



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

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YAPIŞTIRILMIŞ VE PİM BAĞLANTISI
UYGULANMIŞ METAL LEVHALARDAKİ
GERİLMELERİN ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hakan PALANCIOĞLU

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Faruk ŞEN

ŞUBAT 2011

AKSARAY

Her hakkı saklıdır



T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YAPIŞTIRILMIŞ VE PİM BAĞLANTISI
UYGULANMIŞ METAL LEVHALARDAKİ
GERİLMELERİN ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hakan PALANCIOĞLU

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Faruk ŞEN

ŞUBAT 2011

AKSARAY

Her hakkı saklıdır

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

Hakan PALANCIOĞLU tarafından hazırlanan “Yapıştırılmış ve Pim Bağlantısı Uygulanmış Metal Levhalardaki Gerilmelerin Analizi” başlıklı Lisansüstü tez çalışması, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 04.02.2011 tarih ve 2011/07-5 sayılı kararı ile oluşturulan aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Faruk ŞEN (Aksaray Üniversitesi)

İmza

1. Jüri : Doç. Dr. Kemal ALDAŞ (Aksaray Üniversitesi)

2. Jüri : : Yrd. Doç. Dr. M. Serdar GENÇ (Erciyes Üniversitesi)

Tezin Savunulduğu Tarih: 24.02.2011

ONAY

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun tarih ve sayılı kararı ile Hakan PALANCIOĞLU’nun Makine Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans/Doktora** derecesi alması onaylanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof.Dr. Ayşegül YILDIZ

ÖNSÖZ

Endüstride yapıştırıcıların kullanılması yeni olmakla birlikte, meydana gelen fiziksel ve kimyasal gelişmeler sonucunda gün geçtikçe önemi artmaktadır. Günümüzde değişik endüstri kuruluşlarında yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Yapıştırıcı olarak kullanılan ilk malzemenin tarihi M.Ö. 4000 yıllarına kadar uzanmaktadır.

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

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'na Yüksek Lisans Tezi olarak sunulan “Yapıştırılmış ve Pim Bağlantısı Uygulanmış Metal Levhalardaki Gerilmelerin Analizi” konulu çalışma ile sızdırmaz ve korozyon tehlikesi olmayan, mukavemet özellikleri iyileştirilmiş bağlantılar elde etmek hedeflenmektedir. Çalışma Giriş, Kaynak Özetleri, Malzeme ve Yöntem, Bulgular ve Sonuçlar olmak üzere beş bölümden oluşmaktadır.

TEŞEKKÜR

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'na yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada başta danışmanım Yrd. Doç. Dr. Faruk ŞEN olmak üzere emeği geçen herkese sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖNSÖZ	i
TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iii
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Yapıştırma Bağlantıları	2
1.1.1. Yapıştırıcılar	5
1.1.1.1. Adhezyon.....	6
1.1.1.2. Kohezyon.....	7
1.1.2. Yapıştırıcı çeşitleri.....	8
1.1.2.1. Kimyasal durumlarına göre yapıştırıcılar.....	9
1.1.2.1.1. Epoksiler.....	9
1.1.2.1.2. Poliüretan.....	10
1.1.2.1.3. Akrilikler.....	10
1.1.2.1.4. Siyanoakrilikler.....	10
1.1.2.1.5. Anerobikler.....	10
1.1.2.1.6. Silikonlar.....	11
1.1.2.1.7. Fenolikler.....	11
1.1.2.2. Fiziksel durumuna göre yapıştırıcılar.....	11
1.1.2.2.1. Sıcak Eriyikler.....	11
1.1.2.2.2. Kauçuk Yapıştırıcılar.....	11
1.1.2.2.3. PVA'lar (Polyvinyl Acetates)	12
1.2. Pim Bağlantıları.....	13
1.3. Karma Bağlantılar.....	14
2. KAYNAK ÖZETLERİ	16
3. MALZEME VE YÖNTEM	28
3.1. Problemin Tanımı.....	28
3.2. Problemde Kullanılan Malzeme Özellikleri.....	29
3.3. Sonlu Elemanlar Modeli.....	30

4. BULGULAR	36
4.1. Yapıştırma Bağlantısı Bulguları.....	36
4.2. Pim Bağlantısı Bulguları.....	47
4.3. Yapıştırıcılı ve Pimli Karma Bağlantısı Bulguları.....	58
4.4. Sonuçların Üç Boyutlu Modeller Üzerinde Karşılaştırılması.....	70
5. SONUÇLAR	74
KAYNAKLAR	76
ÖZGEÇMİŞ	82

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YAPIŞTIRILMIŞ VE PİM BAĞLANTISI UYGULANMIŞ METAL LEVHALARDAKİ GERİLMELERİN ANALİZİ

Hakan PALANCIOĞLU

T.C.

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Faruk ŞEN

Mekanik birleştirmeler, yapıştırma bağlantıları ve bunların beraber kullanılmaları ile oluşturulan karma bağlantılar, özellikle son zamanlarda endüstriyel malzemelerin birleştirilmelerinde kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, pim bağlantılı, yapıştırma bağlantılı ve hem pim hem de yapıştırırmalı alüminyum levhaların gerilme analizinin yapılmasıdır. Bu farklı bağlantılar önce sadece çekme yükü etkisinde analiz edilmiştir, daha sonra çekme yüküyle birlikte ısı yükü beraber uygulanarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz için sonlu elemanlar metodu (FEM) kullanılmıştır. Bu amaçla, hem modelleme hem de analiz sürecinde ANSYS 10.0 sonlu elemanlar yazılımından yararlanılmıştır.

2011, 82 Sayfa

Anahtar kelimeler; Yapıştırma bağlantı, Pim bağlantısı, Karma bağlantı, Isıl gerilme, FEM, ANSYS

Bilim Kodu: 914

ABSTRACT

Master of Science Thesis

ANALYSIS OF STRESSES IN ADHESIVELY BONDED AND PINNED METAL SHEETS

Hakan PALANCIOĞLU

T.R.

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

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Faruk ŞEN

Recently, mechanical joints, adhesive joints and hybrid joints combined adhesive and pinned joints are used to connect of industrial materials specially. The aim of this study was to carry out a stress analysis of pinned joint, adhesively bonded joint and a hybrid joint designed with both pin and adhesive for aluminum plates. These different joints were analyzed firstly under tensile loading and then analyses were performed under both tensile and thermal loadings. The finite element method (FEM) was used for analysis. For this purpose, ANSYS 10.0 finite element software was utilized during both modeling and solution processes.

2011, 82 Pages

Key Words: Adhesive joints, Pinned joints, Hybrid joints, Thermal stres, FEM, ANSYS.

Science Code: 914

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Uygulamada kullanılan genel yapıştırıcı uygulama usulleri.....	5
Şekil 1.2.	Yapışma bölgesindeki adhezyon ve kohezyon kuvvetleri.....	7
Şekil 3.1.	Sadece yapıştırıcı bağlantısının şematik görünümü.....	28
Şekil 3.2.	Sadece pim bağlantısının şematik görünümü.....	28
Şekil 3.3.	Yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantının şematik görünümü.	28
Şekil 3.4.	Yapıştırma bağlantısının yarım modeli.....	30
Şekil 3.5.	Pim bağlantısının yarım modeli.....	30
Şekil 3.6.	Yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantının yarım modeli.....	31
Şekil 3.7.	ANSYS SOLID 45 eleman tipi.....	32
Şekil 3.8.	ANSYS TARGE170 ve CONTA175 eleman tipleri.....	32
Şekil 3.9.	Yapıştırma bağlantısı sonlu elemanlar ağ yapısı.....	33
Şekil 3.10.	Pim bağlantısı sonlu elemanlar ağ yapısı.....	33
Şekil 3.11.	Yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantının sonlu elemanlar ağ yapısı.....	34
Şekil 3.12.	Pim bağlantısı modelinde kontak yüzey tanımlanması.....	35
Şekil 3.13.	Yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantı kontak yüzey tanımlanması.....	35
Şekil 4.1.	Yapıştırıcı bağlantısı modelinde çözümlerin alındığı doğrultular.....	37
Şekil 4.2.	Yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_x gerilme dağılımı	37
Şekil 4.3.	Yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartlı σ_x gerilme dağılımı.....	38
Şekil 4.4.	Yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_y gerilme dağılımı	39
Şekil 4.5.	Yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartlı σ_y gerilme dağılımı.....	39
Şekil 4.6.	Yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_z gerilme dağılımı	40
Şekil 4.7.	Yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartlı σ_z gerilme dağılımı.....	41
Şekil 4.8.	Yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın τ_{xy} gerilme dağılımı.....	42
Şekil 4.9.	Yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartlı τ_{xy} gerilme dağılımı.....	42
Şekil 4.10.	Yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın τ_{yz} gerilme dağılımı	43
Şekil 4.11.	Yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartlı τ_{yz} gerilme dağılımı.....	44
Şekil 4.12.	Yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın τ_{xz} gerilme dağılımı	44

Şekil 4.13.	Yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartlı τ_{xz} gerilme dağılımı.....	45
Şekil 4.14.	Yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın von Mises gerilme dağılımı.....	46
Şekil 4.15.	Yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartlı von Mises gerilme dağılımı...	47
Şekil 4.16.	Pim bağlantısı modelinde çözümlerin alındığı doğrultular.....	48
Şekil 4.17.	Pim bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_x gerilme dağılımı.....	48
Şekil 4.18.	Pim bağlantısında ısı sınır şartlı σ_x gerilme dağılımı.....	49
Şekil 4.19.	Pim bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_y gerilme dağılımı.....	50
Şekil 4.20.	Pim bağlantısında ısı sınır şartlı σ_y gerilme dağılımı.....	50
Şekil 4.21.	Pim bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_z gerilme dağılımı.....	51
Şekil 4.22.	Pim bağlantısında ısı sınır şartlı σ_z gerilme dağılımı.....	52
Şekil 4.23.	Pim bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın τ_{xy} gerilme dağılımı.....	53
Şekil 4.24.	Pim bağlantısında ısı sınır şartlı τ_{xy} gerilme dağılımı.....	53
Şekil 4.25.	Pim bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın τ_{yz} gerilme dağılımı.....	54
Şekil 4.26.	Pim bağlantısında ısı sınır şartlı τ_{yz} gerilme dağılımı.....	55
Şekil 4.27.	Pim bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın τ_{xz} gerilme dağılımı.....	55
Şekil 4.28.	Pim bağlantısında ısı sınır şartlı τ_{xz} gerilme dağılımı.....	56
Şekil 4.29.	Pim bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın von Mises gerilme dağılımı.....	57
Şekil 4.30.	Pim bağlantısında ısı sınır şartlı von Mises gerilme dağılımı.....	57
Şekil 4.31.	Yapıştırıcılı ve pimli karma bağlantı modelinde grafiklerin çizildiği doğrultular.....	58
Şekil 4.32.	Yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_x gerilme dağılımı.....	59
Şekil 4.33.	Yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartlı σ_x gerilme dağılımı.....	60
Şekil 4.34.	Yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_y gerilme dağılımı.....	60
Şekil 4.35.	Yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartlı σ_y gerilme dağılımı.....	61
Şekil 4.36.	Yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_z gerilme dağılımı.....	62
Şekil 4.37.	Yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartlı σ_z gerilme dağılımı.....	63

Şekil 4.38. Yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın τ_{xy} gerilme dağılımı.....	64
Şekil 4.39. Yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartlı τ_{xy} gerilme dağılımı.....	64
Şekil 4.40. Yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın τ_{yz} gerilme dağılımı.....	65
Şekil 4.41. Yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartlı τ_{yz} gerilme dağılımı.....	66
Şekil 4.42. Yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın τ_{xz} gerilme dağılımı.....	67
Şekil 4.43. Yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartlı τ_{xz} gerilme dağılımı.....	68
Şekil 4.44. Yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın von Mises gerilme dağılımı.....	68
Şekil 4.45. Yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartlı von Mises gerilme dağılımı.....	69
Şekil 4.46. Üç boyutlu yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_x gerilme dağılımı.....	70
Şekil 4.47. Üç boyutlu yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartlı σ_x gerilme dağılımı	70
Şekil 4.48. Üç boyutlu pim bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_x gerilme dağılımı.....	70
Şekil 4.49. Üç boyutlu pim bağlantısında ısı sınır şartlı σ_x gerilme dağılımı.....	71
Şekil 4.50. Üç boyutlu yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_x gerilme dağılımı.....	71
Şekil 4.51. Üç boyutlu yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartlı σ_x gerilme dağılımı.....	71
Şekil 4.52. Üç boyutlu yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın von Mises gerilme dağılımı.....	72
Şekil 4.53. Üç boyutlu yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartlı von Mises gerilme dağılımı.....	72
Şekil 4.54. Üç boyutlu pim bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın von Mises gerilme dağılımı.....	72
Şekil 4.55. Üç boyutlu pim bağlantısında ısı sınır şartlı von Mises gerilme dağılımı.....	73

Şekil 4.56. Üç boyutlu yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın von Mises gerilme dağılımı.....	73
Şekil 4.57. Üç boyutlu yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartlı von Mises gerilme dağılımı.....	73

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Önemli yapıştırıcılar.....	12
Çizelge 3.1. Malzemelerin mekanik özellikleri.....	29

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

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

BÖLÜM I

1. GİRİŞ

Endüstride yapıştırıcıların kullanılması yeni olmakla birlikte, meydana gelen fiziksel ve kimyasal gelişmeler sonucunda gün geçtikçe önemi artmaktadır. Günümüzde değişik endüstri kuruluşlarında yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Yapıştırıcı olarak kullanılan ilk malzemenin tarihi M.Ö. 4000 yıllarına kadar uzanmaktadır. Arkeologların yaptığı çalışmalar ile ilkel kabilelerin kırılan çömlekleri, ağaç öz suyundan yaptıkları yapıştırıcı reçine ile birleştirdikleri ortaya çıkmıştır. Ayrıca yapılan diğer arkeolojik araştırmalar, M.Ö.1500–1000 yıllarında, ahşap yapıştırma işlemlerinde yapıştırıcıların kullanıldığını ortaya koymuştur. 1700’lü yıllarda yapıştırıcıların yaygın olarak kullanılmasıyla birlikte yapıştırıcıların tarihinde hızlı değişiklikler olmuştur. Bu yıllarda hayvan derisinden yapıştırıcı üreten ilk ticari fabrika Hollanda’da kurulmuştur. 1750 yılında, İngiltere’de balıktan elde edilmiş hayvansal yapıştırıcının patenti alınmıştır. 1900’den beri bitkisel yapıştırıcılar, kâğıt gibi gözenekli malzemelerin birleştirilmesinde kullanılmasına rağmen, elli yıl öncesine kadar hayvansal esaslı olanlar, büyük öneme sahiptiler. Kasein (yumurta proteini temelli) yapıştırıcılar, I. Dünya Savaşı’nda ahşap uçak konstrüksiyonları için kullanılmış, ancak bu tip yapıştırıcıların neme karşı düşük mukavemet ve dirence sahip oldukları görülmüştür. Endüstride yapıştırıcıların kullanımında hızlı artış, doğal ürünlerde sınırlama tanımayan ve metalleri diğer metal olmayan gözeneksiz malzemelere bağlayabilen sentetik reçinelerin gelişmesinden kaynaklanmaktadır. En önemli ilk sentetik reçine, kerestelerin birleştirilmesinde kullanılan fenol formaldehittir. II. Dünya Savaşı esnasında uçaklarda yapısal metallerin bağlanması epoksi reçinelerin ve fenoliklerin kullanılmasıyla kendine önemli bir yer edinmiştir. Bu yer edinme sayesinde, gün geçtikçe dayanım ve uzama kabiliyeti artarak yorulma dayanımları da iyileştirilmiştir. Aynı zamanda titreşimi sönümleyen ve esneklik özelliklerinde iyileşmeler sağlanarak, her geçen gün daha iyi yapıştırıcılar ve yapışma bağlantıları elde edilmiştir (Şekercioğlu, 2001).

İkinci Dünya Savaşından günümüze kadar, kimya sanayinde büyük gelişmeler meydana gelmiştir. Bu gelişmelere paralel olarak, plastiklerde aynı hızda gelişmeler olmuş, değişik tür ve çeşitte plastikler üretilmiş, demir, seramik, cam, ağaç, kâğıt, deri ve tekstil gibi malzemelerin yerine plastikler kullanılmaya başlamıştır. Plastiklerin yapışkanlık özellikleri dikkate alınarak, yapıştırıcılar üretilmiş ve bu konuda da büyük

ilerlemeler sağlanmıştır (Kaya, 2004). Günümüz dünyasında sistemlerin enerji tüketimini azaltmak için birçok sebep vardır. Yakıtta tasarrufa gitmenin başlıca yollarından bir tanesi sistemlerin ağırlığını azaltmaktır. Sistem elemanlarını birleştirmek için kullanılan geleneksel bağlantı yöntemlerinin yerine daha hafif bir bağlantı şekli olan yapıştırıcıların kullanımı sistemleri daha hafif hale getirmiştir (Solmaz, 2008)

Mekanik birleştirmeler ve yapıştırma bağlantıları, malzemelerin birleştirilmelerinde eskiden beri sıklıkla kullanılan yöntemlerdendir. Günümüzde hibrid (karma) diye tabir edilen hem mekanik hem de yapıştırma bağlantıları kombine olarak kullanılmaktadır. Karma bağlantı teknikleri halen günümüzde tamir ve hasarın yayılmasını engelleme amaçlı olarak da kullanılmaktadır (Kelly, 2004). Metalik parçaların birleştirilmesi için kullanılan ana yöntemler olan mekanik ve yapıştırmalı bağlama yöntemleridir. Mekanik bağlantılarda yapıları meydana getiren bileşenler arasındaki yük transferi birleştirme elemanları nedeniyle oluşan sürtünme sayesinde gerçekleşmektedir. Temel olarak yük iletim elemanları (pim, cıvata vb.), mekanik ve yapıştırmalı bağlantılarda bağlantı doğrultusu boyunca kesme gerilmesine maruz kalmaktadır, fakat gerçek gerilme dağılımı daha karmaşıktır (Baker, 1997).

1.1. Yapıştırma Bağlantıları

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

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

Yapıştırıcı ile malzeme birbirleriyle temas edince, yapıştırma bağlantısı sistemi doğar. Bu sistem, yapıştırıcıyı, malzemeyi, malzemeye uygulanan uygun yüzey işlemini ve bu

üç bileşen arasında oluşan ara yüzey/ara fazı kapsamaktadır. Yapıştırma bağlantılarının dayanıklılığını değerlendirmek için, bu bileşenlerin dış yüklere, mekanik ya da çevresel faktörlere karşı nasıl tepki vereceğinin iyi anlaşılması gerekir. Yapıştırma bağlantıların performansı ve dayanıklılığı, bunların dışında malzeme ve yapıştırıcı özelliklerine, malzeme ve yapıştırıcı arasındaki fiziksel-kimyasal iç etkileşime, bağlantı şartlarına, bağlantı geometrisine, bağlantıdaki artık gerilmelere ve yapıştırma hattındaki hatalara bağlıdır. İyi bir yapışma ve optimum bağlantı performansı verecek yapıştırıcı-malzeme kombinasyonu için yukarıdaki faktörlerin hesaba katılması gerekir (Parvatareddy, 1997).

Mekanik birleştirmeler ile yapıştırma bağlantıları arasındaki karşılaştırmalı genellemeler aşağıda belirtilmiştir (Dastin, 1982);

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

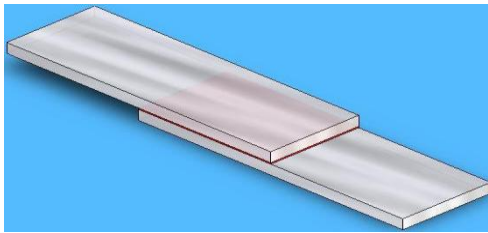
Yapıştırmalı bağlantıların dezavantajlarını da şu şekilde sıralayabiliriz (Dastin, 1982);

- Yapıştırıcıların bazı tipleri için yüksek sıcaklık derecelerine direnç zayıftır.

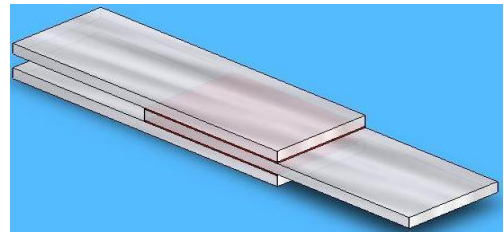
- Yapıştırırmalı bağlantı dizaynının, yükleri minimize edecek şekilde tasarlanması gerekmektedir.
- Yapıştırırmalı birleştirmelerde bağlantılara zarar vermeden, birleşmenin kontrolü tamamen zordur.
- Yapıştırma ile birleştirilmiş bir yapı kalıcıdır ve bağlantının herhangi bir nedenle sökülmesi düşünülemez çünkü yapı deforme olur.
- Yapıştırma yöntemi ile birleştirilmiş yapıların mükemmelliği, elemanların kaynak gibi tam birleşmesine bağlıdır.
- Yapıştırırmalı bağlantıların dayanıklılık ve ömür testleri, maliyeti yüksek laboratuvarlarda hızlandırılmış sistemlerle yapılır.

Yapısal mühendislik tasarımlarının esası, yükleri ve dolayısıyla uygulamada karşılaşılabilecek mümkün olan gerilmeleri tahmin edebilme yeteneğine bağlıdır. Yükleme sistemi genellikle fonksiyonlarla tanımlanır, ancak bir mühendisin becerisi mevcut olan en iyi malzemeyi uygun ve etkili bir çözüme ulaştıracak tasarım teknikleri ile birleştirilmelidir.

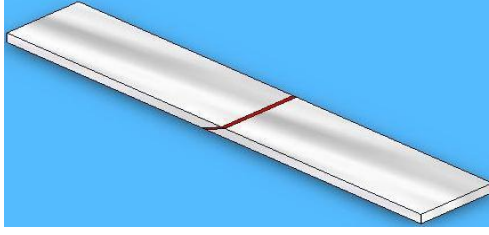
Şekil 1.1’de günümüz mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmakta olan bazı tipik yapıştırma bağlantı usulleri gösterilmektedir (Şen, 2001, Engin, 1997, Adams, 1986, Palancıoğlu vd., 2008). Uygulamalarda, oluşturulan herhangi bir bağlantı verilen yük grubunu taşıyacak şekilde tasarlanmalıdır. Yapıştırma uygulanan malzemelerin çoğu çekme ile yüklenmektedir. Yapıştırıcı tabakası üzerindeki ardışık yükleme, bağlantı geometrisinin bir fonksiyonudur.



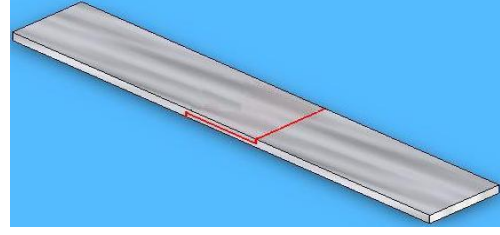
a) Tek bindirmeli bağlantı



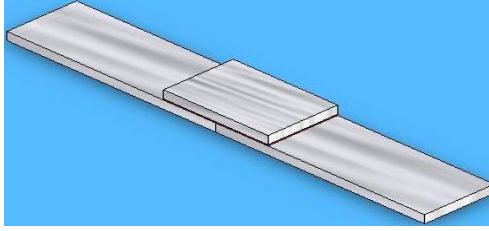
b) Çift bindirmeli bağlantı



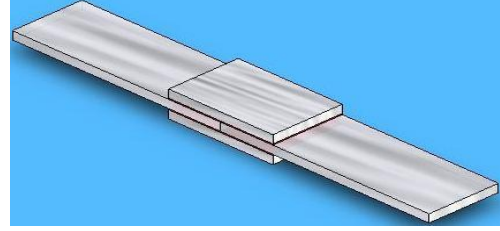
c) Eğik birleştirme



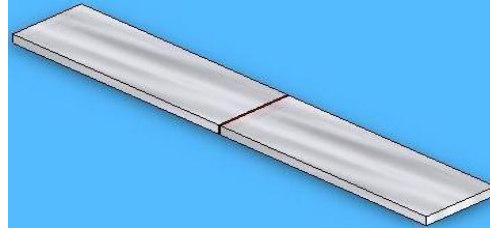
d) Kademeli birleştirme



e) Örtülü alın birleştirme



f) Çift örtülü alın birleştirme



g) Alın birleştirme

Şekil 1.1. Uygulamada kullanılan genel yapıştırıcı uygulama usulleri
(Şen, 2001, Engin, 1997, Adams, 1986, Palancıoğlu vd., 2008)

1.1.1. Yapıştırıcılar

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

Yapıştırıcıların en büyük fonksiyonu parçaları bir araya getirerek birleştirmektir. Geleneksel mekanik birleştirme yöntemlerinden daha uygun bir gerilme dağılımı sağlayarak yük iletimi sağlamak mümkündür. Bununla birlikte yapıştırıcılar daha düşük maliyet ve ağırlıkta bağlantının oluşturulmasına ek olarak mekanik birleştirme yöntemlerine eşdeğer veya daha fazla bağlantı dayanımı sağlayabilmektedir.

Pürüzsüz bir yüzey yapıştırıcılarla birleştirme yönteminin avantajlarından biridir. Diğer birleştirme tekniklerinde meydana gelen düzensizlikler söz konusu değildir. Bu hem

işlevsellik hem de görünüş açısından önemli bir özelliktir. Uzay sanayi, dış süreksizliklerin minimize edilmesi ve sıcaklıktan korunmak için böyle yapıları gerektirir. Bu tür yapılara, helikopter rotor bıçakları örnek olarak verilebilir.

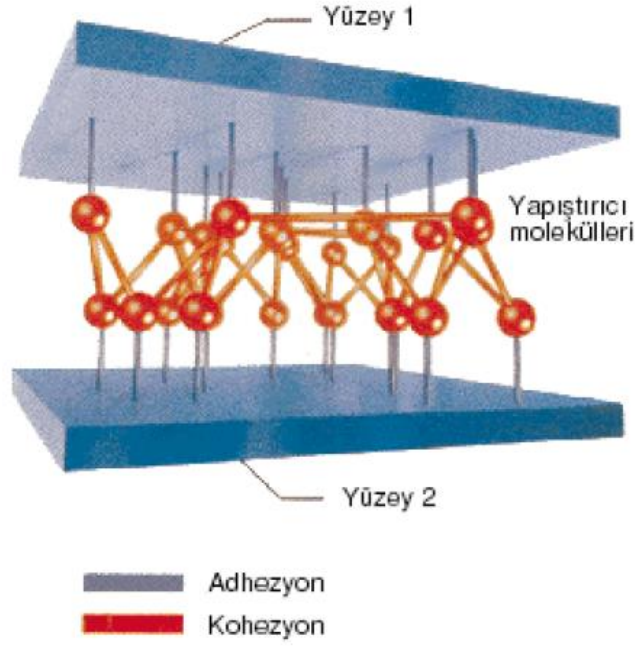
Metal, seramik, plastik, cam ve odun gibi farklı tipteki malzemeler çeşitli birleşimlerle, uygun yüzey işlemi kullanılarak kolaylıkla birçok yapıştırıcıyla birleştirilebilir. Esnek bir yapıştırıcı kullanarak termal genleşme özellikleri farklı malzemeler birleştirilebilir ve bununla birlikte daha rijit bir birleştirme sistemi kullanarak hasar önlenir.

Mekanik sönümlenme yapıştırıcıların kullanımıyla bir yapıda gerçekleştirilebilir. Darbe ve tekrarlı yüklemelere karşı olan dayanımlarından dolayı yapıştırıcıların kullanımıyla yorulma dayanımı artırılabilir. Uygun bir şekilde tasarlanmış bağlantıda, genellikle yapıştırılan malzemeler yapıştırıcıdan önce yorulma gösterirler.

Yapışma olayı, yapıştırıcı ile yapıştırılan malzeme arasında meydana gelen adhezyon ve yapıştırıcının kendi içinde meydana gelen kohezyon kuvvetleri neticesinde oluşan fiziksel ve kimyasal bir olaydır. Yapışmanın doğasını daha iyi anlayabilmek için adhezyon ve kohezyon kuvvetlerini daha iyi anlamak gerekir.

1.1.1.1. 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. Şekil 1.2 yapıştırma bölgesinde meydana gelen kuvvetleri göstermektedir (Loctite, 1988).



Şekil 1.2. Yapışma bölgesindeki adhezyon ve kohezyon kuvvetleri (Loctite, 1988)

1.1.1.2. Kohezyon

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

Van der Waals Bağı: Küçük yada büyük bir molekül için düşünüldüğünde, molekülün farklı yüklerine tesadüf eden pozitif ve negatif kutuplar bulunabilir. Böylece her molekülden ibaret küçük mıknatıslar ortaya çıkar. Burada aynen mıknatıslarda olduğu gibi, çeşitli dipoller elektromanyetik kuvvetlerle birbirlerine kenetlenmektedir. Bu arada oluşan bağlar Van der Waals bağı olarak adlandırılmaktadır. Bu oluşan Van der Waals bağları diğer bağlar kadar kuvvetli değildir (Loctite, 1988).

Kovalent Bağ: Atomlar arasında elektron köprüleri kurularak kenetlenmeleri durumunda oluşur. Buradaki kuvvetler, ortak kullanılan elektronların kendi eksenleri etrafında birbirlerine zıt yönde dönmesinden dolayı ortaya çıkan elektromanyetik kuvvetlerdir. Zıt yönde dönen elektronların oluşturduğu elektromanyetik alanlar, birbirlerini bir mıknatısın artı ve eksi kutupları gibi çekerler (Loctite, 1988).

Bilim adamları yapışma mekanizmasını açıklamak için yaklaşık kırk teori ortaya atmışlardır. Bu teoriler, moleküler, mikroskobik ve makroskobik seviyelerdeki kavramları esas almışlardır. Bu teorilerin hiç birisi tek başına yapışma mekanizmasının bütün yönlerini açıklayamaz. Fakat bağlantının bir özelliğini açıklamak için bir ya da birkaç teoriden faydalanılabilir (Adin, 2007).

