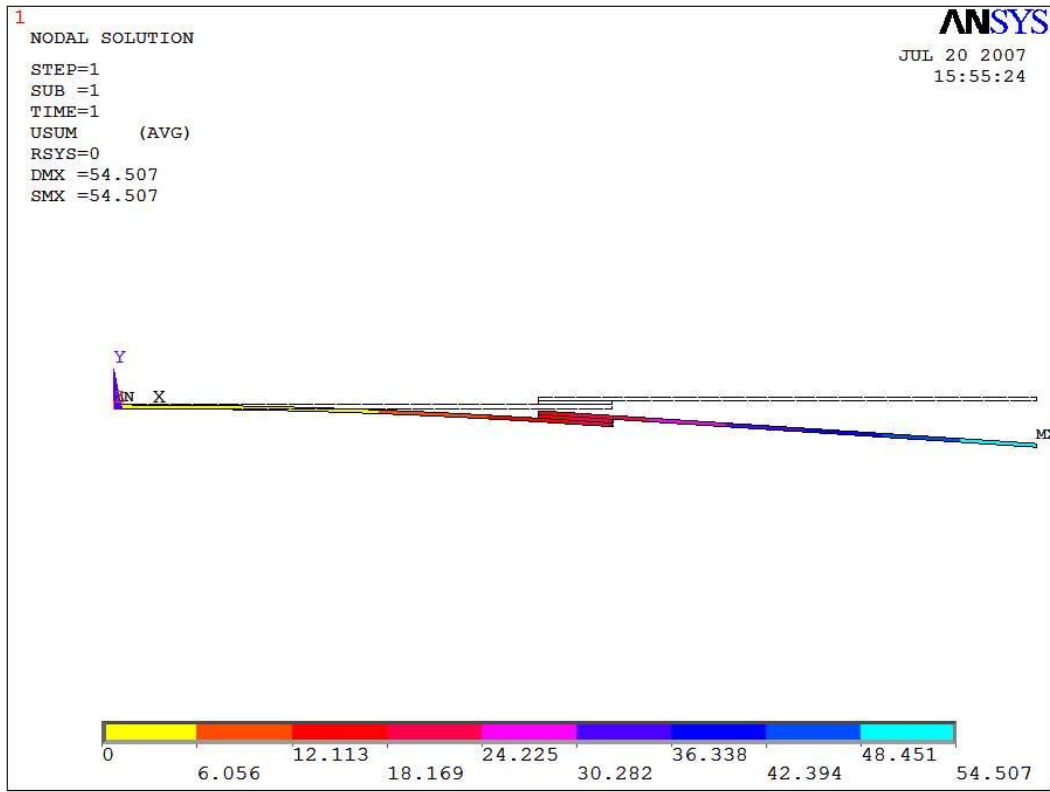
## 5.7. Analiz ve Sonuçlar

### 5.7.1. Çekme analizi

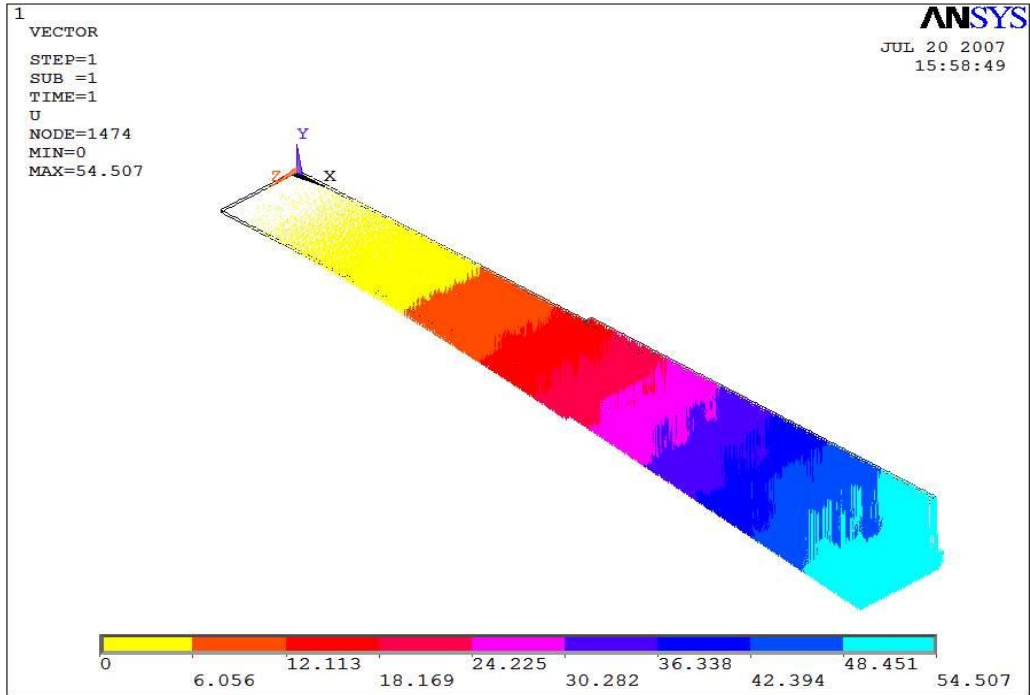
Analizde sınır şartlarına gelindiğinde örnek modelin bir kenarına çekme suretiyle 3000 N yük uygulanmıştır. Bu arada modelin diğer kenarında x, y ve z yönlerinde tüm serbestlik dereceleri tutulmuştur. Şekil 5.27’de sonlu elemanlar modelinin sınır şartları gösterilmektedir. Şekil 5.27’de ok işareti çekme yüklerinin yönünü göstermektedir. Yapıştırıcı modeli, galvaniz kaplı mikro alaşımlı çelik katmanların arasında bulunmaktadır. Şekil 5.28’da 3000 N analiz için modelin düğümlerinde oluşan yer değiştirme eğilimi görülmektedir. Bu eğilim gerçek deney davranışıyla benzerlik göstermektedir.



Şekil 5.28 20 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan yer değiştirme (perspektif).

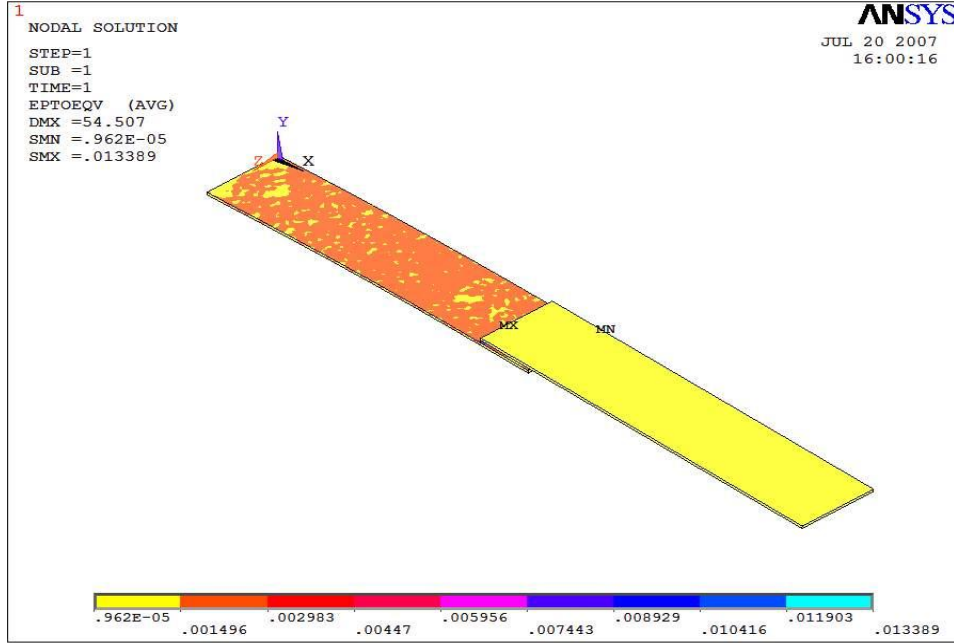


Şekil 5.29 20 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan yer değiştirme eğilimi (mm).

