



**YAPIŞTIRICI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ KONİK GEÇMELİ
BAĞLANTILARIN BURULMA MOMENTİ ALTINDAKİ
PERFORMANSLARI**

BETÜL TAŞ

Yüksek Lisans Tezi

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Murat Yavuz SOLMAZ

KASIM-2016

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPIŞTIRICI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ KONİK GEÇMELİ
BAĞLANTILARIN BURULMA MOMENTİ ALTINDAKİ
PERFORMANSLARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BETÜL TAŞ
121120104

Anabilim Dalı: Makina Mühendisliği
Programı: Mekanik

Danışman: Doç. Dr. Murat Yavuz SOLMAZ

KASIM-2016

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPIŞTIRICI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ KONİK GEÇMELİ
BAĞLANTILARIN BURULMA MOMENTİ ALTINDAKİ
PERFORMANSLARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Betül TAŞ

121120104

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Ekim 2016

Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Kasım 2016

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Murat Yavuz SOLMAZ (Fırat Üni.)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Aydın TURGUT (Bingöl Üni.)

Yrd.Doç.Dr. Mustafa GÜR (Fırat Üni.)

KASIM-2016

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimimde ve tez çalışmamın gerçekleşmesi süresince tezimin planlanıp yürütülmesinde üstün bir titizlik, sabır ve özveriyle desteklerini esirgemeyen, yakın ilgi ve yardımlarını gördüğüm kıymetli danışman hocam, Sayın Doç. Dr. Murat Yavuz SOLMAZ'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve lisansüstü eğitimimde kendilerinden ders alma fırsatı bulduğum, bilgi ve deneyimlerinden yararlanarak fikir alışverişinde bulunduğum kıymetli hocalarım Prof. Dr. Aydın TURGUT, Yrd. Doç. Dr. Mustafa GÜR ve Doç. Dr. Mete Onur KAMAN'a teşekkür ederim. Çalışmalarına katkılarından dolayı Sayın Prof. Dr. Mehmet FIRAT'a, Sayın Süphan ERCAN'a ve Arş. Gör. İsmail Hakkı ŞANLITÜRK'e teşekkür ederim.

Ayrıca hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem Neşe TAŞ'a ve babam Osman TAŞ'a teşekkürü bir borç bilirim ve bu süreçte bana destek olan biricik kardeşim Kadir TAŞ'a teşekkür ederim.

Betül TAŞ
ELAĞIĞ-2016

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	XI
SEMBOLLER LİSTESİ	XII
1. GİRİŞ	1
2. YAPIŞTIRICILAR	7
2.1. Yapışma	7
2.1.1. Adhezyon	7
2.1.2. Kohezyon	8
2.2. Yapıştırıcı çeşitleri	8
2.2.1. Akrilikler	9
2.2.2. Epoksiler	9
2.2.3. Anerobikler	9
2.2.4. Poliüretan	9
2.2.5. Silikonlar	10
2.2.6. Fenolikler	10
2.2.7. Siyanoakrilikler	10
2.3. Yapıştırma bağlantıları	10
2.3.1. Yapıştırma Bağlantılarının Avantajları ve Dezavantajları	11
2.4. Bağlantı Dizaynı	12
2.4.1. Bağlantı Çeşitleri	12
2.4.1.1. Bindirmeli Bağlantı (LAP Bağlantısı)	12
2.4.1.2. Eğimli Bindirmeli Bağlantı	12
2.4.1.3. Alın Alına Bağlantı	13
2.4.1.4. Tek Destek Elemanlı Bindirmeli Bağlantı	13
2.4.1.5. Çift Destek Elemanlı Bindirmeli Bağlantı	13
2.4.1.6. Eğimli Çift Destek Elemanlı Bindirmeli Bağlantı	14
2.4.1.7. Çift Bindirmeli Bağlantı	14
2.4.1.8. Basamaklı Bindirme Bağlantısı	14

2.4.1.9.	Açık Bindirme Bağlantısı.....	14
2.4.1.10.	Konik boru silindirik bağlantı.....	15
2.4.1.11.	Konik mil silindirik bağlantı.....	15
2.5.	Yapıştırma bağlantılarının maruz kaldığı kuvvetler	15
2.6.	Yapıştırma bağlantılarının analizi	17
2.7.	Ansys sonlu elemanlar yazılımı.....	17
2.8.	Yapıştırıcıların gerilme-şekil değiştirme özelliklerinin belirlenmesi	18
3.	KONİK GEÇME.....	20
4.	BURULMA.....	23
5.	MATERYAL ve METOT	25
5.1.	Kullanılan Yapıştırıcılar ve Özellikleri.....	26
5.1.1.	Akfix E300 Epoksi Yapıştırıcı	26
5.1.2.	Devcon A Epoksi Yapıştırıcı.....	26
5.1.3.	Erde GTR.....	27
6.	SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....	31
7.	ÖNERİLER.....	84
	KAYNAKLAR	85
	ÖZGEÇMİŞ	88

ÖZET

Bu çalışmada 3 farklı yapıştırıcı (Akfix E300, Devcon A, Erde GTR) ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının burulma momenti altındaki performansları sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal çalışmada ANSYS 14.5 paket programı kullanılmıştır. Çalışmada 0.2 mm ve 0.3 mm olmak üzere 2 farklı yapıştırıcı kalınlığı, 2°51', 5°43' ve 11°25' olmak üzere 3 farklı koni tepe açısı kullanılarak modellenen bağlantılar yapıştırıcısız konik geçme bağlantısıyla karşılaştırılmıştır. Burulma momenti etkisi altındaki modellerin A-B ve C-D hattı boyunca oluşan Von Mises eşlenik ($\sigma_{eş}$), τ_{xz} ve τ_{yz} kayma gerilme değerleri tespit edilmiştir. Kesit dönme miktarları sayısal olarak hesaplanmış ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Analizler sonucunda, yapıştırıcısız bağlantılarda meydana gelen tüm gerilme değerlerinin yapıştırıcılı bağlantılara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Yapıştırıcı kalınlığının artması gerilme dağılımlarını düşürmüştür. Tüm bağlantılarda koni tepe açısı artışının gerilme değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir. Koni tepe açısının kesit dönme miktarları üzerindeki etkisi incelendiğinde bağlantıların tümü için en yüksek kesit dönme açısının, koni tepe açısı 2°51' olan bağlantılarda gerçekleştiği görülmüştür. Kayma modülü en düşük olan Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantıların diğer iki yapıştırıcılı bağlantıdan daha düşük gerilme değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Konik Geçme, Yapıştırıcılı Bağlantılar, Burulma, Kesit Dönmesi, ANSYS

SUMMARY

THE PERFORMANCES OF ADHESIVELY BONDED TAPERED JOINTS UNDER TORSION MOMENTUM

In this study, the performances of adhesively (Akfix E300, Devcon A, Erde GTR) bonded tapered joints under torsion momentum effect were numerically examined. In numerical analyses, ANSYS 14.5 package software was utilized. In this study, two different adhesive thicknesses 0.2 mm and 0.3 mm and 3 different cone vertex angles $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$ and $11^{\circ}25'$ were employed, and the modeled joints were compared to the tapered joints without any adhesive. Von Mises stress (σ_{es}), τ_{xz} and τ_{yz} shear stress values of the models under torsion momentum effect, which occurred alongside A-B and C-D directions, were determined. The section rotations were calculated in number, and then compared to each other.

As a result of the analyses, it was observed that all of the stress values of non-adhesive joints were higher than the adhesively bonded joints. Increasing thickness of adhesives decreased the stress distribution. In all of the joints, it was determined that the increase in cones' vertex angles decreased the stress levels. When the effects of cones' vertex angle on the section rotation values are examined, the highest rotation angle among all of the joints was observed in joints having $2^{\circ}51'$ of vertex angle. It was also determined that the joints bonded utilizing Erde GTR adhesive having the lowest slip modulus had lower stress levels than other 2 adhesive joints had.

Keywords: Tapered Joint, Adhesive Joint, Torsion, Cross Section Rotation, ANSYS

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Kayma dayanımı ve (L/t) arasındaki ilişki.....	3
Şekil 2.1.	Bindirmeli bağlantılar.....	12
Şekil 2.2.	Eğimli bindirmeli bağlantı.....	13
Şekil 2.3.	Alın altına bağlantı.....	13
Şekil 2.4.	Tek destek elemanlı bindirmeli bağlantı.....	13
Şekil 2.5.	Çift destek elemanlı bindirmeli bağlantı.....	13
Şekil 2.6.	Eğimli çift destek elemanlı bindirmeli bağlantı.....	14
Şekil 2.7.	Çift bindirmeli bağlantı.....	14
Şekil 2.8.	Basamaklı bindirme bağlantısı.....	14
Şekil 2.9.	Açılı alın bağlantısı.....	14
Şekil 2.10.	Konik bağlantı.....	15
Şekil 2.11.	Konik mil bağlantısı.....	15
Şekil 2.12.	Yapıştırma bağlantılarında farklı kuvvet uygulamaları.....	16
Şekil 3.1.	Konik Makine Parçasının Başlıca Elemanlarının İfade Edilmesi.....	20
Şekil 3.2.	Konik Geçme.....	21
Şekil 3.3.	a) Kilitlenmesiz b) Kilitlenmeli konik geçme.....	21
Şekil 4.1.	Değişken kesitli şaft.....	23
Şekil 5.1.	Yapıştırıcı konik geçme bağlantı modelin teknik resmi.....	25
Şekil 5.2.	Koni tepe açısı 2°51' olan yapıştırıcı konik geçme bağlantının perspektif görünüşü.....	28
Şekil 5.3.	Koni tepe açısı 2°51' olan yapıştırıcı konik geçme bağlantının kesiti.....	29
Şekil 5.4.	Koni tepe açısı 2°51' olan yapıştırıcı konik geçme bağlantı modelinin sonlu elemanlar ağ yapısı.....	29
Şekil 5.5.	Bağlantılara uygulanan sınır şartları ve burulma momenti.....	30
Şekil 6.1.	Farklı koni tepe açılara sahip bağlantılar için normalleştirilmiş A-B hattı.....	31
Şekil 6.2.	Koni tepe açısı 2°51', 5°43', 11°25' olan yapıştırıcı ve yapıştırıcısız konik geçme bağlantıların kesit dönme miktarları.....	32
Şekil 6.3.	Koni tepe açısı 2°51', 5°43', 11°25' olan yapıştırıcı kalınlığı t=0.2 mm ve t=0.3 mm olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantıların kesit dönme miktarları.....	33
Şekil 6.4.	Koni tepe açısı 2°51' olan Akfix E300, Devcon A, Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantının kesit dönmeleri.....	34
Şekil 6.5.	Koni tepe açısı 2°51', 5°43', 11°25' olan Erde GTR ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının kesit dönmeleri.....	34

Şekil 6.6.	Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan ve yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2$ mm ve 0.3 mm olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantıların kesit dönmeleri	35
Şekil 6.7.	Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş bağlantının Von Mises eşlenik gerilme dağılımı	36
Şekil 6.8.	Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan yapıştırıcısız bağlantının Von Mises eşlenik gerilme dağılımı.....	37
Şekil 6.9.	Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş bağlantının τ_{yz} kayma gerilme dağılımı	38
Şekil.6.10.	Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan yapıştırıcısız bağlantının τ_{yz} kayma gerilme dağılımı ...	39
Şekil.6.11.	Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş bağlantının τ_{xz} kayma gerilme dağılımı	40
Şekil.6.12.	Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan yapıştırıcısız bağlantının τ_{xz} kayma gerilme dağılımı ...	41
Şekil 6.13.a.	Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız konik geçme bağlantılarının τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımları	42
Şekil 6.13.b.	Koni tepe açısı $5^{\circ}43'$ olan yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız konik geçme bağlantılarının τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımları	43
Şekil 6.13.c.	Koni tepe açısı $11^{\circ}25'$ olan yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız konik geçme bağlantılarının τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımları	44
Şekil 6.14.a.	Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız konik geçme bağlantılarının Von Mises eşlenik gerilme dağılımları	45
Şekil 6.14.b.	Koni tepe açısı $5^{\circ}43'$ olan yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız konik geçme bağlantılarının Von Mises eşlenik gerilme dağılımları	46
Şekil 6.14.c.	Koni tepe açısı $11^{\circ}25'$ olan yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız konik geçme bağlantılarının Von Mises eşlenik gerilme dağılımları	47
Şekil 6.15.a.	Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız konik geçme bağlantılarının τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımları	48
Şekil 6.15.b.	Koni tepe açısı $5^{\circ}43'$ olan yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız konik geçme bağlantılarının τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımları	49
Şekil 6.15.c.	Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız konik geçme bağlantılarının τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımları	50
Şekil 6.16.a.	Akfix E300 ile birleştirilmiş koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$ ve $11^{\circ}25'$ olan yapıştırıcılı bağlantıların τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımları	51
Şekil 6.16.b.	Devcon A ile birleştirilmiş koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$ ve $11^{\circ}25'$ olan yapıştırıcılı bağlantıların τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımları.....	52
Şekil 6.16.c.	Erde GTR ile birleştirilmiş koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$ ve $11^{\circ}25'$ olan yapıştırıcılı bağlantıların τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımları.....	53

Şekil 6.16.d.	Akfix E300, Devcon A ve Erde Gtr birleştirilmiş koni tepe açıları 2°51', 5°43', 11°25' olan yapıştırıcılı bağlantılarda meydana gelen τ_{yz} kayma gerilmeleri	54
Şekil 6.17.a.	Akfix E300 birleştirilmiş koni tepe açıları 2°51', 5°43' ve 11°25' olan yapıştırıcılı bağlantıların Von Mises eşlenik gerilmeleri.....	55
Şekil 6.17.b.	Devcon A birleştirilmiş koni tepe açıları 2°51', 5°43' ve 11°25' olan yapıştırıcılı bağlantıların Von Mises eşlenik gerilmeleri.....	56
Şekil 6.17.c.	Erde Gtr birleştirilmiş koni tepe açıları 2°51', 5°43' ve 11°25' olan yapıştırıcılı bağlantıların Von Mises eşlenik gerilmeleri	57
Şekil 6.17.d.	Akfix E300, Devcon A ve Erde Gtr birleştirilmiş koni tepe açıları 2°51', 5°43', 11°25' olan yapıştırıcılı bağlantılarda meydana gelen Von Mises eşlenik gerilmeleri.....	58
Şekil 6.18.a.	Akfix E300 ile birleştirilmiş koni tepe açıları 2°51', 5°43' ve 11°25' olan yapıştırıcılı bağlantıların τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımları.....	59
Şekil 6.18.b.	Devcon A ile birleştirilmiş koni tepe açıları 2°51', 5°43' ve 11°25' olan yapıştırıcılı bağlantıların τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımları	60
Şekil 6.18.c.	Erde GTR ile birleştirilmiş koni tepe açıları 2°51', 5°43' ve 11°25' olan yapıştırıcılı bağlantıların τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımları	61
Şekil 6.18.d.	Akfix E300, Devcon A ve Erde Gtr birleştirilmiş koni tepe açıları 2°51', 5°43', 11°25' olan yapıştırıcılı bağlantılarda meydana gelen τ_{xz} kayma gerilmeleri	62
Şekil 6.19.a.	Koni tepe açıları 2°51', 5°43' ve 11°25' olan yapıştırıcısız bağlantıların τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımları	63
Şekil 6.19.b.	Koni tepe açıları 2°51', 5°43' ve 11°25' olan yapıştırıcısız bağlantıların Von Mises eşlenik gerilme dağılımları	64
Şekil 6.19.c.	Koni tepe açıları 2°51', 5°43' ve 11°25' olan yapıştırıcısız bağlantıların τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımları	65
Şekil 6.20.a.	Yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2$ mm ve $t=0.3$ mm koni tepe açısı 11°25' olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımları.....	66
Şekil 6.20.b.	Yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2$ mm ve $t=0.3$ mm koni tepe açısı 11°25' olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının Von Mises eşlenik gerilme dağılımları.....	67
Şekil 6.20.c.	Yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2$ mm ve $t=0.3$ mm koni tepe açısı 11°25' olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımları.....	68

Şekil 6.21.a.	Yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2$ mm ve $t=0.3$ mm koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$, $11^{\circ}25'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının τ_{yz} kayma gerilmesi	69
Şekil 6.21.b.	Yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2$ mm ve $t=0.3$ mm koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$, $11^{\circ}25'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının Von Mises eşlenik gerilmesi	69
Şekil 6.21.c.	Yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2$ mm ve $t=0.3$ mm koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$, $11^{\circ}25'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının τ_{xz} kayma gerilmesi	70
Şekil 6.22.a.	Yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2$ mm ve $t=0.3$ mm koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$, $11^{\circ}25'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının ve yapıştırıcı tabakanın τ_{yz} kayma gerilmesi	71
Şekil 6.22.b.	Yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2$ mm ve $t=0.3$ mm koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$, $11^{\circ}25'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının ve yapıştırıcı tabakanın Von Mises eşlenik gerilmeleri	71
Şekil 6.22.c.	Yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2$ mm ve $t=0.3$ mm koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$, $11^{\circ}25'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının ve yapıştırıcı tabakanın τ_{xz} kayma gerilmesi	72
Şekil 6.23.a.	Koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$, $11^{\circ}25'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız bağlantılarının ve yapıştırıcı tabakanın τ_{yz} kayma gerilmesi	73
Şekil 6.23.b.	Koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$, $11^{\circ}25'$ olan Devcon A ile birleştirilmiş yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız bağlantıların ve yapıştırıcı tabakanın τ_{yz} kayma gerilmesi	73
Şekil 6.23.c.	Koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$, $11^{\circ}25'$ olan Erde GTR ile birleştirilmiş yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız bağlantıların ve yapıştırıcı tabakanın τ_{yz} kayma gerilmesi	74
Şekil 6.24.a.	Koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$, $11^{\circ}25'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız bağlantıların ve yapıştırıcı tabakanın Von Mises eşlenik gerilmeleri	75
Şekil 6.24.b.	Koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$, $11^{\circ}25'$ olan Devcon A ile birleştirilmiş yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız bağlantıların ve yapıştırıcı tabakanın Von Mises eşlenik gerilmeleri	75
Şekil 6.24.c.	Koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$, $11^{\circ}25'$ olan Erde GTR ile birleştirilmiş yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız bağlantıların ve yapıştırıcı tabakanın Von Mises eşlenik gerilmeleri	76

Şekil 6.25.a.	Koni tepe açıları 2°51', 5°43', 11°25' olan Akfix E300 ile birleştirilmiş yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız bağlantıların ve yapıştırıcı tabakanın τ_{xz} kayma gerilmesi	77
Şekil 6.25.b.	Koni tepe açıları 2°51', 5°43', 11°25' olan Devcon A ile birleştirilmiş yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız bağlantıların ve yapıştırıcı tabakanın τ_{xz} kayma gerilmesi	77
Şekil 6.25.c.	Koni tepe açıları 2°51', 5°43', 11°25' olan Erde GTR ile birleştirilmiş yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız bağlantıların ve yapıştırıcı tabakanın τ_{xz} kayma gerilmesi	78
Şekil 6.26.	Farklı koni tepe açlarına sahip bağlantılar için normalleştirilmiş C-D hattı.....	79
Şekil 6.27.a.	Akfix E300 birleştirilmiş koni tepe açıları 2°51', 5°43' ve 11°25' olan yapıştırıcılı bağlantıların Von Mises eşlenik gerilmeleri.....	79
Şekil 6.27.b.	Akfix E300 ile birleştirilmiş koni tepe açıları 2°51', 5°43' ve 11°25' olan yapıştırıcılı bağlantıların τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımları.....	80
Şekil 6.27.c.	Akfix E300 ile birleştirilmiş koni tepe açıları 2°51', 5°43' ve 11°25' olan yapıştırıcılı bağlantıların τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımları	81

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1.	Konik Geçme	21
Tablo 5.1.	Konik geçme bağlantılarının ölçüleri	25
Tablo 5.2.	St 60 malzemesinin mekanik özellikleri.....	25
Tablo 5.3.	Akfix E300 teknik özellikleri.....	26
Tablo 5.4.	Devcon A teknik özellikleri.....	27
Tablo 5.5.	Erde GTR teknik özellikleri.....	27
Tablo 5.6.	Yapıştırıcıların mekanik özellikleri.....	27
Tablo 5.7.	Yapıştırıcıların kayma modülü	28
Tablo 5.8.	Tüm bağlantılar için düğüm ve eleman sayısı	30



SEMBOLLER LİSTESİ

E	: Elastisite Modülü
G	: Kayma modülü
γ	: Kesme şekil değişim oranı
ϕ	: Dönme açısı
J	: Kutupsal eylemsizlik momenti
T	: Burulma momenti
τ	: Kayma gerilmesi
$\sigma_{eş}$	: Von Mises eşlenik gerilmesi
ν	: Poisson oranı
t	:Yapıştırıcı kalınlığı

1. GİRİŞ

Bulunduğumuz 21. yüzyılda gelişen teknolojiyle beraber, yapıları birleştirmek ve kullanım süreleri içerisinde bir bütün olarak bir arada tutmak maksadıyla birçok malzeme ve birleştirme tekniği geliştirilmiştir. Geleneksel yöntemlerin (perçin, lehim, kaynak bağlantıları vb.) yanı sıra yapıştırıcıli bağlantıların kullanım alanı bu yüzyılda daha fazla artmıştır. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların diğeri bağlantı türlerine göre birçok avantajı olduğu araştırmacılar tarafından deneysel, analitik ve sonlu elemanlar metodu yardımıyla ortaya çıkarılmıştır.

Yapıştırma bağlantılarının kullanım alanları; otomotiv, uzay havacılık ve diğeri endüstri dallarında artmaktadır. Yapılan çalışmalar, montajı gerçekleştirilen yapılardaki deformasyonun yaklaşık %70'nin bağlantı yapılan kısımlardan başladığını göstermektedir. Tek katlı bağlantılar basit ve verimlilik yüzdeleri nedeniyle yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Aynı zamanda yapıştırıcıların mekanik özelliklerini tespit etmek için standart bir test modeli halini almaktadır. Bununla birlikte tek katlı bağlantının gerilme analizi, günümüze kadar birçok araştırmacı tarafından araştırılmış olup bazı tartışmalı yayınlar ortaya konulmuştur. Örnek olarak, birçok analiz sonucunda kayma gerilmelerinin yapışkan tabakanın serbest ucunda maksimum olduğunu belirtirken bazı analizlerde ise serbest uçlara yakın bir mesafede olduğu gösterilmiştir [1].

Pratikte, yapıştırıcı bağlantıları yalnızca mekanik gerilmelere değil, ısı gerilmelere de maruz kalmaktadır. Isıl gerilmelerden dolayı, yapıştırıcı bağlantıyı sağlayan yapıştırıcı tabaka ve yapıştırılan yüzeyler üzerinde de farklı gerilmeler oluşmaktadır. Bunun sebebi, yapıştırılan malzemelerin farklı ısı ve mekanik özelliklere sahip olmasıdır. Sonuç olarak yapıştırıcıli bağlantıların yükleme durumuna göre gerilme ve şekil değişimindeki düzensizliğinin analizi büyük önem taşımaktadır [2].

Malzemelerin birleştirilmesinde yapıştırıcı kullanmak, mekanik bağlantı elemanları kullanılmasına kıyasla daha fazla avantaj sunar. Yapıştırıcı, yük ve gerilmeleri birleşim yüzeyinin tamamına yayarak dinamik ve statik yüklerin düzgün dağılmasını sağlar, gerilmelerin bir noktada yoğunlaşmasını engeller. Bu sebeple, yapıştırıcıli bağlantı mekanik yöntemlerle (kaynak, perçin, lehim) birleştirilen bağlantılara göre bükülme ve titreşime karşı daha dayanıklıdır [3].

Yapıştırıcı ile birleştirilme, kompozit malzemelerin kullanıldığı bağlantılarda en çok tercih edilen yöntemlerden biridir. Uzay ve havacılık sanayi uygulamalarında mukavemetin, hafifliğin ve malzemelerin deforme olmamasının gerektiği durumlarda yapıştırıcı ile birleştirme ön plana çıkmaktadır. Boeing 747 uçak gövdesi elemanlarının % 62'si yapıştırıcı ile birleştirilmiştir [4].

Yapıştırıcı ile birleştirme, yapıştırıcı bölgesinde yük transferinin başarılı bir şekilde sağlanması, yapıştırıcı tabaka boyunca gerilmenin düzenli dağılımı, korozyona karşı direnç, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, dizayn kolaylığı, yüksek sönüm yeteneği, kolay montaj, ekonomiklik ve farklı malzemelerin birleştirilmesi gibi önemli nedenlerden dolayı günümüz geleneksel bağlantı elemanlarının yerini almakta, endüstriyel birçok alanda özellikle uzay ve havacılıkta kullanılmaktadır [5].

Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantılarının analizinde sonlu elemanlar yöntemini ilk olarak Wooley ve Carver kullanmıştır [6]. Bunu takiben birçok araştırmacı sonlu elemanlar yöntemi kullanarak analizler yapmışlardır. Yapıştırıcı bağlantılarında, Volkersen ilk olarak klasik mekanik yaklaşımı kullanarak çalışmalar yapmıştır [7,8].

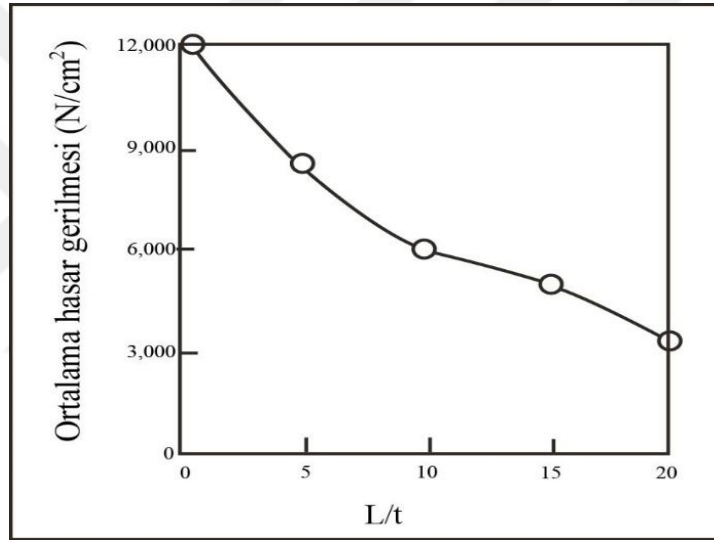
Bagheri ve Marouf, epoksi reçine kullanarak alüminyum tabakaları birleştirmiştir. Yapıştırıcılara çeşitli kimyasal maddeler ilave ederek modifiye edilmiş ve bu yapıştırıcı kompozisyonunun ara yüzey kırılma enerjisi üzerine etkisi DCB (Double Cantilever Beam) testiyle ölçülmüştür. Yapıştırıcının mekanik özelliklerini darbe testi ile belirlemiştir. DCB testinin sonucuna göre; plastik parçacıklarının ilavesiyle epoksinin ara yüzey kırılma enerjisi artmaktadır [9].

Fekirini ve arkadaşları, yüzeyinde çatlak olan bir tabakanın tamirini yapmak için farklı kayma modülüne (G) sahip olan iki yapıştırıcı kullanarak sonlu elemanlar metodu ile analiz yapmışlardır. Bu iki yapıştırıcının birincisi çatlak olan yüzeye uygulanmış ikincisi ise hasar olmayan yüzeye uygulanmıştır. Birinci yapıştırıcının yük transferini sağlanması hedeflenmiş ikincisiyle de birinci yapıştırıcının hasara uğramasının engellenmesi hedeflemiştir. Yapılan analiz sonucunda çatlağın olduğu uç ve çatlak bölgesinde yorulma ömrünün büyük oranda iyileştiği görülmüştür [10].

Davies ve arkadaşları, yapıştırıcı kalınlığının etkisini incelemek için bir çalışma yapmışlar ve epoksi yapıştırıcı kullanarak alüminyum parça bağlantılarının özelliklerini çeşitli test yöntemleriyle incelemişlerdir. Mekanik analizler sonucunda, yapıştırıcı

kalınlığının artmasıyla kopma mukavemetinin azaldığını tespit etmişlerdir. İdeal yapıştırıcı kalınlığının 0.8 mm veya daha düşük olması gerektiğini belirlemişlerdir [11].

Shields, bindirme uzunluğunun ve yapıştırıcı kalınlığının kayma dayanımındaki etkisini incelemiştir. Bindirme uzunluğunun (L) yapıştırılan malzemelerin kalınlığına (t) oranı (L/t) ile kayma dayanımı arasındaki ilişkiyi Şekil 1'deki gibi ifade etmiştir. Şekil 1'de (L/t) oranı arttıkça ortalama kayma dayanımının azaldığını gözlemlemiştir. Buna göre bindirme mesafesinin yapıştırılan malzemelerin kalınlığından büyük olması yapıştırma bağlantısının dayanımını azaltmaktadır. Yapıştırma işlemi mümkün olduğu kadar yapışan malzeme kalınlıkları dikkate alınarak ve uygun bindirme mesafesi belirlenerek uygulanması gerektiğini belirlemişlerdir [12].



Şekil 1.1. Kayma dayanımı ve (L/t) arasındaki ilişki [12]

Özel, Aydın ve Temiz, tek katlı bir yapıştırma bağlantısına eğilme momenti uygulayarak, iki boyutlu non-lineer Sonlu Elemanlar Metodu(SEM) ile elasto-plastik gerilme analizi yapmışlardır. Geometrik özelliklerin tek katlı yapıştırma bağlantısının mukavemetine etkisini belirlemek amacıyla, her bir yapıştırıcı için dört ayrı parça kalınlığı ve bindirme bölgesi uzunluğu seçmişlerdir. Elde edilen sonuçları, deneysel sonuçlarla karşılaştırmış, yapıştırılan parça kalınlığının artmasının bağlantı mukavemetini önemli ölçüde etkilediğini, esnek yapıştırıcılarda bindirme bölgesinin uzunluğunun artması ile taşınan yükün arttığını tespit etmişlerdir [13].

Taib ve arkadaşları, basit bindirme ve eğimli bindirme bağlantısı için iki farklı yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantı konfügrasyonlarının sonlu elemanlar metoduyla

analizini yapmışlardır. Yapılan deneysel analizler sonucunda yapıştırıcı tabakayı non-linear olarak kabul ederken yapışan malzemelerin davranışının ise lineer elastik olduğunu kabul etmişlerdir. Aynı zamanda bağlantının non-linear geometrik deformasyonları da dikkate alınmıştır. Sonuç olarak sonlu elemanlar modeli ile doğru tespit edilen yüklerin altında, eğimli bindirme bağlantılarda ayırt edici deformasyonlar gözlenmiştir [14].

Taş ve arkadaşları, bindirme bağlantılarında bindirme kenarındaki yapıştırıcı birikintisinin bağlantı mukavemetine olan etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla basit (single) ve dalgalı bindirme (wavy lap) olmak üzere iki farklı bağlantı tipi göz önüne alınarak birikintisiz (0°), 15° , 30° ve 45° birikintili toplam 8 model oluşturulmuş ve bu bağlantıların ANSYS sonlu elemanlar paket programı kullanılarak lineer elastik gerilme analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Analizler neticesinde bağlantıların bindirme bölgeleri üzerinde oluşan maksimum eşlenik ve soyulma gerilmelerini elde etmişlerdir. Sonuçta; 0° kenar birikintili wavy-lap bağlantıda meydana gelen maksimum eşlenik gerilme değerinin 0° kenar birikintili single-lap bağlantıya göre yaklaşık %41 olduğunu tespit etmişlerdir [15].

Sharifi ve Choupani, yapıştırma bağlantıların ısı yük altındaki davranışını sayısal metotlar kullanarak incelemişlerdir. Çift katlı yapıştırma bağlantısı kullanılarak yapıştırılan parçalar üzerindeki gerilmeler elde edilmiştir. Yapılan analizlerin sonucunda, çatlakların daima sabitlenmiş uç ile ortadaki yapıştırılan parça-yapıştırıcı ara yüzeyinde oluşmaya başladığını belirtmişlerdir [16].

Turan ve Kaman iki kompozit malzemeyi tek tesirli yapıştırma bağlantı tipi ile birleştirmişlerdir. Bağlantının hasar analizini deneysel ve sayısal metotlar kullanarak araştırmışlardır. Bağlantı elemanı olarak karbon fiber takviyeli epoksi reçine matrisli dört tabakadan oluşan levhalar ve yapıştırıcı olarak epoksi reçine kullanmışlardır. Hasar analizinde kompozit malzemeler için Hashin Hasar Teorisi ve yapıştırıcı için Maksimum Asal Gerilme Hasar Teorisi kullanmışlardır. Bağlantı mukavemeti üzerine bindirme uzunluğu, yapıştırıcı kalınlığı ve plaka genişliğinin etkisini sayısal olarak araştırmışlardır. Sayısal çalışma için sonlu elemanlar metodu ANSYS paket programı kullanmışlardır. Yapışma yüzey alanının değişiminin hasar yükleri üzerinde etkili olduğu sonucuna varmışlardır [17].

Apalak ve Davies, tek ve iki plakanın eğildiği ve bunların eğilen bölgelerinin diğerinin yüzeyi boyunca yapıştırıldığı, tek ve çift destekli köşe bağlantılarını

incelemişlerdir. Artan yatay ve dikey destek boylarının yapıştırıcı-plaka ara yüzeyinde ortaya çıkan gerilme yığılmalarını azalttığını ve yapıştırıcı tutturma miktarının da enine yoğunlaşmış yükler ve eğilme momentleri altında yapıştırıcının pik gerilme seviyeleri üzerinde etkin bir parametre olduğunu belirtmişlerdir [18].

Nemeş ve Lachaud, çift katlı bindirme bağlantılarında yapıştırıcı kalınlığını 0.05-0.1-0.3-0.5-1 mm seçerek yapıştırıcı kalınlığının etkisini incelemişlerdir. Yapıştırıcı kalınlığının artmasıyla yapıştırıcıda meydana gelen maksimum gerilmenin azaldığını, kayma ve soyulma gerilmelerinin uç noktalar hariç tutmak üzere üniform olarak tüm bindirme mesafesi üzerine dağıldığını tespit etmişlerdir. Yapıştırıcı kalınlığı 1 mm iken kayma gerilmesinin minimum olduğunu belirtmişlerdir [19].

Solmaz, farklı özelliklere sahip yapıştırıcılar kullanarak farklı bindirme mesafelerinde farklı uç açısına sahip malzemeleri (adherent) birleştirmiştir. Yapıştırıcı ile birleştirilen bağlantılar çekme deneyine tabi tutulmuş ve bu deneyler sonucunda bağlantıların hasar tipleri ve kuvvetleri belirlenmiştir. Bu bağlantıların çekme deneyi sonucunda hasara uğrayan yapıştırma yüzeyleri incelendiğinde, 0° (90° ya da açısız) uç açısına sahip numunelerde meydana gelen hasar tipinin “kohosiv hasarı”, uç açısı 0°’nin dışında kalan tüm numunelerde ise “özel kohosiv hasarı” olduğu belirlenmiştir [20,21].

Aydın, prizmatik geçmeli yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantılarda bindirme mesafesi, yüzey pürüzlülükleri, yapıştırıcı kalınlıkları ve farklı özellikleri olan yapıştırıcı türlerinin eksenel çekme yükü altındaki mekanik davranışlarını deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Yüzey pürüzlülüğünün ve bindirme mesafesinin artması ile bağlantı mukavemetinin arttığı gözlemlenmiştir. Ancak belirli bir noktadan sonra bu değerlerin artmasının bağlantı mukavemetine etkisinin olmadığını tespit etmiştir. Yapıştırıcı kalınlığının artmasıyla bağlantının mukavemetinin azalmasıyla birlikte daha düzgün bir gerilme dağılımı oluşturduğunu belirtmiştir [22,23].

Kwon ve Lee silindirik tüp bağlantı ile birleştirilmiş çelik malzemeye burulma yorulma testi uygulamışlardır. Yapılan çalışmada yüzey pürüzlülüğünün ve yapıştırıcı kalınlığının yorulma dayanıma olan etkisi incelenmiştir. Silindirik parçaların yüzey pürüzlülüğü $R_a=0.56-5\mu\text{m}$ aralığında yapılan deneylerde 0,17 mm yapıştırıcı kalınlığı için maksimum yorulma dayanımı (statik kesme kuvvetinin %15’ i kadar yüklenmesi durumunda) $R_a=3\mu\text{m}$ bulunmuştur. Çalışmanın sonucunda, ortalama gerilmenin yapıştırıcı

kalınlığına ve yüzey pürüzlülüğüne bağılı olduğı, yapıştırıcı kalınlığı ve yüzey pürüzlülüğü arttıkça gerilme değeri azaldığı belirtilmiştir [24].

Şekercioğlu ve ark., silindirik geçmeli yapıştırma bağlantılarında yüzey pürüzlülüğünün etkisini incelemişlerdir. $R_a = 0.45-6.3 \mu m$ arasında incelen yüzey pürüzlülük değeri deneyisel çalışma sonucunda bağlantı mukavemeti açısından ideal yüzey pürüzlülüğü aralığının $R_a = 1.5-2.5 \mu m$ olduğunu belirtmişlerdir. Çok parlak $R_a < 1 \mu m$ ve çok pürüzlü $R_a > 2.5 \mu m$ yüzeylerde düşük kayma gerilmesi değeri bulmuşlardır [25].