1.1.2. Yapıştırıcı çeşitleri

Yapıştırıcı formülasyonlarında kullanılan maddelerin çokluğu ve çeşitliliği değişik özelliklere sahip yapıştırıcıların formüle edilmesini sağlamakta ve ayrıca yapıştırıcıların sınıflandırılmasını zorlaştırmaktadır. Buna rağmen, yapıştırıcının seçimini ve kullanımını kolaylaştırmak maksadıyla çeşitli sınıflandırmalar yapılmaktadır. En basit sınıflandırma hali aşağıda gösterildiği gibidir;

- a. Kimyasal durumlarına göre
- b. Fiziksel durumlarına göre
- c. Kullanıldıkları yere göre

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

Yapıştırıcı ile ilgili kaynaklarda içerdikleri ana elemanın kimyasal türüne göre yapılan sınıflandırmalardır (Kayacan, 1988). Burada özellikle en çok kullanılan yapısal yapıştırıcılar, ana elemanın kimyasal durumuna ve fiziksel durumuna göre şöyle sınıflandırılabilir;

1.1.2.1. Kimyasal durumlarına göre yapıştırıcılar

1.1.2.1.1. Epoksiler

Epoksi reçineler, büyük çoğunlukta bütün uygulamalar için kullanılabilecek oldukça yüksek mukavemetli bir yapıştırıcıdır. Reçine ve katılaştırıcı şeklinde iki bileşen halinde satılır ve bağlantıda kullanılmadan önce karıştırılması gerekir. Oda sıcaklığında kürleşme süresi, birkaç saatlik periyottan birkaç günlük periyoda kadar olan çok geniş türleri bulunmaktadır. Daha mukavemetli ticari epoksilerin kürleşme sıcaklıkları 200°C'ye kadar çıkmaktadır. Kürleşen yapıştırıcı gevrek olup nemli ortamlara karşı hassastır ve uzun çevresel etkiler altında mukavemet kaybına uğramaktadır. Kürleşme esnasında yapıştırıcıda bir miktar daralma oluşur ve bu da istenmeyen artık gerilmelerin oluşmasına neden olur. Epoksi bağlantılar 140°C'yi aşan sıcaklıklarda bozulur. Epoksinin metal ve plastik yüzeylere yapışması zayıftır ve bundan dolayı bağlantıda oluşan hasar, koheziv olmaktan ziyade adheziftir, yani yapıştırıcı ile esas malzeme ara yüzeyinde oluşmaktadır. Bununla beraber, epoksi ile yapıştırılmış ahşap yapılarda hasar, bağlantı yerinden çok ahşabın kendi içerisinde meydana gelmektedir (Temiz, 2003).

Epoksi yapıştırıcıların avantajları şunlardır;

- Kopma mukavemetleri yüksektir.
- Elyaf yapılarda yüksek bağ mukavemeti sağlarlar.
- Yüksek aşınma direncine sahiptirler.
- Uçucu değildirler ve kimyasal dirençleri yüksektir.
- Düşük ve yüksek sıcaklarda sertleşebilme özelliğine sahiptirler.

Epoksi yapıştırıcıların dezavantajları ise şunlardır;

- Polyesterle karıştırıldığında pahalıdırlar.
- Polyestere oranla yüksek viskoziteye daha az uygundur.

Epoksiler avantajlarının çokluğu ve tüm elyaf malzemelerde kullanılabilmeye nedeniyle, havacılık sanayide yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Genellikle karbon elyaflarla birlikte kullanılırlar (Loctite, 2005).

1.1.2.1.2. Poliüretan

Poliüretanlar tek bileşen halinde de satılmasına karşın, çoğunlukla reçine ve katalizör olmak üzere iki bileşen halinde satılmaktadır. Epoksi reçinelerle karşılaştırıldığında çalışma ömrü çok daha sınırlı olup nemli ortamlara karşı daha hassastır. Oda sıcaklığında veya ısıtılarak kürleştirilebilir. Kürleşme esnasında boyut değişiminden kaynaklanan artık gerilmeler pek oluşmaz. Poliüretan yapıştırıcılar, genellikle düşük sıcaklıklarda, epoksi reçinelerden daha iyi mukavemet ve tokluğa sahiptirler. İyi katılık ve elastik özellikler gösterir. Bununla beraber toksik özelliklere sahip olduğu için bileşimlerine elle dokunulduğu zaman tehlikeli olabilirler.

1.1.2.1.3. Akrilikler

Akrilikler, hem metaller hem de plastikler için iyi soyulma mukavemetine sahiptirler. 110°C ile 120°C arasında elastik özelliklerini değiştirmeden korurlar. Bu yapıştırıcılar rutubetli ortamlara karşı dirençlidir ve nemden dolayı mukavemetlerinde bozulma söz konusu değildir. Bununla beraber bu yapıştırıcılar yanıcı olup yüksek sıcaklıklarda zamanla bozulurlar.

1.1.2.1.4. Siyanoakrilikler

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

1.1.2.1.5. Anerobikler

Bu yapıştırıcılar, ortamdan oksijen uzaklaştırılarak kürleşirler. Bunun için yapıştırma işleminden hemen sonra yapıştırma bölgesi, havanın girişi engellenecek şekilde kaplanır. Anerobik yapıştırıcılar, iyi rutubet ve çözelti direncine sahip olup 150°C'ye kadar metal ve termosetlerin yapıştırılmalarında kullanılmaktadır.

1.1.2.1.6. Silikonlar

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

1.1.2.1.7. Fenolikler

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

1.1.2.2. Fiziksel durumuna göre yapıştırıcılar

Kimyasal reaksiyon ile sertleşen yapıştırıcılara nazaran, fiziksel değişim ile sertleşen yapıştırıcılar, daha düşük yapışma mukavemetine sahiptirler. Bu yapıştırıcılara, yapısal olmayan yapıştırıcılar da denilir. Endüstride oldukça yaygın kullanım alanına sahip fiziksel değişim ile sertleşen yapıştırıcı tipleri şöyledir:

1.1.2.2.1. Sıcak Eriyikler

Sıcak eriyikler polimer esaslıdır. Hafif yüklere maruz kalacak şekilde tasarlanmış yapıları, hızlıca birleştirmek için kullanılırlar.

1.1.2.2.2. Kauçuk Yapıştırıcılar

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

1.1.2.2.3. PVA’lar (Polyvinyl Acetates)

Ağaç ve karton gibi gözenekli malzemelerin yapışması için uygundur. Endüstride oldukça geniş kullanım alanına sahiptirler (Solmaz, 2008).

Çeşitli amaçlar için kullanılan yapıştırıcıların esasını genel olarak “sunî reçineler” teşkil eder. Bunların içinde kimyasal bakımdan fenol, epoksi, akril reçineleri, doymamış poliester reçineleri en fazla kullanılanlardır (Gediktaş, 1972). Bunlar, piyasada imalatçı firmaların koydukları özel isimlerle tanınırlar. Çizelge 1.1’de önemli yapıştırıcılar gösterilmektedir.

Çizelge 1.1. Önemli yapıştırıcılar (Gediktaş, 1972)

Kimyasal Yapı	Ticari İsmi	Genel Özellikler ve Kullanıldığı Yer
Epoksi reçinesi	Epilox Araldit Epoxy	İki bileşenli, uzun sertleşme süresi Madenlerin, duroplastların, keramiklerin yapıştırılması için
Poliester reçinesi	Akemi Mökodur Vestopal	İki bileşenli, uzun sertleşme süresi Madenlerin, duroplastların, seramiklerin yapıştırılması için
Fenol reçinesi	Redux Plastaphenal	Bir veya iki bileşenli, tatbiki zor Madenlerin yapıştırılması için
Akril reçinesi	Agomet	Çabuk sertleşir, kullanılması kolay Madenlerin ve plastiklerin yapıştırılması için
Polisosiyyamat	Desmodur- Desmocoll	İki bileşenli Madenlerin ve plastiklerin yapıştırılması için
Siyonakrilat- Monomer	Eastman 910 Tiox Kl	Tek bileşenli, çok çabuk sertleşir Madenlerin, plastiklerin ve elastomerlerin yapıştırılması için
Epoksi+Thiokol	Polisulfid- Likit-polimer	İki bileşenli Çeşitli malzemelerin yapıştırılması ve sızdırmazlık için
Epoksi+Poliamid	Versamid Leifa-Met	İki bileşenli Madenlerin ve plastiklerin yapıştırılması için
Seramik karışımları	Ceramic UJ 1067	Yüksek uygulama sıcaklığı Madenlerin yapıştırılması için

Yapıştırıcı tekniğinin kullanımı, tasarımı ve imal usullerini basitleştirdiğinden maliyette kazanç sağlar. Yapıştırıcı kullanımı kalitede ve kullanımda iyileşmeler ağırlıkta kazanç, daha az birleştirme elemanı kullanımı, iş üretkenliğinde bir artışta sağlayabilmektedir.

Yapıştırıcı ile birleştirme tekniğinin sınırlı olarak uygulanmasına neden olan mahzurlarından bazıları ise; bağlantı dayanımının işleme şartlarına bağlı olması, soyulma tarzında kopmalardan sakınmak için özel bağlantı tasarımı gerektirmesi ve özellikle ısı gibi olağanüstü çalışma şartlarına yapıştırıcı direncinin az olmasıdır. Ayrıca yapıştırma işlemi, beraberinde birçok karmaşık işlemi getirir. Birleştirmeden önce bileşenlerin hazırlanması, ısı ve basınç gibi özel çevre şartlarının sağlanması, özel yapıştırma yan gereçleri gerektirmesi bağlantı maliyetini arttırır (Apalak ve diğ., 1995) (Kılık, 1987).

Ancak yapıştırıcıların çok kötü çevre şartlarına dayanabilmesi için uğraşılmaktadır. Bu çevre şartları, çok yüksek ve düşük sıcaklıklar, yüksek vakum, ultra viyole ve X-ışınları, aktif akışkanların ve yakıtların yapıştırıcıya aksi tesirleri, sürekli yüksek oranlarda yükleme, uzun çalışma döneminde yaşlanma olarak sıralanabilir (Lee, Neville, 1957).

1.2. Pim Bağlantıları

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

Pimlerle çakıldıkları delik arasında toleransta çok az bir boşluk vardır. Hatta bazı hallerde geçiş toleransı uygulanır, küçük bir çekiçle çakılırlar ve yuvalarına ön gerilmeli olarak yerleştirilirler (Babalık, 2009).

1.3. Karma Bağlantılar

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

Yapıştırma-nokta kaynağında iki teknolojinin mevcut olduğu bilinmektedir. Bunlardan birincisinde saclara önce nokta kaynağı yapılır. Daha sonra düşük viskoziteli yapıştırıcı enjektör iğnesine benzeyen özel bir alet ile aralığa püskürtülür ve yapıştırıcı kapiler kuvvet tesiriyle aralığa yayılır. İkinci usulde ise birleştirilecek saclara önce yapıştırıcı sürülerek yapıştırılır ve sonra da nokta kaynağı uygulanır (Anık, 1986).

Her iki usulde de, yüksek mukavemetli kaynak noktaları ve yapıştırma bağlantısının sağlanması için uygun bir yüzey hazırlamaya ihtiyaç vardır. Birleştiricilerin yüzeylerinin pisliklerden arındırılması, her iki usulde de, bilhassa yapıştırma bağlantısından istenen özellikler yönünden, çok önemlidir. Örneğin, çelik saçların nokta kaynağı işleminden önce paslanmayı önleyici yağlarla yağlanması, nokta kaynağına olumsuz bir etki yapmaz. Soğuk haddelenmiş saçlarda, belirli bölgelerin kaba bir şekilde pastan arındırılması yeterlidir. Eğer imalatı normal dışı bir tozlanma ya da rutubet söz konusu değilse, bir dereceye kadar yüzeyi hazırlamadan da kaynağına geçilebilir. Ancak alüminyum ve alaşımlarında meydana gelen oksit tabakasının kimyasal ve mekanik usullerle temizlenmesi gerekir. Yüzeyler temizlendikten sonra, belirli süreler içerisinde hemen kaynağına geçilmezse, yeniden oksit tabakası meydana gelir (Şen, 2001).

Yapıştırıcının iyi bir yapışma mukavemeti sağlayabilmesi için, parça yüzeylerinin temiz olması gerekir. Yüzeyde bulunan çok az miktardaki bir yağ, toz ve gres tabakası ile rutubet adhezyonu imkânsız hale sokar. Bu bakımdan, yapıştırma-nokta kaynağı, yapıştırma işleminden sonra, hazırlanan kısımlar iyice korunmalı ve mümkün mertebe kısa süre zarfında kaynak işlemine geçilmelidir. Bu açıdan bakılırsa, işletmelerde parçaların yüzey hazırlanmasına tabi tutulmasına ihtiyaç göstermeyen yapıştırıcıların

geliştirilmesi gerekmektedir. Böyle yapıştırıcılar geliştirilmiştir ve bunlarla iyi bir yapışma dayanımına da erişilmektedir. Poliviniklorür kökenli yapıştırıcılar bu bakımdan iyi sonuçlar vermektedir (Şen, 2001).

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

Yapıştırma - nokta kaynağı karma bağlantısına benzer şekilde, yapıştırma - cıvata ve yapıştırma - pim karma bağlantıları da kullanılmaktadır. Bu usullerde genellikle levhalar önce yapıştırılmakta ve daha sonra mekanik birleştiriciler ile birleştirilmektedir. Bu karma bağlantılar ile yapıştırıcı bağlantısının ve mekanik bağlantıların tek başlarına kullanıldıklarındaki dezavantajlardan sakınmak ve her iki bağlantının avantajlarından birlikte yararlanmak amaçlanmaktadır.

BÖLÜM II

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yapıştırıcı ASTM tarafından yüzey teması ile malzemeleri bir arada tutabilen malzeme olarak tanımlanmıştır (ASTM D907-74 1974). Yapıştırıcı ile birleştirme son yıllarda birçok uygulamada perçin, kaynak ve mekanik bağlama gibi alışılmış metotlara tamamlayıcı olabileceğini veya yerine kullanılabileceğini göstermiş olan malzemeleri birleştirme tekniğidir. Uçak konstrüksiyonlarında ve ahşap yapılarda yapıştırılmış elemanların dayanımı ve gerilme değişimlerine olan etkileri yıllardır araştırılmaktadır. Yapıştırıcı kullanımı makine imalat sanayinde de artmaktadır. Yapıştırıcılar, cıvata bağlantılarının ve mil göbek bağlantılarının emniyete alınması, rulmanlı yatakların montaj işlemlerinde, akış borularının sızdırmazlık işlemlerinde, motor bloğu-kapak sızdırmazlıklarının sağlanmasında sıvı conta olarak döküm parçalarının yapıştırılmasında, boşlukların doldurulmasında ve değişik tamirat işlemlerinde büyük ölçüde kullanılmaktadır. Buna rağmen, cıvata, kaynak ve perçin kullanımı hala otomotiv sanayinde, deniz araçlarında ve metallerin birleştirilmesini gerektiren birçok kitle üretim ürünlerinde önde gelmektedir (Shields vd. 1975).

Yapışan malzeme ile yapıştırıcı ara yüzeyindeki süreksiz yapı ve ortamın geometrisinin karmaşıklığı, yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların analizini güçleştirir. Bu nedenle yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantılar birçok bilim insanı ve araştırmacının bu alana yönelmesine neden olmuştur. Dolayısıyla bu alanda yapılan teorik ve deneysel çalışmalar çok fazladır. Yapıştırıcıların metal yüzeylerine yapışma ve hasar mekanizmaları yaygın olarak çalışılmıştır. Bununla birlikte yapıştırıcı birleştirmeli bağlantıların analizi, yoğun teknik bir çalışma alanına sahiptir. Çalışmalardaki temel amaç, bağlantılar tarafından taşınan yükün şiddetinin tespit edilmesidir. Yapıştırıcı birleştirmeli bağlantılar, dayanıklı yapısal yapıştırıcıların son zamanlardaki gelişmelerine bağlı olarak bu bağlantıların mukavemetindeki tatmin edici iyileşme ile havacılık, uzay, otomobil, yarı iletken gibi sanayinin birçok alanında yaygın olarak kullanılmaktadır (Adin, 2007).

Yapıştırıcı birleştirmeli bağlantıların analitik analizinin ilk girişimleri Volkersen (1938) tarafından yapılmıştır. Volkersen çalışmasında, tek bindirme bağlantısında yapıştırıcı tabakasındaki kayma gerilmesi dağılımını, yapıştırılan iki malzemenin çok direngen

olduğunu ve çekme yükü altında deforme olduğunu, yüklemeden dolayı eğilmediğini kabul ederek analiz etmiştir. Ayrıca, yapıştırıcının lineer elastik bir katı olduğu ve yalnızca kayma gerilmelerinden dolayı deforme olduğunu kabul etmiştir. Volkersen, yapıştırıcı tabakasındaki kayma gerilmelerinin bindirme hattının her iki ucunda en yüksek değeri aldığını göstermiştir.

Goland ve Reissner (1944) tarafından geliştirilen klasik yapıştırma modelinde ise genel olarak yapıştırıcının gerilme analizi çalışılmıştır. Goland ve Reissner bağlantının eksantrik yüklenmesinin neticesinde yapıştırıcı tabakasında oluşan çekme gerilmelerini dikkate alarak tek bindirme bağlantısını çalışmışlardır. Bu teoride, yapıştırıcı kalınlığı boyunca kayma ve soyulma gerilmesi sabit kabul edilmiş boyca deformasyon ve yapıştırıcının poisson oranı ihmal edilmiştir. Goland ve Reissner de yapıştırıcının ve yapıştırılan malzemelerin lineer elastik bir malzeme gibi davrandıklarını kabul etmişler ve bir eğilme moment faktörü κ tarif ederek aşağıdaki iki farklı durumu göz önüne almışlardır:

- Yapıştırıcı tabakası oldukça incedir ve deformasyonu çok küçük öneme sahip olacak kadar yapıştırılan malzemelerin direngenliğine denk bir direngenliğe sahiptir. Ayrıca çekme kuvveti yapıştırılan malzemelerin dik kesitlerinde düzenli bir şekilde dağılmıştır.
- Yapıştırıcı tabakası incedir ve deformasyonu bağlantıda gerilme dağılımına önemli miktarda bir katkıda bulunur. Yapıştırılan malzemeler silindirik plakalar olarak davranabilir ve yapıştırıcı ise yapıştırılan iki malzeme arasına yerleştirilmiş sonsuz küçük bir çekme/basma yaylar sistemi olarak kabul edilebilir.

Birinci durum, ağaç ve plastik malzemelerin yapıştırılmasında pratikte öneme sahip iken, ikinci durum yapıştırılan metal malzemelerin analizinde oldukça önemlidir. Goland ve Reissner son diferansiyel denklemlerini düzlem şekil değiştirme kabulü ile çözerek uygulanan yükten dolayı bağlantı uçlarındaki yükü ve bağlantıdaki gerilmeleri tespit etmişlerdir. Ayrıca plakaların eğilmesinden dolayı bağlanmış elemanların çökmesinin etkisiyle tek bindirme bağlantısının yapıştırılan malzemelerin soyulmasına sebep olan normal gerilmeleri de göz önüne almışlardır.

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

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

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

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

Adams ve Peppiat (1974), yapıştırıcı bağlantısının genişliği boyunca önemli gerilmelerin mevcut olduğunu tespit etmiş ve yapıştırılan malzemeler ile yapıştırıcıdaki kayma gerilmelerinin uygulanan yük doğrultusuna dik yönde de mevcut olduğunu ve yapıştırılan malzemelerde bu gerilmelere Poisson oranının sebep olduğunu ifade etmişlerdir.

Chang ve Muki (1974) de yapıştırıcı kullanılan bir bindirme bağlantısının modellenmesinde çekme yükünün statik olarak iletilmesi ile Muki ve Stenberg'in (1968) çalışmasını göz önüne alarak uğraşmış ve yapıştırıcı tabakasında ortaya çıkan normal ve kayma gerilmeleri ve yapıştırıcı tabakasının uçlarındaki gerilme yoğunluğu faktörleri için nümerik neticeler sunmuştur. Ayrıca yapıştırıcı hattının uçlarında yapıştırılan malzemelerin geometrisinin etkilerinin çok önemli olduğunu göstermiştir.

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

Renton ve Vinton (1977), yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantılarda daha gerçekçi sonuçların alınabilmesi için kayma ve normal gerilmeleri dikkate alarak modellenmesi gerektiğini açıklayarak, bu konudaki ilk çalışmayı yapmışlardır. Çalışmalarında düzlem içi yüklere maruz tek bindirme bağlantısı tarzında birbirine birleştirilmiş iki tabakalı kompozit plakanın lineer elastik davranışını belirlemek için bir analiz metodu sunmuşlardır. Bu analizde şu sonuçlara varmışlardır;

- Yapıştırıcıdaki normal gerilmeler, bindirme bölgesinin uçlarında en yüksek değere ulaşır. Bağlantılar simetrik olmadığı için eğilme oluşur ve düzlem içi yükleme ile artar.
- Aynı tür malzemeler yapıştırılınca kayma ve çekme etkisiyle birleşir. Bağlantı uçlarında yüksek gerilmeler oluşur. Bu gerilmeleri azaltmak için daha az direngen bir yapıştırıcı kullanmak gerekir.
- Yapıştırılan malzemelerin yük kaldırma kabiliyetinin arttırılması kopmanın yapıştırıcıda meydana gelmesine sebep olacaktır. Aksi takdirde yapıştırıcıda kopma beklenmez.

- Bindirme boyu arttırılırsa (bağlantının geri kalan kısmının toplam boyu sabit olması şartıyla) yapıştırıcıda oluşan kayma ve normal gerilmeleri azalacaktır. Ancak belirli bir bindirme boyundan sonra bu etki ortadan kalkacaktır.

Ojalvo ve Eidinoff (1978), yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek bindirme bağlantılarındaki gerilme dağılımında yapıştırıcı kalınlığının etkisini araştırmışlardır. Kayma gerilmesi denklemlerinde bazı katsayıları düzenleyerek yapıştırıcıda oluşan soyulma gerilmesi için diferansiyel denklemde ve sınır şartlarında tamamen yeni terimler elde etmişlerdir. Yapıştırıcı kalınlığı ne kadar ince olursa olsun, yapıştırıcı kalınlığı boyunca kayma gerilmesi dağılımının tahmin edilebilir olduğunu belirtmişlerdir. Kayma gerilmesinin yapıştırıcı kalınlığı boyunca değişimine ilaveten, kayma gerilmelerinin yapıştırılan malzeme ve yapıştırıcı ara yüzeyinin iki uç noktasında en yüksek değere ulaştığı ortaya konulmuştur.

Delale ve arkadaşları (1980), yapıştırıcıyı lineer olmayan özelliklere sahip bir malzeme kabul ederek yapıştırılan malzemenin kalınlığının sabit ve yapıştırma bölgesinin yanal boyutlara göre daha küçük olduğu kabullerini yaparak, iki farklı ortotropik malzemenin yapıştırıcı ile birleştirilmiş yapıları, genelleştirilmiş düzlem şekil değiştirme yaklaşımıyla analiz etmişlerdir.

Sawyer ve Cooper (1981), uygulanan düzlem içi kuvvetin tesir hattı ve yapıştırıcı hattı arasındaki açıyı azaltabilecek şekilde önceden sekilendirilmesinin yapıştırılan malzemelerin tek bindirme bağlantısındaki yük iletimine katkısını incelemişlerdir. Yük uygulanınca yapıştırılan malzeme deforme olduğu için eğilme momentinin oluşması ve momentin uygulanan kuvvete bağımlı olması nedeniyle de problemin geometrik olarak lineer olmayan bir özelliğe sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Eğilme momenti altında lineer çözümünden lineer olmayan davranışa doğru yükü arttırarak çözüm yapmışlardır. Bindirme bölgesinin köşe noktasında yapıştırılan malzemedeki bileşke momentin azaldığını ve yapıştırıcıda daha düzenli kayma gerilmelerinin ortaya çıktığını gözlemlemişlerdir.

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

Aivazzadeh ve arkadaşları (1987), değişik tip sonlu elemanlar kullanarak yapıştırıcı ile malzemelerin birleştirildiği bir bağlantının karşılaştırmalı analizini sunmuşlardır. Bir çift bindirme bağlantısını düzlem gerilme problemi kabul ederek;

- Her bir düğüm noktasında iki yer değiştirme bileşeni olmak kaydıyla sekiz serbestlik dereceli klasik dört düğüm noktalı karışık tam elemanı,
- Her bir düğüm noktasında iki yer değiştirme bileşeni, üç gerilme bileşeni olmak kaydıyla yirmi serbestlik dereceli klasik dört düğüm noktalı karışık tam elemanı,
- Ara yüzey elemanları için düğüm noktaları oluşturmayı,
- Eleman ağının sıklığına bağlı olarak ara yüzeydeki kayma ve normal gerilmelerinin uyuşmalarını,
- Yapıştırıcı ortasındaki bağlantı bölgesi boyunca kayma ve normal gerilmelerinin karşılaştırılmalarını,
- Ara yüzeye yakın yapıştırıcı kısmında kayma ve boylamasına gerilmelerin karşılaştırılması bakımından test etmişlerdir.

Adams (1989) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada bindirme bağlantıları için klasik lineer çözümler tartışılmış ve sonlu elemanlar yönteminin kullanımıyla yapıştırma bağlantılarının analizinin yapılabileceği ileri sürülmüştür. Bu çalışma neticesinde yeni bir model geliştirilerek kompozit malzemeler için yeni tasarım şekilleri önerilmiştir.

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

Kaya (1991), sonlu elemanlar yöntemi kullanarak çekme kuvveti altında tek ve çift yapıştırıcı ile birleştirilmiş bindirmelerde gerilme dağılımlarını araştırmıştır. Çalışmasında, gerilme dağılımı üzerine farklı parametrelerin etkilerini bulmak için ilk olarak yapıştırıcı kalınlığı dikkate alınmış, ikinci olarak ise benzer ve farklı yapışan malzemeler için yapıştırıcı kalınlığı dikkate alınmamıştır. Model statik olarak ele alınmış ve daha sonra çalıştığı dinamik çalışmaların temelini biçimlendirmiştir. Apalak (1995) tarafından yapılan bir çalışmada, düz bindirme bağlantılarından farklı bir bağlantı şekli olan T-tipi bağlantıların, sonlu eleman metodu kullanılarak analiz ve tasarımları gerçekleştirilmiştir.

Kodakoğlu (1996), yapıştırıcıların genel özellikleri ve çekme gerilmesine maruz yapışma birleşmesinin analitik ve nümerik olarak incelenmesi konusunda çalışmıştır. Engin (1997), yapıştırıcı ile birleştirilmiş çift bindirmeli ankastre bağlantıların sonlu elemanlar metodu ile geometrik bakımdan lineer ve lineer olmayan analizini yapmıştır. İlk olarak seçilen bağlantının lineer elastik analizini yapmıştır. İkinci olarak, aynı yükleme şartlarında bağlantının lineer olmayan analizini yapmıştır. Analiz sonucunda yatay plaka serbest ucuna uygulanan çekme kuvveti nedeniyle bağlantıda lineersizliklerin olduğu gözlemlenmiştir. Yapıştırıcı uçlarında ve yatay plakada oluşan yer değiştirme, gerilme ve şekil değiştirmelerde lineersizlik gözlemlenmiştir.

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

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

Chan ve Vedhagiri (2001) tamirat için yapıştırıcı, cıvata ve yapıştırıcı ile cıvata bağlantısının her ikisini bir arada kullandıkları bir çalışmalarında başlangıç olarak

tabakalardaki yük dağılımını göz önüne aldıkları karbon fiber takviyeli kompozit bir malzemeyi basit şerit olarak birleştirmişlerdir. Çalışma neticesinde karışık bağlantılarda tüm yükün yapıştırıcı tarafından transfer edildiğini bulmuşlardır.

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

Şekercioğlu (2001) yaptığı çalışmada, silindirik yapıştırma bağlantılarının dinamik yükler altındaki davranışlarının incelenmesi konusunda çalışmıştır. Çalışma sonucunda, yapıştırma boşluğunun artışıyla bağlantı mukavemetinde önemli azalmaların, yapıştırma boşluğunun azalmasıyla bağlantı mukavemetinde kayda değer artışların olduğu, aynı zamanda yapıştırma bağlantılarında yapıştırılan yüzeylerin yüzey pürüzlülüğünün önemli bir etken olduğu ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Apalak ve Güneş (2002), büyük yer değiştirmelerin etkisini dikkate alarak yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantısında yapıştırıcı ve yapıştırılan malzemelerin ısı özelliklerindeki uyumsuzluktan dolayı oluşan ısı gerilmeleri, sonlu eleman yöntemiyle incelemişlerdir. Yaptıkları detaylı analizlerin sonucunda, bağlantıdaki en kritik bölgenin yapıştırıcı-yapıştırılan malzeme ara yüzeylerinin serbest uçları olduğunu, alt ve üst yapıştırılan malzeme yüzeylerinde büyük ısı gerilmelerin oluştuğunu ifade etmişlerdir.

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

Apalak ve arkadaşları (2003), silindirik tek tesirli bindirme bağlantısı üzerinde sonlu elemanlar yöntemiyle yaptıkları diğer bir çalışmada, yapıştırıcı tabakasının serbest

uçlarında ciddi gerilme yığılmaları ve bunun sonucu olarak silindirik tek tesirli bindirme bağlantısında dikkate değer deformasyonların oluştuğunu göstermişler. Aynı zamanda bindirme uzunluğundaki artışın, yapıştırıcı tabakasının en yüksek gerilme değerlerinde düşüşe sebep olduğunu bildirmişlerdir. Aydın (2003) yaptığı çalışmada, yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantısının mekanik özelliklerinin deneysel ve teorik incelenmesi konusunu çalışmıştır.

Yang ve diğ. (2003), değişken kayma yüküne maruz kalan yapıştırıcılı yüzeylerin kapalı formda gerilme analizini sonlu eleman metodu kullanılarak yapmıştır. Özel ve arkadaşları (2004) çalışmalarında, iki boyutlu sonlu elamanlar analizini kullanarak, biri sert diğeri yumuşak iki yapıştırıcı ve sertleştirilmiş çelik yapışan malzemeden oluşan birbirlerinden çok farklı mekanik özelliklere sahip eğilme momentine maruz bir basit bindirme bağlantısının elasto-plastik gerilme analizini incelemişlerdir. Basit bindirme bağlantısının performansı üzerine geometrik değişkenlerin etkilerini tespit edebilmek için dört farklı yapışan malzeme kalınlığı ve her bir yapıştırıcı için dört bindirme uzunluğu kullanmışlardır. Elde ettikleri analiz sonuçlarını doğrulamak için sonlu elamanlar analiz sonuçları ile deneysel sonuçları karşılaştırmışlar ve yapışan malzeme kalınlığının bağlantı mukavemeti üzerine her iki yapıştırıcı bağlantısı içinde önemli etkileri olduğunu gözlemlemişlerdir. İlave olarak, şekil değiştirme kabiliyeti yüksek olan yapıştırıcı ile birleştirilmiş basit bindirme bağlantısı tarafından taşınan yükün artan bindime mesafesi ile arttığını kaydetmişlerdir.