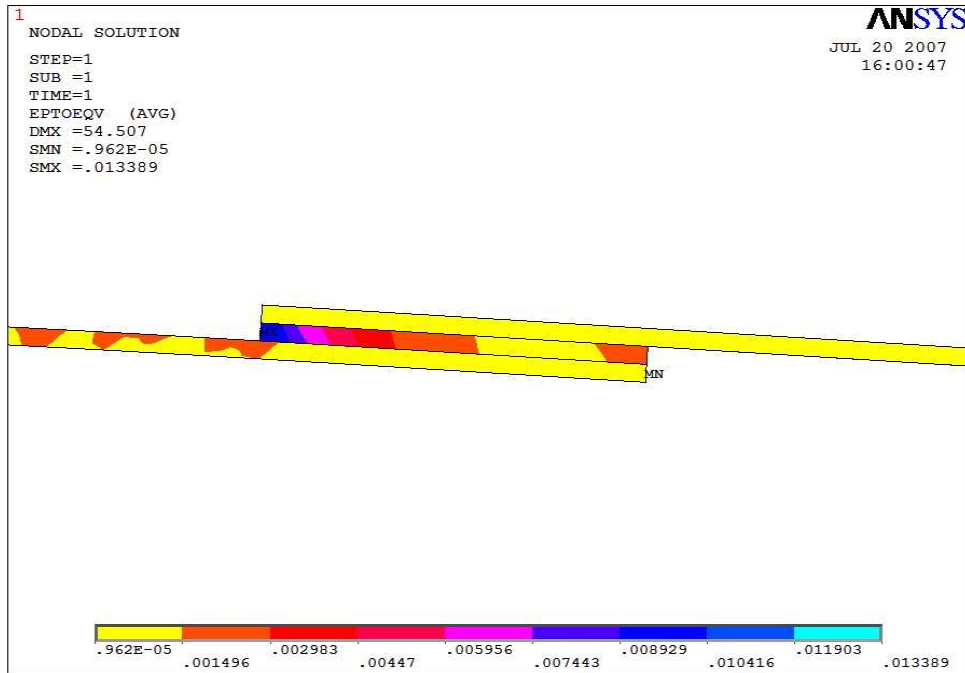


Şekil 5.30 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan vektörel yer değiştirme

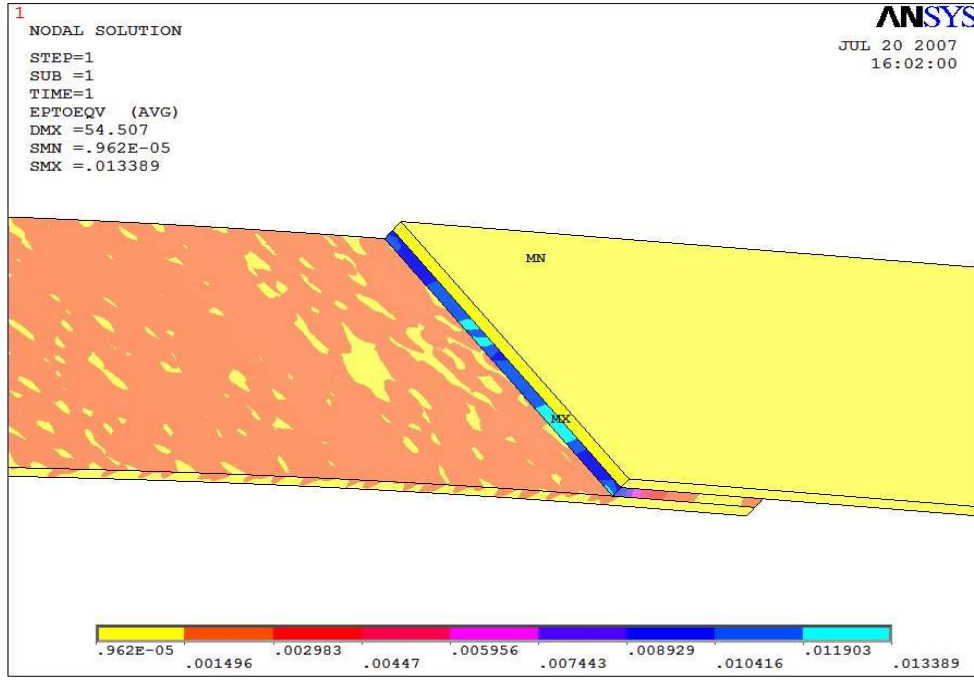
Şekil 5.28, 5.29 ve 5.30'da 3000 N analiz için farklı açılardan genleme sonuçları gösterilmiştir. Sonuçlara göre gerilim konsantrasyon alanı ve maksimum değer gösterilmiştir.



Şekil 5.31 20 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan genleşme (perspektif)

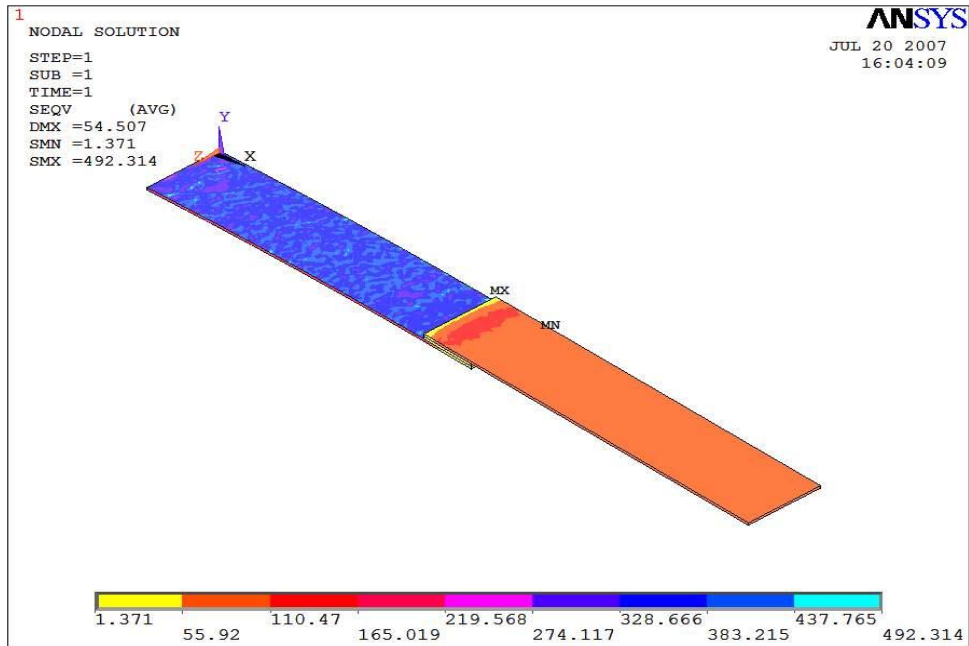


Şekil 5.32 20 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan genleşme davranışı (önden)