Bu tez kapsamında ise, yapıştırıcı olarak birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının burulma momenti altındaki mekanik davranışları incelenecektir. Bu amaçla, Akfix E 300, Devcon A ve Erde GTR olmak üzere 3 farklı yapıştırıcı türü ve iki farklı yapıştırıcı kalınlığına sahip yapıştırıcı ve yapıştırıcısız bağlantılar ANSYS paket programı kullanılarak sayısal olarak incelenecektir.

2. YAPIŞTIRICILAR

Adams ve Wake, yapıştırıcının tanımını, uygulanan yüzeyleri bir arada tutan ve ayrılmaya karşı direnç gösteren polimerik birer malzeme olarak yapmışlardır [26].

Yapıştırıcıların kullanılmaya başlanması çok eski dönemlere uzanmaktadır. Yapıştırıcı niteliğinde kullanılan ilk malzeme MÖ 4000 yıllarına kadar dayanmaktadır. Arkeolojik çalışmalar, ilkel kabilelerin çömlleklerini ağaç öz suyundan elde ettikleri yapıştırıcı reçine ile birleştirdikleri göstermiştir. Yapıştırıcıların daha yaygın kullanılmaya başladığı yıllar ise 1700'lerdir.

1930'lardan sonra doğal yapıştırıcıların yetersizliği sebebiyle, sentetik reçinelerden oluşturulan yapıştırıcılar kullanılmaya başlanmıştır. Yapıştırıcı olarak kullanılan ilk sentetik reçine kontraplak üretimi ve ağaç montajında kullanılan fenol formaldehidtir. Metal yapıştırmada kullanılamayacak kadar sert olan bu reçineler, yapıştırma alanında yeni çalışmaların yapılmasına sebep olmuştur. Bu durum sonucunda epoksi yapıştırıcılar kullanılmaya başlanmıştır. 2.Dünya Savaşı sırasında epoksi yapıştırıcıların uçak sanayisinde kullanılması buna örnek olarak gösterilebilir [27].

2.1.Yapışma

Yapıştırıcı ile malzeme arasında meydana gelen fiziksel ve kimyasal olaylar sonucunda yapışma işlemi gerçekleşir. Yapıştırıcının molekülleri ile yapıştırılan malzeme moleküllerinin birleşme eğilimi gösterir bir yapıda olması gerekmektedir. Yapıştırıcı ile yapıştırılacak yüzey arasındaki kuvvete adhezyon, yapıştırıcının içindeki moleküller arası bağ kuvvetine kohezyon denir [3].

2.1.1. Adhezyon

Adhezyon iki maddenin temas yüzeylerindeki yapışma kuvvetidir. Van der Waals kuvvetleri olarak adlandırılan çekim ve yüzeye tutunma fiziksel kuvvetleri yapışmada en önemli faktördür. Yapıştırıcı, eğer mekanik olarak işlenmiş yüzeylerde oluşan pürüzlü yapılara tam olarak temas edemez ise, bu moleküller arası Van der Waals kuvvetleri oldukça zayıflar. Bunun için yapıştırıcının yüzey pürüzlerine tam olarak nüfuz etmesi ve bütün yüzeyi ıslatması gerekmektedir. Bu sebeple, yapıştırmanın kuvveti hem yüzeyin

ıslatılmasına (maksimum moleküller arası temas), hem de yüzeyin yapışma yeteneğine bağlıdır. Yapıştırıcının yüzey gerilmeleri, ıslatmaya, yapıştırılan yüzeyin yüzey gerilimine ve yapıştırıcının viskozitesine bağlıdır. Yüzeyde kirlerin bulunması ıslatmayı olumsuz etkilediğinden yapışma işlemini olumsuz etkiler [3].

Adhezyon teorileri;

- Mekanik kilitlenme teorisi
- Difüzyon teorisi
- Fiziksel adsorbsiyon teorisi
- Zayıf sınır tabaka teorisi
- Mekanik kilitlenme teorisi
- Elektrostatik teori
- Kimyasal yapışma teorisi

2.1.2. Kohezyon

Kohezyon, yapıştırıcı molekülleri arasında bulunan ve yapıştırıcıyı bir arada tutan yani yapıştırıcının kendi içerisinde oluşan kuvvettir.

Kohezyona etki eden kuvvetler aşağıdaki gibidir;

- Moleküller arası çekme kuvvetleri (Van der Waals kuvvetleri),
- Polimer moleküllerinin kendi aralarında sıkı bir şekilde bağlanması [28]

Yapıştırma işleminde kohezyon ve adhezyon kuvvetleri yaklaşık veya eşit olmalıdır.

2.2. Yapıştırıcı çeşitleri

Yapıştırıcılar, en az iki malzemenin birbirine yapıştırılarak birleştirilmesinde istenilen tasarım özelliklerini veren epoksi, polyamid, fenolik, polyimid ve silikon gibi malzemelerin kimyasal olarak birleştirilmesinden oluşan karışımdır [29]. Kimyasal reaksiyon ile sertleşen yapıştırıcılara, yapısal yapıştırıcılar denilmektedir.

Yapısal yapıştırıcılar, esnek, yük taşıyabilen, ısıya dayanıklı yüksek kayma mukavemetine sahip yapıştırıcılardır. Bu yapıştırıcılar uzay sanayi, otomotiv endüstrisi, gemicilik vb. birçok alanda kullanılmaktadır [30].

En çok kullanılan yapısal yapıştırıcılar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir;

- Akrilikler

- Epoksiler
- Anaerobikler
- Poliüretanlar
- Silikonlar
- Fenolikler
- Siyanoakrilikler

2.2.1. Akrilikler

Akrilikler, hem plastikler hem de metaller için iyi soyulma mukavemetine sahiptir. -110°C ile 120°C sıcaklıkları arasında elastik özelliklerini değiştirmeden kalabilirler. Bu yapıştırıcılar yanıcı etkisi olduğundan yüksek sıcaklıklarda kullanımından kaynaklanan bozulmalar meydana gelir [28].

2.2.2. Epoksiler

Epoksiler, reçine ve sertleştirici olmak üzere iki bileşenli yapıştırıcılardır. Metal, porselen, cam ve seramik gibi mühendislikte kullanılan malzemelerin birleştirilmesinde kullanılırlar. Yüksek yapışma performansı, yüksek rijitlik, iyi çekme ve kayma mukavemeti, sürtünme direnci, az büzülme miktarıyla kolay sertleşme ve yüksek sıcaklıklara iyi tolerans sağlamak üzere tasarlanabilen dayanıklı yapıştırıcı türüdür [31].

2.2.3. Anaerobikler

Anaerobik yapıştırıcılar, ortamdaki oksijeni uzaklaştırarak kürleşir. Bağlantı alanında havanın girişini engelleyerek bir reçine içinde katılaşabilir. Anaerobik yapıştırıcılar, iyi rutubet ve çözelti direncine, sızdırmazlık özelliğine sahip olup 150°C'ye kadar metal ve termosetlerin yapıştırılmasında kullanılırlar.

2.2.4. Poliüretan

Poliüretan yapıştırıcılar (katalizör ve reçine) iki bileşenden oluşmaktadır. Çok geniş ihtiyaçları karşılayacak şekilde formüle edilebilirler. Poliüretan yapıştırıcılar düşük sıcaklıkta, epoksi reçinelere göre daha iyi mukavemet ve tokluğa sahiptirler [32].

2.2.5. Silikonlar

Silikon yapıştırıcılar, kohezif (yapışkan) dayanıma sahiptir. Molekül zincir yapısı çok esnek olup soyulma mukavemeti fazladır. -60°C ile 370°C arasında çalışma sıcaklık şartlarına uygunlardır.

2.2.6. Fenolikler

Fenolik yapıştırıcılar, doğal bileşik yapılardan elde edilmeyen ilk yapıştırıcılardır. Molekül yapısı, benzen halkalarının birleştirilmesiyle oluşmuştur. -60°C gibi düşük sıcaklıklar da gevrek yapıda kalabilirler ve ısıtılarak yüksek sıcaklık değerlerine ulaşınca kırılsınlar [33].

2.2.7. Siyanoakrilikler

Siyanoakrilikler, yapı olarak akriliklerle beraber siyano grubunda yer alırlar. Hızlı yapıştırıcılardır. Sertleşme işlemi birkaç saniye içerisinde gerçekleşir. Bu sebeple süper yapıştırıcı olarak da adlandırılırlar. Soyulma mukavemeti düşük olan bir yapıştırıcılardır.

2.3. Yapıştırma bağlantıları

Yapıştırma bağlantılarının, geleneksel birleştirme yöntemlerinden (lehim, kaynak, peçin vb.) daha düzgün bir gerilme dağılımı gösterdiği için günümüzde kullanım alanı artmıştır. Kullanım alanının artmasında yapıştırıcının düşük maliyet ve hafif olması da göz önünde bulundurulur. Ayrıca geleneksel birleştirme yöntemlerine eş değer veya daha fazla bağlantı mukavemeti sağlayabilmektedir.

Perçin, kaynak, lehim vb. birleştirme yöntemlerinde meydana gelen düzensizlikler yapıştırma bağlantılarında söz konusu değildir. Bu durum hem görünüş hem de işlevsellik açısından çok önemli bir özelliktir. Dış süreksizliklerin minimuma indirilmesi ve mümkün olduğu kadar sıcaklıktan korunmak için uzay ve havacılık endüstrisinde bu bağlantılar tercih edilir. Örneğin helikopter, rotor bıçakları bu yöntemle birleştirilir. Metal, alüminyum, plastik, cam, seramik ve ahşap gibi farklı tipteki malzemeler çeşitli eklentilerle, uygun yüzey işlemi kullanılarak kolaylıkla birleştirilir. Elastik özelliği bulunan bir yapıştırıcı kullanarak termal genleşme özellikleri farklı malzemeler birleştirilebilir ve daha rijit bir birleştirmede oluşabilecek hasar önenebilir.

Yapıştırıcı ile birleştirilen bağlantıda yapıştırıcı absorbe görevi görerek mekanik sönümlenme gerçekleştirilebilir. Yapıştırıcıların tekrarlı yüklemelere ve darbelere karşı olan mukavemetlerinin yüksek olması bağlantıların yorulma dayanımını artırır.

2.3.1. Yapıştırma Bağlantılarının Avantajları ve Dezavantajları

Avantajları

Yapıştırma, klasik bağlantı yöntemlerini tamamlayıcı olmak üzere:

- Geleneksel birleştirme yöntemlerinde (kaynak, lehim, peçin, gibi) ısı etki nedeniyle ortaya çıkan kusurlar (gerilme birikimleri, molekül yapısındaki değişimler, çekmeler ve çarpılmalar, mukavemet azalması gibi) yapıştırıcılı bağlantıda yoktur
- Geleneksel bağlama elemanları ile birleştirilmesi imkansız olan ince parçaların yapıştırıcılı bağlantıyla birleştirilmesi mümkün olur
- Bağlantı yapılırken yüksek ısı ve basınç etkisine gerek yoktur. Dolayısıyla bağlanan parçalar kendi özelliklerini korumayı sürdürürler [33]
- Farklı malzeme türlerinin (örneğin metal ve metal olmayan malzeme) birleştirilmesinde uygun bir bağlama tekniğidir
- Mekanik ve termik zorlanmalara karşı hassas olan malzemeler (sertleştirilmiş ve ıslah edilmiş çelikler, hafif madenler) yapıştırma yoluyla birleştirilebilirler.
- Sızdırmaz bir bağlantı yapmak, uygun olmayan diğer bağlantıların yerini tutmak, tamamen yeni konstrüksiyonlar yapabilmek için kullanılır. Yapıştırma bağlantıları ince sac konstrüksiyonların gerektiği yerler içinde uygundur
- Aşınmaya maruz kalan malzemelerinin (fren ve debriyaj balataları gibi) daha ekonomik ve daha iyi bir şekilde birleştirilmesi yapıştırıcılı bağlantılarla olanaklıdır [34]

Dezavantajları

Yapıştırıcılı bağlantıların, diğer çözülemeyen bağlantı elemanlarına göre dezavantajları aşağıda belirtilmiştir:

- Parçaların birleştirilme işleminde yüzey hazırlığı ve iyi bir temizlik gerektirmesi
- Yapıştırıcının zaman ve sıcaklığa bağımlı olan mekanik özelliklere sahip olması
- Soyulma ve darbe mukavemetinin düşük olması

- Bağlantının ve yapıştırıcının performansı ile ilgili tüm verilerin bilinmemesi
- Yapıştırma bağlantısının ömrünün çevresel faktörlere bağlı olması
- Bağlantının hassas ve doğru yapılabilmesi için tecrübeli kişilere ihtiyaç olması.
- Ortam şartları uygun hale getirmek için uygulanan yöntemler ve ekipmanlarının temini sonucu maliyetin artması,
- Metal yapıştırıcıların uygulandığı yüzeye homojen yayılmaması sonucu mukavemetin düşmesi [35]

2.4. Bağlantı Dizaynı

Yapıştırma bağlantılarının gerilme ve yükleri göz ardı ederek modellemek hatalı olur. Birleştirilecek parçaların bağlantı şekilleri özel olarak dizayn edilmelidir. Yapıştırıcının çalışma şartlarına uygun şekilde dizayn edilirse geleneksel bağlantı yöntemlerinden daha emniyetli olduğu görülür.

2.4.1. Bağlantı Çeşitleri

Yapıştırıcı bağlantılar çok karmaşık yapıda görünseler de temelde basit birkaç çeşit bağlantı türü vardır [36].

2.4.1.1. Bindirmeli Bağlantı (LAP Bağlantısı)

Bağlantı yapılacak elemanların, Şekil 2.1'deki gibi belirli bir kısmı üst üste gelerek, yapıştırma bağlantısının yapıldığı bağlantı şeklidir.



Şekil 2.1. Bindirmeli bağlantılar

2.4.1.2. Eğimli Bindirmeli Bağlantı

Bağlantı yapılacak olan elemanların bindirme kısımlarının üst taraflarına eğim verilmiştir.



Şekil 2.2. Eğimli bindirmeli bağlantı

2.4.1.3. Alın Alına Bağlantı

Bağlantı elemanlarının yapıştırıcı aracılığı ile alınlarından birbirlerine yapıştırıldığı bağlantı şeklidir.



Şekil 2.3. Alın alına bağlantı

2.4.1.4. Tek Destek Elemanlı Bindirmeli Bağlantı

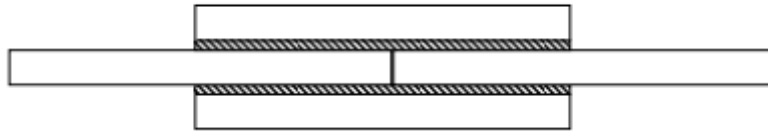
Bindirme bağlantısında alt kısma veya üst kısma gelecek şekilde yerleştirilmiş bir destek elemanı bulunan bindirmeli bağlantı şeklidir.



Şekil 2.4. Tek destek elemanlı bindirmeli bağlantı

2.4.1.5. Çift Destek Elemanlı Bindirmeli Bağlantı

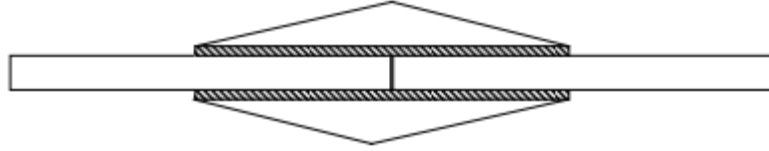
Bindirme bağlantısında, hem alt kısma hem de üst kısma gelecek şekilde yerleştirilmiş iki destek elemanı bulunan bindirmeli bağlantı şeklidir.



Şekil 2.5. Çift destek elemanlı bindirmeli bağlantı

2.4.1.6. Eğimli Çift Destek Elemanlı Bindirmeli Bağlantı

Bindirme bağlantısında, hem alt kısma hem de üst kısma gelecek şekilde yerleştirilmiş iki destek elemanı bulunan ve bu destek elemanlarına eğim verilmiş şekilde olan bindirmeli bağlantı şeklidir.



Şekil 2.6. Eğimli çift destek elemanlı bindirmeli bağlantı

2.4.1.7. Çift Bindirmeli Bağlantı

Bindirme işleminde iki adet eleman bir üçüncü elemanın üzerine alt ve üste gelecek şekilde bindirilmek sureti ile yapıştırılıyorsa bu bağlantı şekline çift bindirmeli bağlantı denir.



Şekil 2.7. Çift bindirmeli bağlantı

2.4.1.8. Basamaklı Bindirme Bağlantısı

Bindirme işleminde yapıştırılacak elemanlar üzerine birbirlerine tam oturması için basamak şeklinde boşlukların açılmış olduğu bağlantı şeklidir.



Şekil 2.8. Basamaklı bindirme bağlantısı

2.4.1.9. Açık Bindirme Bağlantısı

Bu bindirme şeklinde yapıştırılacak olan malzemelere karşılıklı olarak eğim verilir ve sahip oldukları bu eğimler aracılığı ile bağlantı sağlanır.



Şekil 2.9. Açılı alın bağlantısı

2.4.1.10. Konik boru silindirik bağlantı

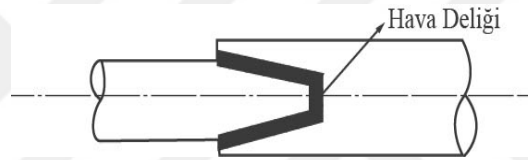
Şekil 2.10'da yapıştırma bağlantısında yapıştırıcı alanını arttırmak için yüzeyler konik olarak işlenmiş böylelikle eğilme gerilmeleri minimize edilmiştir.



Şekil 2.10. Konik bağlantı

2.4.1.11. Konik mil silindirik bağlantı

Konik mil bağlantısı merkezleme ve montaj kolaylığı sağlayabilmek için konik olarak yapılmıştır. Şekil 2.11'de görüldüğü gibi montaj esnasında içeride hava birikmemesi için hava deliği bırakılmıştır.



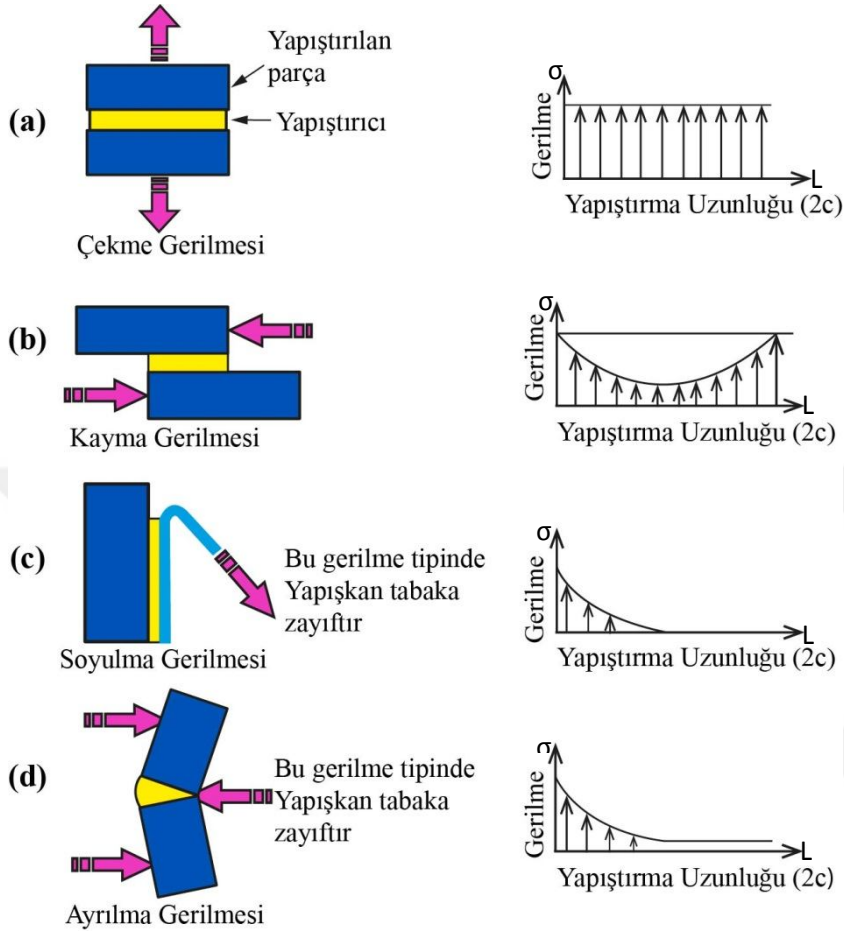
Şekil 2.11. Konik mil bağlantısı

2.5. Yapıştırma bağlantılarının maruz kaldığı kuvvetler

Bir yapıştırma bağlantısına etki eden yükler farklı türde gerilmelere neden olur. Yalnızca çekme veya basma yükleri altındaysa, yapışma çizgisinde gerilim dağılımı düzgündür. Dolayısıyla yapışma çizgisinin her noktası aynı yükü taşır ve gerilimi hesaplamak için etki eden kuvvet yapışma alanına bölünür. Gerçek hayatta, yalnızca çekme ve basma yükleri çok enderdir. Daha çok kesme, ayrılma ve soyulma yükleriyle karşılaşılır. Ek yeri gerilme dağılımı, yani gerilmelerin yapışma çizgisindeki konumu, değişkendir ve hesaplaması daha zordur. Kesme gerilmeleri, bazı noktalarda yoğunlaşmalar olacak şekilde yapışma yüzeyine dağılır. Yapışma alanının kenarları, orta noktaya göre daha yüksek gerilmeye dayanmak zorundadır. Bir ek yerine ayrılma veya soyulma kuvveti uygulandığında, gerilimin çoğu bir kenarda yoğunlaşır.

Ek yeri tasarımı, seçilen yapıştırıcıdan en yüksek verimi almak için önemli bir parametredir. Tasarım, yapıştırıcının özelliklerine göre ayarlanmalı ve en tehlikeli yük şartları (soyulma, ayrılma) engellenecek şekilde optimize edilmelidir. Şekil 2.12,

yapıştırıcı bağlantılarda yükleme tipine göre meydana gelen gerilme dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 2.12. Yapıştırma bağlantılarında farklı kuvvet uygulamaları [37]

Şekil 2.12a 'da, görüldüğü gibi çekme yükü altında kuvvetler yapıştırıcı tabakasına dik olarak etki etmektedir. Bu kuvvetlerden dolayı meydana gelen gerilme, yapışma alanına eşit şekilde dağılmaktadır. [38].

Şekil 2.12b'de, kesme yükleri yapıştırılan alanın tamamına düzgün etki etmektedir. Bu tür yüklemelerde yapışma alanının tamamının etki altında olması bağlantı ömrünü uzatır.

Şekil 2.12c'de, soyulma gerilmeleri yapıştırılan malzemelerden biri veya her ikisi de esnek olmasıyla meydana gelir. Bu tür yüklemelerde bağlantı sınırında oluşan gerilme çok yüksektir.

Şekil 2.12d’de, görülen ayrılma gerilmesi, ekseriyetle eksen den kaçık çekme kuvvetinin veya momentinin sonucudur. Önceki gerilmelerin aksine bu gerilme, yapışma alanına eşit olmayan şekilde etkimekte ve bağlantının bir tarafında yoğunlaşmaktadır [39].

2.6. Yapıştırma bağlantılarının analizi

Yapıştırma bağlantılarının analizi için iki yöntem kullanılır. Birinci yöntem diferansiyel denklemlerle sınır şartlarını formülize etmektir. Bu formülasyon ile oluşturulmuş denklemlerin çözülmesiyle bağlantının herhangi bir yerinde gerilme değeri analitik olarak ifade edilir. İkinci yöntem ise diferansiyel denklemlerin çözümü için sayısal metotlarla ya da ayrı bir modelle uzay-zaman süreklisiyle ifade edilir ve enerji fonksiyonlarından matematiksel denklemler çıkartılır. Sonuç olarak, çözümler için Gauss noktalarına benzer özel noktalarla gerilmeler verilir ve bununla birlikte genel ifadeler çıkarılamaz.

2.7. Ansys sonlu elemanlar yazılımı

Sonlu elemanlar yöntemi, birçok mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir yaklaşımla çözüm bulan sayısal çözüm metodudur. Avantajları,

- Sonlu elemanlar yöntemi, karmaşık geometrilili şekillerin incelenmesine imkan sağlar.
- Çözüm bölgelerini alt bölgelere bölebilir ve farklı sonlu elemanlar kullanılabilir. Gerektiğinde ayrılan alt bölgelerde daha hassas hesaplamalar yapılabilir
- Farklı ve karmaşık malzeme özellikleri olan sistemlerde kolaylıkla uygulanabilir. Örneğin, nonlinear, anizotropi zamana bağlı malzeme özellikleri gibi malzeme özellikleri dikkate alınır
- Parçanın geometrisini basitleştirmeye gerek duyulmaz
- Sınır koşulları, sistemin temel denklemleri oluşturduktan sonra, oldukça basit satır ve sütunlara işlenmeleriyle denklem sistemine eklenebilir,
- Matematiksel olarak genelleştirilebilir ve çok sayıda problemi çözmek için ANSYS’te model hazırlanabilir,

- Sonlu elemanlar yönteminin hem matematiksel hem de fiziksel temeli vardır.

Sonlu elemanlar metodu, gerilme analizinde gerçek geometrik cismin tam olarak formüle edilmesinin güç olması nedeniyle hesaplanması kolay olan elemanlar bilgisayarda oluşturulmaktadır. Sonrasında ise bilinen bütün fizik kuralları daha basit geometriye sahip olan bu elemanlara uygulanmaktadır [40].

Sonlu elemanlar metodunda gerilme problemlerinin analizi için bilgisayarda yapılacaklar sırasıyla aşağıda belirtilmiştir;

- Cismin geometrik modeli oluşturulur
- Elemanların elastisite modülü ve poisson oranı girilir
- Başlangıç ve sınır şartları belirlenir
- Analiz tipi seçilir
- Çözüm yapılır

Bütün cismin elemanlara ayrılabilmesi için bir ağ yapısına gereksinim duyulmaktadır. Cismin geometrisine ve boyutuna uygun olarak seçilmiş elemanlara bölünme haline, meshleme denilmektedir. Elemanlarına ayrılmış modeli oluşturan elemanların birbirlerine temas ettiği yüzeylerde düğüm noktaları oluşmaktadır. Kuvvet dağılımının daha duyarlı ölçülebilmesi için mümkün oldukça çok sayıda elemanlara bölmek önemlidir. Belirli bir başlangıç koordinatına göre tüm düğümlerin x, y, z eksenleri üstündeki koordinatları saptanarak model oluşturulmaktadır. Ayrıca, geometrik şekli oluşturan tüm elemanların malzeme özelliklerini belirleyen, poisson oranı ve elastisite modülü değerleri bilgisayar programına aktarılmaktadır. Oluşturulan sayısal modelde, düğüm noktalarına dışarıdan dış etken ve sınır şartlarının uygulanmasıyla meydana gelen değişiklik durumları için matrisler oluşmakta, bu matrisler bilgisayar yardımıyla çözülmektedir. Bu yolla her bir elemandaki ve dolayısıyla elemanların oluşturdukları cismin tamamındaki gerilme ve şekil değiştirmeler elde edilmektedir.

2.8. Yapıştırıcıların gerilme-şekil değiştirme özelliklerinin belirlenmesi

Mekanik davranış, yük altında malzemelerin yapısında meydana gelen gerilme-şekil değiştirmelerini açıklayan en genel kavramdır. Yapıştırıcıların mekanik özellikleri, plastikler için geliştirilmiş standartlara uygun şekilde hazırlanmış numunelerin çekme cihazına bağlanarak tek eksenli gerilme uygulanması ile tespit edilir [41]. Yapıştırıcıların

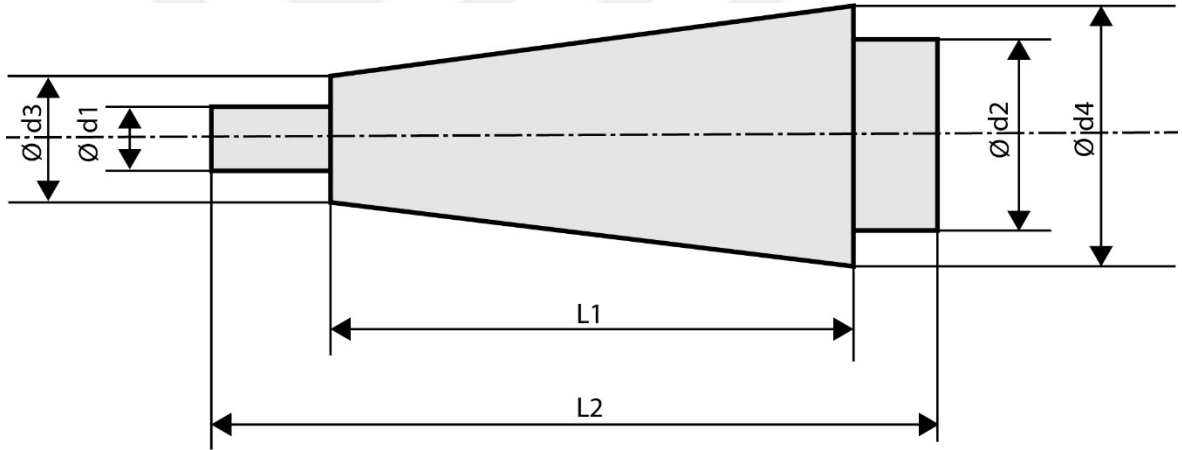
mekanik özelliklerinin güvenilirliği, uygulanan kuvvet sonucunda oluşan yer değiştirmelerin doğru tespitiyle belirlenir. Uygulanan çekme kuvvetinden dolayı oluşan şekil değiştirmeler; yapıştırıcının mukavemetine, şekil değişim şiddetine ve oranına bağlı olduğundan yapılan ölçümlerde güçlüklerle karşılaşılır. Bu sorunun çözümü için, numuneyle temas halinde olan strain gauge veya temas halinde olmayan video extensiometre kullanılarak şekil değiştirmeler belirlenir.



3. KONİK GEÇME

Konik geçmeler, dönel-simetrik bir yüzey üzerinde etkiyen basınç sayesinde mil ile göbek arasında moment iletirler. Konik geçmeler sadece mil uçlarında uygulanır. Dinamik momentlerin iletimine uygun olan bu bağlantı şeklinin; milde herhangi bir çentik etkisi oluşturmaması, göbeği iyi merkezlemesi ve kolay montaj ve demontajının yapılabilirliği gibi nedenlerden kamalara göre üstünlüğü vardır [42].

Çok iyi bir merkezleme sistemi gerektiren konik geçmeler çarkların veya kasnakların mil uçlarına bağlanması için kullanılır. Aynı zamanda takım tezgahları alanında mors koniği olarak adlandırılan ve takım saplarına uygulanan konikler, takımların montajında da kullanılır [43].



Şekil 3.1. Konik Makine Parçasının Başlıca Elemanlarının İfade Edilmesi [44]

Mühendislik uygulamalarında çok kullanılan koniklerin kullanım yerleri ve koniklik

$((d_3-d_4)/l)$ oranları;

1:5 Amerikan Koniği {JARNO-BROWN}: Freze malafa koniklerinde, fener mili koniklerinde

1:8 Amerikan Koniği {SHARP}: Torna fener mili konikleri

1:10 Musluk Koniği: Tek konumlu muslukların içinde ve üstündeki başlıkta.

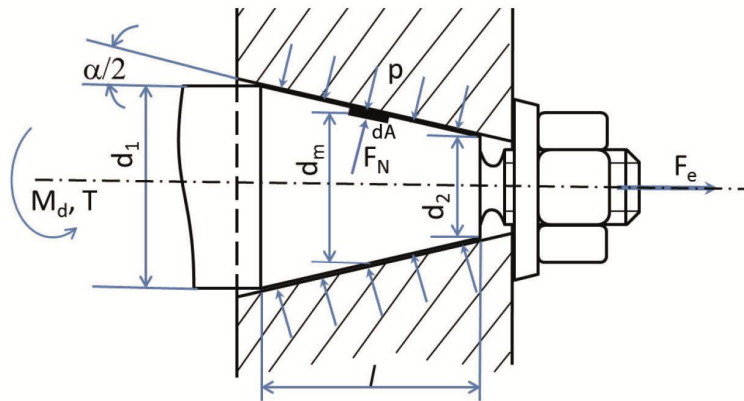
1:15 Mıyılı Koniği: Şaft, kasnak, krank gibi konik mıyılularda

1:20 Mors Moniği: Mors kovanlarında, matkap ve makine raybalarında, makine kılavuzlarında, mandren saplarında kullanılır [44].

Konik geçme bağlantısında koni tepe açısının artırılması bağlantının sökülmesini kolaylaştırmakta olup, koni tepe açısının azalması ise bağlantının sökülmesini zorlaştırmaktadır. Tablo 3.1’de konik tepe açısı değişimi ile özellikleri arasındaki ilişki gösterilmektedir.

Tablo 3.1. Konik Geçme [43]

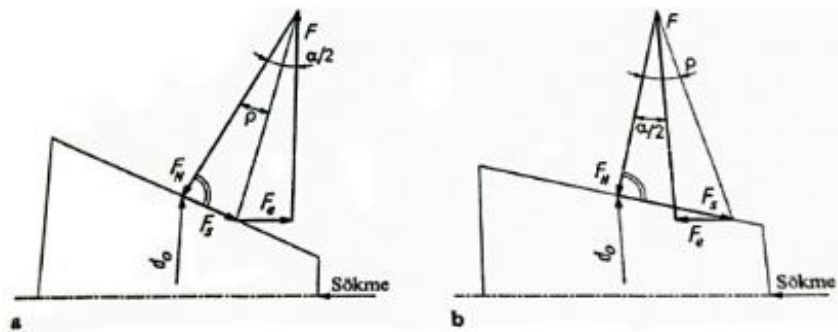
Koniklik (Koni Tepe Açısı)	Özellik
1:5 ($11^{\circ}25'$)	Somun çıkarılınca kolayca sökölür
1:10 ($5^{\circ}43'$)	Somun çıkarılınca kolayca sökölmez
1:20 ($2^{\circ}51'$)	Özel bağlantılarda kullanılır, sökölmesi çok zordur



Şekil 3.2. Konik Geçme [43].

Yüzey basıncı p ve temas yüzeyinde dA kadar bir alana etkiyen normal kuvvet;

$$F_n = p \cdot dA \quad (3.1.)$$



Şekil 3.3. a) Kilitlenmesiz b) Kilitlenmeli konik geçme [42].

$$\text{Gereken sıkma kuvveti } F_e = F_n \tan(\alpha/2 + \rho) \quad (3.2)$$

$$\text{Gereken çözme kuvveti } F_e' = F_n \tan(\alpha/2 - \rho) \quad F_e = |F_e'| \quad (3.3)$$

ρ :Sürtünme açısı, $\alpha/2$: Koniklik açısı

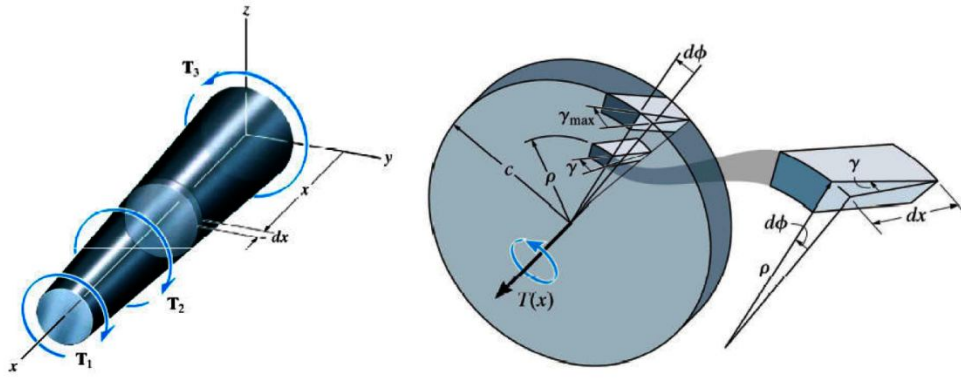
Somunun sıkılması ile meydana gelen F_e kuvveti ile göbek içine çekilen demontajında uygulanan kuvvet ters yönde ise konik geçme “otoblokajlı/kilitlenmeli” bir bağlantıdır. Kilitlenmenin koşulu;

Otoblokaj şartı $F_e' \leq 0$ $\alpha \leq 2\rho$ yani $\tan \alpha/2 < \mu$ şeklinde tanımlanır[42].



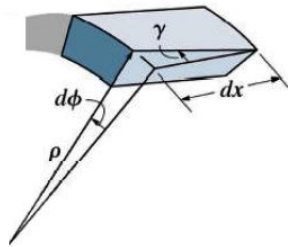
4. BURULMA

Mühendislik uygulamalarında en çok rastlanan şekil değiştirme türlerinden biri de burulmadır. İçi boş veya dolu bir çubuk kendi eksenini boyunca burulma etkisine maruz kalması sonucu şekil değişimine uğrar. Bu tür yüklemeler makinelerde ve transport sistemlerinde, havacılıkta, yapı elemanlarında vb. yerlerde güç iletici mil görevinde kullanılır [45].