Kelly (2005), karma (yapıştırıcı+cıvata) bağlantılı kompozit basit bindirme bağlantılarında yük transferi konusunda bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada, karma kompozit basit bindirme bağlantılarındaki yük dağılımı, cıvata deliği teması ve non-lineer malzeme davranışını içeren 3-boyutlu bir sonlu elemanlar modeli kullanımı sayesinde tespit edilmiş ve cıvata ile transfer edilen yük üzerine konuyla ilgili bağlantı tasarım parametrelerinin etkileri sonlu elamanlar çalışmasıyla araştırılmıştır.

Ceylan (2005) yaptığı çalışmada, değişik yüklemelere maruz, fiber takviyeli kompozit malzemelerin çeşitli (cıvata bağlantılı, yapıştırma bağlantılı ve hem cıvatalı hem de yapıştırılmalı) bindirme bağlantılarındaki gerilme durumlarının, yapıştırıcı cinsi ve kalınlığı değiştirilerek ayrı ayrı sonlu elemanlar metodu kullanarak nümerik çözümler oluşturmuştur.

Colombi ve Poggi (2006), yapıştırıcı ile takviye edilmiş cıvata bağlantılarında oluşan zararın ortadan kalkması hedeflenmiş ve bunu kesinleştirmek amacı ile sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Etkili olan kuvvetlerin hangi bölgeleri etkilediği sonlu elemanlar metodu kullanılarak incelenmiştir. Karşılaştırılan iki tür yapıştırıcıdan, birinin gevrek diğerinin ise daha kararlı bir yapı sergilediği görülmüştür. Bu durumlar göz önüne alındığında, yapıştırıcılarda hataların en aza inebileceği sonucuna varılmıştır.

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

Tın (2006) yaptığı çalışmada, farklı malzemelerden imal edilmiş levhaların yapıştırıcılar ile birleştirilmesinde meydana gelen gerilmeler sonlu elemanlar metodu ile incelemiştir. Analizlerde, alüminyum, çelik ve bakır malzemeler kullanmıştır. Ayrıca, analizlerde iki boyutlu FRANC 2D programı kullanıp, gerilme kriteri olarak eş değer (von Mises) gerilme durumu göz önüne almıştır. Yapılan analizlerde, yapıştırma ile birleştirmenin mukavemeti; levha açısına, levha malzemesine, yapıştırıcı kalınlığına ve elastisite modülüne bağlı olduğu sonucuna varmıştır

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

Çalık (2008) tarafından yapılan çalışmada, birleşmede yapıştırıcı kullanımının avantajları, yapışma ile birleşmenin dezavantajları incelenmiştir. Tek tesirli bindirme yapıştırma bağlantısının analitik gerilme analizi ve köşeleri yuvarlatılmış yapıştırıcı bindirme bağlantısında sonlu elemanlar gerilme analizi yapılmıştır. Bu çalışmada

yapıştırma oluŖan gerilmeye; yapıştırılan levha kalınlıklarının, yapıştırıcı kalınlığının, yapıştırıcı ve yapıştırılan levhaların elastik modüllerinin etkidiğı görölmüştür.

Solmaz (2008) yaptığı çalışmada, farklı bindirme uzunluklarında ve farklı uç açılarında biri yüksek diğeri düşük dayanımlı iki yapıştırıcı kullanarak birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantılarının eksenel çekme yükü altındaki mekanik davranışları incelemiştir. Çalışma, deneysel ve sayısal olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantılarında, yapıştırıcılar ve yapıştırılan malzemelerin gerilme-şekil değıştirme davranışları dikkate alınarak lineer sonlu elemanlar yöntemiyle gerilme analizi yapılmıştır. Deneysel ve sonlu elemanlar analizlerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve sonuçlar arasında oldukça iyi bir uyumun olduğı görölmüştür.

Şen ve arkadaşları (2008), yaptıkları çalışmada çift örtü kullanılarak yapıştırılmış metal levhalarda ısı gerilme analizlerini sonlu elemanlar metodu kullanarak araştırmışlardır. Yapılan çalışmada ısı gerilmelerin dağılımlarının ve değıerlerinin yapıştırıcı kalınlığının değıişimi ile önemli ölçüde değıiştiğı sonucuna ulaşmışlardır.

Şen ve arkadaşları (2008), yaptıkları çalışmada tek bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında üniform ısı yükler altında yapıştırılan malzeme ve yapıştırıcı bölgesinde ısı gerilmelerin dağılımı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda ısı gerilmelerin yapıştırılan malzeme özelliklerinden, sınır şartlarından ve artan üniform sıcaklık yüklerinden önemli ölçüde etkilendiğini ortaya koymuşlardır.

Campilho ve diğeri (2009), üç boyutlu Carbon-epoxy kompozitlerin tek ve çift takviyeli yapıştırma bağlantılarının gerilme davranışlarını deneysel ve nümerik olarak çalışmışlardır. Deneysel olarak yapılan çalışmada, farklı bindirme uzunlukları ve kapak kalınlıklarının hasar modu, rijitlik ve hasar yüküne etkisi araştırılmıştır. Tamir sonrası bağlantının davranışını anlamak için, rijitlik ve kapağı yüzeyden kaldıracak yükleri verecek şekilde nümerik simölasyon yapılmıştır. Sünek yapıştırıcının mekanik özelliklerinin belirlenmesinde, mod I, mod II ile karışık modlu cohesive hasar modelini içeren cohesive elemanlar kullanılmıştır. Yapılan çalışmada, en iyi sonuçlar 15 mm bindirme uzunluğundaki çift takviyeli kapaklar üzerinde oluşmuştur. Diğeri taraftan, kapak kalınlığının dayanım üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını gözlemişlerdir.

Solmaz ve Turgut (2009) yaptıkları çalışmada, biri diğerine göre daha sünek olan iki farklı yapıştırıcı kullanılarak birleştirilen bağlantılarda serbest uç açısının ve bindirme mesafesinin bağlantı mukavemetini nasıl etkilediğini tespit etmeye çalışmıştır. Elde edilen bu verilerden, her bir bağlantının ortalama kayma gerilmesi hesaplanmış ve sonuçları yapıştırıcı cinsi, uç açısı ve bindirme mesafesine göre karşılaştırılarak grafikler halinde sunmuşlardır. Grafikler değerlendirildiğinde ucu açılı olan numunelerin açısız numunelere göre daha yüksek mukavemete sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Aldaş ve arkadaşları (2009) yaptıkları çalışmada, çift bindirmeli yapıştırıcı bağlantısında üniform ısı yükleri altında yapıştırılan malzeme ve yapıştırıcı bölgesinde ısı gerilmelerinin dağılımı sonlu elemanlar yönteminden faydalanılmak suretiyle değişik üniform ısı yükleri altında incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda ısı gerilmelerinin yapıştırılan malzeme özelliklerinden, sınır şartlarından ve artan üniform sıcaklık yüklerinden önemli ölçüde etkilendiğini ortaya koymuşlardır.

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

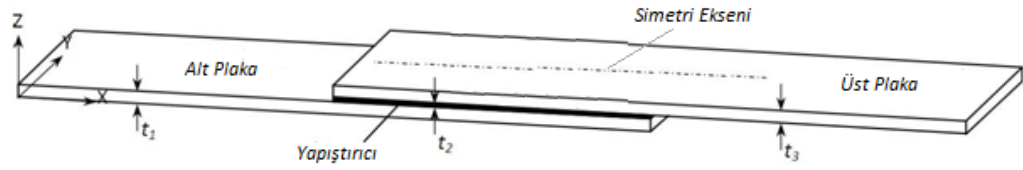
Bu çalışmada; yapıştırıcılı ve pimli karma bağlantılarda üniform sıcaklık tesiriyle meydana gelen ısı gerilmelerinin analizi sonlu elemanlar metodu (FEM) kullanılarak yapılmıştır. Yapıştırıcı olarak epoksi türü yapıştırıcı ve yapıştırılan ince metal plakalar alüminyum olacak şekilde modellemeler yapılmıştır. Ayrıca yapıştırıcı kalınlığının ve sıcaklık değişiminin ısı gerilmelere etkileri incelenmiştir.

BÖLÜM III

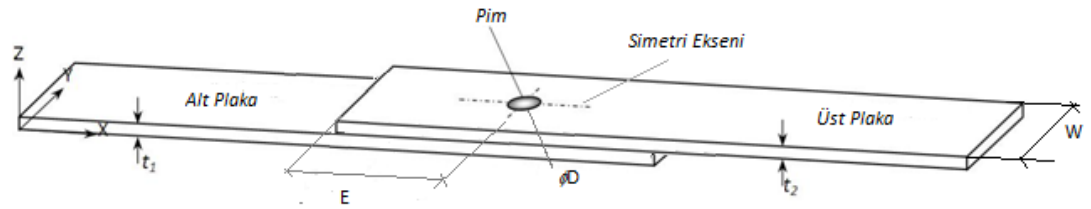
3. MALZEME ve YÖNTEM

3.1. Problemin Tanımı

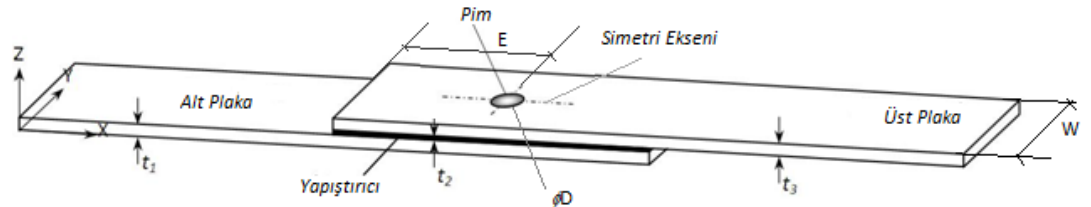
Bundan önceki çalışmalarda karma bağlantılar üzerindeki yük dağılımının ölçülmesi ve bu dağılımın tahmini sınırlı oranda yapılmıştır. Bu çalışmada, alüminyum plakalarının sabit bir yük altında çeşitli (yapıştırma bağlantılı, pim bağlantılı, yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantılı) bindirme bağlantılarındaki gerilmeler üniform ısı yükü değiştirilerek ayrı ayrı incelenmiştir. Amaç, geliştirilmiş yapısal performansı etkileyen bağlantı konfigürasyonunu ve şartlarını belirlemektir. Bunun için öncelikle Şekil 3.1, Şekil 3.2, ve Şekil 3.3'te görüldüğü gibi üç adet bağlantı modeli tasarlanmıştır.



Şekil 3.1. Sadece yapıştırıcı bağlantısının şematik görünümü



Şekil 3.2. Sadece pim bağlantısının şematik görünümü



Şekil 3.3. Yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantının şematik görünümü

3.2. Problemdede Kullanılan Malzeme Özellikleri

Çalışmada, her üç modelde de alt ve üst levha olarak mekanik özellikleri Çizelge 3.1’de verilen Alüminyum malzeme kullanılmıştır (Apalak vd.2003). Yapıştırıcı bağlantısı ile yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantıda yapıştırıcı olarak Çizelge 3.1’de mekanik özellikleri verilen ticari adı BETAMATE XW 1185 Epoxy yapıştırıcı kullanılmıştır (URL-1). Pim bağlantısı ve yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantıda pim malzemesi olarak Çizelge 3.1’de mekanik özellikleri verilen çelik pim malzemesi kullanılmıştır (Şen vd.,2008).

Çizelge 3.1. Malzemelerin mekanik özellikleri(Apalak vd.2003, URL-1, Şen vd.,2008).

	Alüminyum	Epoksi	Çelik
E (GPa)	66	0.560	207
ν	0.33	0.30	0.29
α (1/°C)	23.6	43.3	12.6

İlk olarak, Şekil 3.1’de görüldüğü gibi herhangi bir pim bağlantısı içermeyen sadece yapıştırıcı bağlantısından meydana gelen model oluşturulmuştur. Bu model de tek bindirme bağlantısı yapılan alüminyum levhaların her biri 2 mm kalınlığında, uzunlukları 100 mm ve genişlikleri 50 mm, yapıştırıcı kalınlığı 0,5 mm olacak şekilde modellenmiştir.

İkinci olarak, Şekil 3.2’de görüldüğü gibi yapıştırıcı bağlantısı içermeyen sadece pim bağlantısı yapılmış model oluşturulmuştur. Tek bindirme bağlantısı yapılan alüminyum levhaların her biri 2 mm kalınlığında, uzunlukları 100 mm ve genişlikleri 50 mm olacak şekilde modellenmiştir. Pim deliğinin çapı 5 mm olarak seçilmiştir.

Son olarak, Şekil 3.3’te görüldüğü gibi yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantı modellenmiştir. Tek bindirme bağlantısı yapılan alüminyum levhaların her biri 2 mm kalınlığında, uzunlukları 100 mm ve genişlikleri 50 mm, yapıştırıcı kalınlığı 0,5 mm olacak şekilde modellenmiştir. Pim deliğinin çapı 5 mm olarak seçilmiştir.

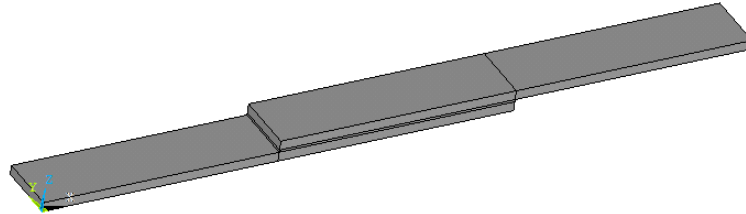
Pim bağlantısı modeli ve yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantının modelinde pim deliği ve diğer boyut parametreleri oluşturulurken, daha önceki tek pimli

bağlantılar için yapılan deneysel çalışmalarda en iyi oran olarak önerilen $E/D=W/D=5$ tek pimli bağlantı oranı dikkate alınmıştır (Şen ve Pakdil 2008, Şen vd. 2008). Bahsedilen E/D oranı, levhanın serbest ucunun pim delik çapına oranı ve W/D oranı ise levha genişliğinin pim delik çapına oranıdır.

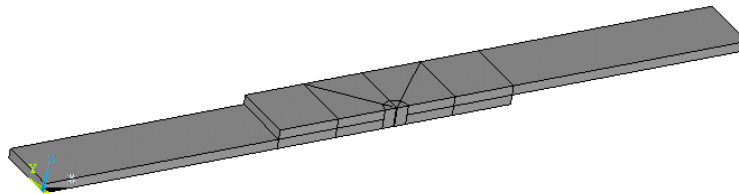
3.3. Sonlu Elemanlar Modeli

Çalışmada, ortaya konulan modellerin çözümü için birçok farklı problemin çözümünde son yıllarda oldukça fazla tercih edilen ANSYS 10.0 sonlu elemanlar yazılımından yararlanılmıştır (ANSYS 10.0). Bunun başlıca nedeni gayet güzel ve tam sonuçlar elde edilmesini sağlaması ve gerek modellemede gerekse sonuçların değerlendirilmesi aşamasında sağladığı eşsiz avantajlardır.

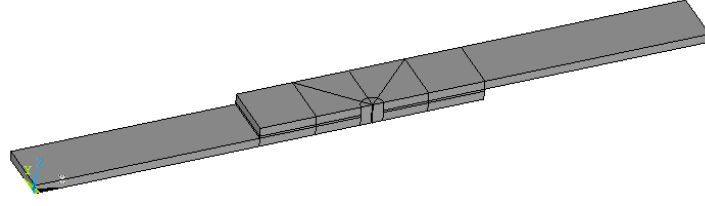
Çalışmadaki her üç bağlantı tipinin de öncelikle katı modeli oluşturulmuştur. Bağlantıların y-eksenine göre simetrik olmasından dolayı Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da görüldüğü gibi yarım modelleme yapılmış olup, simetri sınır artı olarak $u_y=0$ sınır şartı uygulanmıştır. Bununla eleman ve düğüm sayısının önemli oranda azaltılması, çözüm süresinin kısılması ve daha küçük çözüm dosyalarının elde edilmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.4. Yapıştırma bağlantısının yarım modeli



Şekil 3.5. Pim bağlantısının yarım modeli

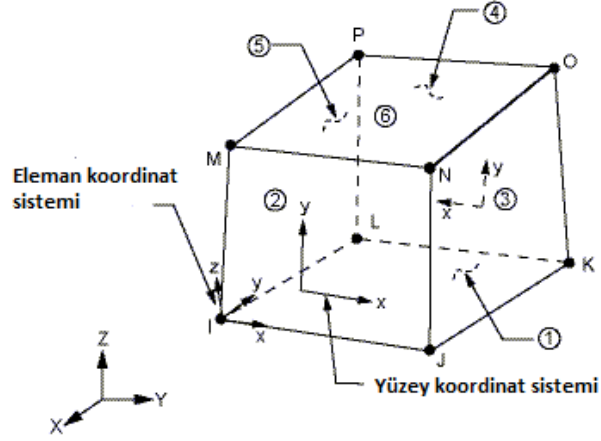


Şekil 3.6. Yapıştırıcı ve Pim Uygulanmış Karma Bağlantının yarım modeli

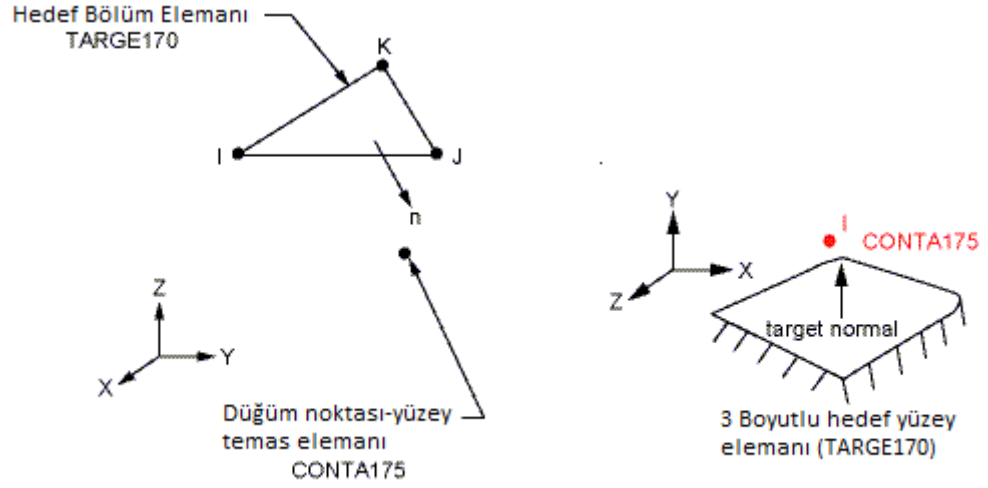
Yapıştırıcı bağlantısı modeli bir ucu ankastre diğer ucu ısı sınır şart olmaksızın 10 MPa negatif basınç etkisinde tutulmuştur. Böylece modele bir çekme etkisi uygulanmıştır. Pim bağlantısı modeli ve yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantının modelinde ise her iki uç birbirine zıt yönde 10 MPa negatif basınç altında tutulup pim ankastre sınır şartı ile donatılmıştır. Bu sınır şartları altında çözümleme yapıldıktan sonra, her üç model için ortam sıcaklığı 25°C ve uniform sıcaklık 55°C olmak üzere sıcaklık etkilerinin araştırıldığı ikinci bir çözüm alınmıştır.

Kısaca özetlemek gerekirse çözümler ilk olarak sadece çekme yükü altında gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada ise çekme yüküne ilave olarak ısıl yükte modellere etki ettirilmiştir. Dolayısıyla daha önceki birçok çalışmada tek yükleme ile sonuçların elde edildiği bir çalışma yerine iki farklı yüklemenin aynı anda yapıldığı bir çözüm gerçekleştirilmiştir. Çünkü gerçek birçok problemde bağlantılar genellikle hem çekme hemde ısıl olmak üzere farklı yükler etkisinde kalmaktadır. Böylece uygulanan sınır şartları gerçek problemlere daha uygun hale getirilmiştir.

Her üç model için sonlu elemanlar ağ yapısının oluşturulması esnasında eleman tipi olarak Şekil 3.7’de görülen SOLID 45 kullanılmıştır (ANSYS 10.0). Pim bağlantısı ile yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantısında pim ve delik yüzeyi üzerinde kontak yüzey tarif edilirken ise Şekil 3.8’de görülen TARGE 170 ve CONTA 175 eleman tipi kullanılmıştır (ANSYS 10.0).

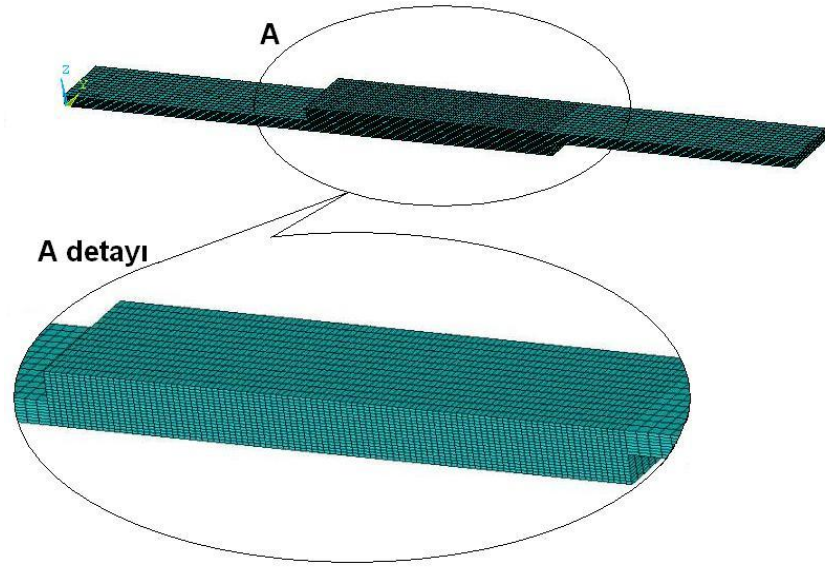


Şekil 3.7. ANSYS SOLID 45 eleman tipi (ANSYS 10.0)

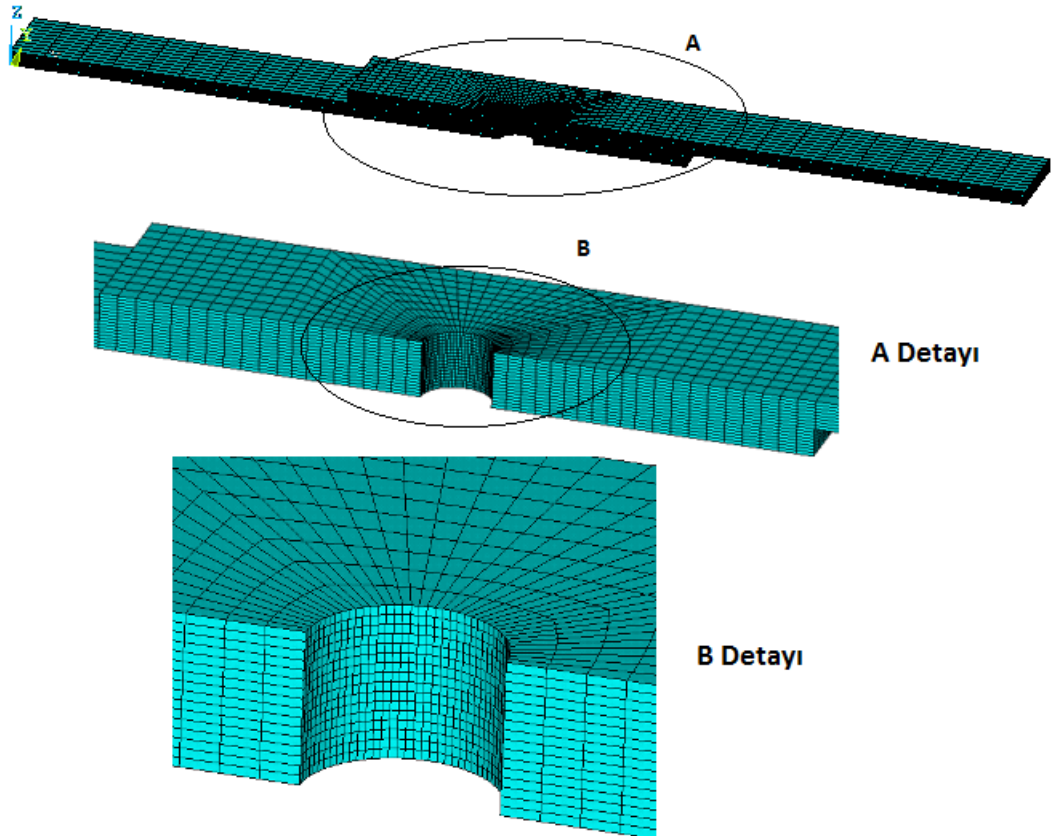


Şekil 3.8. ANSYS TARGE170 ve CONTA175 eleman tipleri (ANSYS 10.0)

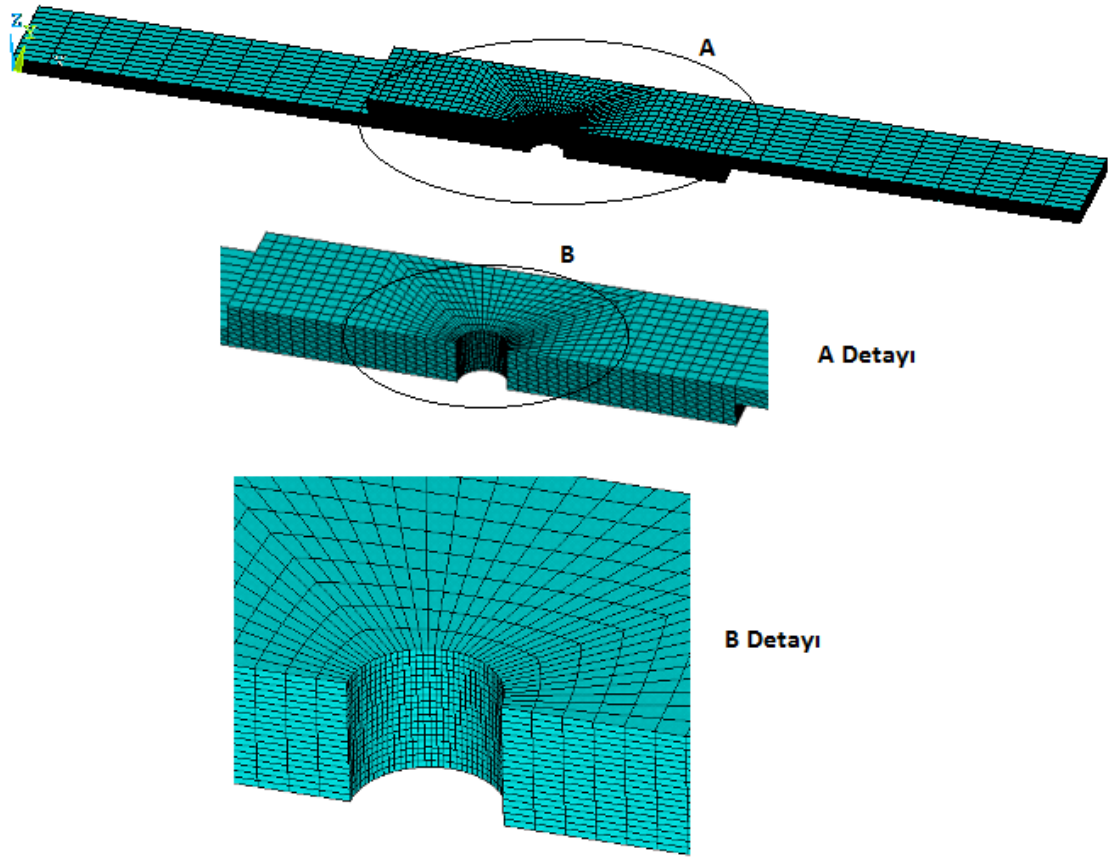
Sonlu elemanlara bölme işleminden sonra elde edilen sonlu elemanlar ağ yapıları yapıştırıcı bağlantısı modeli için Şekil 3.9’da, Pim bağlantısı modeli için Şekil 3.10’da ve yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantı modeli için Şekil 3.11’de ayrı ayrı verilmiştir. Oluşturulan sonlu eleman ağ yapısının büyütülmüş detayları da aynı şekillerde verilmiştir. Ansys ile modelleme yapılırken çözülecek problemin iki boyutlu yada üç boyutlu olması durumuna, kullanılan malzemenin izotropik veya anizotropik olmasına göre çeşitli eleman tipleri geliştirilmiştir. Bu hususlar dikkate alındığında bu çalışmadaki problemin üç boyutlu olması ve kullanılan yapıştırıcı ve metal plaka malzemelerinin izotropik yapısından dolayı SOLID 45, TARGE170 ve CONTA175 eleman tiplerinin kullanılması tercih edilmiştir.