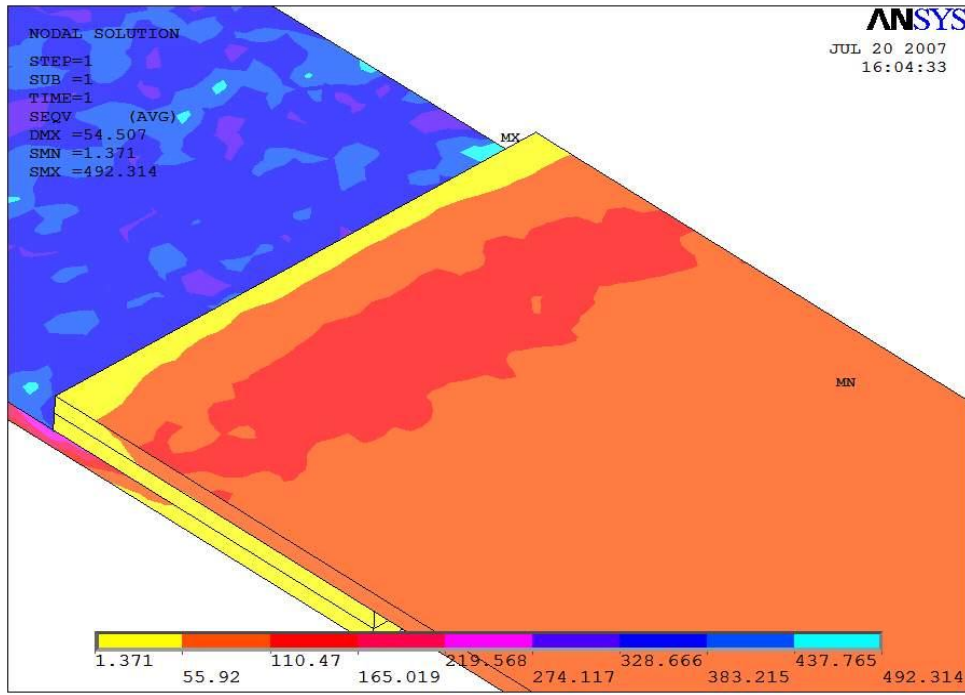


Şekil 5.33 20 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan genişleme (yapıştırıcı bölgesi)

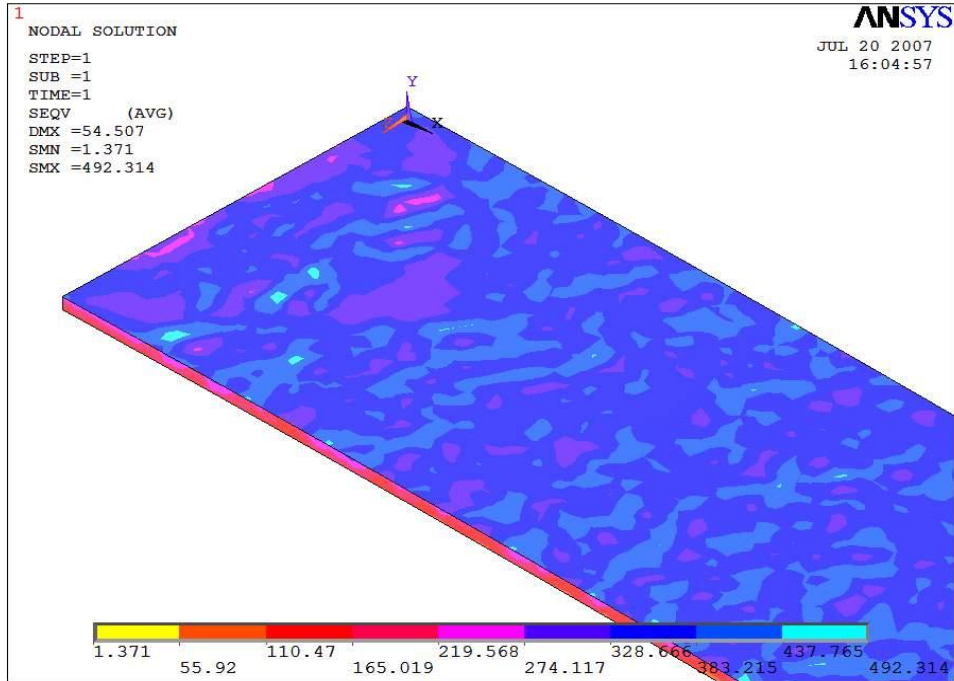
Şekil 5.32, 5.33'de 3000 N analiz için farklı açılardan genişleme sonuçları gösterilmiştir. Sonuçlara göre gerilim konsantrasyon alanı ve maksimum değer gösterilmiştir.



Şekil 5.34 20 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan gerilmeler (perspektif)



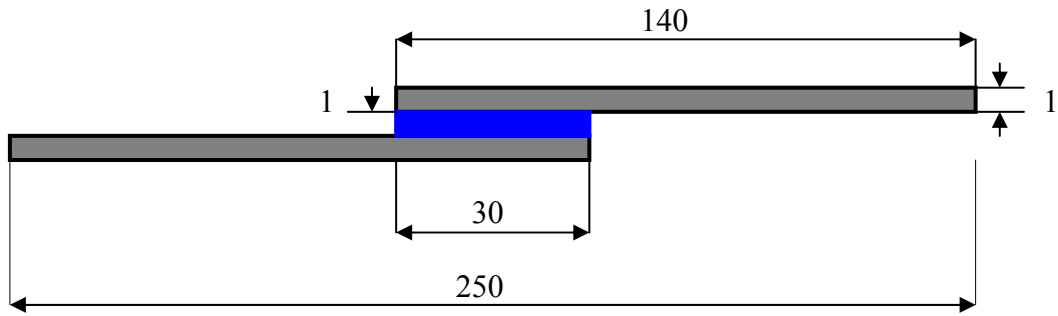
Şekil 5.35 20 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan gerilmeler (yapıştırıcı bölgesi)



Şekil 5.36 20 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan gerilmeler (alt çelik plaka)

### 5.8. 30 mm Bindirme Uzunluğu Kullanılan Malzemenin Katı Model ve Geometrik Özellikleri

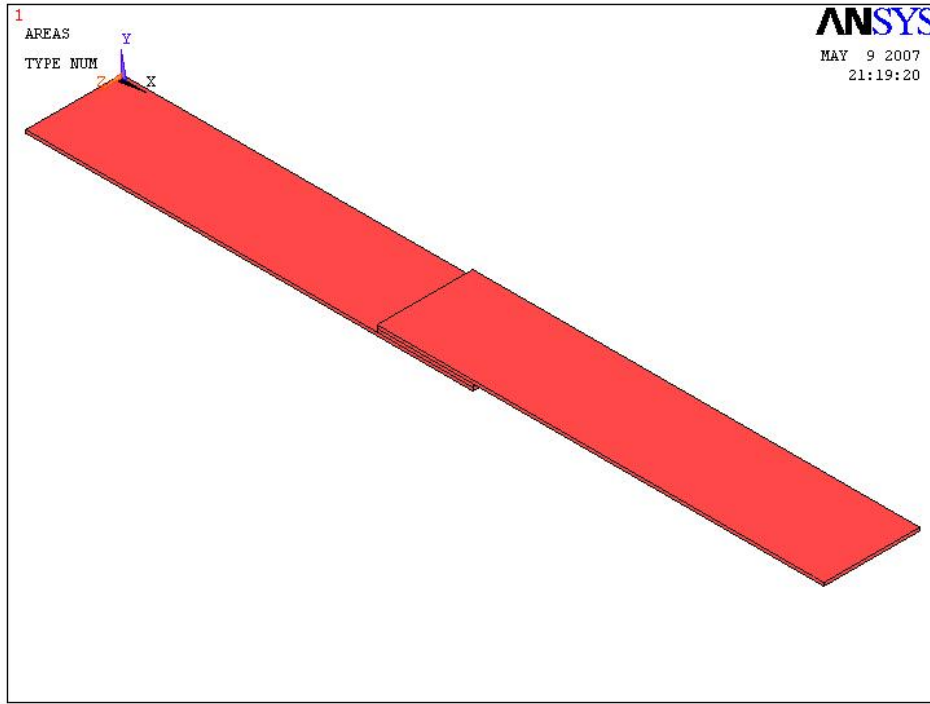
Galvaniz kaplı mikro alaşımlı çelik plakalar 1 mm kalınlığında, 140 mm uzunluğunda ve 30 mm genişliğindedir. Bu malzemenin elastisite modülü  $E=240\ 000$  MPa ve poisson oranı  $\nu=0.3$  dür. 3000 N çekme yüküne maruz bırakılmıştır. Epoksi katmanı ise 30x30x1 mm ölçülerine sahip Hercules AS4/3501-6 ticari adlı epoksi katmanından ibarettir. Epoksi yapıştırıcının elastisite modülü  $E=2756$  MPa ve poisson oranı  $\nu=0.3$  dür. Çalışmada kullanılan 2 farklı malzemenin mekanik özellikleri Tablo 5.1.'de ve geometrik model ölçüleri Şekil 5.37'de gösterilmiştir. Modellenen Hercules AS4/3501-6 ticari isimli yapıştırıcı havacılık ve otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan epoksi bazlı bir kimyasal kullanılmıştır.