Şekil 4.1. Değişken kesitli şaft [46]

Değişken kesitli bir şaftın burulma açısı için, dx uzunluğunda diferansiyel bir parçanın burulma açısı integre edilir. En kesitteki bileşke burulma momenti $T(x)$ 'dir. $T(x)$ 'den dolayı diskin bir yüzü diğer yüzüne göre $d\phi$ kadar burulur. Burulmadan dolayı ρ gibi bir mesafedeki malzeme γ kesme şekil değişimine maruz kalır [46].



$$d = \gamma \frac{dx}{\rho} \quad (4.1)$$

Hooke kanuna göre;

$$\gamma = \frac{\tau}{G} \quad (4.2)$$

Kayma gerilmesi;

$$\tau = \frac{T(x)}{J(x)} \rho \quad (4.3)$$

Dönme açısı;

$$d\phi = \frac{T(x)}{J(x)G} dx \quad (4.4)$$

Toplam kesit dönmesi;

$$\phi = \int_0^L \frac{T(x)}{J(x)G} dx \quad (4.5)$$

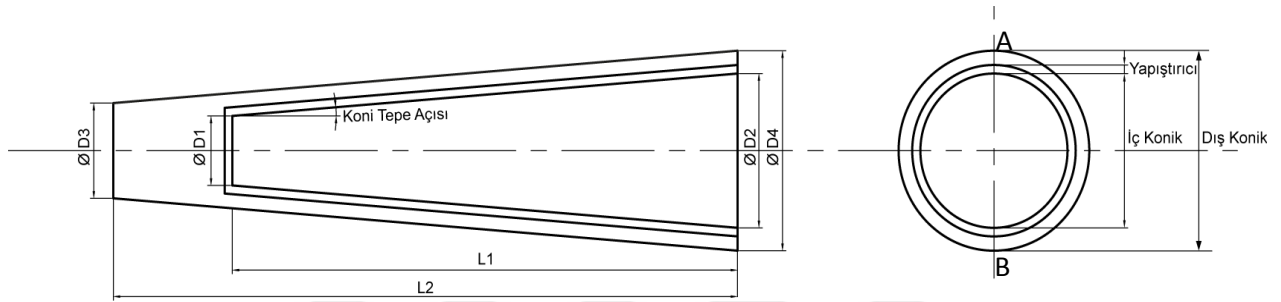
şeklinde yazılabilir.



5. MATERYAL ve METOT

Bu çalışmada yapıştırıcılı ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının, burulma momenti etkisi altındaki davranışlarına yapıştırıcı cinsinin, koniklik açısının ve yapıştırıcı kalınlığının etkisi araştırılmıştır.

Şekil 5.1’de yapıştırıcı ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının teknik resmi, Tablo 5.1’de ise koniklik açısına bağlı olarak bu bağlantıların ölçüleri verilmiştir.



Şekil 5.1. Yapıştırıcılı konik geçme bağlantı modelin teknik resmi

Tablo 5.1. Konik geçme bağlantılarının ölçüleri

Koni tepe açısı	Koniklik	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D4 (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)
2°51'	1/20	10	15	15.6	21.6	100	120
5°43'	1/10	10	20	14.6	26.6	100	120
11°25'	1/5	10	30	12.6	36.6	100	120

Çalışmada, bağlantı malzemesi olarak St 60 imalat çeliği yapıştırıcı olarak ise epoksi bazlı (Devcon A, Akfix E300) 2 adet ve akrilik bazlı (Erde GTR) 1 adet olmak üzere toplam 3 farklı özellikte yapıştırıcı kullanılmıştır. Bağlantı malzemesi olarak kullanılan imalat çeliğinin mekanik özellikleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. St 60 malzemesinin mekanik özellikleri [22]

	TEST METODU		
	ISO 527	ISO 527	ISO 178
	Çekme Mukavemeti(MPa)	Poisson Oranı	Elastisite Modülü(MPa)
St 60	600	0.35	210000

5.1. Kullanılan Yapıştırıcılar ve Özellikleri

Bu çalışmada, çelik-çelik bağlantıların yapıştırılmasında kullanılan akrilik ve epoksi yapıştırıcı türlerinin mekanik ve teknik özellikleri verilmiştir. Akrilik yapıştırıcılardan 1 adet ve epoksi yapıştırıcılardan 2 adet olmak üzere toplam 3 farklı özellikte yapıştırıcı kullanılmıştır.

5.1.1. Akfix E300 Epoksi Yapıştırıcı

Epoksi esaslı hızlı sertleşen iki bileşenli, su ve kimyasallara karşı dayanıklı bir yapıştırıcıdır. Metal, cam, seramik, porselen, alüminyum gibi malzemelerin, yüzeylerinin yapıştırılması ve tamirinde kullanılır. Alkali çözeltilere, su ve seyreltilmiş asit çözeltilere dayanıklı yapıştırıcılarıdır. Yüksek yapıştırma gücü ve dayanıklılığa sahip, su altında uygulanıp, kürlenebilir. Çekme ya da çatlama yapmaz. Akfix E300 epoksi bazlı yapıştırıcının teknik özellikleri Tablo 5.3’de verilmiştir.

Tablo 5.3. Akfix E300 teknik özellikleri

Kullanma zamanı (23°C,%50 bağıl nem)	30-40 dakika
Sertleşme zamanı (23°C,%50 bağıl nem)	6 saat
Uygulama Sıcaklığı	+5°C ile +40°C arası
Sertlik	85 ± 5 Shore A

5.1.2. Devcon A Epoksi Yapıştırıcı

Bakım ve tamirat işlemleri için kullanılan iki bileşenli, çelik dolgulu epoksi bazlı macundur. Metal yüzeylerin yapıştırılmasında, dolgu ve yama olarak kullanımında, iyi boşluk doldurma yeteneğine sahiptir. Aşınma, metal yorgunluğuna uğramış metal malzemelerde, döküm işlemindeki tüm yama uygulamalarında, sabitleme ve şablon işlemlerinde, pompa ve vanaların aşınmış olan bölgelerinde, mil, şaft, aks ve rulman yataklarındaki bilya kanalları gibi makine parçalarının tamiratında kullanılır.

Epoksi reçine ve sertleştirici karışım oranı; ağırlık olarak 9:1, hacimce ise 2:1’dir. Epoksi bazlı yapıştırıcının teknik özellikleri Tablo 5.4’de gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Devcon A teknik özellikleri

Yoğunluk	2.33gr/cm ³
Özgül Hacim	0.43cm ³ /gr
Karışım Çalışma Süresi	45 dakika
Basınç Mukavemeti ASTM D1002	19.22 MPa
Sertlik Shore D ASTM D2240	85D
Sıcaklık Dayanımı	38°C
	121°C

5.1.3. Erde GTR

İki bileşenli yüksek performanslı akrilik bazlı yapısal yapıştırıcıdır. Bu yapıştırıcı geniş kullanım alanına sahiptir; çelik, alüminyum, bakır, krom, pirinç, nikel, çinko, polyester, PVC, ABS, epoxhidharz, cam, ahşap, beton, taş, mknatis vb. alanlar. Tutunma performansı bir saatte %75’dir. Hava koşullarına karşı üstün bir dayanım göstermektedir. Erde GTR yapıştırıcının üretici teknik özellikleri Tablo 5.5’de gösterilmiştir.

Tablo 5.5. Erde GTR teknik özellikleri

Özgül ağırlık (g/m ³ ,20°C)	1.01±0.02
Bileşim	% 100 akrilik
Boşluk Doldurma	0.5 mm’ye kadar
Tutma Mukavemeti (Çelik-Çelik)	26.2 MPa
Viskozite (cps/25°C)	2000-3500

Sonlu elemanlar analizinde kullanılan yapıştırıcıların mekanik özellikleri Tablo 5.6’da verilmiştir.

Tablo 5.6. Yapıştırıcıların mekanik özellikleri [22]

	TEST METODU			
	ISO 527	ISO 527	ISO 527	ISO 178
	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Poisson Oranı	Elastisite Modülü (MPa)
AKFİX E 300	-	34.1	0.32	758
DEVCON A	-	26.5	0.35	663
ERDE GTR	2.01	7.9	0.36	93

ANSYS paket programında kullanılan modellere uygun, bağlantı elamanı ve yapıştırıcı yüzey için üç serbestlik derecesi ve 10 düğüm noktasına sahip üç boyutlu *SOLID187* eleman tipi seçilmiştir ve Tablo 5.6’da verilen mekanik özellikler girilmiştir.

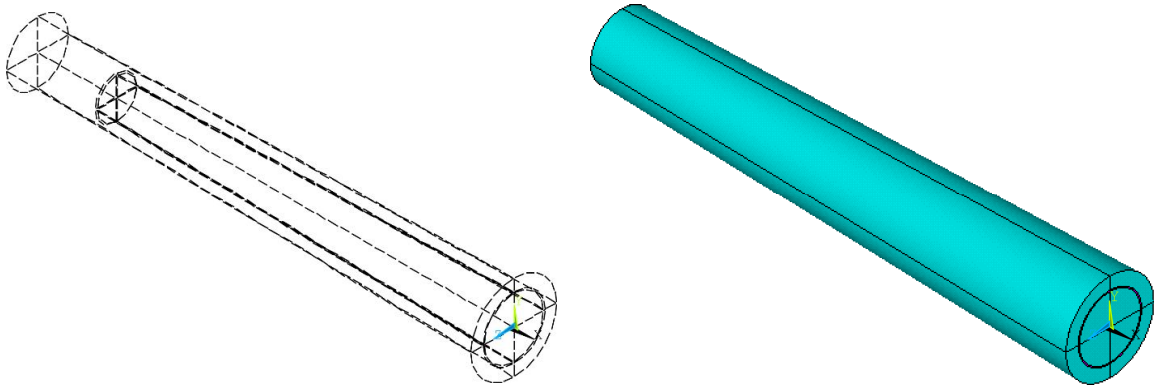
Elastisite modülü (E) ve poisson oranı (ν) kullanılarak bağlantı malzemesinin ve yapıştırıcıların kayma modülleri (G) denklem 5.1’deki formülden hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler tablo 5.7’ de verilmiştir.

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (5.1)$$

Tablo 5.7. Bağlantı malzemesinin ve yapıştırıcıların kayma modülü

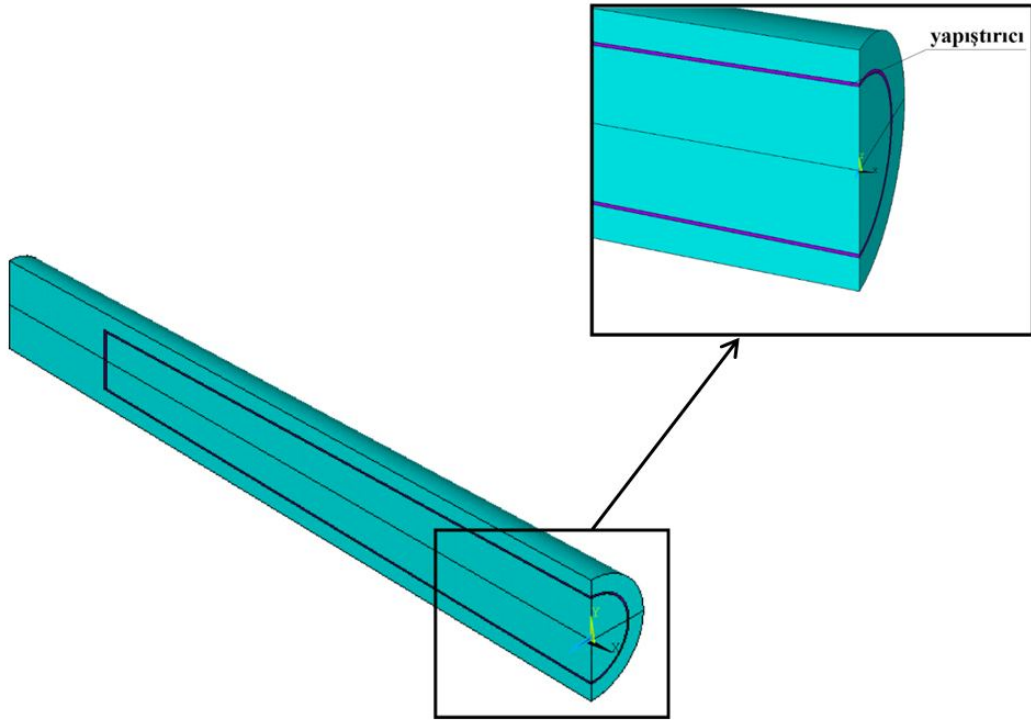
	KAYMA MODÜLÜ(MPa)
AKFIX E 300	287
DEVCON A	245
ERDE GTR	34
St 60	81000

Tablo 5.1’de verilen teknik resme uygun olarak *ANSYS* paket programında her bir parametre için bağlantı modelleri oluşturulmuştur. Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan yapıştırıcılı bağlantı tipi için *ANSYS* paket programı kullanılarak oluşturulan katı model Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



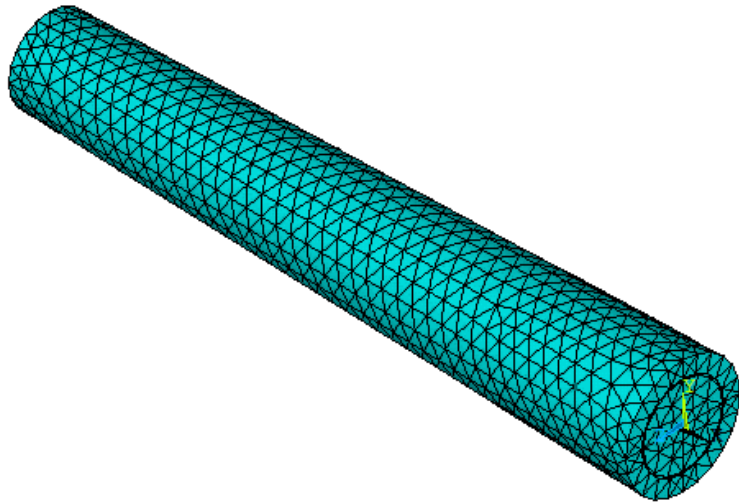
Şekil 5.2. Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan yapıştırıcılı konik geçme bağlantının perspektif görünüşü

Şekil 5.3’de koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan yapıştırıcılı konik geçme bağlantı modelinin düşey ekseninde (y) alınan kesitte yapıştırıcı tabakası gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan yapıştırıcılı konik geçme bağlantının kesiti

Sonlu elemanlar analizinde meshleme işlemi çok önemlidir. Çalışmada moment dağılımının daha duyarlı ölçülebilmesi için tüm bağlantılar mümkün oldukça çok sayıda ve aynı boyutta elemanlara bölünmüştür. Şekil 5.4’de koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan yapıştırıcılı konik geçme bağlantısının mesh yapısı, Tablo 5.8’de ise tüm bağlantılar için eleman ve düğüm sayıları verilmiştir.

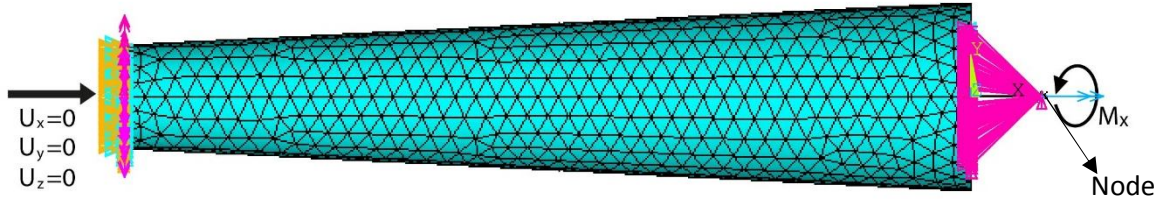


Şekil 5.4. Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan yapıştırıcılı konik geçme bağlantı modelinin sonlu elemanlar ağ yapısı

Tablo 5.8. Tüm bağlantılar için düğüm ve eleman sayısı

BAĞLANTI TİPİ	KONİ TEPE AÇISI	DÜĞÜM SAYISI	ELEMAN SAYISI
YAPIŞTIRICILI	2°51'	16818	11169
	5°43'	21060	14331
	11°25'	31548	21712
YAPIŞTIRICISIZ	2°51'	11888	7631
	5°43'	16076	10649
	11°25'	24820	16761

Çalışmada konik geçme bağlantısının dış konik ucu (D_3) ankastre olarak sabitlenmiştir. İç koniğin ön yüzeyine (D_2) kontak oluşturularak dışta tanımlanan bir node ile bağlanmıştır. Bu işlemin amacı iç koniğe moment uygulayabilmektir. Node x yönünde uygulanan $M_x=1000$ Nmm moment ile model burulmaya zorlanmıştır. Burulma momenti sıfırdan başlayıp kademeli artırılarak 1000 Nmm şeklinde uygulanmıştır. Ve çözümler elde edilmiştir. Şekil 5.5’de koni tepe açısı 2°51' yapıştırıcılı bağlantıya uygulanan sınır şartları ve burulma momenti yönü gösterilmiştir.



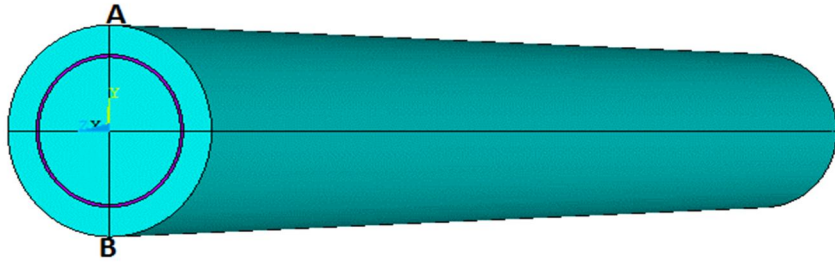
Şekil 5.5. Bağlantılara uygulanan sınır şartları ve burulma momenti

Bu işlemler 3 farklı yapıştırıcı cinsi, 2 farklı yapıştırıcı kalınlığı ve 3 farklı koni tepe açısı için 18 yapıştırıcılı ve 3 farklı koni tepe açılı yapıştırıcısız bağlantı modelleri olmak üzere toplam 21 model için tekrarlanmıştır.

6. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

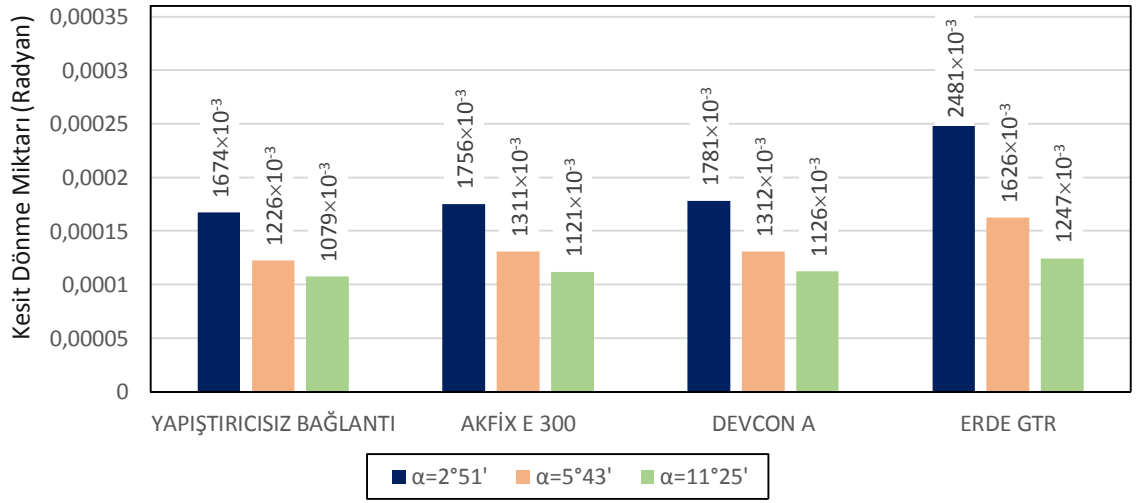
Yapılan çalışmada Tablo 5.1'deki ölçülere göre *ANSYS* paket programında oluşturulan koni tepe açıları sırasıyla $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$ ve $11^{\circ}25'$ olan yapıştırıcısız ve Akfix E300, Erde GTR, Devcon A ile birleştirilmiş yapıştırıcılı konik geçme bağlantılara burulma momenti uygulanmıştır. Uygulanan moment sonucunda $\sigma_{eş}$, τ_{xz} , τ_{yz} gerilme dağılımları ve kesit dönme miktarları incelenmiştir.

Koni tepe açısı ve yapıştırıcı kalınlığından dolayı numunelerin y koordinat değerleri değişmektedir. Farklı parametrelere sahip numunelerin sonuçlarını karşılaştırmak için Şekil 6.1 görülen A-B hattı boyunca düşey eksen koordinatı (y), dış çapa bölünerek A-B hattı için normalizasyon işlemi yapılmıştır.



Şekil 6.1. Farklı koni tepe açlarına sahip bağlantılar için normalleştirilmiş A-B hattı

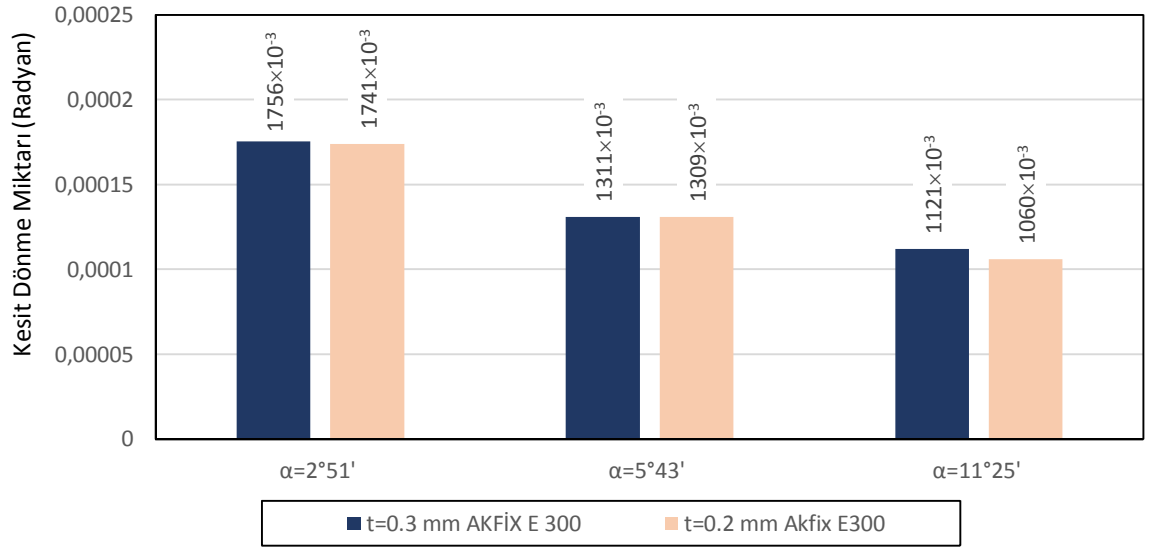
Şekil 6.2'de, koni tepe açısı $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$, $11^{\circ}25'$ olan yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız konik geçme bağlantıların kesit dönme miktarları gösterilmektedir.



Şekil 6.2. Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$, $11^{\circ}25'$ olan yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız konik geçme bağlantıların kesit dönme miktarları

Bu grafik değerlendirildiğinde, en yüksek kesit dönme miktarının koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantıda olduğu görülmektedir. En düşük kayma modülüne sahip olan Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantının şekil değiştirme kabiliyeti daha yüksektir. Birbirlerine yakın kayma modülü değerlerine sahip olan Akfix E300 ve Devcon A ile birleştirilmiş bağlantıların kesit dönme miktarları arasındaki farkın daha az olduğu görülmektedir. Koni tepe açısı üzerindeki etkisi incelenecek olursa, tüm bağlantılar için en yüksek kesit dönme miktarlarının koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan bağlantılarda gerçekleştiği görülmektedir. Benzer şekilde koni tepe açısı arttıkça dönme miktarlarının azaldığı görülmektedir.

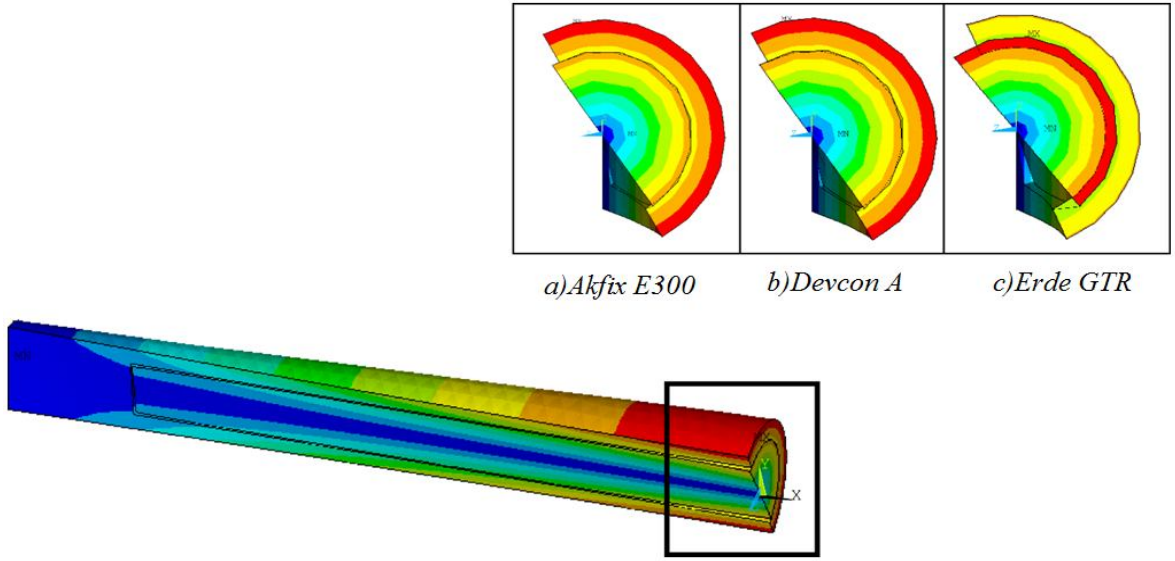
Şekil 6.3’de, koni tepe açısı $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$, $11^{\circ}25'$ olan ve yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2 \text{ mm}$ ve $t=0.3 \text{ mm}$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantıların kesit dönme miktarları gösterilmektedir.



Şekil 6.3. Koni tepe açısı 2°51', 5°43', 11°25' olan yapıştırıcı kalınlığı t=0.2 mm ve t=0.3 mm olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantıların kesit dönme miktarları

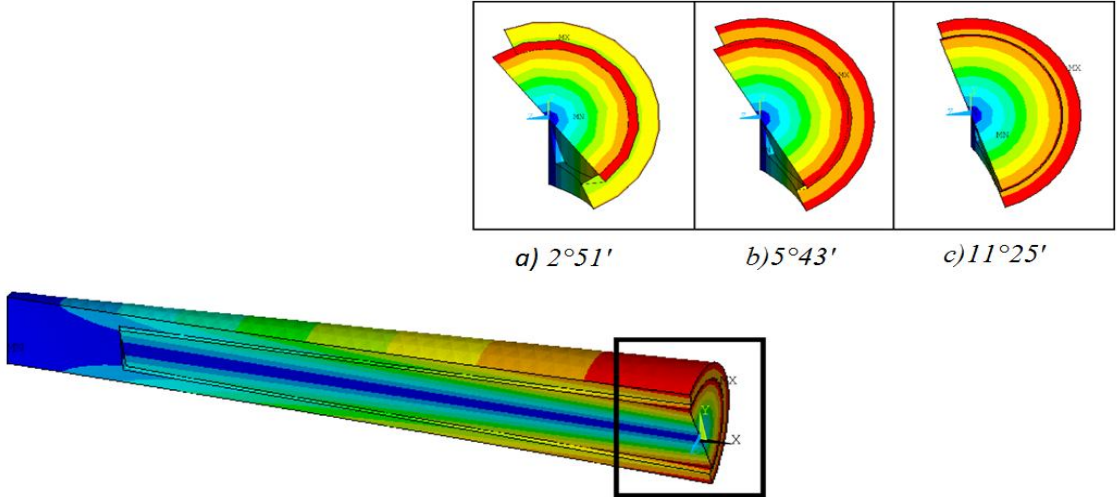
Bu grafik değerlendirildiğinde, en yüksek kesit dönme miktarının yapıştırıcı kalınlığı $t=0.3 \text{ mm}$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantısında olduğu görülmektedir. Dönme miktarlarının ve yapıştırıcı kalınlığının koni tepe açısı üzerindeki etkisi incelenecek olursa, tüm bağlantılar için en yüksek dönme miktarlarının koni tepe açısı 2°51' olan bağlantılarda gerçekleştiği görülmektedir. Benzer şekilde koni tepe açısı arttıkça dönme miktarlarının azaldığı görülmektedir.

Şekil 6.4'de, koni tepe açısı 2°51' olan Akfix E300, Devcon A ve Erde GTR ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının kesit dönmeleri görülmektedir. Şekil incelendiğinde Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantının kesit dönmesinin Akfix E300 ve Devcon A ile birleştirilmiş bağlantılardan daha fazla olduğu görülmektedir.



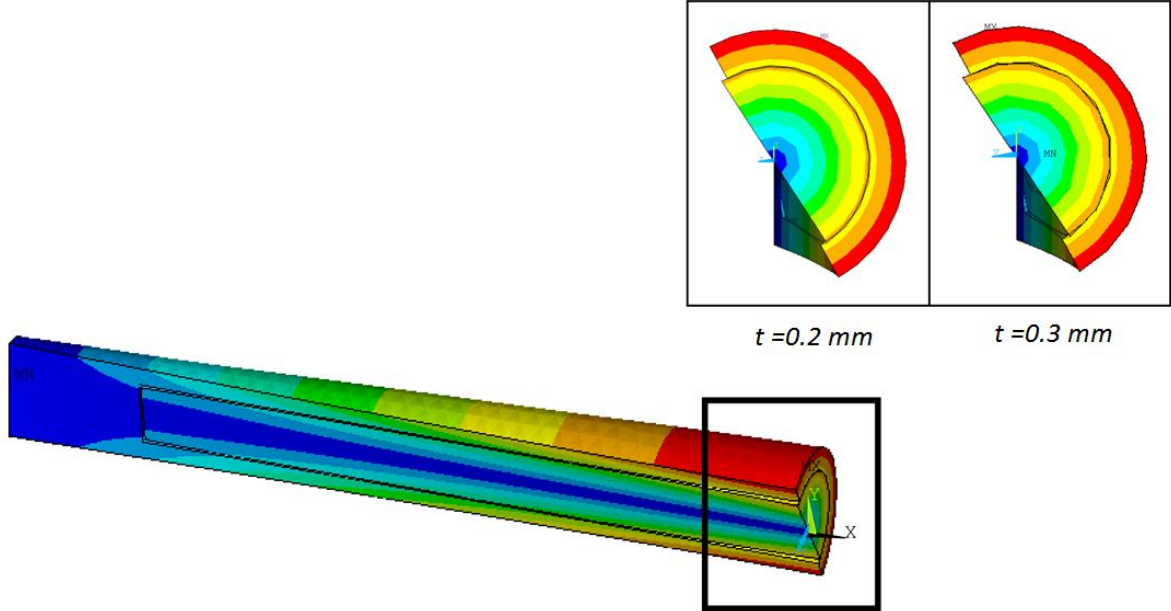
Şekil.6.4. Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan Akfix E300, Devcon A, Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantının kesit dönmeleri

Şekil 6.5’de, koni tepe açısı $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$, $11^{\circ}25'$ olan Erde GTR ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının kesit dönmeleri görülmektedir. Şekil incelendiğinde koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan bağlantının kesit dönmesinin diğer iki koni tepe açılı bağlantılardan daha fazla olduğu görülmektedir.



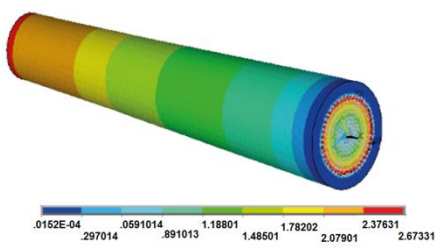
Şekil.6.5. Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$, $11^{\circ}25'$ olan Erde GTR ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının kesit dönmeleri

Şekil 6.6’da, koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan ve yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2\text{ mm}$ ve $t=0.3\text{ mm}$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının kesit dönmeleri görülmektedir. Şekil incelendiğinde yapıştırıcı kalınlığı $t=0.3\text{ mm}$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantısının kesit dönmesinin daha fazla olduğu görülmektedir.

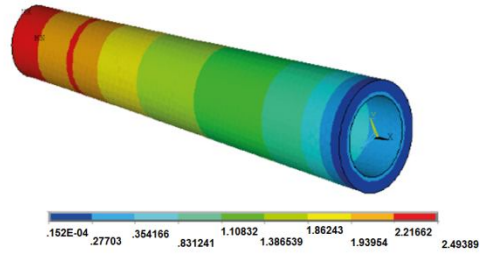


Şekil 6.6. Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan ve yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2\text{ mm}$ ve 0.3 mm olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının kesit dönmeleri

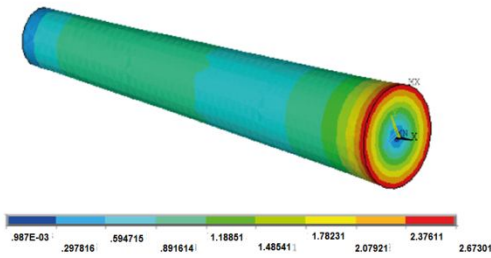
Şekil.6.7, koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş bağlantının eşlenik gerilme dağılımını göstermektedir. Maksimum eşlenik gerilme konik geçme bağlantısında 2.67 MPa olarak tespit edilmiştir (Şekil 6.7.a). Dış konikte meydana gelen maksimum eşlenik gerilme 2.49 MPa'dır (Şekil 6.7.b). İç konikte meydana gelen eşlenik gerilme 2.67 MPa'dır (Şekil 6.7.c).