Şekil 3.9. Yapıştırma bağlantısı sonlu elemanlar ağ yapısı



Şekil 3.10. Pim bağlantısı sonlu elemanlar ağ yapısı

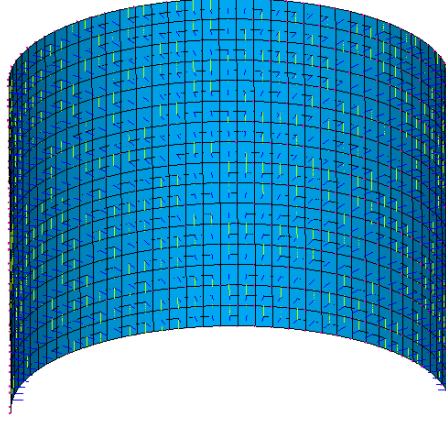


Şekil 3.11. Yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantının sonlu elemanlar ağ yapısı

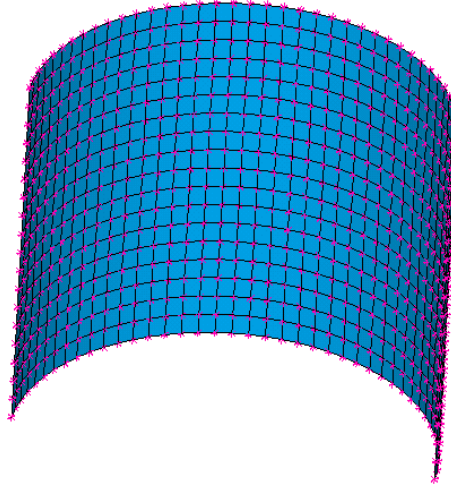
Şekillerden de anlaşılacağı üzere her üç model için yapısal elemanlardan meydana gelen bir sonlu eleman ağ yapısı oluşturulmuştur. Bilindiği gibi sonlu elemanlarla çözüm yönteminde düzgün bir sonlu eleman ağ yapısı elde edilmesi, elde edilecek sonuçların da doğru bir şekilde elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte, eğer model üzerinde herhangi bir amaçla oluşturulmak zorunda kalınan bir deliğin varlığı, düzgün bir dağılım sağlayan sonlu eleman ağ yapısı oluşturulmasının oldukça güçleştirmektedir. Oluşturulan pim bağlantısı modeli ve yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantı modeli üzerinde pim deliği olmasına rağmen, olması istenen iyi ve düzgün sonlu eleman ağ yapısı, delik çevresi de dahil olmak üzere, bağlantının tamamında oluşturulmuştur.

Sonlu elemanlara bölme işlemi sonucunda, yapıştırma bağlantısı modeli üzerinde 33800 eleman ve 39466 düğüm noktası, pim bağlantısı modeli üzerinde 18937 eleman ve 23160 düğüm noktası, yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantı modeli üzerinde 21099 eleman ve 24856 düğüm noktası elde edilmiştir. Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te de görüldüğü üzere pim bağlantısı modelinde ve yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma

bağlantı modelinde pim yüzeyi ile delik yüzeyinde temas noktalarının gerçek problemlerde olduğu gibi tarif edebilmek için kontak yüzey oluşturulmuştur.



Şekil 3.12. Pim bağlantısı modelinde kontak yüzey tanımlanması



Şekil 3.13. Yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantı kontak yüzey tanımlanması

BÖLÜM IV

4. BULGULAR

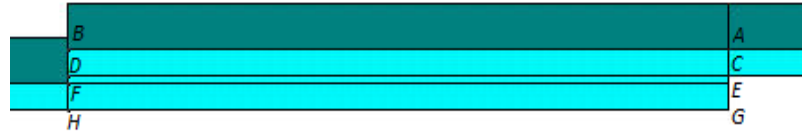
Bu çalışmada, ilk olarak herhangi bir pim bağlantısı içermeyen ve dolayısıyla sadece yapıştırıcı bağlantısından meydana gelen üç boyutlu model üzerinde kritik kesit olarak plaka yüzeyleri ve plaka yapıştırıcı ara yüzeyleri, ikinci olarak yapıştırıcı bağlantısı içermeyen sadece pim bağlantısı yapılmış üç boyutlu model üçüncü olarak ise yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantılı üç boyutlu model üzerinde kritik kesit olarak plaka yüzeyleri ile pim delik çevresinin kesişim noktaları belirlenmiştir. Bu kritik kesitler aşağıda açıklandığı üzere doğrultular olarak tarif edilmiştir.

4.1. Yapıştırma Bağlantısı Bulguları

Daha önce açıklandığı üzere, ilk modelde sadece yapıştırıcı bir bağlantı modellenmiş ve çözümler gerçekleştirilmiştir.

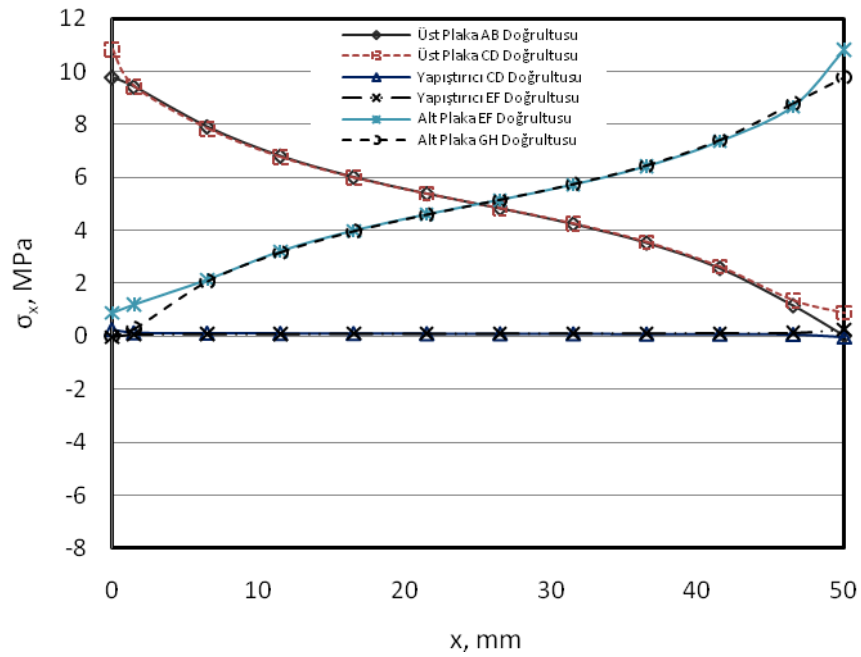
Şekil 4.1 ile gösterilen herhangi bir pim bağlantısı içermeyen sadece yapıştırıcı bağlantısından meydana gelen model üzerinde, A-B doğrultusu ile üst plakanın üst yüzeyindeki düğüm noktalarında oluşan gerilme dağılımı, C-D doğrultusu ile hem üst plakanın alt yüzeyindeki düğüm noktalarında oluşan gerilme dağılımı hemde yapıştırıcı tabakasının üst yüzeyindeki düğüm noktalarında oluşan gerilme dağılımı, E-F doğrultusu ile hem alt plakanın üst yüzeyindeki düğüm noktalarında oluşan gerilme dağılımı hemde yapıştırıcı tabakasının alt yüzeyindeki düğüm noktalarında oluşan gerilme dağılımı, G-H doğrultusu ile alt plakanın alt yüzeyindeki düğüm noktalarında oluşan gerilme dağılımı elde edilmek üzere tarif edilmiştir.

Sadece yapıştırıcı uygulanmış bağlantı modelinde Şekil 4.1’de görülen A-C-E-G noktalarının oluşturduğu doğrultu $x=0$ olarak kabul edilip, B-D-F-H noktalarının oluşturduğu doğrultu ise aradaki mesafe olan 50 mm’ye vurgulamak amacıyla $x=50$ olarak alınmış ve elde edilen sonuçlarda bu aralıkta yoğunlaşmıştır.



Şekil 4.1. Yapıştırıcı bağlantısı modelinde çözümlerin alındığı doğrultular

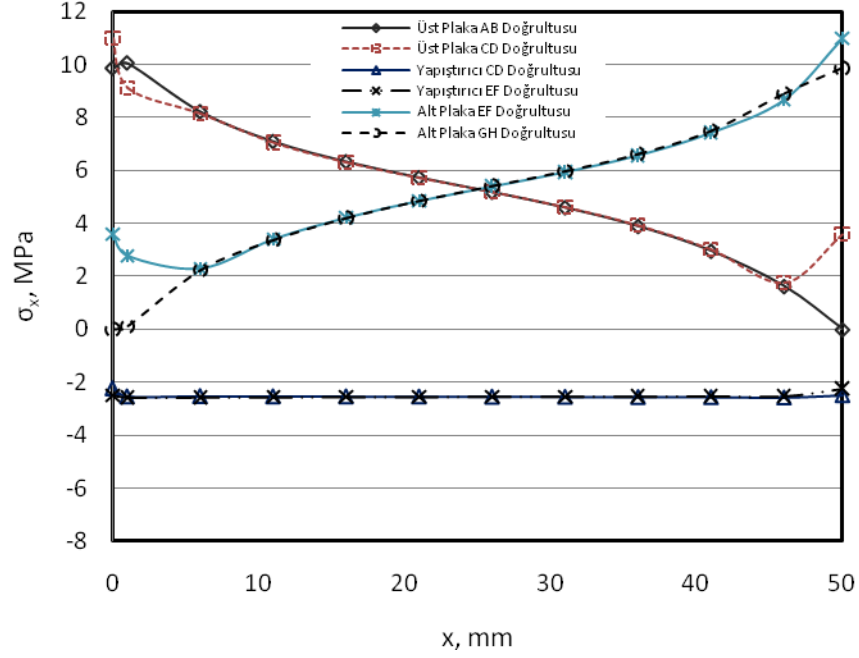
Şekil 4.2’de görülen grafikte, yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_x gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $x=0$ ’da maksimum çekme gerilmesi, $x=50$ ’de minimum çekme gerilmesi, alt plaka üzerinde bulunan E-F ve G-H doğrultularında $x=0$ ’da minimum çekme gerilmesi, $x=50$ ’de maksimum çekme gerilmesi, yapıştırıcı üzerinde bulunan C-D doğrultusunda $x=0$ ’da çekme gerilmesi, $x=50$ ’de basma gerilmesi, yine yapıştırıcı üzerinde bulunan E-F doğrultusunda $x=0$ ’da basma gerilmesi, $x=50$ ’de çekme gerilmesi gözlenmiştir.



Şekil 4.2. Yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_x gerilme dağılımı

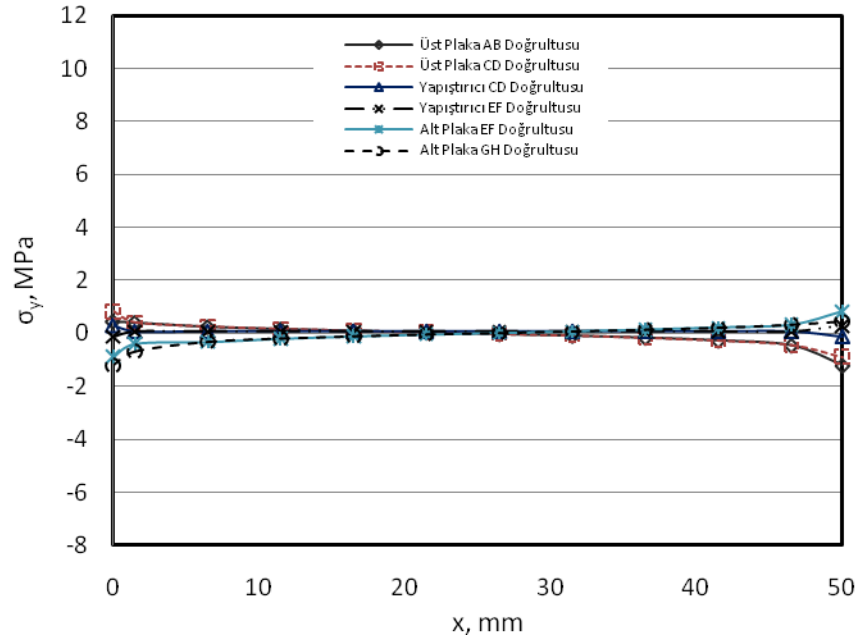
Şekil 4.3’te görülen grafikte, yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartlı σ_x gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $x=0$ ’da maksimum çekme gerilmesi, $x=50$ ’de minimum çekme gerilmesi, alt plaka üzerinde

bulunan E-F ve G-H doğrultularında $x=0$ 'da minimum çekme gerilmesi, $x=50$ 'de maksimum çekme gerilmesi, yapıştırıcı üzerinde bulunan C-D ve EF doğrultuları boyunca basma gerilmesi meydana geldiği gözlenmiştir.



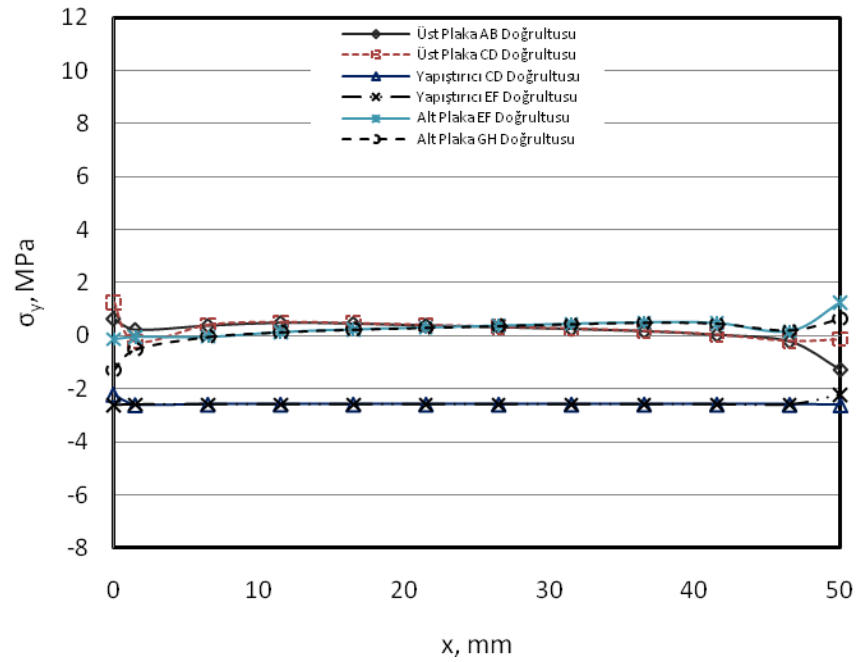
Şekil 4.3. Yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartlı σ_x gerilme dağılımı

Şekil 4.4'de görülen grafikte, yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_y gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $x=0$ 'da çekme gerilmesi, $x=50$ 'de basma gerilmesi, alt plaka üzerinde bulunan E-F ve G-H doğrultularında $x=0$ 'da basma gerilmesi, $x=50$ 'de çekme gerilmesi, yapıştırıcı üzerinde bulunan C-D doğrultusunda $x=0$ 'da çekme gerilmesi, $x=50$ 'de basma gerilmesi, yine yapıştırıcı üzerinde bulunan E-F doğrultusunda $x=0$ 'da basma gerilmesi, $x=50$ 'de çekme gerilmesi gözlenmiştir.



Şekil 4.4. Yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_y gerilme dağılımı

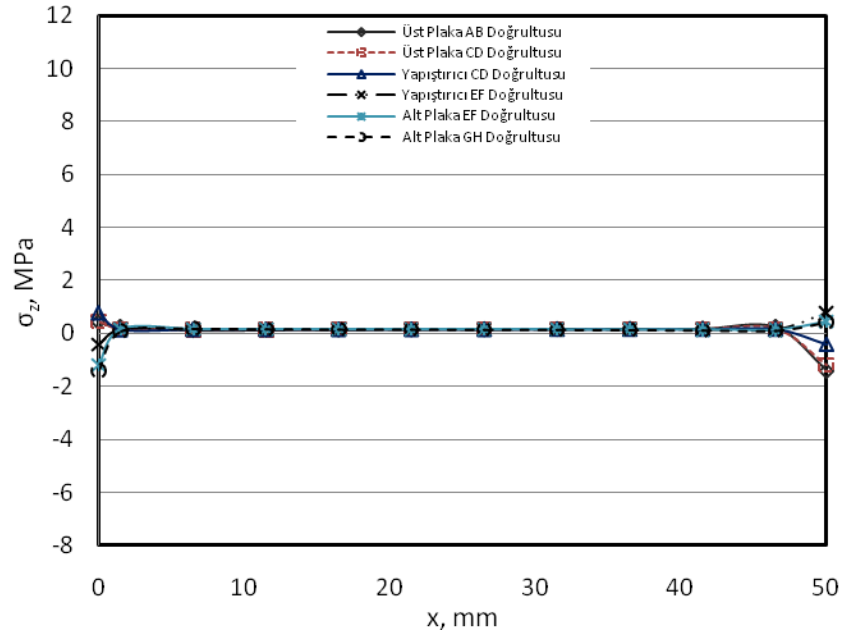
Şekil 4.5’de görülen grafikte, yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartlı σ_y gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $x=0$ ’da çekme gerilmesi, $x=50$ ’de basma gerilmesi, alt plaka üzerinde bulunan E-F ve G-H doğrultularında $x=0$ ’da basma gerilmesi, $x=50$ ’de çekme gerilmesi, yapıştırıcı üzerinde



Şekil 4.5. Yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartlı σ_y gerilme dağılımı

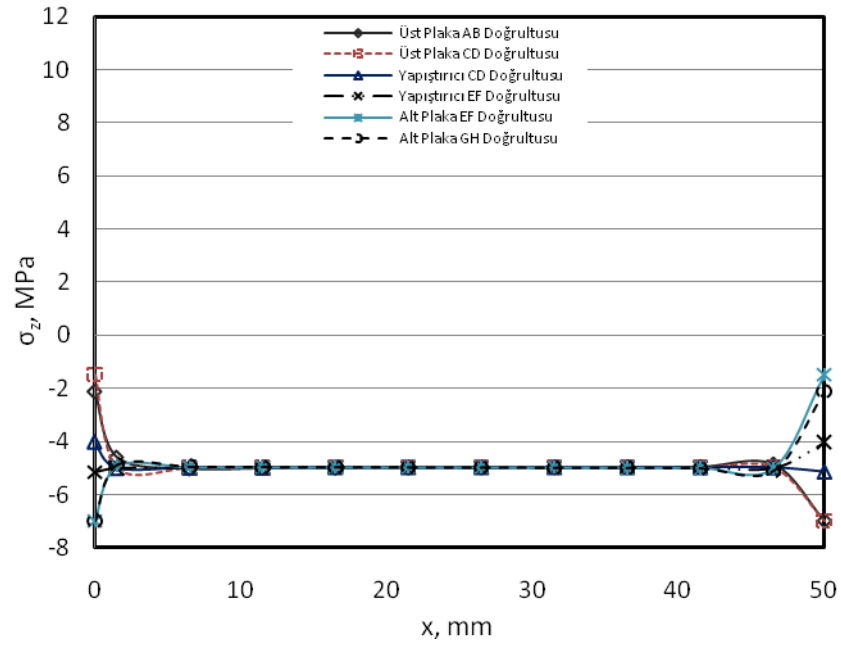
bulunan C-D ve E-F doğrultularında $x=0$ 'da basma gerilmesi, $x=50$ 'de basma gerilmesi gözlenmiştir.

Şekil 4.6'da görülen grafikte, yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_z gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $x=0$ 'da çekme gerilmesi, $x=50$ 'de basma gerilmesi, alt plaka üzerinde bulunan E-F ve G-H doğrultularında $x=0$ 'da basma gerilmesi, $x=50$ 'de çekme gerilmesi, yapıştırıcı üzerinde bulunan C-D doğrultusunda $x=0$ 'da çekme gerilmesi, $x=50$ 'de basma gerilmesi, yine yapıştırıcı üzerinde bulunan E-F doğrultusunda $x=0$ 'da basma gerilmesi, $x=50$ 'de çekme gerilmesi gözlenmiştir.



Şekil 4.6. Yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_z gerilme dağılımı

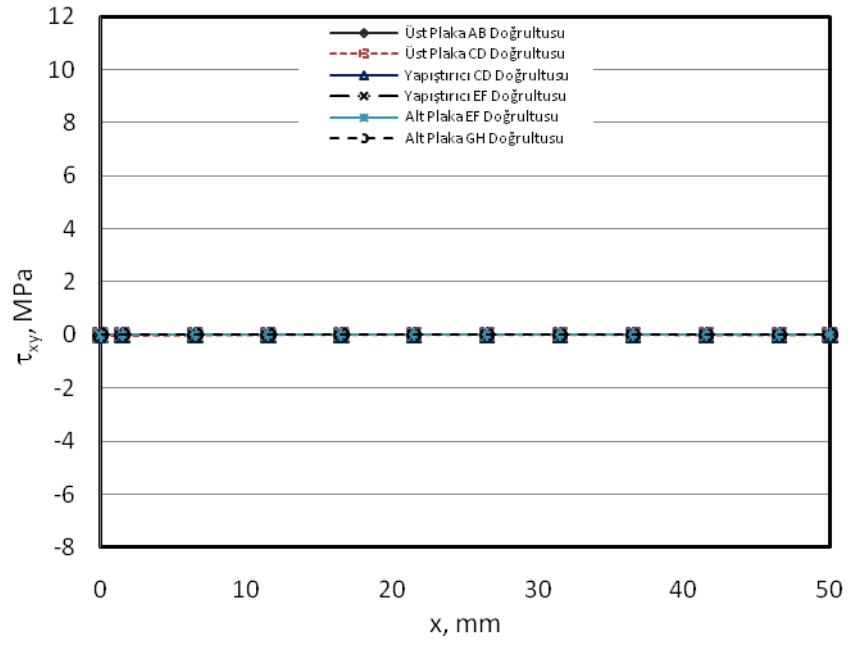
Şekil 4.7'de görülen grafikte yapıştırıcı, bağlantısında ısı sınır şartlı σ_z gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $x=0$ 'da çekme gerilmesi, $x=50$ 'de basma gerilmesi, alt plaka üzerinde bulunan E-F ve G-H doğrultularında $x=0$ 'da basma gerilmesi, $x=50$ 'de çekme gerilmesi, yapıştırıcı üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $x=0$ 'da basma gerilmesi, $x=50$ 'de basma gerilmesi gözlenmiştir.



Şekil 4.7. Yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartlı σ_z gerilme dağılımı

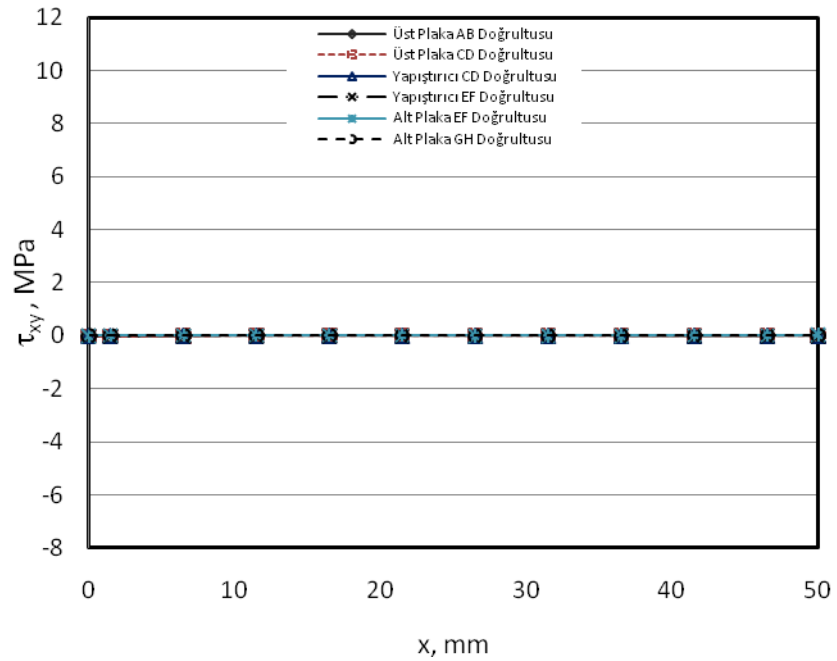
Yukarıda verilen grafiklerde normal gerilmeler ısı sınır şartı olmaksızın ve ısı sınır şartlı olarak değerlendirilmiş olup, ısı sınır şartının özellikle yapıştırıcı tabakası üzerinde basma gerilmelerini arttırdığı ve ayrıca normal gerilmelerinin bindirme plakalarının başlangıç ve bitiş noktalarında kayda değer artışlar gösterdiği gözlenmiştir.

Şekil 4.8’de görülen grafikte, yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın τ_{xy} gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $x=0$ ’da basma gerilmesi, $x=50$ ’de basma gerilmesi, alt plaka üzerinde bulunan E-F ve G-H doğrultularında $x=0$ ’da çekme gerilmesi, $x=50$ ’de çekme gerilmesi, yapıştırıcı üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $x=0$ ’da basma gerilmesi, $x=50$ ’de çekme gerilmesi gözlenmiştir.



Şekil 4.8. Yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın τ_{xy} gerilme dağılımı

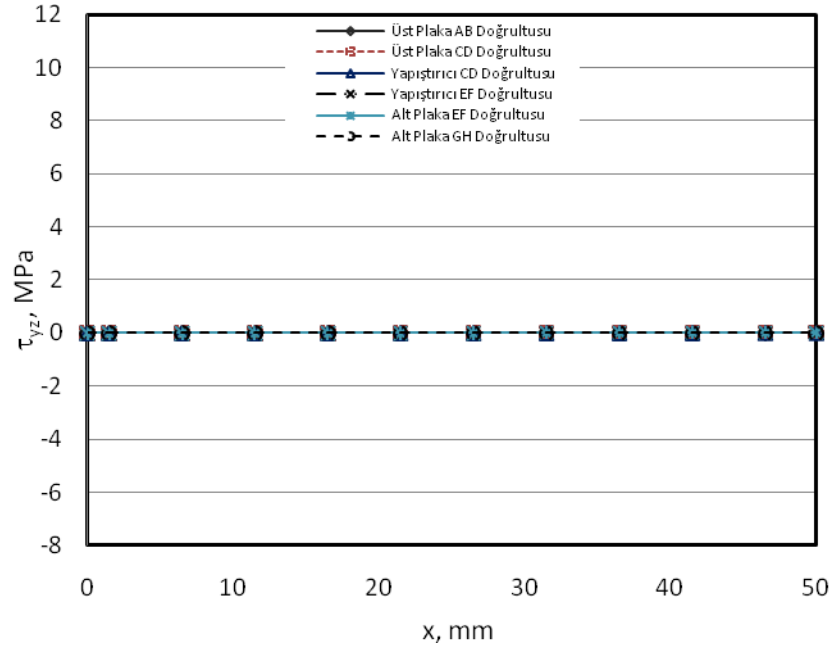
Şekil 4.9’da görülen grafikte yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartlı τ_{xy} gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $x=0$ ’da çekme gerilmesi, $x=50$ ’de basma gerilmesi, alt plaka üzerinde bulunan E-F ve G-H



Şekil 4.9. Yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartlı τ_{xy} gerilme dağılımı

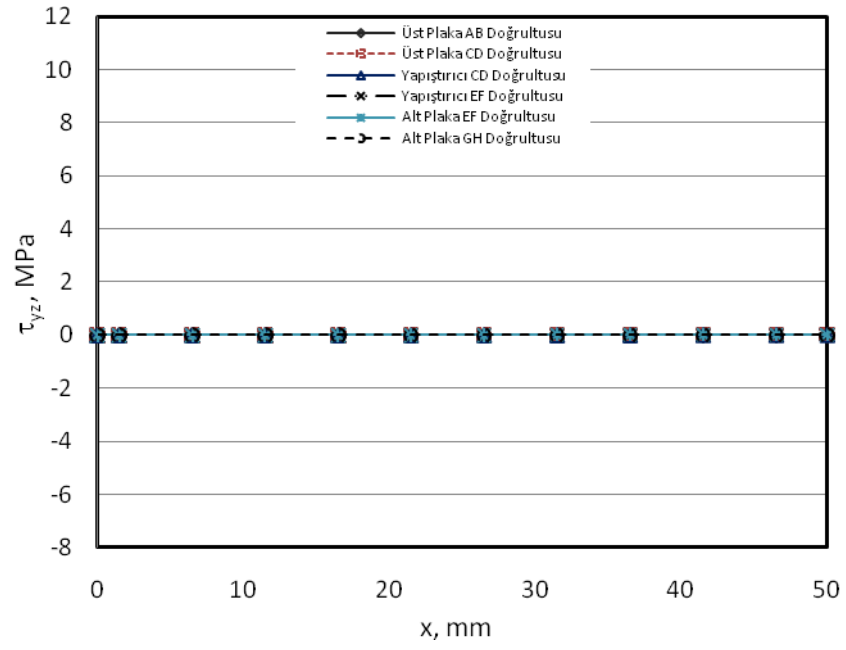
doğrultularında $x=0$ 'da basma gerilmesi, $x=50$ 'de çekme gerilmesi, yapıştırıcı üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $x=0$ 'da basma gerilmesi, $x=50$ 'de basma gerilmesi gözlenmiştir.

Şekil 4.10'da görülen grafikte yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın τ_{yz} gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte, üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $x=0$ 'da basma gerilmesi, $x=50$ 'de çekme gerilmesi, alt plaka üzerinde bulunan E-F ve G-H doğrultularında $x=0$ 'da basma gerilmesi, $x=50$ 'de çekme gerilmesi, yapıştırıcı üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $x=0$ 'da basma gerilmesi, $x=50$ 'de çekme gerilmesi gözlenmiştir.



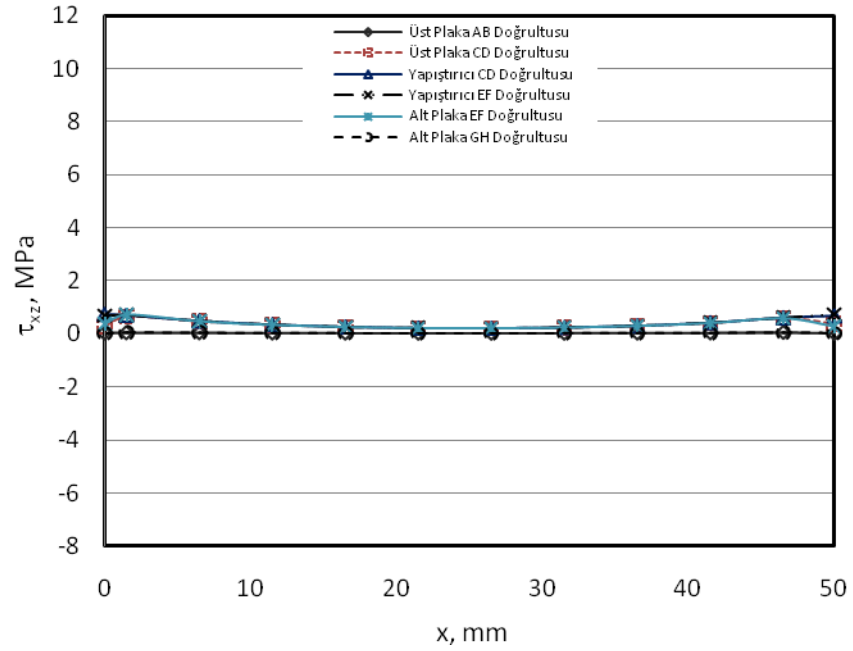
Şekil 4.10. Yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın τ_{yz} gerilme dağılımı

Şekil 4.11'de görülen grafikte yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartlı τ_{yz} gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte, üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $x=0$ 'da çekme gerilmesi, $x=50$ 'de basma gerilmesi, alt plaka üzerinde bulunan E-F ve G-H doğrultularında $x=0$ 'da basma gerilmesi, $x=50$ 'de çekme gerilmesi, yapıştırıcı üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $x=0$ 'da basma gerilmesi, $x=50$ 'de basma gerilmesi gözlenmiştir.