Şekil 5.37 Yapının geometrik modeli (tüm ölçüler mm'dir)

Şekil 5.37'deki geometrik ölçülere sahip yapının katı modeli ise Şekil 5.38'de gösterilmiştir. Ana katman galvaniz kaplı mikro alaşımlı çelik ve orta katman ise epoksi yapıştırıcıdır.

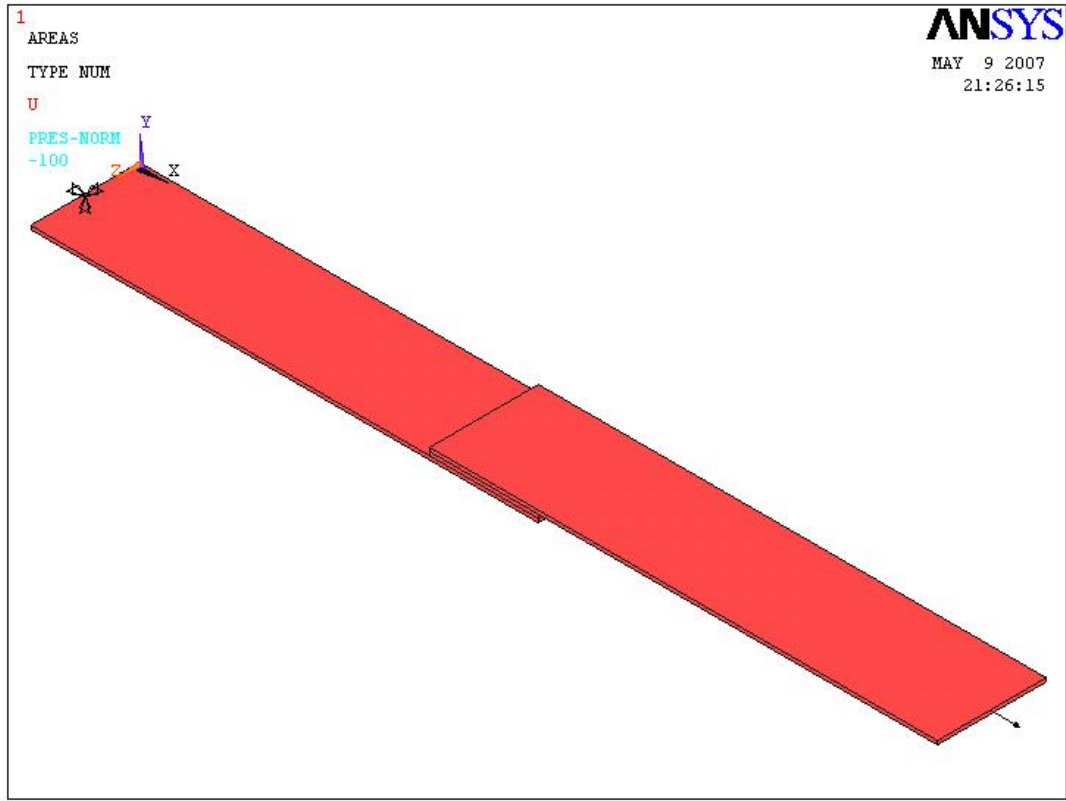




Şekil 5.38 Yapının katı modeli

### 5.8.1. 30 mm bindirme uzunluğu kullanılan malzemenin sınır şartları ve sonlu elemanlar modeli

Deney numunesini baz alan ve geometrik yapısı belirtilen model, deneysel şartları sağlayacak biçimde sınır şartlarına ve yüklere maruz bırakılmıştır. Model 30 mm'lik kısa kenarından tüm serbestlik dereceleri sınırlanarak ve karşı kısa kenardan çekme yüküne bırakılmıştır. Yapıları sonlu elemanlara bölüm için 8 düğüm sayılı ve ikinci derecen (quadratic) şekilli 3 boyutlu Solid 45 brick eleman tipi seçilmiştir. Malzeme modelleri olarak doğrusal (lineer) elastik (izotropik) modeller tayin edilmiştir. Şekil 5.39'de tabakalardan oluşan katı modelin sonlu elemanlar modeli gösterilmektedir.



Şekil 5.39 Sonlu elemanlar modeli ve sınır şartları

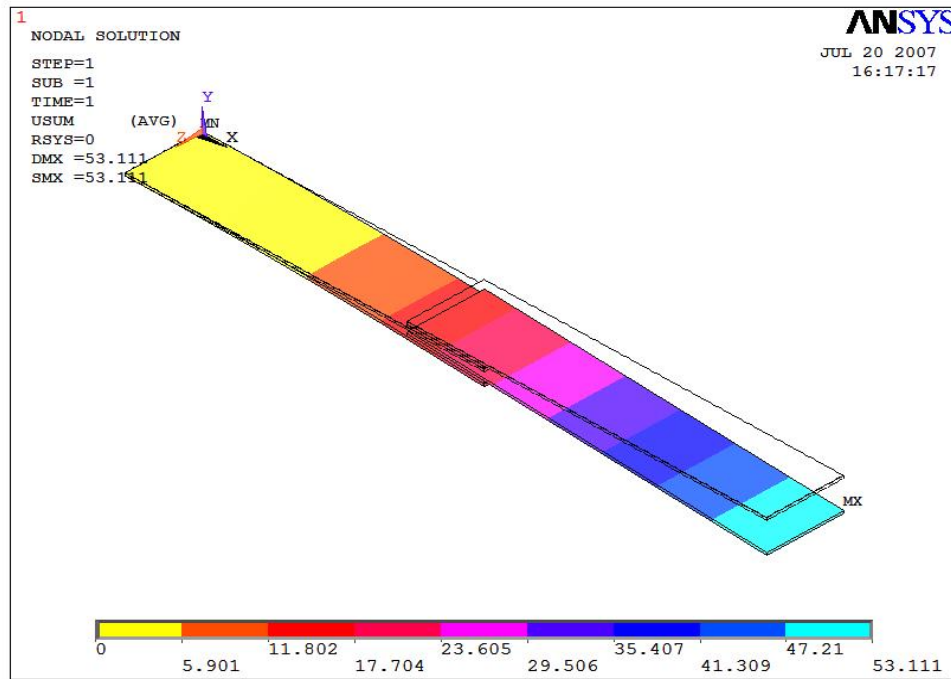
### 5.8.2. 30 mm bindirme uzunluğu kullanılan malzemenin model simülasyonu ve sonlu elemanlar ağı (Mesh)

Yapıştırılmış modeli simüle etmek için ANSYS ticari sonlu elemanlar yazılım programı kullanılmış ve programda çalışma şartları tanımlanmıştır. Programda galvaniz kaplı mikro alaşımlı çelik plakaları birbirlerine yapıştırma işleminde epoksi katmanı kullanılmış ve programda “Glue” özelliği kullanılarak tüm plakalar arasında temas sağlanmıştır. Yapıların modellenmesinde lineer 3 boyutlu katı elementler (SOLID 45) seçilmiş ve modelde 19761 düğüm ve 63578 eleman kullanılmıştır. Üretilen model gerilme, genleme ve deformasyon sonuçlarını almak amacıyla ANSYS paket programı tarafından analiz edilmiştir.. Modelde kullanılan eleman (SOLID 45); plastisite, kıvrılma, kabarma, gerilimle sertleşebilen, büyük ölçüde bel veren ve büyük zorlama davranışını temsil edebilmektedir.