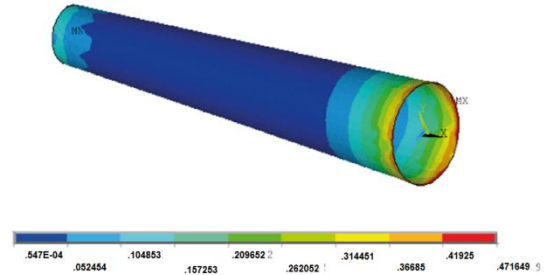
a) Konik geçme bağlantısı



b) Dış konik



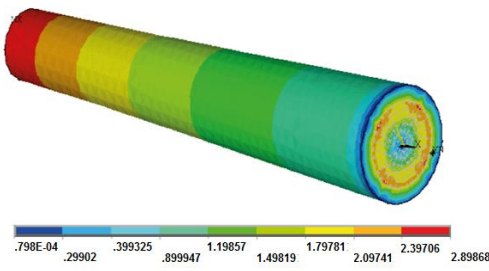
c) İç konik



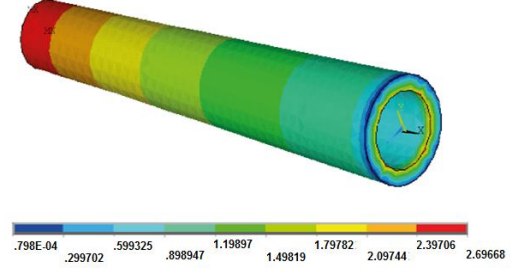
d) Yapıştırıcı tabaka

Şekil 6.7. Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş bağlantının Von Mises eşlenik gerilme dağılımı

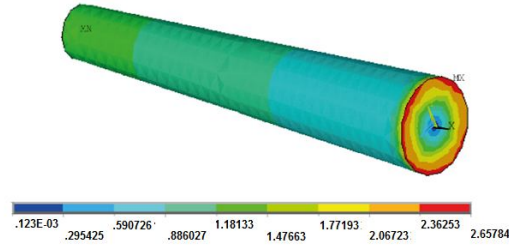
Şekil 6.8, koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan yapıştırıcısız bağlantının eşlenik gerilme dağılımını göstermektedir. Maksimum eşlenik gerilme konik geçme bağlantısında 2.89 MPa olarak görülmektedir (Şekil 6.8.a). Dış konikte meydana gelen maksimum eşlenik gerilme 2.69 MPa'dır (Şekil 6.8.b). İç konikte meydana gelen eşlenik gerilme 2.65 MPa'dır (Şekil 6.8.c)



a) Konik geçme bağlantısı



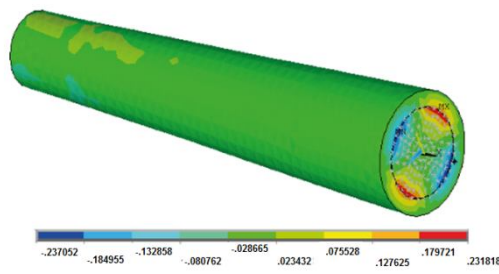
b) Dış konik



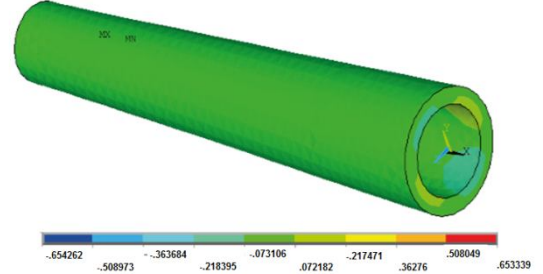
c) İç konik

Şekil 6.8. Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan yapıştırıcısız bağlantının Von Mises eşlenik gerilme dağılımı

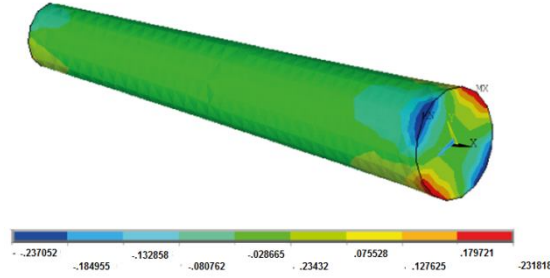
Şekil 6.9, koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş bağlantının τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımını göstermektedir. Maksimum τ_{yz} kayma gerilmesi konik geçme bağlantısında 0.23 MPa'dır (Şekil 6.9.a). Dış konikte meydana gelen maksimum τ_{yz} kayma gerilmesi 0.65 MPa'dır (Şekil 6.9.b). İç konikte meydana gelen τ_{yz} kayma gerilmesi 0.23 MPa'dır (Şekil 6.9.c)



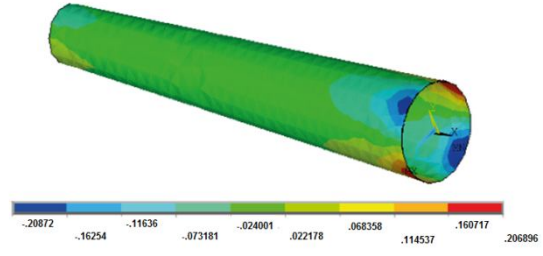
a) Konik geçme bağlantısı



b) Dış konik



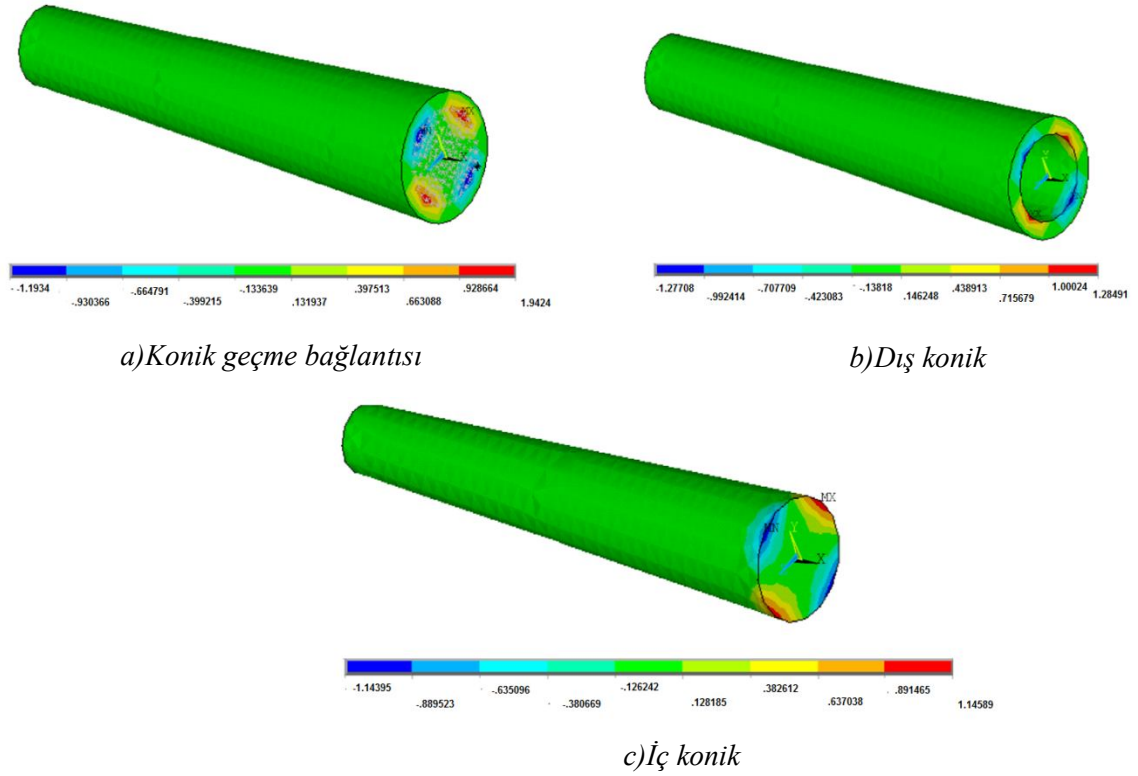
c) İç konik



d) Yapıştırıcı tabaka

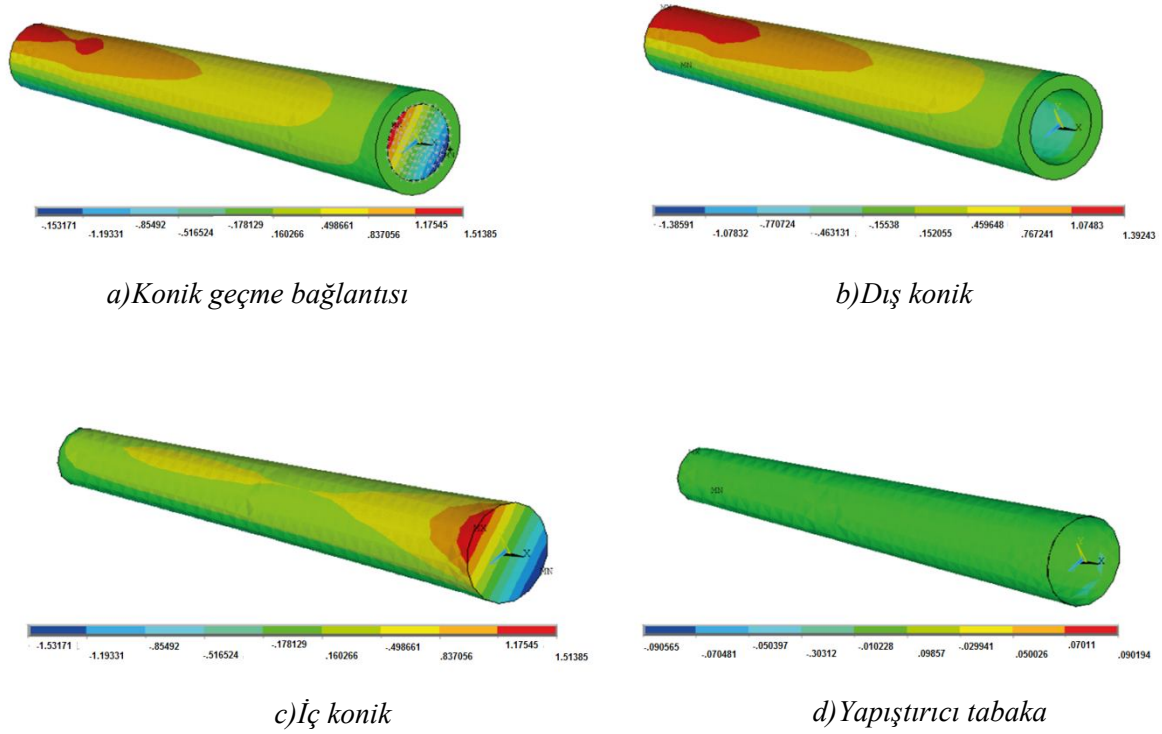
Şekil 6.9. Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş bağlantının τ_{yz} kayma gerilme dağılımı

Şekil 6.10, koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ yapıştırıcısız bağlantının τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımını göstermektedir. Maksimum τ_{yz} kayma gerilmesi konik geçme bağlantısında 1.94 MPa olarak görülmektedir (Şekil 6.10.a). Dış konikte meydana gelen maksimum τ_{yz} kayma gerilmesi 1.28 MPa'dır (Şekil 6.10.b). İç konikte meydana gelen τ_{yz} kayma gerilmesi 1.14 MPa'dır (Şekil 6.10.c).



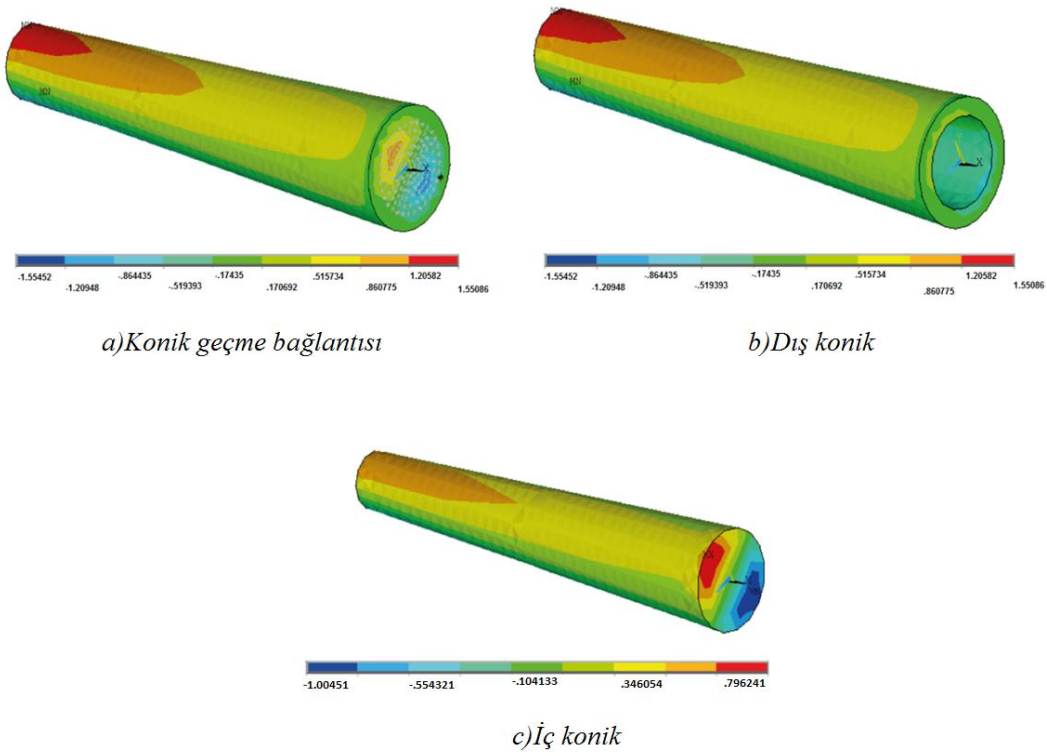
Şekil.6.10. Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan yapıştırıcısız bağlantının τ_{yz} kayma gerilme dağılımı

Şekil 6.11, koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan yapıştırıcısız bağlantının τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımını göstermektedir. Maksimum τ_{xz} kayma gerilme konik geçme bağlantısında 1.51 MPa olarak görülmektedir (Şekil 6.11.a). Dış konikte meydana gelen maksimum τ_{xz} kayma gerilmesi 1.39 MPa'dır (Şekil 6.11.b). İç konikte meydana gelen τ_{xz} kayma gerilmesi 1.51 MPa'dır (Şekil 6.11.c).



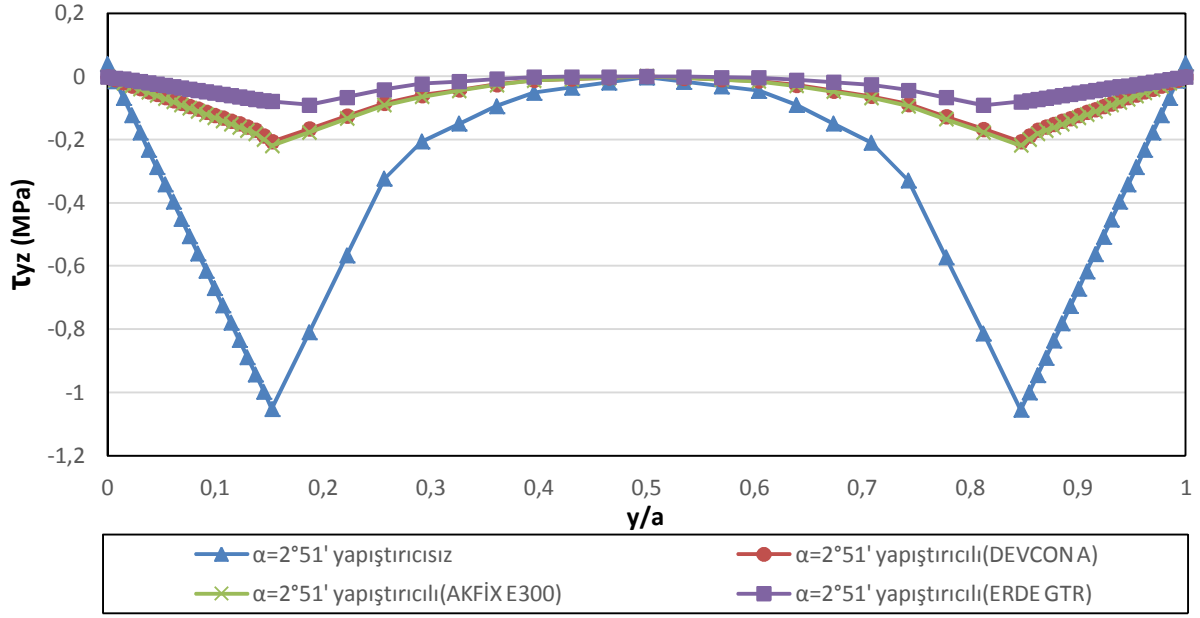
Şekil.6.11. Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş bağlantının τ_{xz} kayma gerilme dağılımı

Şekil 6.12, koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan yapıştırıcısız bağlantının τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımını göstermektedir. Maksimum τ_{xz} kayma gerilme konik geçme bağlantısında 1.55 MPa olarak görülmektedir (Şekil 6.12.a). Dış konikte meydana gelen maksimum eşlenik gerilme 1.55 MPa'dır (Şekil 6.12.b). İç konikte meydana gelen eşlenik gerilme 0.79 MPa'dır (Şekil 6.12.c).



Şekil.6.12. Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan yapıştırıcısız bağlantının τ_{xz} kayma gerilme dağılımı

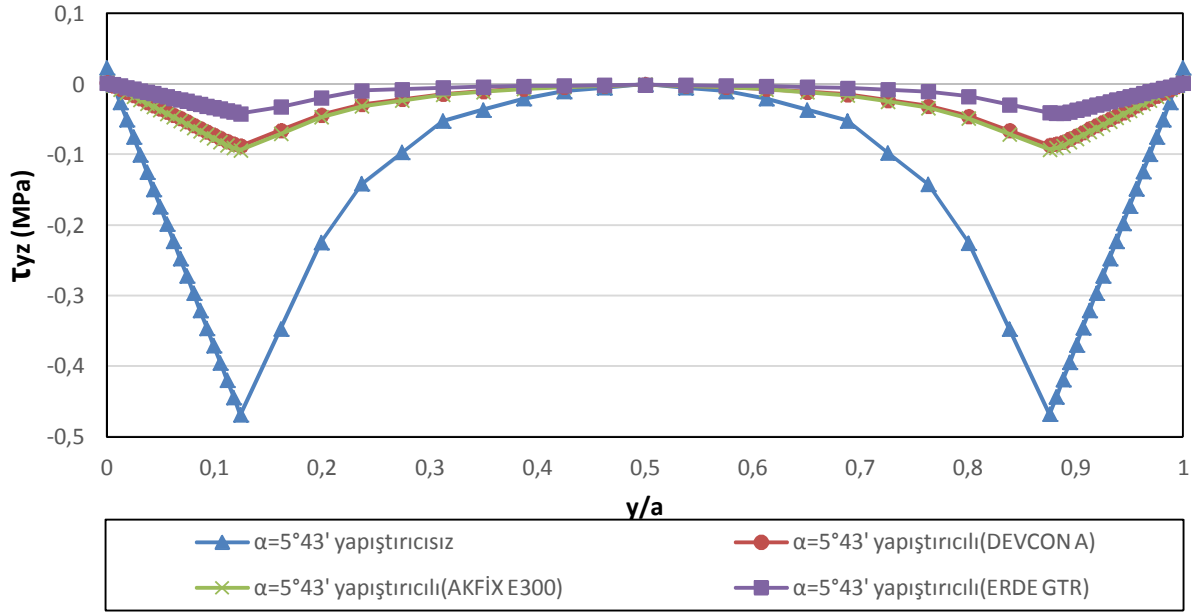
Şekil 6.13. a, b ve c, koni tepe açıları sırasıyla $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$ ve $11^{\circ}25'$ olan yapıştırıcısız ve Akfix E300, Erde GTR, Devcon A ile birleştirilmiş yapıştırıcılı konik geçme bağlantılarında meydana gelen τ_{yz} kayma gerilmelerinin A-B hattı boyunca dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 6.13.a. Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız konik geçme bağlantılarının τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımları

Şekil 6.13.a, koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan yapıştırıcısız ve 3 farklı yapıştırıcı ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının A-B hattı boyunca oluşan τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımlarını göstermektedir. Bu grafiğe göre, maksimum τ_{yz} kayma gerilmesi yapıştırıcısız bağlantıda $y/a = 0.15$ ve $y/a = 0.85$ 'e denk gelen çap kısmında yaklaşık -1.05 MPa olarak saptanmıştır. Bu değer Erde GTR ile birleştirilmiş yapıştırıcılı bağlantıda yaklaşık -0.07 MPa'dır. Bu iki bağlantı karşılaştırıldığında τ_{yz} kayma gerilmelerinin maksimum değerleri arasında 15 katlık bir fark söz konusudur.

Bindirme uçlarında ve $y/a = 0.50$ 'de yani bindirmenin orta bölgelerinde oluşan gerilmeler sıfıra yakındır. Yapıştırıcısız ve 3 farklı yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların gerilme değerleri $0 < y/a < 0.15$ ve $0.85 < y/a < 1$ aralığında doğrusal artış göstermişlerdir. Benzer şekilde, $0.15 < y/a < 0.5$ ve $0.5 < y/a < 0.85$ aralığında bu bağlantıların gerilme değerleri doğrusal düşüş göstermişlerdir.

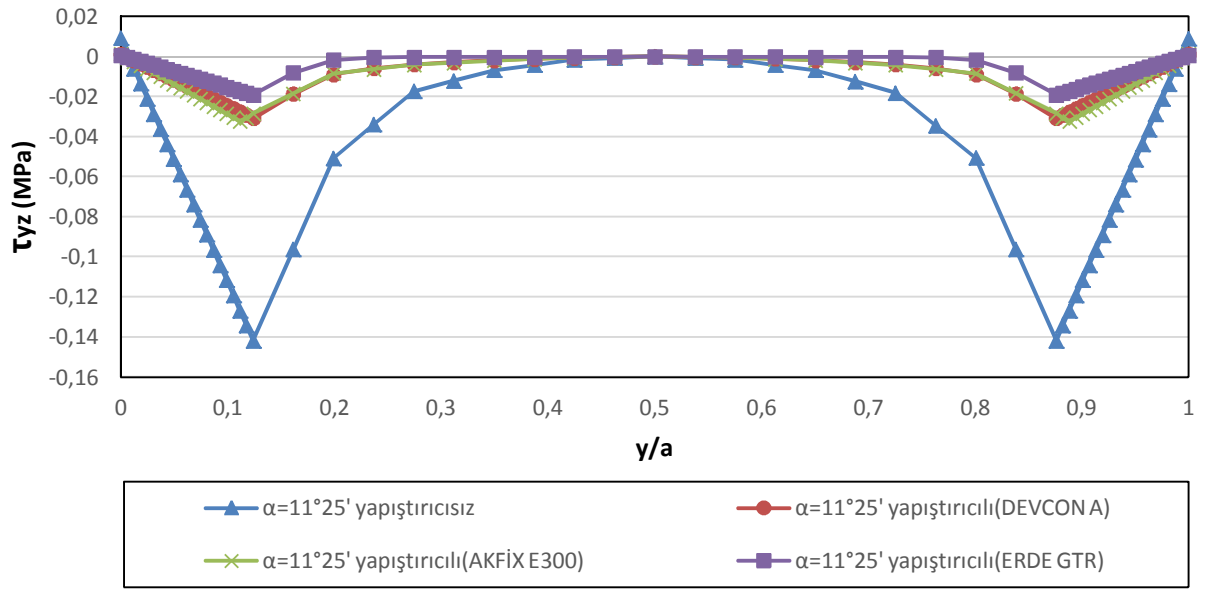


Şekil 6.13.b. Koni tepe açısı 5°43' olan yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız konik geçme bağlantılarının τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımları

Şekil 6.13.b, koni tepe açısı 5°43' olan yapıştırıcısız ve 3 farklı yapıştırıcı ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının A-B hattı boyunca oluşan τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımlarını göstermektedir. Bu grafiğe göre, maksimum τ_{yz} kayma gerilmesi yapıştırıcısız bağlantıda $y/a = 0.13$ ve $y/a = 0.87$ 'e denk gelen çap kısmında yaklaşık -0.46 MPa olarak saptanmıştır. Bu değer Erde GTR ile birleştirilmiş yapıştırıcılı bağlantıda yaklaşık olarak -0.04 MPa'dır. Bu iki bağlantı karşılaştırıldığında τ_{yz} kayma gerilmelerinin maksimum değerleri arasında 12 katlık bir fark söz konusu olmaktadır.

Yapıştırıcısız ve 3 farklı yapıştırıcı ile birleştirilmiş yapıştırıcılı bağlantıların gerilme değerleri $0 < y/a < 0.13$ ve $0.87 < y/a < 1$ aralığında doğrusal artış göstermişlerdir. Benzer şekilde, $0.13 < y/a < 0.5$ ve $0.5 < y/a < 0.87$ aralığında bu bağlantıların gerilme değerleri doğrusal azalış göstermişlerdir.

Şekil 6.13.a ile Şekil 6.13.b karşılaştırıldığında maksimum τ_{yz} kayma gerilmelerinin koni tepe açısı 2°51' olan bağlantılarda gerçekleştiği görülmektedir. Koni tepe açısı 2°51' olan yapıştırıcısız konik geçme bağlantısına göre koni tepe açısı 5°43' olan yapıştırıcısız bağlantının maksimum τ_{yz} kayma gerilme değerlerinde 2.5 katlık bir düşüş gözlemlenmiştir.



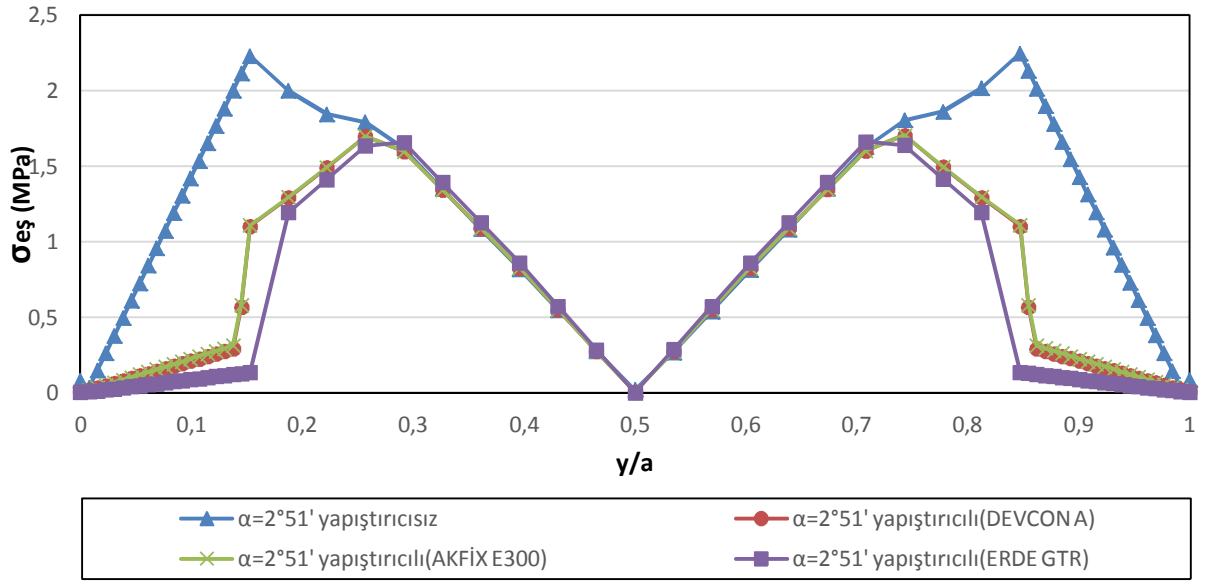
Şekil 6.13.c. Koni tepe açısı 11°25' olan yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız konik geçme bağlantılarının τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımları

Şekil 6.13.c, koni tepe açısı 11°25' olan yapıştırıcısız ve 3 farklı yapıştırıcı ile birleştirilmiş yapıştırıcılı konik geçme bağlantılarının A-B hattı boyunca oluşan τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımlarını göstermektedir. Bu grafiğe göre, maksimum τ_{yz} kayma gerilmesi yapıştırıcısız bağlantıda $y/a = 0.11$ ve $y/a = 0.89$ 'a denk gelen çap kısmında yaklaşık -0.14 MPa olarak saptanmıştır. Bu değer Erde GTR ile birleştirilmiş yapıştırıcılı bağlantıda yaklaşık olarak -0.019 MPa'dır. Bu iki bağlantı karşılaştırıldığında τ_{yz} kayma gerilmelerinin maksimum değerleri arasında 7 katlık bir fark söz konusu olmaktadır.

$0 < y/a < 0.4$ ve $0.7 < y/a < 1$ aralığında koni tepe açısı değişiminin gerilme dağılımına etkisi daha fazla olmaktadır. Bindirmenin orta bölgelerinde yapıştırıcısız ve 3 farklı yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların kayma gerilme değerleri birbirine yakındır.

Şekil 6.13.a, Şekil 6.13.b ile Şekil 6.13.c karşılaştırıldığında minimum τ_{yz} kayma gerilmelerinin koni tepe açısı 11°25' olan bağlantılarda gerçekleştiği görülmektedir. Koni tepe açısı 2°51' olan yapıştırıcısız konik geçme bağlantısına göre koni tepe açısı 11°25' olan yapıştırıcısız bağlantının maksimum τ_{yz} kayma gerilme değerlerinde 7.5 katlık bir düşüş gözlemlenmiştir.

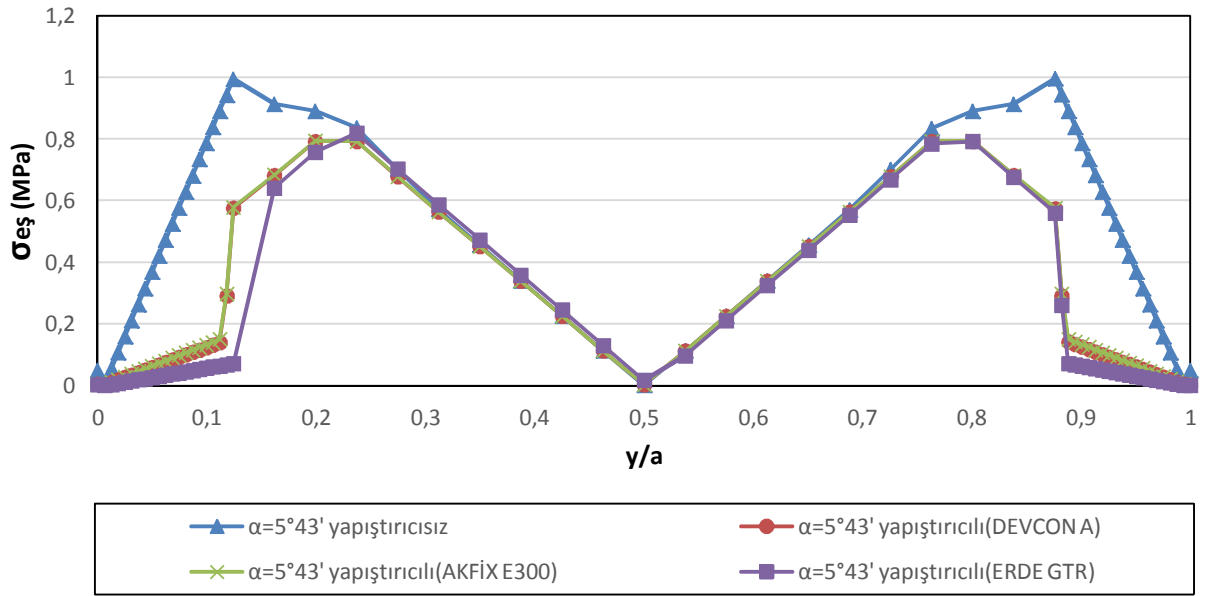
Şekil 6.14. a, b ve c, koni tepe açıları sırasıyla 2°51', 5°43' ve 11°25' olan yapıştırıcısız ve Akfix E300, Erde GTR, Devcon A ile birleştirilmiş yapıştırıcılı konik geçme bağlantılarında meydana gelen eşlenik gerilmelerinin A-B hattı boyunca dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 6.14.a. Koni tepe açısı 2°51' olan yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız konik geçme bağlantılarının Von Mises eşlenik gerilme dağılımları

Şekil 6.14.a, koni tepe açısı 2°51' olan yapıştırıcısız ve 3 farklı yapıştırıcı ile birleştirilmiş yapıştırıcılı konik geçme bağlantılarının A-B hattı boyunca oluşan eşlenik gerilme dağılımlarını göstermektedir. Maksimum eşlenik gerilme, yapıştırıcısız konik geçme bağlantısında 2.2 MPa iken 0.57 MPa azalarak Erde GTR ile birleştirilmiş konik geçme bağlantısında 1.63 MPa'a düşmektedir.

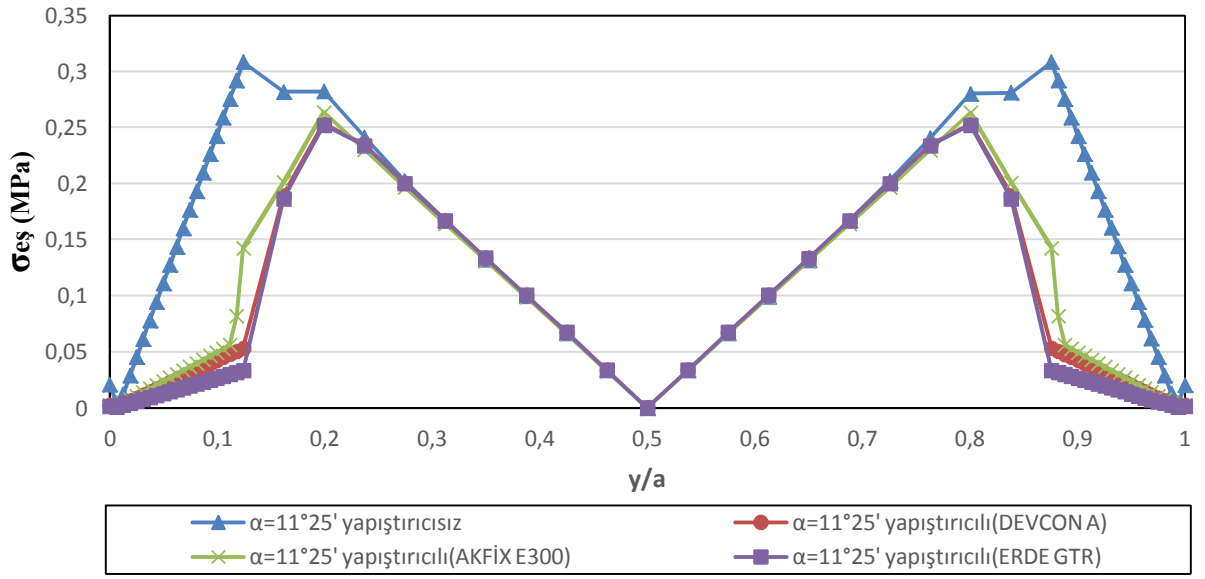
Gerilme dağılımı $0 < y/a < 0.15$ aralığında yapıştırıcısız bağlantı için doğrusal artış göstermiştir. Yapıştırıcısız bağlantıda eşlenik gerilme $y/a = 0.15$ 'de maksimum değerine ulaşmıştır. 3 farklı yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantılar $0.28 < y/a < 0.5$ aralığında doğrusal düşüş ve $0.5 < y/a < 0.74$ aralığında doğrusal artış gözlemlenmiştir. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların maksimum eşlenik gerilme değerleri birbirine çok yakındır. Diğer yandan her 3 farklı yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıda oluşan gerilmelerde, $y/a = 0.15$ değerinden sonra $y/a = 0.28$ değerine kadar bir artış olmaktadır.



Şekil 6.14.b. Koni tepe açısı 5°43' olan yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız konik geçme bağlantılarının Von Mises eşlenik gerilme dağılımları

Şekil 6.14.b, koni tepe açısı 5°43' olan yapıştırıcısız ve 3 farklı yapıştırıcı ile birleştirilmiş yapıştırıcılı konik geçme bağlantılarının A-B hattı boyunca oluşan eşlenik gerilme dağılımlarını göstermektedir. Bu grafikte yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız bağlantılar incelendiğinde, maksimum eşlenik gerilme, yapıştırıcısız konik geçme bağlantısında 0.99 MPa iken 0.24 MPa azalarak Erde GTR ile birleştirilmiş konik geçme bağlantısında 0.75 MPa'a düşmektedir.

Şekil 6.14.a ile Şekil 6.14.b karşılaştırıldığında maksimum eşlenik gerilmelerinin koni tepe açısı 2°51' olan bağlantılarda gerçekleştiği görülmektedir. Koni tepe açısı 2°51' olan yapıştırıcısız konik geçme bağlantısına göre koni tepe açısı 5°43' olan yapıştırıcısız bağlantının maksimum eşlenik gerilme değerlerinde 2 katlık bir düşüş gözlemlenmiştir. Koni tepe açısına bağlı olarak gerilme değerlerinde azalma meydana gelmektedir.



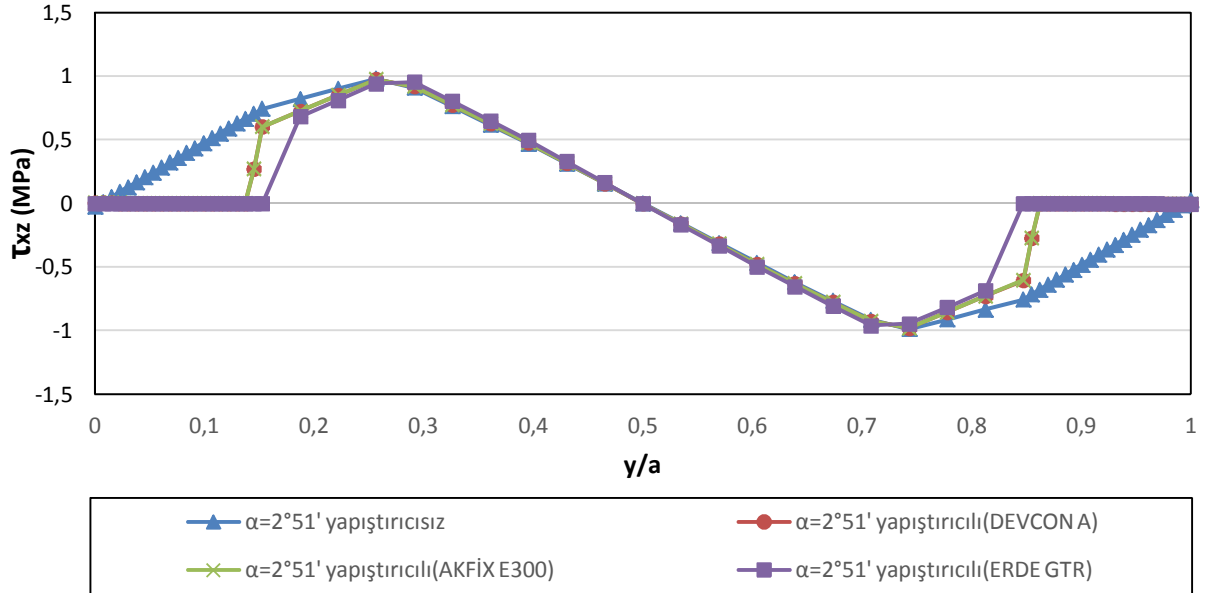
Şekil 6.14.c. Koni tepe açısı 11°25' olan yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız konik geçme bağlantılarının Von Mises eşlenik gerilme dağılımları

Şekil 6.14.c, koni tepe açısı 11°25' olan yapıştırıcısız ve 3 farklı yapıştırıcı ile birleştirilmiş yapıştırıcılı konik geçme bağlantılarının A-B hattı boyunca oluşan eşlenik gerilme dağılımlarını göstermektedir. Maksimum eşlenik gerilme, yapıştırıcısız konik geçme bağlantısında 0.30 MPa iken 0.05 MPa azalarak Erde GTR ile birleştirilmiş konik geçme bağlantısında 0.25 MPa'a düşmektedir.

Şekil 6.14.a, Şekil 6.14.b ile Şekil 6.14.c karşılaştırıldığında minimum eşlenik gerilmelerinin koni tepe açısı 11°25' olan bağlantılarda gerçekleştiği görülmektedir. Koni tepe açısı 2°51' olan yapıştırıcısız konik geçme bağlantısına göre koni tepe açısı 11°25' olan yapıştırıcısız bağlantının maksimum eşlenik gerilme değerlerinde 7 katlık bir düşüş gözlemlenmiştir.

Koni tepe açısı 11°25' olan konik geçme bağlantısında maksimum ve minimum eşlenik gerilme değerlerinin, koni tepe açısı 2°51' ve 5°43' olan konik geçme bağlantısına göre birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir.