Şekil 4.11. Yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartlı τ_{yz} gerilme dağılımı

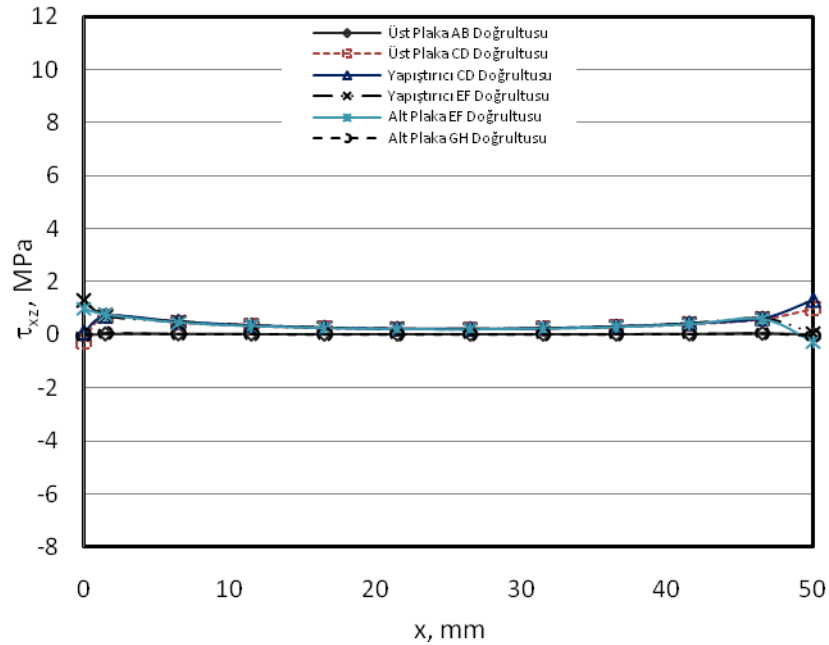
Şekil 4.12’de görülen grafikte yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın τ_{xz} gerilme dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın τ_{xz} gerilme dağılımı

Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $x=0$ 'da çekme gerilmesi, $x=50$ 'de çekme gerilmesi, alt plaka üzerinde bulunan E-F ve G-H doğrultularında $x=0$ 'da çekme gerilmesi, $x=50$ 'de çekme gerilmesi, yapıştırıcı üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $x=0$ 'da çekme gerilmesi, $x=50$ 'de çekme gerilmesi gözlenmiştir.

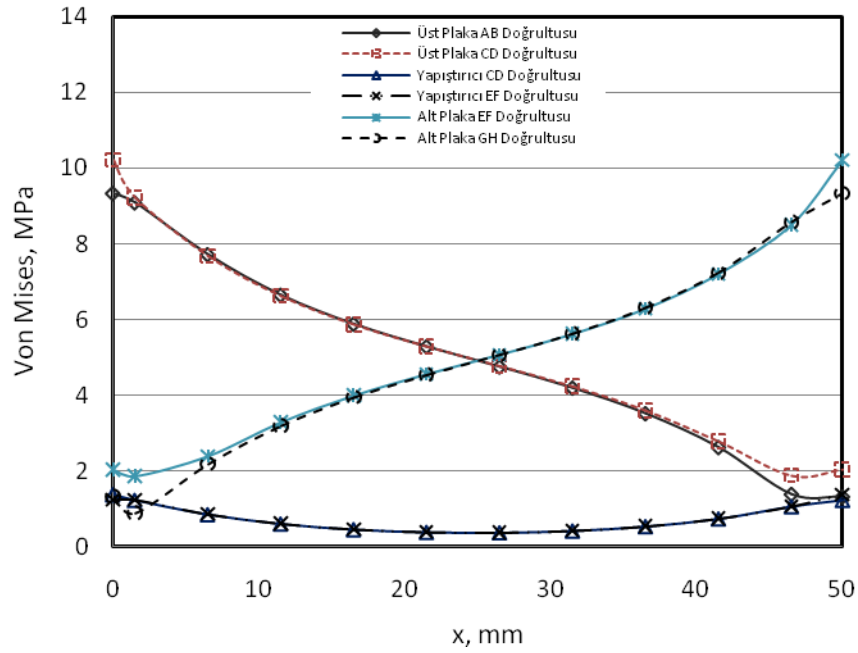
Şekil 4.13'de görülen grafikte, yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartlı τ_{xz} gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B doğrultusunda $x=0$ 'da basma gerilmesi, $x=50$ 'de çekme gerilmesi, C-D doğrultusunda $x=0$ 'da basma gerilmesi, $x=50$ 'de çekme gerilmesi, alt plaka üzerinde bulunan E-F doğrultusunda $x=0$ 'da çekme gerilmesi, $x=50$ 'de basma gerilmesi, G-H doğrultularında $x=0$ 'da basma gerilmesi, $x=50$ 'de basma gerilmesi, yapıştırıcı üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $x=0$ 'da çekme gerilmesi, $x=50$ 'de çekme gerilmesi gözlenmiştir.



Şekil 4.13. Yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartlı τ_{xz} gerilme dağılım grafiği

Yukarıda verilen grafiklerde, kayma gerilmeleri ısı sınır şartı olmaksızın ve ısı sınır şartlı olarak değerlendirilmiş olup, xy ve yz düzlemlerinde çok düşük düzeyde kayma gerilmelerinin olduğu fakat xz düzleminde çok yüksek olmamakla birlikte xy ve yz düzlemlerine oranla daha yüksek kayma gerilmelerinin varlığı, ayrıca normal gerilmelerde olduğu gibi ısı sınır şartı kayma gerilmelerinde basma gerilmesini artırıcı etki gösterdiği gözlenmiştir.

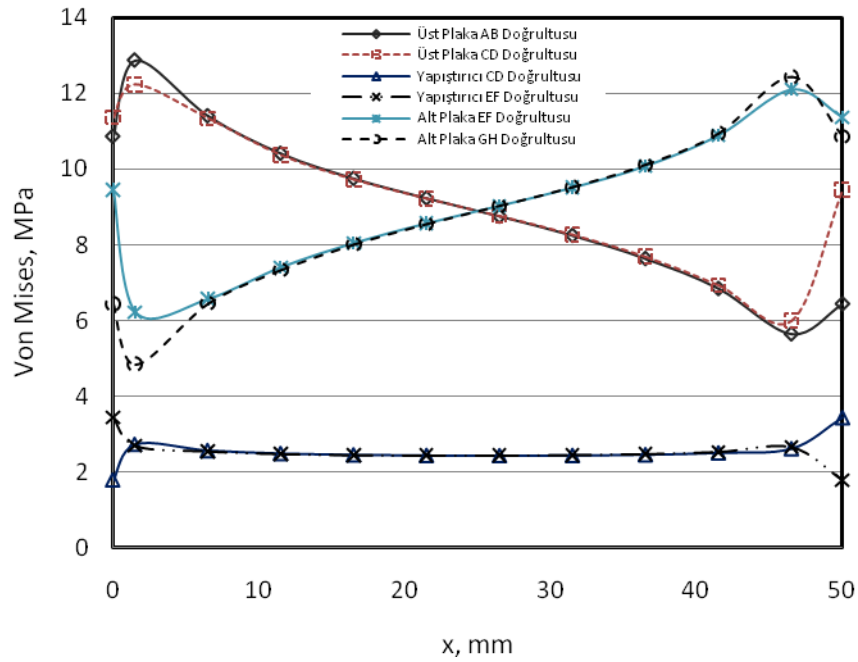
İzotropik malzemelerin gerilme dağılımlarının değerlendirilmesinde, von Mises gerilmelerinin bilinmesi oldukça önemlidir. Bundan dolayı Şekil 4.14’de görülen grafikte yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın von Mises gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $x=0$ ’da maksimum von Mises gerilmesi, $x=50$ ’de minimum von Mises gerilmesi, alt plaka üzerinde bulunan E-F ve G-H doğrultularında $x=0$ ’da minimum von Mises gerilmesi, $x=50$ ’de maksimum von Mises gerilmesi, yapıştırıcı üzerinde bulunan C-D ve EF doğrultularında $x=0$ ’da $x=50$ ’de ise birbirine yakın değerlerde von Mises gerilmesi gözlenmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi alüminyum plakalar üzerinde hesaplanan von Mises gerilmelerinin değerlerinin, yapıştırıcı tabaka üzerinde hesaplananlardan daha büyük olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.14. Yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın Von Mises gerilme dağılımı

Şekil 4.15’de görülen grafikte, yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartlı von Mises gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte, üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $x=0$ ’da maksimum von Mises gerilmesi, $x=50$ ’de minimum von Mises gerilmesi, alt plaka üzerinde bulunan E-F ve G-H doğrultularında $x=0$ ’da minimum von Mises gerilmesi, $x=50$ ’de maksimum von Mises gerilmesi, yapıştırıcı üzerinde bulunan C-D $x=0$ ’da minimum von Mises gerilmesi, $x=50$ ’de maksimum von Mises gerilmesi,

E-F doğrultularında $x=0$ 'da maksimum von Mises gerilmesi, $x=50$ 'de minimum von Mises gerilmesi, gözlenmiştir.



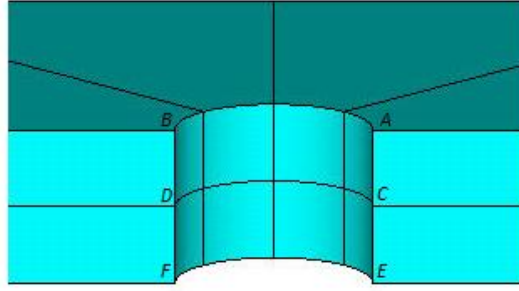
Şekil 4.15. Yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartlı Von Mises gerilme dağılımı

Yukarıda verilen grafiklerde von Mises gerilmeleri ısı sınır şartı olmaksızın ve ısı sınır şartlı olarak değerlendirilmiş olup, çekme yüküne ilave olarak uygulanan sıcaklığın von Mises gerilmelerinin değerlerinde artışa neden olduğu açıkça görülmektedir. Ayrıca sıcaklık etkisiyle birlikte von Mises gerilmelerinin incelenen doğrultular üzerindeki dağılımlarının değiştiği görülmektedir.

4.2. Pim Bağlantısı Bulguları

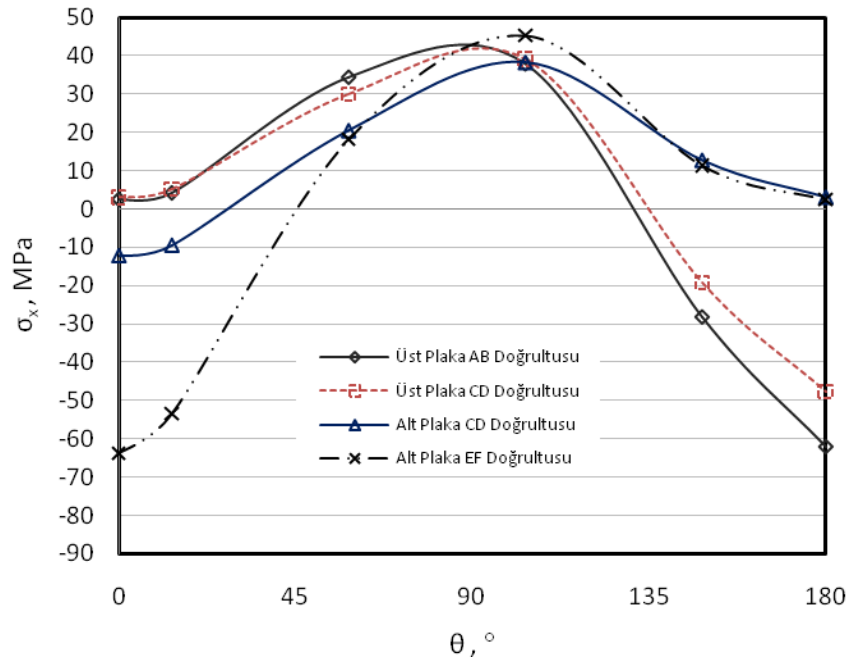
Şekil 4.16 ile gösterilen sadece pim uygulanmış bağlantı modelinde, A-B doğrultusu ile üst plakanın üst yüzeyindeki düğüm noktalarında oluşan gerilme dağılımı, C-D doğrultusu ile hem üst plakanın alt yüzeyindeki düğüm noktalarında oluşan gerilme dağılımı hemde alt plakanın üst yüzeyindeki düğüm noktalarında oluşan gerilme dağılımı, E-F doğrultusu ile hem alt plakanın üst yüzeyindeki düğüm noktalarında oluşan gerilme dağılımı hemde alt plakanın alt yüzeyindeki düğüm noktalarında oluşan gerilme dağılımı elde edilmek üzere tarif edilmiştir. Sadece pim bağlantılı modelde gerilmelerin delik çevresinde yoğunlaştığı görüldüğünden, doğrultular delik çevresi boyunca tanımlanmıştır. Herbir doğrultu sırasıyla A, C ve E düğüm noktalarından

başlamış ve saatin tersi yönünde B, D ve F düğüm noktalarında tamamlanmıştır. Bu yörüngeler boyunca dönme açısı A, C ve E düğüm noktalarında $\theta=0^\circ$ ve B, D ve F düğüm noktalarında $\theta=180^\circ$ olacak şekilde tanımlanmıştır. Dolayısıyla grafiklerin çizilebilmesi için tanımlanan her bir doğrultu üzerinde bulunan 40 adet düğüm noktasında oluşan gerilme değerleri kullanılmak suretiyle aşağıdaki şekillerde çizilen grafikler elde edilmiştir.



Şekil 4.16. Pim bağlantısı modelinde çözümlerin alındığı doğrultular

Şekil 4.17’de görülen grafikte pim bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_x gerilme dağılımı gösterilmiştir.

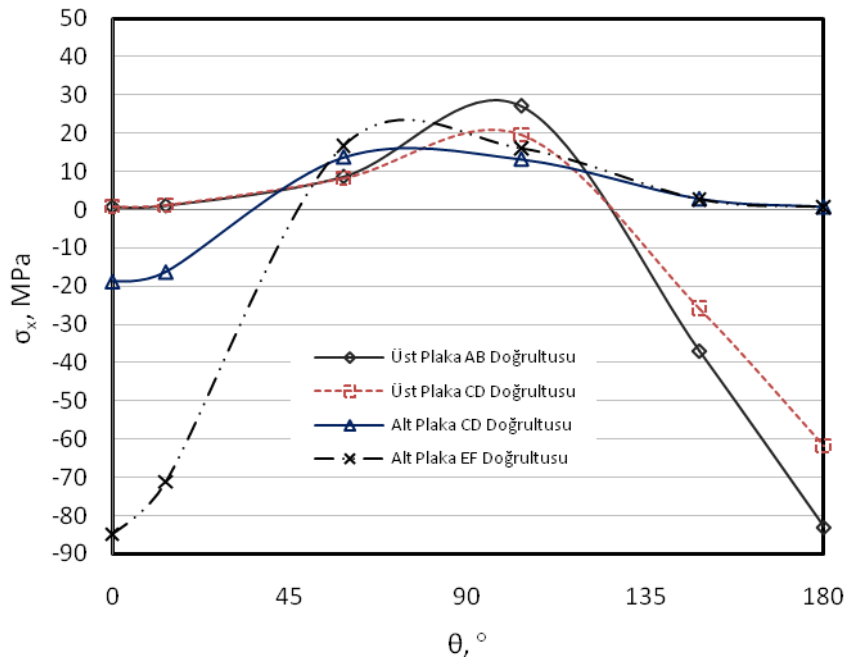


Şekil 4.17. Pim bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_x gerilme dağılımı

Grafikte, üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ arası çekme gerilmelerinin oluştuğu, $\theta=90-180^\circ$ arası ise basma gerilmelerinin meydana geldiği, alt

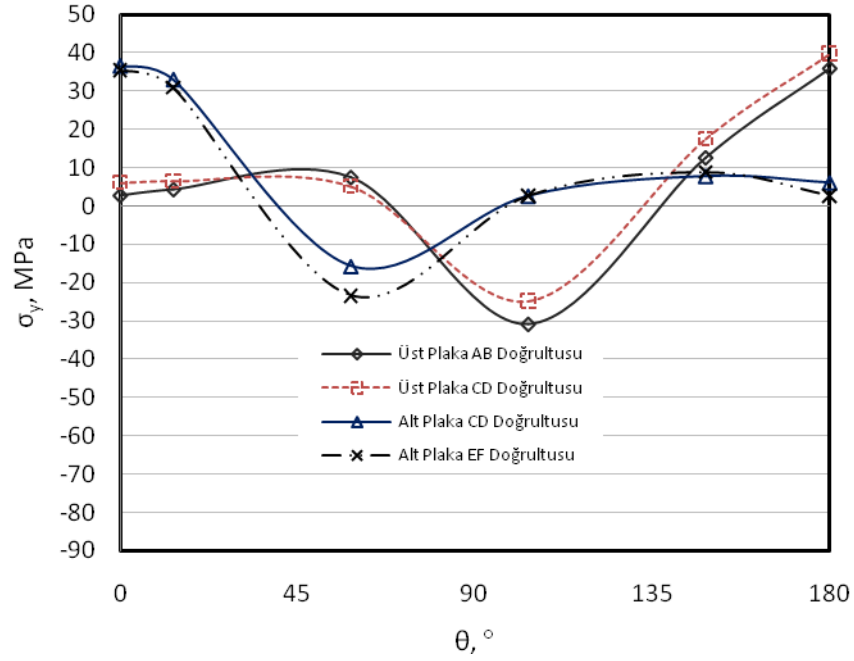
plaka üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında ise $\theta=0-90^\circ$ arası basma gerilmelerinin, $\theta=90-180^\circ$ arası ise çekme gerilmelerinin olduğu gözlenmiştir.

Şekil 4.18’de görülen grafikte, pim bağlantısında ısı sınır şartı uygulandığında oluşan σ_x gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ arası çekme gerilmelerinin olduğu, $\theta=90-180^\circ$ arası ise basma gerilmelerinin meydana geldiği, alt plaka üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ arası basma gerilmelerinin, $\theta=90-180^\circ$ arası ise çekme gerilmelerinin olduğu görülmüştür. Şekil 4.17 ve Şekil 4.18 birlikte değerlendirildiğinde, ısı sınır şartının sonuçlara basma gerilmelerini artırarak katkıda bulunduğu gözlenmiştir. Bu grafiklerden görüldüğü gibi alt plakanın alt yüzeyinde ve üst plakanın üst yüzeyinde meydana gelen basma gerilmelerinin (mutlak değer olarak) değerlerinin çok yüksek değerlerde olduğu ve tüm bağlantı dikkate alındığında çekme gerilmelerinin daha önemli olduğu anlaşılmaktadır.



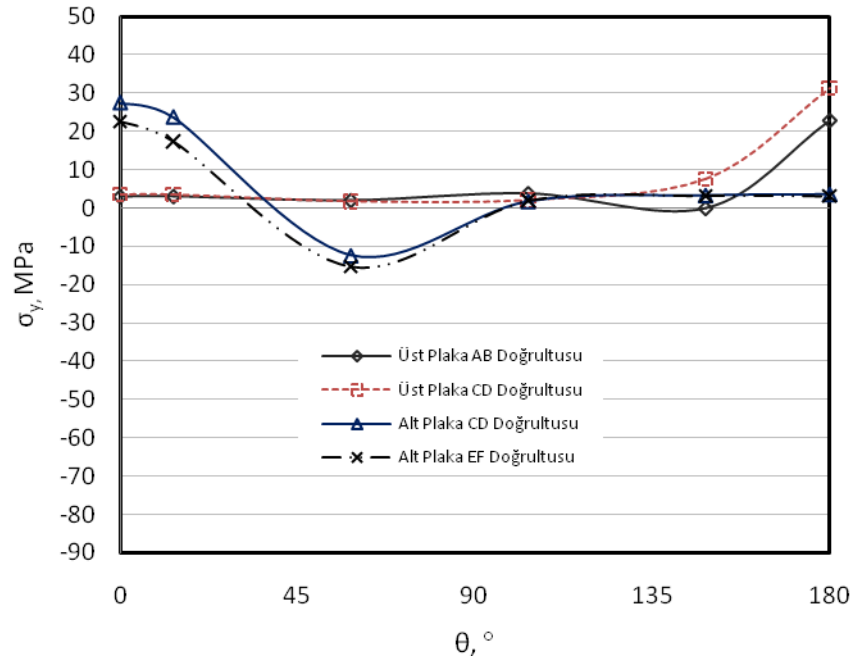
Şekil 4.18. Pim bağlantısında ısı sınır şartlı σ_x gerilme dağılımı

Şekil 4.19’da görülen grafikte, pim bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_y gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ arası basma gerilmelerinin olduğu, $\theta=90-180^\circ$ arası ise çekme gerilmelerinin meydana geldiği, alt plaka üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ arası çekme gerilmelerinin, $\theta=90-180^\circ$ arası ise basma gerilmelerinin olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.19. Pim bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_y gerilme dağılımı

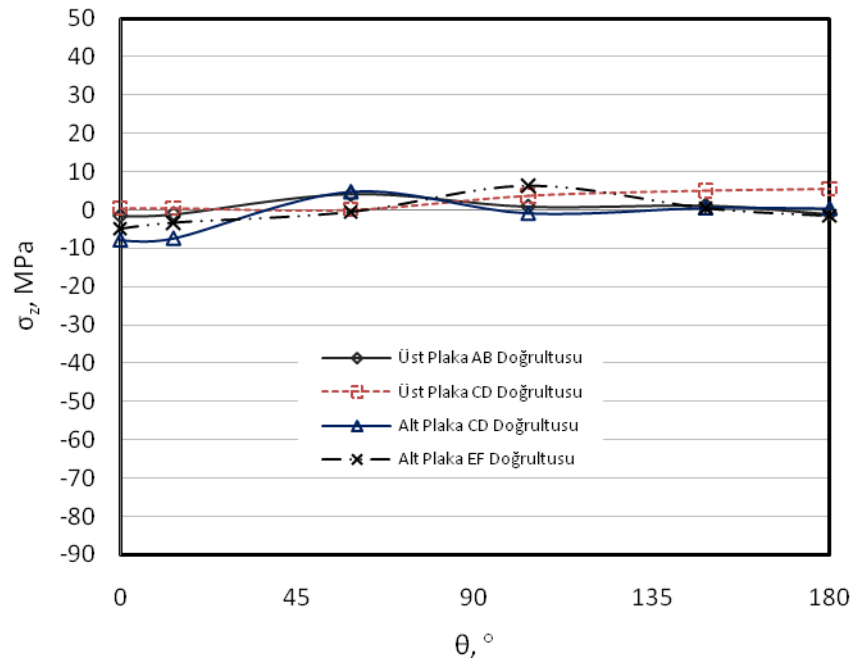
Şekil 4.20'de görülen grafikte, pim bağlantısında ısı sınır şartı uygulandığında oluşan σ_y gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ ve $\theta=90-180^\circ$ arası ise çekme gerilmelerinin olduğu, alt plaka üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ arası basma gerilmelerinin olduğu, $\theta=90-180^\circ$ arası ise çekme gerilmelerinin meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 4.20. Pim bağlantısında ısı sınır şartlı σ_y gerilme dağılımı

Şekil 4.19 ve Şekil 4.20 birlikte incelendiğinde σ_y gerilmelerinin doğrultular boyunca sürekli işaret değiştirdiği görülmektedir. Yani çekme-basma, basma-çekme şeklinde değişim olmaktadır.

Şekil 4.21’de görülen grafikte pim bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın oluşan σ_z gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte, üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ arası basma gerilmelerinin oluştuğu, $\theta=90-180^\circ$ arası ise

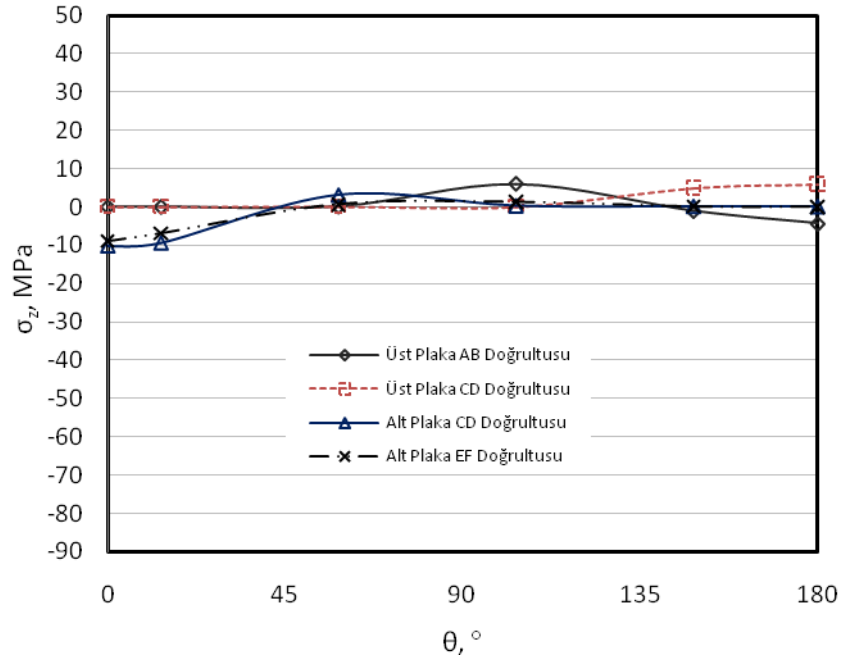


Şekil 4.21. Pim bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_z gerilme dağılımı

çekme gerilmelerinin oluştuğu, alt plaka üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ arası basma gerilmelerinin oluştuğu, $\theta=90-180^\circ$ arası ise çekme gerilmelerinin meydana geldiği görülmüştür.

Şekil 4.22’de görülen grafikte pim bağlantısında ısı sınır şartı uygulandığında oluşan σ_z gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ arası çekme gerilmelerinin oluştuğu, $\theta=90-180^\circ$ arası ise basma gerilmelerinin oluştuğu, alt plaka üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ arası basma gerilmelerinin oluştuğu, $\theta=90-180^\circ$ arası ise çekme gerilmelerinin meydana geldiği görülmüştür.

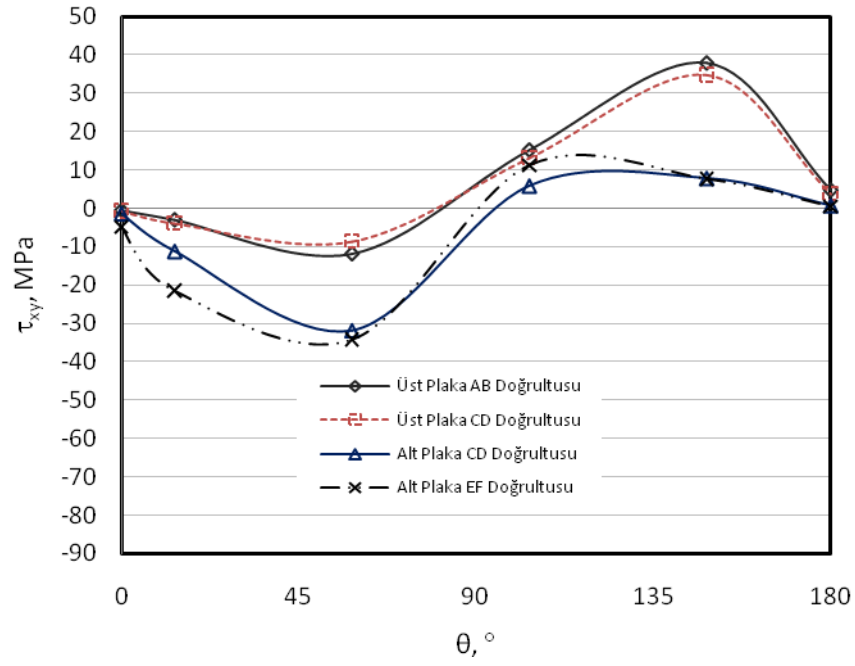
Yukarıdaki grafikler incelendiğinde σ_z gerilme değerlerinin σ_x ve σ_y gerilmelerinden daha küçük olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.22. Pim bağlantısında ısı sınır şartlı σ_z gerilme dağılımı

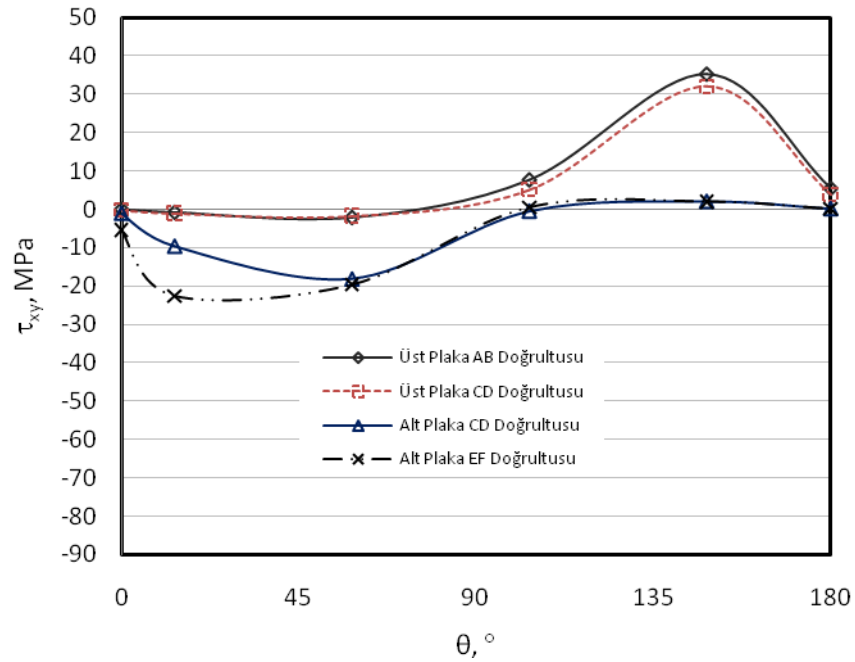
Normal gerilmeler yukarıda ısı sınır şartı uygulanmamış ve ısı sınır şartı uygulanmış olarak ayrı ayrı izah edilmeye çalışılmıştır. En genel anlamda, ısı sınır şartının basma gerilmelerini arttırıcı etkisi burada da gözlenmiştir.