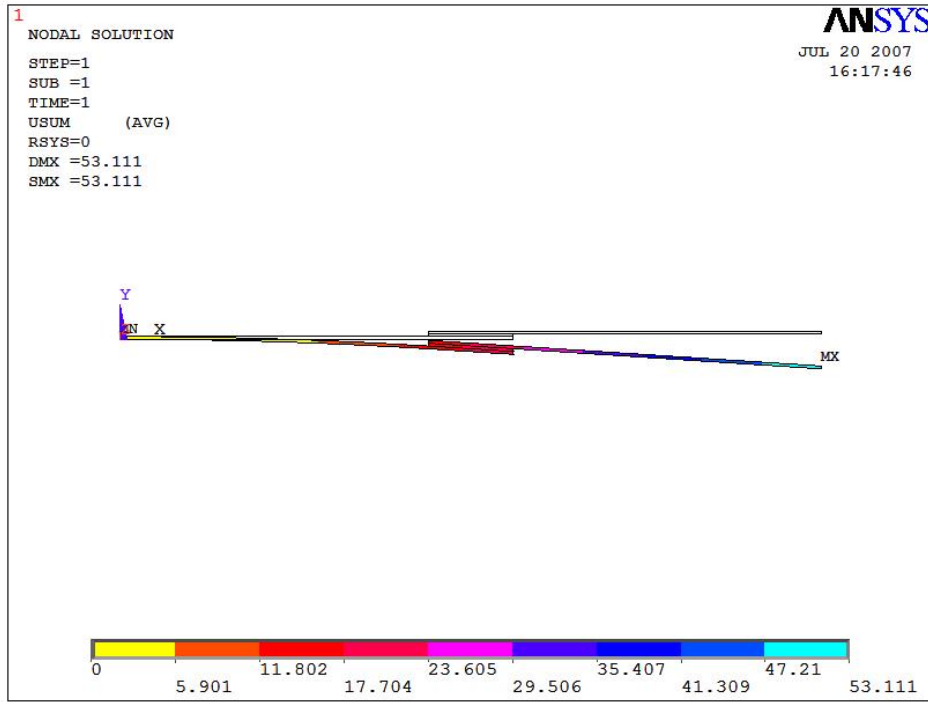
## 5.9. Analiz ve Sonuçlar

### 5.9.1. Çekme analizi

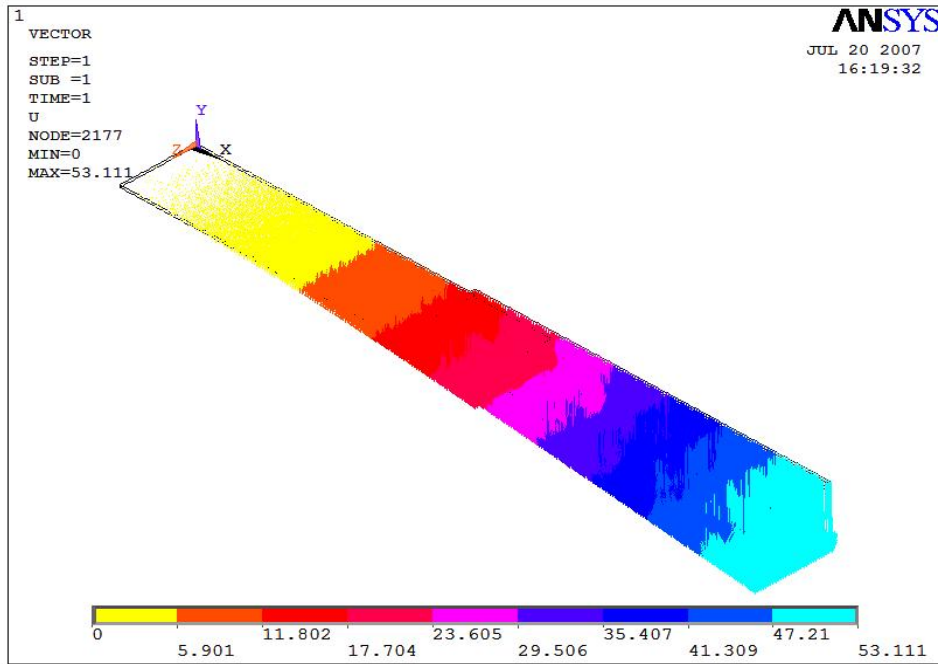
Analizde sınır şartlarına gelindiğinde örnek modelin bir kenarına çekme suretiyle 3000 N yük uygulanmıştır. Bu arada modelin diğer kenarında x, y ve z yönlerinde tüm serbestlik dereceleri tutulmuştur. şekil 5.39’de sonlu elemanlar modelinin sınır şartları gösterilmektedir. şekil 5.39’de ok işareti çekme yüklerinin yönünü göstermektedir. Yapıştırıcı modeli, galvaniz kaplı mikro alaşımlı elik katmanların arasında bulunmaktadır. şekil 5.40’da 3000 N analiz için modelin düğümlerinde oluşan yer değiştirme eğilimi görülmektedir. Bu eğilim gerçek deney davranışıyla benzerlik göstermektedir.



şekil 5.40 30 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan yer değiştirme (perspektif).

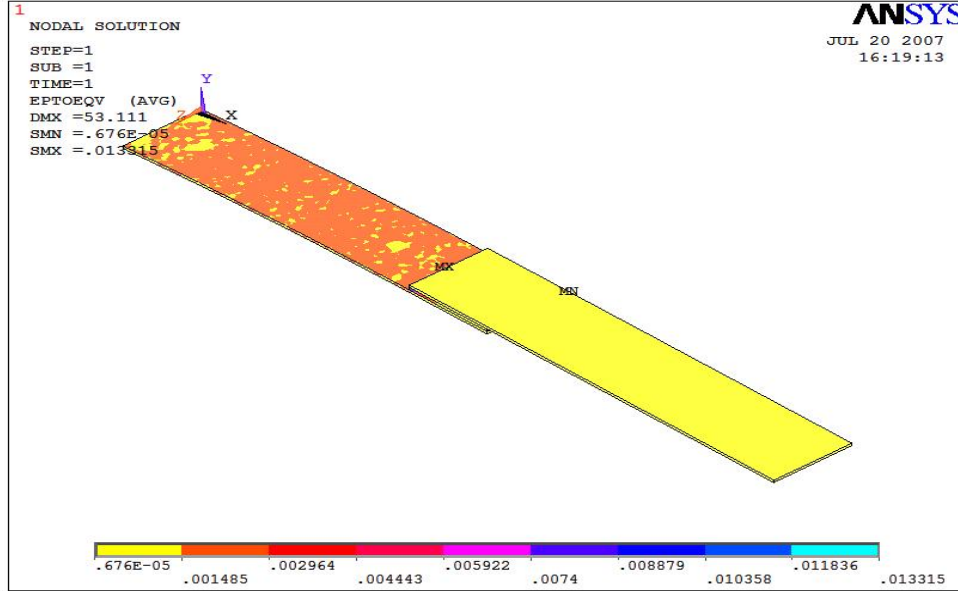


Şekil 5.41 30 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan yer değiştirme eğilimi (mm).