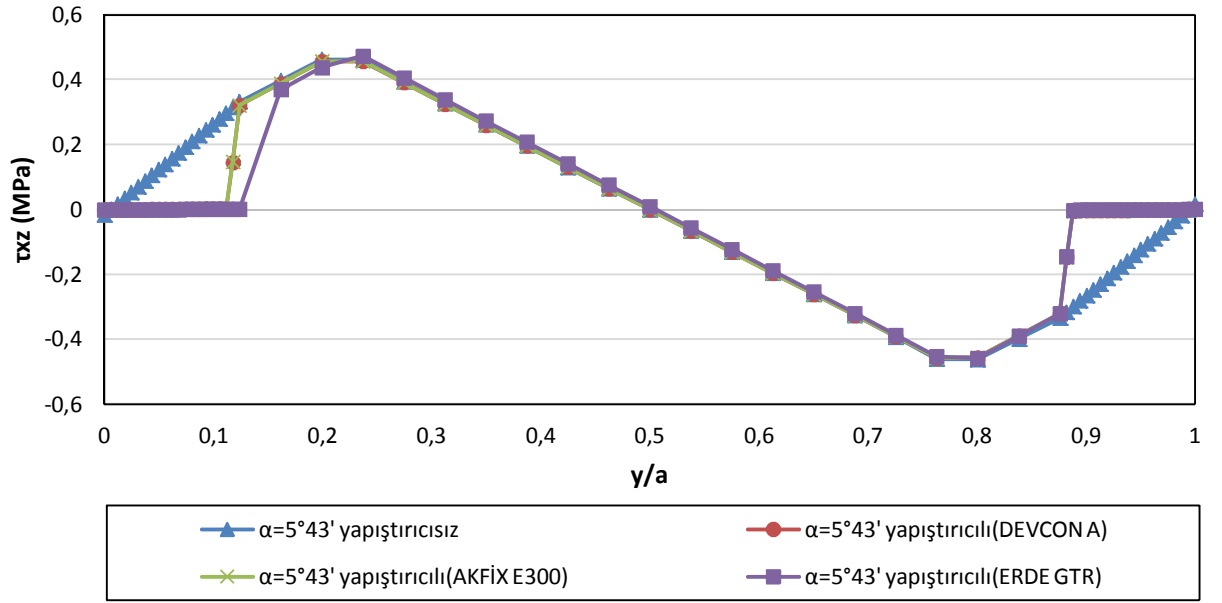
Şekil 6.15. a, b ve c, koni tepe açıları sırasıyla $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$ ve $11^{\circ}25'$ olan yapıştırıcısız ve Akfix E300, Erde GTR, Devcon A ile birleştirilmiş yapıştırıcılı konik geçme bağlantılarında meydana gelen τ_{xz} kayma gerilmelerinin A-B hattı boyunca dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 6.15.a. Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız konik geçme bağlantılarının τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımları

Şekil 6.15.a, koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan yapıştırıcısız ve 3 farklı yapıştırıcı ile birleştirilmiş yapıştırıcılı konik geçme bağlantılarının A-B hattı boyunca oluşan τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımlarını göstermektedir. Bu grafiğe göre, maksimum τ_{xz} kayma gerilmesi yapıştırıcısız bağlantıda 0.98 MPa iken bu değer Erde GTR ile birleştirilmiş yapıştırıcılı bağlantıda 0.97 MPa'dır.

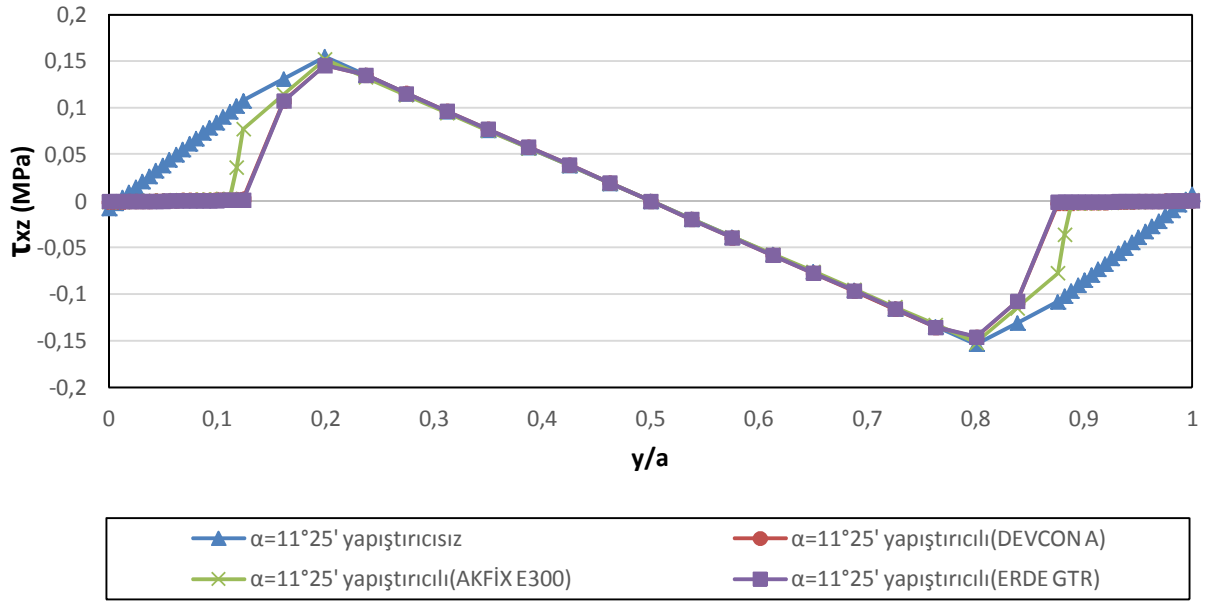
3 farklı yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların gerilme dağılımları $0 < y/a < 0.15$ aralığında benzer bir değişim sergilemişlerdir. Bu aralıkta τ_{xz} kayma gerilmesi değerleri sıfıra çok yakındır. Diğer bir ifade ile bindirmenin uç kısımlarında yapıştırıcılı konik geçme bağlantılarının τ_{xz} kayma gerilmeleri çok düşüktür. Yapıştırıcısız ve 3 farklı yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantılar $y/a = 0.3$ 'te pozitif yönde maksimum τ_{xz} kayma gerilme değerlerine ulaşmışlardır. Benzer şekilde $y/a = 0.75$ 'de negatif yönde maksimum τ_{xz} kayma gerilme değerlerine ulaşmışlardır. Bu bağlantılar, $0.3 < y/a < 0.75$ aralığında doğrusal düşüş ve paralel bir değişim gözlenmiştir.



Şekil 6.15.b. Koni tepe açısı 5°43' olan yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız konik geçme bağlantılarının τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımları

Şekil 6.15.b, koni tepe açısı 5°43' olan yapıştırıcısız ve 3 farklı yapıştırıcı ile birleştirilmiş yapıştırıcılı konik geçme bağlantılarının A-B hattı boyunca oluşan τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımlarını göstermektedir. Bu grafiğe göre, maksimum τ_{xz} kayma gerilmesi yapıştırıcısız bağlantıda 0,46 MPa iken bu değer Erde GTR ile birleştirilmiş yapıştırıcılı bağlantıda 0,43MPa'dır.

Şekil 6.15.a ile Şekil 6.15.b karşılaştırıldığında maksimum τ_{xz} kayma gerilmelerinin koni tepe açısı 2°51' olan bağlantılarda gerçekleştiği görülmektedir. Koni tepe açısı 2°51' olan yapıştırıcısız konik geçme bağlantısına göre koni tepe açısı 5°43' olan yapıştırıcısız bağlantının maksimum τ_{xz} kayma gerilme değerlerinde 2 katlık bir düşüş gözlemlenmiştir.

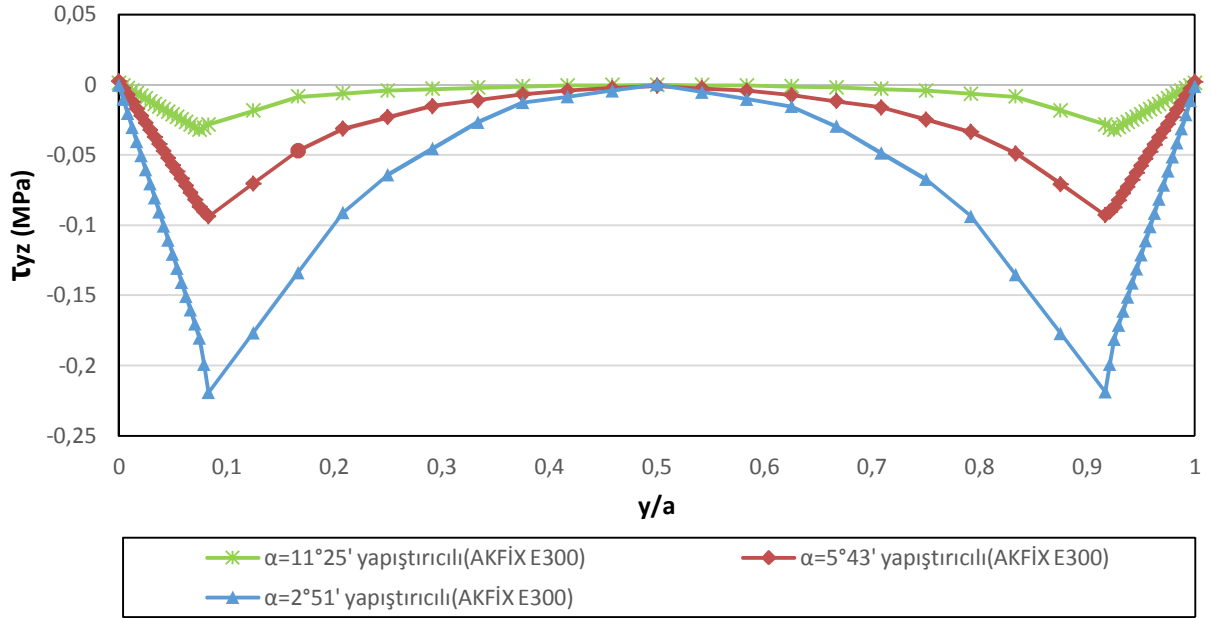


Şekil 6.15.c. Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız konik geçme bağlantılarının τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımları

Şekil 6.15.c, koni tepe açısı $11^{\circ}25'$ olan yapıştırıcısız ve 3 farklı yapıştırıcı ile birleştirilmiş yapıştırıcılı konik geçme bağlantılarının A-B hattı boyunca oluşan τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımlarını göstermektedir. Bu grafiğe göre, maksimum τ_{xz} kayma gerilmesi yapıştırıcısız bağlantıda 0,15 MPa iken bu değer Erde GTR ile birleştirilmiş yapıştırıcılı bağlantıda 0,14 MPa'dır.

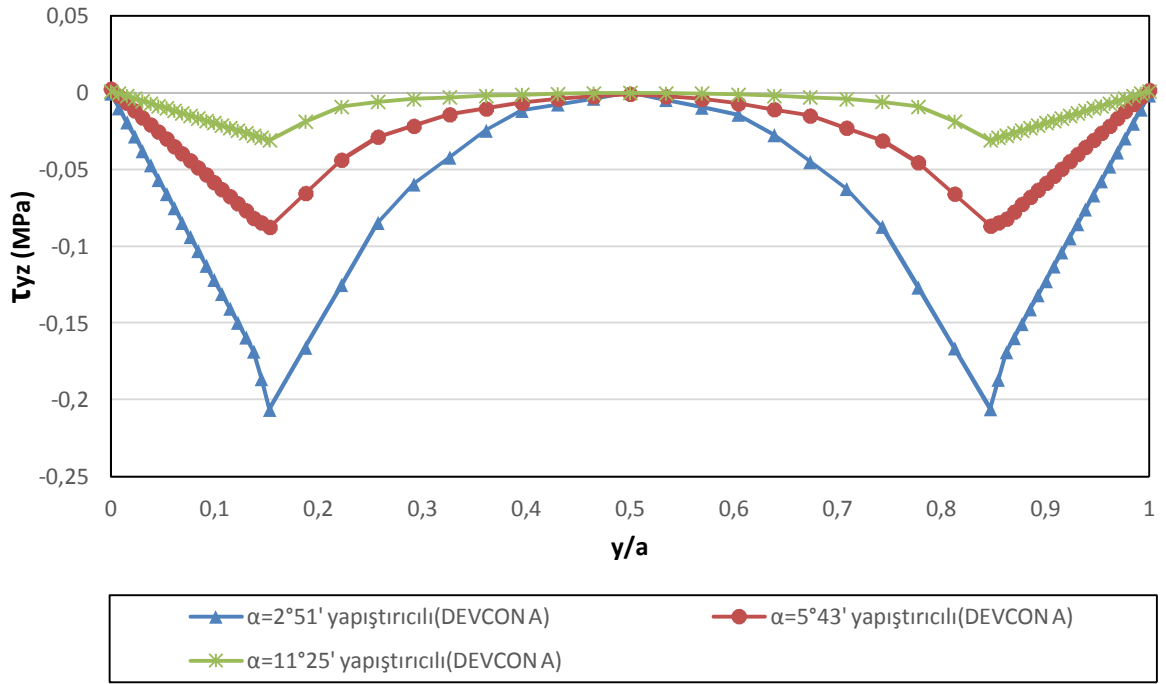
Şekil 6.15.a, Şekil 6.15.b ile Şekil 6.15.c'deki sonuçlardan yola çıkarak yapıştırıcısız bağlantıların, bindirme bölgesinde meydana gelen τ_{xz} kayma gerilmelerini bindirmenin uç kısımlarından orta kısımlarına transfer ettiği söylenebilir. Dolayısı ile bindirmenin orta bölgelerinde oluşan kayma gerilmeleri yapıştırıcısız bağlantılarda sıfıra yakın iken bindirmenin uç kısımlarına yakın değerler sıfırdan uzaklaşmaktadır.

Şekil 6.16. a, b ve c, koni tepe açıları sırasıyla $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$ ve $11^{\circ}25'$ olan Akfix E300, Erde GTR, Devcon A ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarında meydana gelen τ_{yz} kayma gerilmelerinin A-B hattı boyunca dağılımlarını göstermektedir. Sadece koni tepe açıları etkisini gözlemleyebilmek için, açı dışında kalan tüm değişkenler sabit tutulmuştur.



Şekil 6.16.a. Akfix E300 ile birleştirilmiş koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$ ve $11^{\circ}25'$ olan yapıştırıcıli bağlantıların τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımları

Şekil 6.16.a, Akfix E300 ile birleştirilmiş koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$, $11^{\circ}25'$ olan yapıştırıcıli konik geçme bağlantılarının A-B hattı boyunca oluşan τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımlarını göstermektedir. Bu grafiğe göre, maksimum τ_{yz} kayma gerilmesi koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan yapıştırıcıli bağlantıda $y/a = 0,08$ ve $y/a = 0,92$ 'e denk gelen çap kısmında yaklaşık -0,21 MPa olarak saptanmıştır. Bu değer koni tepe açısı $11^{\circ}25'$ olan yapıştırıcıli bağlantıda yaklaşık -0,03086 MPa'dır. Bu iki koni tepe açılı bağlantıların maksimum τ_{yz} kayma gerilmeleri arasında 7 katlık bir fark söz konusudur



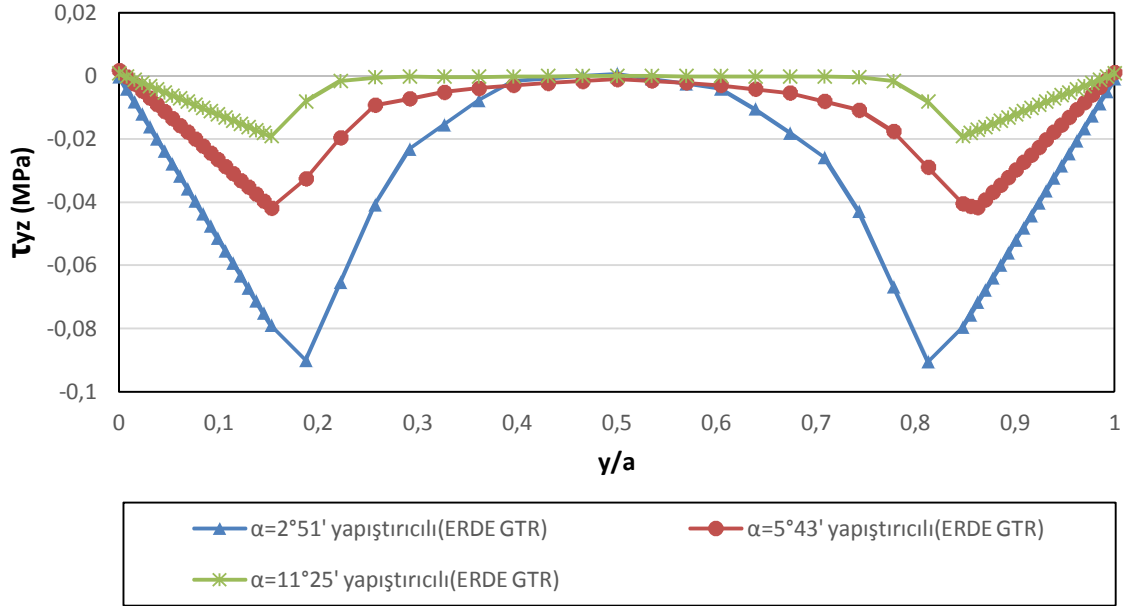
Şekil 6.16.b. Devcon A ile birleştirilmiş koni tepe açıları 2°51', 5°43' ve 11°25' olan yapıştırıcıli bağlantıların τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımları

Şekil 6.16.b, Devcon A ile birleştirilmiş koni tepe açıları 2°51', 5°43', 11°25' olan yapıştırıcıli konik geçme bağlantılarının A-B hattı boyunca oluşan τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımlarını göstermektedir. Bu grafiğe göre, maksimum τ_{yz} kayma gerilmesi koni tepe açısı 2°51' olan yapıştırıcıli bağlantıda $y/a = 0,15$ ve $y/a = 0,85$ 'e denk gelen çap kısmında yaklaşık -0,20 MPa olarak saptanmıştır. Bu değer koni tepe açısı 11°25' olan yapıştırıcıli bağlantıda yaklaşık -0,03085 MPa'dır. Bu iki farklı koni tepe açılı bağlantılar karşılaştırıldığında τ_{yz} kayma gerilmelerinin maksimum değerleri arasında 7 katlık bir fark söz konusudur.

$0 < y/a < 0,4$ ve $0,6 < y/a < 1$ aralığında koni tepe açısı değişimin gerilme dağılımına etkisi daha fazla olmaktadır. Çünkü aynı yapıştırıcı için birleştirilmiş bağlantılarda oluşan gerilmeler arasındaki fark artmaktadır. Bindirmenin orta bölgelerinde ise gerilme değerleri birbirine yakındır.

Şekil 6.16.a ile Şekil 6.16.b karşılaştırıldığında maksimum τ_{yz} kayma gerilmesinin Akfix E300 ile birleştirilmiş bağlantılarda gerçekleştiği görülmektedir. Devcon A ile birleştirilmiş bağlantıların Akfix E300 ile birleştirilmiş bağlantılara göre τ_{yz} kayma gerilme

değerlerinin düşük olmasının nedeni, Devcon A'nın kayma modülünün Akfix E300'den küçük olmasıdır. Kayma modülünün düşük olmasından dolayı deforme olma kabiliyeti daha yüksektir. Buda momentin sönümlemesine neden olarak gerilme değerlerini düşürmektedir.

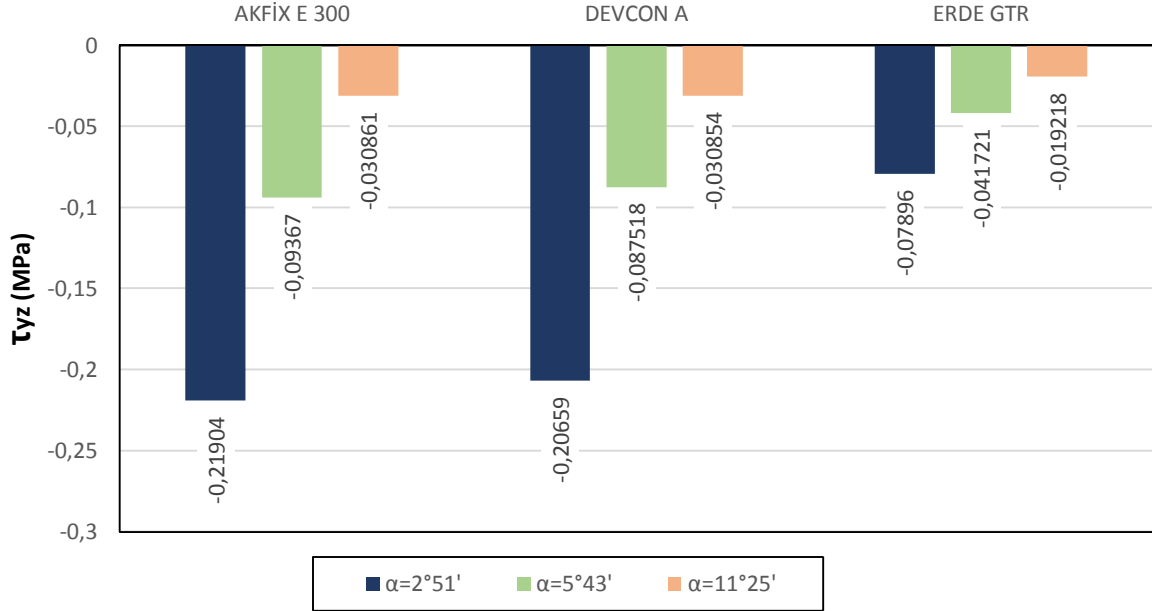


Şekil 6.16.c. Erde GTR ile birleştirilmiş koni tepe açıları 2°51', 5°43' ve 11°25' olan yapıştırıcılı bağlantıların τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımları

Şekil 6.16.c'de Erde GTR ile birleştirilmiş koni tepe açıları 2°51', 5°43', 11°25' olan yapıştırıcılı konik geçme bağlantılarının A-B hattı boyunca oluşan τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımlarını göstermektedir. Bu grafiğe göre, maksimum τ_{yz} kayma gerilmesi koni tepe açısı 2°51' olan yapıştırıcılı bağlantıda $y/a = 0.18$ ve $y/a = 0.81$ 'e denk gelen çap kısmında yaklaşık -0.089 MPa olarak saptanmıştır. Bu değer koni tepe açısı 11°25' olan yapıştırıcılı bağlantıda yaklaşık -0.019 MPa'dır. İki farklı koni tepe açılı bağlantı karşılaştırıldığında τ_{yz} kayma gerilmelerinin maksimum değerleri arasında 4 katlık bir fark söz konusudur.

Şekil 6.16.a, Şekil 6.16.b ile Şekil 6.16.c karşılaştırıldığında minimum τ_{yz} kayma gerilmesinin Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantılarda gerçekleştiği görülmektedir. Bunun nedeni Erde GTR'nin, Akfix E300 ve Devcon A'dan daha düşük kayma modülüne sahip

olmasından dolayı şekil değiştirme kabiliyeti daha yüksektir. Buda uygulanan momentin sönümlemesine neden olarak gerilme değerlerini düşürmektedir.

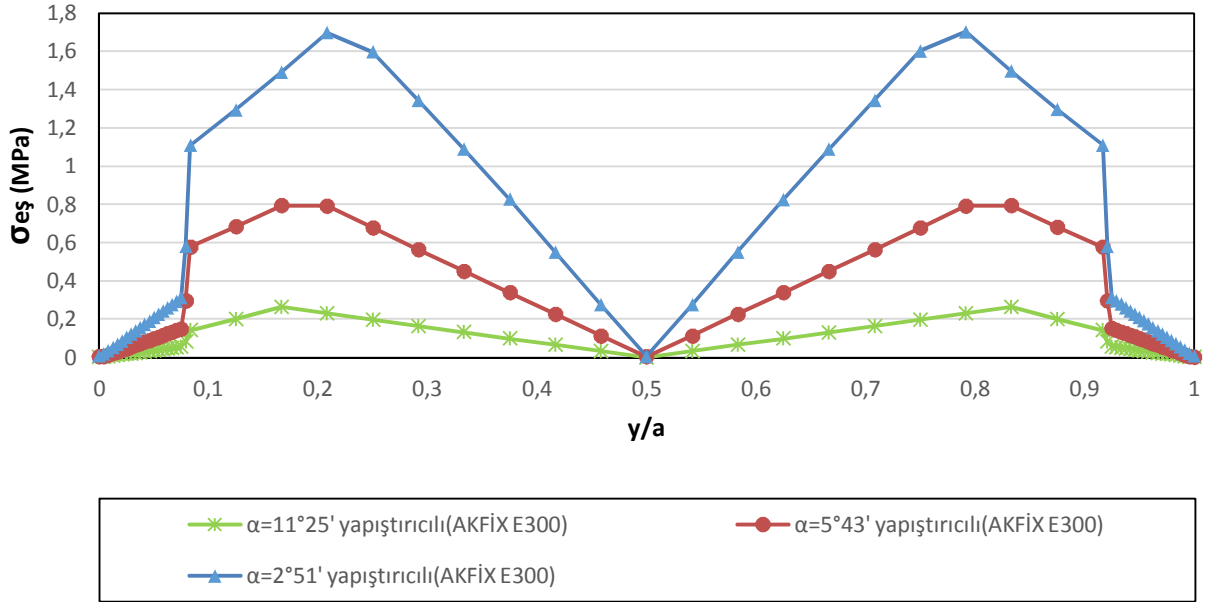


Şekil 6.16.d. Akfix E300, Devcon A ve Erde Gtr birleştirilmiş koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$, $11^{\circ}25'$ olan yapıştırıcılı bağlantılarda meydana gelen τ_{yz} kayma gerilmeleri

Şekil 6.16.d'de, Akfix E300, Devcon A ve Erde Gtr ile birleştirilmiş koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$, $11^{\circ}25'$ olan yapıştırıcılı konik geçme bağlantılarının A-B hattı boyunca oluşan maksimum τ_{yz} kayma gerilme değerleri verilmiştir. Bu grafiğe göre, üç açı değeri için de maksimum τ_{yz} kayma gerilmelerinin Akfix E300 ile birleştirilmiş bağlantıda meydana geldiği görülmektedir.

Bu grafikler değerlendirildiğinde, koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş bağlantının maksimum τ_{yz} kayma gerilmesinin koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantıdan %178 daha fazla olduğu görülmektedir. Benzer şekilde koni tepe açısı $5^{\circ}43'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş bağlantının maksimum τ_{yz} kayma gerilmesi koni tepe açısı $5^{\circ}43'$ olan Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantıdan %125 ve koni tepe açısı $11^{\circ}25'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş bağlantı koni tepe açısı $11^{\circ}25'$ olan Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantıdan %200 daha fazladır.

Şekil 6.17. a, b ve c, koni tepe açıları sırasıyla $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$ ve $11^{\circ}25'$ olan Akfix E300, Erde GTR, Devcon A ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarında meydana gelen eşlenik gerilmelerinin A-B hattı boyunca dağılımlarını göstermektedir. Sadece koni tepe açıları etkisini gözlemleyebilmek için, açı dışında kalan tüm değişkenler sabit tutulmuştur.

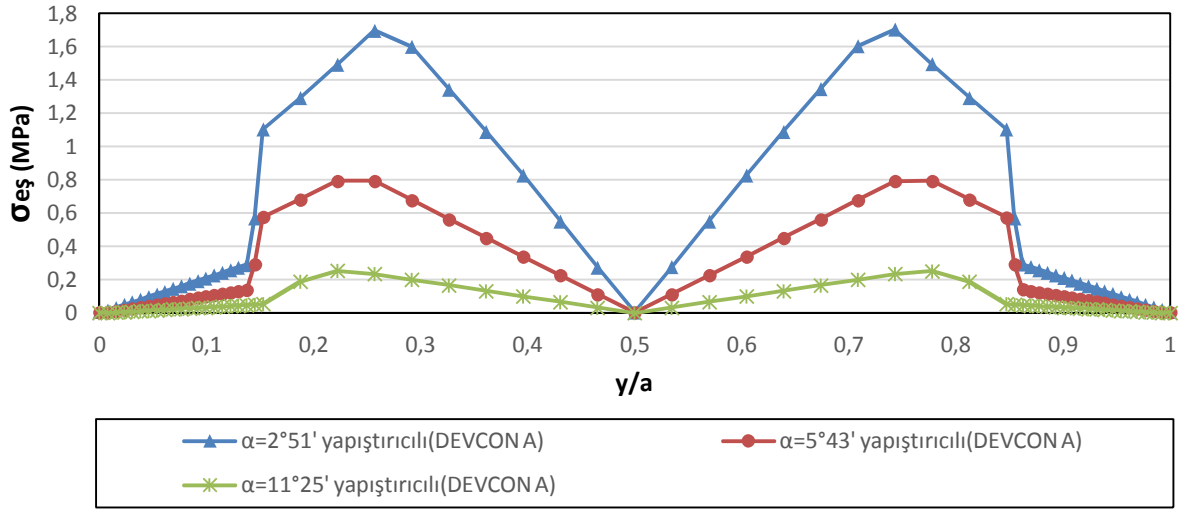


Şekil 6.17.a. Akfix E300 birleştirilmiş koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$ ve $11^{\circ}25'$ olan yapıştırıcılı bağlantıların Von Mises eşlenik gerilmeleri

Şekil 6.17.a, Akfix E300 ile birleştirilmiş koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$ ve $11^{\circ}25'$ olan yapıştırıcılı konik geçme bağlantılarının A-B hattı boyunca oluşan eşlenik gerilme dağılımlarını göstermektedir. Bu grafikte, farklı koni tepe açılarına sahip bağlantılar incelendiğinde, maksimum eşlenik gerilme koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan bağlantıda 1.6992 MPa iken bu değer 1.43 MPa azalarak koni tepe açısı $11^{\circ}25'$ olan bağlantıda 0.263 MPa'a düşmektedir.

Bindirme uçlarında ve $y/a = 0.50$ 'da yani bindirmenin orta bölgelerinde oluşan gerilmeler sıfıra yakındır. Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan bağlantı $y/a = 0.21$ 'de ve $y/a = 0.79$ 'da maksimum eşlenik gerilme değerlerine ulaşmaktadır.

Koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan bağlantının maksimum eşlenik gerilmesi ile koni tepe açısı $5^{\circ}43'$ olan bağlantı arasında 2 katlık ve koni tepe açısı $11^{\circ}25'$ olan bağlantı arasında 6.5 katlık bir fark söz konusudur.

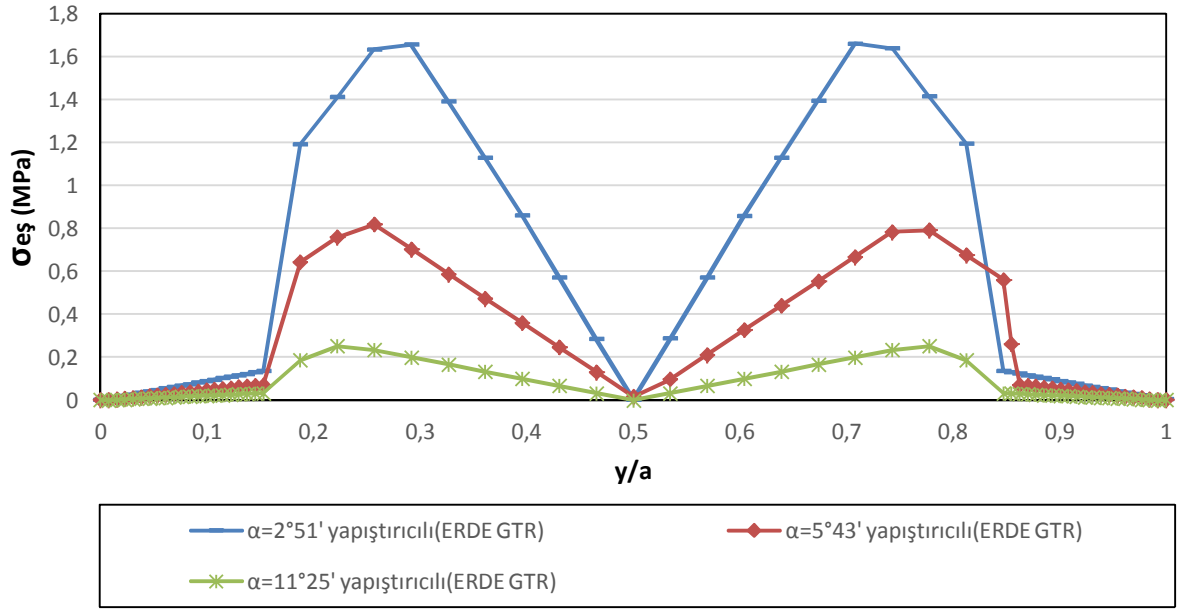


Şekil 6.17.b. Devcon A birleştirilmiş koni tepe açıları 2°51', 5°43' ve 11°25' olan yapıştırıcılı bağlantıların Von Mises eşlenik gerilmeleri

Şekil 6.17.b, Devcon A ile birleştirilmiş koni tepe açıları 2°51', 5°43' ve 11°25' olan yapıştırıcılı konik geçme bağlantılarının A-B hattı boyunca oluşan eşlenik gerilme dağılımlarını göstermektedir. Bu grafikte, farklı koni tepe açılarına sahip bağlantılar incelendiğinde, maksimum eşlenik gerilme koni tepe açısı 2°51' olan bağlantısında 1.6983 MPa iken bu değer 1.44 MPa azalarak koni tepe açıları 11°25' olan bağlantısında 0.253 MPa'a düşmektedir.

Bindirme uçlarında ve $y/a = 0.50$ 'da yani bindirmenin orta bölgelerinde oluşan gerilmeler sıfıra yakındır. Koni tepe açısı 2°51' olan bağlantı $y/a = 0.25$ 'da ve $y/a = 0.75$ maksimum eşlenik gerilme değerlerine ulaşmaktadır.

Şekil 6.17.a ile Şekil 6.17.b karşılaştırıldığında maksimum eşlenik gerilmelerinin Akfix E300 ile birleştirilmiş bağlantılarda gerçekleştiği görülmektedir. Her iki yapıştırıcı türü içinde koni tepe açısı arttıkça gerilme değerlerinde azalma meydana gelmektedir.

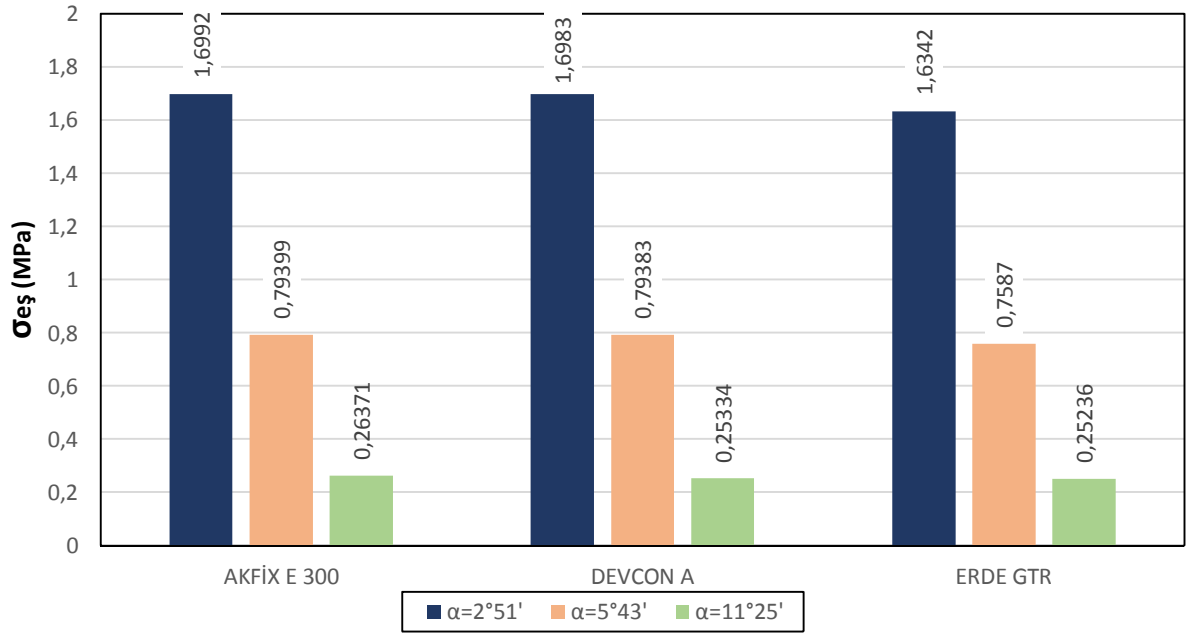


Şekil 6.17.c. Erde Gtr birleştirilmiş koni tepe açıları 2°51', 5°43' ve 11°25' olan yapıştırıcılı bağlantıların Von Mises eşlenik gerilmeleri

Şekil 6.17.c, Erde GTR ile birleştirilmiş koni tepe açıları 2°51', 5°43' ve 11°25' olan yapıştırıcılı konik geçme bağlantılarının A-B hattı boyunca oluşan eşlenik gerilme dağılımlarını göstermektedir. Bu grafikte, farklı koni tepe açılarına sahip bağlantılar incelendiğinde, maksimum eşlenik gerilme koni tepe açısı 2°51' olan bağlantısında 1.63 MPa iken bu değer 1.37 MPa azalarak koni tepe açıları 11°25' olan bağlantısında 0.252 MPa'a düşmektedir.

Koni tepe açısı büyüdükçe oluşan maksimum eşlenik gerilmeler arasındaki fark artmaktadır. Özellikle koni tepe açısı 2°51' dan 5°43' ye yükseldiğinde maksimum gerilmeler arasında fark daha fazladır.

Şekil 6.17.a, Şekil 6.17.b ile Şekil 6.17.c karşılaştırıldığında minimum eşlenik gerilmelerin Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantılarda gerçekleştiği görülmektedir. Bunun nedeni Erde GTR'nin, Akfix E300 ve Devcon A'dan daha düşük kayma modülüne sahip olmasından dolayı şekil değiştirme kabiliyetinin daha yüksek olmasıdır.