Şekil 4.23'te görülen grafikte pim bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın oluşan τ_{xy} gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ arası basma gerilmelerinin oluştuğu, $\theta=90-180^\circ$ arası ise çekme gerilmelerinin oluştuğu, alt plaka üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ arası basma gerilmelerinin oluştuğu, $\theta=90-180^\circ$ arası ise çekme gerilmelerinin meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 4.23. Pim bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın τ_{xy} gerilme dağılımı

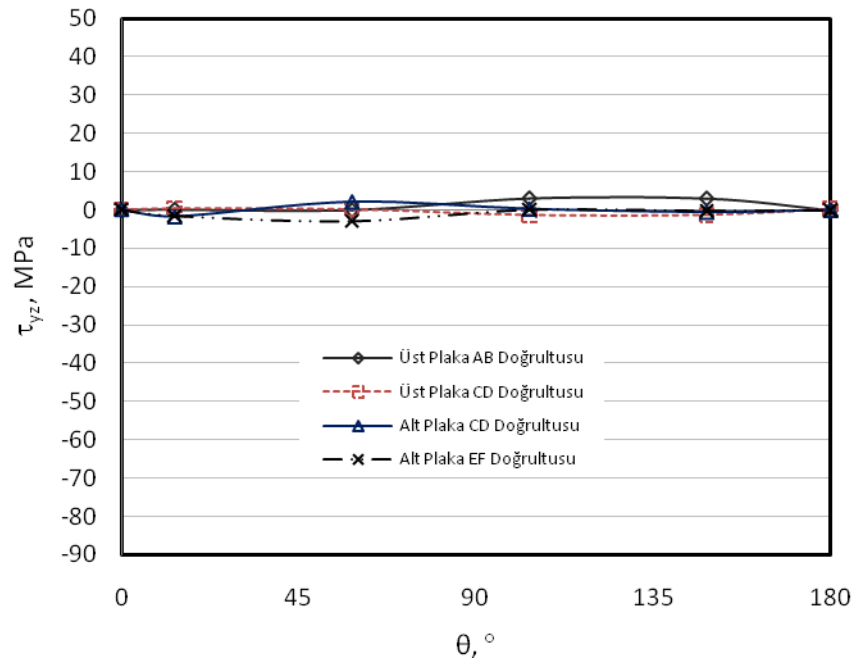
Şekil 4.24'te görülen grafikte pim bağlantısında ısı sınır şartı uygulandığında oluşan τ_{xy} gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte, üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ arası basma gerilmelerinin oluştuğu, $\theta=90-180^\circ$ arası ise



Şekil 4.24. Pim bağlantısında ısı sınır şartlı τ_{xy} gerilme dağılımı

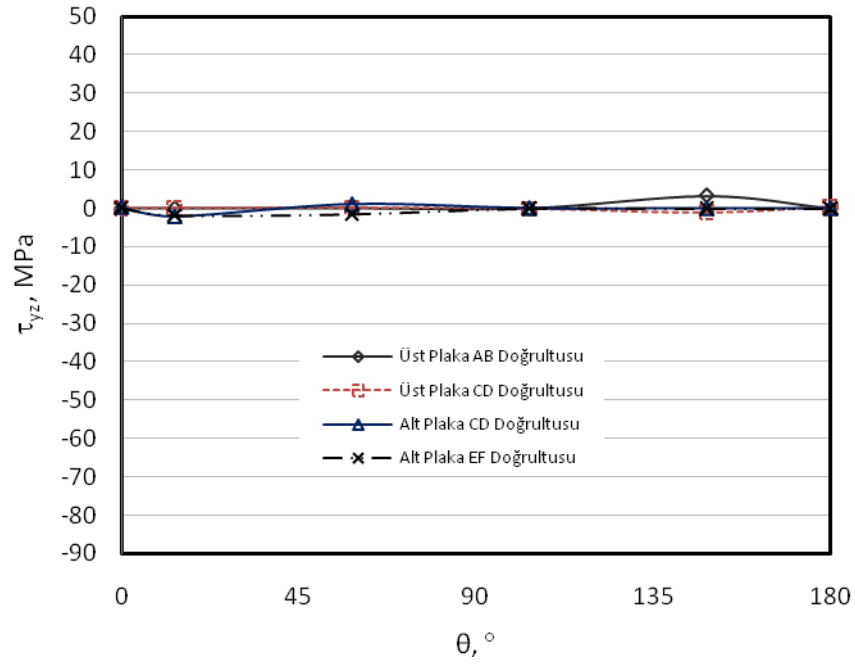
çekme gerilmelerinin oluştuğu, alt plaka üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ arası basma gerilmelerinin oluştuğu, $\theta=90-180^\circ$ arası ise çekme gerilmelerinin meydana geldiği görülmüştür.

Şekil 4.25'te görülen grafikte pim bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın oluşan τ_{yz} gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte, üst plaka üzerinde bulunan A-B doğrultusunda $\theta=0-180^\circ$ arası çekme gerilmelerinin C-D doğrultusunda $\theta=0-180^\circ$ arası basma gerilmelerinin oluştuğu, alt plaka üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $\theta=0-180^\circ$ arası basma gerilmelerinin oluştuğu görülmüştür.



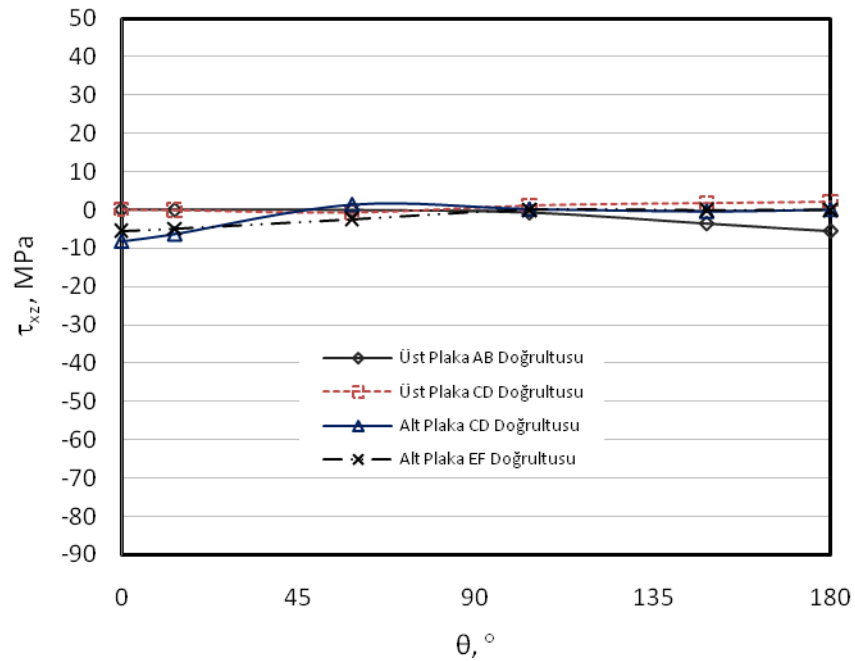
Şekil 4.25. Pim bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın τ_{yz} gerilme dağılımı

Şekil 4.26'da görülen grafikte pim bağlantısında ısı sınır şartı uygulandığında oluşan τ_{yz} gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $\theta=0-180^\circ$ arası çekme gerilmelerinin $\theta=90-180^\circ$ arası basma gerilmelerinin oluştuğu, alt plaka üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $\theta=0-180^\circ$ arası basma gerilmelerinin oluştuğu görülmüştür.



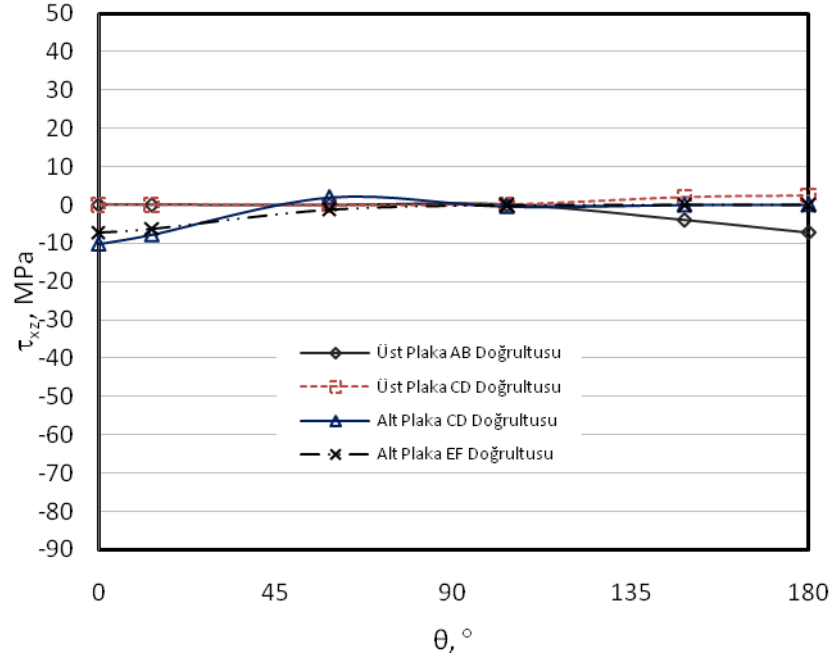
Şekil 4.26. Pim bağlantısında ısı sınır şartlı τ_{yz} gerilme dağılımı

Şekil 4.27’de görülen grafikte pim bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın oluşan τ_{xz} gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B doğrultusunda $\theta=0-180^\circ$ arası basma gerilmelerinin, C-D doğrultusunda $\theta=0-180^\circ$ arası çekme gerilmelerinin oluştuğu, alt plaka üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $\theta=0-180^\circ$ arası basma gerilmelerinin oluştuğu görülmüştür.



Şekil 4.27. Pim bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın τ_{xz} gerilme dağılımı

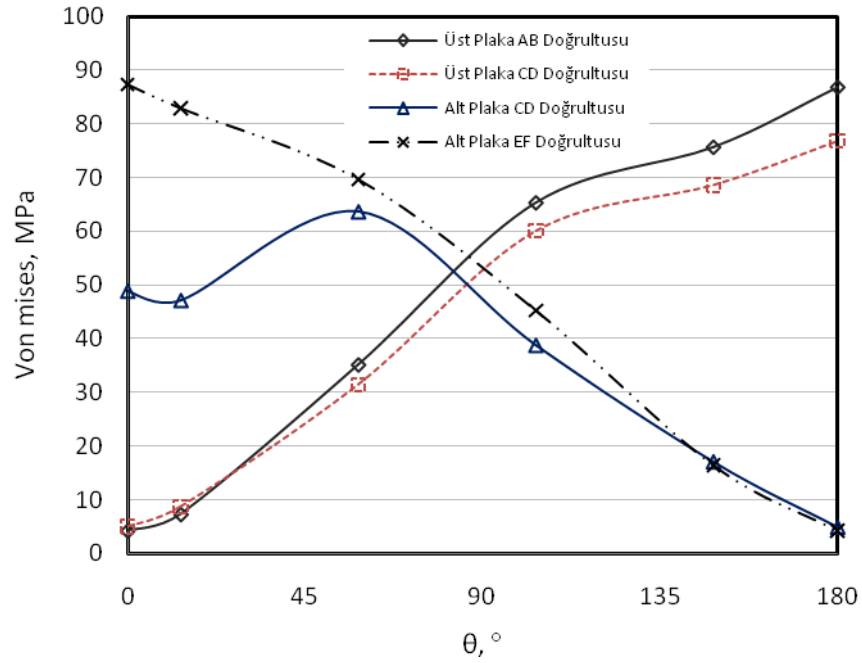
Şekil 4.28’de görülen grafikte, pim bağlantısında ısı sınır şartı uygulandığında oluşan τ_{xz} gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B doğrultusunda $\theta=0-180^\circ$ arası basma gerilmelerinin, C-D doğrultusunda $\theta=0-90^\circ$ arası basma gerilmelerinin, $\theta=90-180^\circ$ arası çekme gerilmelerinin olduğu, alt plaka üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $\theta=0-180^\circ$ arası basma gerilmelerinin olduğu görülmüştür.



Şekil 4.28. Pim bağlantısında ısı sınır şartlı τ_{xz} gerilme dağılımı

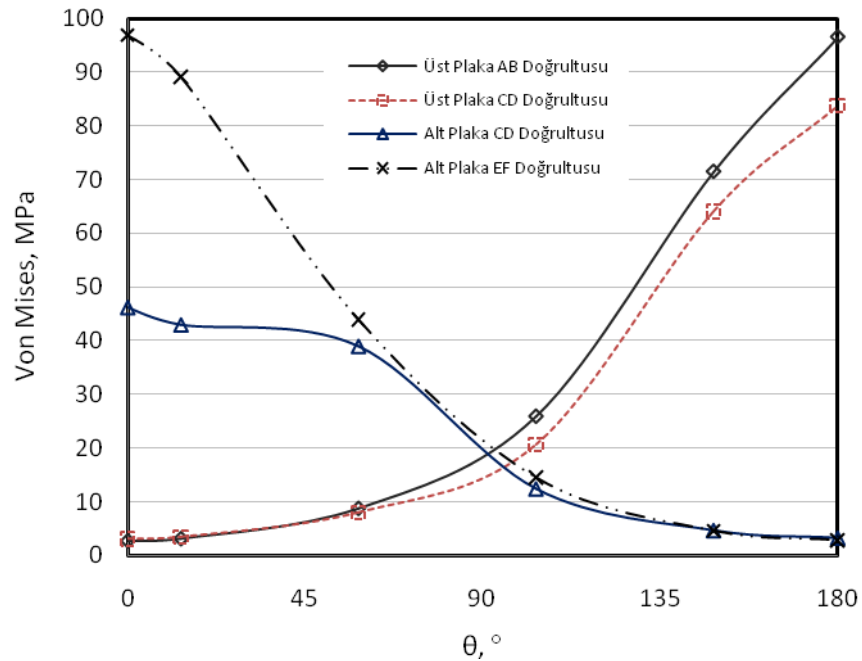
Yukarıda verilen grafiklerde, kayma gerilmeleri ısı sınır şartı olmaksızın ve ısı sınır şartı uygulanmış olarak değerlendirilmiş olup, xz ve yz düzlemlerinde çok düşük düzeyde kayma gerilmelerinin olduğu fakat xy düzleminde, xz ve yz düzlemlerine oranla daha yüksek kayma gerilmelerinin varlığı, ayrıca normal gerilmelerde olduğu gibi ısı sınır şartı kayma gerilmelerinde basma gerilmesini artırıcı etki gösterdiği gözlenmiştir.

Şekil 4.29’da görülen grafikte, pim bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın oluşan von Mises gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $\theta=0^\circ$ ’de minimum von Mises gerilmelerinin, $\theta=180^\circ$ ’de maksimum von Mises gerilmelerinin olduğu, alt plaka üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $\theta=0^\circ$ ’de maksimum von Mises gerilmelerinin, $\theta=180^\circ$ ’de minimum von Mises gerilmelerinin meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 4.29. Pim bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın von Mises gerilme dağılımı

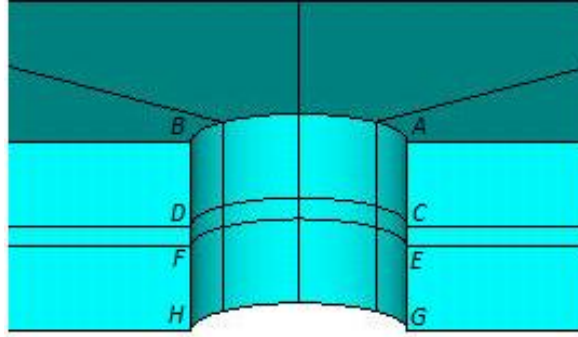
Şekil 4.30'da görülen grafikte, pim bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın oluşan von Mises gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $\theta=0^\circ$ 'de minimum von Mises gerilmelerinin, $\theta=180^\circ$ 'de maksimum von Mises gerilmelerinin olduğu, alt plaka üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $\theta=0^\circ$ 'de maksimum von Mises gerilmelerinin, $\theta=180^\circ$ 'de minimum von Mises gerilmelerinin meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca, Şekil 4.29 ve Şekil 4.30 birlikte değerlendirildiğinde ısı sınır şartı von Mises gerilmelerini artırıcı etki göstermiştir.



Şekil 4.30. Pim bağlantısında ısı sınır şartlı von Mises gerilme dağılımı

4.3. Yapıştırıcı ve Pimli Karma Bağlantı Bulguları

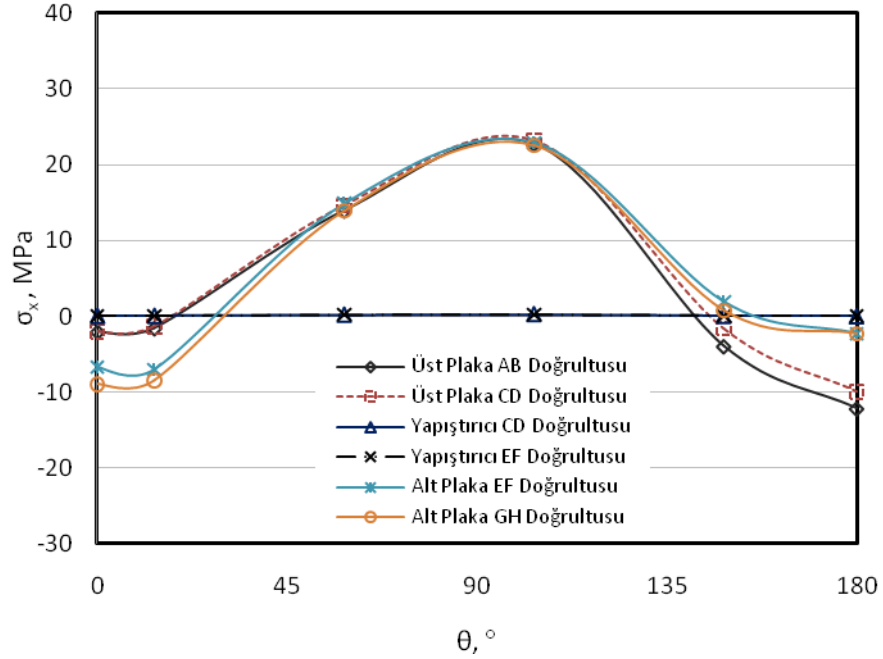
Şekil 4.31 ile gösterilen karma bağlantı yapılmış üç boyutlu modelde, A-B doğrultusu ile üst plakanın üst yüzeyindeki düğüm noktalarında oluşan gerilme dağılımı, C-D doğrultusu ile üst plakanın alt yüzeyindeki düğüm noktalarında oluşan gerilme dağılımı ve yapıştırıcı tabakasının üst yüzeyindeki düğüm noktalarında oluşan gerilme dağılımı, E-F doğrultusu ile hem alt plakanın üst yüzeyindeki düğüm noktalarında oluşan gerilme dağılımı hemde yapıştırıcı tabakasının alt yüzeyindeki düğüm noktalarında oluşan gerilme dağılımı, G-H doğrultusu ile alt plakanın alt yüzeyindeki düğüm noktalarında oluşan gerilme dağılımı elde edilmek üzere tarif edilmiştir. Sadece pimli bağlantıdakine benzer şekilde, karma bağlantıda da doğrultular delik çevresinde tanımlandığından A, C, E ve G düğüm noktalarından saatin tersi yönünde B, D, F ve H düğüm noktalarında tamamlanmıştır. Bu yörüngeler boyunca dönme açısı A, C, E ve G noktalarında $\theta=0^\circ$ ve B, D, F ve H $\theta=180^\circ$ olacak şekilde tanımlanmıştır. Dolayısıyla grafiklerin çizilebilmesi için tanımlanan her bir doğrultu üzerinde bulunan kırk adet düğüm noktasında oluşan, gerilme değerleri kullanılmak suretiyle aşağıdaki şekillerde çizilen grafikler elde edilmiştir.



Şekil 4.31. Yapıştırıcı ve pimli karma bağlantı modelinde grafiklerin çizildiği doğrultular

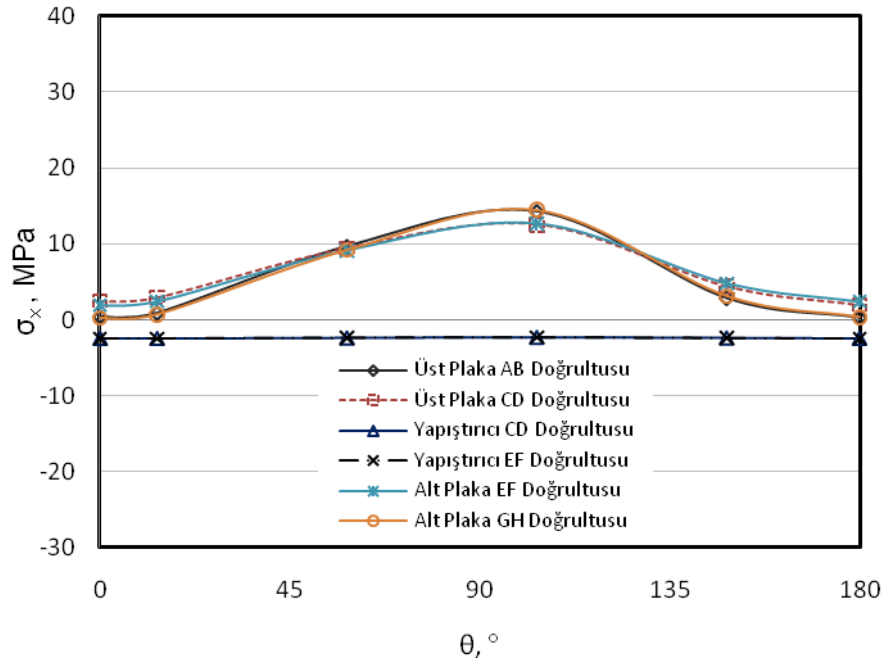
Şekil 4.32’de görülen grafikte yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantıda ısı sınır şartı olmaksızın oluşan σ_x gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ aralığında çekme gerilmelerinin oluştuğu ve bu gerilmelerin $\theta=90^\circ$ civarında maksimum değere ulaştığı, $\theta=90-180^\circ$ aralığında ise basma gerilmelerinin meydana geldiği, alt plaka üzerinde bulunan E-F ve G-H doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ aralığında çekme gerilmelerinin oluştuğu ve bu gerilmelerin

$\theta=90^\circ$ civarında maksimum değere ulaştığı, $\theta=90-180^\circ$ aralığında ise basma gerilmelerinin meydana geldiği, yapıştırıcı üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $\theta=0-180^\circ$ aralığında ise çekme gerilmelerinin meydana geldiği görülmüştür.



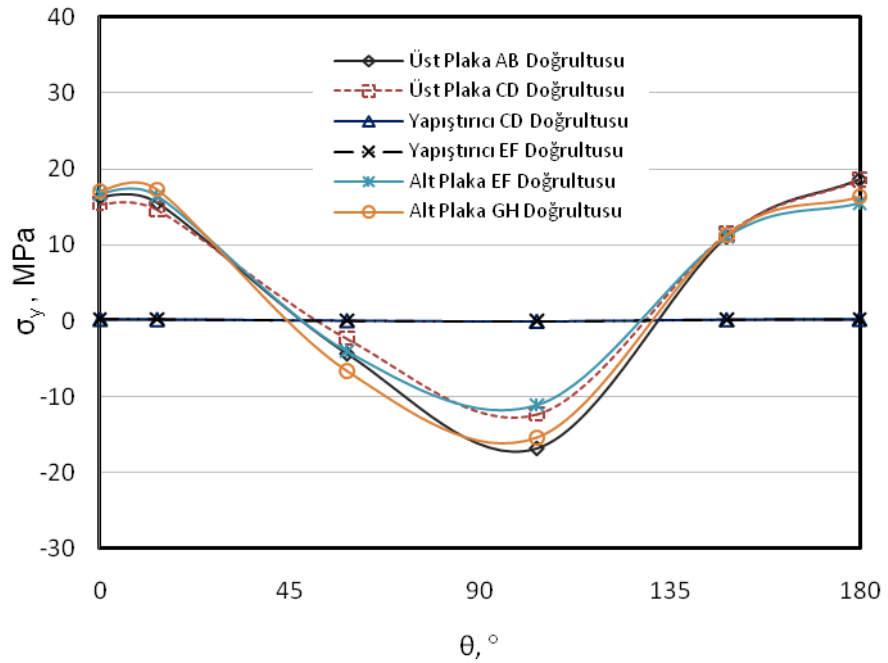
Şekil 4.32. Yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_x gerilme dağılımı

Şekil 4.33'te görülen grafikte yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantıda ısı sınır şartı uygulanması ile oluşan σ_x gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ aralığında çekme gerilmelerinin oluştuğu ve bu gerilmelerin $\theta=90^\circ$ civarında maksimum değere ulaştığı, $\theta=90-180^\circ$ aralığında ise basma gerilmelerinin meydana geldiği, alt plaka üzerinde bulunan E-F ve G-H doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ aralığında çekme gerilmelerinin oluştuğu ve bu gerilmelerin $\theta=90^\circ$ civarında maksimum değere ulaştığı, $\theta=90-180^\circ$ aralığında ise basma gerilmelerinin meydana geldiği, yapıştırıcı üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $\theta=0-180^\circ$ aralığında ise basma gerilmelerinin meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 4.33. Yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartlı σ_x gerilme dağılımı

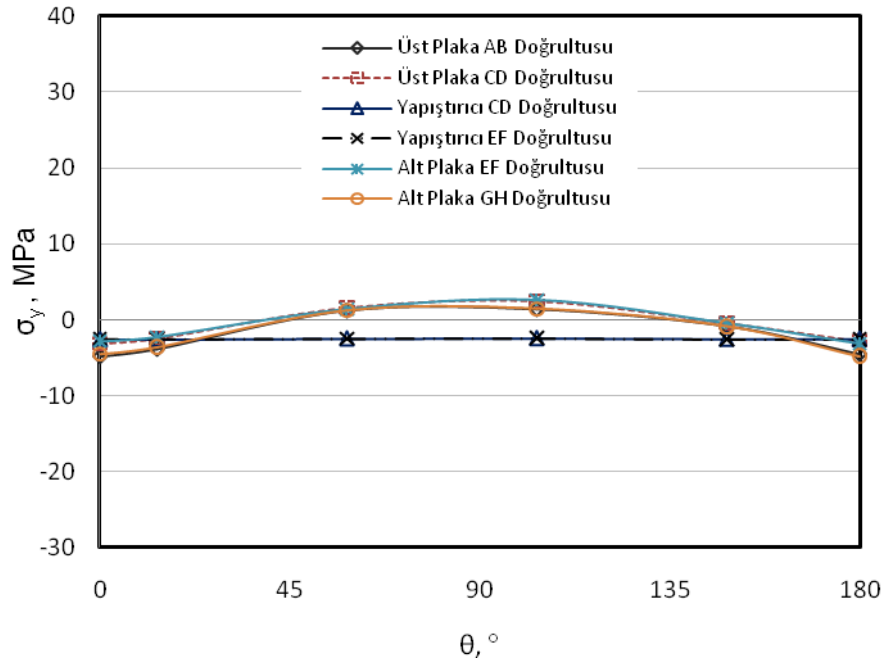
Şekil 4.34'te görülen grafikte yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantıda ısı sınır şartı olmaksızın oluşan σ_y gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ aralığında basma gerilmelerinin oluştuğu



Şekil 4.34. Yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_y gerilme dağılımı

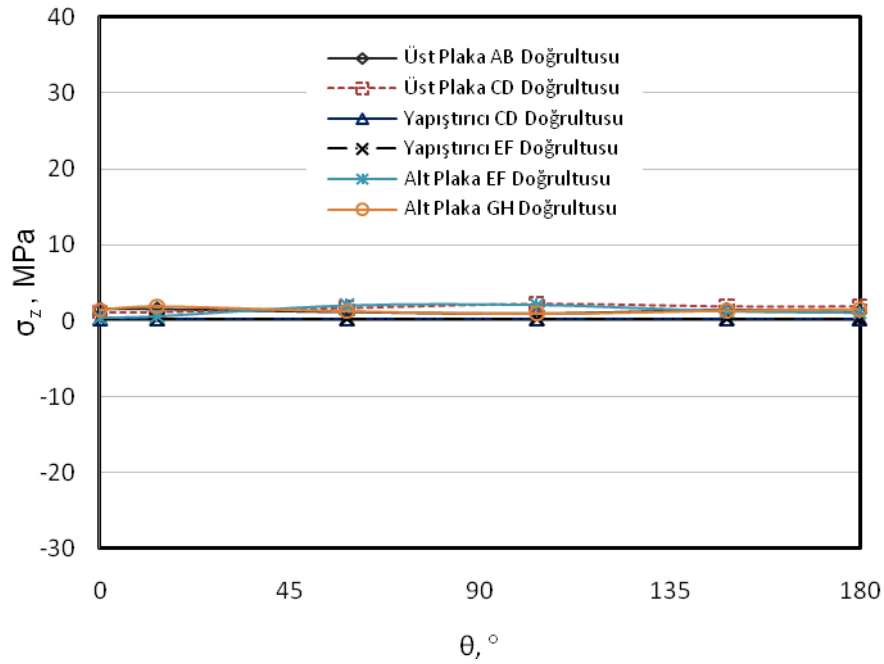
ve bu gerilmelerin $\theta=90^\circ$ civarında maksimum değere ulaştığı, $\theta=90-180^\circ$ aralığında ise çekme gerilmelerinin meydana geldiği, alt plaka üzerinde bulunan E-F ve G-H doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ aralığında basma gerilmelerinin oluştuğu ve bu gerilmelerin $\theta=90^\circ$ civarında maksimum değere ulaştığı, $\theta=90-180^\circ$ aralığında ise çekme gerilmelerinin meydana geldiği, yapıştırıcı üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $\theta=0-180^\circ$ aralığında ise çekme gerilmelerinin meydana geldiği görülmüştür.