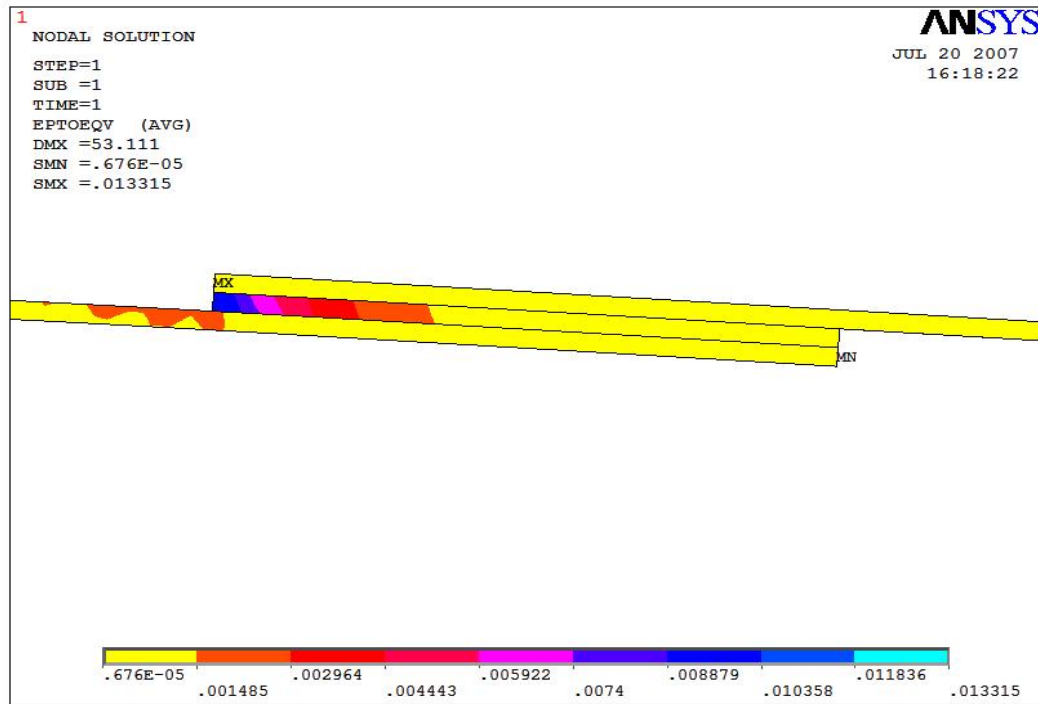


Şekil 5.42 30 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan vektörel yer değiştirme

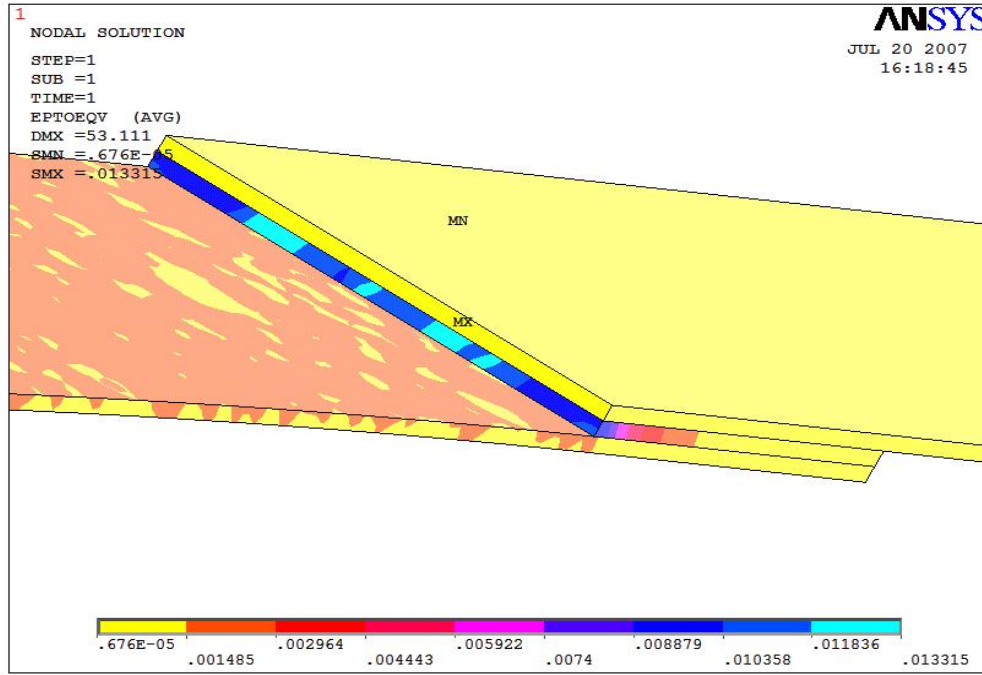
Şekil 5.41, 5.42 ve 5.43'da 3000 N analiz için farklı açılardan genleme sonuçları gösterilmiştir. Sonuçlara göre gerilim konsantrasyon alanı ve maksimum değer gösterilmiştir.



Şekil 5.43 30 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan genleşme davranışı (perspektif)

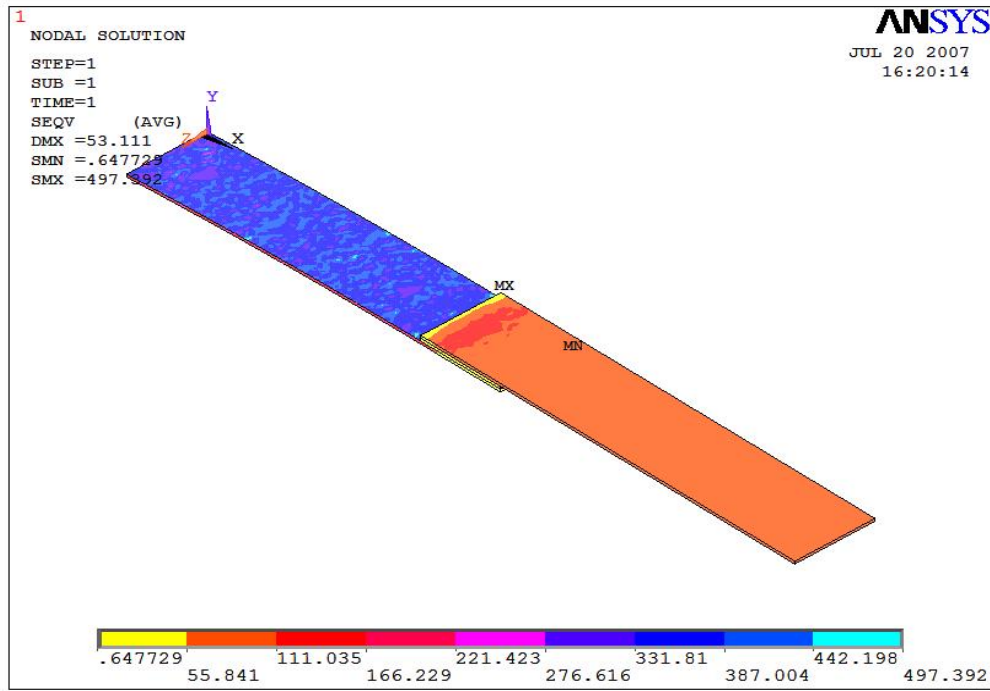


Şekil 5.44 30 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan genleşme davranışı (önden)