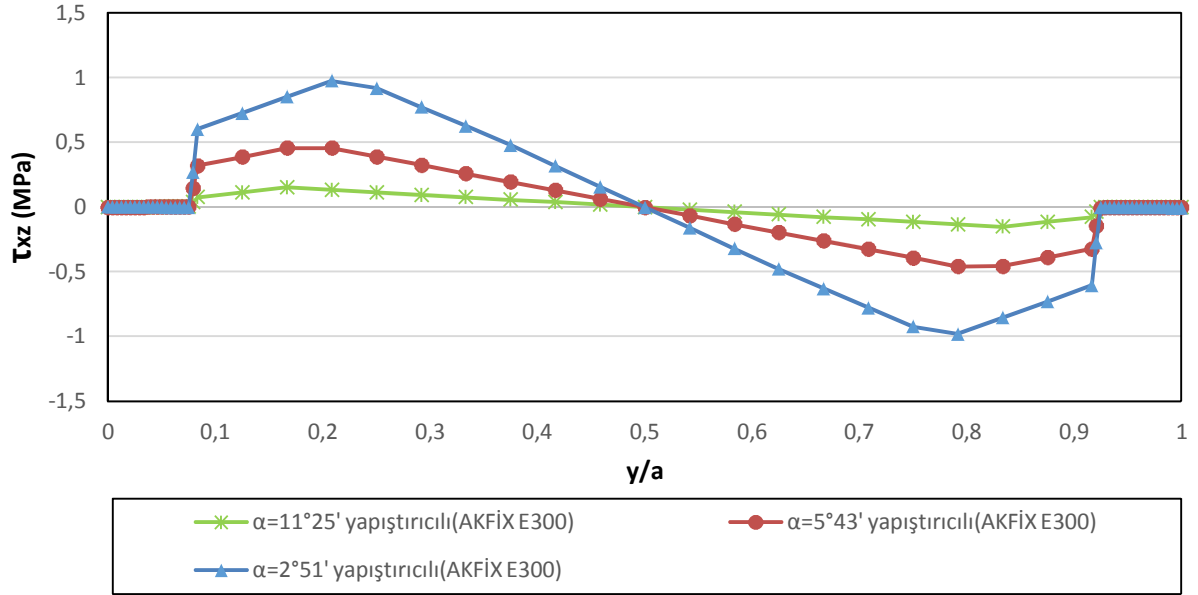


Şekil 6.17.d. Akfix E300, Devcon A ve Erde Gtr birleştirilmiş koni tepe açıları $2^\circ 51'$, $5^\circ 43'$, $11^\circ 25'$ olan yapıştırıcılı bağlantılarda meydana gelen Von Mises eşlenik gerilmeleri

Şekil 6.17.d’de, Akfix E300, Devcon A ve Erde Gtr ile birleştirilmiş koni tepe açıları $2^\circ 51'$, $5^\circ 43'$, $11^\circ 25'$ olan yapıştırıcılı konik geçme bağlantılarının A-B hattı boyunca oluşan maksimum eşlenik gerilme değerleri verilmiştir.

Bu grafik değerlendirildiğinde, Akfix E300, Devcon A, Erde GTR ile yapıştırılmış bağlantılar koni tepe açıları değişimlerinden çok fazla etkilenmektedir. Çünkü maksimum gerilmelerin koni tepe açısına göre değişimi fazla olmaktadır. Koni tepe açısı $2^\circ 51'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş bağlantının maksimum eşlenik gerilmesi koni tepe açısı $5^\circ 43'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş bağlantıdan %114 ve koni tepe açısı $11^\circ 25'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş bağlantıdan %550 daha fazladır.

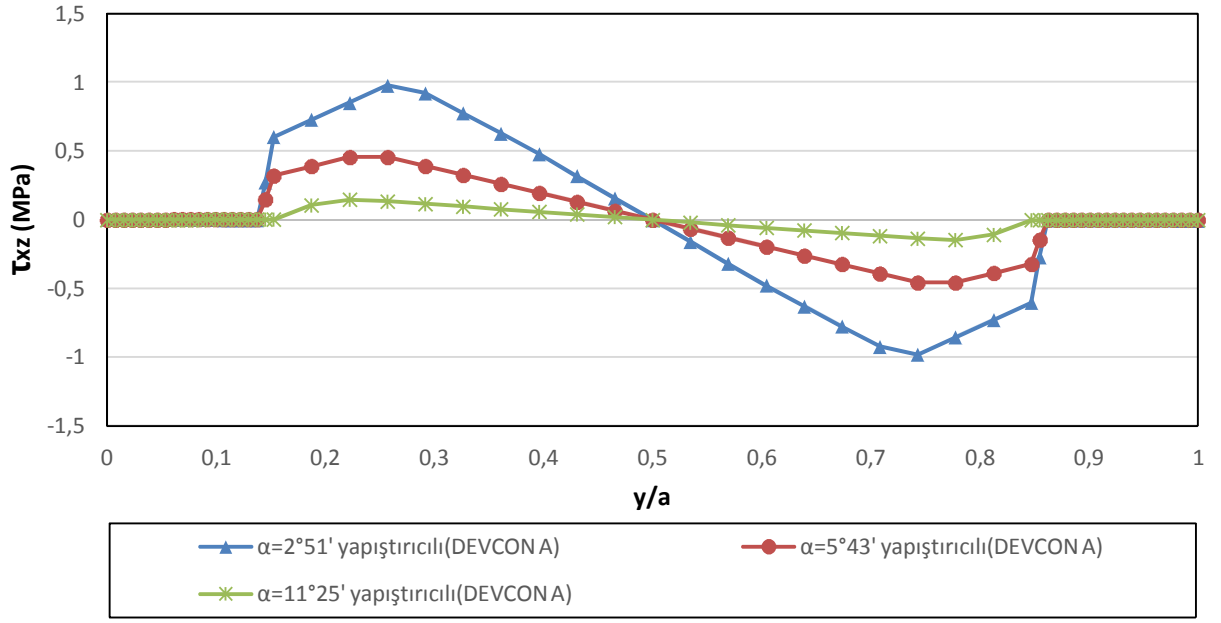
Şekil 6.18. a, b ve c, koni tepe açıları sırasıyla 2°51', 5°43' ve 11°25' olan Akfix E300, Erde GTR, Devcon A ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarında meydana gelen τ_{xz} kayma gerilmelerinin A-B hattı boyunca dağılımlarını göstermektedir. Sadece koni tepe açıları etkisini gözlemleyebilmek için, açı dışında kalan tüm değişkenler sabit tutulmuştur.



Şekil 6.18.a. Akfix E300 ile birleştirilmiş koni tepe açıları 2°51', 5°43' ve 11°25' olan yapıştırıcılı bağlantıların τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımları

Şekil 6.18.a, Akfix E300 ile birleştirilmiş koni tepe açıları 2°51', 5°43', 11°25' olan yapıştırıcılı konik geçme bağlantılarının A-B hattı boyunca oluşan τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımlarını göstermektedir. Bu grafiğe göre, maksimum τ_{xz} kayma gerilmesi koni tepe açısı 2°51' olan bağlantıda 0, 9798 MPa iken bu değer koni tepe açısı 11°25' olan bağlantıda 0,15 MPa'dır.

$0 < y/a < 0.08$ ve $0.92 < y/a < 1$ aralığında ve $y/a = 0.50$ 'da yani bindirmenin orta bölgesinde τ_{xz} kayma gerilmeleri sıfıra çok yakındır. Diğer bir ifade ile bindirme uç kısmında yapıştırıcılı bağlantılarda τ_{xz} kayma gerilmeleri çok düşüktür. Akfix E300 ile birleştirilmiş bağlantılar $y/a = 0.2$ değerinde pozitif yönde maksimum τ_{xz} kayma gerilme değerlerine ulaşmışlardır. Benzer şekilde $y/a = 0.8$ de negatif yönde maksimum τ_{xz} kayma gerilme değerlerine ulaşmıştır.

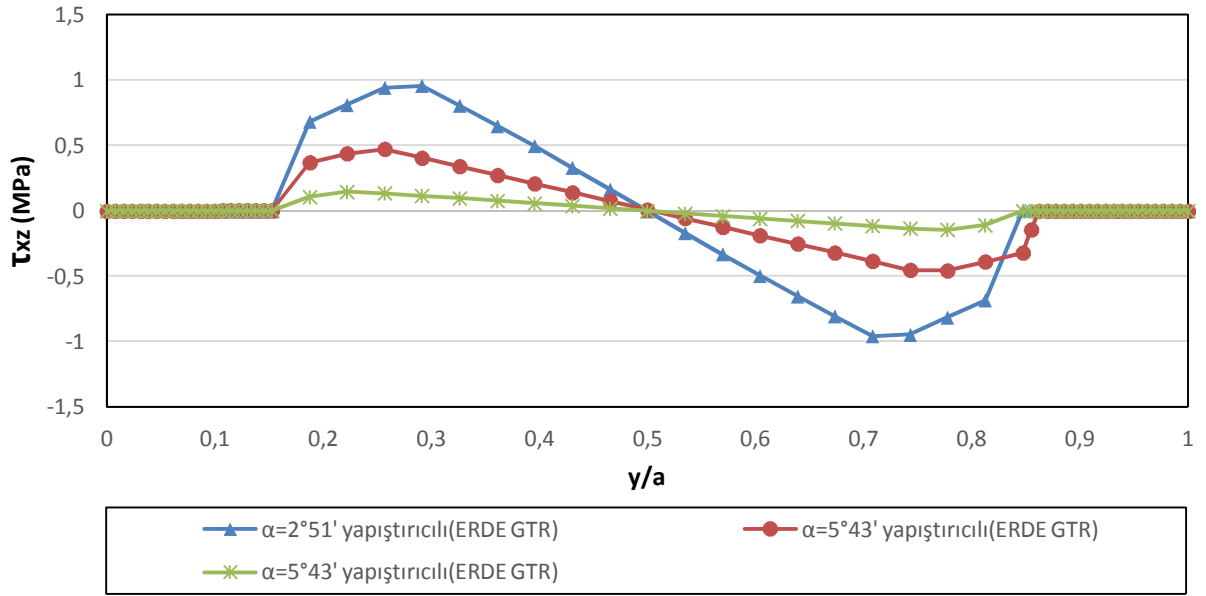


Şekil 6.18.b. Devcon A ile birleştirilmiş koni tepe açıları 2°51', 5°43' ve 11°25' olan yapıştırıcılı bağlantıların τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımları

Şekil 6.18.b, Devcon A ile birleştirilmiş koni tepe açıları 2°51', 5°43', 11°25' olan yapıştırıcılı konik geçme bağlantıların A-B hattı boyunca oluşan τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımlarını göstermektedir. Bu grafiğe göre, maksimum τ_{xz} kayma gerilmesi koni tepe açısı 2°51' olan bağlantıda 0,9787 MPa iken bu değer koni tepe açısı 11°25' olan bağlantıda 0,1456 MPa'dır.

Gerilme dağılımı $0 < y/a < 0.15$ ve $0.85 < y/a < 1$ aralığında ve $y/a = 0.50$ 'da yani bindirmenin orta bölgelerinde sıfıra çok yakındır. Bağlantıların $0.15 < y/a < 0.25$ ve $0.5 < y/a < 0.75$ arasındaki gerilmelerde artış olmaktadır. Diğer yandan ise $0.25 < y/a < 0.5$ ve $0.75 < y/a < 0.85$ arasındaki gerilmelerde azalış olmaktadır.

Şekil 6.18.a ile Şekil 6.18.b karşılaştırıldığında maksimum τ_{xz} kayma gerilmesinin Akfix E300 ile birleştirilmiş bağlantıda gerçekleştiği görülmektedir. Akfix E 300 ve Devcon A ile birleştirilmiş bağlantıların koni tepe açısı arttıkça τ_{xz} kayma gerilmelerinin düştüğü görülmektedir.

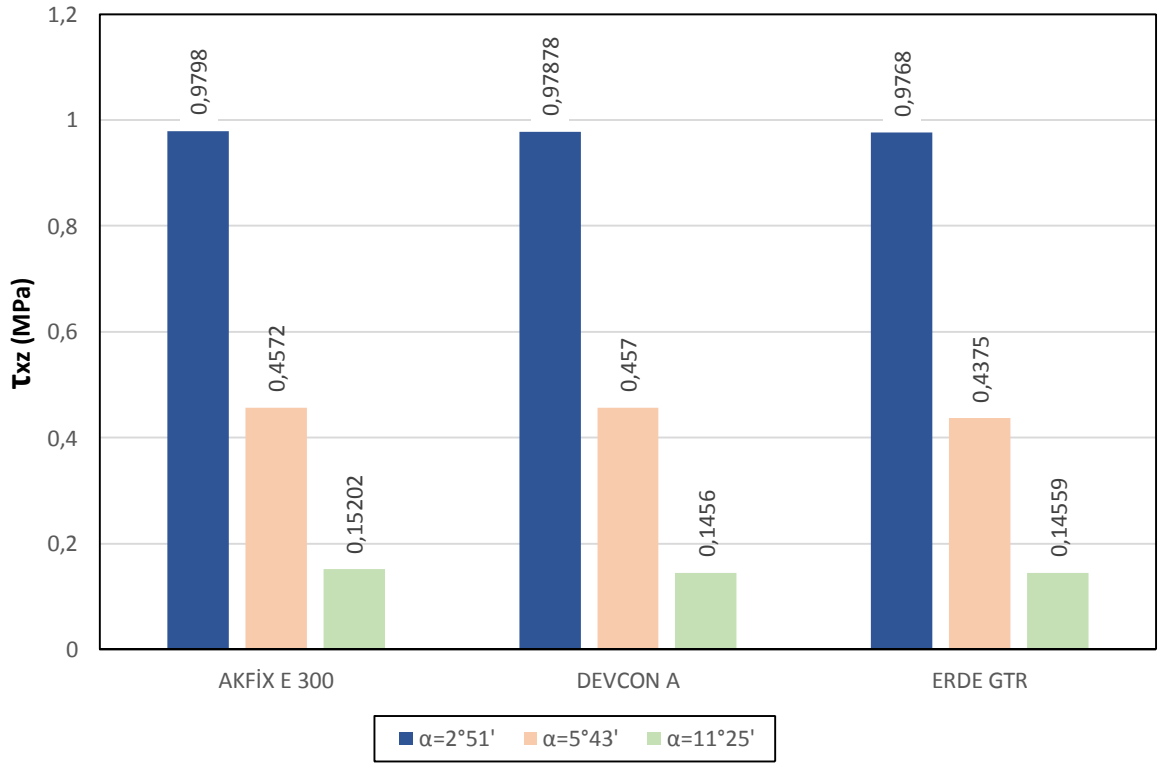


Şekil 6.18.c. Erde GTR ile birleştirilmiş koni tepe açıları 2°51', 5°43' ve 11°25' olan yapıştırıcılı bağlantıların τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımları

Şekil 6.18.c, Erde GTR ile birleştirilmiş koni tepe açıları 2°51', 5°43', 11°25' olan yapıştırıcılı konik geçme bağlantılarının A-B hattı boyunca oluşan τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımlarını göstermektedir. Bu grafiğe göre, maksimum τ_{xz} kayma gerilmesi koni tepe açısı 2°51' olan bağlantıda 0,9768 MPa iken bu değer koni tepe açısı 11°25' olan bağlantıda 0,1455 MPa'dır.

$y/a < 0.18$ ve $0.85 < y/a < 1$ aralığında ve $y/a = 0.50$ 'da yani bindirmenin orta bölgesinde τ_{xz} kayma gerilmeleri sıfıra çok yakındır. Diğer bir ifade ile bindirme uç kısmında yapıştırıcılı bağlantılarda τ_{xz} kayma gerilmeleri çok düşüktür. Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantıların $0.18 < y/a < 0.3$ ve $0.7 < y/a < 0.75$ arasında τ_{xz} kayma gerilmelerinde artış olmaktadır. Diğer yandan ise $0.3 < y/a < 0.5$ ve $0.5 < y/a < 0.7$ arasında τ_{xz} kayma gerilmelerinde azalış olmaktadır.

Şekil 6.18.a, Şekil 6.18.b ile Şekil 6.18.c karşılaştırıldığında minimum eşlenik gerilmelerin Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantılarda gerçekleştiği görülmektedir. Bunun nedeni Erde GTR'nin, Akfix E300 ve Devcon A'dan daha düşük kayma modülüne sahip olmasından dolayı şekil değiştirme kabiliyeti daha yüksektir.

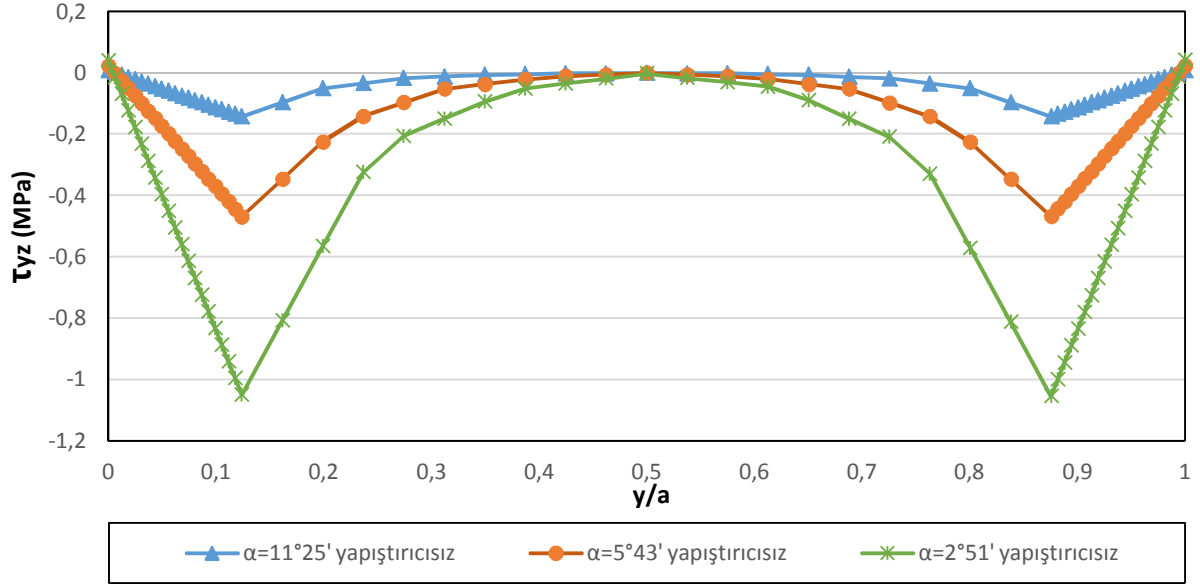


Şekil 6.18.d. Akfix E300, Devcon A ve Erde Gtr birleştirilmiş koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$, $11^{\circ}25'$ olan yapıştırıcıli bağlantılarda meydana gelen τ_{xz} kayma gerilmeleri

Şekil 6.18.d'de, Akfix E300, Devcon A ve Erde Gtr ile birleştirilmiş koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$, $11^{\circ}25'$ olan yapıştırıcıli konik geçme bağlantılarının A-B hattı boyunca oluşan maksimum τ_{xz} kayma gerilme değerleri verilmiştir. Bu grafiğe göre, üç açı değeri için maksimum τ_{xz} kayma gerilmelerinin Akfix E300 ile birleştirilmiş bağlantıda meydana geldiği görülmektedir.

Bu grafik değerlendirildiğinde Akfix E300, Devcon A, Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantılarda yapıştırma türü sabit kalmak koşulu ile oluşan maksimum gerilmeler koni tepe açısı değişiminden çok fazla etkilenmiştir. Çünkü maksimum gerilmelerin koni tepe açısına göre değişimi fazla olmaktadır.

Şekil 6.19. a, b ve c, koni tepe açıları sırasıyla $2^\circ51'$, $5^\circ43'$ ve $11^\circ25'$ olan yapıştırıcısız konik geçme bağlantılarında meydana gelen $\sigma_{\text{eş}}$, τ_{yz} ve τ_{xz} kayma gerilmelerinin A-B hattı boyunca dağılımlarını göstermektedir. Sadece koni tepe açıları etkisini gözlemleyebilmek için, açı dışında kalan tüm değişkenler sabit tutulmuştur.

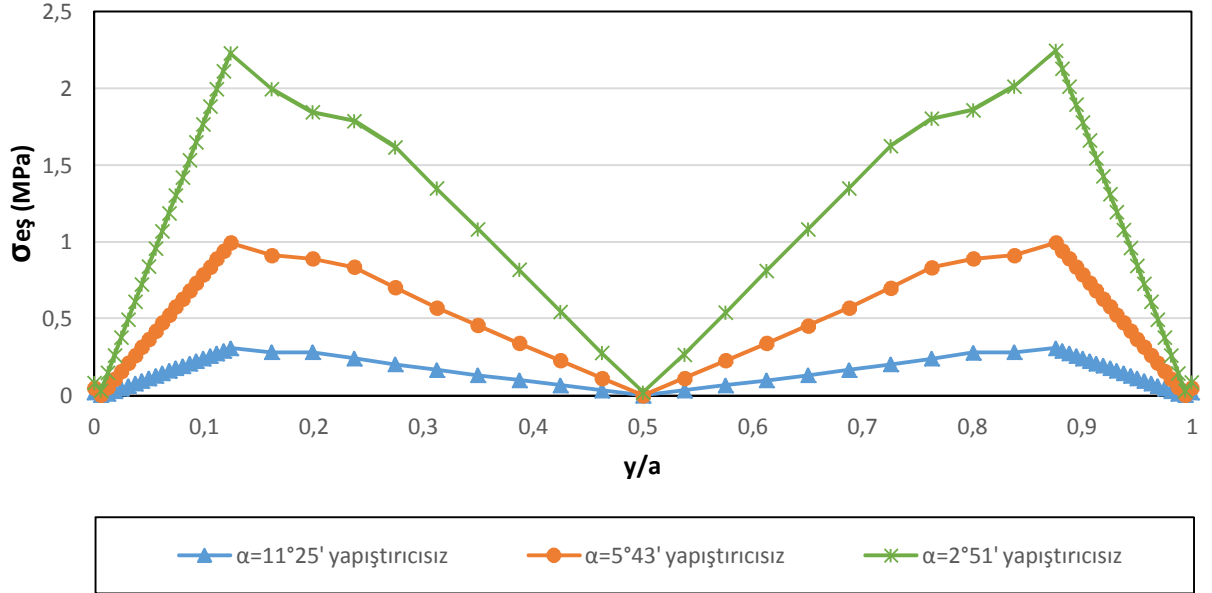


Şekil 6.19.a. Koni tepe açıları $2^\circ51'$, $5^\circ43'$ ve $11^\circ25'$ olan yapıştırıcısız bağlantıların τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımları

Şekil 6.19.a, koni tepe açıları $2^\circ51'$, $5^\circ43'$, $11^\circ25'$ olan yapıştırıcısız konik geçme bağlantılarının A-B hattı boyunca oluşan τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımlarını göstermektedir. Bu grafiğe göre, maksimum τ_{yz} kayma gerilmesi koni tepe açısı $2^\circ51'$ olan yapıştırıcısız bağlantıda $y/a = 0.12$ ve $y/a = 0.88$ 'e denk gelen çap kısmında yaklaşık -1.05 MPa olarak saptanmıştır. Bu değer koni tepe açısı $11^\circ25'$ olan yapıştırıcısız konik geçme bağlantıda yaklaşık -0.14 MPa'dır.

Koni tepe açısı $2^\circ51'$ olan yapıştırıcısız bağlantı ile diğer iki bağlantı karşılaştırıldığında τ_{yz} kayma gerilmelerinin maksimum değerleri arasında koni tepe açısı $5^\circ43'$ olan maksimum τ_{yz} kayma gerilmesi -0.46 MPa bağlantıyla 2.2 kat, koni tepe açısı $11^\circ25'$ olan bağlantıyla 8 katlık bir fark söz konusudur. Koni tepe açısı $5^\circ43'$ olan bağlantı ile koni tepe açısı $11^\circ25'$ olan bağlantı karşılaştırıldığında 3 katlık bir fark söz konusudur. Bu karşılaştırmalar neticesinde, gerilme değerleri arasında en büyük farkın koni tepe açısı

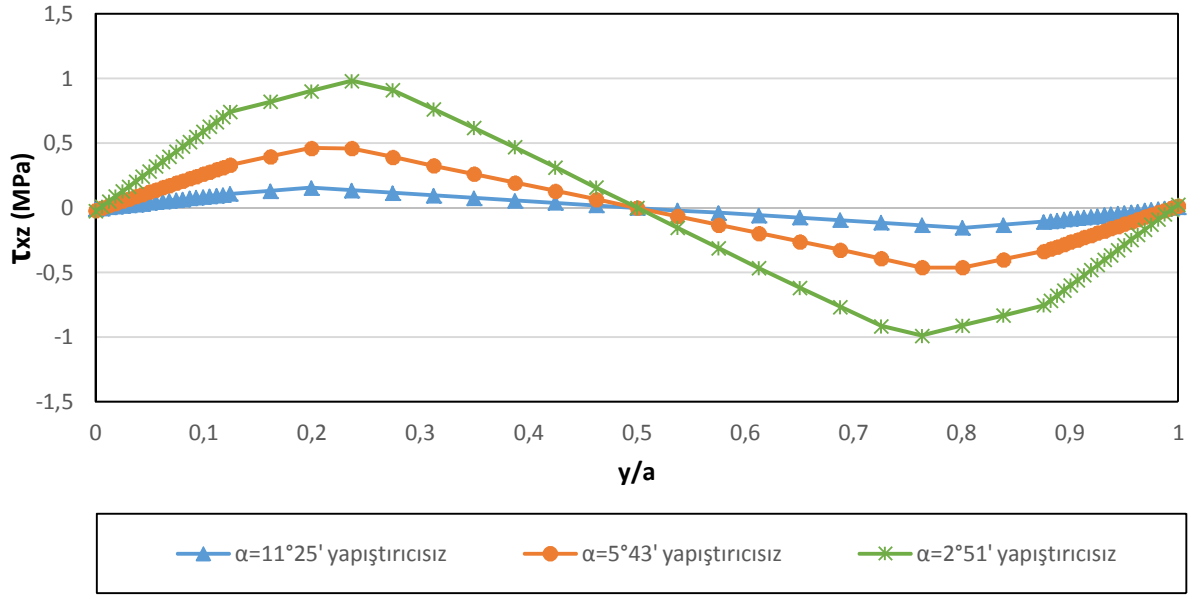
2°51' olan bağlantı ile koni tepe açısı 11°25' olan yapıştırıcısız bağlantı arasında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.19.b. Koni tepe açıları 2°51', 5°43' ve 11°25' olan yapıştırıcısız bağlantıların Von Mises eşlenik gerilme dağılımları

Şekil 6.19.b, koni tepe açıları 2°51', 5°43' ve 11°25' olan yapıştırıcısız konik geçme bağlantılarının A-B hattı boyunca oluşan eşlenik gerilme dağılımlarını göstermektedir. Bu grafikte, üç farklı koni tepe açısıyla oluşturulan bağlantılar incelendiğinde, maksimum eşlenik gerilme, yapıştırıcısız konik geçme bağlantısında 2,22 MPa iken 1,92 MPa azalarak Erde GTR ile birleştirilmiş konik geçme bağlantısında 0,30 MPa'a düşmektedir.

Koni tepe açısı 2°51' olan yapıştırıcısız bağlantı ile diğer iki bağlantı karşılaştırıldığında eşlenik gerilmelerinin maksimum değerleri arasında koni tepe açısı 5°43' olan maksimum eşlenik gerilmesi 0,99 MPa bağlantıyla 2,2 kat, koni tepe açısı 11°25' olan bağlantıyla 7,5 katlık bir fark söz konusudur. Koni tepe açısı 5°43' olan bağlantı ile koni tepe açısı 11°25' olan bağlantı karşılaştırıldığında 3 katlık bir fark söz konusudur. Bu karşılaştırmalar neticesinde, gerilme değerleri arasında en büyük farkın koni tepe açısı 2°51' olan bağlantı ile koni tepe açısı 11°25' olan yapıştırıcısız bağlantı arasında olduğu tespit edilmiştir.

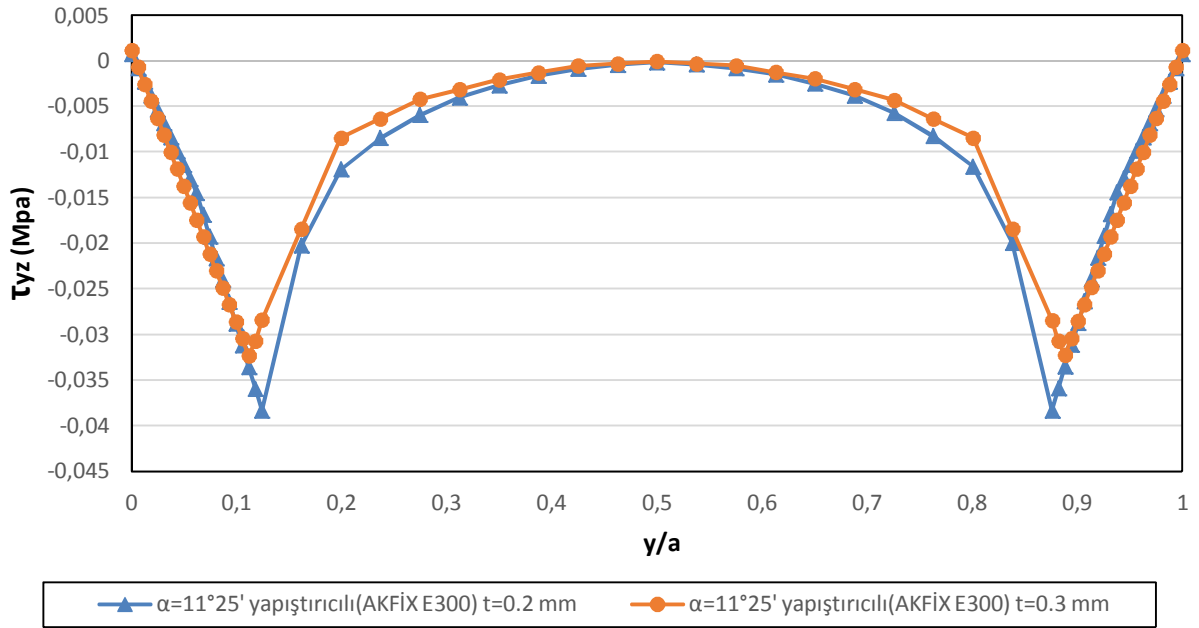


Şekil 6.19.c. Koni tepe açıları 2°51', 5°43' ve 11°25' olan yapıştırıcısız bağlantıların τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımları

Şekil 6.19.c, koni tepe açıları 2°51', 5°43', 11°25' olan yapıştırıcısız konik geçme bağlantılarının A-B hattı boyunca oluşan τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımlarını göstermektedir. Bu grafiğe göre, maksimum τ_{xz} kayma gerilmesi koni tepe açısı 2°51' olan yapıştırıcısız bağlantıda $y/a = 0.23$ ve $y/a = 0.76$ 'a denk gelen çap kısmında yaklaşık 0.98 MPa olarak saptanmıştır. Bu değer koni tepe açısı 11°25' olan yapıştırıcısız konik geçme bağlantıda yaklaşık 0.15 MPa'dır.

Koni tepe açısı 2°51' olan yapıştırıcısız bağlantı ile diğer iki bağlantı karşılaştırıldığında τ_{xz} kayma gerilmelerinin maksimum değerleri arasında koni tepe açısı 5°43' olan maksimum τ_{xz} kayma gerilmesi 0.46 MPa bağlantıyla 2 kat, koni tepe açısı 11°25' olan bağlantıyla 6.5 katlık bir fark söz konusudur. Koni tepe açısı 5°43' olan bağlantı ile koni tepe açısı 11°25' olan bağlantı karşılaştırıldığında 3 katlık bir fark söz konusudur. Bu karşılaştırmalar neticesinde, gerilme değerleri arasında en büyük farkın koni tepe açısı 2°51' olan bağlantı ile koni tepe açısı 11°25' olan yapıştırıcısız bağlantı arasında olduğu tespit edilmiştir.

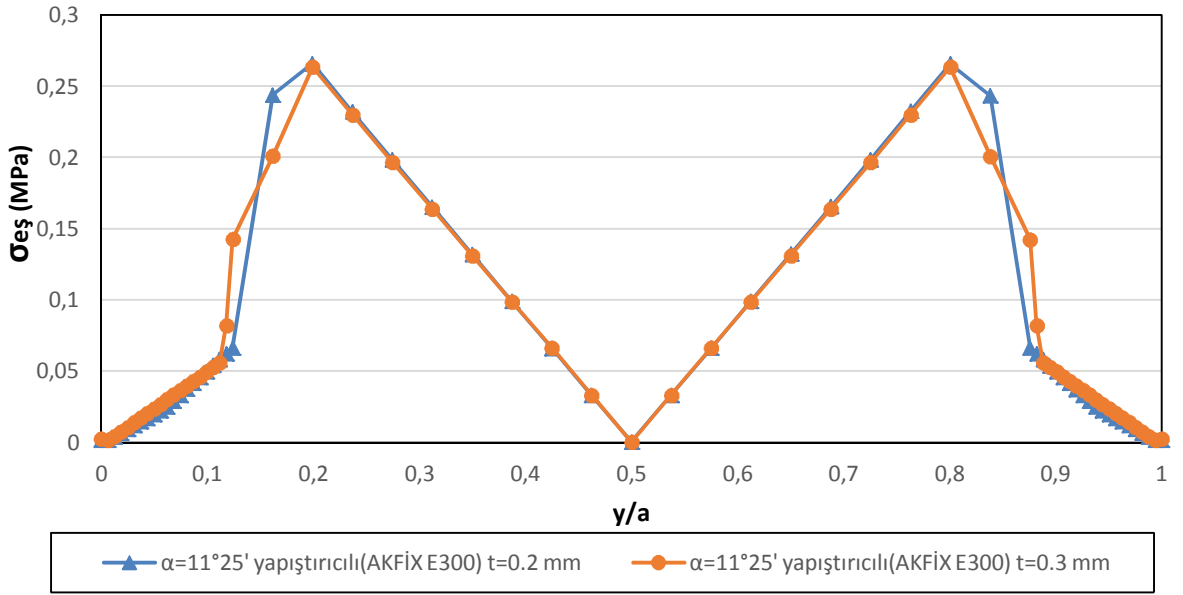
Şekil 6.20. a, b ve c, yapıştırıcı kalınlığı sırasıyla $t=0.2 \text{ mm}$ ve $t=0.3 \text{ mm}$ koni tepe açısı $11^\circ 25'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarında meydana gelen $\sigma_{eş}$, τ_{yz} ve τ_{xz} kayma gerilmelerinin A-B hattı boyunca dağılımlarını göstermektedir. Yapıştırıcı kalınlığı çalışmanın bütününde $t=0.3 \text{ mm}$ iken sadece yapıştırıcı kalınlığının etkisini gözlemleyebilmek için, yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2 \text{ mm}$ olarak değiştirilmiştir.



Şekil 6.20.a. Yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2 \text{ mm}$ ve $t=0.3 \text{ mm}$ koni tepe açısı $11^\circ 25'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımları

Şekil 6.20.a, yapıştırıcı kalınlığı sırasıyla $t=0.2 \text{ mm}$ ve $t=0.3 \text{ mm}$ koni tepe açısı $11^\circ 25'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarında meydana gelen τ_{yz} kayma gerilmelerinin A-B hattı boyunca dağılımlarını göstermektedir. Bu grafiğe göre, maksimum τ_{yz} kayma gerilmesi yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2 \text{ mm}$ olan bağlantıda $y/a = 0.12$ ve $y/a = 0.88$ 'e denk gelen çap kısmında yaklaşık -0.0383 MPa olarak saptanmıştır. Bu değer yapıştırıcı kalınlığı $t=0.3 \text{ mm}$ olan bağlantıda yaklaşık -0.0308 MPa 'dır.

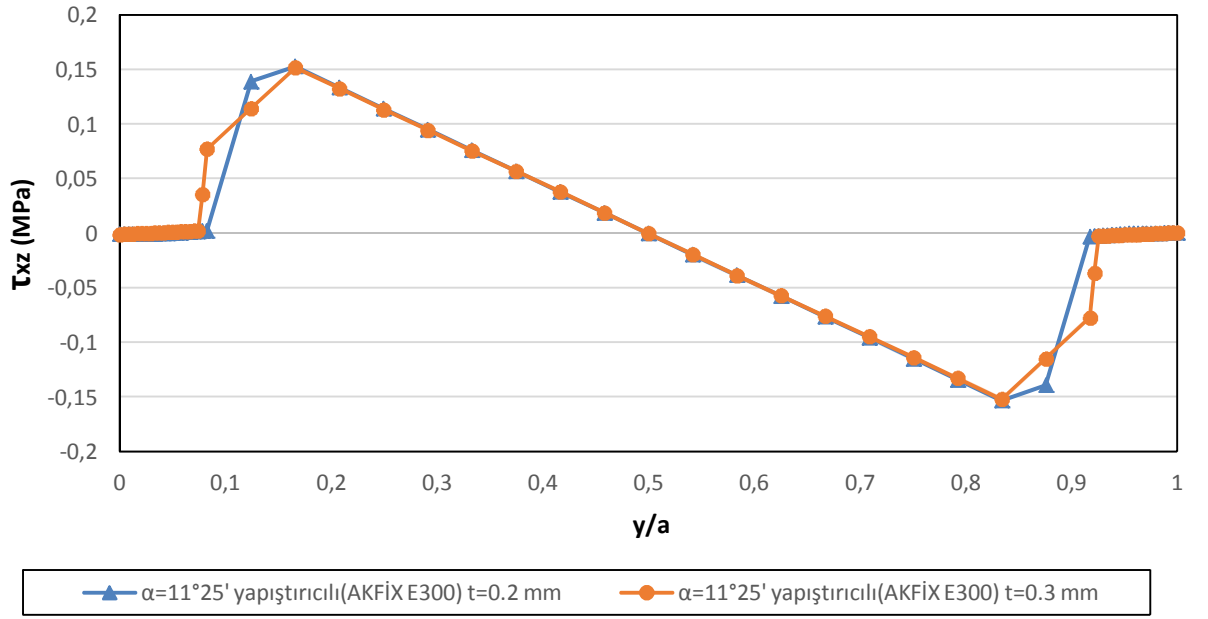
$0 < y/a < 0.2$ ve $0.8 < y/a < 1$ aralığında yapıştırıcı kalınlığının değişimin etkisi daha fazla olmaktadır. Bindirme uçlarında ve $y/a = 0.50$ 'da yani bindirmenin orta bölgelerinde oluşan gerilmeler sifıra yakındır. Yapıştırıcı kalınlığı artıkça oluşan gerilmelerin maksimum değerleri de azalmaktadır.