Şekil 4.35'te görülen grafikte yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantıda ısı sınır şartı uygulanması ile oluşan σ_y gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ aralığında çekme gerilmelerinin oluştuğu ve bu gerilmelerin $\theta=90^\circ$ civarında maksimum değere ulaştığı, $\theta=90-180^\circ$ aralığında ise basma gerilmelerinin meydana geldiği, alt plaka üzerinde bulunan E-F ve G-H doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ aralığında çekme gerilmelerinin oluştuğu ve bu gerilmelerin $\theta=90^\circ$ civarında maksimum değere ulaştığı, $\theta=90-180^\circ$ aralığında ise basma gerilmelerinin meydana geldiği, yapıştırıcı üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $\theta=0-180^\circ$ aralığında ise basma gerilmelerinin meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 4.35. Yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartlı σ_y gerilme dağılımı

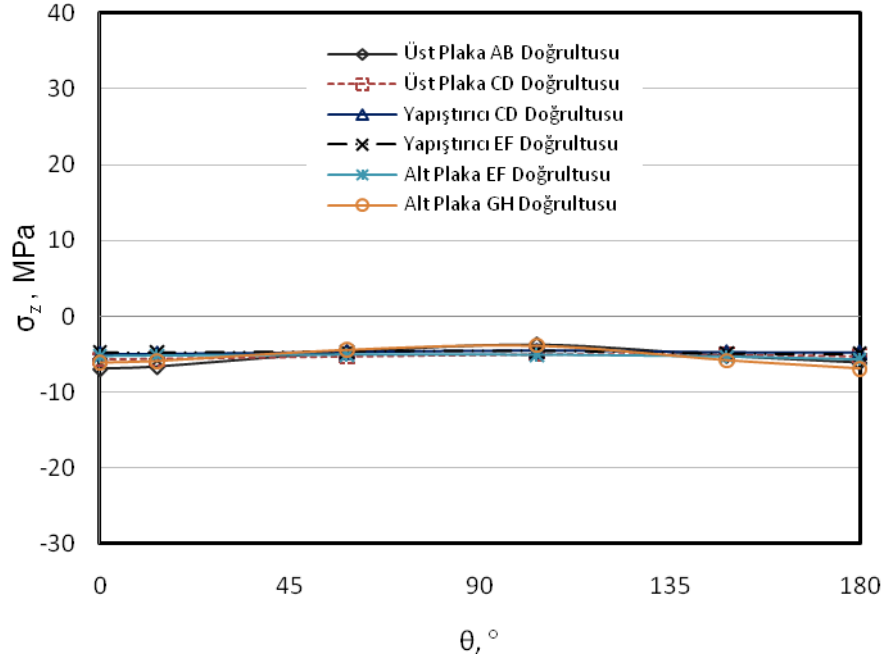
Şekil 4.36’da görülen grafikte yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantıda ısı sınır şartı olmaksızın oluşan σ_z gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B doğrultusunda $\theta=0-90^\circ$ aralığında basma gerilmelerinin, $\theta=90-180^\circ$ aralığında ise çekme gerilmelerinin meydana geldiği ve C-D doğrultusunda $\theta=0-90^\circ$ aralığında çekme gerilmelerinin, $\theta=90-180^\circ$ aralığında ise basma gerilmelerinin meydana geldiği, alt plaka üzerinde bulunan E-F doğrultusunda $\theta=0-90^\circ$ aralığında çekme gerilmelerinin, $\theta=90-180^\circ$ aralığında ise basma gerilmelerinin meydana geldiği, yapıştırıcı üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $\theta=0-180^\circ$ aralığında ise çekme gerilmelerinin meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 4.36. Yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_z gerilme dağılımı

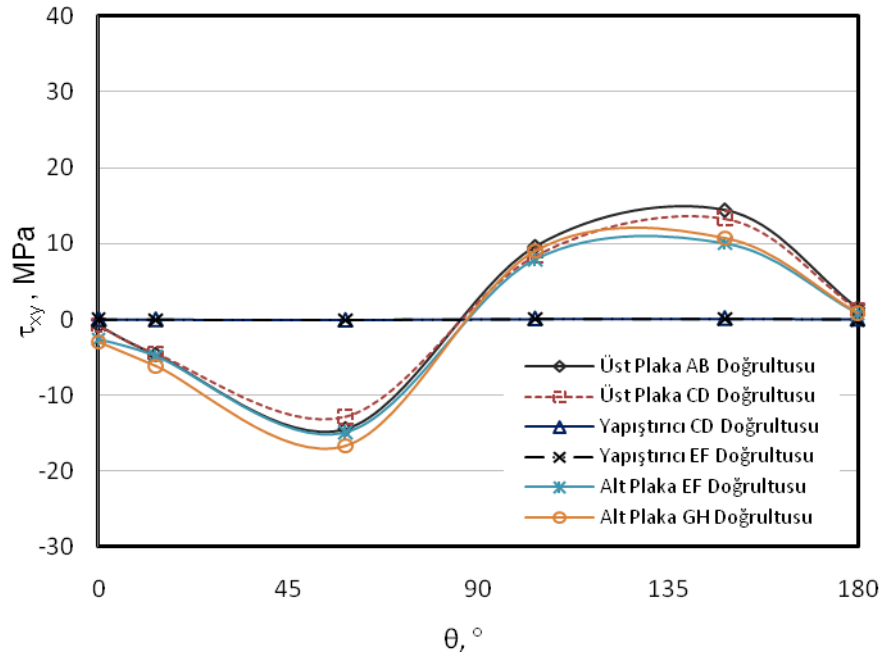
Şekil 4.37’de görülen grafikte yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantıda ısı sınır şartı uygulanması ile oluşan σ_z gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B doğrultusunda $\theta=0-90^\circ$ aralığında çekme gerilmelerinin, $\theta=90-180^\circ$ aralığında ise basma gerilmelerinin meydana geldiği ve C-D doğrultusunda $\theta=0-90^\circ$ aralığında çekme gerilmelerinin, $\theta=90-180^\circ$ aralığında ise basma gerilmelerinin meydana geldiği, alt plaka üzerinde bulunan E-F doğrultusunda $\theta=0-90^\circ$ aralığında

çekme gerilmelerinin, $\theta=90-180^\circ$ aralığında ise basma gerilmelerinin meydana geldiği, G-H doğrultusunda $\theta=0-90^\circ$ aralığında çekme gerilmelerinin, $\theta=90-180^\circ$ aralığında ise basma gerilmelerinin meydana geldiği, yapıştırıcı üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $\theta=0-180^\circ$ aralığında ise basma gerilmelerinin meydana geldiği görülmüştür.



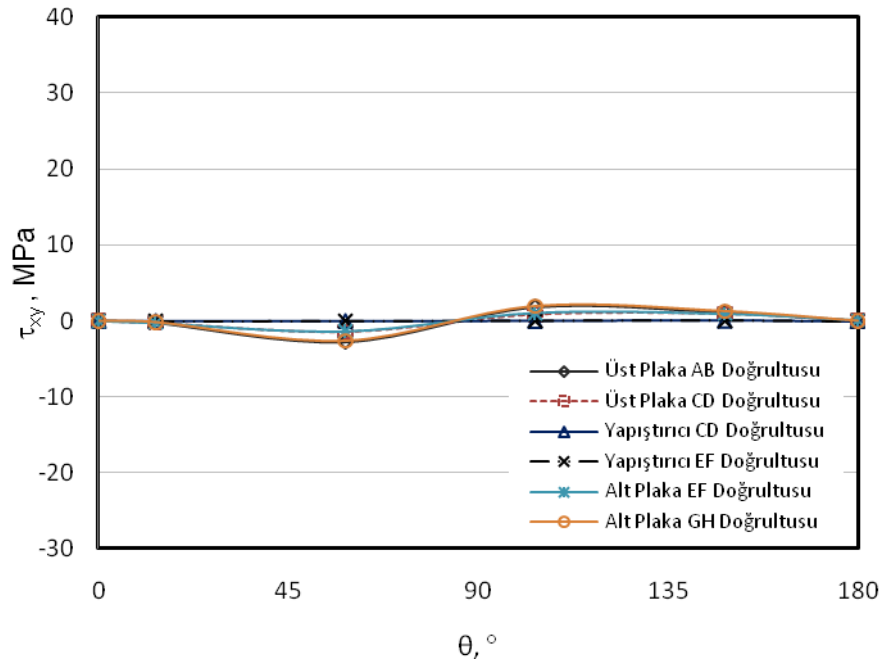
Şekil 4.37. Yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartlı σ_z gerilme dağılımı

Şekil 4.38'de görülen grafikte yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantıda ısı sınır şartı olmaksızın oluşan τ_{xy} gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ aralığında basma gerilmelerinin, $\theta=90-180^\circ$ aralığında çekme gerilmelerinin meydana geldiği, E-F ve G-H doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ aralığında basma gerilmelerinin, $\theta=90-180^\circ$ aralığında çekme gerilmelerinin meydana geldiği, yapıştırıcı üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ aralığında basma gerilmelerinin, $\theta=90-180^\circ$ aralığında çekme gerilmelerinin meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 4.38. Yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın τ_{xy} gerilme dağılımı

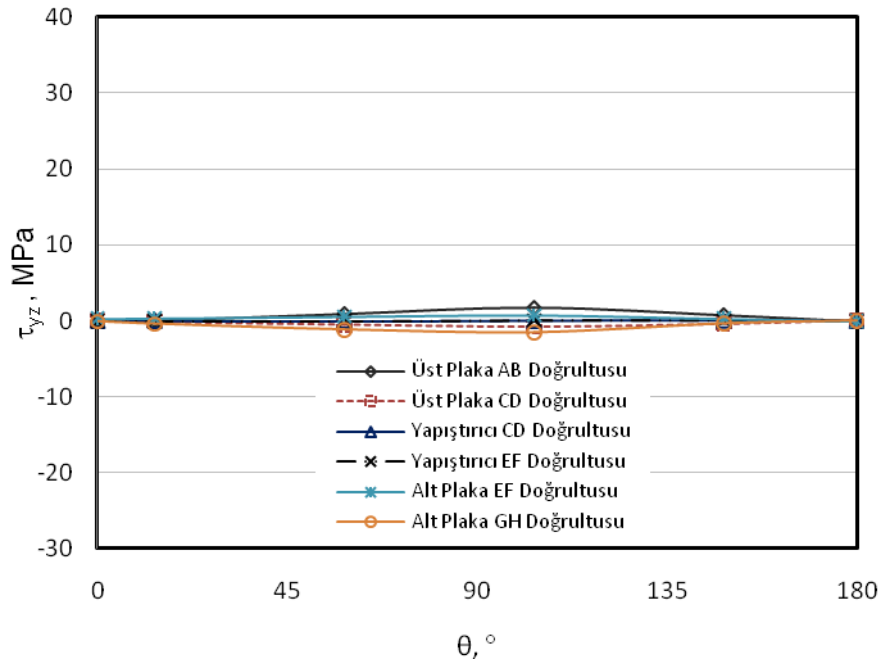
Şekil 4.39’da görülen grafikte, yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantıda ısı sınır şartı uygulanması ile oluşan τ_{xy} gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ aralığında basma gerilmelerinin, $\theta=90-180^\circ$ aralığında çekme gerilmelerinin, meydana geldiği, E-F ve G-H doğru-



Şekil 4.39. Yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartlı τ_{xy} gerilme dağılımı

larında $\theta=0-90^\circ$ aralığında basma gerilmelerinin, $\theta=90-180^\circ$ aralığında çekme gerilmelerinin, meydana geldiği, yapıştırıcı üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ aralığında basma gerilmelerinin, $\theta=90-180^\circ$ aralığında çekme gerilmelerinin meydana geldiği görülmüştür.

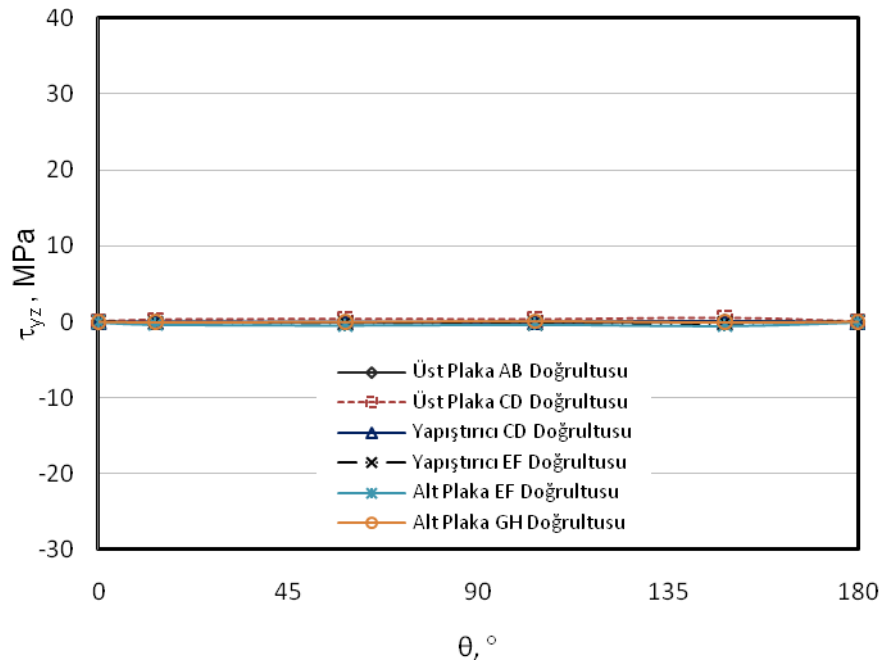
Şekil 4.40'da görülen grafikte, yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantıda ısı sınır şartı olmaksızın oluşan τ_{yz} gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B doğrultusunda $\theta=0-90^\circ$ aralığında çekme gerilmelerinin, $\theta=90-180^\circ$ aralığında ise basma gerilmelerinin meydana geldiği ve C-D doğrultusunda $\theta=0-90^\circ$ aralığında basma gerilmelerinin, $\theta=90-180^\circ$ aralığında ise çekme gerilmelerinin meydana geldiği, alt plaka üzerinde bulunan E-F doğrultusunda $\theta=0-90^\circ$ aralığında



Şekil 4.40. Yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın τ_{yz} gerilme dağılımı

çekme gerilmelerinin, $\theta=90-180^\circ$ aralığında ise basma gerilmelerinin meydana geldiği, G-H doğrultusunda $\theta=0-90^\circ$ aralığında basma gerilmelerinin, $\theta=90-180^\circ$ aralığında ise çekme gerilmelerinin meydana geldiği, yapıştırıcı üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ aralığında basma gerilmelerinin meydana geldiği, $\theta=90-180^\circ$ aralığında çekme gerilmelerinin meydana geldiği görülmüştür.

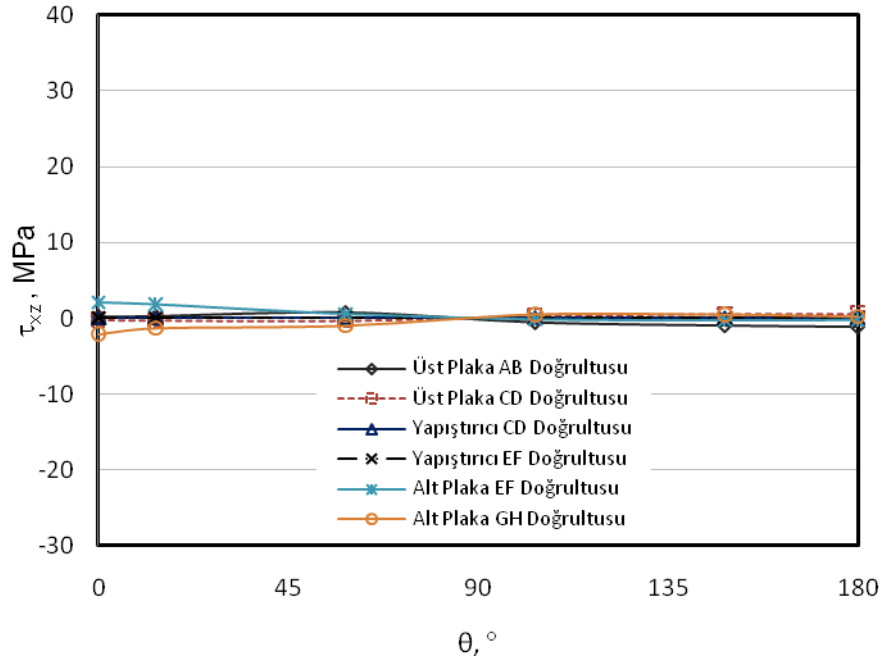
Şekil 4.41’de görülen grafikte, yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantıda ısı sınır şartı uygulanması ile oluşan τ_{yz} gerilme dağılımı gösterilmiştir. Şekil 4.40’da verilen grafik değerlerinden oldukça küçük kaydıyla, grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B doğrultusunda $\theta=0-90^\circ$ aralığında çekme gerilmelerinin, $\theta=90-180^\circ$ aralığında ise basma gerilmelerinin meydana geldiği ve C-D doğrultusunda $\theta=0-90^\circ$ aralığında basma gerilmelerinin, $\theta=90-180^\circ$ aralığında ise çekme gerilmelerinin meydana geldiği, alt plaka üzerinde bulunan E-F doğrultusunda $\theta=0-90^\circ$ aralığında çekme gerilmelerinin, $\theta=90-180^\circ$ aralığında ise basma gerilmelerinin meydana geldiği, G-H doğrultusunda $\theta=0-90^\circ$ aralığında basma gerilmelerinin, $\theta=90-180^\circ$ aralığında ise çekme gerilmelerinin meydana geldiği, yapıştırıcı üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ aralığında basma gerilmelerinin meydana geldiği, $\theta=90-180^\circ$ aralığında çekme gerilmelerinin meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 4.41. Yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartlı τ_{yz} gerilme dağılımı

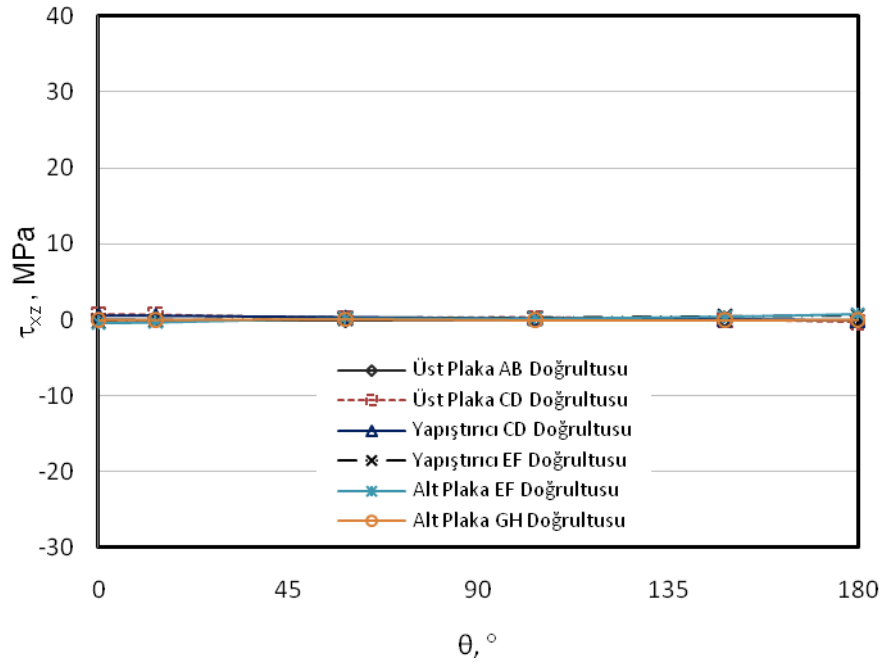
Şekil 4.42’de görülen grafikte, yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantıda ısı sınır şartı olmaksızın oluşan τ_{xz} gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B doğrultusunda $\theta=0-45^\circ$ aralığında çekme gerilmelerinin, $\theta=45-180^\circ$ aralığında ise basma gerilmelerinin meydana geldiği ve C-D doğrultusunda $\theta=0-45^\circ$ aralığında basma gerilmelerinin, $\theta=45-180^\circ$ aralığında ise çekme gerilmelerinin meydana geldiği, alt plaka üzerinde bulunan E-F doğrultusunda $\theta=0-180^\circ$ aralığında

basma gerilmelerinin meydana geldiği, G-H doğrultusunda $\theta=0-180^\circ$ aralığında çekme gerilmelerinin meydana geldiği, yapıştırıcı üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $\theta=0-90^\circ$ aralığında çekme gerilmelerinin meydana geldiği, $\theta=90-180^\circ$ aralığında basma gerilmelerinin meydana geldiği görülmüştür.



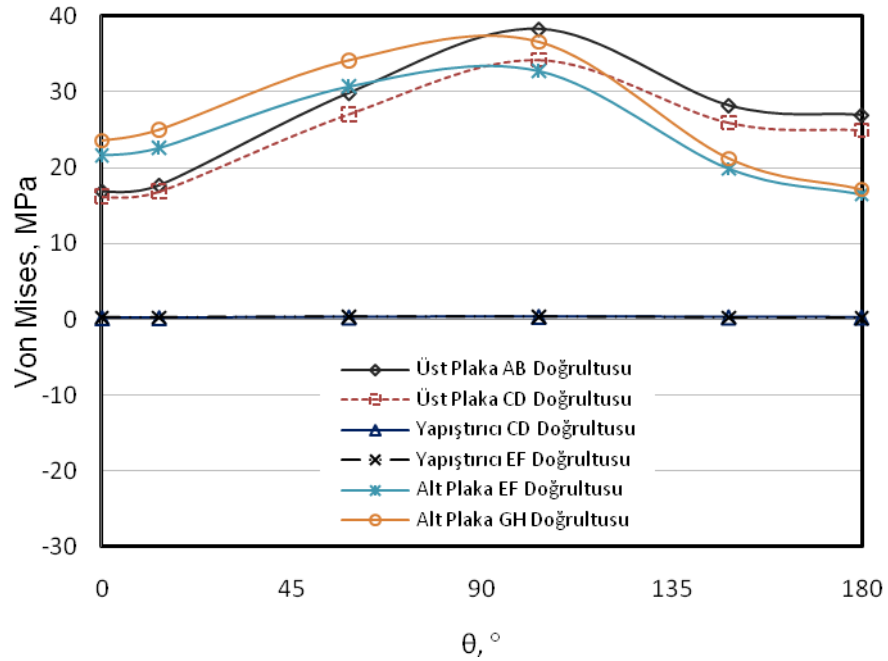
Şekil 4.42. Yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın τ_{xz} gerilme dağılımı

Şekil 4.43'te görülen grafikte, yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantıda ısı sınır şartı uygulanması ile oluşan τ_{xz} gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $\theta=0-180^\circ$ aralığında basma gerilmelerinin meydana geldiği, alt plaka üzerinde bulunan E-F ve G-H doğrultularında $\theta=0-180^\circ$ aralığında çekme gerilmelerinin meydana geldiği, yapıştırıcı üzerinde bulunan C-D doğrultusunda $\theta=0-180^\circ$ aralığında basma gerilmelerinin meydana geldiği ve E-F doğrultusunda $\theta=0-180^\circ$ aralığında çekme gerilmelerinin meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 4.43. Yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartlı τ_{xz} gerilme dağılımı

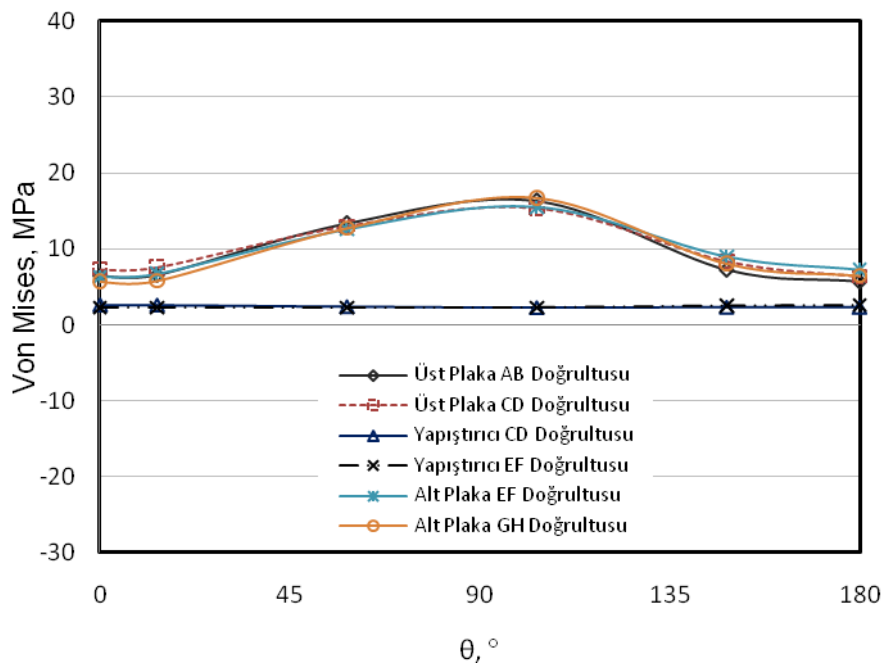
Şekil 4.44'te görülen grafikte, yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantıda ısı sınır şartı olmaksızın oluşan von Mises gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $\theta=0-180^\circ$ noktasında minimum von Mises gerilmelerinin oluştuğu ve bu gerilmelerin $\theta=90^\circ$ civarında maksimum von



Şekil 4.44. Yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın von Mises gerilme dağılımı

mises gerilmelerinin olduğu, alt plaka üzerinde bulunan E-F ve G-H doğrultularında $\theta=0-180^\circ$ noktasında minimum von Mises gerilmelerinin olduğu ve bu gerilmelerin $\theta=90^\circ$ civarında maksimum von Mises gerilmelerinin olduğu, yapıştırıcı üzerinde bulunan C-D ve E-F doğrultularında $\theta=0^\circ$ noktasında minimum von Mises gerilmelerinin meydana geldiği, $\theta=180^\circ$ noktasında maksimum von Mises gerilmelerinin meydana geldiği görülmüştür.

Şekil 4.45'te görülen grafikte yapıştırıcı ve pim uygulanmış karma bağlantıda ısı sınır şartı olmaksızın oluşan von Mises gerilme dağılımı gösterilmiştir. Grafikte üst plaka üzerinde bulunan A-B ve C-D doğrultularında $\theta=0-180^\circ$ noktasında minimum von

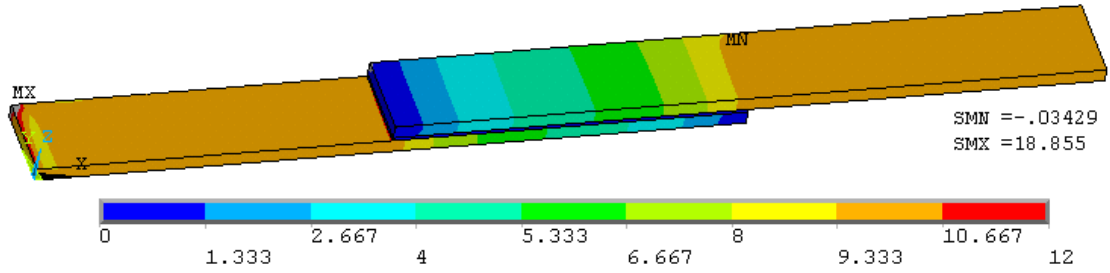


Şekil 4.45. Yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartlı von Mises gerilme dağılımı

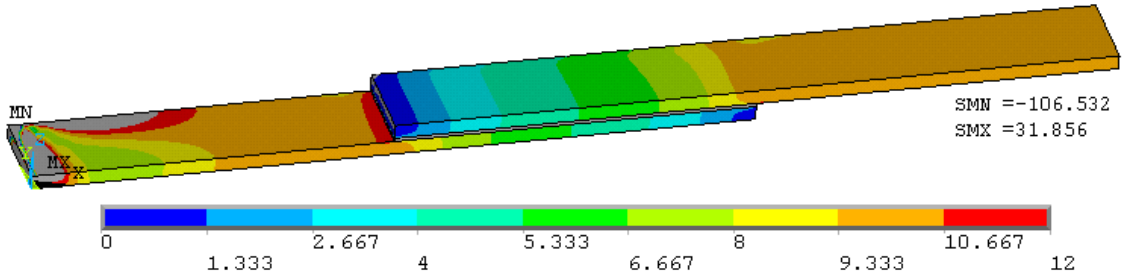
Mises gerilmelerinin olduğu ve bu gerilmelerin $\theta=90^\circ$ civarında maksimum von Mises gerilmelerinin olduğu, alt plaka üzerinde bulunan E-F ve G-H doğrultularında $\theta=0-180^\circ$ noktasında minimum von Mises gerilmelerinin olduğu ve bu gerilmelerin $\theta=90^\circ$ civarında maksimum von Mises gerilmelerinin olduğu, yapıştırıcı üzerinde bulunan C-D doğrultusunda $\theta=0^\circ$ noktasında maksimum von Mises gerilmelerinin meydana geldiği, $\theta=180^\circ$ noktasında minimum von Mises gerilmelerinin meydana geldiği ve E-F doğrultusunda $\theta=0^\circ$ noktasında minimum von Mises gerilmelerinin meydana geldiği, $\theta=180^\circ$ noktasında maksimum von Mises gerilmelerinin meydana geldiği görülmüştür.

4.4. Sonuçların Üç Boyutlu Modeller Üzerinde Karşılaştırılması

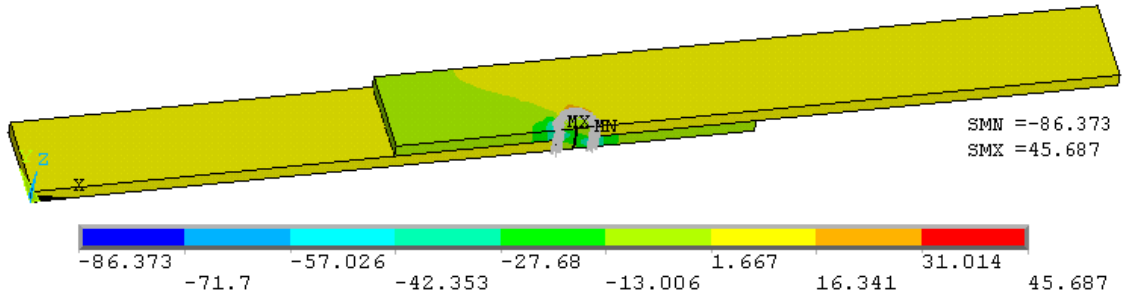
ANSYS sonlu elemanlar yazılımının önemli avantajlarından bir tanesi de analizler sonucunda elde edilen bulguların model üzerinde renkli olarak eş gerilme eğrileri ile gösterilebilmesidir. Bu gösterimle gerilme, yığılmalarının olduğu bölgeler ve kritik kesitler rahatlıkla belirlenebilmektedir.