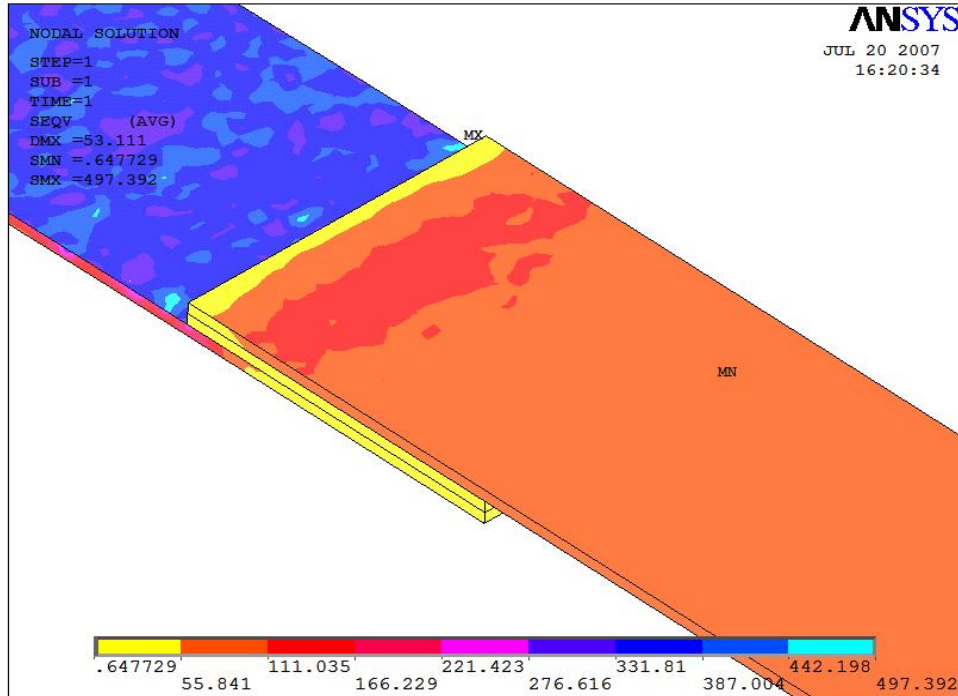


Şekil 5.45 30 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan genleşme (yapıştırıcı bölgesi)

Şekil 5.44, 5.45'de 3000 N analiz için farklı açılardan genleşme sonuçları gösterilmiştir. Sonuçlara göre gerilim konsantrasyon alanı ve maksimum değer gösterilmiştir.

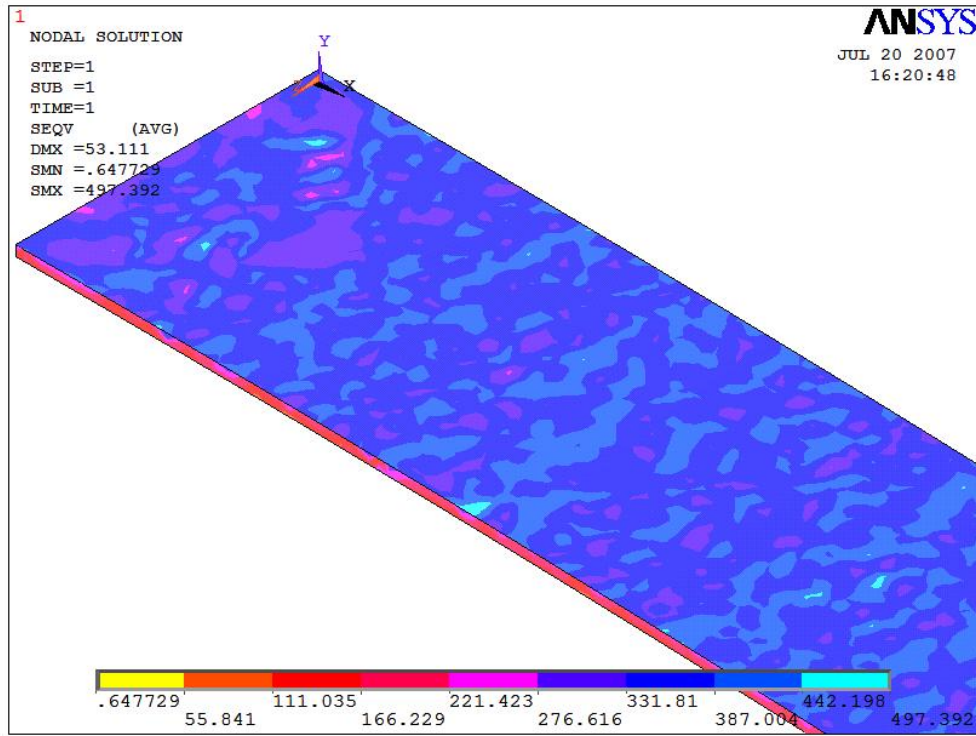


Şekil 5.46 30 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan gerilmeler (perspektif)



Şekil 5.47 30 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan gerilmeler (yapıştırıcı bölgesi)





Şekil 5.48 30 mm 3000 N yük altındaki modelin düğümlerinde oluşan gerilmeler (alt çelik plaka)

## BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 6.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında 15 mm, 20 mm, 30 mm ve 40 mm farklı bindirme uzunluklarında galvaniz kaplı mikro alaşımlı çelik plakaların yapıştırma performansı incelenmiştir. Yapıştırma bağlantılarında TEROSTAT 9120 ve 9220 kodlu yapıştırıcılar kullanılmıştır. Ayrıca bilgisayar destekli sonlu elemanlar programı (ANSYS) ile bu yapıştırma bağlantısının modellenmesi ve analizi yapılmıştır.

Deneysel ve modelleme çalışmaları sonucunda;

- Galvaniz kaplı mikro alaşımlı çelik plakalar, 15 mm, 20 mm, 30 mm ve 40 mm bindirme uzunluklarında iki farklı yapıştırıcı ile yapıştırılmış ve tüm numuneler çekme deneyine maruz bırakılmıştır.
- Bindirme uzunluğu arttıkça yapıştırılmış plakaların mukavemetinde artış gözlenmiştir.
- 40 mm bindirme uzunluğunda yapıştırma ile birleştirilen plakaların mukavemeti en yüksek seviyede çıktığı görülmüştür.
- 15 mm bindirme uzunluğunda yapıştırma ile birleştirilen plakaların mukavemeti en düşük seviyede çıktığı görülmüştür.
- Bindirme mesafesi 15 mm'den 40 mm'ye doğru artarken mukavemet değerlerinde lineer bir artış gözlenmiştir.
- Çekme deneylerinde kopmalar bağlantıların orta bölgelerinde gerçekleşmiştir.
- Çekme deneyleri sonrasında plakaların ortalama 50 mm eğme yönünde yer değiştirdiği görülmüştür.
- Yapıştırıcı kalınlığı olarak tüm birleştirmelerde 1 mm yapıştırıcı kalınlığı kullanılmış ve bağlantılarda yapıştırıcıların homojen bir şekilde birleşme yüzeylerine uygulandığı görülmüştür.
- TEROSTAT 9220 yapıştırıcı ile birleştirilen plakaların mukavemeti TEROSTAT 9120 yapıştırıcısına nazaran daha yüksek çıkmıştır.