Şekil 6.20.b. Yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2$ mm ve $t=0.3$ mm koni tepe açısı $11^\circ 25'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının Von Mises eşlenik gerilme dağılımları

Şekil 6.20.b, yapıştırıcı kalınlığı sırasıyla $t=0.2$ mm ve $t=0.3$ mm koni tepe açısı $11^\circ 25'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarında meydana gelen eşlenik gerilmelerinin A-B hattı boyunca dağılımlarını göstermektedir. Bu grafikte, farklı koni tepe açılara sahip bağlantılar incelendiğinde, maksimum eşlenik gerilme $t=0.2$ mm olan bağlantısında 0.266 MPa iken bu değer 0.014 MPa azalarak $t=0.3$ mm olan bağlantıda 0.252 MPa'a düşmektedir.

$0 < y/a < 0.12$ ve $0.88 < y/a < 1$ aralığında yapıştırıcı kalınlığının değişimin etkisi daha az olmaktadır. Yapıştırıcı kalınlığının etkisi $0.12 < y/a < 0.19$ ve $0.80 < y/a < 0.88$ aralığında görülmektedir. Bindirmenin uç kısımlarında ve $y/a=0.50$ gerilme değerleri sıfıra yakındır.

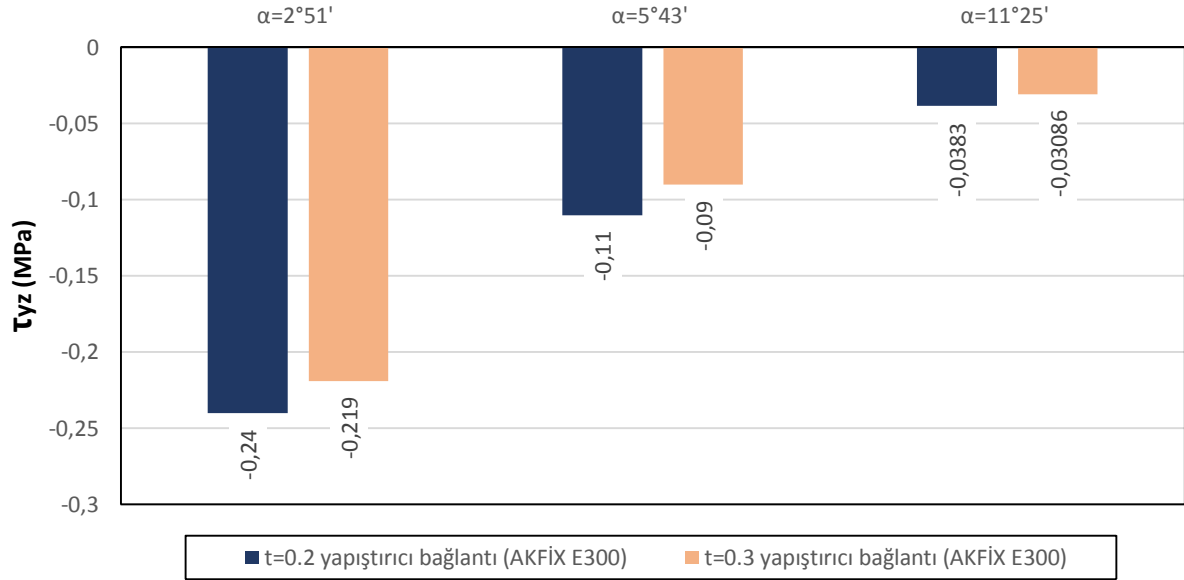


Şekil 6.20.c. Yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2$ mm ve $t=0.3$ mm koni tepe açısı $11^\circ 25'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımları

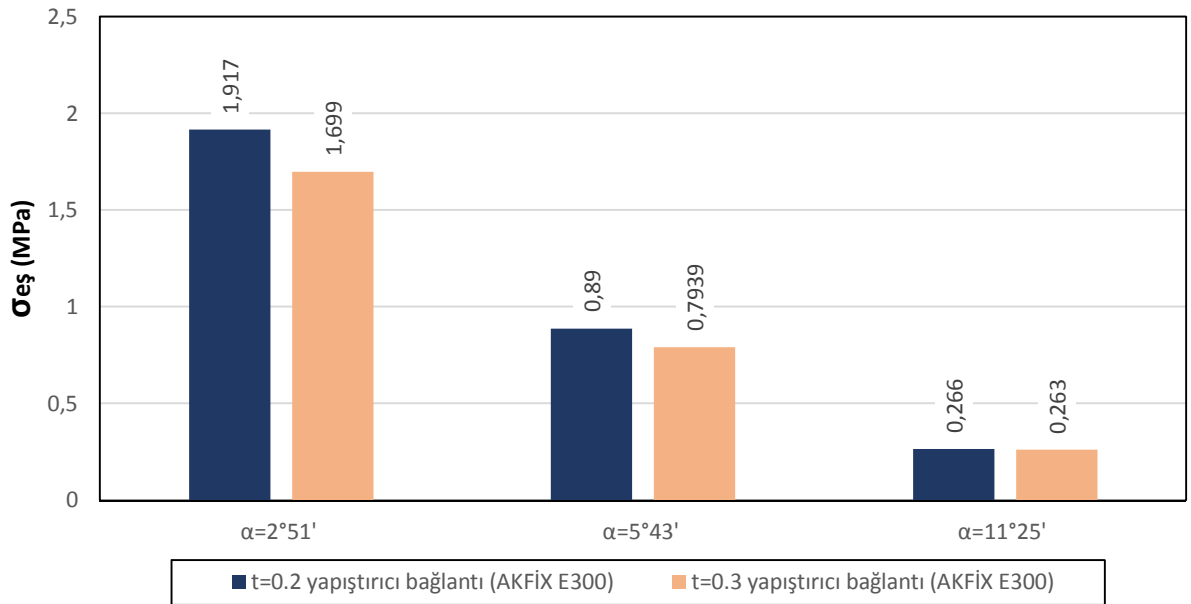
Şekil 6.20.c, yapıştırıcı kalınlığı sırasıyla $t=0.2$ mm ve $t=0.3$ mm koni tepe açısı $11^\circ 25'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarında meydana gelen τ_{xz} kayma gerilmelerinin A-B hattı boyunca dağılımlarını göstermektedir. Bu grafiğe göre, maksimum τ_{yz} kayma gerilmesi yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2$ mm olan bağlantıda $y/a = 0.16$ ve $y/a = 0.83$ 'e denk gelen çap kısmında yaklaşık 0.153 MPa olarak saptanmıştır. Bu değer yapıştırıcı kalınlığı $t=0.3$ mm olan bağlantıda yaklaşık 0.152 MPa'dır.

Yapıştırıcı kalınlığı sırasıyla $t=0.2$ mm ve $t=0.3$ mm olan bağlantıların gerilme dağılımları $0 < y/a < 0.08$ aralığında benzer bir değişim sergilemişlerdir. Bu aralıkta τ_{xz} kayma gerilme değerleri sıfıra çok yakındır. Diğer bir ifade ile bindirmenin uç kısımlarında farklı yapıştırıcı kalınlığına sahip konik geçme bağlantılarının τ_{xz} kayma gerilmeleri çok düşüktür. Bu bağlantılar, $y/a = 0.16$ 'de pozitif yönde maksimum τ_{xz} kayma gerilme değerlerine ulaşmışlardır. Benzer şekilde $y/a = 0.83$ 'de negatif yönde maksimum τ_{xz} kayma gerilme değerlerine ulaşmışlardır. Bu bağlantıların, $0.16 < y/a < 0.83$ aralığında doğrusal düşüş ve paralel bir değişim gözlenmiştir.

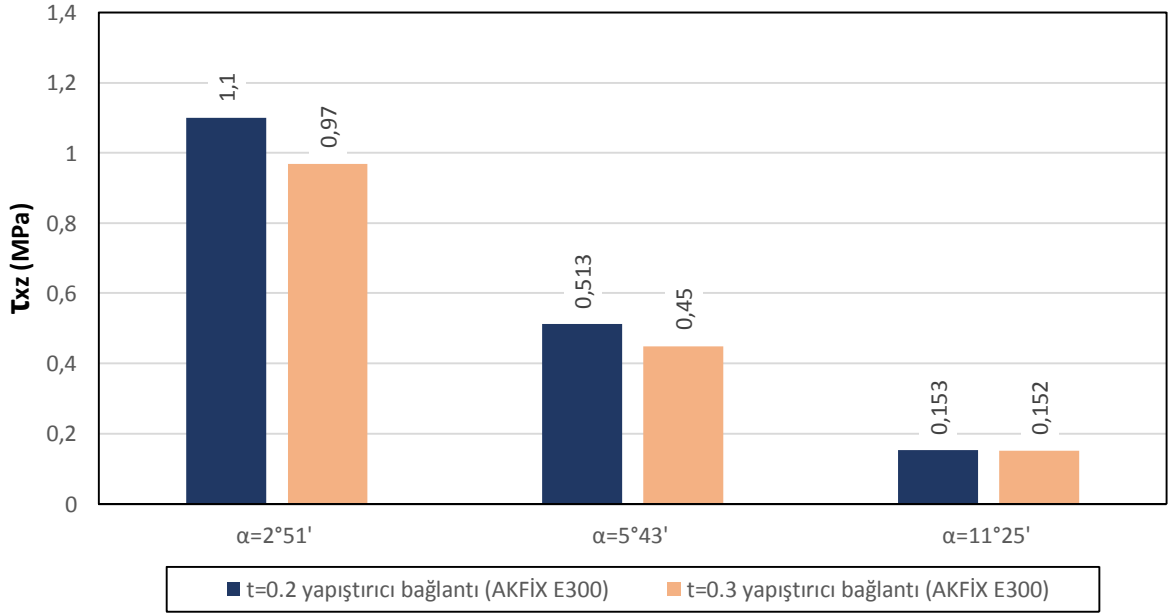
Şekil 6.21. a, b ve c, yapıştırıcı kalınlığı sırasıyla $t=0.2 \text{ mm}$ ve $t=0.3 \text{ mm}$ koni tepe açıları $2^\circ 51'$, $5^\circ 43'$, $11^\circ 25'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarında meydana gelen $\sigma_{eş}$, τ_{yz} ve τ_{xz} kayma gerilmelerinin maksimum değerleri karşılaştırılarak gösterilmektedir.



Şekil 6.21.a. Yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2 \text{ mm}$ ve $t=0.3 \text{ mm}$ koni tepe açıları $2^\circ 51'$, $5^\circ 43'$, $11^\circ 25'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının τ_{yz} kayma gerilmesi



Şekil 6.21.b. Yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2 \text{ mm}$ ve $t=0.3 \text{ mm}$ koni tepe açıları $2^\circ 51'$, $5^\circ 43'$, $11^\circ 25'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının Von Mises eşlenik gerilmesi

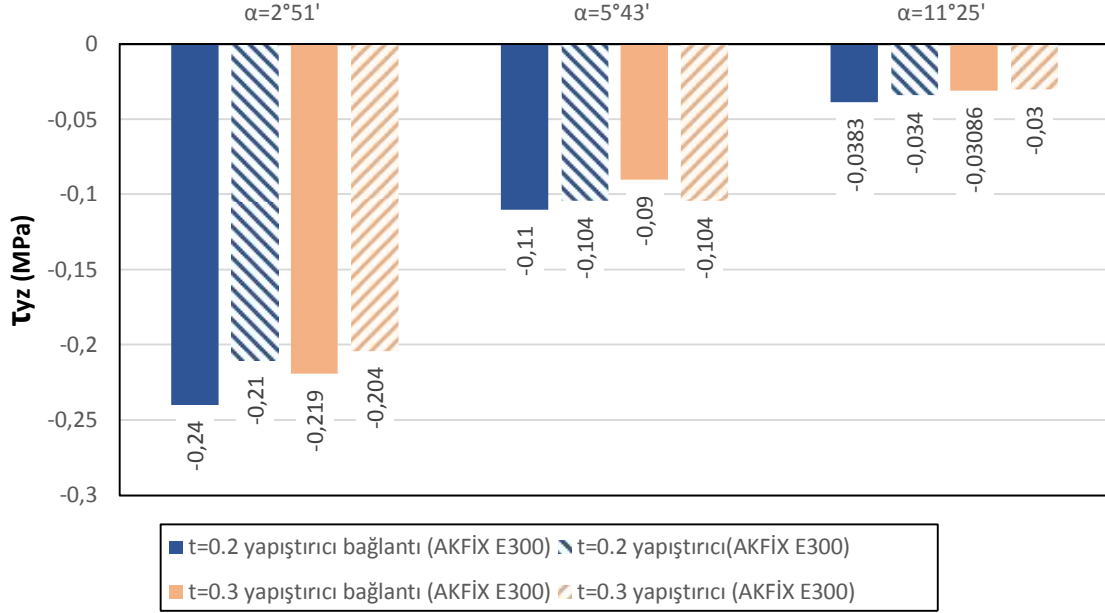


Şekil 6.21.c. Yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2$ mm ve $t=0.3$ mm koni tepe açıları $2^\circ 51'$, $5^\circ 43'$, $11^\circ 25'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının τ_{xz} kayma gerilmesi

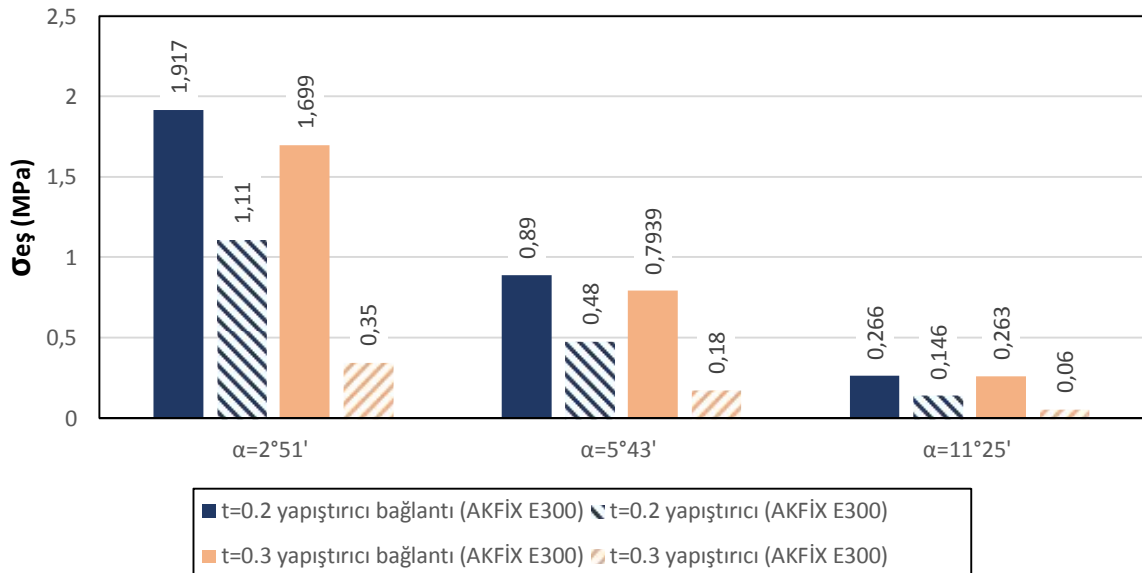
Şekil 6.21. a, b ve c'deki grafiklere bakıldığında, yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2$ mm olan bağlantının $t=0.3$ mm olan bağlantıya göre maksimum $\sigma_{eş}$, τ_{xz} ve τ_{yz} kayma gerilme değerlerinin daha büyük olduğu görülmektedir. Yani yapıştırıcı kalınlığı ile maksimum gerilmeler ters orantılıdır. Koni tepe açısı değişimine göre değerlendirildiğinde, iki yapıştırıcı kalınlığı içinde koni tepe açısı arttıkça maksimum $\sigma_{eş}$, τ_{xz} ve τ_{yz} kayma gerilme değerlerinin düştüğü gözlenmektedir. Yapıştırıcı kalınlığının değişiminden koni tepe açısı $11^\circ 25'$ olan bağlantı çok fazla etkilenmemektedir. Çünkü maksimum gerilmelerin yapıştırıcı kalınlıklarına göre değişimi daha az olmaktadır. Koni tepe açısı $2^\circ 51'$ olan bağlantıda maksimum $\sigma_{eş}$, τ_{xz} ve τ_{yz} kayma gerilme değerleri yapıştırıcı kalınlıkları değişiminden daha fazla etkilenmektedir.

Yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2$ mm koni tepe açısı $2^\circ 51'$ olan bağlantının maksimum τ_{yz} kayma gerilmesi, aynı açı değerindeki yapıştırıcı kalınlığı $t=0.3$ mm bağlantısından %14 daha fazladır (Şekil 6.21.a). Maksimum eşlenik gerilme, yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2$ mm koni tepe açısı $2^\circ 51'$ olan bağlantıda yapıştırıcı kalınlığı $t=0.3$ mm olan bağlantıya göre %16 daha fazladır (Şekil 6.21.b). Yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2$ mm koni tepe açısı $2^\circ 51'$ olan bağlantının maksimum τ_{xz} kayma gerilmesi, aynı açı değerindeki yapıştırıcı kalınlığı $t=0.3$ mm olan bağlantıdan %13 daha fazladır (Şekil 6.21.c).

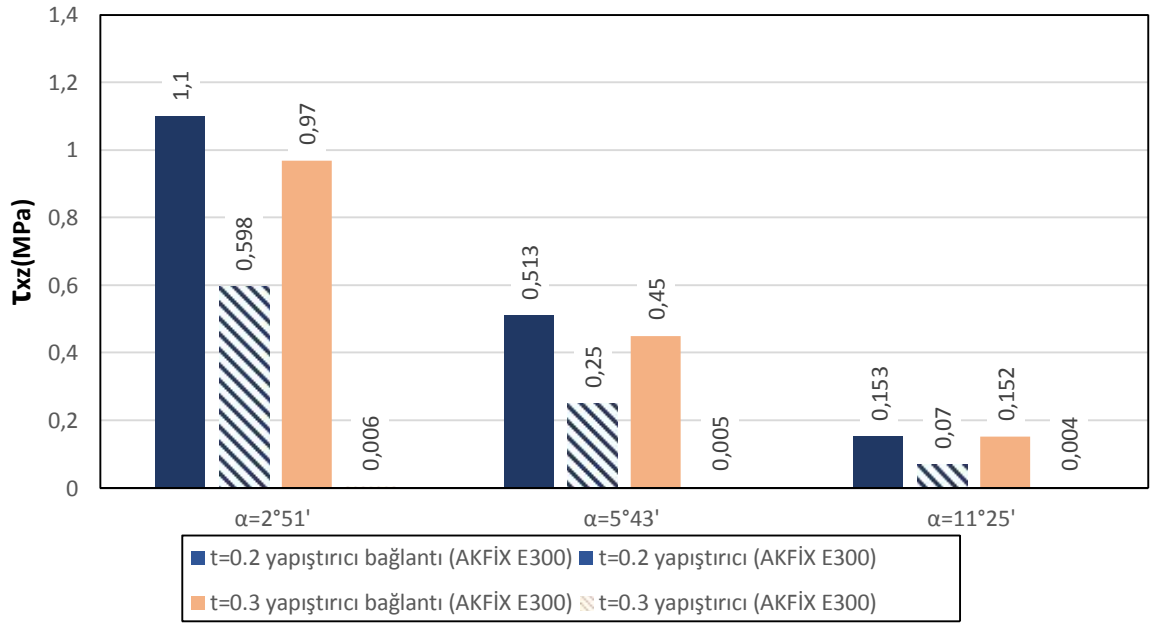
Şekil 6.22. a, b ve c, yapıştırıcı kalınlığı sırasıyla $t=0.2 \text{ mm}$ ve $t=0.3 \text{ mm}$ koni tepe açıları $2^\circ 51'$, $5^\circ 43'$, $11^\circ 25'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarında ve yapıştırıcı tabakada meydana gelen $\sigma_{eş}$, τ_{xz} ve τ_{yz} kayma gerilme değerlerinin maksimum değerleri gösterilmektedir.



Şekil 6.22.a. Yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2 \text{ mm}$ ve $t=0.3 \text{ mm}$ koni tepe açıları $2^\circ 51'$, $5^\circ 43'$, $11^\circ 25'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının ve yapıştırıcı tabakanın τ_{yz} kayma gerilmesi



Şekil 6.22.b. Yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2 \text{ mm}$ ve $t=0.3 \text{ mm}$ koni tepe açıları $2^\circ 51'$, $5^\circ 43'$, $11^\circ 25'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının ve yapıştırıcı tabakanın Von Mises eşlenik gerilmeleri

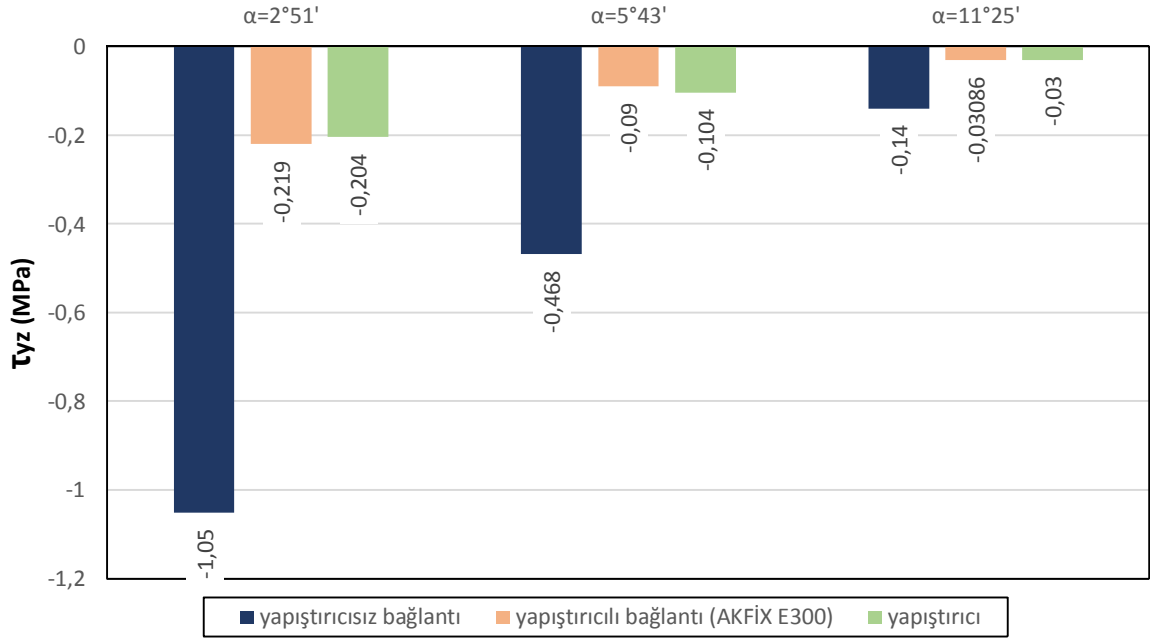


Şekil 6.22.c. Yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2$ mm ve $t=0.3$ mm koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$, $11^{\circ}25'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarının ve yapıştırıcı tabakanın τ_{xz} kayma gerilmesi

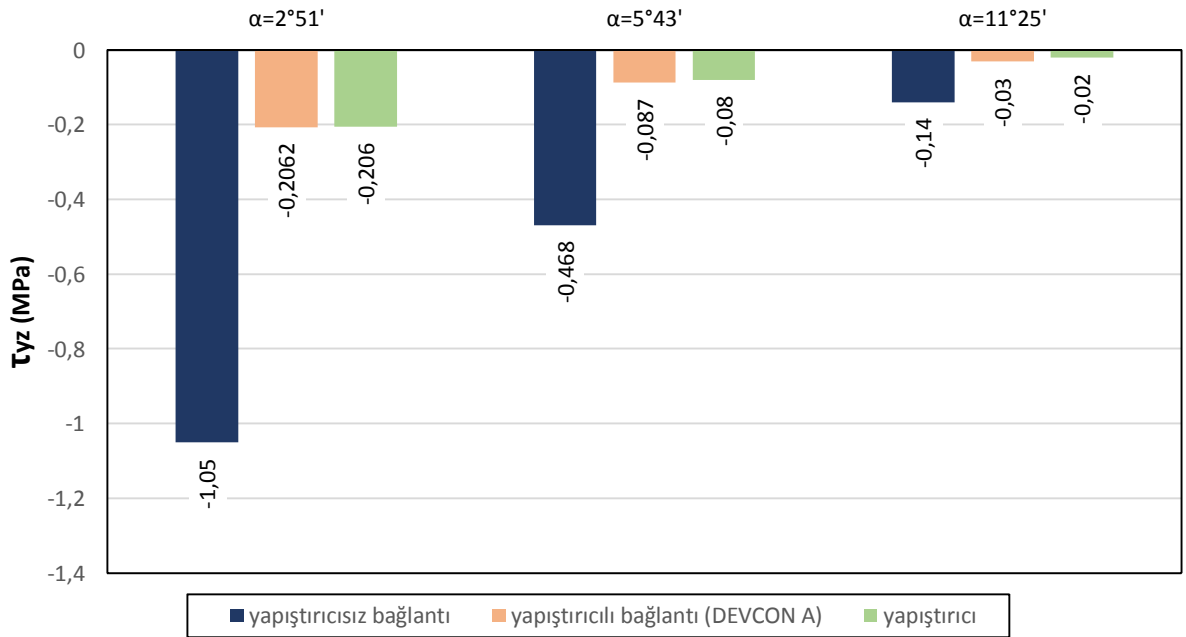
Şekil 6.22. a, b ve c'deki grafikler incelendiğinde, yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2$ mm olan bağlantının ve yapıştırıcı tabakasının maksimum $\sigma_{eş}$, τ_{xz} ve τ_{yz} kayma gerilme değerlerinin $t=0.3$ mm olan bağlantıya göre daha büyük olduğu görülmektedir. Her iki bağlantının yapıştırıcı tabakasında meydana gelen tüm gerilmelerin yapıştırıcılı bağlantıdan daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde yapıştırıcılı bağlantılarda olduğu gibi yapıştırıcı tabakada meydana gelen maksimum gerilme değerleri, yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2$ mm olan bağlantıda $t=0.3$ mm olan bağlantıdan daha fazladır. Koni tepe açısı arttıkça yapıştırıcı kalınlığı $t=0.2$ mm ve $t=0.3$ mm olan bağlantıların ve yapıştırıcı tabakasının maksimum gerilmeleri düşmektedir. Koni tepe açısı $11^{\circ}25'$ olan bağlantıda maksimum gerilmeler yapıştırıcı kalınlıkları değişiminden çok fazla etkilenmemektedir.

Şekil 6.22.c'de görüldüğü gibi maksimum τ_{xz} kayma gerilmesi değerleri, yapıştırıcı kalınlığı $t=0.3$ mm olan bağlantının yapıştırıcı tabakasında çok düşüktür.

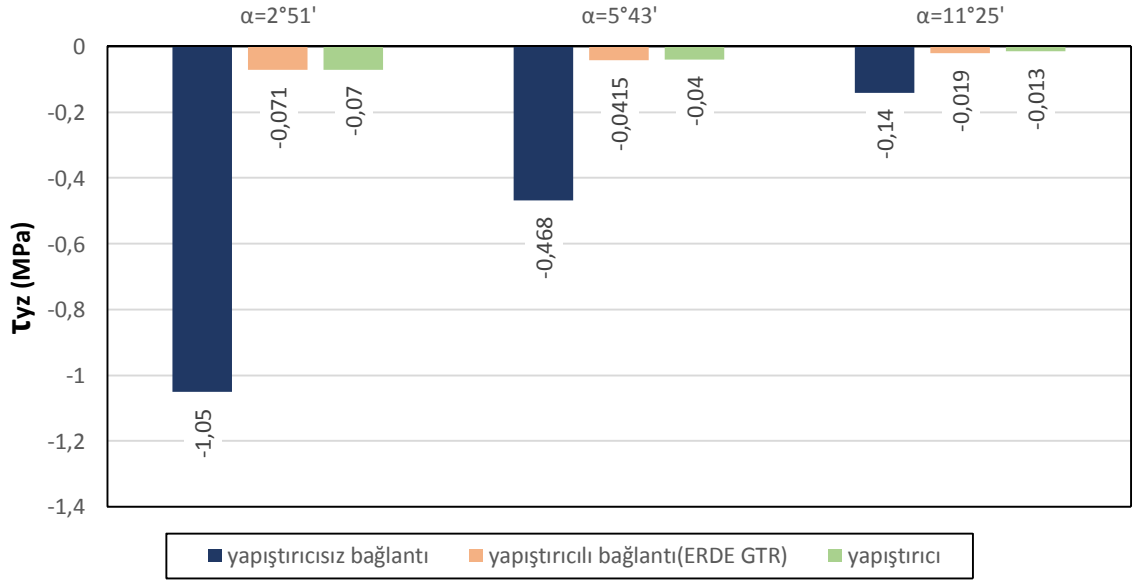
Şekil 6.23. a, b ve c, koni tepe açıları sırasıyla $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$ ve $11^{\circ}25'$ olan yapıştırıcısız, Akfix E300, Erde GTR, Devcon A ile birleştirilmiş yapıştırıcılı konik geçme bağlantılarında ve yapıştırıcı tabakada meydana gelen maksimum τ_{yz} kayma gerilmeleri gösterilmektedir.



Şekil 6.23.a. Koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$, $11^{\circ}25'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız bağlantılarının ve yapıştırıcı tabakanın τ_{yz} kayma gerilmesi



Şekil 6.23.b. Koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$, $11^{\circ}25'$ olan Devcon A ile birleştirilmiş yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız bağlantıların ve yapıştırıcı tabakanın τ_{yz} kayma gerilmesi

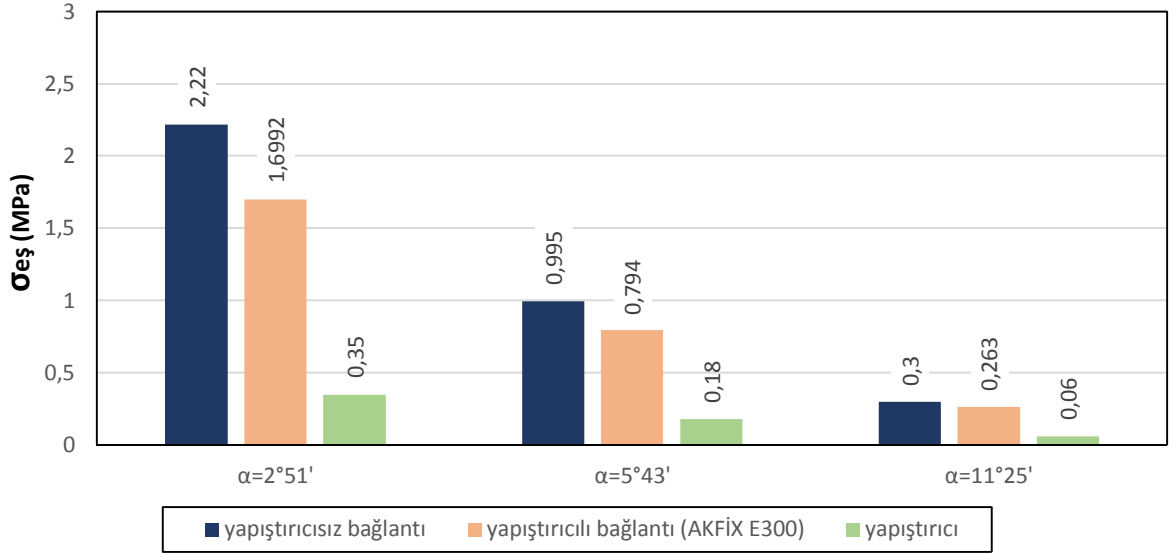


Şekil 6.23.c. Koni tepe açıları 2°51', 5°43', 11°25' olan Erde GTR ile birleştirilmiş yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız bağlantıların ve yapıştırıcı tabakanın τ_{yz} kayma gerilmesi

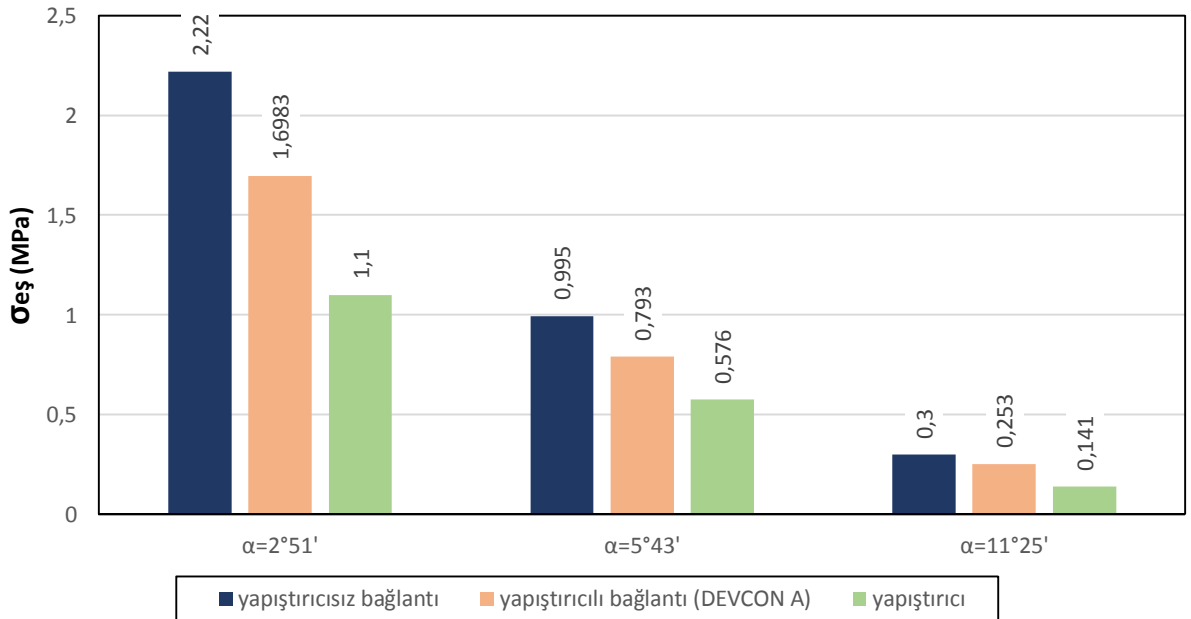
Şekil 6.23. a, b ve c'deki grafiklere bakıldığında yapıştırıcısız bağlantıların maksimum τ_{yz} kayma gerilme değerlerinin yapıştırıcılı bağlantılardan ve yapıştırıcı tabakasından daha büyük olduğu görülmektedir. Bu grafiklerde yapıştırıcı değişiminin yapıştırıcısız bağlantıların maksimum gerilme değerlerinin değişimine etkisi yoktur.

Bu grafikler değerlendirildiğinde, koni tepe açısı 2°51' olan yapıştırıcısız bağlantının maksimum τ_{yz} kayma gerilmesinin sırasıyla Akfix E 300 ile birleştirilmiş bağlantıdan %400, Devcon A 'dan %425, Erde GTR'den %1379 daha fazla olduğu görülmektedir. Koni tepe açısı 5°43' olan yapıştırıcısız bağlantının maksimum τ_{yz} kayma gerilmesinin Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantıdan yaklaşık %1050 daha fazladır (Şekil 6.23.c). Koni tepe açısı 11°25' olan yapıştırıcısız bağlantının maksimum τ_{yz} kayma gerilmesinin sırasıyla Akfix E 300'den %367, Devcon A 'dan %365, Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantıdan %637 daha fazla olduğu görülmektedir.