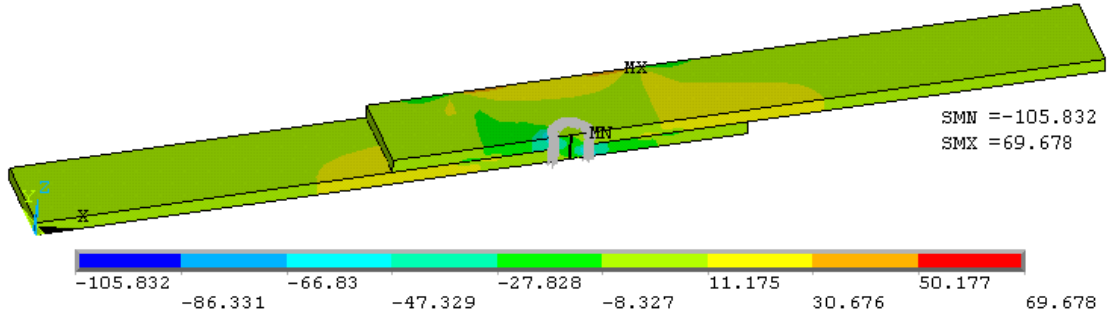
Şekil 4.46. Üç boyutlu yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_x gerilme dağılımı



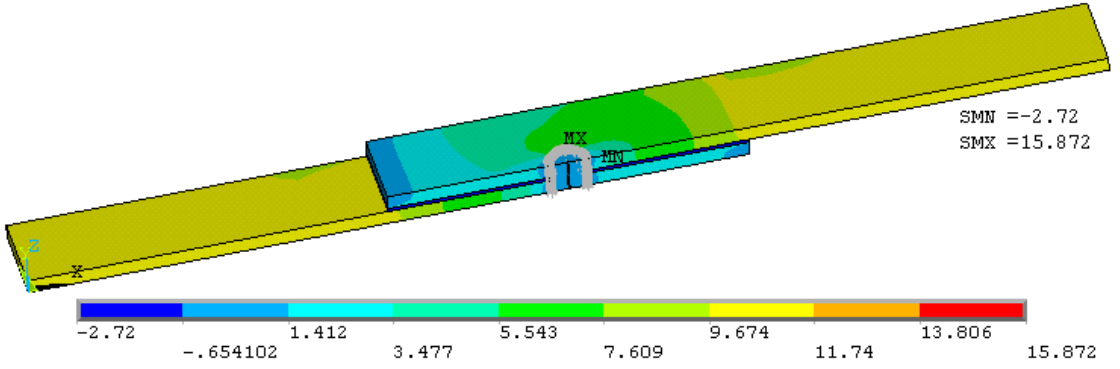
Şekil 4.47. Üç boyutlu yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartlı σ_x gerilme dağılımı



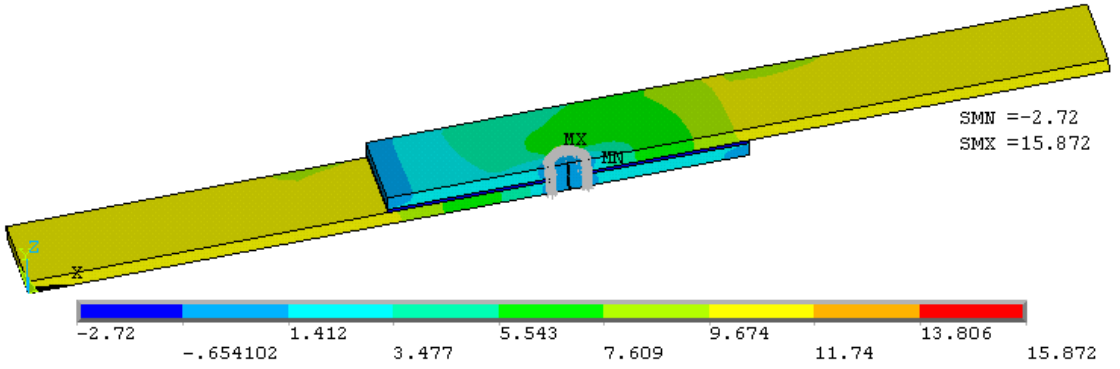
Şekil 4.48. Üç boyutlu pim bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_x gerilme dağılımı



Şekil 4.49. Üç boyutlu pim bağlantısında ısı sınır şartlı σ_x gerilme dağılımı



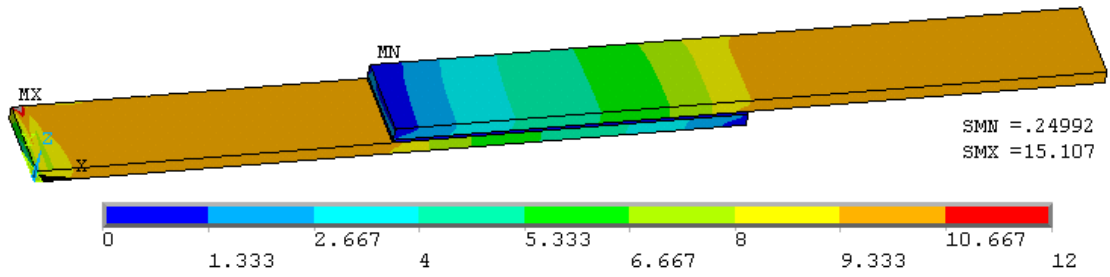
Şekil 4.50. Üç boyutlu yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın σ_x gerilme dağılımı



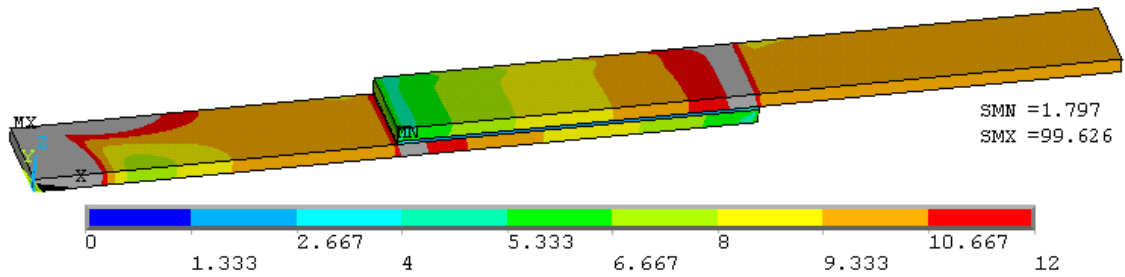
Şekil 4.51. Üç boyutlu yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartlı σ_x gerilme dağılımı

Modeller üzerinde x-yönünde elde edilen gerilmelerin dağılımı Şekil 4.46-4.51 de gösterilmiştir. Benzer şekilde von Mises gerilme dağılımlarının model üzerindeki dağılımları, Şekil 4.52-4.57’de gösterilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü gibi, üç boyutlu modellerin yapıştırıcı bölgesinde ve pim bölgesinde gerilmeler yoğunlaşmaktadır. Sıcaklık ve çekme yükü birlikte uygulanan modellerdeki gerilmelerin, sadece çekme yükü uygulanan modellerden daha yüksek değerlerde olduğu anlaşılmaktadır. Modeller

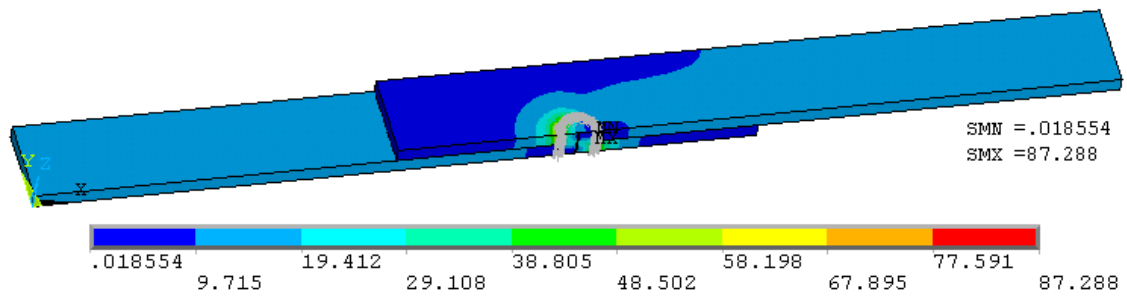
üzerinde oluşan maksimum gerilmeler dikkate alındığında, karma bağlantılı modellerde oluşan maksimum gerilmelerin, sadece yapıştırıcı ve sadece pimli modellerden daha düşük olduğu görülmektedir. Özellikle, x-yönündeki normal gerilmelerde karma bağlantının sağladığı bu düşüş daha net olarak görülmektedir. Bu sonuçla birlikte, yapıştırıcı ve pim bağlantısının birlikte kullanıldığı karma bağlantının, sadece yapıştırıcı ve sadece pimli bağlantılardan daha düşük gerilmeler meydana getirdiği ve dolayısıyla daha avantajlı bir bağlantı olduğu söylenebilir.



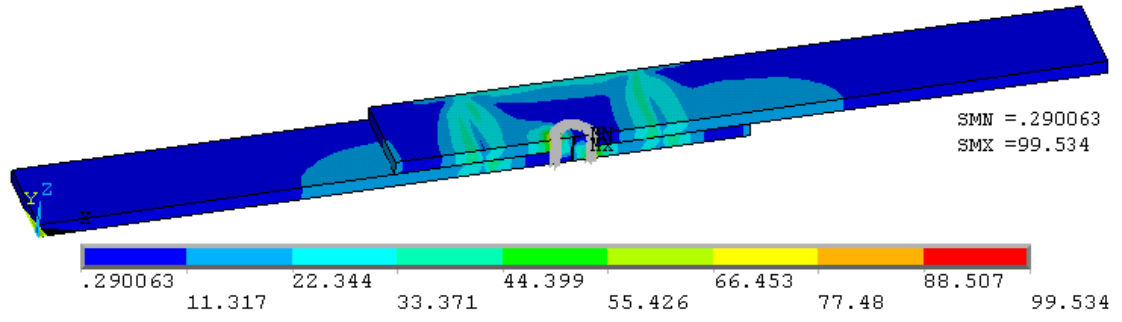
Şekil 4.52. Üç boyutlu yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın von Mises gerilme dağılımı



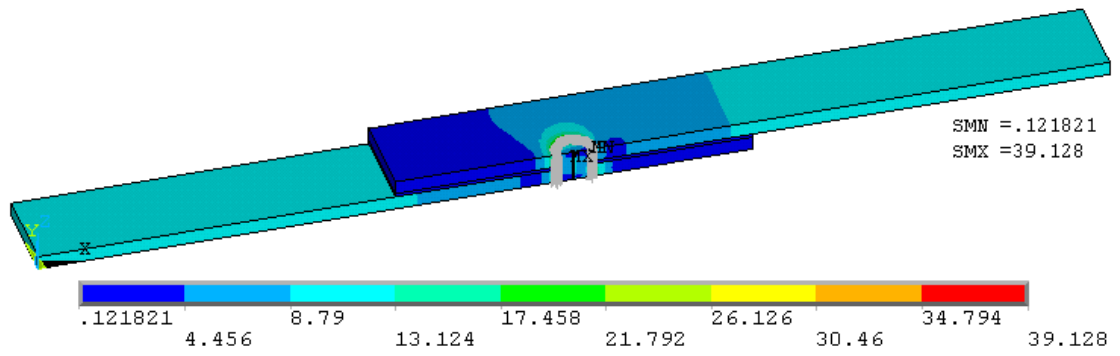
Şekil 4.53. Üç boyutlu yapıştırıcı bağlantısında ısı sınır şartlı von Mises gerilme dağılımı



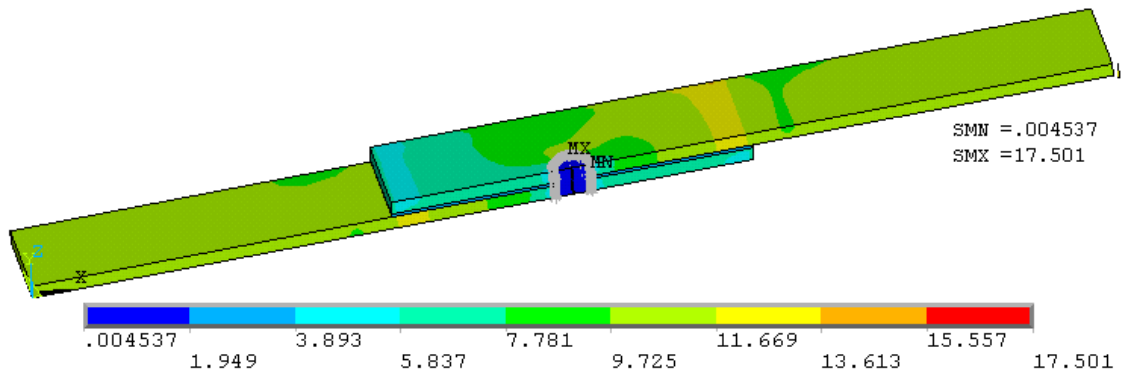
Şekil 4.54. Üç boyutlu pim bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın von Mises gerilme dağılımı



Şekil 4.55. Üç boyutlu pim bağlantısında ısı sınır şartlı von Mises gerilme dağılımı



Şekil 4.56. Üç boyutlu yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartı olmaksızın von Mises gerilme dağılımı



Şekil 4.57. Üç boyutlu yapıştırıcı ve pim karma bağlantısında ısı sınır şartlı von Mises gerilme dağılımı

BÖLÜM V

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, sadece yapıştırıcı, sadece pimli ve yapıştırıcı ile pim bağlantısının kombinasyonu olan karma bir bağlantı olmak üzere üç farklı bağlantı, üç boyutlu olarak modellenmiştir. Modellere öncelikle sadece çekme yükü etki ettirilerek çözümler yapılmıştır. Daha sonra çekme yüküne ilave olarak ısı yükte modeller üzerine etki ettirmek suretiyle çözümler gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılan analizler neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Modeller üzerine sadece çekme yükü uygulandığında meydana gelen gerilmelerin, çekme yükü ile sıcaklık yükünün aynı anda yüklenmesi ile oluşan gerilmelerden daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bir başka deyişle model üzerine çekme yüküne ilave olarak uniform sıcaklık (ısı sınır şartı) uygulandığında basma gerilmelerinin arttığı gözlenmiştir. Bunun nedeni alüminyum plakaların ve epoksi yapıştırıcının farklı ısı genleşme katsayılarına sahip olmaları ve dolayısıyla malzemelerin farklı genleşme davranışı göstermeleridir.

Bağlantılara uygulanan çekme yükü x-doğrultusunda etki ettirildiğinden σ_x normal gerilmeleri diğerlerinden daha büyük değerlerde meydana gelmiştir.

Sadece yapıştırıcı bağlantısı uygulanmış modelde, yapıştırıcının uç kısımlarındaki gerilmelerin orta kısımda oluşan gerilmelerden daha büyük olduğu gözlenmiştir.

Sadece pimli bağlantıda gerilmelerin delik çevresinde yoğunlaştığı gözlenmiştir.

Karma bağlantıda gerilmelerin delik çevresinde yoğunlaştığı gözlenmiştir. Ayrıca modelleme yapılırken pimli bağlantılarla ilgili daha önceki deneysel çalışmalarda en iyi oran olarak önerilen $E/D=W/D=5$ oranına bağlı modelleme yapılmıştır. Dolayısıyla delik çevresinde oluşan gerilme yığılmalarının aynen deneysel çalışmalarda meydana gelen yatak hasarını oluşturacak bölgede en yüksek değerde olduğu gözlenmiştir.

Kayma gerilmeleri incelendiğinde en yüksek kayma gerilmelerinin sadece yapıştırıcı bağlantısı yapılan modelde xz düzleminde, sadece pim bağlantısı yapılan modelde xy

düzleminde, yapıştırma ile pim bağlantısının kombinasyonu olan karma bağlantı modelinde ise xy düzleminde olduğu gözlenmiştir.

Von Mises gerilmeleri incelendiğinde, en yüksek değerli von Mises gerilmelerinin sadece pim bağlantısı yapılmış modelin çekme ve ısı sınır şartı uygulanmış halinde, en düşük değerli von Mises gerilmelerinin ise sadece yapıştırıcı bağlantısı yapılmış modelin çekme ve ısı sınır şartı uygulanmamış halinde, olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışmada, nümerik çözümler gerçekleştirilmiştir. Daha önceki deneysel çalışmalarda yapıştırıcı ve pimli bağlantılar teker teker çalışılmış olmakla birlikte, yapıştırıcı ve pimli karma bağlantının deneysel çalışması yapılmamıştır. Bu konuda yapılacak deneysel bir çalışma, literatürdeki bu açığı kapatacaktır. Bununla birlikte yapılacak yeni nümerik çalışmalarda, karma bağlantının mukavemetine etki edeceği ön görülen yapıştırıcı kalınlığının, pim sayısının ve bindirme mesafesinin etkileri incelenmeye değer görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Adams, R. D. and Peppiatt, N. A., 1974. Stress analysis of adhesive-bonded lap joints. *Journal of Strain Analysis*, 9, 185-196.
- Adams, R. D., and Wake, W. C., 1984. *Structural adhesive joint in engineering*, Elsevier Science Publisher, London.
- Adams, R.D. and Wake, W.C. 1986. *Structural adhesive joints in engineering*, Elsevier Applied Science Publishers, London and New York.
- Adams, R.D., 1989. Strength predictions for lap-joints, especially with composite adherents, *Journal of Adhesion*, 30, 219-242.
- Adin H., 2007. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş ters Z tipi kompozit malzeme bağlantılarının mekanik analizi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Aivazzadeh, S., Babi, M. and Verchery, G., 1987. Assesment and comparison of clasical, mixed and interface elements for the stress analysis in adhesive joints, *Mechanical Behavior of Adhesive Joints, Proc.of the European Mechanics Colloquium 227*, Paris, 537-540.
- Aldaş K., Palancıoğlu H., Şen F., 2009. Thermal stress in adhesively bonded double lap joints by FEM, *Electronic Journal of Machine Technologies*, 6(4), 55-64
- Anık, S., 1986. Yapıştırma ve nokta kaynağının kombinasyonu, *Mühendis ve Makine*, 27, 316, 24-30.
- ANSYS Release 10.0 Documentation, Swanson Analysis System Inc., Houston, PA, USA
- Apalak, M.K. and Günes, R., 2002. On non-linear thermal stresses in an adhesively bonded single lap joint. *Computers and Structures*, 80, 85-98.
- Apalak, M.K., Aldaş, K. and Şen,F., 2003. Thermal non-linear stres analysis in an adhesively bonded and laser-spot welded single lap joint during laser-metal interaction, *Journal of Materials processing Technology*, 142, 1-19.
- Apalak, M.K., Davies R. and Apalak, Z.G., 1995. Analysis and design of adhesively bonded double containtment corner joints. *Int. J. Adhesion Sci. Technol.*, 9, 2, 267-293.
- Apalak, M.K., Günes, R. and Fidanci, L., 2003. Geometrically non-linear thermal stres analysis of an adhesively bonded tubular single lap joint. *Finite Elements in Analysis and Design*, 39, 155-174.
- Apalak, Z.G., 1995. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş T-tipi bağlantıların sonlu elemanlar metodu kullanarak analiz ve tasarımı, Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

- ASTM D1002, 1983. Standard test method for strength properties of adhesives in shear by tension loading (metal-to-metal).
- ASTM D907-74, 1974. Definition of terms relating to adhesives.
- Aydın, M.D., 2003. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantısının mekanik özelliklerinin deneysel ve teorik incelenmesi, Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Babalık, F.,C., 2009. Makine elemanları ve konstrüksiyon örnekleri, Dora Yayıncılık, İstanbul.
- Baker, A., 1997. Composites engineering handbook, In P.K. Mallick (Eds.), "Joining and repair of aircraft composite structure", New York: Marcel Dekker.
- Benson, N.K., 1969. Influence of Stres Distribution on Joint Strength, Adhesion Fundamentals and Practice, UK Ministry Technology, McLaren, London, 191.
- Brandon, D., and Kaplan, W. D., 1997. Joining processes. John Wiley and Sons, Chichester, England.
- Campilho, R.D.S.G.,deMoura, M.F.S.F., Ramantani D.A., Morais J.J.L., Dominues, J.J.M.S., 2009. Tensile behaviour of three dimensional carbonepoxy adhesively bonded single- and double-straprepairs International Journal of Adhesion & Adhesives, 29, 678-686.
- Can, A.Ç., 2006. Makine elemanları tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Carpenter, W., 1980. Stresses in bonded connections using finete elements, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 30, 1659-1680.
- Ceylan D., 2005. Civatalı ve yapıştırıcılı kompozit bağlantılarda gerilme analizi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Chan, W.S. and Vedhagiri, S., 2001. Analysis of composites bolted-bonded joints used in repairing, J. Compos. Mater., 35(12), 1045-1061.
- Chang, D.J. and Muki, R., 1974. Stress distribution in a lap joint under tension-shear, Int. J. Solids Structures, 10, 503-517.
- Colombi P., and Poggi C., 2006. Strengthening of tensile steel members and bolted joints using adhesively bonded CFRP plates , Construction and Building Materials, 20(1-2) 22-33.
- Çalık A., 2008. Yapıştırıcılar ve köşeleri yuvarlatılmış basamaklı bindirme yapıştırıcı bağlantılarda gerilme analizi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Çitil Ş., 2010. Kapakları parça içine gömülü çift takviyeli yapıştırma bağlantılarının mekanik özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

- Dastin, S.J., 1982. Joining and machining techniques, handbook of composites, Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York.
- Delale, F., Erdogan, F. and Aydınoglu, M.N., 1980. Stress in adhesively bonded joints; closed form solution, Journal of Composite Materials, 15, 249-271.
- Demarkless, L.R., 1955. Investigation of the use of a rubber analog in the study of stress distribution in riveted and cemented joints, Tech. Note 3413, Nat. Advisory Committee Aeronautics, Washington, D.C.
- Demirgen T., 2007. Metal yapıştırma bağlantı performansının bilgisayar destekli modelleme ile incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Engin, A. 1997. Yapıştırıcılarla birleştirilmiş çift bindirmeli ankastre bağlantıların sonlu eleman metodu ile geometrik bakımdan lineer ve lineer olmayan analizi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Gediktaş, M., 1972. Yapıştırma bağlantıları, Mühendis ve Makine, 16, 178, 27-33.
- Goland, M. and Reissner, E., 1944. The Stresses in cemented joints, Journal of Applied Mechanics, 11, 59-45.
- Goncalves, J.P.M., De Moura, M.F.S.F. and De Castro, P.M.S.T., 2002. A three-dimensional finite element model for stress analysis of adhesive joints, Int. J. Adhes., 22, 357-365.
- Guess, T.R., Allred, R.E. and Gerstle, F.P., 1977. Comparison of lap shear test specimens, Journal of Testing and Evaluation, 5, 2, 84-95.
- Hart-Smith, L.J., 1973. Adhesive-bonded single-lap joints, CR-112235, Nasa Langley Research Center,.
- URL-1,
http://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=1363c646c0b4e8293. 02.11.2010 11:42.
- Kaya, A., 1991. Investigation of stress distributions in adhesive-bonded lap joint, MS. Degree Thesis, Dokuz Eylül University, Institute of Science and Technology, İzmir.
- Kaya, F., 2004. Ana hatlarıyla yapıştırıcılar, Birsen Yayınevi, İstanbul, 240s.
- Kaya, F., 2004. Yapıştırıcılar, Birsen Yayınevi, İstanbul, 318s.
- Kayacan, R., 1988. Yapıştırma ve metal bağlantılar için yapıştırıcı kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.
- Kelly G., 2004. Load Transfer in hybrid (bonded/bolted) composite single-lap joints, Composite Structures, 69, 35–43.

- Kılık, R., 1987. Endüstriyel yapıştırıcılar ve avantajları, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi. 3, 1.
- Kinloch, A.J., 1987. Adhesion and adhesive science and technology. First Edition Chapman and Hall.
- Kline, R.A., 1982. Stress analysis of adhesively bonded joints, Proceedint of the International Symposium on Adhesive Joints, H,Kansas City, 587-610.
- Kodakoğlu, L., 1996. Yapıştırıcıların genel özellikleri ve çekme gerilmesine maruz yapışma birleşmesinin analitik ve nümerik olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Lee, H., Neville, K., 1957. Epoxy resins their applications and technology. McGraw-Hill Book Company. NewYork.
- Loctite Worldwide Design Handbook, 1988.
- Loctite Global Tasarım Elkitabı, 2005. Erasmusdruck GmbH, Mainz, Germany.
- Mercer, A. D.,1990. Corrosion in seawater systems. First Edition, Ellis Horwood Limited.
- Muki, R. and Sternberg, E., 1968. On the stress analysis of overlapping bonded elastic sheets, International Journal of Solids and Structures, 4, 1, 75-94.
- Ojalvo, I.U., Idinoff, H.L., 1978. Bond thickness upon stresses in single-lap adhesive joints, AIAA Journal, 16(3), 204-211.
- Oplinger, D.W., 1994. Effects of adherent deflection on single lap joints, International of Solids and Structures, 31, 2565-2587.
- Özel, A., Aydın, M.D. ve Temiz, Ş., 2004. The effects of owerlap lenght and adherent thickness on the strenght of adhesively bonded joints subjected to bending moment, J. Adhesion Sci. Technology, 18(3), 313-325.
- Palancıoğlu, H., Sen, F., Aldaş, K., 2008. Yapıştırma bağlantıları ve uygulama usulleri, MakineTek Dergisi, Bileşim Yayıncılık, İstanbul, 123, 38-42.
- Pandey, P.C., Shankaragouda, H. And Singh, Kr.A., 1999. Nonlinear analysis of adhesively bonded lap joints considering viscoplasticity in adhesives, Computers and Structures, 70, 387-413.
- Parvatareddy, H.,1997. Durability of polymide adhesives and their bonded joints for high temperature applications, Ph.D.These, Virginia Polytechnic Institue and State University,Blacksburg,Virginia.
- Pfeiffer, P. and Shakal, M., 1998. Effect of bonded metal substrate area and its thickness on the strenght and durability of adhesively bonded joints, Journal of Adhesion Science and Technology, 12, 339-348.
- Renton, W.J. and Vinton J.R., 1977. Analysis of adhesively bonded joints between panels of composite materials. Journal of Applied Mechanics, 44, 101-106.

- Sawyer, J.W., and Cooper, P.A., 1981. Analytical and experimental results for bonded single lap, Joints With Performed Adherends, AIAA Journal, 19/11,1443-1451.
- Sazhin, A.M., 1964. Determining the stresses in bonded joints between metal plates, Russian Engineering Journal, 44, 11, 45-49.
- Seegerlind, L.J., 1968. On the shear stresses in bonded joints, Transactions of ASME J. of Appl. Mech., 35, 1, 177-178.
- Shields, J., 1975. Adhesive bonding, the design council, The British Standards Institution and The Council of Engineering Institutions, Oxford Universty Pres.
- Solmaz M. Y., 2008. Yapıştırıcı İle birleştirilmiş bağlantıların mekanik analiz ve tasarımları, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Solmaz M. Y., Turgut A., 2009. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş basit bindirme bağlantılarında serbest uç açısı ve bindirme mesafesinin bağlantı mukavemeti üzerine etkisinin deneysel olarak araştırılması, Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21 (2), 173-182.
- Standen, A., 1963. Kirk - Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, John Wiley&Sons, Inc. 1,371- 405.
- Şekercioğlu, T., 2001. Yapıştırma bağlantılarının dinamik yükler altındaki davranışlarının incelenmesi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Şen F., 2001. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bindirme bağlantısının laser nokta kaynağı esnasında meydana gelen sıcaklık dağılımı ve ısıl gerilmelerin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Şen F., Aldaş K., Palancıoğlu H.,2008. Çift örtü kullanılarak yapıştırılmış metal levhaların ısıl gerilme analizi, Fırat Üniversitesi, Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 20 (4), 649-659.
- Şen F., Aldaş K., Palancıoğlu H.,2008. Thermal stress analysis of adhesively bonded single lap joints using FEM, Electronic Journal of Machine Technologies, (2), 31-40.
- Şen, F., Pakdil, M., 2008. The effect of stacking sequences on failure behavior of pinned composite plates, Journal of polytechnic, 11/2, 147-151.
- Şen, F., Pakdil, M., Sayman, O. And Benli, S., 2008. Experimental failure analysis of mechanically fastened joints with clearance in composite laminates under preload, Material&Design, 29, 1159-1169.
- Taib, A.A., Boukhili, R., Achion, S. and Boukehili, A., 2006. Bonded joints with composite adherends. Part II. Finite element analysis of joggle lap joints, International Journal of Adhesion & Adhesives, 26, 237- 248.

- Temiz, S., 2003. Study of the effect of environmental factors on mechanical properties of adhesively bonded joints, Ph. D. Thesis, Ataturk University, Erzurum.
- Tın S., 2006. Tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarının tasarım ve analizi, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Volkersen, O., 1938. Die nietkraftverteilung in zugbeanspruchten nietverbindungen mit konstanten laschenquerschnitten, Luftfahrtforschung, 15, 41-47.
- Yang, C. Haung, H. Tomblinn, J. S. and Sun, W, 2003. Elastic-plastic model of adhesive bonded single-lap composite joints, Wichita State University, Kansas.
- Zienkiewicz, O.C., and Taylor, R.L., 1991. The finite element method, McGraw-Hill, New York.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hakan PALANCIOĞLU

Doğum Yılı : 1973

Doğum Yeri : Malatya

Eğitim Durumu:

Lisans : 1994-1999 Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine
Mühendisliği Bölümü

Haberleşme Adresi:

Adres : Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine
Mühendisliği Bölümü 68100 Aksaray

Tlf : 382 2882357

e-posta : hkn44@hotmail.com