- Tüm numunelerin yapıştırma mukavemeti ve performansını değerlendirdiğimizde TEROSTAT 9220 yapıştırıcının kullanıldığı 40 mm bindirme uzunluğunda birleştirilen plakaların en dayanıklı ve mukavemetli bağlantılar olduğu sonucu çıkmıştır.
- Bilgisayar destekli sonlu elemanlar analizinde 30 mm bindirme uzunluğundaki birleştirme modellenmiş ve deneysel çalışmadaki çekme deneyi bilgisayar ortamında yapılmıştır.
- Bilgisayar destekli analizler sonucunda, deneysel çalışmalara benzer şekilde plakaların ortalama 50 mm eğme yönünde yer değiştirdiği saptanmıştır.
- Analizler sonucunda gerilme ve genleme değerleri yapıştırıcı bölgesinde maksimum seviyede olduğu görülmüştür.
- Deneysel çalışmalar ile bilgisayar destekli modelleme çalışmalarında bağlantı performansının incelenmesinde plakalarda paralel davranışlar olduğu görülmüştür.
- Modelleme çalışmaları deneysel çalışmalara fikir vermektedir.
- Yapıştırma ile birleştirme tekniğinin özellikle otomotiv sektöründe kullanılmasında yarar olacağı deneysel çalışmalardaki mukavemet değerlerinden anlaşılmıştır.
- Bu tez çalışmasındaki tüm sonuçlar otomotiv, havacılık ve deniz araçları sektörlerine yapıştırıcı bağlantıların uygulanması konusunda fikir verebilmektedir.
- Bilgisayar modellemesinde bütün bindirme uzunluklarında deneyler yapılmış ve lineer bir değişim gözlenmiştir.

## 6.2. Öneriler

- Farklı bindirme uzunlukları ile yapıştırılmalı bağlantıların mukavemeti ve performansı incelenebilir.
- Farklı yapıştırıcılar ile bağlantıların mukavemeti ve performansı incelenebilir ve karşılaştırılabilir.
- Kimyasal içeriği farklı yapıştırıcılar denenebilir.
- Yapıştırıcı kalınlıklarının değiştirilmesi ile farklı yüklere karşı çekme deneyleri yapılabilir.
- Plaka kalınlıklarının değiştirilmesi ile farklı yüklere karşı çekme deneyleri yapılabilir.
- İçeriği farklı alaşımlı çelik plakalar ile yapıştırma bağlantı analizleri yapılabilir ve galvaniz kaplı mikro-alaşımlı çelik plakaların yapıştırma performansı ile karşılaştırılabilir.
- Farklı paket programlar ile analizler yapılarak sonuçlar incelenebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] COWDREY S., FERGUSON C., LENNOX A.F., MAURO P., NEUMMAYER R., ORME B., MÜLLER M., Loctite Worldwide Design Handbook, Germany, 1998.
- [2] DASTİN, S.J., Joining and Machining Techniques, Handbook of Composites, Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York, 1982.
- [3] OGUR,A., İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Yapıştırılan ve Nokta Kaynağı Yapılan Yüksek Mukavemetli Çeliklerin Kombine Bağlantılarının Ortam Şartlarındaki Davranışları, (1986)
- [4] HAO,M., OSMAN,K., BOOMER,D.R.,Welding Journal, Developments in Characterization Of Resistance Spot Welding Of Alüminum, pp.1s-8s,January (1996).
- [5] IRWING,B., Welding Journal, Auto Body Engineers Pay Serious Attention To The New Welding Technologies, pp.74-75, December (1993).
- [6] ANIK,S., Mühendis ve Makine, Cilt27, Sayı316, Yapıştırma ve Nokta Kaynağının Kombinasyonu, İTÜ Makine Fak., pp.24-30, Mayıs (1986).
- [7] IRWING,B., Welding Journal, Weldbonding Finds New Applications On Automotive Assebbly Lines, pp.41-42, July (1994).
- [8] BAKER, A.A. JONES R.; Bonded repair of aircraft structures Martinus Nijhoff, Dordrecht, Boston Martinus Nijhoff, 1988.
- [9] BAKER A.A., HAWKES G., LUMLEY EJ. Thermal-stress and thermal-fatigue studies. In: Proceedings of the 1978 International Conference on Composite Materials (ICCM2). 1978:649–68.
- [10] BAKER A.A., DAVİS M.J., HAWKES G.A. Repair of fatigue – cracked aircraft structures with advanced fiber composites: residual stress and thermal fatigue studies. In: Proceedings of the 10th Symposium for Structural Fatigue as a Design Factor. 1979:4.3/1–4.3/30.
- [11] ALBAT A.M. Thermal residual stresses in bonded composite repairs on cracked metal structures. Ph.D. Thesis. University of British Columbia,
- [12] GÜNDÜZ S. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Mikro Alaşımli Çelik Saçların ve Kaynak Bağlantılarının Dayanımlarının İncelenmesi 2002.38.03.04 14.800.000

- [13] DJOKIĆ D., JONSTON A., ROGERS A., LEE P., MRAD N.; Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 33, 2, 2002, 277-288.
- [14] BOUIADJRA B., BELHOUARİ M., SEİRER B.; Composite Structures, 56, 4, 2002, 401-406.
- [15] A.W.S., Metals Handbook, Vol:6, Resistance Spot Welding, pp.469-493, (1983).
- [16] ASLANLAR S., ANIK S., OĞUR A. “Galvaniz kaplanmış kromatlı mikrolaşımli çelik saçların elektrik direnç nokta kaynağında kasnak akım zamanının çekme sıyrma dayanımına etkisi” Kaynaklı İmalat Teknolojisi dergisi, SAÜ KATAMER, Yıl 2, Sayı 3, Sayfa 27–31, Adapazarı 2000.
- [17] ÇALIŞKAN M., Modern K/M Obüs Kulesinde Zırh Kalınlığının Bilgisayar Destekli Optimizasyonu, PHd Thesis, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konstrüksiyon Anabilim Dalı, Sakarya, 2002
- [18] ŞENGÜL, M.S., İzotropik Yapıya Sahip Kompozit Malzemedden Yapılmış Kademeli Millerde Burulma Momenti Etkisinde Oluşan Gerilme Dağılımının Sonlu Elemanlar Metoduyla Analizi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mak Müh. Programı, MSc Thesis, Ankara, 1992.
- [19] ECE, Z., Fiber Kompozit Malzemelerde Fiber-Matris Etkileşimlerinin Analitik ve Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mak Müh. Programı, MSc Thesis, Ankara, 2003.
- [20] DUONG A.N., YU J.; International Journal of Solids and Structures, 39, 4, 2002, 1003-1014
- [21] TÜLBENTÇİ K., KALUÇ E., YILMAZ M., Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Modern Çeliklerin Kaynaklanabilirliği
- [22] WANG,P.C, CHISHOLM,S.K., BANAS,G., LAWRENCE,F.V.,Welding Journal, The Role Of Failure Mode, Resistance Spot weld and Adhesive On The Fatigue Behavior Of Weld-bonded Aluminum, pp.41-47, February (1995)
- [23] ANIK,S., Türk Loydu Vakfı Seri Konferanslar 4, Metal Yapıştırma Tekniği ve Uygulamaları, (1989-1990)
- [24] ANIK, S., Alüminyum Alaşımalarının Nokta Kaynağı, İTÜ Makine, pp.98-127, (1960)
- [25] VASUDEVAN,A.K., DOHERTY,R.D., Aluminum Alloys-Contemporary Researc and Applications, part6, pp.171-184; (1989)

## **ÖZGEÇMİŞ**

Tarık Demirgen, 24.10.1980 de Bolu' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Bolu'da tamamladı. 1999 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi TEF Metal Eğitimi bölümünü 2004 yılında bitirdi. 2004 yılında Sakarya Üniversitesi Bilgi İşlem Dairesinde uzman olarak göreve başladı. Halen bu kurumda sistem yöneticisi olarak çalışmaktadır.