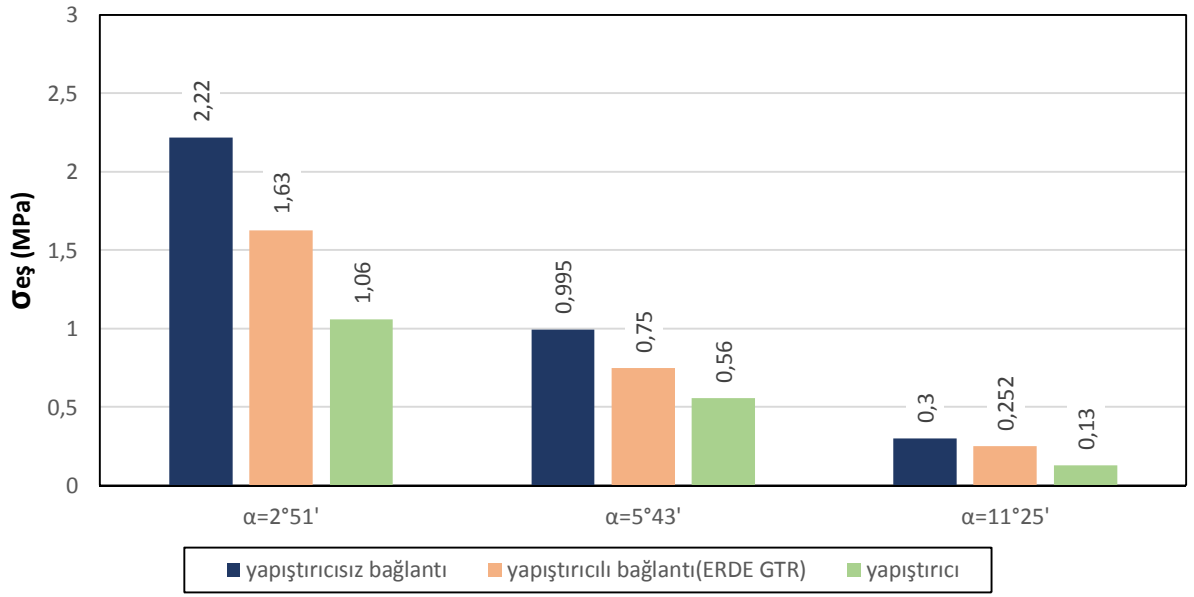
Şekil 6.24. a, b ve c, koni tepe açıları sırasıyla $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$ ve $11^{\circ}25'$ olan yapıştırıcısız, Akfix E300, Erde GTR, Devcon A ile birleştirilmiş yapıştırıcılı konik geçme bağlantılarında ve yapıştırıcı tabakada meydana gelen maksimum eşlenik gerilmeleri gösterilmektedir.



Şekil 6.24.a. Koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$, $11^{\circ}25'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız bağlantıların ve yapıştırıcı tabakanın Von Mises eşlenik gerilmeleri



Şekil 6.24.b. Koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$, $11^{\circ}25'$ olan Devcon A ile birleştirilmiş yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız bağlantıların ve yapıştırıcı tabakanın Von Mises eşlenik gerilmeleri

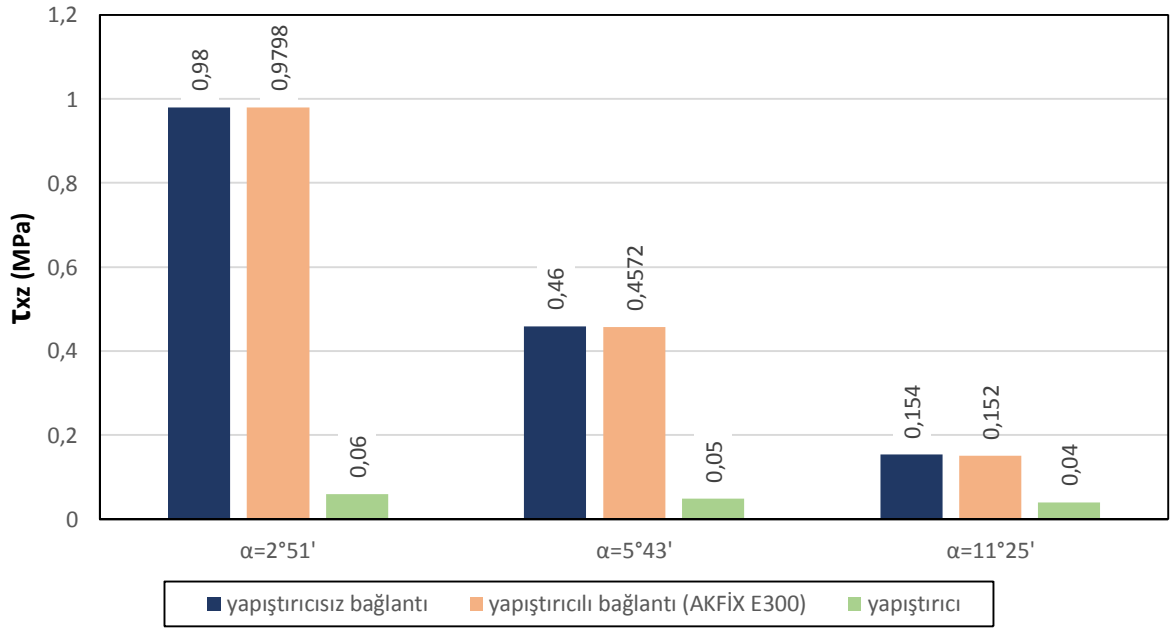


Şekil 6.24.c. Koni tepe açıları 2°51', 5°43', 11°25' olan Erde GTR ile birleştirilmiş yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız bağlantıların ve yapıştırıcı tabakanın Von Mises eşlenik gerilmeleri

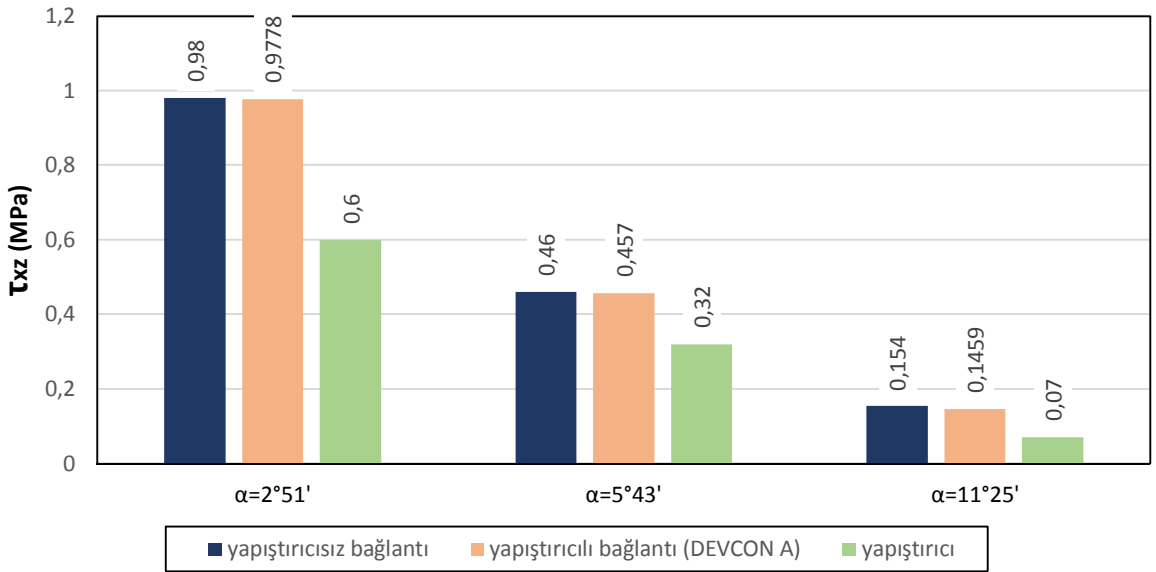
Şekil 6.24. a, b ve c'deki grafiklere bakıldığında yapıştırıcısız bağlantıların maksimum eşlenik gerilme değerlerinin yapıştırıcılı bağlantılardan ve yapıştırıcı tabakasından daha yüksek olduğu görülmektedir. Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantıların maksimum gerilmeleri diğer iki yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantılardan daha düşüktür.

Bu grafikler değerlendirildiğinde, koni tepe açısı 2°51' yapıştırıcısız bağlantının maksimum eşlenik gerilmesinin sırasıyla Akfix E 300 ile birleştirilmiş bağlantıdan %30, Devcon A 'dan %30, Erde GTR'den %34 daha fazla olduğu görülmektedir. Koni tepe açısı 5°43' olan yapıştırıcısız bağlantının maksimum eşlenik gerilmesinin sırasıyla Akfix E 300'den %25, Devcon A 'dan %25, Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantıdan %32 daha fazla olduğu görülmektedir. Koni tepe açısı 11°25' olan yapıştırıcısız bağlantının maksimum eşlenik gerilmesinin Akfix E300 ile birleştirilmiş bağlantıdan yaklaşık %16 daha fazladır (Şekil 6.24.a).

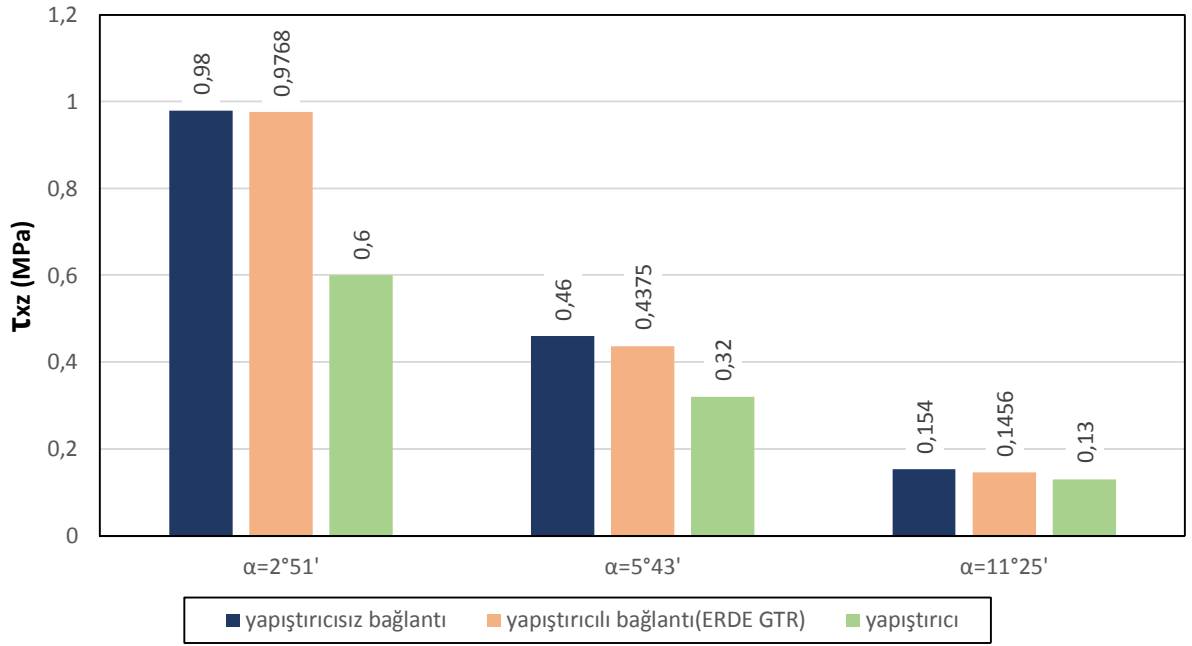
Şekil 6.25. a, b ve c, koni tepe açıları sırasıyla 2°51', 5°43' ve 11°25' olan yapıştırıcısız, Akfix E300, Erde GTR, Devcon A ile birleştirilmiş yapıştırıcılı konik geçme bağlantılarında ve yapıştırıcı tabakada meydana gelen maksimum τ_{xz} kayma gerilmeleri gösterilmektedir.



Şekil 6.25.a. Koni tepe açıları 2°51', 5°43', 11°25' olan Akfix E300 ile birleştirilmiş yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız bağlantıların ve yapıştırıcı tabakanın τ_{xz} kayma gerilmesi



Şekil 6.25.b. Koni tepe açıları 2°51', 5°43', 11°25' olan Devcon A ile birleştirilmiş yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız bağlantıların ve yapıştırıcı tabakanın τ_{xz} kayma gerilmesi



Şekil 6.25.c. Koni tepe açıları 2°51', 5°43', 11°25' olan Erde GTR ile birleştirilmiş yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız bağlantıların ve yapıştırıcı tabakanın τ_{xz} kayma gerilmesi

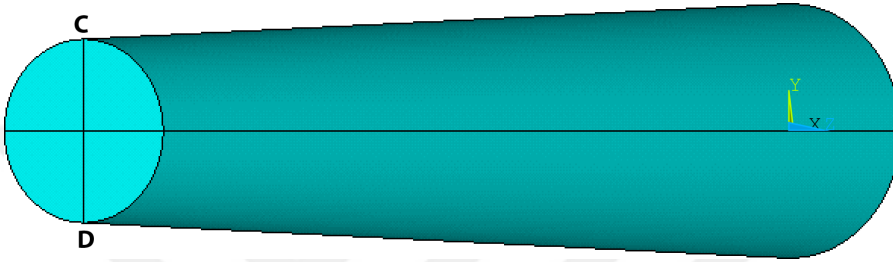
Şekil 6.25. a, b ve c'deki grafiklere bakıldığında yapıştırıcısız bağlantıların maksimum τ_{yz} kayma gerilme değerlerinin yapıştırıcılı bağlantılardan ve yapıştırıcı tabakasından daha büyük olduğu görülmektedir. Bu grafiklerde yapıştırıcı değişiminin yapıştırıcısız bağlantıların maksimum gerilme değerlerinin değişimine etkisi yoktur.

Bu grafikler değerlendirildiğinde, yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız bağlantıların maksimum τ_{xz} kayma gerilmeleri arasındaki farkın az olduğu görülmektedir. Akfix E300 ile birleştirilmiş koni tepe açısı 2°51' olan bağlantının maksimum τ_{xz} kayma gerilmesinin koni tepe açısı 5°43' olan bağlantısından %115 daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 6.25.a). Erde GTR ile birleştirilmiş koni tepe açısı 5°43' olan bağlantının maksimum τ_{xz} kayma gerilmesinin koni tepe açısı 11°25' olan bağlantısından %208 daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 6.25.c).

Gerilme dağılımlarını gösterebilmek ve değişken parametrelerin karşılaştırılabilmesi için tüm bağıntıların Şekil 6.1'de gösterilen A-B hattında oluşan gerilme değerleri alınarak Excel'de tablolara aktarılmış ve grafikleri çizilmiştir. Konik geçme bağlantısı yapı olarak değişken çap ve uzunluğa sahip olduğu için A-B hattında oluşan gerilmelerle C-D hattında oluşan gerilmeler birbirinden farklıdır. Bu farkı görebilmek için Akfix E300 ile

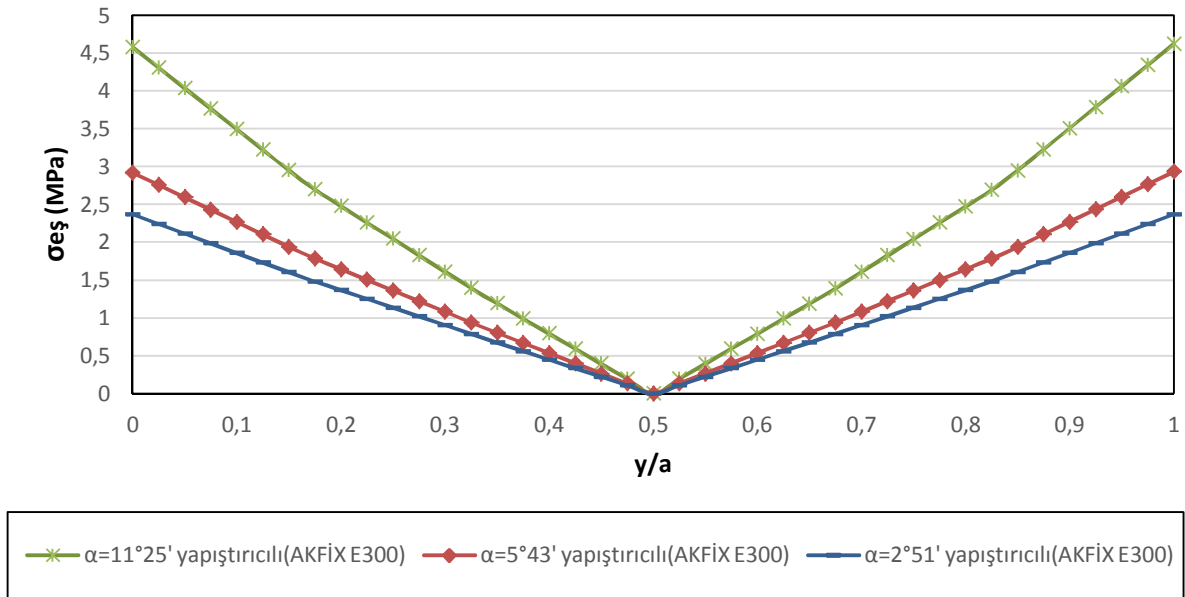
birleştirilmiş bağlantının C-D hattında oluşan $\sigma_{eş}$, τ_{xz} ve τ_{yz} gerilme değerleri Excel’de tablolara aktarılmış ve grafikleri çizilmiştir.

Koni tepe açısı ve yapıştırıcı kalınlığından dolayı numunelerin y koordinat değerleri değişmektedir. Farklı parametrelere sahip numunelerin sonuçlarını karşılaştırmak için Şekil 6.26’da görülen C- D hattı boyunca düşey eksen koordinatı (y), dış çapa bölünerek C-D hattı için normalizasyon işlemi yapılmıştır.



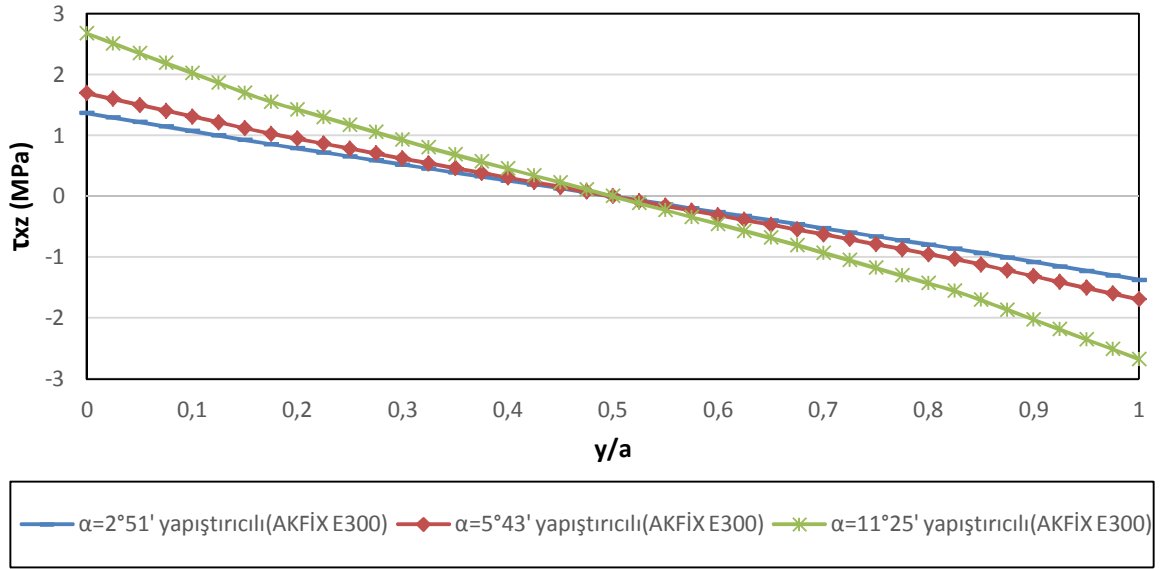
Şekil 6.26. Farklı koni tepe açlarına sahip bağlantılar için normalleştirilmiş C-D hattı

Şekil 6.27. a, b ve c koni tepe açıları sırasıyla $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$ ve $11^{\circ}25'$ olan Akfix E300 ile birleştirilmiş konik geçme bağlantılarında meydana gelen $\sigma_{eş}$, τ_{xz} ve τ_{yz} gerilmelerinin C-D hattı boyunca dağılımlarını göstermektedir.



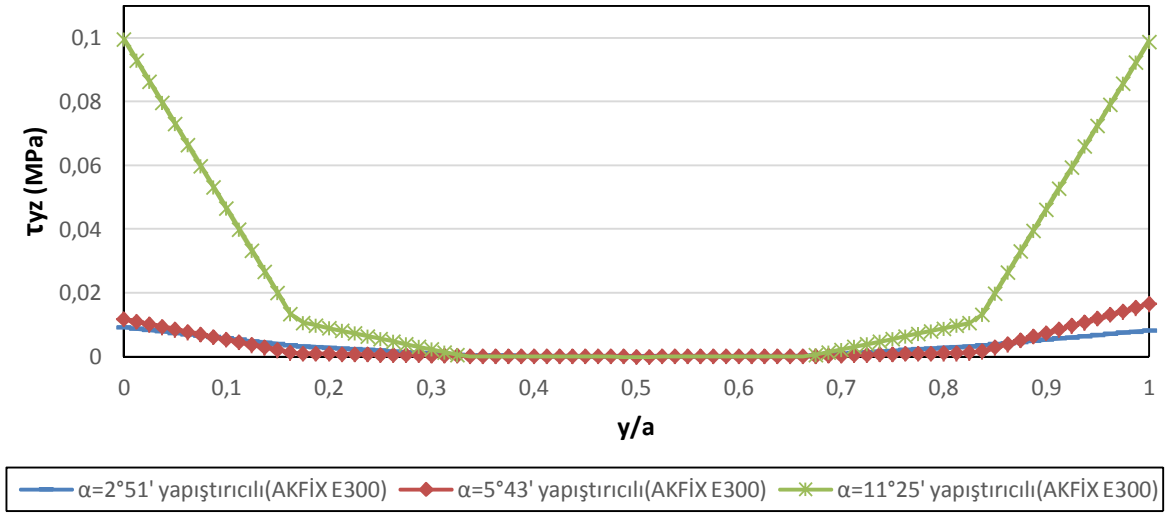
Şekil 6.27.a. Akfix E300 birleştirilmiş koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$ ve $11^{\circ}25'$ olan yapıştırıcılı bağlantıların Von Mises eşlenik gerilmeleri

Şekil 6.27.a, Akfix E300 ile birleştirilmiş koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$ ve $11^{\circ}25'$ olan yapıştırıcılı konik geçme bağlantılarının C-D hattı boyunca oluşan eşlenik gerilme dağılımlarını göstermektedir. Bu grafikte, üç farklı koni tepe açısıyla oluşturulan bağlantılar incelendiğinde maksimum eşlenik gerilme koni tepe açısı $11^{\circ}25'$ olan bağlantıda 4.67 MPa saptanmıştır. Bu değer koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan bağlantıda 2.37 MPa'dır.



Şekil 6.27.b. Akfix E300 ile birleştirilmiş koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$ ve $11^{\circ}25'$ olan yapıştırıcılı bağlantıların τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımları

Şekil 6.27.b, Akfix E300 ile birleştirilmiş koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$, $11^{\circ}25'$ olan yapıştırıcılı konik geçme bağlantılarının C-D hattı boyunca oluşan τ_{xz} kayma gerilmesi dağılımlarını göstermektedir. Bu grafikte, üç farklı koni tepe açısı için maksimum τ_{xz} kayma gerilmesi koni tepe açısı $11^{\circ}25'$ olan 2.67 MPa olarak saptanmıştır. Bu değer $2^{\circ}51'$ olan bağlantıda 1.36 MPa'dır.



Şekil 6.27.c. Akfix E300 ile birleştirilmiş koni tepe açıları 2°51', 5°43' ve 11°25' olan yapıştırıcılı bağlantıların τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımları

Şekil 6.27.c, Akfix E300 ile birleştirilmiş koni tepe açıları 2°51', 5°43', 11°25' olan yapıştırıcılı konik geçme bağlantıların C-D hattı boyunca oluşan τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımlarını göstermektedir. Bu grafiğe göre, maksimum τ_{yz} kayma gerilmesi koni tepe açısı 11°25' olan yapıştırıcılı bağlantıda yaklaşık 0.09 MPa olarak saptanmıştır. Bu değer koni tepe açısı 2°51' olan yapıştırıcılı bağlantıda yaklaşık 0.01 MPa'dır.

Bu üç grafiğe bakıldığında maksimum gerilme değerlerine koni tepe açısı 11°25' olan bağlantıda ulaşıldığı görülmektedir. A-B hattında ise maksimum gerilme değerleri koni tepe açısı 2°51' olan bağlantıda gerçekleşmektedir. Koni tepe açılarına göre A-B hattında oluşan gerilme değerleriyle, C-D hattında oluşan gerilme değerleri arasında tam tersi bir durum söz konusudur. Bu durum konik geçme bağlantısının geometrisinden kaynaklanmaktadır. A-B hattında çap değeri en büyük olan 11°25' koni tepe açılı bağlantı iken C-D hattında 2°51' koni tepe açılı bağlantıdır. Gerilme bağıntısından hareketle çap arttıkça gerilme düşer ifadesiyle örtüşmektedir.

Değerlendirmeler

Gerçekleştirilen çalışmada, yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız konik geçme bağlantıların burulma momenti altındaki performansları incelenmiş ve aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Tüm konik geçme bağlantılarında, koni tepe açısı arttıkça hem Von Mises eşlenik gerilmeleri ($\sigma_{eş}$) hem de τ_{yz} ve τ_{xz} kayma gerilmelerinin maksimum değerleri azalmaktadır.
- Koni tepe açıları $2^{\circ}51'$, $5^{\circ}43'$ ve $11^{\circ}25'$ olan yapıştırıcısız ve yapıştırıcılı konik geçme bağlantıları karşılaştırıldığında $\sigma_{eş}$, τ_{xz} ve τ_{yz} kayma gerilme değerlerinin yapıştırıcısız konik geçme bağlantılarda daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Akfix E300, Devcon A, Erde GTR ile birleştirilmiş konik geçme bağlantıları değerlendirildiğinde, kayma modülü en düşük olan Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantının, aynı moment altında, oluşan $\sigma_{eş}$, τ_{xz} ve τ_{yz} kayma gerilme değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Koni tepe açısının değişimi bu durumu değiştirmemektedir. Başka bir ifadeyle Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantı tüm açılar için minimum gerilme değerlerine sahiptir.
- Farklı yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantılarda koni tepe açısı arttıkça maksimum gerilme değerleri arasındaki fark azalır. Yapıştırıcı türünün etkisi, koni tepe açısı $11^{\circ}25'$ olan konik geçme bağlantısında diğer iki açı değerine göre daha azdır.
- Tüm gerilme dağılımlarının, bindirmenin uçlarında $y/a = 0$ ve $y/a = 1$ ve bindirmenin orta bölgesinde $y/a = 0.50$ minimum değerler aldıkları görülmüştür.
- Tüm yapıştırıcılar için τ_{yz} kayma gerilmesi dağılımları incelendiğinde gerilme dağılımları benzer bir değişim sergilemişlerdir.
- Koni tepe açısı değişimi için eşlenik gerilme dağılımları incelendiğinde, her 3 farklı yapıştırıcı için gerilme dağılımlarının $y/a = 0.3$ ve $y/a = 0.8$ arasında benzer değişim özellikleri göstermektedir.
- Farklı koni tepe açıları için τ_{xz} kayma gerilmeleri incelendiğinde, Akfix E300, Erde Gtr, Devcon A yapıştırıcıları kullanılarak oluşan gerilmeler; $y/a = 0 - y/a = 1.5$ ve $y/a = 8.5 - y/a = 1$ arasında “0.001 MPa” olarak elde edilmektedir. Diğer bir ifade ile gerilmeler sıfıra çok yakındır.
- Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça hem Von Mises eşlenik gerilmelerinin ($\sigma_{eş}$) hem de τ_{yz} ve τ_{xz} kayma gerilmelerinin maksimum değerleri azalmaktadır.
- Yapıştırıcı tabakada meydana gelen $\sigma_{eş}$, τ_{yz} ve τ_{xz} kayma gerilmelerinin değerleri tüm bağlantılardan daha düşüktür.
- Kesit dönme miktarları incelendiğinde, en düşük kayma modülüne sahip olan Erde GTR ile birleştirilmiş bağlantının şekil değiştirme kabiliyetinin diğer iki yapıştırıcıya göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Birbirlerine yakın kayma modülü değerlerine

sahip olan Akfix E300 ve Devcon A ile birleştirilmiş bağlantıların ise kesit dönmelerinin arasında farkın daha az olduğu tespit edilmiştir.

- Koni tepe açısı üzerinde kesit dönme miktarlarının etkisi incelendiğinde, tüm bağlantılar için en yüksek kesit dönme açısının koni tepe açısı $2^{\circ}51'$ olan bağlantıda gerçekleştiği görülmektedir. Benzer şekilde koni tepe açısı arttıkça dönme miktarları azalmıştır.
- Yapıştırıcı kalınlığı arttığında kesit dönme miktarında arttığı tespit edilmiştir.
- A-B hattı boyunca oluşan tüm gerilme dağılımlarının, koni tepe açısı arttıkça, düştüğü görülmektedir. C-D hattı için bunun tam tersi bir durum söz konusudur. Elde edilen sonuçlar, literatürdeki sonuçlarla örtüşmektedir. Konik geçme bağlantısının geometrisinden dolayı çap artışı gerilme değerlerini düşürmektedir.

7. ÖNERİLER

Gelecek çalışmalar için; konik geçme bağlantısının dinamik analizi yapılabilir. Ayrıca sistemin doğal frekansı ile birlikte gerilmeler incelenebilir. Çünkü maksimum gerilmeler sistemin doğal frekansları çevresinde oluşmaktadır. Böylelikle yapıştırıcı özellikleri ve koni tepe açılarının etkisi doğal frekans çevrelerinde incelenerek bu çalışmada yaptığımız statik analiz sonuçları ile karşılaştırılabilir.



KAYNAKLAR

- [1]. **Her S., Her C.**, “Stress analysis of adhesively-bonded lap joints”, Department of Mechanical Engineering, Yuan-Ze University, 47: 673-676 (2000).
- [2] **M.K. Apalak, R. Gunes**, 2002 “On non-linear thermal stresses in an adhesively bonded single lap joint”, Computers and Structures, 80: 85–98
- [3] **Cowdrey S., Ferguson C., Lennox A.F., Mauro P., Neummayer R., Orme B., Müller M.**,1998 Loctite Worldwide Design Handbook, Germany
- [4] **U.K. Vaidya, A.R.S. Gautam, M. Hosur, P. Dutta.**, 2006. Experimental-numerical studies of transverse impact response of adhesively bounded lap joints in structures, Int. Journal of Adhesion & Adhesives, 26, 184-198
- [5] **Yıldırım, M., Apalak, M.K. ve Ekici R.**, 2008. Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Alüminyum-Çelik Sandviç Bağlantıların Düşük Hızlı Darbe Davranışlarının İncelenmesi, HaSeM'08 VII. Havacılık Sempozyumu, Kayseri, 15-16 Mayıs, s. 134.
- [6] **Wooley, G.R. and Carver, D.R.**, 1971. Stress Concentration Factors for Bonded Lap Joints, J.Aircraft, 8, no10, pp. 817-820.
- [7] **Volkersen, O.**, 1938. Die Nietkraftverteilung in zugbeanspruchten Nietverbindungen mit konstanten Laschenquerschnitten, Luftfahrtforschung, 15, pp. 41-47.
- [8] **Volkersen, O.**, 1965. Recherches sur la theorie des assemblages colles, Construction Metallique, 4, pp. 3-13.
- [9] **Baghari, R. and Marouf, B.T.** (2007) Fracture Behavior of Multi-Layered Composites Under Impact Loading. Materials Science and Engineering., 448: 20-24.
- [10] **Fekirini H., Bachir Bouiadjra B., Belhouari M., Boutabout B., Serier B.**,2007. Numerical analysis of the performances of bonded composite repair with two adhesive bands in aircraft structures. Composite Structures 82, 84–89
- [11] **Davies P., Sohler L., Cognard J. et al.** 2009. Influence of adhesive bondline thickness on joint strength, International Journal of Adhesion & Adhesives, 29, pp.724–736.
- [12] **Shields, J.**, 1984. Adhesives Handbook, 3rd ed., Butterworth, London.
- [13] **Aydın, M.D., Özel, A. and Temiz, Ş.**, 2005, The effect of adherent thickness on the failure of adhesively bonded single-lap joints, J. Adhesion Sci. Technology, vol 19(8), 705-718.
- [14] **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, vol 26, 237- 248.
- [15] **Taş B., İmak A. ve Solmaz M.Y.**, 2013. Basit ve Dalgalı Bindirme Bağlantılarda Kenar Yapıştırıcı Birikintisinin Bağlantı Mukavemetine Etkisi, 7th International Advanced Technologies Symposium (IATS'13), 30 October-1 November 2013, 418-422p., Istanbul, Turkey.
- [16] **Sharifi, S., Choupani, N.**, 2008. “Stress analysis of adhesively bonded double-lap joints subjected to combined loading”, Proceedings of World Academy of Science, Engineering And Technology Volume, 1307: 759-763

- [17] **Turan, K. ve Kaman, M.O.**, 2010. Tek Tesirli Yapıştırma Bağlantılarında İlerlemeli Hasar Analizi. Pamukkale J Eng Sci. Yıl: 2010 Cilt: 16 Sayı: 3 315-323
- [18] **Apalak M.K. and Davies R.**, 1994, Analysis and design of adhesively bonded corner joints: fillet effect, International Journal of Adhesion and Adhesives, 14:163-174, 1994.
- [19] **[27] Nemes, O., Lachaud F.**, 2010. Double-lap adhesive bonded-joints assemblies modeling, International Journal of Adhesion & Adhesives, 30, pp. 288–297.
- [20] **Solmaz M.Y.**, 2008. Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Bağlantıların Mekanik Analiz ve Tasarımları, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
- [21] **Solmaz M.Y., Turgut A.**, An Experimental and Numerical Study on the Effects of Taper Angles and Overlap Length on the Failure and Stress Distribution of Adhesively-Bonded Single-Lap Joints, The 1st International Symposium on Computing in Science & Engineering (ISCSE), June, 3-5, 2010, 866-874 p., Kusadasi, Aydın
- [22] **Aydın S.**, 2012. Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Prizmatik Geçmeli Bağlantıların Mekanik Analizleri, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
- [23] **Aydın S., Solmaz M.Y., Turgut A.**, 6 th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey
- [24] **Kwon, J.W. and Lee, D.G.**, 2000. The Effects of Surface Roughness and Bond Thickness on The Fatigue Life of Adhesively Bonded Tubular Single Lap Joints, J. Adhesion Sci. Technology, 14, pp.1085–1102
- [25] **Şekercioglu, T., Rende, H., Gülsöz, A., Meran, C.**, 2003. The effects of surface roughness on the strength of adhesively bonded cylindrical components, Journal of Materials Processing Technology, 142, pp. 82–86.
- [26] **Adams R.D., Comyn J., Wake W.C.**, “Structural adhesive joints in engineering”, Chapman&Hall, Second Edition, Londra, 8-16 (1997).
- [27] **Edwards, K.L.**, 1998. A brief insigth into the selection and use of engiinnering adhesives for preliminary joint design. Materials and Design, 19,121-123.
- [28] **Akpınar S.**, 2008. kaymaya maruz yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum
- [29] **Morrissey, M.A. and Johnson, W.R.**, 1985, Douglas Aircraft Company Design Handbook, Adhesive and Cements, California.
- [30] **İşcan B.**, 2007. Yapıştırıcı malzeme ile birleştirilmiş z tipi bağlantıların mekanik analizi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
- [31] **Tek G.**, 2011. Tek ve çift-tesirli yapıştırma bağlantılarında gerilme analizi, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- [32] **Kodakoğlu L.**, (1996) Yapıştırıcıların Genel Özellikleri ve Çekme Gerilmesine Maruz Yapışma Birleşmesinin Analitik ve Nümerik Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dan. Kotil T., İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uçak Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul Türkiye, 139s.
- [33] **Cürgül, İ.**, 1990, “Makine Elemanları I”, 3. Bölüm, YTÜ Yayınları, Kocaeli, 102-107 s.

- [34] **Gediktaş, M.**, 1995, “Makine Elemanları Bağlama Elemanları Kostrüksiyon ve Hesap”, 4.Bölüm, Çağlayan Kitabevi, Beyoğlu İstanbul, 104-119.s.
- [35] **Kaya M.**, (2005) Yapıştırma Bağlantılarının Mekanik Özellikleri Üzerine Çevresel Faktörlerin Etkisi, UTED Aylık Havacılık Dergisi Aralık 2005, Türkiye
- [36] **Adams, R.D.** (1989) Strength Predictions for Lap Joints, Especially with Composite Adherents, A Review. Journal of Adhesion., 30: 219-242.
- [37] **Killorglin Community College “Some Notes About Adhesion”**
[http://www.killorglincc.ie/pages/subjects/adhesive bonding](http://www.killorglincc.ie/pages/subjects/adhesive_bonding) (2005).
- [38] **Temiz, S.**, 2003, Study of the Effect of Environmental Factors on Mechanical Properties of Adhesively Bonded Joints, Ph. D. Thesis, Ataturk University, Erzurum, Turkey.
- [39] **Kayacan, R.**,1988, Yapıştırma ve metal bağlantılar için yapıştırıcı kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 240s.
- [40] **Vasudevan,A.K., Doherty,R.D.**, (1989). Aluminum Alloys-Contemporary Researc and Applications, part6, pp.171-184.
- [41] **Aydın, M.D., Temiz, Ş. ve Özel, A.**, Yapısal Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Belirlendiği Deneysel Yöntemler, Mühendis ve Makine, Cilt 45(536), sayfa 18-24.
- [42] **Akkurt M.**, 2005. Makine Elemanları Cilt I-II ,İstanbul
- [43] İnternet:ocuvalci.ktu.edu.tr/dosyalar/dersler/0XX_miller.pdf
- [44] http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/
- [45] http://www.deu.edu.tr/mehmet.zor/MUKSORU/KONU_3-millerin_burulmasi.pdf
- [46] http://www.deu.edu.tr/halit.yazici/Lecture_6_Strength.pdf

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Betül TAŞ

Doğum Yeri : Elazığ

E-posta : betulttas@gmail.com



ÖĞRENİM DURUMU

2012- Yüksek Lisans Fırat Üniversitesi Makina Mühendisliği

Mekanik Ana Bilim Dalı

2007-2012 Lisans Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

Makina Mühendisliği

İŞ TECRÜBESİ

2012 – TUS Yapı Denetim LTD.ŞTİ Makine Kontrol Mühendisi